

Ф. ДАННЕМАН

ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

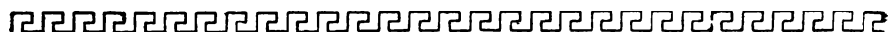
II

ТОМ

ОНТИ НКТП СССР 1935

Ф. ДАННЕМАН * ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ * II

ПОСВЯЩАЕТСЯ
ПРОФЕССОРУ ДОКТОРУ ЭДМУНДУ ФОН-ЛИПМАНУ
В БЛАГОДАРНОСТЬ ЗА ЕГО СОДЕЙСТВИЕ
ПРИ ВЫПУСКЕ НОВОГО ИЗДАНИЯ



DIE
NATURWISSENSCHAFTEN
IN IHRER ENTWICKLUNG UND IN IHREM
ZUSAMMENHANGE

D a r g e s t e l l t v o n
FRIEDRICH DANNEMANN

II
BAND

VON GALILEI BIS ZUR MITTE
DES XVIII JAHRHUNDERTS

25252525

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1921



Ф. ДАННЕМАН

ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ В ИХ РАЗВИТИИ
И ВЗАИМОДЕЙСТВИИ**

II ТОМ

**ОТ ЭПОХИ ГАЛИЛЕЯ
ДО СЕРЕДИНЫ XVIII ВЕКА**

Перевод со 2^{го} немецкого издания
П. С. ЮШКЕВИЧА



**ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО НКТП СССР
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА • 1935 • ЛЕНИНГРАД**

Т 11-5-4
ТКК №66

Редакция З. А. ЦЕЙТЛИНА
Оформление Н. Я. КОСТИНОЙ

Суперобложка, переплет, форзац, титул,
заставки, концовки А. В. КРЕЙЧИКА
Корректурa А. П. ТАТАРИНОВОЙ
Наблюдал за выпуском В. Т. ТИМОФЕЕВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Второй том посвящен главным образом истории зарождения в XVII в. основ современного естествознания. В этот именно период развития наук возникли творения Галилея, Ньютона, Гюйгенса и многих других первоклассных исследователей. Благодаря оствальдовской серии классиков точного знания основоположные работы этих ученых стали ныне доступны широким кругам читателей в снабженных комментариями изданиях. Автору пришлось во втором томе, как ему придется и в следующих томах, часто обращаться к этим изданиям, так что намерение его сделать из своего труда некоторого рода рамку для оствальдовской серии нашло в этом томе более полное выражение, чем в первом.

Что касается идей, руководивших автором при составлении своей работы, то относительно них он должен отослать читателя к предисловию к первому тому. Автор надеется, что ему удалось и во втором томе изложить историю наук как часть общей эволюции культуры и создать таким образом книгу, полезную не только для историка, но и для врача, техника, педагога, студента, — словом, для всякого, кто интересуется судьбой естествознания. Ведь намерением автора было дать историю развития естествознания в его сохранивших еще и ныне свое значение основах, а также в его отношениях к другим наукам — в особенности к философии, математике, медицине и технике.

В держании корректуры принимали снова участие господа: проф. В. Видеман (Эрланген), проф. д-р Э. О. фон-Липман (Галле на Заале), которому посвящен настоящий том, и проф. д-р. И. Вюршмидт (Эрланген). Я им весьма обязан за многочисленные поправки и дополнения. С благодарностью упоминаю я здесь также об указаниях — как письменных, так и устных — других лиц.

Фридрих Даннеман.

Мюнхен, весной 1921 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие

5

I

ДРЕВНИЙ МИР И НОВОЕ ВРЕМЯ

Некоторые вводные замечания 11. — Взгляд назад 12. — Влияние античной литературы 12. — Средневековый и современный образ мышления 13. — Некоторые указания исторического характера 13. — Новые формы научной жизни 14. — Реформация и гуманизм 16. — Расширение картины мира 18.

II

НАУЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ НОВОГО ВРЕМЕНИ

Микроскоп 19. — Телескоп 21. — Телеобъектив Кеплера 23. — Усовершенствование телескопа 23. — Глаз и процесс зрения 25.

III

ГАЛИЛЕЙ И ЕГО ТВОРЧЕСТВО

Некоторые указания исторического характера 27. — Жизнь и ход развития Галилея 27. — Астрономические открытия Галилея 30. — Наука и церковь 33. — Выступления Галилея в пользу учения Коперника 35. — Галилей перед судом инквизиции 41. — Последние годы жизни Галилея 43. — Исследования Галилея о явлениях сцепления и о весе воздуха 44. — Движение свободного падения 47. — Движение маятника 53. — Движение брошенного тела 56. — Принцип виртуальных скоростей 60. — Недостатки галилеевой механики 61. — Галилей исследует сопротивление тел 63. — Механика жидкостей и газов 66. — Исследования Галилея о звуке 68. — Оптические и магнитные исследования Галилея 70. — Личность Галилея и сочинения его 72.

IV

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНДУКТИВНОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ

Опыты Флорентинской академии 74. — Основоположные изыскания в области оптики 83. — Исследования в области электричества и магнетизма 86. — Основание философии опыта 93. — Умственная физиономия XVII в. 97.

V

АСТРОНОМИЯ В ЭПОХУ ТИХО И КЕПЛЕРА

Ход развития Кеплера 99. — Построение Кеплером планетных сфер 102. — Успехи наблюдательного искусства 103. — Открытие кеплеровых законов 109. — Дальнейшие астрономические работы Кеплера 113. — Заслуги Кеплера в области оптики 118. — Приемники Кеплера в области астрономии 126.

VI

РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В СВЯЗИ С УСПЕХАМИ МАТЕМАТИКИ

Успехи арифметики 129. — Учение об уравнениях 131. — Основание аналитической геометрии 133. — Задачи на отыскание наибольших и наименьших значений 135. — Принцип наименьшего действия 136. — Возникновение исчисления бесконечно малых 139. — Квадратуры и кубатуры 140. — Теорема Кавальери и правило Гюльдена 143. — Арифметика бесконечного 144. — Дифференциальное и интегральное исчисления 145. — Метод флюксий 145.

VII

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕМ И НОВОЙ ФИЛОСОФИЕЙ

Философия, математика и естествознание 146. — Атомы и корпускулы 149. — Сила и материя 150. — Картезианская физика 151. — Гоббс и Спиноза 152. — Ньютоновы „Начала“ 153. — Картезианцы и ньютонианцы 155. — Декарт и Лейбниц 156.

VIII

РАЗРАБОТКА ФИЗИКИ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ТЕЛ

Основание гидростатики 158. — Начатки гидродинамики 160. — Изобретение ртутного барометра 161. — Опыты Паскаля 162. — Изобретение воздушного насоса 166. — Изобретение водяного барометра 169. — Взвешивание воздуха и опыты в пустоте 172. — Открытие закона Бойля-Мариотта 174.

IX

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ИАТРОХИМИИ И ОСНОВАНИЕ НАУЧНОЙ ХИМИИ БОЙЛЕМ

Новые задачи химии 177. — Открытия алхимиков 178. — Первый учебник химии 180. — Влияние химии на развитие промышленности 181. — Основание химии как науки 185. — Первые шаги антифлогистонной теории 186.

X

РАЗВИТИЕ БОТАНИКИ И ЗООЛОГИИ ПОСЛЕ ВОЗРОЖДЕНИЯ НАУК

Успехи ботаники 189. — Начатки естественной и искусственной систематики 191. — Основание морфологии растений 192. — Успехи зоологии 196.

XI

ОСНОВАНИЕ БОЛЬШИХ НАУЧНЫХ АКАДЕМИЙ

Некоторые замечания общего характера 198. — Королевское общество 200. — Парижская академия наук 201. — Прусская академия наук 203. — Задачи на премии. Труды академий 205.

XII

НЬЮТОН

Ход развития Ньютона 206. — Успехи практической оптики 207. — Исследование солнечного спектра 209. — Ньютонова теория цветов 212. — Эмиссионная и волновая теории света 216. — Открытие закона тяготения 221. — „Начала“ Ньютона 224. — Мировоззрение Ньютона 228.

XIII

ГЮЙГЕНС И ПРОЧИЕ СОВРЕМЕННИКИ НЬЮТОНА

Ход развития Гюйгенса 231. — Разработка волнообразной теории света 232. — Принцип Гюйгенса 237. — Двойное преломление и поляризация 238. — Изобретение часов с маятником 243. — Дальнейшее развитие теории маятника 249. — Исследование центробежной силы 252. — Сжатие Земли 254. — Основание теории удара 255. — Живая сила и сохранение силы 257. — Дальнейшая судьба учения о сохранении силы 259. — Открытия Мариотта 262. — Астрономические и физические исследования Галлея 265. — Открытие Кассини 271. — Германия в эпоху Ньютона-Гюйгенса 272.

XIV

ОСНОВАНИЕ, В СВЯЗИ С ХИМИЧЕСКИМИ И ФИЗИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ СОВРЕМЕННОЙ МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОЛОГИИ

Некоторые замечания общего характера 277. — Кристаллографические и геологические исследования Стено 277. — Развитие взглядов на внутреннее строение Земли 281. — Зарождение палеонтологии 282. — Дальнейшие успехи геологии и минералогии 284. — Химия в эпоху теории флогистона 286.

XV

РАСЦВЕТ АНАТОМИИ И ФИЗИОЛОГИИ

Учение о кровообращении 290. — Более глубокое изучение строения органов 293. — Анатомия и механика 295.

XVI

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НИЗШИХ ЖИВОТНЫХ

Строение и развитие насекомых 298. — Самопроизвольное зарождение и развитие 301. — Возникновение эмбриологии 306. — Открытие микроскопических организмов 308. — Микроскопия и анатомия 310.

XVII

ОСНОВАНИЕ АНАТОМИИ РАСТЕНИЙ И УЧЕНИЯ О СУЩЕСТВОВАНИИ ПОЛА У РАСТЕНИЙ

Основание анатомии растений 313. — Некоторые вводные замечания 314. — Грю и его анатомия растений 315. — Анатомия и физиология 315. — Вопрос о поле у растений 318.

XVIII

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ МЕХАНИКИ, ОПТИКИ И АКУСТИКИ

Естествознание и математика 322. — Основание математической физики 325. — Математика и астрономия 330. — Эйлерова теория эфира 333. — Основание аналитической механики 335. — Успехи математики 339. — Основные формулы аналитической механики 341. — Основы фотометрии 343. — Успехи акустики 348.

XIX

УСПЕХИ АСТРОНОМИИ ПОСЛЕ СОЗДАНИЯ ТЕОРИИ ТЯГОТЕНИЯ

Сжатие Земли 353. — Основы метрической системы 355. — Солнечный параллакс, плотность Земли и абберация 358. — Дальнейшие успехи астрономии 363. — Астрономия и картография 364.

XX

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОЛОГИЯ В XVIII СТОЛЕТИИ

Основание минеральной химии 368. — Установление системы минералов 370. — Классификация горных пород 372. — Установление эпох истории Земли 375. — Дальнейшие успехи геологии 376. — Вернерова система минералов и горных пород. — Нептунизм и вулканизм 381. — Основание палеонтологии 384.

XXI

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И ЭПОХА ПРОСВЕЩЕНИЯ

Философия Толанда 387. — Энциклопедисты 388. — Французские материалисты 389

Дополнения, прибавления и исправления	390
Примечания редактора	392
Именной указатель	394
Предметный указатель	401

ТОМ ВТОРОЙ

**ОТ
ЭПОХИ ГАЛИЛЕЯ
ДО
СЕРЕДИНЫ XVIII ВЕКА**

ДРЕВНИЙ МИР И НОВОЕ ВРЕМЯ

Событием, которое обычно рассматривается как поворотный пункт в истории науки и которым и мы закончили первую часть нашего изложения, является установление Коперником гелиоцентрической системы мира. Не следует, однако, упускать из виду, что переворот этот совершался постепенно и что во всех областях знания прежде всего исходили из уже существующего. Кроме того освобождение отдельных отраслей знания от средневековых форм мышления происходило далеко не одновременно. Раньше других наук более высокого уровня удалось достигнуть астрономии. За нею последовали, начиная с XVII в., физика, а с XVIII — химия; биологи же только в течение XIX в. удалось вступить в круг точных наук.

Целый ряд задач, за разрешение которых принялись с началом нового времени, ставился уже в древнее время. В средние века они почти совсем исчезли из поля зрения исследователей. Новое время стало продолжать их с того самого места, где их оставила древность. Частично оно разрешило эти проблемы, но оно присоединило к разрешенным и еще неразрешенным вопросам новые проблемы, над которыми продолжают биться еще и в наше время, благодаря чему наша эпоха проникнута убеждением, что цепь открытий и изобретений беспредельна.

Бросим прежде всего беглый ретроспективный взгляд на наследие, полученное новым временем от древности. Элементы математики были в наиболее существенных частях развиты и наиболее полно систематизированы Эвклидом. К работам последнего примыкают исследования Архимеда и Аполлония, обосновавших, в частности, важное учение о конических сечениях. Главное произведение Птолемея «Альмагест» заключало в себе основы плоской и сферической тригонометрии. Современной нумерацией и начатками алгебры, этими созданиями более позднего времени, мы обязаны главным образом индусам и арабам.

Древние показали далее, каким образом следует применять математику к разрешению астрономических и механических проблем. Сочинение Птолемея и особенно работы Архимеда являют тому многочисленные примеры. Было собрано множество наблюдений о движении небесных светил; существовали также зачатки правильной астроно-

мической теории, ожидавшие лишь своего дальнейшего развития. Методы и инструменты в главных чертах были еще теми же самыми, которыми пользовались греки. В начале нового времени не существовало также ни одной задачи в области астрономии, которой не ставили уже перед собою древние. Определение размеров земного шара, его отношение к другим небесным светилам, точная топография звездного неба, точное определение времени и места, предсказание астрономических событий, как например затмений, — все это были вопросы, которые тщательно изучали древние ученые, особенно александрийской эпохи, и с которыми новое время познакомилось преимущественно по главному труду Птолемея.

Дошедшие до нас сообщения о происходивших тысячи лет тому назад затмениях имеют двойную ценность. Они служат, во-первых, пробным камнем для новейших вычислений, обнимающих более короткий период времени; во-вторых, они дают возможность установить хронологию исторических событий далекого прошлого¹. В некоторых случаях в сообщениях древних речь шла, очевидно, только о потемнениях неба, вызванных внезапным появлением грозowych туч. Но в общем все же вычисления, произведенные над лунными и солнечными затмениями, доводящие до 900 г. до н. э., дали одинаково ценные для древней истории и для астрономической науки результаты².

Кроме того, новое время унаследовало в разработанной до известной степени научной форме, статику, а также оптику — области, особенно поддававшиеся столь привлекательной для научной мысли древних дедуктивной обработке, между тем как от других частей физики остались лишь более или менее ценные отдельные наблюдения, правильное объяснение и дальнейшее развитие которых выпало на долю новой эпохи. Это относится в особенности к магнитным и электрическим явлениям, а также к свойствам газов и паров, относительно исследования которых мы обязаны подробными сообщениями Герону Александрийскому.

Зачатки химии также восходят к древности. Если часто невозможно уже установить в подробностях, какими сведениями средневековые обязаны позднейшим александрийцам и какие оно добывало самостоятельно, то все же необходимо признать, что химии в средние века уделялось много времени и что в некоторых отношениях она обогатилась новыми открытиями. Химия в ее первичном, несовершенном виде была в такой мере средневековой наукой, что еще много времени спустя после начала новой эпохи она продолжала развиваться в том направлении, которое было дано ей в средние века, и лишь поздно стала приспособляться к формам мышления нового времени.

В области описательного естествознания развитие также начинается с того места, на котором остановились древние. Но после первого толчка, данного изучением древних писателей, стали все

¹ Rugler, *Astronomische und meteorologische Finsternisse* (Zeitschr. d. deutschen morgenland. Gesellschaft 1902, стр. 60).

² В особенности произведенные К. Ф. Гинцелем (Ginzel) вычисления солнечных затмений в Риме, Афинах, Мемфисе и Вавилоне за период от 900 г. до н. э. и до 600 г. после нее.

больше и больше обращаться к самостоятельному, не связанному никакими авторитетами, наблюдению, которому открылось, благодаря расширению духовного кругозора и развитию точных наук, необъятное поле, остававшееся недоступным для древних.

Созданные в древности начатки знаний не прошли совершенно бесследно для средневековья. А относительно Востока следует даже признать, что там вообще не произошло полной приостановки в развитии наук. Наука древних досталась Востоку через поселившихся там греков. Здесь не только сумели сохранить это наследие, но и развить его и обогатить приобщением к нему новых элементов знания, полученных, например, из Индии. В течение IX и X вв. восточные ученые, писавшие по-арабски, стали самостоятельными исследователями в области естественных наук и медицины, между тем как раньше они ограничивались усвоением работ древних. Расцвет арабской науки падает на XI в. Знания древних доходят до христианских народов средневековья сначала из скудных и мутных, затем, однако, из все более чистых источников. Их росту помешали, особенно, во-первых, внезапный перерыв, вызванный в культурном развитии Европы переселением народов и падением Римской империи, во-вторых, враждебный природе, устремленный к церковной догматике и мистицизму дух христианского средневековья.¹ При его господстве научное исследование, игнорирующее догматы и считающееся только с объективной реальностью, могло развиваться лишь крайне медленно.

Средневековые попытки объяснения мира вертелись по существу вокруг спора о том, представляют ли отвлеченные понятия простые названия (номиналисты) или же они являются чем-то действительно существующим, какими-то сущностями, лежащими в основе вещей и явлений (реалисты). Реалисты, продолжавшие фактически философию Платона, наложили свою печать на мировоззрение средневековья. Отвлеченные понятия, рассматриваемые как реальные сущности («*universalia ante rem*»), играли тогда почти ту же роль, какую играют законы природы в наши дни. Мы встречаем их еще в переходное время в Архее Парацельса и в душе мира и Земли Кеплера. В период господства реализма¹ звезды, растения и даже камни, — словом, все тела, были ареной деятельности бесчисленного количества духов. Это объясняется тем, что субстанциальной форме — слову, равнозначавшему приблизительно платоновской идее — приписывалось реальное существование, вместо того чтобы видеть в ней создание человеческого разума. Вслед затем необузданная фантазия стала приписывать этим гипостазированным понятиям атрибуты личности, порождая мистицизм, тормозивший исследование естественных картин на основе принципа причинности. Для преодоления средневекового духа и обоснования новой философии и естествознания потребовался переворот, заключающийся в том, что на место прежних субстанциальных форм и связанных с ними мистических спекуляций стало простое правило, закон природы. Правило

¹ Это слово имеет, таким образом, далеко отличный от его нынешнего значения смысл.

должно было быть основано на ряде отдельных наблюдений; отсюда возникло требование пользоваться в исследовании индуктивным методом, требование, выдвинутое на пороге нового времени многими исследователями, а не только одним Френсисом Бэконом. Правило можно было далее формулировать математически. Так возникла тесная связь между математикой и естествознанием, тоже отличающая новое время от прежних веков. В философии Бэкон, в естествознании главным образом Галилей отвергли субстанциальные формы схоластиков, поставив на их место имматериальный закон природы *.

Развитие науки тормозилось в средние века еще более, может быть, чем в древности, также из-за того, что между ней и техникой существовала лишь весьма слабая связь. Далекий от мира средневековый ученый ограничивался главным образом изучением древних писателей и их комментаторов и, чрезмерно переоценивая словесное знание, занимался этимологическими изысканиями, не придавая значения собственным наблюдениям. Благодаря этому создавались на основе имевшейся уже литературы новые книги, страдавшие, однако, отсутствием нового содержания.

Напротив, люди техники находившиеся в гуще практической жизни, производили наблюдения и делали открытия, но они не писали книг. Их знания распространялись главным образом путем устной передачи. Так, уже в раннюю пору стали усердно заниматься — если взять одну отрасль техники — горным делом в Богемии, а затем в Силезии. В XI в. в Греции, Гарце и Мансфельде началась разработка рудников. Одновременно возникли металлургические заводы, и началась разработка соляных копей. Например соляные копи Велички стали разрабатываться с XIII в. Какую огромную пользу могло бы извлечь естествознание из этих начинаний и какое плодотворное влияние могло бы оно, в свою очередь, оказать на технику! Но этого взаимодействия не существовало до тех пор, пока не изобрели книгопечатания. Начиная с этого времени техники также вступают на путь литературной деятельности. В соответствии с особенностями своего дела, они ставили на первый план свои собственные наблюдения и открытия, рассматривая литературную традицию лишь как вспомогательное средство в своей работе и не делая ее, подобно ученым, центральным пунктом в своей деятельности.

Большое влияние на изменение всех европейских отношений оказало также применение для военных целей пороха, ставшего известным уже в XIII в. Возможно, что мысль о применении его для метания снарядов принадлежала некоему монаху Бертольду (Berthold), жившему около 1300 г¹. Во всяком случае огнестрельное оружие стало распространяться из Германии, где примерно в середине XIV в. возникли первые пороховые фабрики.

На направление, принятое развитием науки и всей культурой нового времени, оказал, наконец, влияние еще один общенсторический

* Здесь и в дальнейшем „звездочка“ означает ссылку на примечание редактора, помещенное в конце книги с указанием на соответствующую страницу.

¹ v. Lippmann, Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Leipzig 1906, стр. 142.

фактор. Дело в том, что центр политической власти и духовного образования переместился из своего прежнего местонахождения — Востока и Средиземноморья, в северо-западную Европу — в Англию, Францию и Германию. Однако это передвижение культуры с Востока на Запад не было результатом слепого рока. Оно было вызвано тем, что для Западной Европы открылась новая часть света, между тем как Восток был захвачен пришедшими из Центральной Азии племенами — монголами и турками.

Благодаря этому обе большие столицы к северу и к югу от Ламанша стали новыми центрами научной жизни. И с этого времени берега Северного моря рисуются историку¹ «как наиболее выдающиеся центры духовной культуры человеческого рода, его государствообразующей, идеосозидающей и преодолевающей природу деятельности».

Ничто так не поощряло человека нового времени в этой деятельности, как расцвет естественных наук, содействовавших, благодаря своему теоретическому содержанию и бесчисленным практическим применениям во всех областях, появлению новых идей и преобразованию всей жизни, а равно и жизнеощущений. Средневековые преимущественно собирало то, что осталось в результате гибели культуры древних. Напротив, в новое время все сильнее развивалось стремление «познать вещи из самих вещей», как гласит одно часто употребляемое изречение. Благодаря этому удалось проникнуть до подлинных корней знания, сутью которого являются свободная от предрассудков критика и углубленное исследование. Правда, освобождение от унаследованных господствующих представлений происходило лишь постепенно; даже такие люди, как Коперник, Галилей, Кеплер и Ньютон, не были свободны от них. Величайшим тормозом являлись церковные догматы, стеснявшие развитие науки в средние века уже по одному тому, что она сосредоточена была почти исключительно в руках духовенства. Лишь благодаря обмирщению науки, освобождению ее от монастырей и культивированию в определенных местах — университетах, лишь благодаря тому, что она вступила в соприкосновение с практической жизнью и с развившейся самостоятельно, независимо от книжной учености, техникой, созданы были предпосылки для преобразования и обновления всей научной жизни. Под влиянием науки Европа должна была бы, если бы средневековые государственные институты не были столь могущественны, превратиться в настоящую семью народов, ибо налицо были все предпосылки для такого культурного объединения. Во всяком случае среди ученых всех европейских стран господствовало сознание подобной тесной связи, так что могла даже возникнуть (лежеемая в особенности Лейбницем) мысль об объединении всех ученых академий — этих созданий нового времени — в одну европейскую всеакадемию. Преимуществом, постепенно утраченным вследствие национального разобщения нового времени, являлось также существование единого языка — латинского, объединявшего уче-

¹ L. v. Ranke, Englische Geschichte, 1, стр. 4.

ных всех стран. Далее благодаря этой связи соревнование между отдельными странами, в особенности между Францией, Англией и Нидерландами, было одинаково велико. Несмотря на свои незначительные размеры, Нидерланды заслуживают особенного внимания: их участие в мировой торговле, расцвет городов, являвшихся центрами свободы, искусства и цветущего ремесла, уже на пороге нового времени дали возможность голландцам сделать открытия первостепенной важности во всех отраслях знания; из них прежде всего необходимо назвать открытие телескопа и микроскопа, основание таких замечательных высших школ, как Лейденская и Утрехтская, а также постановка книгопечатания на огромную высоту, о которой до наших дней свидетельствуют сокровища Плантинской типографии в Антверпене и издания Эльзевиров. Нидерланды помимо того стяжали себе неувядаемую славу тем, что они дали приют Декарту и другим титанам науки, когда политический или религиозный фанатизм изгонял их из пределов отечества.

Политические и религиозные раздоры мешали вначале Германии вступить с успехом в разгоревшееся между другими странами соревнование. Германии необходимо было сперва изжить последствия 30-летней религиозной войны, для того чтобы она могла внести полностью свою лепту в развитие науки нового времени. Казалось бы, можно было ожидать большего от страны, которая породила реформацию и в которой гуманизм достиг своего расцвета. Но влияние обоих этих движений на развитие естествознания было не так велико, как часто принято думать. Вполне правильно указывалось, что реформация в известном смысле означала даже реакцию для науки, поскольку она вновь усилила устремления в потусторонний мир. Протестантская церковь часто относилась просто враждебно к прогрессу естествознания, как это показало ее выступление против Коперника и Кеплера. В реформации было прогрессивным то, что она содействовала ослаблению веры в авторитеты и тем самым ослаблению одного из величайших препятствий на пути к естественно-научному исследованию. Но и до сих пор еще не удалось окончательно уничтожить эту глубоко заложенную в природе человека веру в авторитеты.

Гуманизм так же, как и реформация, не в состоянии был создать новой эпохи для науки. Почвой, на которой он вырос, являлись университеты, между тем как над созданием нового естествознания работало много людей с свободным духовным горизонтом, стоявших вдали от прочно придерживавшейся старых традиций университетской жизни. Достаточно указать лишь на Коперника, Кеплера, Тихо, Герику, Агриколу, Левенгука, Грю и многих других, которые встретятся нам в этой работе. Университеты относились иногда прямо отрицательно к естественно-научному исследованию. Это имело место в частности в начале нового времени во Франции, где государство и церковь объединились для подавления свободного духовного движения. Тот же роковой для науки союз явился и в Италии препятствием начатому Галилеем и его школой научному движению, так что Италия вскоре должна была уступить руководящее положение,

которое она вначале занимала на духовном поприще, северным европейским странам, в частности Англии и Нидерландам.

Ущерб, причинявшийся науке под влиянием церкви опекой государства, иногда компенсировался тем, что последнее само начинало содействовать развитию науки, когда это сулило ему непосредственные выгоды. Так возникли на средства государства обсерватории, бывшие до тех пор лишь частным любительским делом, а также академии. Из обсерваторий необходимо отметить в особенности парижскую (основанную в 1667 г.) и гринвичскую (основанную в 1675 г.). По их образцу созданы были позже, в XVIII в., берлинская, петербургская и венская обсерватории.

Академии, которым в данном томе посвящена отдельная глава, образовались сначала путем свободного объединения выдающихся исследователей. Правительства поддерживали новые учреждения, от которых они ожидали больших практических результатов, чем от университетов, и брали их большей частью под свое покровительство или основывали новые. Среди академий, основанных в северных странах, следует в особенности упомянуть Royal Society (основанную в 1662 г.) и учрежденную в 1666 г. министром Кольбером Académie des Sciences. В XVIII в. последовало основание академий берлинской (1700 г.) и петербургской (1725 г.). Заслуживает также упоминания первая, исключительно естественно-научная академия, основанная в 1652 г. в Германии под названием Императорской леопольдовской академии, существующая, подобно остальным, до настоящего времени.

К упомянутым средствам исследования надо прибавить выпускающиеся обыкновенно академиями периодические издания, из которых прежде всего необходимо отметить отчеты Royal Society и выходявшие с 1682 г. в Германии «Acta Eruditorum»¹.

Однако особенно характерно для новой эпохи развития естествознания, достигающей кульминационного пункта в работах Галилея, Герики, Кеплера и Ньютона, изобретение важнейших инструментов, служащих расширению наших органов чувств, благодаря чему стало возможным проникнуть гораздо глубже, чем раньше, в сущность явлений. Научные инструменты прежнего времени едва поднимались над уровнем обыкновенных, изготовлявшихся ремесленным путем, орудий. Теперь же мы встречаем значительное количество изготовленных на научных основаниях инструментов, служащих для планомерного исследования.

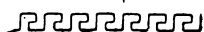
Что могли дать все старания познать природу тепловых явлений до тех пор, пока не существовало термометра? Но он — детище XVII в. Философы сочинили бесконечное множество умозрительных теорий по поводу пустого пространства, сущности воздуха, по вопросу о том, имеет ли он вес или обладает стремлением удалиться от центра Земли. Но вот явился Герике, не придававший никакого значения словесным спорам в области естествознания. Он построил свой воздушный насос и доказал существование атмосферного давле-

¹ См. об этом подробнее ниже.

² Даннеман, т. II.

ния путем знаменитого опыта с магденбургскими полушариями. Он взвесил воздух, исследовал с помощью своего водяного барометра колебания его давления и в состоянии был на основании этого предсказывать погоду. Место водяного барометра занял потом более удобный ртутный барометр. Кроме воздушного насоса, Герике изобрел электрическую машину. Телескоп был поставлен на службу астрономии. Микроскоп открыл биологу новый мир. Наши органы чувств были не только вооружены и усовершенствованы для более высокого порядка работ; были открыты совершенно новые области восприятия, например колебания атмосферного давления, для познания которых мы не обладаем никаким специальным органом чувств: в лучшем случае какое-то смутное чувство заставляет нас догадываться об особенно сильных колебаниях атмосферного давления, между тем как барометр показывает мельчайшее изменение его.

Так, начиная с XVII в. благодаря открытию новых научных инструментов, произошло значительное углубление и расширение картины мира. Понятно, и эти инструменты не в состоянии были снять с вещей их последнего покрывала. Но требовать от них этого значит плохо понимать задачи естествознания. Поскольку всякое исследование является делом рук человеческих, постольку оно связано с физическими и духовными границами человеческого познания. Инструменты доводят нас лишь до этих границ, и подлинное научное исследование всегда сознает наличие их *.



II

НАУЧНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ НОВОГО ВРЕМЕНИ

На самом пороге этого периода мы встречаем два важнейших из изобретенных в новое время инструментов исследования, именно сложный микроскоп и телескоп. Первый был изобретен около 1590 г., второй — около 1608 г.

Уже древние были знакомы с увеличительной силой чечевицеобразных стекол. Точно так же любимым предметом занятий математиков были всегда явления, наблюдаемые на различного рода зеркалах, так как они поддаются объяснению путем геометрического построения. Но соединение нескольких чечевиц (в чем и заключается сущность сложного микроскопа и телескопа) произошло, повидимому, первоначально в результате простой игры случая, а не под влиянием какой-нибудь руководящей теоретической идеи. Хотя история происхождения обоих этих инструментов очень запутана и несколько народов заявляют здесь притязания на приоритет, однако можно считать установленным, что честь обоих изобретений принадлежит голландцам, у которых уже в средние века процветало искусство шлифовки стекол и драгоценных камней и изготовление чечевиц для очков было особым промыслом¹.

Мы зашли бы слишком далеко, если бы захотели заняться здесь рассмотрением всех споров о приоритете открытия². Изобретателями подзорной трубы считались не только Рожер Бэкон (Bacon) и Порта (Porta) на основании нескольких неясных мест в их произведениях, — ее творцом признавали, руководясь словами евангелиста (Евангелие от Матфея 4, 8) даже самого дьявола³. Мы упоминаем об этом не просто ради курьеза, но для того, чтобы показать, как злоупотребляли текстом Библии: примеры этого мы в дальнейшем встретим еще неоднократно. В большинстве случаев

¹ На Нидерланды указывает и древнейшее имеющееся у нас свидетельство о волшебном фонаре. Ср. F. P. Liesegang, *Christian Huygens und die Erfindung der Zauberalaterne* (Deutsche opt. Wochenschrift 1919, стр. 152 и 165).

² Об этом см. Servus, *Die Geschichte des Fernrohrs bis auf die neueste Zeit*. Berlin 1-86. Petri, *Das Mikroskop von seinen Anfängen bis zu seiner jetzigen Vervollkommnung*. Berlin 1896. M. v. Rohr, *Die optischen Instrumente* (Leipzig, Teubner, 1906), а также статьи Порта в „Optischen Wochenschrift“.

³ Соответствующее место писания гласит: „Опять берет его диавол на весьма высокую гору и показывает ему все царства мира и славу их“.

это делалось для того, чтобы помешать росту естествознания, подобно тому как некогда пытались таким путем задержать успехи гуманизма. Благодаря этим стараниям отдельные представители науки подверглись преследованиям, которые, однако, нисколько не отразились на ходе развития самой науки, ведущем из мрака к свету.

У Бэкона речь может идти только о каких-то туманных пророчествах; у Порты же встречаются ясные намеки на то, что при помощи соединения чечевицеобразных стекол можно добиться особенных оптических эффектов; впрочем, у него дело шло, повидимому, об особом рода очках¹. Ошибочные сообщения о том, будто с подзорной трубой были знакомы еще до XVII в., возникли также благодаря тому, что уже в средние века (как, впрочем, и в древности) пользовались при наблюдении небесных светил полыми трубками, чтобы задержать падающий сбоку свет.

Первый сложный микроскоп состоял из комбинации двояковыпуклой и двояковогнутой чечевиц, из которых первая служила объективом, а вторая — окуляром. Весьма вероятно², что этот инструмент был изобретен около 1590 г. голландским шлифовальщиком стекол Захарием Янсеном (Jansen). Один из первых экземпляров его описал Борелий (Borelius). Он был длиною в полтора фута; диаметр трубы равнялся двум дюймам. Если через этот инструмент смотрели на маленькие предметы, положенные на особую подставку, то они казались сильно увеличенными³.

Как известно, современные сложные микроскопы имеют другую конструкцию. Они состоят из двух собирательных чечевиц или двух систем чечевиц, из которых каждая действует как одна собирательная чечевица. Более близкая к предмету чечевица *a* дает действительное изображение, которое рассматривают через вторую чечевицу *b*, как через лупу (рис. 1). Но эта форма микроскопа возникла лишь позже, мы не встречаем ее до второго десятилетия XVII в.

И подзорная труба в своем первоначальном виде, как она вышла, по достоверным свидетельствам, из рук голландского оптика Франца Липперсгея (Lippershey), представляла собой сочетание двояковыпуклой чечевицы, служившей объективом, с двояковогнутой чечевицей, служившей окуляром. Эта комбинация еще и теперь, как известно, называется голландской подзорной трубой, а приспособленная для

¹ Heller, *Gesch. d. Phys.*, I, стр. 384.

Порта в своей „*Magia naturalis*“ указал на лежавшую в основе этого изобретения идею, осуществление которой, однако, ему, повидимому, не удалось. Мы читаем там: „При помощи вогнутых чечевиц можно очень отчетливо видеть далекие предметы; при помощи же выпуклых чечевиц — близкие предметы. Если бы мы умели правильно комбинировать чечевицы обоего рода, то можно было бы отчетливо видеть как далекие, так и близкие предметы“.

² По свидетельству бельгийского посланника Бореля. Документ об этом, написанный по-латыни, перепечатан в „Истории оптики“ Вильде (I, стр. 147).

³ Wilde, *Geschichte der Optik*, т. I, стр. 150.

В Мидельбурге еще и ныне показывают микроскоп, изготовленный будто бы Янсеном. Он принадлежит тамошнему научному обществу. Относительно этого микроскопа и других микроскопов, представляющих исторический интерес, см. отчет Р. Бидерманна о выставке в Южно-Кенсингтонском музее (Берлин 1877, стр. 945).

смотрения обоими глазами, она лежит в основе современных биноклей. И здесь случай привел к открытию: действительно, рассказывают, будто Липперсгей направил свой инструмент на флюгер соседней колокольни и был поражен увеличительным действием его.

В пользу того, что Липперсгей из Миддельбурга был изобретателем подзорной трубы, говорят свидетельства современников, а также официальные документы. В одной такой бумаге, в ответ на ходатайство Липперсгея о выдаче ему привилегии, от него требуют улучшить так свою трубу, чтобы через нее можно было одновременно видеть обоими глазами. Это требование Липперсгей, как говорят, выполнил в декабре 1608 г.; впервые же он послал свой инструмент, согласно новейшим исследованиям¹, осенью 1608 г.

Весть о чудесном изобретении распространилась чрезвычайно быстро. Во Франции уже в ноябре 1610 г. наблюдали при помощи нового инструмента спутников Юпитера. В Италии слухи о замечательном открытии дошли в 1609 г., а в Германии, как передают, подзорные трубы предлагались для продажи уже в 1608 г.²

В Италии, где Галилей (Galilei) находился в расцвете своего творчества, весть о новом изобретении нашла самую подходящую почву. В небольшом произведении, в котором Галилей сообщает о своих первых удачных астрономических открытиях, он сам рассказывает, с каким рвением он принялся за дело. Мы читаем здесь следующее³: «Месяцев десять тому назад до меня дошло известие, будто какой-то нидерландец изобрел инструмент, с помощью которого можно видеть отдаленные предметы столь же отчетливо, как и близкие. Это побудило меня задуматься над тем, как бы мне самому изготовить подобный инструмент. Руководясь законами диоптрики, я пришел к мысли о том, чтобы приделать к концам трубы два стекла — одно плоско-выпускное, другое плосковогнутое. Когда я приблизил глаз к этому последнему стеклу, то я увидел, что предметы приблизились раза в три, а увеличились раз в десять. Так как я не жалел ни труда, ни денег, то мне удалось изготовить такой инструмент, благодаря которому предметы кажутся мне в тысячу раз больше и тридцать раз ближе, чем если рассматривать их невооруженным глазом».

Таким образом подзорная труба, изготовленная Галилеем, была тоже голландской трубой, в то время как настоящая астрономическая труба обладает, подобно сложному микроскопу, двумя собираю-

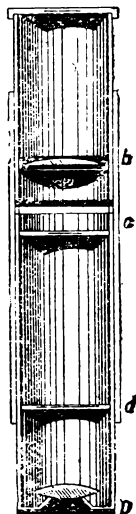


Рис. 1.
Микроскоп,
состоящий из
двух собира-
тельных чече-
виц⁴.

¹ Wolff, Geschichte der Astronomie, стр. 359.

² Heller, Geschichte der Physik, I, стр. 386.

³ Galilei, Sidereus nuntius, 1610. Le opere di Galileo Galilei, Ed. naz. т. 3, ч. I, стр. 60, Firenze 1892.

⁴ Gerland und Trau Müller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst, Leipzig, W. Engelmann, 1899, рис. 109.

щими стеклами. Устройство астрономической трубы описано Кеплером (Kepler) в его «Диоптрике»¹ (рис. 2), крупнейшем из появившихся в начале нового времени произведениях о преломлении света.

В последней части «Диоптрики» Кеплер занимается вопросом о действии различных сочетаний стекол. Уже первая рассматриваемая здесь задача содержит способ построения астрономической трубы. Задача эта гласит: «С помощью двух двояковыпуклых стекол получить отчетливые, большие, но обратные изображения»². Кеплер допускает, что стекло AB , служащее объективом, находится на таком расстоянии от предмета CE , что обратное изображение последнего получается неотчетливым. Если теперь между глазом и этим неотчетливым изображением, недалеко от последнего, поставить второе собирающее стекло OP , то оно сделает исходящие от D и E лучи сходящимися и даст благодаря этому отчетливое изображение. Это порожденное окуляром изображение будет казаться, как доказывает Кеплер, больше, чем изображение, которое получило близкое к глазу стекло OP от более далекого стекла AB ³.

Астрономическая труба вскоре вытеснила голландскую, потому что она обладает двумя преимуществами: во-первых, астрономическая труба имеет большее поле зрения; во-вторых, она позволяет применение нитяного креста, с которым можно привести в совпадение получающееся между объективом и окуляром действительное изображение.

Кеплер доказал также, что можно при помощи третьего двояковыпуклого стекла правратить обратное изображение, даваемое астрономической трубой, в прямое⁴. Но замечательно, что названная по его имени астрономическая труба была впервые изготовлена не им самим, а несколько лет спустя, по указанию «Диоптрики», Шейнером (Scheiner), с которым мы еще встретимся в жизнеописании Галилея. Шейнер⁵ же впервые изготовил земную трубу, состоящую из трех двояковыпуклых стекол.

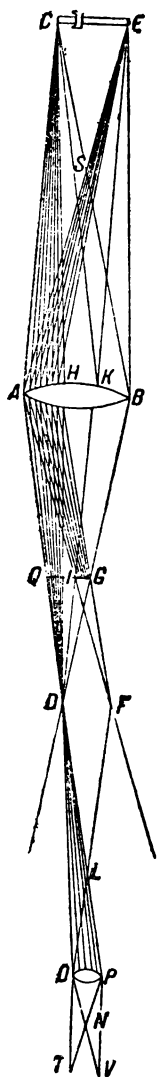


Рис. 2. Кеплеровский способ конструкции астрономической трубы (из «Диоптрики» Кеплера).

¹ Johannis Kepleri, Dioptrice, 1611. Kepleri, Opera omnia (ed. Frisch), II, стр. 515 и след.

² Dioptrice, Problema LXXXVI. Duobus convexis majora et distincta praestare visibilia, sed everso situ.

³ Ostwalds Klassiker, т. 144, стр. 49.

⁴ «Диоптрика» Кеплера, задача 89; она гласит: Tribus convexis erecta et distincta et majora praestare visibilia (с помощью трех двояковыпуклых стекол получить прямые, отчетливые и большие изображения).

⁵ Как он сообщает в своем произведении „Rosa-Ursina“. Об этом см. ниже.

Кеплер дал также в своей «Диоптрике» первую теорию голландской трубы, состоящей из соединения двояковыпуклого стекла с двояковогнутым (рис. 3). Действительно, он показал, что неясные изображения, получающиеся от двояковогнутого стекла (LM), помещенного непосредственно перед глазом, становятся отчетливыми и большими, если поместить на определенном расстоянии перед двояковогнутым стеклом двояковыпуклую чечевицу (NO)¹.

В связи с этим доказательством стоит теорема (см. тот же рис. 3), что лучи, превращаемые двояковыпуклым стеклом NO в сходящиеся и падающие еще до своего пересечения на двояковогнутое стекло LM , преломляются таким образом, что либо точка пересечения их перемещается дальше (в A), либо лучи становятся параллельными ($A'A''$), либо, наконец, они делаются расходящимися (ξK).

Кеплер объясняет далее, как путем сочетания двояковогнутого стекла с двояковыпуклым можно получить действительные изображения, которые больше, чем изображения, получаемые при помощи одной только двояковыпуклой чечевицы. Эта, предложенная Кеплером, комбинация стекол (рис. 4) легла в основу лишь недавно изобретенного телеобъектива. Кеплер рассматривает ход трех пучков лучей, исходящих от точек C , A , E предмета. Двояковогнутое стекло помещают на таком месте, на котором двояковыпуклая чечевица GH дала бы неясное изображение. Двояковогнутое стекло (IN) перехватывает пучки лучей недалеко от их соответственных вершук, перед ними, и заставляет их сходиться в новых вершук S , P , T ; благодаря этому получается отчетливое действительное изображение, которое больше, чем изображение, получаемое в F , B , D при помощи одного только двояковыпуклого стекла.

Кроме приведенных здесь важных теорем о действии различных сочетаний чечевиц, Кеплер приводит еще массу других, для ознакомления с которыми мы вынуждены, однако, отослать читателя к «Диоптрике». Так, например, для укорочения подозрительной трубы он советует взять в качестве объектива два одинаковых собирательных стекла, расположенных по возможности ближе друг за другом. Кеплеру же принадлежит мысль сделать выдвижной трубу телескопа, чтобы приспособить ее к глазу².

Невозможно указать точно год, когда была практически осуществлена идея астрономической или кеплеровой трубы. Труба эта была изготовлена между 1613 и 1617 гг. и, как было уже упомя-

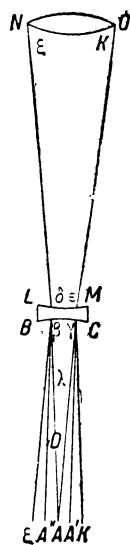


Рис. 3. Рисунок Кеплера, объясняющий устройство голландской трубы.

¹ Ostwalds Klassiker, 144. (Keplers Dioptrik oder Schilderung der Folgen, die sich aus der unlängst gemachten Erfindung der Fernrohre für das Sehen und die sichtbaren Gegenstände ergeben, 1611. Übersetzt von F. Plehn, Leipzig, W. Engelmann, 1904), стр. 61.

² Ostwalds Klassiker, 144, стр. 72.

нуто, Шейнером¹. Последнему вместе с Кеплером принадлежат величайшие заслуги в деле обоснования оптики, а также изобретения и улучшения оптических инструментов в эпоху возрождения естествознания. Шейнер, далее, один из первых применил подзорную трубу к астрономическим наблюдениям. В апреле или мае 1611 г. он заметил солнечные пятна, наблюдавшиеся почти в то же самое время Фабрицием (Fadradius) и Галилеем². Если ему не принадлежит приоритет этого открытия, то все же он произвел в течение ряда лет несколько тысяч наблюдений над этим новым, вызвавшим к себе такой интерес явлением. Эти наблюдения были бы невозможны, если бы Шейнер первый не приспособил к подзорной трубе особых заслонов от света. Они представляли собой шлифованные цветные пластинки, которые он укрепил перед чечевицами своей трубы. От своей первоначальной попытки изготовить самые чечевицы из цветного стекла, чтобы таким образом ослабить свет, он вскоре отказался. Галилей ослеп, может быть, от того, что он не пользовался еще заслонами от света³.

В 1630 г. Шейнер опубликовал под названием «*Rosa Ursina*»⁴ книгу, содержащую в себе изложение результатов его наблюдений. О ней речь еще будет в другом месте. Здесь мы укажем лишь на то, что в этом произведении впервые упоминается о сделанном Шейнером изобретении астрономической трубы, состоящей из двух двояковыпуклых стекол. Как было выше упомянуто, уже Кеплер указал на возможность подобной комбинации, но осуществлением этой идеи и первым применением ее мы обязаны Шейнеру. В «*Rosa Ursina*» он рассказывает, что за 13 лет до того (т. е. в 1617 г.) он показывал императору при помощи нового инструмента солнечные пятна.

Шейнер воспользовался также особой комбинацией стекол, которую он назвал гелиоскопом, для того чтобы представить объективным образом астрономические явления. Так, например, он сумел показать солнечные пятна одновременно значительному числу лиц, направив свой гелиоскоп из темной комнаты на солнце и поместив

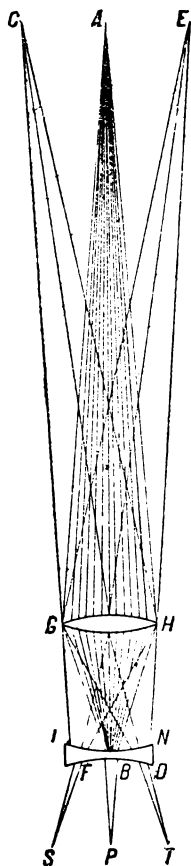


Рис. 4. Телеобъектив Кеплера.

¹ Христофор Шейнер родился в 1575 г. в небольшом швабском местечке 20 лет от роду он вступил в орден иезуитов. Он преподавал математику в Ингольштадте и Риме и умер в 1650 г. ректором одного иезуитского учебного заведения.

² Подробнее об этом см. дальше.

³ Humboldt, Kosmos, 111, 383.

⁴ Rosa — это символическое название солнца. Прилагательное Ursina указывает на то, что Шейнер посвятил свою книгу герцогу Орсини, оказавшему ему поддержку в его исследованиях.

сзади инструмента белый экран, на котором появилось изображение солнечного диска с его пятнами.

При таком состоянии оптических исследований вполне естественно, что ученые обратились к изучению глаза и процесса зрения. Так, Шейнер доказал сходство глаза с камер-обскурой при помощи следующего опыта. Удалив с задней стенки бычьего глаза все оболочки вплоть до сетчатки, он поместил на некотором расстоянии от препарированного таким образом глаза горящую свечу. Тогда можно было, стоя сзади глаза, наблюдать на сетчатке обратное изображение пламени свечи¹. Впоследствии (1625 г.) Шейнер произвел с одинаковым успехом тот же самый опыт с ~~человеческим~~ человеческим глазом.

При своих занятиях оптическими вопросами Шейнер исходил из той мысли, что глаз — это построенный согласно принципам оптики орган и что поэтому он особенно пригоден для изложения основ начал оптики. Так возникло произведение, содержащее в себе вышеупомянутые наблюдения и самим своим названием выражающее основную идею Шейнера (*Oculus, hoc est fundamentum opticum*). Книга Шейнера имела основоположное значение для физиологической оптики.

Шейнер начинает с подробного анатомического описания глаза. Затем у него идет исследование способности преломления различных средин, через которые должны пройти по своему вступлению в глаз лучи прежде, чем они попадут на сетчатку. Сетчатка представляет, по Шейнеру и Кеплеру, подлинное местопребывание способности зрения, вразрез с прежними взглядами, согласно которым восприятие изображения происходит в стекловидном теле или даже хрусталике. Шейнер показал, что способность преломления водянистой влаги почти равна способности преломления воды, а способность преломления хрусталика — соответствующей способности стекла, между тем как величина способности преломления стекловидного тела имеет промежуточное между ними значение. Далее Шейнер рассматривает ход светового луча от вступления его в глаз до пересечения с сетчаткой. Названия соответствующих глав дают лучше всего представление о характере исследования Шейнера и о том, с какой подробностью он развивает его. Вот эти заголовки: Преломление светового луча при переходе его из воздуха в роговую оболочку, Преломление при переходе из роговой оболочки в водянистую влагу, Сравнение плотностей составляющих глаз средин, Преломление света при переходе его из водянистой влаги в хрусталик, Преломление на границе хрусталика и стекловидного тела и, наконец, Преломление на границе стекловидного тела и сетчатки².

Далее Шейнер первый дал удачный ответ на вопрос, почему глаз способен отчетливо видеть как близкие, так и далекие предметы.

¹ Scheiner, *Oculus, hoc est fundamentum opticum*, 1619.

² Scheiner, *Oculus, Liber III. Pars I. Cap. VI. Refractio radli visorii ex aëre in tunicam Corneam. VII. Refractio e Cornea in humorem Aqueum. Cap. VIII. Densitas humorum oculi comparata. Cap. IX. Refractio radli ex Aqueo humore in Crystallinum. Cap. X. Refractio ex crystallino humore in Vitream. Cap. XI. Refractio e Vitreo humore in tunicam Retinam.*

Эту так называемую способность аккомодации Шейнер объяснял изменением формы хрусталика: для близких предметов хрусталик становится более выпуклым, для более далеких он уплощается.

Из многочисленных опытов Шейнера над зрением упомянем лишь следующий. В листе бумаги прокалывают иглой множество мелких отверстий, расположенных столь близко друг от друга, что получившаяся фигура по величине не больше зрачка. Если теперь приблизить лист к глазу и поместить сзади него какой-нибудь предмет, например острие иглы, то видно столько изображений острия, сколько есть в бумаге отверстий. Это явление объясняется тем, что исходящие от острия иглы лучи пересекаются либо перед сетчаткой, либо позади нее.



III

ГАЛИЛЕЙ И ЕГО ТВОРЧЕСТВО

В Италии произошло возрождение античности; в ней же Галилей и его ученики заложили основы современного естествознания. Италия в эпоху, когда стал рассеиваться мрак средневековья, распадалась на множество республик и княжеств, боровшихся между собой путем войн и мирной конкуренции за гегемонию. Эти мелкие государства жили главным образом торговлей и промышленностью. С тех пор, как итальянские моряки стали пользоваться компасом и географическими картами, развилась обширная торговля с ближним Востоком, повлекшая за собой расцвет художественной промышленности. Венецианские изделия из стекла, а также майолики и металлические изделия других итальянских городов не имели себе соперников. На этой почве выросло также художественное творчество Леонардо да-Винчи, Рафаэля и Микель Анджело, а до них, в начале этой эпохи, бессмертные произведения Данте и Петрарки. По мере того как искусство начало приближаться к закату, стал расправлять свои крылья научный дух. В тот самый день, в который Микель Анджело закрыл навеки свои глаза, Галилей увидел свет. Природа, по словам Либри¹, как бы хотела этим указать, что искусство уступило свой трон науке.

ЖИЗНЬ И ХОД РАЗВИТИЯ ГАЛИЛЕЯ

Галилео Галилей² родился в Пизе 18 февраля (по ст. ст.), а согласно новейшим исследованиям, вероятно, 15 февраля 1564 г. В средние века Пиза была свободным городом; в эпоху Галилея она находилась под владычеством флорентинцев, управлявших

¹ Libri, Histoire des sciences mathématiques en Italie, т. 3, стр. 231.

² В своих „Этюдах о Галилее“ Э. Вольвиль (E. Wohlwill) говорит о многочисленных подробностях, касающихся жизни Галилея („Mitteilungen zur Gesch. der Med. u. Naturwissensch.“). Вольвиль подвергает здесь критическому анализу ряд сведений, сообщаемых биографами Галилея. Первым из них является Николай Герардини (Niccolo Gherardini). Он познакомился с Галилеем в 1633 г. и 15 лет спустя после смерти Галилея выпустил его биографию. Жизнеописанием Галилея мы обязаны также одному ученику его, Винченцо Вивiani (Vincenzio Viviani). Биография эта носит следующее название: *Racconto istorico della vita di Galileo Galilei*.

Произведенный Вольвилем анализ биографии Галилея, написанной Вивiani, показал, что к сведениям сообщаемым последним, надо относиться с осторож-

тогда герцогами из знаменитого дома Медичи. Отец Галилея, Винченцо Галилей, обедневший дворянин, страстно любил музыку и математику. Вероятно, от него Галилей унаследовал свои духовные способности, свою склонность к естествознанию и отвращение к вере в авторитеты. В этом отношении любопытно то, что уже отец Галилея любил литературную форму диалога и написал диалог о старой и новой музыке, в котором — что тоже характерно — он высказывался против апеллирования к авторитетам.

Молодой Галилей выделялся среди сверстников своей любознательностью, а также самостоятельностью мышления. В Пизе он сперва отдался изучению медицины, которая в своем тогдашнем состоянии вряд ли могла приковать к себе человека с такими духовными задатками, как Галилей. Рассказывают, будто он подслушивал за дверью лекции одного математика и старался перехватить у его слушателей кое-какие крохи его преподавания. Когда профессор узнал об этом, он заинтересовался молодым человеком и постарался, чтобы Галилей променял изучение медицины на занятия математикой и физикой.

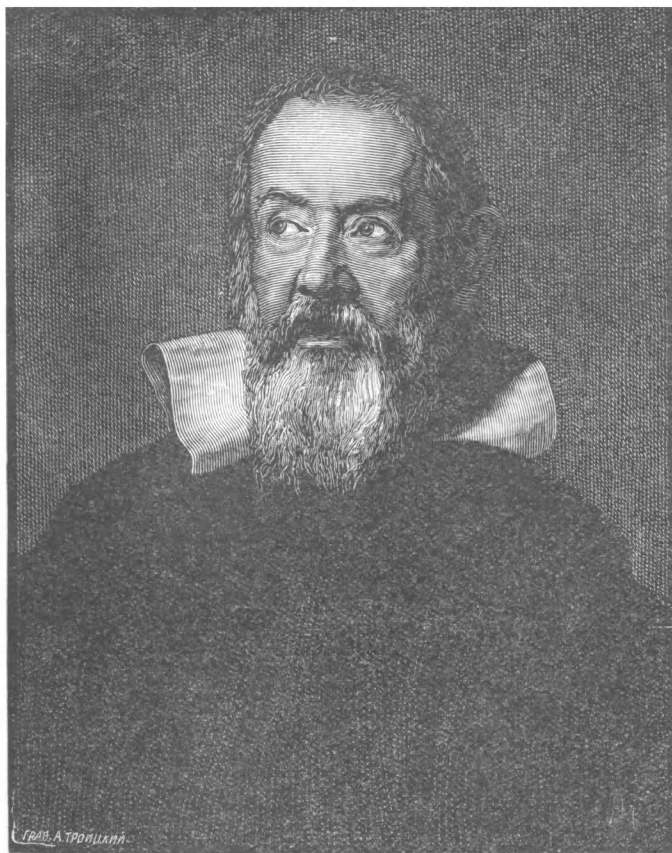
В области физики тогда царили никем еще не оспариваемые теории Аристотеля. В Италии в то время их чтили, как Евангелие¹. Когда Галилей стал читать Аристотеля, то он уже составил себе свои собственные взгляды относительно многих явлений природы и был крайне изумлен, найдя, что они очень мало гармонируют с господствовавшими тогда учениями греческого философа. При дальнейшем анализе это изумление превратилось в сомнение, уступив под конец место полному отказу от старых, неправильных по его мнению взглядов.

Двадцати пяти лет от роду Галилей занял кафедру, заявив себя публично противником аристотелевой физики. Так как при этом он выступал с большой смелостью, ставя свое собственное научное убеждение выше авторитетов, то с течением времени его пребывание в Пизе, где его за упорную защиту своих взглядов называли «спорщиком», стало невозможным. Поэтому он с радостью принял приглашение венецианского сената в падуанский университет, где в декабре 1592 г. он прочел свою вступительную лекцию.

Склонность Галилея обосновывать свои взгляды собственными наблюдениями и целесообразно придуманными опытами обнаружилась уже в первые годы его деятельности в Пизе. Так, взяв дерево, мрамор и свинец и наблюдая их падение со значительной высоты, он показал, что вопреки учению Аристотеля время падения для тел различного веса одинаково. «Меня мало интересует — говорит

ностью. Работа Вивiani, как и многие аналогичные, составленные учебниками биографии, страдает тем недостатком, что в ней объективность изложения приносится в жертву благоговейному настроению биографа. Вольвиль пришел к тому результату, что, если сведения Вивiani не подтверждаются другими свидетельствами, то к ним нельзя относиться с полным доверием. Однако Вольвиль, на наш взгляд, заходит слишком далеко, когда он обвиняет Вивiani в умышленных извращениях и утверждает, например, будто он приписал Галилею изобретение часов с маятником, изобретенных, вероятно, самим Вивiani.

¹ П. Дюгем (P. Duhem) написал ряд исследований о предшественниках Галилея. См. об этом также первый том настоящего труда.



ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ

1564—1642

он в своей юношеской работе, трактующей о падении тел (*De motu gravium*) то обстоятельство, что это противоречит взгляду многих лиц, раз это согласуется с разумом и опытом».

Говорят, будто поводом для его исследований о движении маятника (о них речь будет ниже) было наблюдение того, как лампы стали качаться от сквозняка. Рассказывают, будто Галилей, наблюдая люстру, качавшуюся на длинной цепи в соборе его родного города, определил время колебания ее по числу ударов своего пульса и установил таким образом изохронизм качания маятника, т. е. тот факт, что при неизменной длине маятника колебания большей или меньшей амплитуды происходят в одинаковое время.

В этот период духовного роста Галилея источником научных импульсов для него служили главным образом Евклид, Аполлоний и Архимед. Но вскоре из ученика он превратился в мастера, опередившего своих учителей. Галилей видел свою задачу не в штудировании древних авторов, а в содействии дальнейшему развитию науки. Там, где наступил застой, нужно было двинуть вперед познание, проложив новые пути и создав лучшие методы исследования. Галилей с момента получения кафедры в Падуе все ревностнее работал в этом направлении. Уже с ранних пор он стал сторонником коперникова учения. Действительно, в одном письме к Кеплеру от 1597 г. он признается, что «уже много лет» является приверженцем нового мировоззрения.

Письмо это, в котором он благодарит Кеплера за пересылку ему «*Prodromus*», первых работ великого немца, так характерно для отношения обоих ученых к их современникам, что мы здесь приведем его в отрывке: «Я считаю себя счастливым, — пишет Галилей, — что в поисках истины нашел столь великого союзника. Действительно, больно видеть, что есть так мало людей, стремящихся к истине и готовых отказаться от превратного способа философствования. Но здесь не место жаловаться на печальное состояние нашего времени, я хочу лишь пожелать тебе удачи в твоих замечательных исследованиях. Я делаю это тем охотнее, что уже много лет являюсь приверженцем учения Коперника. Оно объяснило мне причину многих явлений, совершенно непонятных с точки зрения общепринятых взглядов. Для опровержения последних я собрал множество аргументов, но я не решаюсь опубликовать их. Конечно, я решился бы на это, если бы было больше таких людей, как ты. Но так как этого нет, то я держу себя осторожно»¹.

Галилей имел все основания быть осторожным, ибо год спустя, после того как им были написаны эти строки, Джордано Бруно (*Bruno*), вдохновенный защитник учения Коперника, был выдан римской инквизиции, уготовившей ему впоследствии за его смелость костер².

Освобождение от уз схоластики нашло свое выражение также в том, что хотя Галилей владел латынью, языком средневековья, но

¹ Galilei, Opere complete ed. Alberi, VI, стр. 11—12.

² Впрочем, не только за его симпатии к учению Коперника.

в устном преподавании и в своих сочинениях пользовался большей частью итальянским языком. Однако благодарна за это была ему лишь любознательная молодежь, стекавшаяся толпой на лекции вдохновенного провозвестника нового времени. По рассказу Вивiani, среди слушателей Галилея в Падуе был и Густав-Адольф, тогда еще наследный принц¹.

Столкновение между Галилеем и схоластиками произошло в 1604 г., когда внезапно появилась новая звезда, о которой так подробно сообщают нам Кеплер и Фабриций (см. об этом ниже). Так как по учению Аристотеля небо неизменно и сфера изменчивости начинается лишь ниже Луны, то новую звезду поместили в эту сферу. Против этого выступил Галилей, указавший на основании тех же соображений, что и Кеплер, что новое небесное светило должно находиться далеко за сферами планет, среди неподвижных звезд.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОТКРЫТИЯ ГАЛИЛЕЯ

Мы видели, какова была роль Галилея в истории изобретения подзорной трубы. Изобретение этого инструмента побудило его отдаться с 1608 г. с большим жаром и успехом астрономическим наблюдениям. Особенную важность имело открытие Галилеем четырех небольших спутников Юпитера. В системе Юпитера и его спутников он видел доказательство правильности мировоззрения Коперника².

«Я вне себя от изумления, — писал тогда Галилей — и бесконечно благодарен богу, что ему угодно было дать мне открыть столь великие и оставшиеся до сих пор неизвестными чудеса. Я уже успел убедиться, что Луна представляет собой тело, подобное Земле. Точно так же я открыл массу никогда еще до сих пор невиденных неподвижных звезд, число которых более чем в десять раз превосходит число звезд, наблюдаемых невооруженным глазом, и я знаю теперь, что такое Млечный Путь. Далее, я нашел, что Сатурн состоит из трех шаров, которые почти соприкасаются между собою, никогда не изменяют своего положения друг относительно друга и расположены вдоль зодиака в виде ряда ○○○, причем средний шар втрое больше двух других»³.

О том, с каким равнодушным и упорным непризнанием были встречены тогда эти величайшие открытия, свидетельствует одно место из письма Галилея к Кеплеру. Это место гласит: «Когда я че-

¹ Рассказ этот не подтверждается другими свидетельствами. По новейшим исследованиям, он просто сочинен, чтобы окружить Галилея особенным ореолом. Согласно Вольвилю (Galilei-Studien. „Mitteil. zur Gesch. d. Med. u. Naturwissensch.“, IV, № 27, стр. 247), Густав-Адольф даже никогда не был в Италии.

² Галилей увидел сперва трех спутников: это было 7 января 1610 г.; несколько дней спустя он заметил всех четырех. После этого он в течение нескольких месяцев следил за их движениями, определив их очень точно. В честь дома Медичи Галилей назвал спутников Юпитера „Медицейскими звездами“. К концу 1610 г. Галилей открыл фазы Венеры.

³ Из книги Фаброни (Fabroni) „Lettere inedite d'uomini illustri, Florenz 1773“, переведенной на немецкий язык К. Ягеманном. См. Geschichte des Lebens und der Schriften des Galilei von C. J. Jagemann, Weimar 1783.

рез мою трубу хотел показать профессорам флорентинской гимназии спутников Юпитера, то они отказались посмотреть и на них и на трубу. Эти люди думают, что истину следует искать не в природе, а в сличении текстов»¹.

Более подробно Галилей сообщает о своих астрономических открытиях в «Звездном вестнике»², книге, вызвавшей огромный интерес, но создавшей ему также массу противников.

Дальнейшим аргументом в пользу коперниковой системы было открытие, что планета Венера изменяет, подобно Луне, фазы. Наблюдаемая в трубу, она имела вид то яркого диска, то полукруга или серпа. Последнее имело место тогда, когда она обращала к наблюдателю не всю свою освещенную Солнцем половину. Установление этого факта представляло одно из тех доказательств правильности нового учения, которых противники Коперника требовали от сторонников его. Зато неподвижные звезды предстали перед Галилеем в виде ярких точек; такими же они остались до сегодняшнего дня, несмотря на весь рост увеличительной силы телескопа. Как только Галилей направил свою трубу на небо, он убедился, что число неподвижных звезд во много раз превосходит число их, видимых невооруженным глазом³.

Честь открытия солнечных пятен Галилей должен был, однако, разделить с несколькими современными ему астрономами⁴. Кеплер наблюдал даже солнечные пятна особым способом, не пользуясь вовсе подзорной трубой⁵. Выведенное из движения пятен заключение, что Солнце вращается вокруг себя, было дальнейшим доводом в пользу нового мировоззрения.

В то самое время, когда Галилей начал свои астрономические открытия, немец Иоанн Фабриций⁶ тоже направил на небо незадолго до того изобретенную в Голландии подзорную трубу. Фабрицию же принадлежит первенство открытия солнечных пятен, относительно которого завязался ожесточенный спор между Галилеем и Шейнером. В вышедшем в 1611 г. сочинении⁷ Фабриций следующим образом рассказывает о своем наблюдении: «Рассматривая внимательно край Солнца, я заметил неожиданно черное пятно. Сперва я подумал, что это проходило облако. Но на следующее утро, лишь только я взглянул в трубу, пятно показалось снова, однако оно

¹ По А. Ганшманну (A. B. Hanschmann) Bernhard Palissy als Vater der induktiven Wissenschaftsmethode. Leipzig 1903, стр. 145.

² Sidereus nuntius, Венеция 1610. Это сочинение находится в третьем томе полного собрания сочинений Галилея, изданного Альберти.

³ Так, в созвездии Плеяд он насчитал 40 звезд, в то время как невооруженный глаз видит их лишь 6. Луна, которую аристотелики считали диском, оказалась обладающей, подобно нашей Земле, горами и долинами; Галилей сумел даже вычислить высоту лунных гор на основании длины их тени.

⁴ Фабриций и Шейнер.

⁵ См. ниже в главе о Кеплере.

⁶ Gerhard Berthold, Der Magister Johann Fabricius und die Sonnenflecken, Leipzig 1894.

⁷ De maculis in sole observatis, Wittenberg 1611. Это крайне редкое, написанное по-латыни произведение перепечатано в вышеупомянутом сочинении Г. Бертольда.

как будто изменило несколько свое положение. После этого в течение трех дней было пасмурно. Когда снова прояснилось, пятно передвинулось с востока на запад, а его место заняли несколько новых меньших пятен. Вслед за этим большое пятно постепенно скрылось за противоположным краем Солнца. По движению меньших пятен было видно, что им предстоит та же участь. Какая-то неопределенная надежда заставила меня ожидать возвращения пятен, и, действительно, через 10 дней большое пятно стало сызнова показываться на восточном крае Солнца».

Среди астрономов, открывших самостоятельно солнечные пятна, кроме Галилея и Фабриция, следует назвать также Шейнера¹. О своих наблюдениях он писал в нескольких письмах, адресованных бургомистру Аугсбурга²; в этих письмах сообщалось, что в апреле 1611 г. он наблюдал темные пятна на солнечном диске. Бургомистр, желая узнать мнение Галилея об этом, переслал ему письмо Шейнера; Галилей ответил ему, что наблюдал это самое явление уже в октябре 1610 г. и показал его также другим лицам. Шейнер не был уверен, находятся ли пятна на самом Солнце или непосредственно над ним. Несмотря на это, он на основании их движения, за которым он следил с величайшей настойчивостью, умозаключил, что Солнце вращается вокруг себя. Первоначально он думал, что имеет здесь дело с оптической иллюзией или с каким-то недостатком своего инструмента. Лишь после того, как он направил восемь подзорных труб на Солнце, причем он неизменно находил вместе с приглашенными им свидетелями одну и ту же картину, он счел себя в праве сделать окончательный вывод.

Для объяснения этого своеобразного явления были предложены и подробно рассмотрены две гипотезы. Либо пятна принадлежат Солнцу — эту точку зрения занимал с самого начала Фабриций; либо это темные, вращающиеся вокруг Солнца тела. Эта вторая гипотеза находила приверженцев особенно среди тех астрономов, которые хотели примирить новооткрытое явление с аристотелевым учением о чистоте Солнца. Дальнейшие наблюдения дали, однако, победу первой точке зрения. Хотя вопрос о происхождении пятен оставался все еще нерешенным, но после того как было признано, что они являются частями Солнца, ученые, не колеблясь, сделали на основании их движения вывод о вращении Солнца вокруг своей оси, а также определили продолжительность этого вращения и положение солнечного экватора.

Около этого же времени были открыты первые туманности, и прежде всего те из них, которые при совершенно прозрачном воздухе представляются невооруженному глазу в виде каких-то крайне бледных мерцаний света. Это — туманности в созвездии Ориона и Андромеды. О туманности Ориона упоминается впервые в 1618 г. Туманность Андромеды открыл Симон Мариус (Marius) в 1612 г.

¹ См. стр. 24.

² К Марку Вельверу. Письма были датированы ноябрем и декабрем 1611 г. и подписаны псевдонимом „Apelles latens post tabulam“.

НАУКА И ЦЕРКОВЬ

Благодаря этой массе астрономических открытий в центре научных споров стал вопрос о правильности системы Коперника. В Италии все фанатики, сторонники схоластики и лица, завидовавшие славе Галилея, объединились, чтобы погубить великого исследователя под тем предлогом, будто основанное Коперником и защищаемое Галилеем учение противоречит священному писанию. Это одна из самых печальных страниц в истории науки. Никто не заклеил с большей меткостью этих мнимо религиозных попыток задержать прогресс науки, чем сам Галилей. По этому вопросу он высказался в одном письме, из которого мы приведем здесь некоторые отрывки¹:

«Мы сообщаем о новых открытиях не для того, чтобы посеять смуту в умах, а чтобы просветить их, не для того, чтобы разрушить науку, а чтобы поистине обосновать ее. Наши же противники, прикрываясь, как щитом, лицемерным религиозным рвением и унижая священное писание до роли служанки своих домыслов, называют все то, чего они не могут опровергнуть, ложью и ересью.

Тот, кто стал бы придерживаться буквального грамматического смысла Библии, должен был бы уличить ее в противоречиях, когда она говорит о глазе, руке или гневе божьем. Но если мы понимаем, что подобные выражения — результат приспособления к умственному уровню народа, то тем более надо помнить это, когда дело идет о вопросах, недоступных пониманию толпы и не касающихся спасения души, например вопросов, относящихся к области естествознания. Здесь надо исходить не из авторитета Библии, а из опыта и логического рассуждения. Так как в Библии о многом говорится образно и иносказательно, то не следует подвергать сомнению то, что доставляется нам опытом и логическим рассуждением, при помощи мест из священного писания, имеющих двойкий смысл. Прежде всего следует убедиться в наличии факта: Библия не может противоречить ему, ибо это значило бы, что бог противоречит самому себе. Библия выражается в соответствии с тогдашним пониманием положения вещей народом. Если бы она приписала Земле движение, а Солнцу покой, то это было бы недоступно разумению толпы.

Но где же библия обсуждает новое учение? Те, кто руководствуется иными принципами и вместо того, чтобы толковать смысл писания на основании доказанных фактов, предпочитает насиловать природу, отрицать опыт, пренебрегать логическим рассуждением, те ставят на карту авторитет Библии.

Что касается запрещения самой науки, то это шло бы вразрез с Библией, которая в сотнях мест говорит о том, что слава и величие божие проявляются чудесным образом во всех его творениях и что

¹ В переводе Морица Каррьера.
См. Carrière, Die philosophische Weltanschauung der Reformationszeit, Stuttgart und Tübingen 1847, стр. 139.

прежде всего их можно прочесть в открытой книге неба. И пусть не думают, будто чтение возвышеннейших мыслей, начертанных на этих страницах, сводится просто к тому, чтобы глазеть на блеск небесных светил. Здесь скрыты столь глубокие тайны и столь возвышенные мысли, что, несмотря на старания сотен остроумнейших мыслителей, трудившихся в течение тысяч лет, еще не удалось проникнуть в них, и радость творческих исканий и открытий все еще продолжает существовать».

Несмотря на все усилия и попытки компромисса, предпринятые Галилеем для спасения гелиоцентрического мировоззрения, возведенные на него фанатическими монахами обвинения были, наконец, услышаны при папском дворе, где первоначально к нему относились благосклонно.

В 1616 г. были запрещены все сочинения, высказавшиеся в пользу учения о движении Земли. Галилею было приказано отказаться от своих взглядов; во всяком случае он должен был воздержаться от того, чтобы защищать или преподавать эти теории. В случае нарушения этого запрета ему грозило тюремное заточение. Что касается творения Коперника, то оно подверглось соответствующей переработке. Относящийся к этому декрет гласил: «Утверждать, будто Солнце находится неподвижно в центре мира, бессмысленно, в философском отношении ложно и совершенно еретично, ибо это прямо противоречит священному писанию. Утверждать, будто Земля не находится в центре мира и обладает даже суточным вращением, в философском отношении ложно и по меньшей мере является ошибочным верованием».

По иронии судьбы в то же самое время, когда Галилей вел эту борьбу против невежества и слепой веры в авторитет, Иоганн Кеплер возвел гелиоцентрическую систему, в которой до тех пор были еще некоторые недочеты, на высоту вполне обоснованной теории.

Когда появился вышеупомянутый декрет, Галилей уже не преподавал больше в Падуе. Во Флоренции в это время вступил на престол государь, преподавателем которого был Галилей, когда тот еще был только наследным принцем. Герцог хотел показать свою благодарность учителю и желал, чтобы тот работал на родине, украшением которой он являлся. Галилей охотно вернулся во Флоренцию, так как с его новым назначением не была связана обязанность читать лекции, и он мог отдаться исключительно научной деятельности. Благодаря этому он более десяти лет спокойно занимался наукой. Хотя за это время умер его великодушный покровитель, но в самом Риме обстоятельства сложились для него более благоприятно, так как в лице Урбана VIII (Urban) на папский престол вззошел человек, живо интересовавшийся астрономической наукой. Урбан сочинил даже стихи в честь открытия спутников Юпитера и вообще относился очень благожелательно к Галилею. Однако все усилия последнего убедить папу в истинности учения Коперника и добиться отмены церковного постановления от 1616 г. оказались тщетными.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ГАЛИЛЕЯ В ПОЛЬЗУ УЧЕНИЯ КОПЕРНИКА

Между тем Галилей в тиши своей виллы написал «Диалог об обеих важнейших системах мира» — книгу, представляющую блестящую защиту коперникова учения¹.

Диалог, состоящий из четырех обширных разговоров, или дней, как выражается Галилей, представляет одно из замечательнейших произведений человеческой мысли. В нем не просто разбирается вопрос, какая из обеих систем мира истинная, а излагается новый метод научного исследования и мышления, диаметрально противоположный традиционному методу. Дух, которым пропитана эта книга, означает преодоление прежней стадии развития, шаг человечества вперед по пути мышления, хотя многое из излагаемого Галилеем имелось уже в зачаточном состоянии до него. Поэтому диалог Галилея с правом был назван одним из важнейших документов в истории человеческого духа.

Форму диалога Галилей избрал в этом, как и в позднейших произведениях, отчасти из эстетических, отчасти из дидактических соображений. Может быть также, образцом для него послужили диалоги Платона. Кроме того диалогическая форма изложения подсказывалась практическими соображениями. Из лиц, ведущих разговор, Сальвиати и Сагрето — друзья и сторонники Галилея, которым он воздвигнул в «Диалоге» памятник, сделав их выразителями своих взглядов. Симплиций, выдуманное лицо, является представителем пышно процветавшей в эпоху Галилея и слепо признававшей только авторитет книжной учености².

В первом разговоре критически разбирается учение Аристотеля об особенной природе небесных тел, диаметрально противоположной природе всего земного. Появление новых звезд и солнечные пятна являются в глазах Галилея важным аргументом против теории Аристотеля о неизменности неба. Против утверждения Аристотеля о совершенной шарообразной форме небесных светил Галилей выдвигает факт открытия им гор на Луне. Кроме того неизменность, вечность является, по его мнению, атрибутом всякой материи, а не одной только небесной. «Я никогда не мог представить себе, — говорит он устами Сальвиати, — такое превращение веществ друг в друга, при котором одно тело признается уничтоженным и из него получается другое тело, совершенно отличное от первого. Я считаю возможным, что превращение сводится просто к изменению взаимного расположения частей, причем ничто не уничтожается и ничего нового не порождается».

¹ Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das Ptolemäische und das Kopernikanische, von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen übersetzt und erläutert von Emil Strauss, Leipzig, B. G. Teubner, 1891.

Оригинал носит следующее название: Dialogo di Galilei sopra i due massimi sistemi del mondo, Tolemaico e Copernicano, MDCXXXII.

² Как это бывает часто, «школа» была более ограниченной и непримиримой, чем учитель, и многое, что она выдавала за «аристотелевы» взгляды, сам Аристотель либо вовсе не утверждал, либо не выставял в качестве непогрешимого догмата. Ср. v. Lippmann, Abhandl. u. Vorträge, т. 2, стр. 153 (über Aristoteles).

Так Галилей разрушает выведенные из априорных положений теории Аристотеля, метод которого до тех пор господствовал в науке. С изумительным остроумием он доводит до абсурда все тонкие хитросплетения аристотеликов, которые он вкладывает в уста Симплицию. Когда Симплиций претенциозно замечает, что Аристотель не мог совершить логической ошибки, так как он творец логики, то Галилей находчиво возражает, что можно быть отличным инструментальным мастером и в то же время не уметь играть на своих инструментах¹.

Что касается вопроса о том, вращаются ли все небесные светила вокруг Земли в 24 часа или же последняя вращается вокруг себя в такой же промежуток времени, то Галилей готов признать, что на первый взгляд обе гипотезы одинаково удовлетворительно объясняют наблюдаемые явления. Однако доводы в пользу вращения Земли более убедительны.

«Если, — говорит Галилей, — принять во внимание колоссальные размеры сферы звезд по сравнению с величиной земного шара, содержащегося в этой сфере много миллионов раз, и подумать затем о той скорости, которая требуется, чтобы небо могло совершить полный оборот в течение одних суток, то я не могу допустить, что небесная сфера вращается, а земной шар находится в покое». Если тем не менее желать приписать эту гигантскую скорость небу, то движение его приходится признать противоположным частным движениям всех планет, которые движутся — и притом весьма медленно — с запада на восток. Наоборот, если допустить, что Земля вращается вокруг себя, то это противоречие отпадает.

Третья трудность заключается в том, что время обращения тем больше, чем больше соответствующая сфера. Сатурн, орбита которого больше орбит всех других планет, совершает свое обращение в 30 лет. Юпитер описывает свою орбиту в 12 лет, Марс — в 2 года, наконец, ближайшее к нам светило, Луна, — в течение одного месяца. То же самое Галилей нашел в системе Юпитера: время обращения самого внутреннего спутника равно 42 часам, следующего за ним — $3\frac{1}{2}$ дням, третьего спутника — 7 дням и, наконец, самого крайнего спутника — 16 дням.

Если мы допустим, что Земля находится в покое, то нам придется переходить от совершенно незначительного времени обращения Луны ко все большим периодам — к двухгодичному периоду у Марса, двенадцатигодичному у Юпитера, тридцатигодичному у Сатурна; при переходе же от сферы Сатурна к несравненно большей сфере звезд мы внезапно начинаем иметь дело с обращением, совершающимся в 24 часа. Если же допустить, что Земля движется, то сохраняется непрерывность скорости при переходе от одной сферы к другой, и от самой медленной сферы — сферы Сатурна — мы переходим к совершенно неподвижным звездам.

Дальнейшим недостатком мировоззрения Птолемея в глазах Галилея является колоссальное неравенство в движениях неподвиж-

¹ Изд. Штрауса, стр. 37.

ных звезд: некоторые из них должны вращаться с необычайной скоростью по огромным орбитам, другие же медленно по небольшим кругам, ибо одни находятся на больших, а другие на небольших расстояниях от небесного полюса.

Новым усложняющим обстоятельством является тот факт, что положение неподвижных звезд медленно изменяется. «Действительно, — рассуждает Галилей, — те звезды, которые тысячи лет назад находились на экваторе и, следовательно, описывали большие круги, должны теперь двигаться медленнее и по меньшим кругам, так как они удалились от экватора на много градусов. Может даже случиться, что одна из постоянно двигавшихся до сих пор звезд под конец очутится на полюсе и придет в покой, чтобы затем через некоторое время снова начать двигаться».

Относительно происхождения солнечной системы Галилей составил себе теорию, диаметрально противоположную канто-лапласовской концепции, согласно которой планеты возникли из Солнца. Галилей представлял себе, что божественный строитель создал сперва Солнце, поместив его в определенном неизменном месте. Затем им были созданы планеты, которые стали двигаться с возрастающей скоростью от места своего происхождения по направлению к Солнцу. В дальнейшем божество в определенном пункте превратило их движение падения во вращательное движение, совершающееся с достигнутой в этом пункте скоростью. Так, например, по мнению Галилея, Юпитер и Сатурн стали падать на Солнце из одного и того же места. Но так как Юпитер упал ниже, то он приобрел и большую скорость, с которой и продолжает обращаться теперь вокруг Солнца внутри орбиты медленнее движущегося Сатурна.

По мнению Галилея, можно пойти еще дальше, и на основании отношения скоростей Юпитера и Сатурна (которые можно определить из их расстояния от Солнца и их времени обращения вокруг него) и меры ускорения направленного к центру движения вычислить, на каком расстоянии от этого центра находилось то место, с которого стали падать планеты.

В пользу тождественности природы Земли и небесных тел Галилей приводит главным образом факт наличия гор на Луне. Согласно новому учению, небесные светила — такие же тела, как наша Земля; прежде всего они считались если не божественными, то все же сверхъестественными существами. В этом отождествлении Земли со звездами, в этом отказе от антропоцентрической точки зрения заключалась революционизирующая и смущавшая косную толпу сторона нового мировоззрения.

Галилей указал также на то, что солнечные пятна обладают сравнительно малым постоянством. Он наблюдал, как они возникали и постепенно снова исчезали¹. Этот факт давал Галилею возможность выступить с силой против учения о вечности небесных светил и против представления, будто то, что неизменно и постоянно, является тем самым и более совершенным. В этом пункте обнаружи-

¹ „Диалог“, стр. 57.

вается с особенной яркостью, как изменилась картина мира на пороге нового времени. Характерная для древности и особенно для средневековья мысль о неподвижности, неизменности мироздания уступает теперь место представлению, что повсюду происходит изменение, развитие. С тех пор эта идея о развитии продолжала все расти и шириться, пока в наше время она не проникла не только в научные, но и во все прочие, даже метафизические, представления.

Галилей выражает эту идею в следующих словах: «Я всеми силами противлюсь мысли, будто неизменность и вечность являются каким-то превосходством и совершенством, а изменчивость, наоборот, каким-то несовершенством. Я считаю Землю в высшей степени совершенной именно ввиду происходящих на ней перемен, и то же самое относится к Луне, Юпитеру и другим небесным светилам».

Самая могучая фантазия не может представить себе, в чем заключаются эти происходящие на небесных светилах изменения. Поэтому Галилей высказывается против предположения, будто на небесных светилах имеются существа, подобные земным тварям.

До Галилея наблюдатели, обманутые явлением иррадиации, приписывали неподвижным звездам значительную кажущуюся величину и считали их сравнительно близкими к Земле. Коперник и еще более Галилей, увидевший их впервые через трубу в виде простых световых точек, отодвинули их в неизмеримую даль; Галилей показал, что в действительности они обладают кажущимся диаметром, по крайней мере в тысячу раз меньшим того, чем они являются вследствие иррадиации невооруженному глазу¹. В то время как Тихо (Tycho), не учитывавший вовсе явления иррадиации, воображал, будто его измерения дают для звезд первой величины кажущийся диаметр в две минуты, Галилей приписывает диаметру подобной звезды размер максимум в 5 секунд. Позднейшие исследования показали, что неподвижные звезды вообще не обладают сколько-нибудь заметным кажущимся диаметром.

В пользу того, что развитие, уничтожение, словом, изменения, подобные земным процессам, происходят не только на Солнце, но и в бесконечно более удаленной области неподвижных звезд, Галилей приводит факт внезапного появления новых звезд в 1572 и 1604 гг. Что касается солнечной системы, то не только наличие изменчивых по форме и величине солнечных пятен, но и появление и исчезание комет доказывают, по мнению Галилея, что повсюду в мире происходят естественные изменения и что небо не является исключением из этого закона природы и не занимает какого-то особого положения. Ученые докоперниковой эры, защищая мысль о движении небесных светил и неподвижности Земли, покоящейся в центре мира, указывали, кроме астрономических соображений, на ряд говоривших, по видимому, в их пользу физических доводов, которые, однако, Галилей тоже опровергнул². Аристотель и его последователи утверждали, что вертикальное падение доказывает неподвижность Земли. Действи-

¹ „Диалог“ (изд. Штрауса), стр. 81.

² См. второй день „Диалога“.

тельно, если бы Земля вращалась вокруг себя, то брошенное вертикально вверх тело не могло бы вернуться по той же самой линии на то место, из которого оно было брошено. Ведь за время его подъема и последовавшего затем падения это место — при допущении вращения Земли — должно было передвинуться на значительное расстояние к востоку, и, следовательно, падающее тело должно было отклониться к западу. Но наблюдение противоречит этому выводу. Второе возражение заключалось в том, что если Земля вращается, то благодаря центробежной силе она должна отбросить с своей поверхности все не находящиеся около полюса предметы.

В ответ на первое возражение Галилей указывает, что башня, с которой бросают камень, движется с такой же скоростью к востоку, как и сам камень. Аналогичное явление наблюдается, когда бросают тяжелое тело с мачты покоящегося и быстро движущегося корабля. В обоих случаях камень падает на то же самое место у основания мачты. Галилей проникательно указывает, что возможное при этом опыте незначительное отклонение не следует приписывать сопротивлению воздуха. Действительно, воздух находится в покое по отношению к движущемуся кораблю; в случае же падения тела с башни и башня, и тело, и окружающий воздух одинаково принимают участие во вращении Земли; поэтому воздух здесь не может влиять на движение падающего тела, как это имеет место в случае быстро движущегося корабля. В этих рассуждениях Галилея находит более или менее отчетливое выражение расширенное понятие инерции, которого не доставало его противникам и которое поэтому придавало видимость убедительности с их точки зрения их возражениям против учения Коперника.

Аналогичным образом Галилей опровергает второе возражение относительно того, что находящиеся вблизи экватора тела должны быть в случае вращения Земли сброшены с ее поверхности. Он показывает, что ввиду сравнительно небольшой скорости вращения центробежная сила так мала, что ее действие во много раз перевешивается силой тяжести¹.

Опровергнув таким образом старое мировоззрение и выдвинутые его сторонниками возражения, Галилей дает подробное изложение коперниковой системы. В пользу этой системы говорит особенно то обстоятельство, что учение о годичном движении Земли объясняет остановки, попятные движения и движения вперед планет. Задача астрономии заключается в том, чтобы истолковать эти явления; между тем геоцентрическое мировоззрение не сумело этого сделать, так как для объяснения остановок и попятных движений планет оно прибегало к самым нелепым теориям.

Противники Коперника указывали, что, согласно новому учению, происходящее вследствие годичного движения Земли перемещение ее на двойной радиус земной орбиты должно вызвать параллактические смещения неподвижных звезд; возражение это Галилей сумел отпарировать, высказав предположение, что сфера неподвижных звезд

¹ „Диалог“ (Штраус), стр. 209.

удалена от солнечной системы на расстояние, по крайней мере, десяти тысяч радиусов земной орбиты¹. Вследствие этого вызываемое движением Земли крайне ничтожное смещение звезд ускользает от нашего наблюдения.

Все упомянутые до сих пор факты в пользу движения Земли взяты из области небесных явлений. Для решения этого вопроса не существует как будто бы явлений земного порядка. Только у воды, полагал Галилей, обладающей вследствие своего жидкого состояния некоторым «собственным суверенитетом», может быть, возможно было бы найти факты, которые позволили бы решить, движется ли Земля или нет. Подобный факт Галилей видел в явлении приливов и отливов. Хотя только Ньютон сумел дать удовлетворительную теорию приливов, но остроумные соображения Галилея по этому вопросу заслуживают нашего внимания².

Надо здесь иметь в виду, что Галилей для объяснения приливов не мог еще использовать всемирного тяготения, так как в его время существовали только смутные догадки о какой-то силе, действующей между небесными светилами, но прочно обоснованного учения о ней еще не было. Поэтому Галилей при объяснении явления приливов исходил не из притягательной силы Луны, а рассуждал следующим образом. Если земной шар неподвижен, то не может быть никаких приливов и отливов. Наоборот, если вместе с Коперником приписать Земле поступательное и вращательное движения, то на море должны в полном согласии с наблюдением иметь место явления приливов и отливов. Это происходит, по Галилею,

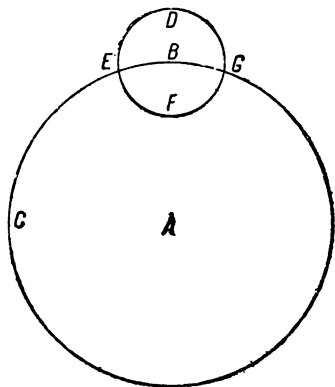


Рис. 5. Объяснение Галилеем явления приливов и отливов.

потому, что вследствие сложения скорости поступательного движения Земли со скоростью вращения ее абсолютное движение некоторых частей поверхности Земли ускоряется, движение же других частей замедляется. Допустим вместе с Галилеем, что в *A* находится Солнце. Пусть большой круг представляет земную орбиту, а малый круг — самую Землю. Если последняя движется от *B* к *C*, вращаясь в то же время в направлении *DEFG*, то легко понять, что абсолютная скорость точки *D* земной поверхности наибольшая; когда же эта точка придет в *F*, то ее абсолютная скорость будет наименьшей, ибо в *F* суточное движение противоположно годовичному и поэтому вычитается из него. Галилей полагал, что подобно тому, как в движущемся сосуде с водой, скорость которого изменяется, вода станет подниматься на одной стороне и будет падать на другой, — упомянутое явление должно вызывать подъем водяной массы и падение ее в морском бассейне. Нельзя отрицать того, что это рассуждение правильно

¹ „Диалог“ (Штраус), стр. 382.

² „Диалог“ (Штраус), 4-й день.

и вполне возможно и что упомянутая разность скоростей в D и в F (рис. 5)¹ имеет значение. Но так как скорость годичного движения во много раз больше скорости суточного движения точки, расположенной у экватора, то указываемый Галилеем эффект должен быть незначительным, вызывая в лучшем случае второстепенные явления. Галилей брал слишком низким отношение скоростей этих двух движений, так как он раз в 20 преуменьшил диаметр земной орбиты².

ГАЛИЛЕЙ ПЕРЕД СУДОМ ИНКВИЗИЦИИ

«Диалог» представляет собой, как мы видели, одно из самых замечательных и богатых последствиями произведений человеческой мысли³. Для своего времени он имел такое же значение, как «Круговращения» Коперника для XV в. и «Начала» Ньютона для следующей за Галилеем эпохи. Эти три произведения означают три важнейших вехи в развитии мировоззрения, т. е. в развитии картины мира, наших представлений о космосе, и в этом отношении с тех пор вряд ли было создано что-либо равное. Поэтому мы остановились так подробно на изложении содержания «Диалога», а теперь мы перейдем к его истории. К «Диалогу» особенно применимо известное изречение: *Nabent sua fata libelli* (Книги имеют свою судьбу). И редко какое другое произведение оказало такое влияние на судьбу своего автора, как это было в случае с «Диалогом».

Церковное запрещение от 1616 г. Галилей пытался обойти тем, что он излагал учение Коперника не как собственное мнение, а вкладывал его в уста одного из собеседников, Сальвиати, между тем как защита птолемеевой системы велась Симплицием. Однако всякий догадливый читатель мог легко понять, что взгляды Сальвиати выражают точку зрения самого автора.

Несмотря на это римская цензура разрешила печатание «Диалогов», после того как в книге были произведены по ее желанию некоторые изменения. Книга вышла в 1632 г. Она вызвала большую сенсацию, но в то же время дала врагам и завистникам Галилея новую пищу для нападок. С особенным ожесточением, не брезгуя какими средствами, выступил против Галилея иезуит Шейнер, тот самый, у которого был с Галилеем спор из-за первенства открытия солнечных пятен⁴; Шейнер старался довести дело до суда инквизиции. Враги Галилея сумели превратить благосклонное отношение к нему Урбана VIII в немилость. Им удалось убедить папу в том, будто Галилей пытался высмеять его в лице Симплиция — неудачного защитника птолемеева учения.

¹ «Диалог», изд. Штрауса, стр. 446.

² Он принимал его равным 1200 земных радиусов вместо 23 000.

³ Поэтому можно приветствовать то обстоятельство, что благодаря снабженному необходимыми пояснениями переводу книга эта стала доступной немецкому читателю. Она появилась в 1891 г. в издании Б. Тейбнера (E. Strauss, Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme von Galileo Galilei).

⁴ См. стр. 32 настоящего тома.

Здесь не место останавливаться на всех деталях затеянного против Галилея инквизиционного процесса¹. Семидесятилетнего, изнуренного болезнью старца, которому его родина обязана бессмертной славой, заставили отправиться в Рим. Там дальнейший ход дела скоро убедил его, что перед ним открыты лишь два пути. Либо ему придется разделить участь Джордано Бруно, сожженного в 1600 г. в Риме на костре, либо же он должен отказаться от дела всей своей жизни, отрекшись и прокляв по требованию инквизиции учение Коперника как ошибочное. Галилей выбрал последнее: он покорился насилью. Может быть, он руководился при этом также соображением, что его мученическая смерть будет столь же бесполезна для науки, как и для церкви. Формула отречения, которую он должен был произнести под угрозой пытки в унижительной обстановке — он был одет в рубище — представляет полную противоположность к словам приведенного выше письма его, в котором он сам проповедует терпимость. Мы приводим здесь эту формулу с некоторыми сокращениями²: «Я склоняю свои колени перед достопочтенными генерал-инквизиторами, прикасаюсь к святому Евангелию и заявляю, что я верю и буду впредь верить всему тому, что признает истинным и чему учит церковь.

Мне запрещено было святой инквизицией верить или учить ложному учению о движении Земли и покое Солнца, потому что оно противоречит священному писанию. Несмотря на это, я написал и даже издал книгу, в которой я излагаю это проклятое учение и привожу сильные доводы в его пользу. Поэтому меня заподозрили в ереси.

Чтобы рассеять у каждого христианина-католика это справедливое подозрение, я отрекаюсь и проклинаю упомянутые заблуждения и ереси, а также вообще всякое другое заблуждение и мнение, идущее вразрез с учением церкви. В то же время я клянусь в будущем никогда не высказывать ни устно, ни письменно чего-нибудь такого, что могло бы вызвать против меня подобное подозрение. И, наоборот, я обязуюсь немедленно сообщить святому судилищу, если я где-нибудь встречу ересь или буду предполагать ее наличие». Вся фанатическая ненависть владык церкви сказывается в этой последней фразе, согласно смыслу которой Галилей должен был стать доносчиком на всякое новое проявление свободной мысли.

Приписываемые Галилею слова: «И все-таки она движется» на верное не были произнесены им в этом случае³. Но кто может усомниться в том, что они прозвучали в глубине его сердца!

Судебный процесс Галилея представляет один из замечательнейших фактов не только с точки зрения истории культуры. Он должен служить постоянно грозным предостережением и для будущих

¹ Укажем на работу Геблера (Gebler): *Galileo Galilei und die Römische Kurie. Nach authentischen Quellen dargestellt*. Stuttgart 1876—1880, а также на книгу Вольвиля *„Der Inquisitionsprozess des Galileo Galilei“*, Berlin 1870. Вольвиль выпустил новую биографию Галилея под следующим названием: *„Galilei und sein Kampf für die Copernikanische Lehre“*, 1909, Hamburg L. Voss.

² Riccioli, *Almagestum novum*, lib. IX.

³ См. также заметку Г. Бертольда (Berthold) в *„Zeitschrift für Geschichte der Mathematik“* (1897). Über den angeblichen Ausspruch Galileis „E pur si muove“.

времен, показывая с ужасающей ясностью, к чему приводили и всегда будут снова приводить в своих последних результатах нетерпимость и религиозный фанатизм, если мутному потоку их не будет противопоставлена мощная плотина растущего сознания широких масс.

ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ ЖИЗНИ ГАЛИЛЕЯ

Годы, прожитые Галилеем после этих событий, были полны горечи. По распоряжению инквизиции он поселился в одной вилле под Флоренцией, но надзор за ним простирался до мельчайших частных дел, так что Галилей если не формально, то фактически был как бы в заключении. Его желание переселиться во Флоренцию было удовлетворено уже после того, как его глазная болезнь привела к полной слепоте.

Тем не менее творческая сила Галилея не ослабевала; несмотря на поражение Галилея в инквизиционном процессе, преклонение современников перед его гением все более и более возрастало. Правда, после своего осуждения он занимался лишь такими астрономическими вопросами, при которых нечего было опасаться возобновления спора с римской церковью. Так, несмотря на начинающуюся болезнь глаз, он продолжал заниматься телескопическими исследованиями и открыл либрацию Луны¹. Под либрацией понимают небольшие качания Луны в ее положении относительно Земли, вследствие которых, при рассмотрении из центра Земли, не всегда одна и та же точка лунной поверхности наблюдается в центре лунного диска. Различают либрацию по долготе (в плоскости лунного экватора) и либрацию по широте (перпендикулярно к плоскости экватора). Но и помимо подобных качаний диск Луны неодинаков для наблюдателя, рассматривающего его с различных точек земной поверхности или в различные часы суток, хотя бы и с одного места. Это лишь кажущаяся, так называемая параллактическая либрация. Галилей указал на нее и открыл либрацию по широте. Либрацию по долготе заметил лишь Гевелий, самый выдающийся селенограф нового времени².

Кроме того Галилей стал снова работать над проблемой определения долготы, в которой были так заинтересованы все мореходные нации. После почти двадцатилетнего перерыва он снова приступил к осуществлению своего давнишнего плана использовать для этой цели затмения спутников Юпитера³. В сущности это была мысль, которою руководились еще древние ученые при своих определениях долгот. Периодически повторяющиеся небесные явления, видимые с большей части земной поверхности, дают возможность определить разницу во времени между данным пунктом земного шара и другим пунктом, географическая долгота которого известна. В древности для этой цели пользовались моментами наступления лунных

¹ Сообщение его об этом открытии датировано 20 февраля 1637 г.

² Селенография Гевелия, Данциг 1647.

³ По этому поводу он безуспешно обращался в 1616 г. к Филиппу III испанскому (см. S. J a g e m a n n, Geschichte des Lebens und der Schriften des G. Galilei, 1783, стр. 146).

затмений. Но эти события так редки, что они практически не имеют значения для мореплавания. Времена обращения спутников Юпитера, напротив, так коротки, что почти каждую ночь один из спутников претерпевает затмение, попадая в тень планеты.

Если, рассуждал Галилей, изучить хорошо обращение спутников Юпитера и составить соответственные таблицы для повседневного употребления мореплавателей, то система Юпитера будет представлять собою как бы парящие в мировом пространстве часы, доступные наблюдению при помощи хорошего телескопа; сравнивая показания этих часов с поставленными по Солнцу часами, можно определить разницу географической долготы между тем местом, для которого составлены таблицы, и тем местом, в котором находится судно. Галилей сумел заинтересовать своим планом Соединенные штаты Голландии и обещал изготовить для них эфемериды спутников Юпитера, а также часы, обладающие достаточной точностью. Но все усиливавшиеся недомогания заставили Галилея отказаться от этой работы, которая, вероятно, и без того едва ли бы привела к успешному результату. Лишь в XVIII в. теория и практика настолько подвинулись вперед, что стало возможным решение этой крайне важной и трудной проблемы.

Относительно дальнейшей судьбы «Диалога», этого крупнейшего астрономического произведения Галилея, заметим еще, что вместе с другими сочинениями, излагающими коперниково учение, он был внесен в индекс запрещенных церковью книг, в котором и оставался до XIX в. Напрасно пытался в середине XVIII в. великий французский астроном Лаланд (Lalande) добиться исключения этих сочинений из индекса. Лишь в 1822 г. коллегия кардиналов постановила, что отныне можно безвозбранно излагать учение Коперника в католических странах. «Так, через двести лет эта замечательная борьба церкви с шествующим вперед человеческим духом закончилась поражением первой»¹.

ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛИЛЕЯ О ЯВЛЕНИЯХ СЦЕПЛЕНИЯ И О ВЕСЕ ВОЗДУХА

Мы переходим теперь к работам Галилея в области механики. Эти работы были настолько основоположны, что Галилей по справедливости мог говорить в «Собеседованиях», своем главном труде по вопросам механики, о новых областях науки. Правда, современники, поскольку они не были ослеплены фанатизмом, преклонялись главным образом перед научными заслугами Галилея в области астрономии, но потомство поняло, что обоснование динамики было несравненно большим подвигом духа и имело для прогресса знания гораздо больше значения, чем астрономические открытия Галилея, о которых можно сказать, нисколько не умаляя заслуг Галилея, что их мог бы сделать и всякий другой наблюдатель, вооруженный хорошей трубой. Напротив того, «Собеседования» знаменуют величайший со времени Архимеда прогресс в области механики.

¹ Heller, Geschichte der Physik, I, стр. 366.

Механическими проблемами Галилей занимался в продолжение всей своей научной карьеры, продолжая здесь дело Архимеда и ведя борьбу против ложных воззрений перипатетиков. После своего осуждения Галилей приступил к сведению результатов всех своих исследований в один большой названный нами выше труд¹. Здесь ему, по крайней мере, нечего было бояться нападок со стороны близоруких противников. Произведение это, как и «Диалог», написано в форме диалогической. Симплиций защищает учение Аристотеля, Сагредо же и в особенности Сальвиати выражают воззрения Галилея.

Новые принципы, введенные Галилеем в естествознание, касаются прежде всего динамики, т. е. учения о движении тел, с зачатками которого мы уже встретились у Леонардо да-Винчи и у некоторых других исследователей². Своими исследованиями свободного падения тел, а также падения брошенного тела и движений маятника Галилей показал, как при помощи наблюдения, измерения и математического доказательства неясные и шаткие представления могут быть заменены научными понятиями. Он таким образом создал единственно правильный метод в области естествознания, ведущий к открытию истины; своими поразительными успехами наука нового времени обязана дальнейшему применению этого метода.

«Уже от внимания поверхностных наблюдателей не ускользнул тот факт, что скорость свободно падающих тел возрастает с временем. Но до сих пор не была указана величина этого ускорения, ибо, насколько мне известно, никто еще не доказал, что пути, пробегаемые свободно падающими телами в равные промежутки времени, относятся между собою, как нечетные числа». Этими словами Галилей начинает третий отдел своих «Собеседований»³. «Наблюдение показало, — продолжает он, — что метательные снаряды описывают некоторую кривую, но никто не указал, что эта кривая есть парабола. Я постараюсь доказать, что дело так именно и обстоит в действительности, а также многое другое, достойное познания. Я расчищу путь для последующей работы, а именно для создания новой обширной и в высшей степени важной науки; основные начала этой науки я даю в настоящем труде, но проникнуть в сокровенные тайны ее выпадет на долю людей, ум которых превосходит мои собственные способности». В этих словах обнаруживаются две прекрасные черты характера Галилея: правильная оценка своих собственных открытий наряду с подлинной скромностью.

Рассмотрим теперь вкратце важнейшее содержание этих «Собеседований». Перипатетики объясняли многие явления природы, как, например, всасывание, прилипание двух гладко отшлифованных пла-

¹ Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige von Galileo Galilei. Aus dem Italienischen übersetzt und herausgegeben von A. v. Oettingen, Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1890 (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, № 11, 24 и 25). По-итальянски книга озаглавлена: Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, Leyden 1638.

² См. т. 1.

³ Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen, Dritter und vierter Tag, Ostwalds Klassiker, № 24, стр. 3.

стинок, поднятие воды в насосе и т. д., тем, будто природа сопротивляется возникновению пустого пространства, боится пустоты. За отсутствием механического принципа пытались приписать природе какую-то психическую способность. Галилей тоже остался еще верен этой теории боязни пустоты; ею он пытается, например, объяснить явления сцепления.

Явления сцепления можно, по мнению Галилея, свести к двум причинам. Первая из них — это сопротивление природы возникновению пустого пространства. Затем следует допустить существование какого-то вещества, крепко связывающего между собою частицы тела. «Чтобы доказать это, — говорит Галилей, — возьмем две гладко отшлифованные пластинки. Если положить их одну на другую, то их можно легко заставить скользить друг относительно друга; это доказывает, очевидно, что они не соединены между собой никаким связующим веществом. Но всякая попытка отделить их друг от друга наталкивается на сопротивление, благодаря которому верхняя пластинка может поддерживать нижнюю». Это сопротивление, столь заметное в случае двух соприкасающихся пластинок, существует, несомненно, также между частями твердого тела, являясь по крайней мере частично причиной их связи¹.

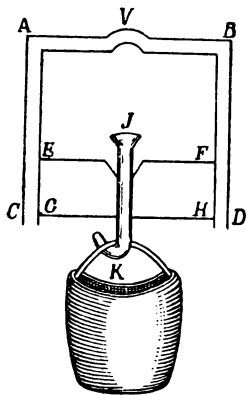


Рис. 6. Опыт Галилея для измерения сопротивления пустого пространства.

Крупным достижением Галилея по сравнению с чистым умозрением его предшественников было то, что он повсюду применял эксперимент и пытался поэтому измерить также величину сопротивления, оказываемого пустым пространством. С этой целью он вытягивал из цилиндра, наполненного водою и направленного открытым концом вниз, поршень и определял необходимый для этого вес (рис. 6). Галилею было известно также, что при помощи насосов вода может

быть поднята только до высоты 18 локтей. Как мы знаем теперь, в обоих случаях фактически измеряется сила атмосферного давления. Результаты, достигнутые опытами, сохраняют свое значение для науки независимо от того, правильно ли они истолковываются опирающейся на них теорией или нет.

Галилей не объяснял поднятия жидкостей и аналогичных явлений давлением воздуха, и это тем более удивительно, что Галилею был прекрасно известен факт, что воздух обладает весом. Аристотель приписывал воздуху и огню свойство абсолютной легкости, т. е. стремление удалиться по прямой линии от центра Земли. Если бы это допущение было верно, то рассуждал Галилей², при сгущении воздуха легкость, а вместе с этим и стремление к движению вверх

¹ Это заключение было неверно, но дело в том, что Галилей еще не знал, какую роль играет при этом давление воздуха.

² Ostwalds Klassiker, № 11, стр. 70.

должны были бы усиливаться. Но опыт приводит к противоположному результату. Галилей взял стеклянную колбу и при помощи насоса накачал в нее воздух. Затем сосуд был уравновешен на точных весах. Когда открывали колбу, то сжатый воздух выходил из нее, и она становилась заметно легче, так что приходилось снимать некоторую часть тары, чтобы снова получить равновесие. «Несомненно, — говорит Галилей, — что вес убранной части тары равен весу воздуха, насильственно накачанного в сосуд¹. Раз воздух стал рассматриваться как обладающее тяжестью тело, то естественно должен был возникнуть вопрос о величине веса воздуха по сравнению с весом других тел, например воды. Эту задачу, т. е. определение удельного веса воздуха, Галилей разрешил при помощи следующего опыта². В колбу, наполненную воздухом, он вогнал воду так, что вода заняла три четверти объема колбы, причем весь воздух остался внутри последней. Колба со всем ее содержанием была точно взвешена. После этого была проколота перепонка, препятствовавшая воздуху вытекать. Когда излишний воздух, занимавший прежде три четверти объема колбы, получил таким образом возможность выйти, Галилей снова взвесил колбу и нашел, что вес ее стал меньше, — очевидно настолько, сколько весил вытекший воздух. Если это определение веса воздуха и не было точным вследствие примитивности тогдашних инструментов и несовершенства самого метода, то все же выяснилось, что воздух во много раз легче воды³.

ДВИЖЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

При всей ценности работ Галилея по физике газообразных тел, экспериментальное исследование которых имело в дальнейшем место в Германии благодаря главным образом исследованиям Отто фон-Герике (Guericke), большое значение имело то, что он разработал понятие равномерно-ускоренного движения и доказал путем опытов, что движение тел по наклонной плоскости представляет собою движение такого именно рода.

Исследовать более точно движение свободного падения побудило Галилея утверждение Аристотеля, будто различные тела должны двигаться в одной и той же среде со скоростью, пропорциональной их весам. Согласно этому, если взять, например, два камня, веса которых относятся друг к другу, как 1 к 10, и дать им падать одновременно с высоты в 100 локтей, то скорость их будет настолько различна, что, в то время когда большой камень успеет достигнуть Земли, меньший пройдет только 10 локтей. Галилей усомнился

¹ Ostwalds Klassiker, № 11, стр. 71.

² Ostwalds Klassiker, № 11, стр. 72.

Уже древние ученые принимали, что воздух обладает тяжестью. Леонардо да-Винчи и Кардано тоже приписывали воздуху вес. Кардано поставил задачу «определить путем взвешивания отношение плотности воды к плотности воздуха». Он считал воздух в 50 раз легче воды.

³ Галилей полагал (Ostwalds Klassiker, № 11, стр. 72), что воздух легче воды в 400 раз, между тем как в действительности он легче ее в 773 раза.

в этом. Впрочем, подобные сомнения возникали и раньше. Были даже попытки проверить на деле утверждение Аристотеля¹. А Филопон Александрийский, комментатор Аристотеля, заметил уже за 1000 лет до Галилея, что это учение опровергается опытами. Вот как выражается Филопон²: «Согласно Аристотелю, времена падения тел, движущихся в одной и той же среде, относятся между собою, как веса этих тел. Но это совершенно ложно, как показывает наблюдение, имеющее более убедительную силу, чем всякие логические демонстрации. Действительно, если взять два значительно отличающихся по весу тела и дать им падать одновременно с одной и той же высоты, то можно заметить, что времена падения вовсе не относятся между собою, как веса тел, а отличаются друг от друга лишь на ничтожную величину».

Для решения этого вопроса Галилей, по сообщению Вивiani, опускал с наклонной башни в Пизе, отлично годившейся для этих опытов, полудунтовый шар и стофунтовую бомбу. При этом оказалось, что бомба опередила шар только на несколько дюймов³.

Различия в скорости свободного падения тел Галилей объясняет исключительно сопротивлением воздуха. Если бы можно было устранить это сопротивление, иными словами, если бы можно было создать безвоздушное пространство, «то все тела падали бы с одинаковой скоростью». Окончательное доказательство этого положения, которое Галилей мог считать лишь в высокой степени вероятным, было для него недоступно. Только после изобретения воздушного насоса положение это было доказано опытом, который теперь демонстрируется при преподавании начатков физики.

Теперь мы обратимся к опытам и размышлениям Галилея над законами свободного падения тел. Они имеют величайшее значение, явившись исходным пунктом для дальнейшего развития динамики. Галилей рассматривал свою задачу сперва с чисто форонимической точки зрения, т. е. как проблему учения о движении. Равномерному движению он противопоставил равномерно-ускоренное движение и создал понятие равномерного ускорения⁴. Равномерно-ускоренным движением Галилей называет такое движение, при котором с самого начала в равные времена происходят равные приращения скорости.

От внимания наблюдателей с самых ранних времен не мог ускользнуть тот факт, что скорость свободно падающих тел непре-

¹ *Rafaelo Caverni, Storia del metodo sperimentale in Italia, т. 4, стр. 269 и сл., Firenze 1895.*

² *Commentaria in Aristotelem graeca, edita consilio et auctoritate Academiae litterarum regiae Borussicae, Vol. XVII. Philoponi in physicorum libros quinque posteriores. Ed. Hieronymus Vitelli, Berolini 1888, стр. 683.*

³ Об этом Вивiani говорит в своем очерке жизни Галилея, написанном в 1654 г., но опубликованном лишь в 1717 г. Так как сам Галилей не упоминает в своих сочинениях об этих опытах, то Вольвиль счел себя в праве умозаключить, что мы здесь имеем просто дело с одной из столь частых в истории науки легенд (*Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften, IV, 2, 1905*). Впрочем, из „Собеседований“ ясно, что Галилей производил опыты над свободным падением для опровержения Аристотеля. При этом неважно, производились ли эти опыты на пизанской башне или на каком-либо другом высоком здании.

⁴ *Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung, Leipzig 1883, стр. 133.*

рывно возрастает. Но потребовалось еще немало времени, чтобы притти от этого наблюдения к установлению законов падения и открытия причины его. С чисто логической стороны рассматривал равномерно-ускоренное движение уже в середине XIV в. Оресм (Oresme), один из самых выдающихся математиков средневековья. В одном появившемся тогда же комментарии можно прочесть, что время, требующееся для прохождения некоторого расстояния при равномерно-ускоренном движении, равно времени, в которое было бы пройдено это расстояние при равномерном движении, совершающемся со скоростью, равной арифметической средней из наименьшей и наибольшей скоростей.

Подобные логические исследования оказали влияние на Галилея, занимавшегося первоначально схоластической физикой¹. Последняя видела причину свободного падения в некотором скрытом качестве, в свойственном телу устремлении к «своему месту». Вызванное таким образом движение должно становиться все более скорым, ибо непрерывно смыкающийся над падающим телом воздух дает ему все время толчки. В полном противоречии с этим Галилей утверждал, что воздух вовсе не ускоряет свободного падения, а, наоборот, замедляет его своим сопротивлением. Галилей, как было сказано, не мог доказать этого экспериментальным образом, так как в его распоряжении еще не было воздушного насоса. Если бы взгляды старых физиков были верны, то тела по удалении воздуха должны были бы двигаться равномерно; в действительности же, как это предвидел Галилей и как это показали позднейшие опыты, в безвоздушном пространстве тела движутся равномерно-ускоренным образом.

Галилей пытается показать с большой обстоятельностью, что по истечении первой, крайне ничтожной частицы времени тело обладает едва отличной от нуля скоростью. Что движение тел начинается «с бесконечно большой медленностью», Галилей умозаключает также из явлений, наблюдаемых при бросании тел вертикально вверх. Действительно, нельзя сомневаться в том, что приращение скорости в случае свободного падения происходит в том же самом порядке, в каком совершается уменьшение ее при бросании тел вертикально вверх. В последнем случае скорость постепенно становится равной нулю, и, значит, прежде чем тело придет в покой, оно должно пройти через все степени медленности.

Чтобы притти к правильным взглядам на законы движения тел при свободном падении их и при бросании, необходимо было обобщение закона инерции. Галилею не принадлежит открытие положения, что покоящееся тело остается неопределенное время в состоянии покоя и переходит в состояние движения только благодаря действию какой-нибудь силы: положение это было всегда явной или скрытой предпосылкой при рассмотрении проблем механики. Но на долю Галилея выпала задача исправить и уточнить ошибочные и смутные представления, господствовавшие в вопросе о состоянии

¹ См. „Mitteilungen z. Gesch. d. Medizin u. d. Naturwiss., XIV, стр. 181.

4 Зак. 174. — Даннеман, т. II.

движения. До него было распространено мнение, что если движение не поддерживается какой-нибудь силой, то оно под конец должно прекратиться без всяких внешних препятствий. Галилей же, обобщив закон инерции, выставил положение, что если на движущееся тело не действует никакая сила, то оно не изменяет ни своей скорости, ни направления своего движения. Если же на тело действует сила, то, как указал Галилей, величина ее действия не зависит от того, покоится ли тело или движется. Но так как в случае свободного падения на тело все время действует сила, то ее действия будут непрерывно суммироваться, ибо согласно закону инерции вызванное раз действие сохраняется. Результаты этого суммирования Галилей получает следующим образом: пусть AB (рис. 7) представляет время t ,

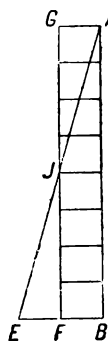


Рис. 7.
Галилей
определяет
закон равно-
мерно-уско-
ренного
движения.

в течение которого покоившееся вначале тело проходит равномерно-ускоренным движением определенное расстояние. Разделим это время t на небольшие частицы и нанесем соответствующие каждой частице скорости на прямые, перпендикулярные к AB . Пусть EB будет конечная скорость v . Если затем соединить между собою конечные точки отрезков, перпендикулярных к AB , то получится линия AE , образующая вместе с EB (v) и AB (t) $\triangle ABE$.

Если затем построить на AB и на $FB = \frac{1}{2}EB = \frac{1}{2}v$ параллелограм, то получатся две равновеликие фигуры ABE и $ABFG$. Площади этих фигур равны, как это следует из величины отрезков AB , EB и $FB = \frac{vt}{2}$. Таким образом,

в случае равномерно-ускоренного движения тело проходит во время t такой же путь, какой оно прошло бы в то же время t с неизменной скоростью $\frac{v}{2}$. «Действительно, —

говорит Галилей, — нехватка в движении, имеющая место в течение первой половины его и соответствующая параллельным линиям в маленьком $\triangle AGJ$, возмещается во время второй половины движения избытком его, представленным параллельными линиями в маленьком $\triangle EFJ$, равновеликом $\triangle AGJ$ ».

Из полученной таким образом основной формулы, согласно которой путь, пройденный телом, движущимся равномерно-ускоренно, равняется произведению из времени на половину конечной скорости

$\left(S = \frac{v}{2} t \right)$, остальные законы падения получаются чисто математическим образом. Так, Галилей, исходя из нее, доказал теорему, что

если покоящееся вначале тело начинает падать равномерно-ускоренным образом, то пройденные в определенные промежутки времени пути относятся между собой, как квадраты времен. Действительно,

если $v = gt$, то $s = \frac{g}{2} t^2$. Отсюда Галилей заключил дальше, что пройденные в равные промежутки времени пути относятся между

собою, как нечетные числа 1, 3, 5, 7, ... Это легко получить, составив разницу пройденных путей для $t=1, 2, 3, 4, \dots$

Галилею не удалось правильно определить величину ускорения для свободного падения. Так, на основании произведенных им повторных опытов он утверждает, будто падавший с высоты в 100 локтей (т. е. около 60 м) железный шар достиг земли в 5 сек.¹ В действительности же тело за такой промежуток времени прошло бы расстояние, в два раза с лишком большее (122 м). Хотя Галилей еще не умел учитывать сопротивление воздуха, но все-таки сделанная им ошибка слишком велика, так как из его опытов следовало бы, что ускорение равно только 5 м. Лишь Гюйгенс (Huygens) установил, что ускорение равно 10 м и что, следовательно, по истечении 1, 2, 3, ... сек. свободно падающее тело обладает соответственно скоростью в 10, 20, 30, ... м. Величины этого порядка не поддавались точному определению путем непосредственного наблюдения. Поэтому Галилей искал способа уменьшить скорость падения. Для опытов этого рода особенно пригодной казалась ему наклонная плоскость. Известно, — рассуждал он, — что скорости одного и того же тела при различных наклонах плоскости различны. Наибольшую величину скорость имеет в случае вертикального направления падения, будучи тем меньше, чем больше уклоняется от вертикали наклон плоскости. Ясно, таким образом, что импульс, энергия или тенденция тела к падению² ослабляется плоскостью, на которую оно опирается. Галилей определил также зависимость импульсов от угла наклона и показал, что импульс, получаемый телом в случае свободного падения, относится к импульсу, действующему вдоль наклонной плоскости (мы теперь сказали бы: к импульсу действующей в направлении наклонной плоскости боковой силы или слагающей), как длина наклонной плоскости к высоте ее³.

Так как в случае наклонной плоскости меньшему импульсу соответствует меньшее ускорение, то она отлично годилась для экспериментальной проверки правильности взглядов Галилея на характер равномерно-ускоренного движения. «Действительно, — говорит Галилей, — принципы следует подкреплять опытами, которые являются фундаментом для всей дальнейшей надстройки».

О своих опытах с наклонной плоскостью Галилей сообщает следующее⁴: в доске, имевшей 12 локтей в длину, был сделан жолоб в полдюйма шириной. Этот жолоб был выстлан очень гладким пергаментом. Доска приподнималась с одного конца на локоть или на два. Затем Галилей спускал по этому жолобу гладко отполированный латунный шар и определял время падения его по всей длине жолоба. Когда же затем шар спускали только по четверти длины жолоба, то для падения его требовалась ровно половина времени. Таким образом, пройденные пути относились между собою, как 1 : 4,

¹ „Диалог“, изд. Штрауса, стр. 237.

² Галилей пользуется здесь выражениями: *impeto, energia, momento de descendere*.

³ Ostwalds Klassiker, № 24, стр. 30.

⁴ Ostwalds Klassiker, № 24, стр. 25.

когда времена падения относились, как $1 : 2$; иными словами, пройденные пути относились между собою, как квадраты времен падения. Что этот закон верен не только в случае, избранном для данного опыта, но является правилом, оправдывающимся во всех случаях, было доказано многократным повторением опытов с изменением длины пути и угла наклона плоскости.

Для более точного определения времен падения употреблялось следующее приспособление. Большой сосуд, наполненный водою, имел на дне узкое отверстие, через которое вытекала тонкая струя. Струя эта направлялась во время опыта в маленький сосуд, и вытекающая масса жидкости взвешивалась затем на очень точных весах.

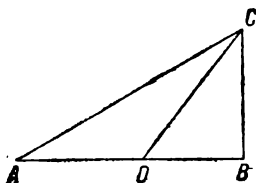


Рис. 8. Галилей исследует движение по наклонной плоскости.

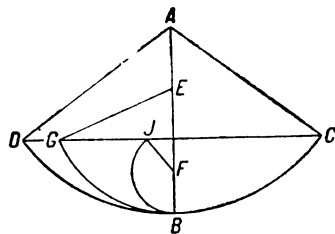


Рис. 9. Опыт Галилея, приведший впоследствии к установлению закона сохранения силы.

Оказалось, что отношение масс воды при различных опытах довольно точно соответствовало отношению времен падения, так что результаты опыта при многократном повторении его почти не отличались друг от друга.

Мы остановились несколько подробнее на опытах Галилея с наклонной плоскостью, потому что они являются одним из первых рядов экспериментальных исследований, приведших к открытию искомого закона природы.

Галилей нашел также, что скорости, приобретенные падающим по наклонной плоскости телом, зависят от высоты последней, а не от ее наклона. Поэтому если тело приходит в одном случае из C в A , а другой раз из C в D (рис. 8), то оно будет обладать в A и D одинаковой скоростью, равной притом скорости, которую имело бы свободно падающее тело, придя из C в B .

Что скорость тела, опускающегося благодаря силе тяжести по любому пути до той же самой горизонтальной плоскости, всегда одинакова (предполагая, конечно, что движение тела не встречает никакого сопротивления), — это Галилей доказал еще следующим опытом. Он дал качаться перед стеной простому маятнику AB (рис. 9) так, что он описал дугу CBD . Маятник, поднявшийся по дуге BD , достигнет почти горизонтальной плоскости CD , не добравшись до нее на незначительное расстояние, что объясняется исключительно сопротивлением воздуха и нити маятника.

Если затем укрепить в стене в точке E гвоздь, то маятник вынужден будет описать дугу BG вокруг E , как центра. Но он достигнет, если отвлечься от вышеупомянутой небольшой неточности, той

же самой горизонтальной плоскости CD . То же самое произойдет, если укрепить гвоздь в F , с той лишь разницей, что маятник опишет на этот раз дугу BJ . Следовательно, все моменты и все скорости, с которыми маятник проходит точку B , равны между собою. Теперь, если дать начать маятнику свое движение в точках D , G или J , то на другой стороне он всегда поднимется до точки C . Следовательно, все моменты и все скорости, имеющие место при прохождении столь различных путей DB , GB , JB , равны между собою.

Здесь таким образом мы встречаем — в применении к случаю движения маятника — уже по существу ту идею, которая под названием принципа сохранения силы образует фундамент объяснения всех явлений природы. Действительно, в основу всех позднейших представлений о сохранении силы лег тот факт, что свободно падающее тело может благодаря достигнутой им скорости подняться в точности до своей первоначальной высоты. Оставалось только перенести этот закон с отдельного тела на систему тел; это обобщение, как мы увидим ниже, выпало на долю Гюйгенса.

ДВИЖЕНИЕ МАЯТНИКА

Теперь мы перейдем к тем идеям и опытам, которые привели Галилея к объяснению движения маятника и движения брошенных тел, близко придерживаясь при этом собственного изложения Галилея.

В своих опытах Галилей имел всегда в виду, кроме уменьшения ускорения, также ослабление сопротивления, испытываемого движущимся телом. «Если дать падать двум телам различного веса, — рассуждает он, — например пробковому и свинцовому шару, то оттесняемый по бокам воздух должен будет оказывать большее влияние на легкое тело, чем на тяжелое, обладающее более сильным импульсом; поэтому более легкое тело должно будет отставать от тяжелого».

Если при пользовании наклонной плоскостью сопротивление среды, благодаря замедлению падения, и уменьшалось в значительной мере, то нельзя было не заметить, что от прикосновения падающего тела с этой плоскостью возникало новое сопротивление. Нельзя ли было устранить влияние и этого сопротивления? Это было достигнуто тем, что пробковый и свинцовый шары подвешивались каждый на одинаковой по длине (4—6 локтей) тонкой нити. Если шары эти выводились из положения равновесия и затем одновременно выпускались, то они описывали дуги совершенно одинаковых радиусов. Шары переходили через свое первоначальное положение равновесия, отклонялись в другую сторону и затем возвращались тем же путем обратно. После того как шары совершили множество колебаний, оказалось, что движение более тяжелого тела настолько соответствовало движению легкого, что между ними почти не было заметно никакой разницы. Качание маятника оказалось, таким образом, особым рода свободным падением, при котором сопротивление среды весьма незначительно, а сопротивление от трения, имеющее место при наклонной плоскости, совершенно отсутствует.

Далее удалось обнаружить еще один пункт сходства между качанием маятника и падением тел по наклонной плоскости. Галилей показал¹, что тело, падающее по хорде, соответствующей какой-либо дуге круга, например, тело, падающее (рис. 10) из точек A, B, C, D или E по направлению к F , пробегает свой путь в одинаковое время, независимо от того, соответствует ли дуга полным 180° или меньшему углу. С другой стороны, оказалось, что если маятник качается около точки A , то он пробегает путь E_1F (соответствующий хорде EF) в такое же время, как и более длинный путь D_1F (соответствующий большей хорде DF). Когда, например, свинцовый маятник удаляли на 50° от вертикального положения² и затем предоставляли ему свободно качаться, то он удалялся по другую сторону вертикали также приблизительно на 50° , описывая в общем дугу в 100° . Возвращаясь, он описывал уже несколько меньшую дугу, останавливаясь, наконец, после большего количества колебаний. Всякое из этих колебаний происходило в совершенно одинаковое время независимо от того, было ли отклонение равно $50, 20$ или 10° . Скорость, очевидно, должна была убывать, так как за одно и то же время маятник описывал все меньшие дуги³.

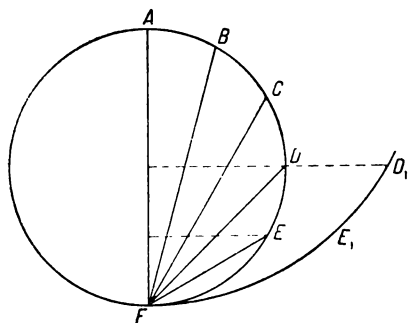


Рис. 10. Объяснение изохронизма качаний маятника.

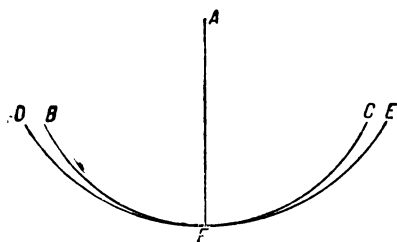


Рис. 11. Круг и циклоида как траектории качающегося тела.

Этот шар приходил в покой после меньшего количества качаний. Все качания пробкового шара также были одинаковой продолжительности, происходя в такое же время, как качания свинцового маятника.

Впоследствии было показано, что этот закон неприменим вполне к более значительным размахам маятника, ибо дуга круга не имеет свойств изохронности, т. е. не является кривою, по которой качания происходят в одинаковое время. Гюйгенс впоследствии доказал, что это имеет место относительно циклоиды. Но, так как кривизна обеих кривых линий вблизи точки покоя F почти одинакова (рис. 11),

¹ Ostwalds Klassiker, № 24, стр. 35.

² Ostwalds Klassiker, № 11, стр. 75.

³ Изохронизм качаний маятника Галилей открыл еще в 1582 г. в Пизе, будучи студентом.

то закон равномерности качаний маятника с достаточной точностью применим к малым амплитудам. Удивительно все же, что Галилей не заметил разницы при больших углах отклонения. Это объясняется, вероятно, тем, что он приписывал эту разницу исключительно большему сопротивлению среды, возникающему при более быстром движении по большей дуге. Вообще Галилей ограничивался преимущественно экспериментальным исследованием движения маятника; математический же анализ его был произведен лишь несколько десятилетий спустя. Тому же Гюйгенсу мы обязаны как установлением формулы этого движения, так и приспособлением маятника к часам. Но идея воспользоваться маятником для измерения времени пришла в голову уже и Галилею¹.

Врачебное искусство в начале XVII столетия тоже натолкнулось на эту мысль. Так, в одной вышедшей в 1602 г. книге мы находим описание особого инструмента, служившего для счета ударов пульса. Инструмент этот состоял² из свинцового шара, который врач держал на длинном шнуре. Качания этого маятника приводили в согласие с биениями пульса и затем отсчитывали длину маятника на особой шкале.

Незадолго до своей смерти Галилей развил перед своим сыном и своим учеником Вивiani (как видно из записок последнего) проект конструкции часов с маятником. Часы эти были устроены следующим образом. К маятнику *AB* (рис. 12) прикреплен крепкий стерженек *C*. Он входит в промежуток между зубцами зубчатого колеса *D*, которое может вращаться на оси *F*. Ясно, что при каждом размахе маятника вперед и назад стерженек заставляет колесо повернуться на один зубец. Это вращение легко было передать особому счетчику.

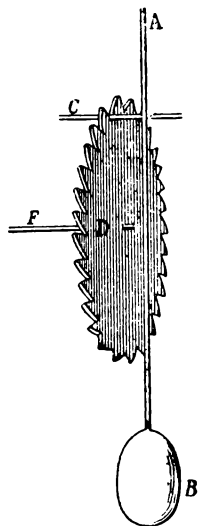


Рис. 12. Галилей соединяет маятник со счетчиком.

Надо было только время от времени сообщать толчок маятнику, для того чтобы он под конец не остановился. Усилия Галилея должны были, естественно, направиться на то, чтобы получить возможность сообщать этот толчок путем особого механического приспособления. На рис. 13³ изображен чертеж Галилея, изготовленный по его указаниям незадолго до его смерти⁴. Взгляды

¹ Подробнее у Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst, Leipzig 1899, стр. 120 и сл.

² Подробнее см. об этом у A. Kistner, Mitteilungen zur Geschichte d. Medtzin u. d. Naturwiss., т. 14, стр. 240.

³ Подробнее говорится об этом в статье: E. Gerland, Über die Erfindung der Pendeluhr. Bibl. math., III серия, т. 5, стр. 234.

⁴ Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1888, стр. 79.

Чертеж представляет первую идею применения маятника к часам. Он был изготовлен по указаниям ослепшего уже к тому времени Галилея его сыном и его учеником Вивiani. Подробнее см. в „Bericht über die Ausstellung im South-Kensington Museum, Berlin 1877, стр. 411 и сл.

ученых по вопросу о том, кто первый изобрел часы с маятником, расходятся между собою. Во всяком случае Гюйгенс построил часы с маятником независимо от работ Галилея.

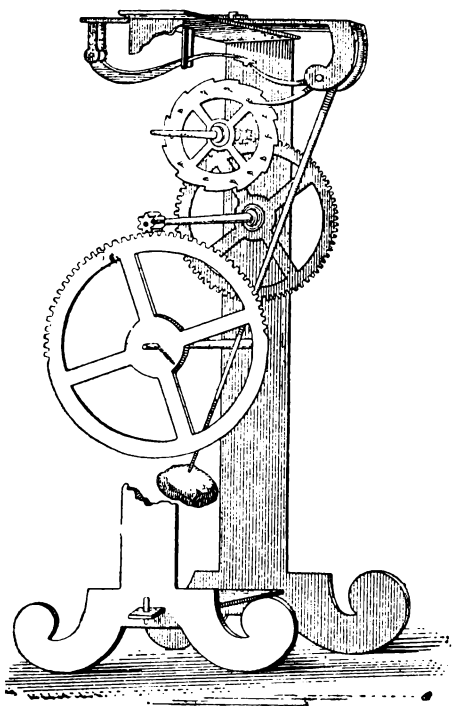


Рис. 13. Проект часов с маятником Галилея.

Следовательно, большой маятник содержит 57 600 таких частей, которых приходится 400 на один локоть, и значит, длина его равняется $57\,600 : 400$, т. е. 144 локтям».

ДВИЖЕНИЕ БРОШЕННОГО ТЕЛА

Выяснив, что движение маятника представляет собою лишь особую разновидность падения, Галилей нашел затем то же самое и в явлениях движения брошенного тела. Ученые, пытавшиеся объяснить этот процесс путем чистого умозрения, пришли к совершенно нелепым взглядам. Правда, некоторые правильные соображения мы встречаем уже и у предшественников Галилея², но Галилею принадлежит заслуга истинного и исчерпывающего анализа движения брошенного тела на основании установленных им общих принципов.

¹ Ostwalds Klassiker, № 11, стр. 84.

² См. т. 1.

Первым из них является принцип инерции или косности, согласно которому движение тела по неограниченной горизонтальной плоскости должно быть равномерным и непрерывным¹. Если же, гласит второй принцип, движущееся по инерции тело находится под действием какой-нибудь силы, то новое движение, вызываемое действием этой силы, складывается с первым, уже раньше существовавшим.

Галилей установил, вероятно, оба этих основных принципа механики (т. е. закон инерции и закон независимости друг от друга действующих на какое-нибудь тело сил) для того, чтобы обосновать ими коперникову систему. Некоторые исследователи считают даже эти принципы не столько результатом опыта, сколько выводами из коперниковой системы². Правильнее, однако, предположить, что Галилей нашел полное согласие между результатами исследования механических процессов, происходящих на Земле, и небесными явлениями, истолкованными согласно теории Коперника.

В исследованиях Галилея о движении брошенного тела дело идет по существу лишь о применении закона параллелограмма движений, который мы встречаем у него впервые в качестве общего принципа, но еще не о законе параллелограмма сил, высказанном впервые с полной ясностью в «Началах» Ньютона. Но, с другой стороны, результаты, получающиеся при движении, уже Галилей трактовал не чисто форомономически, рассматривая их так же, как действия некоторых сил. Одним из важнейших достижений механики по справедливости считается то, что Галилей понял независимость действий различных сил, вызывающих движение. Поэтому сам Ньютон назвал его автором теоремы о параллелограме сил³. Но если бы заключающийся в этой теореме круг представлений был так же привычен для Галилея, как закон сложения движения, то он применил бы теорему о параллелограме сил к статическим проблемам, вроде тех, которые имеют место в случае тел, положенных на наклонную плоскость. Рассмотрим теперь на частном случае, как Галилей применял вышеупомянутые установленные им принципы.

Если горизонтальная плоскость, на которой движется по инерции тело, не бесконечна, а ограничена, то, дойдя до конца горизонтальной плоскости, оно будет двигаться дальше, но к его неунитожжаемому равномерному движению присоединится еще движение, обусловленное силой тяжести, так что в результате возникнет сложное движение. Такого рода движением является движение брошенного тела. Тело опишет траекторию с непрерывной кривизной, и этой кривой, как легко доказать, будет полупарабола.

Пусть AB (рис. 14), будет горизонтальная плоскость, по которой движется равномерно тело. В конце плоскости в точке B у тела нет больше опоры, и оно вследствие своей тяжести падает вдоль верти-

¹ Подробнее об открытии этого закона см. у E. Wohll, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes („Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft“, т. 14 и 15).

² P. Tannery, Galilée et les principes de la dynamique.

См. также Jahrbücher, über die Fortschritte der Mathematik, Jahrgang 1901.

³ Rosenberger, Geschichte der Physik, т. 2, стр. 227.

кальной линии BN . Представим себе прямую AB продолженной до E и отложим на этом продолжении несколько равных отрезков BC , CD , DE . Проведем из точки C , куда пришло бы в силу своего равномерного движения тело, еще отрезок CJ , обусловленный падением тела; таким образом по истечении времени, соответствующего движению от B до C , тело очутится в точке J . За то время, когда тело в силу своего равномерного движения придет из C в D , пройдя отрезок такой же величины, как прежде, путь по линии падения будет вдвое больше, нежели в предшествующую единицу времени, т. е. будет равен $3CJ$, а весь путь DF , пройденный в вертикальном направлении, составит $4CJ$. Наконец, когда после третьей единицы времени тело вследствие своего равномерного движения пройдет тройной отрезок BE , то под влиянием падения оно придет уже в точку L , причем длина пути BL в 9 раз больше CJ , и т. д. Квадраты отрезков BC , BD и BE , называемые ординатами точек J , F и H кривой, относятся между собой, как отрезки CJ , DF и EH , т. е. как $1 : 4 : 9$. Эти отрезки CJ , DF и EH называются абсциссами точек J , F и H . В аналитической геометрии доказывается, что все точки, абсциссы которых относятся между собой, как квадраты соответствующих ординат, лежат на параболе¹.

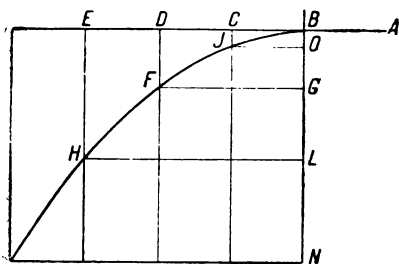


Рис. 14. Галилей определяет траекторию брошенного ² тела.

Галилей показал затем, что случай наклонно брошенного тела не представляет ничего нового: разлагая движение на две его составляющих, мы получим в качестве траектории тела опять-таки параболу. Он определил также амплитуду параболы (дальность полета брошенного тела) и по-

казал, что тела, брошенные с одинаковой начальной скоростью («одинаковыми импульсами») под углами, отклоняющимися на одинаковую величину вверх и вниз от 45° , обладают одинаковой дальностью полета³.

Так как при натягивании веревки действуют также две силы, именно: горизонтальная сила натяжения и действующий по вертикальному направлению вес веревки, то этим Галилей объясняет тот факт, что веревка всегда принимает форму кривой линии и при некоторой длине не может быть натянута вполне горизонтальным образом. Галилея часто упрекали в том, будто он ошибочно смешал здесь с параболой ту линию, которая впоследствии была названа цепной линией. Однако он определенно заявляет, что в случае натянутой веревки имеют место не тождественные, а лишь сходные с случаем

¹ Galilei, Unterredungen und mathematische Demonstrationen. См. Ostwalds Klassiker, № 24, фиг. 108.

² Аналитическая формула этой кривой такова: $y^2 = 2px$. Для двух точек x, y и x'', y'' мы имеем: $y^2 = 2px$, и $y''^2 = 2px''$. Деля оба уравнения друг на друга, приходим к вышеуказанному закону: $x : x'' = y^2 : y''^2$.

³ Ostwalds Klassiker, № 24, стр. 107.

движения брошенного тела отношения и что веревка только приближается к форме параболы¹.

Хотя Галилей отлично знал, что траектория брошенного тела испытывает благодаря сопротивлению воздуха значительные изменения, но в своих дедукциях он оставил в стороне эти изменения. Ему было совершенно ясно, что выводы теории осложняются в действительности рядом побочных обстоятельств, не теряя, однако, от этого своего значения. Он сам доказывает весьма подробно, что, строго говоря, движение, вызванное ударом, не происходит равномерным образом и что точно так же движение свободного падения не есть равномерно-ускоренное движение, а траектория брошенного тела не есть парабола. Последнее невозможно уже по одному тому, что направление тяжести не остается неизменным, ибо все вертикальные линии сходятся в центре Земли. В случае дальней стрельбы из орудий одно это обстоятельство, совершенно независимо от сопротивления воздуха, должно заметно влиять на форму кривой. Мы видим, что здесь имеется уже в зародыше проблема центрального движения, законы которого были установлены только Ньютоном и Гюйгенсом. Вызванное ударом, теоретически равномерное движение, как показывает далее Галилей, не только замедляется сопротивлением воздуха, но под конец совершенно уничтожается, и это происходит тем быстрее, чем легче тело. Движение свободного падения должно под конец — даже в случае самых тяжелых тел — перейти в равномерное движение вследствие сильно возрастающего вместе со скоростью падения сопротивления воздуха. Чтобы убедиться в этом, Галилей рекомендует произвести два выстрела вертикально вниз: с большой высоты и с малой. Хотя, согласно теории, действие в первом случае должно быть больше, но опыт показывает обратное, ибо сопротивление воздуха уменьшает полученную пулей от пороха скорость сильнее на более длинном пути, чем на коротком². В случае наклонного бросания тел форма траектории должна в силу тех же соображений тем больше отклоняться от параболы, чем больше начальная скорость. Таким образом, от Галилея не укрылись побочные обстоятельства, с которыми придется иметь дело при движении брошенных тел, и он правильно определил их действие. Однако он пришел к тому выводу, что невозможно дать теории всех бесконечно различных комбинаций, связанных с тяжестью, скоростью и формой брошенного тела. Потребовалось значительное развитие математического анализа и экспериментального искусства, чтобы справиться с «баллистической проблемой, и определить действительную траекторию брошенного тела, так называемую «баллистическую кривую». Лишь в XVIII в. Иоганн Бернулли и другие исследователи³ дали приближенное решение этой задачи⁴.

¹ Ostwalds Klassiker, № 24, стр. 119. Проблемой цепной линии занимались Гюйгенс, Лейбниц и Иоганн Бернулли. Первое решение ее было дано в 1690 г. Яковом Бернулли („Acta Eruditorum“, май, 1690 г.).

² Ostwalds Klassiker, № 24, стр. 90 и 91. Опыт этот был произведен Флорентинской академией. Об этом см. ниже.

³ Benjamin Robins, New principles of gunnery, London 1742.

⁴ Вопрос этот был изучен тщательно лишь в новейшее время.

ПРИНЦИП ВИРТУАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ

На этом мы расстанемся с исследованиями Галилея о движении свободного падения и движении брошенного тела, которым посвящены третий и четвертый дни его «Собеседований» и которые мы могли изложить здесь лишь вкратце. Эти исследования по справедливости считаются самым крупным научным подвигом Галилея. Если принять во внимание, что до Галилея в этой области господствовали почти одни лишь предрассудки, то нельзя не согласиться с замечанием Лагранжа, что только необычайно гениальный ум мог создать эту часть «Собеседований», которой нельзя достаточно надивиться.

Как мы видели, главные заслуги Галилея относятся к области динамики. По существу он является даже творцом этой части механики, ибо до него существовали только — благодаря работам да-Винчи, Тартальи (Tartaglia), Бенедетти (Benedetti) и других ученых — сравнительно незначительные зачатки этой науки. Наоборот, основы статики новое время получило от древности. Но в этой области от Архимеда до Галилея было сделано так мало нового, что последнему и здесь досталось на долю не только более строгое обоснование уже известных положений, но и открытие ряда новых истин.

Особенно обязаны мы Галилею тем своеобразным соединением основоположений статики и динамики, которое мы ныне называем принципом виртуальных, т. е. возможных, скоростей или перемещений. Под виртуальными скоростями понимают те скорости, которые получили бы точки системы с уравновешенными силами в тот момент, когда нарушается равновесие. Согласно этому новому принципу находящиеся в равновесии силы относятся между собой обратно пропорционально виртуальным перемещениям. Если это — первоначально лишь идеальное — перемещение имеет место реально, то совершаемая при некотором движении работа равна той работе, которая была бы произведена при противоположном движении. Покажем на некоторых, заимствованных из сочинений Галилея примерах, как с помощью принципа виртуальных перемещений обнаруживаются скрытые статические отношения. Так условие равновесия рычага получается из принципа виртуальных скоростей¹ следующим образом. Даны две силы P и Q (рис. 15), действующие под прямым углом на плечи рычага ACB . При нарушении равновесия имеют место перемещения AD и BE , которые при небольшом угле отклонения можно считать прямолинейными отрезками, перпендикулярными к ACB . Значит, при наличии равновесия силы относятся между собою обратно пропорционально этим перемещениям ($P : Q = BE : AD$). Таким образом, Галилей установил положение, что в каждой машине теряется столько в пройденном расстоянии, сколько выигрывается в силе.

Аналогичным образом рассуждает Галилей, перенося новый принцип, который он применяет при всех своих статических исследованиях, не придавая ему особого наименования, на случай полиспаста и наклонной плоскости. Равновесие на наклонной плоскости он изучает для того случая, когда длина ее вдвое больше высоты (рис. 16).

¹ Мы пользуемся здесь современным выражением.

Мы имеем тогда, что $P = \frac{Q}{2}$. Как указывает Галилей, условия равновесия здесь можно определить на основании величин возможного приближения и удаления грузов по отношению к центру Земли¹. Действительно, если P опускается на h , то Q поднимается вдоль AB на $\frac{h}{2}$. Но произведения из движущегося веса и пройденного в вертикальном направлении пути $P \cdot h$ и $Q \cdot \frac{h}{2}$ равны между собой, так как $P = \frac{Q}{2}$.

При помощи принципа возможных перемещений Галилей определяет также отношение между силой и сопротивлением у полиспаста. Исходя из предположения, что путь s , пройденный силой, во столько

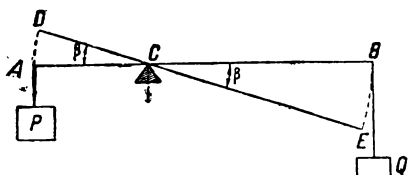


Рис. 15. Вывод закона рычага из принципа виртуальных скоростей.

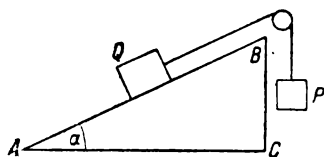


Рис. 16. Галилей применяет принцип виртуальных скоростей к наклонной плоскости.

раз больше пути w , пройденного сопротивлением, сколько имеется кусков веревки, между которыми распределяется сопротивление, он приходит к равенству $P \cdot s = Q \cdot w$. Вместо статических моментов, которыми пользовались раньше при рассмотрении равновесия, Галилей прибегает теперь к произведению из весов на пройденные ими пути, т. е. к работе, и устанавливает в качестве условия равновесия положение, что работа силы (сила, помноженная на пройденный силой путь) равна работе сопротивления (сопротивление, помноженное на пройденный сопротивлением путь). Равенство $P \cdot s = Q \cdot w$ приводим к пропорции: $P : Q = w : s$, или, выражая это словами: если две силы находятся в равновесии, то они относятся между собою обратно пропорционально соответствующим путям, или, формулируя это еще иначе: то, что при помощи машины мы выигрываем в силе, то мы теряем в расстоянии. Принцип этот называли по имени Декарта, но автором его в действительности является Галилей.

НЕДОСТАТКИ ГАЛИЛЕЕВОЙ МЕХАНИКИ

Самым существенным недостатком галилеевой механики, несмотря на все ее успехи, было отсутствие в ней правильного понимания закона параллелограмма сил. Хотя Галилей знал закон параллелограмма, но он применял его, как мы это видели при изложе-

¹ Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung, 1883, стр. 47.

нии его исследований о движении брошенных тел, только к сложению движений. Но у него не встречается ни одного случая применения к проблемам статики принципа сложения сил.

Незрелы были также представления Галилея о сущности и действии удара. Его динамические исследования были плодотворны, пока он ограничивался изучением действия сил на одно только тело (как это имеет место в случаях движения свободного падения, качания маятника и движения брошенного тела). Вызываемое же ударом движение представляет собою задачу высшего порядка, так как здесь идет дело о явлениях, наблюдаемых при действии сил на две, по меньшей мере, массы. О трудности этой проблемы догадывались уже древние исследователи, когда они спрашивали, почему небольшой удар действует на клин сильнее, чем большое давление¹. Галилей посвятил этой проблеме целый отдел своих «Собеседований», и, хотя он не мог свести ее к математически формулируемым законам, но его, обнаруживающие большую проницательность исследования оказали значительное влияние на дальнейшее развитие науки.

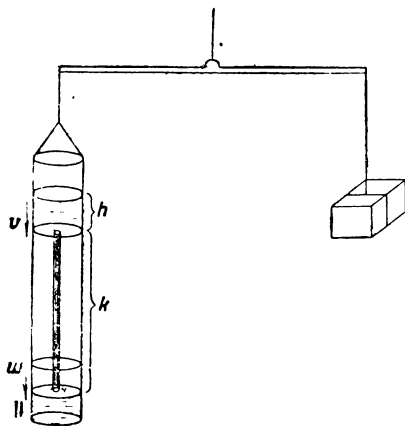


Рис. 17. Опыт Галилея о существующих в системе тел отношениях между силами².

Галилей с полной отчетливостью указывает на то, что в случае удара сила зависит от двух обстоятельств, определяющих подлежащую измерению энергию: именно от массы ударяющего тела и от его скорости. Галилей подчеркивает то обстоятельство, что каждый удар производит работу, между тем как покоящийся вес не производит никакой работы. Отсюда вытекает также его утверждение, что сила удара бесконечно велика по сравнению с силой простого давления, ибо в последнем случае один из двух определяющих энергию факторов — именно скорость — равен нулю.

Поэтому же Галилей пользуется для обозначения покоящегося, оказывающего только давление, веса вошедшим в обиход выражением мертвый вес (*Peso morto*). Его концепция вполне соответствует современным представлениям, согласно которым количество движения обладает другой размерностью, чем давление, которое относится к моменту удара, как линия к площади. Поэтому, когда Галилей говорит, что сила удара бесконечно велика по сравнению с силой давления³, то в этом — вопреки упрекам некоторых авторов — нет

¹ Aristoteles, *Mechan. Probleme* (Poselger), Hannover 1881, стр. 34. Подробнее о вероятном авторе см. в первом томе.

² См. Мах, *Механика*, немецкое изд. 1883 г., рис. 157.

³ Ostwalds *Klassiker*, № 25, стр. 43. (Galilei, *Unterredungen und mathematische Demonstrationen*, fünfter und sechster Tag.)

ничего неясного. Наоборот, здесь можно только удивляться остроте ума Галилея и признать, что удачней выразить сущность дела без математических формул вряд ли возможно.

Среди рассуждений Галилея о сущности удара имеется описание одного опыта, предвосхищающего уже открытые впоследствии отношения между силами внутри системы тел. Галилей уравнивал на весах при помощи противовеса два расположенных друг над другом ведра (рис. 17). Верхнее из ведер было наполнено водой, нижнее же было пусто. Затем он дал вытекать воде через отверстие, устроенное в дне верхнего ведра, и наблюдал, не нарушается ли равновесие благодаря удару воды о нижнее ведро. При этом обнаружили следующие неожиданные явления. В то время как вода текла из верхнего ведра в нижнее, равновесие всей системы сохранялось в целости, несмотря на удар жидкости: коромысло весов, на котором были привешены ведра, не опустилось ни на волос. Зато в мгновение, когда вода начала только вытекать, опустился вниз противовес, так что система ведер, казалось, стала даже легче. Но лишь только вода достигла нижнего ведра, как система вернулась в первоначальное состояние равновесия. Галилей назвал этот опыт поучительным, но не сумел правильно объяснить. Теперь мы знаем, что поднимание в первое мгновение коромысла весов с ведрами вызывается реактивным давлением вытекающей воды. Уменьшение давления на левом коромысле весов объясняется кроме того еще тем, что перестает действовать вес находящейся в воздухе, еще только падающей, воды. Но с того момента, когда струя воды достигает дна нижнего ведра, действие обеих причин, вызывающих уменьшение давления, а вместе с тем и поднимание левого коромысла, вполне выравнивается действием удара жидкости о дно.

ГАЛИЛЕЙ ИССЛЕДУЕТ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕЛ

Основоположное значение имели также исследования Галилея о сопротивлении тел, хотя под влиянием учения о *horror vacui* он пришел здесь к ошибочным взглядам. Прежде всего он поставил себе задачу определить сопротивление растяжению и сопротивление разлому. Исходным пунктом этих исследований явились наблюдаемые в практической жизни, особенно в строительной и машинной технике, явления. Известно, говорит Галилей, что иногда машина хороша в виде модели, но отказывается работать, если изготовить ее в большом масштабе. Дело в том, что большая машина, имеющая те же пропорции, что и меньшая, обладает гораздо меньшей прочностью. Так можно возвести небольшие обелиски и колонны, не боясь того, что они сломаются, между тем как очень большие сооружения этого рода грозят обрушиться при каждом случае под действием собственной тяжести. Поэтому не только для машин и произведений искусства, но и для всех физических тел существует некоторая граница, которую нельзя перейти при неизменности материала и пропорций. Так, у дерева вышиной в 200 локтей ветви, без сомнения, обломались бы под собственной тяжестью. Чтобы избежать таких последствий, надо

либо брать более прочный материал, либо изменить пропорции: так, например, у очень больших животных кости должны быть безобразно толсты. По этой причине великаны животного царства встречаются только в воде, в которой их вес уменьшается давлением жидкости вверх. С другой стороны, можно заметить, что в случае уменьшения тела силы организма не убывают в той же мере, а относительно меньше. Так, например, маленькая собака может нести на себе трех других собачек той же величины, между тем как лошадь вряд ли в состоянии тащить на себе хотя бы одну только лошадь.

Таким образом, мы обязаны Галилею рядом крайне важных соображений, облегчающих нам понимание механики животных и растений. К ним у него присоединяется еще указание на то, что сопротивление материала зависит также в высокой степени от порядка расположения материи. Человеческая техника и природа, говорит он, пользуются в тысячах случаев полыми телами, ибо тогда сопротивление материала увеличивается в значительной мере без увеличения веса. В качестве примеров он указывает на кости и на стебли трав. Но Галилей не ограничился общим констатированием этого факта,

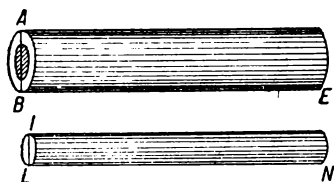


Рис. 18. Галилей сравнивает сопротивление разлому полых и массивных цилиндров.

а указал конкретно, что сопротивления разлому двух цилиндров одинаковой массы и длины (рис. 18), из которых один полый, а другой массивный, относятся между собой, как диаметры этих цилиндров.

Что касается вышеупомянутых фактов, характеризующих разницу между большими и меньшими предметами, организмами и машинами, то причину их Галилей также находит в одной теореме учения о сопротивлении. Согласно этой теореме сопротивление тел разлому при неизменности формы растет не пропорционально массе, а в меньшем отношении. Действительно, в то время как массы призматических тел относятся между собою пропорционально кубам подобных ребер, сопротивление разлому растет пропорционально лишь квадрату этих ребер.

Свою теорию сопротивления разлому Галилей доказывает следующим образом. Вообразим себе (рис. 19), что в стене укреплена балка, имеющая форму параллелепипеда и носящая на себе груз Q . В таком случае ее можно рассматривать как коленчатый рычаг STU , точкой опоры которого является T . На плечо TU действует груз Q , на плечо TS — совокупное сопротивление всех волокон балки. TS представляет половину высоты h призмы, а TU — ее длину. Полагая равными действующие моменты, получим, что совокуп-

ное сопротивление X , помноженное на $\frac{h}{2}$, равно $Q \cdot l$. Но совокупное сопротивление равно некоторой постоянной K на единицу поперечного сечения, умноженной на поперечное сечение (bh), т. е. равно $K \cdot bh$

Таким образом, вышеприведенное равенство — одно из важнейших равенств технической механики — принимает следующий вид:

$$K \cdot bh \frac{h}{2} = Q l.$$

Иначе говоря, *сопротивление разлому* (или относительная крепость) балки выражается формулой:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot K \cdot \frac{bh^2}{l}.$$

В своих рассуждениях Галилей не принимал еще во внимание упругости волокон. Для таких тел, как стекло и камень, это допустимо, так как в этом случае можно принять основную гипотезу Галилея, согласно которой волокна не изменяются до разрыва. В действительности же часть их растягивается, другая часть сокращается, и только в известной зоне (нейтральные волокна) они сохраняют неизменной свою длину, так что разрыв всех волокон происходит не одновременно, как это предполагал Галилей. Поэтому современная механика, учитывающая упругость тел, приводит к формуле, тождественной по форме с галилеевой, но дающей меньшее значение для Q :

$$\left(\frac{1}{6} \cdot K \cdot \frac{bh^2}{l} \right).$$

Продолжая это исследование, Галилей показывает далее, почему призма с узким основанием представляет большее *сопротивление разлому* (Q), чем призма с широким основанием (рис. 20). В обоих случаях плечо рычага BD , к которому прикреплен груз, остается неизменным. Неизменным остается и совокупное сопротивление балки, так как в обоих случаях оно равно сопротивлению всех волокон основания AB . Но зато изменяется плечо рычага, на которое действует совокупное сопротивление. В первом случае плечо равно половине AC , во втором — лишь половине BC . Но большему плечу соответствует больший момент, а этому последнему — большее относительное сопротивление разлому (Q).

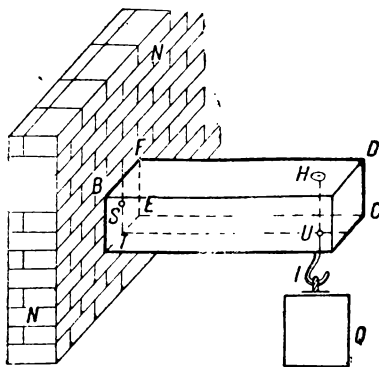


Рис. 19. Галилей исследует сопротивление балки разлому¹.

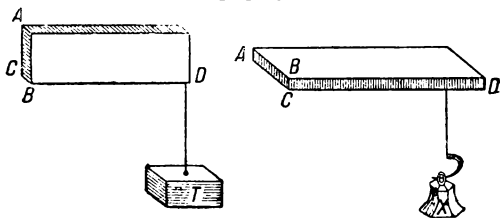


Рис. 20. Галилей исследует сопротивление призм разлому.

¹ M. Rühlmann, Vorträge über Geschichte der technischen Mechanik, Leipzig 1885, фиг. 12.

МЕХАНИКА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Галилей первый обратил снова внимание также на механику жидких тел, не сделавшую со времени Архимеда ни шагу вперед. Прежде всего он подверг проверке в своем сочинении о плавающих телах¹ найденные Архимедом гидростатические законы и подтвердил правильность их. Благодаря этому удалось опровергнуть ошибочное утверждение аристотеликов, будто плавание тела зависит прежде всего от его формы, и вернуться к правильному пониманию дела, согласно которому плавание тела зависит от его удельного веса: тело плавает лишь тогда, когда его удельный вес меньше удельного веса вытесняемой им жидкости. Аристотеликов ввело в заблуждение то обстоятельство, что металлические пластинки плавают на воде. В ответ на это Галилей указал, что такие пластинки покоятся в углублении на поверхности воды и что они падают вниз и не поднимаются больше, если их целиком погрузить в жидкость. Объяснение плавления тонких металлических пластинок или игол на жидкости с меньшим удельным весом было дано лишь в XVIII в., после открытия явлений поверхностного натяжения. Учение о поверхностном натяжении объяснило также одно явление, оставшееся для Галилея загадочным, именно тот факт, что на листьях небольшие массы воды держатся вместе не растекаясь.

Чтобы показать зависимость плавления тел в жидкостях от удельного веса ее, Галилей произвел следующий опыт. Опустив восковой шар в чистую воду, он заметил, что шар погрузился. Когда же он вслед за этим стал повышать удельный вес жидкости, растворяя в ней соль, то шар при определенной степени концентрации растворов поднялся снова вверх. Галилей развил также теорию строения жидкости, легшую в основу всех позднейших исследований в области гидромеханики. Согласно этой теории, жидкости состоят из отдельных, очень подвижных частиц, которые в силу своей подвижности поддаются малейшему давлению. Вследствие этого всякое давление сообщается всей массе жидкости.

Стремясь свести механику жидкостей к установленным им прежде всего на твердых телах принципам общей механики, Галилей впервые применил принцип виртуальных скоростей к гидростатическим проблемам. Благодаря этому он создал для этой области новый метод доказательства, все значение которого понял в особенности Паскаль (Pascal), применивший его в полном объеме.

Для изучения вопросов статики Архимед создал понятие статического момента, обращая при объяснении простых машин свое внимание главным образом на веса тел и их расстояния от точки опоры. Наоборот, Стевин (Stevin) и Галилей подходили к проблемам статики с динамической точки зрения: при рассмотрении условий равновесия они клали в основу веса тел и связанные с последними при некотором смещении системы виртуальные перемещения по вертикали. Этот принцип виртуальных скоростей или перемещений сводится по

¹ *Discurso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quelle si muovono.*

существо к тому положению, что для состояния равновесия необходимо, чтобы работа силы равнялась работе сопротивления (произведение из веса на вертикальное перемещение и есть ведь произведенная работа).

Особенно простой и прозрачный характер носит применение Галилеем принципа виртуальных скоростей при рассмотрении случая погружения призматического тела в призматический же, наполненный жидкостью сосуд. Галилей здесь сравнивает перемещение призмы (которое можно заменить также скоростью ее) с перемещением уровня жидкости в противоположном направлении. Перемещения или скорости призмы и уровня жидкости относятся между собою, очевидно, обратно пропорционально соответственным площадям, т. е. площади основания призмы и поверхности уровня жидкости. При извлечении призмы происходит соответственное опускание уровня жидкости. Применяя здесь для получения условий равновесия принцип виртуальных скоростей, мы убеждаемся, что произведение из веса погруженного тела на скорость его должно равняться произведению из веса поднявшейся массы жидкости на скорость ее. Галилей распространил принцип виртуальных скоростей также на случай жидкостей в сообщающихся трубках. От его внимания не могла ускользнуть аналогия между этим случаем и только что рассмотренными явлениями. Действительно, погружению призмы и вызванному этим повышению уровня жидкости соответствует опускание жидкости в узкой трубке и подъем ее в широкой, причем и здесь перемещения обратно пропорциональны поперечным сечениям трубок.

Галилей также обогатил гидродинамику рядом изобретений. Он изобрел гидростатический безмен и построил гидравлическую машину, на которую получил патент от Венеции¹.

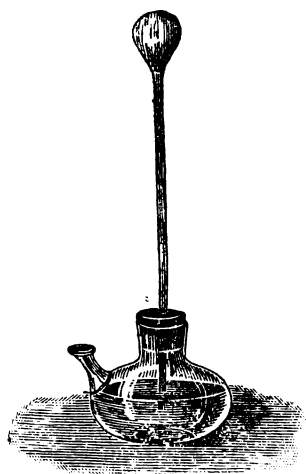
Мы, таким образом, ознакомились с характером изложения проблем механики у Галилея и должны признать, что он с полным правом мог говорить о новых областях науки. Проникнутый великим значением открытого им метода, основанного на неразрывной связи эксперимента с математическим анализом, Галилей восклицает в конце третьего «Собеседования»: «Положения, изложенные в этом труде, попав в руки других исследователей, будут каждый раз приводить к новым удивительным познаниям, и можно ожидать, что таким образом этот достойный способ исследования постепенно распространится на все области природы». Этому пророчеству суждено было осуществиться уже через одно поколение после смерти Галилея, благодаря трудам Гюйгенса, Ньютона и других исследователей. Впрочем, сам Галилей не ограничивался одной только механикой, приступив, хотя и в скромных размерах и с меньшим успехом, к исследованиям в других областях естествознания.

Уже древние знали, что воздух расширяется от нагревания. Ведь на этом явлении основываются многие физические фокусы Герона (Heron). Несмотря на мрак, окутывающий историю термоме-

¹ N° 111, Vita, стр. 62. Патент относится к 1594 г. (Libri, L'histoire les sciences mathématiques en Italie, IV, стр. 197).

тра, Галилей, повидимому, первый воспользовался фактом расширения воздуха для измерения состояния теплоты. Правда, в сохранившихся до нас сочинениях его имеются только намеки по этому вопросу. Так, в одном месте «Диалогов» мы читаем, что нельзя сомневаться в том, что при охлаждении горячее железо охлаждается скорее с 10 градусов на 9, чем с 10 на 6. Однако под градусом здесь приходится понимать какую-то совершенно неопределенную единицу.

Согласно указаниям первых биографов, Галилей уже до 1597 г., когда он изучал произведения Герона, изготовил термоскоп, который



он демонстрировал на своих лекциях¹. Термоскоп этот состоял из открытой книзу и заканчивавшейся кверху шариком трубки (рис. 21), в которой то поднималась, то опускалась жидкость. Это движение вверх и вниз жидкости происходило, когда заключенный в шарике воздух согревался или охлаждался, так как в зависимости от этого он занимал больший или меньший объем. Но на показаниях этого инструмента должны были также отражаться всякие изменения в давлении воздуха. Вследствие этого сравнимы между собою были только опыты, произведенные в течение короткого промежутка времени.

Для улучшения этого инструмента трубке придали горизонтальное положение, преградив доступ воздуха в нее при помощи одной только капельки жидкости.

Рис. 21. Термоскоп Галилея².

Эта капля двигалась взад и вперед благодаря вызываемым разницей теплоты³ изменениям объема воздуха в трубке. Одному из друзей Галилея⁴ пришла в голову удачная мысль применить для определения теплоты тела больных подобный термоскоп, изменив его только соответственным образом.

ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛИЛЕЯ О ЗВУКЕ

Среди исследователей нового времени опять-таки Галилей первый занялся тщательно проблемами акустики. Правда, автором первого новейшего произведения⁵ по этому вопросу был Мерсенн (Mersenne), между тем как в исследованиях Галилея встречаются только случайные замечания на акустические темы. Но мы должны допустить, что Мерсенн, бывший в оживленной переписке с Галилеем, своими зна-

¹ Nelli, Vita e commercio letterario di Galileo Galilei, Losanna 1793, т. 1, стр. 72.

² Trau Müller und Gerland, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst, Leipzig 1899, стр. 116.

³ Это предложение было сделано другом Галилея, Сагредо.

⁴ Санкторио (Sanktorius), профессору медицины в Падуе.

⁵ Harmonicorum libri XII, Paris 1636.

ниями обязан был по существу последнему. Мерсенну принадлежит та заслуга, что он обстоятельно изложил и дополнил собственными исследованиями результаты работ учителя.

Галилей исследовал, в связи с открытыми им законами колебаний маятника, колебания струн, остановившись прежде всего на явлении резонанса¹, которое его современники, не привыкшие к физическому мышлению, объясняли своего рода симпатией². Зависимость высоты звука от числа колебаний Галилей установил при помощи следующего опыта. Он проводил острым куском железа по латунной пластинке. При этом каждый раз, когда получался отчетливый звук, на пластинке можно было заметить, в соответствии с колебаниями куска железа, множество тонких штрихов, находившихся на совершенно равных расстояниях друг от друга. Если, изменяя скорость движений куска железа, Галилей получал более высокий звук, то штрихи оказывались расположенными тесней друг к другу; если же получавшийся звук был ниже, то расстояние между штрихами увеличивалось, указывая тем на меньшее число колебаний. Эти колебания обнаруживались еще и в том, что всякий раз, когда, проводя куском железа по латунной пластинке, получали звук, железо начинало содрогаться в кулаке, так что по руке пробегала дрожь. Явление это, — говорит Галилей, — напоминает в точности то, что наблюдается, когда мы говорим шопотом и громко. Только в последнем случае мы ощущаем дрожание в гортани и в горле.

Установив число получившихся в единицу времени для определенных звуков штрихов, Галилей нашел способ физического измерения явлений, до того известных лишь по своему физиологическому действию. Галилей прежде всего добился того, чтобы два определенных звука, которые он получал, проводя более или менее быстро куском железа по латунной пластинке, образовали аккорд, называемый в музыке квинтой. Когда вслед за этим Галилей подсчитал число штрихов и измерил их расстояние, то оказалось, что на 30 штрихов (т. е. колебаний) одного звука приходилось 45 штрихов или колебаний другого звука.

До Галилея была изучена зависимость высоты звука только от длины колеблющихся струн, причем здесь были открыты простые закономерности. Галилей же установил основной закон акустики, согласно которому высота звука зависит от числа колебаний, производимых в единицу времени звучащим телом. Путем вышеописанного простого опыта он нашел, что для основного тона, кварты, квинты и октавы числа колебаний относятся между собой, как $1 : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : 2 = 6 : 8 : 9 : 12$.

Галилей изучил, далее, зависимость звуков колеблющихся струн от физических свойств последних. При этом он пришел к следующим результатам: при одинаковом натяжении и свойствах струны для получения октавы нужно укоротить струну вдвое; при одинаковой длине и свойствах струны для получения октавы нужно увеличить

¹ Ostwalds Klassiker № 11, стр. 86.

² Например Швентер (Schwenter), т. 1, стр. 424.

вчетверо натяжение; при одинаковой длине и натяжении струны для получения октавы нужно уменьшить вчетверо толщину струны. Однако акустические явления, как указывает Галилей, вызываются не длиной, натяжением и поперечным сечением струны, а числом колебаний или сотрясений воздуха, поражающих нашу барабанную перепонку и заставляющих ее созвучно колебаться в том же темпе.

Это явление созвучного колебания или резонанса Галилей объяснял следующим образом: колебание струны приводит воздух в движение. Так как каждая струна, настроенная одинаково с первой струной, может вибрировать в том же темпе, то при первом же толчке она начинает немного колебаться. Но к первому толчку присоединяется затем второй, третий и так далее, и так как все эти толчки попадают в струну в подходящее время, то под конец колебания резонирующей струны станут столь же заметными, как и колебания струны, по которой ударили вначале.

Галилей пытался также объяснить явления консонанса и диссонанса, исходя из отношения чисел колебаний и свойств органа слуха. Консонанс дают те звуки, которые поражают барабанную перепонку в известном порядке. Диссонансирующие же звуки — это те звуки, которые непрерывно теребят барабанную перепонку, ибо вызываемые ими сотрясения не совпадают между собой ритмическим образом.

Галилей обратил также внимание на явление стоячих волн. Он взял неполный до краев стакан с водою и, проводя смычком по стеклу, заставлял стакан звучать. На поверхности жидкости показались тогда возвышения и углубления, не исчезающие до тех пор, пока длился звук. Когда звук поднимался на октаву, то каждая волна распадалась на две меньшие волны.

ОПТИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛИЛЕЯ

Галилей почти не занимался оптическими изысканиями, если не говорить о его работах над изобретением подзорной трубы. Но требовался поистине какой-то провидческий дар, чтобы допустить, как это сделал Галилей, конечную скорость распространения света, хотя его попытка измерить ее окончилась неудачей. Однако сам опыт Галилея был так хорошо задуман, что мы все же опишем его, ибо по принципу своему он совпадает с придуманной впоследствии Физо (Fizeau) и приведшей к положительным результатам схемой эксперимента¹.

В обоих случаях дело сводится к быстрому посыланию вперед и назад световых сигналов между двумя далеко отстоящими друг от друга станциями. У Галилея два участника опыта пользовались фонарями, с которыми они сперва поместились на коротком расстоянии друг против друга. Каждый из них должен был повторно открывать свой фонарь и тотчас же закрывать его. Открывание на короткое время фонаря происходило всякий раз, когда один наблюдатель замечал свет другого наблюдателя.

¹ См. об этом ниже.

Вслед за этим расстояние между обоими наблюдателями было увеличено до одной мили и опыт снова повторен. Если бы ответы на сигналы происходили в этом случае медленнее, то отсюда можно было бы сделать вывод насчет времени, требуемого светом для своего распространения. Однако расстояние между экспериментаторами было слишком мало, а перемена сигналов не происходила достаточно быстро и равномерно, вследствие чего опыт закончился без результатов. Впоследствии мы увидим, что Физо добился успеха, не увеличивая значительно расстояния между станциями, благодаря тому, что он придумал особое механическое приспособление, позволявшее равномерно менять сигналы в течение дроби секунд.

Изучение творения Гильберта (Gilbert) побудило Галилея заняться магнитными явлениями. При этом он руководился стремлениями применить к объяснению астрономических явлений магнетизм, на космическое значение которого впервые указал Гильберт. Поэтому рассуждениям о магнетизме посвящена немалая доля его большого диалога об обеих системах мира¹. Стремление это можно обнаружить в том, что он пытался объяснить неизменное направление земной оси на основании магнитной природы Земли и указывал на то, что Луна, «как бы прикованная магнитной силой», постоянно обращает к Земле одну и ту же свою сторону². Гильберт в этом отношении шел еще дальше и пытался при помощи магнетизма объяснить также вращение Земли вокруг своей оси. Он утверждал, что каждый магнитный шар, не испытывающий никаких сопротивлений, должен вращаться вокруг самого себя. Галилей, гораздо более знакомый с требованиями механики, чем Гильберт, не мог, конечно, разделять этого взгляда. Но все-таки он находил аналогию между движениями, которые приписывала Земле теория Коперника, и движениями магнита, обнаруживающего «сходным, а, может быть, и тождественным образом» горизонтальное и вертикальное круговое движение (вследствие склонения и наклонения)³.

Галилей, убежденный, что «магнит представляет для человеческого разума обширное поле исследований», обстоятельно изучил вопрос о подъемной силе магнита, а также занялся изготовлением арматур и исследованием их действия. При помощи арматуры он увеличил в восемь раз силу одного естественного магнита. Причину этого явления он находил в том обстоятельстве, что арматура благодаря своей гладкости соприкасается с притягиваемым куском железа в гораздо большем количестве точек, чем более грубая и шероховатая субстанция естественного магнита. В другом случае⁴ Галилей, по его словам, увеличил при помощи арматуры подъемную силу магнита в 80 раз и добился того, что он поднимал груз в 26 раз более тяжелый, чем его собственный вес.

Выше мы познакомились с заслугами Галилея в деле создания современного естествознания и убедились, что он повсюду заложил

¹ „Диалог“ изд. Штрауса, стр. 418—434 и в других местах.

² „Диалог“ (Штраус), стр. 70.

³ „Диалог“ (Штраус), стр. 278.

⁴ „Диалог“ (Штраус), стр. 424.

основы математического и индуктивного метода. Он дал сильнейший толчок почти всем отраслям естественных наук. Но самое главное — это то, что вся область естествознания была очищена им от плевел метафизической спекуляции, засорявших ее до того. В силу особого склада своего ума Галилей постоянно сознавал пределы изучения природы и довольствовался тем, что исследовал ход физических явлений и связь их с аналогичными процессами, не занимаясь бесплодными поисками последних причин. Это самоограничение оказалось крайне плодотворным для возрождения естествознания в начале XVII в. * В заключение, прежде чем обратиться к рассмотрению дальнейших судеб созданной Галилеем науки, мы считаем необходимым коснуться также личности этого единственного в своем роде человека.

ЛИЧНОСТЬ ГАЛИЛЕЯ И СОЧИНЕНИЯ ЕГО

По сообщениям современников, Галилей был высокого роста и крепкого телосложения и имел весьма импонирующую внешность (см. портрет его на титульном листе). У него был большой лоб, пламенный взор; речь его была приятна и выразительна. При этом Галилей не был односторонним кабинетным ученым. Часы досуга он посвящал музыке и живописи; он сочинил даже несколько сонетов. Художественное дарование Галилея обнаружилось и в его научных трудах, которые (не говоря уже об их научном значении) по своему стилю принадлежат к совершеннейшим произведениям итальянской литературы XVII в. Научные беседы Галилей вел только со своими друзьями; если же посторонние пытались вовлечь его в такие разговоры, то он умел искусно уклониться от этого.

Преследования Галилея не прекратились и с его смертью. Его враги не оставили в покое даже место последнего успокоения его, и только спустя сто лет после смерти Галилея исполнили последнюю его волю, похоронив его бренные останки в церкви Санта Кроче во Флоренции; великолепный памятник украшает ныне это место. Такая же трагическая участь постигла оставленные Галилеем рукописи. Сын его недостаточно бережно обращался с ними, а внук его в припадке религиозного рвения сжег часть рукописей. Наконец, рукописи попали в руки Вивiani, который при жизни Галилея значительно облегчил ему его последние печальные годы. Но намерению Вивiani спасти эти драгоценные духовные сокровища путем напечатания их не удалось осуществиться. Когда во Флоренции на престол вступил ханжески религиозный внук того самого Козима Медичи, который так почетно устроил Галилея в своей стране, то духовенство получило влияние на все дела, вследствие чего само имя великого исследователя стало ненавистным. Вивiani, боясь, что по приказанию правительства у него могут отнять рукописи, спрятал их в безопасное место. Лишь спустя сто лет рукописи Галилея были вновь найдены и чуть не проданы как макулатура. Только в последний момент удалось открыть их истинную ценность и спасти хоть часть их, передав ее во флорентинскую библиотеку.

Полное собрание сочинений Галилея появилось около середины XIX столетия¹. Вслед за ним вышло, после тщательнейшей предварительной подготовки, новое издание под редакцией Фаваро (Favaro). Изданное на государственный счет, оно состоит из 20 больших томов².

Многое для ознакомления современников с произведением Галилея сделал один страсбургский профессор по имени Бернеггер (Bernegger). Бернеггер находился в оживленной переписке с Галилеем и Кеплером³ и перевел многие сочинения Галилея на латинский язык, чтобы сделать их более доступными тогдашним ученым. Сам Галилей написал большую часть своих сочинений по-итальянски. Его главное произведение «Диалог» об обеих главнейших системах мира, появилось в латинском переводе Бернеггера уже в 1635 г., т. е. несколько лет спустя после первого издания его Галилеем⁴.

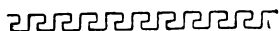
¹ Le opere di Galileo Galilei. Firenze, 1842—1856. Редактором этого издания был Альбери (Alberi).

² Favaro, Le Opere di Galileo Galilei, Edizione nazionale sotto gli auspici di Sua Maestà il Re d'Italia Firenze 1890 и след.

Э. Видеманн по справедливости называет это национальное издание „eins der schönsten Denkmäler, das je Nationen einem ihrer grossen Gelehrten gesetzt haben“ („одним из прекраснейших памятников, которые народы когда-либо ставили своим великим ученым“.)

³ Письма к Кеплеру и от Кеплера появились в 1672 г. под названием Epistolae Johannis Kepleri et Math. Bernegeri mutuae. Они частью перепечатаны в первом большом издании сочинений Кеплера, вышедшем под редакцией Фриша (Ch. Frisch).

⁴ Подробнее о Бернеггере и его отношениях к Галилею писал Э. Видеманн в „Berichten der physik. mediz. Sozietät in Erlangen, т. 36, 1904“, под названием Studien zur Geschichte Galileis.



РАСПРОСТРАНЕНИЕ ИНДУКТИВНОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ *.

Предыдущая глава была посвящена исключительно изложению и оценке созданных Галилеем основ современной науки. Теперь мы постараемся показать, как новый метод исследования природы распространился в Италии и вслед затем в северных странах Европы.

Прежде всего в самой Италии у Галилея нашлось несколько восторженных учеников, которые продолжали начатое им дело, хотя они сами обладали более скромными дарованиями. Мы уже упоминали о Вивiani и его усердии. Далее следует назвать Торичелли (Torricelli), который больше всех был призван продолжать работы Галилея. Оба эти ученика в течение мучительных месяцев, предшествовавших кончине их учителя, находились с ним в непосредственном общении и с благоговением записывали все то, что занимало ум неутомимого мыслителя в последний период его земной жизни. Вместе с членами его семьи они стояли у смертного одра, у которого, к сожалению, находились и агенты инквизиции.

ОПЫТЫ ФЛОРЕНТИНСКОЙ АКАДЕМИИ

К Торичелли и Вивiani примкнуло еще несколько человек, исполненных одинаковыми стремлениями. Таким путем во Флоренции возникло общество, поставившее себе задачей исследование природы при помощи опытов.

Из членов этой «Академии опыта» (Accademia del Cimento)¹ необходимо упомянуть следующих: анатома Борелли (Borelli), приложившего механику к области физиологии; датчанина Стено (Steno), заложившего своими исследованиями тосканских гор основы современной геологии; далес, Реди (Redi), прославившегося своими опытами над самопроизвольным зарождением; Доминико Кассини (Cassini), продолжавшего астрономические работы Галилея и сто-

¹ Первое естественно-научное общество было основано в 1560 г. Портой в Неаполе. Оно называлось *Academia secretorum naturae* и просуществовало только короткое время. В 1603 г. в Риме была основана *Academia dei Lyncei* (Академия рысей). Кроме содействия успехам естествознания, она ставила себе также художественные и литературные задачи. Еще более относится это к *Academia della Crusca*.

явшего впоследствии во главе парижской обсерватории. Эти ученые, с которыми в дальнейшем нам придется еще неоднократно встречаться, произвели сообща за период времени 1657—1667 гг. массу основоположных, по большей части физических опытов, не руководясь при этом какими-нибудь теоретическими концепциями. Хотя в этом заключалась известная односторонность и уклонение от духа Галилея, никогда не опускавшего до роли чистого экспериментатора, однако при отсутствии тогда твердо установленных эмпирических данных деятельность этих исследователей имела огромное значение. Accademia del Cimento просуществовала только 10 лет, после чего она была закрыта вследствие происков духовенства, приобретшего тогда большое влияние во Флоренции¹. Но одновременно с этим были обнаружены добытые членами академии результаты². Так как произведение, в котором они содержатся, сыграло большую роль в дальнейшем развитии экспериментальной физики, то мы здесь сообщим кое-что о нем. Оно начинается с описания важнейших измерительных инструментов и указания, как ими пользоваться. Прежде всего упомянем здесь термометр, гигрометр, ареометр и маятник.

Самая обширная глава книги озаглавлена: «Опыты о естественном давлении воздуха». Она содержит в себе описание барометра и многочисленных, произведенных в пустоте опытов.

Одна глава трактует об изготовлении охлаждающих смесей и о действии их. Другая содержит в себе первый опыт над лучистой теплотой. Довольно большая глыба льда была помещена на некотором расстоянии от вогнутого

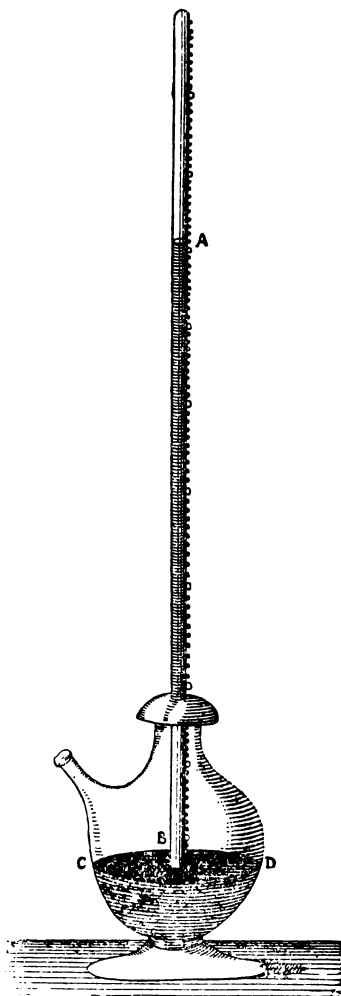


Рис. 22. Барометр с чашечкой, изображенный в трудах Accademia del Cimento³.

¹ Один из членов ее — Антонио Олива (Antonio Oliva) попал в Риме в руки инквизиции. Чтобы избегнуть пытки, он выбросился из окна своей темницы.

² В *Saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del Cimento, Florenz 1667*. В 1731 г. вышел сделанный Муссенбрёком (Musschenbroeck) латинский перевод *Saggi* под заглавием: *Tentamina experimentorum naturalium captorum la Accademia del Cimento*.

³ Musschenbroeck, *Tentamina experimentorum captorum in Accademia del Cimento*, MDCCLVI, табл. IX, фиг. 3.

зеркала. Когда затем в фокусе зеркала поместили чувствительный термометр, то ртутный столбик его опустился ниже температуры окружающего воздуха. Дальнейшие главы трактуют о расширении твердых тел под влиянием теплоты, о сжимаемости воды, о скорости распространения звука и света, о магнетизме, электричестве и движении брошенных тел. Таким образом опыты академиков касались всех областей физики. Но успех их при этом был весьма неодинаков: в то время как в области механики они пришли к весьма ценным заключениям, результаты их работ в области учения о магнетизме и электричестве были ничтожны.

Теперь мы обратимся к важнейшим изысканиям, планам и открытиям флорентинских физиков. И прежде всего рис. 22 представляет изображение барометра с чашечкой в той форме, в какой он употреблялся во времена академии; градуировка барометра произведена при помощи бусин.



Чтобы доказать, что ртутный столбик поддерживается воздухом, давящим на поверхность *CBD* ртути в сосуде, академики поступили следующим образом: носик сосуда (см. на рисунке налево) они соединили герметически плотно с насосом. Когда они вытягивали поршень насоса, то ртуть в трубке заметно опускалась; когда же они вталкивали поршень, оказывая таким образом давление на находившийся в сосуде воздух, то ртуть в трубке поднималась выше *A*, соответственно увеличению давления воздуха на *CBD*.

Рис. 23. Прибор, которым пользовались флорентинские академики для производства опытов в пустоте ¹.

Прибор (рис. 22) отлично годился также для того, чтобы доказать зависимость давления воздуха от температуры. Действительно, когда флорентинские физики закрыли герметически плотно носик сосуда и при помощи льда охладили воздух, находившийся в сосуде над уровнем ртути, то они заметили, что ртуть в трубке опустилась; в случае же нагревания воздуха в сосуде ртуть в трубке поднималась благодаря увеличившемуся давлению воздуха.

Для производства опытов в пустоте академики, не имевшие еще возможности пользоваться воздушным насосом, прибегли к помощи простого, изображенного на рис. 23¹ приборчика. Верхнюю часть барометра они расширили в сосуд, который можно было закрывать герметически плотно крышкой. К этой крышке прикреплялись различные предметы, над которыми совершали наблюдения после того, как получили в аппарате по известному способу торичеллиеву пустоту. Так, например (см. рис. 23), в пустоту вводили завязанный пузырь, содержащий небольшое количество воздуха, и наблюдали, как он под влиянием свойственной воздуху силы расширения заметным образом увеличивался в объеме. При помощи аналогичного опыта было доказано, что поднимание жидкости в узких трубках происходит и в пустоте, т. е. что оно не зависит от давления воздуха.

¹ Рисунок заимствован из книги Мусенбрэка об опытах Accademia del Cimento.

О поднимании жидкостей в узких трубках упоминается впервые у Леонардо да-Винчи (1490 г.). Но более точно изучено было это явление, получившее название капиллярности, лишь в XVII в. членом академии Борелли. Книга Борелли по этому вопросу¹ вышла отдельно от трудов академиков, в опытах которых над явлениями капиллярности он принимал участие. Борелли описывает в своей работе известные теперь каждому явления капиллярности, мимо которых, однако, из-за их незаметности до XVII в. проходили без внимания. Они были неизвестны даже Паскалю. Действительно, в своем знаменитом произведении «О равновесии жидкостей»² он утверждает, будто в случае равновесия жидкости в сообщающихся трубках уровень ее в них одинаков, независимо от диаметра этих трубок. Мы, очевидно, имеем здесь дело с предвзятым мнением, а не с результатом опыта, который немедленно убедил бы Паскаля в ошибочности его

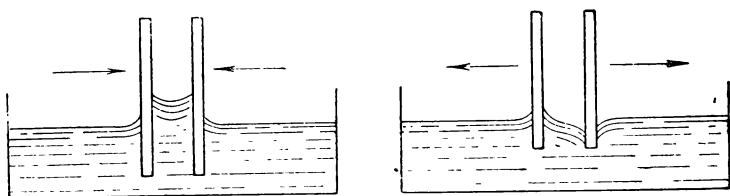


Рис. 24. Движения, вызываемые действием капиллярности.

утверждения. Борелли открыл не только явление поднимания жидкостей, но в зависимости его от свойств трубок. Если трубка была изнутри влажной, то жидкость поднималась быстрее. Далее оказалось, что высота подъема жидкости зависит от диаметра трубки, именно обратно пропорциональна ему ($h : h' = d' : d$). Когда Борелли вытягивал трубку из жидкости, то внутри нее продолжало висеть еще столько жидкости, сколько соответствовало высоте подъема ее.

Борелли открыл также связанное с капиллярностью явление, заключающееся в том, что плавающие тела (например деревянные дощечки или очень легкие, способные плавать на воде металлические пластинки) притягивают друг друга до известного расстояния, если они смачиваются жидкостью (рис. 24). Если же одно тело смачивается жидкостью, а другое не смачивается, то происходит отталкивание между ними. Удовлетворительное объяснение этих замечательных явлений было еще невозможно в XVII в. С первой теорией капиллярности мы встречаемся только в середине XVIII в.³

¹ De vi repercussionis et motionibus naturalibus a gravitate pendentibus, Reggio 1670. К описанным в этой книге опытам Борелли приступил уже в 1665 г.

² См. настоящий том ниже.

³ Она была дана Клеро (Clairaut) и содержится в 189 томике оствальдовского издания классиков (стр. 60 и сл.).

Члены академии изготовили также первый настоящий термометр. Инструмент, употреблявшийся Галилеем для измерения температуры, был только термоскопом, т. е. он показывал лишь увеличение или уменьшение тепла. Кроме того на его показаниях отражались также всякие колебания в атмосферном давлении.

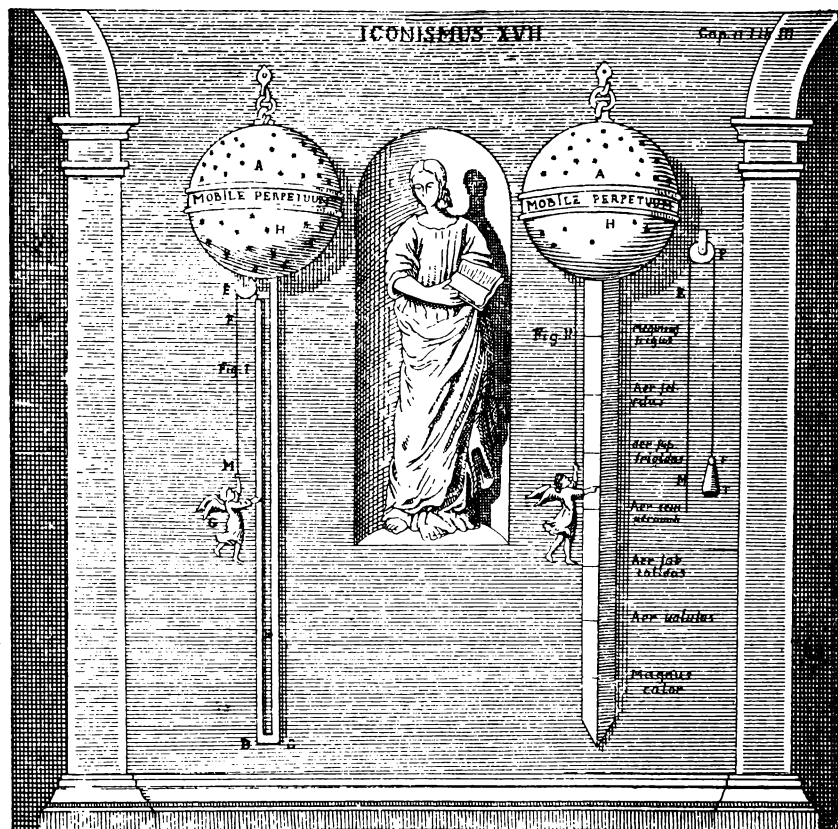


Рис. 25. Термоскоп ¹ Герике.

Сходные термоскопы изобрели также Герике и Дреббель (Drebbel). Аппарат Герике состоял из наполненного воздухом металлического шара, соединенного внизу с U-образной трубкой, наполненной до половины жидкостью (рис. 25). В этой трубке находился поплавок, связанный в свою очередь при помощи перекинутой через ролик нитки (см. рисунок) с парившей в воздухе фигуркой. Эта фигурка двигалась вверх и вниз, в зависимости от того, поднималась ли, или опускалась жидкость, на которую действовали изменения объема заключенного в шаре воздуха.

¹ Guericke, Experimenta nova ut vocantur Magdeburgica, гл. 37.

Сходный прибор, в котором в зависимости от колебаний температуры наполненного воздухом сосуда поднималась и опускалась жидкость, изобретил Дреббель¹ (рис. 26). Он считал свой аппарат *Perpetuum mobile* и старался уверить своих современников, будто дело здесь идет о явлении, аналогичном морским приливам и отливам². В 1612 г. Галилей узнал о существовании прибора Дреббеля, считавшегося до новейшего времени изобретателем термометра. Первым настоящим термометром, на который не оказывала сколько-нибудь заметного влияния перемена атмосферного давления, был зато инструмент, которым пользовались при своих изысканиях члены *Accademia del Cimento* (рис. 27). Весьма вероятно, что Галилей и Дреббель изобрели независимо друг от друга термоскоп³. Но остается неизвестным, кто в точности является изобретателем настоящего термометра. Этим инструментом пользовались в Италии уже в 1641 г., т. е. до основания академии. Но ей термометр обязан существенным нововведением (авторами его являются, может быть, несколько физиков флорентинской школы); в шарике и в трубке была устроена пустота, и трубка была герметически плотно закрыта сверху, сначала при помощи сургуча, а затем путем расплавления и заливки конца ее. Таким образом удалось освободиться от влияния атмосферного давления, которое, как и изменения температуры, вызывало в аппаратах Галилея, Дреббеля и О. Герике колебания уровня жидкости.

Жидкостью, расширением которой пользовались для измерения температуры, служил алкоголь. Шкала имела сто делений, но показания ее были неточны, так как в основу разделения не были положены неизменные точки, которые могли бы быть легко определены; две постоянные точки шкалы были взяты соответственно наиболее низкой и наиболее высокой температуре, наблюдавшимся в Тоскане. Лишь после закрытия академии один из членов ее⁴ предложил пользоваться теми постоянными точками, которыми пользуются и в на-

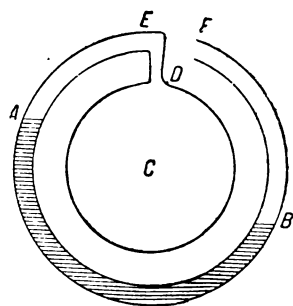


Рис. 26. Термоскоп Дреббеля.

¹ Корнелий Дреббель родился в 1572 г. в Алькмаре. После полной приключений жизни он учился в Англии при дворе Якова I. В Англии он и умер в 1634 г. Дреббель был физиком типа Порты и Кирхера. Свои магически-физические опыты он описал в своем трактате о природе элементов.

² О приборе Дреббеля, а также о доистории термометра вообще см. у Э. Вольвиля в „Mitteilung zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften“, 1902, вып. 1—4.

³ После появления статьи Вольвиля „Neue Beiträge zur Vorgeschichte des Thermometers“ становится вероятным, что этот инструмент был изобретен в Нидерландах совершенно независимо от изобретения его в Италии („Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften“, 1902, № 4).

⁴ Renaldini, *Philosophia naturalis*, 1694, III, 276. По Герланду, Гюйгенс первый уже в 1655 г. предложил принять в качестве основных точек для термометра точки таяния льда и кипения воды („Zeitschrift für Instrumentenkunde“, XIII, стр. 390, 1893).

стоящее время, а именно точкой плавления льда и точкой кипения воды. В трудах Accademia del Cimento изготовление термометра описывается в следующих выражениях: «Прежде всего стеклодув должен изготовить шарик соответственной величины с приделанной к нему трубкой. Наполнение инструмента жидкостью происходит следующим образом: шарик нагревают и затем сразу погружают открытый конец его в алкоголь, начинающий медленно подниматься. Последнее доливание совершается при помощи воронки с вытянутым тоненьким горлышком. Трубка до того делится на равные части, причем деления отмечаются белыми бусинами. Вслед затем нагревают термометр и, наконец, герметически закрывают его, после того как алкоголь достиг высшей точки». Другие опыты академии были посвящены изучению расширения воды при замерзании и сжимаемости ее. Металлический сосуд¹ наполнили водой (рис. 28), плотно закрыли и поставили в охлаждающую смесь, применение которой для научных целей является тоже заслугой академии. Расширение воды при ее превращении в лед происходило с такой колоссальной силой, что сосуд разорвало на части; этот опыт ныне принадлежит к числу обычных опытов на уроках физики.

Академики определили также величину расширения при замерзании; они нашли, что вода при этом расширяется в отношении 8 : 9. Их охлаждающая смесь состояла из снега, к которому они примешивали поваренную соль, селитру или нашатырь.

Уже в XVI в. было известно, что при растворении селитры температура понижается. Декарт в своем сочинении о метеорах² называет замечательными и необъяснимыми охлаждающие смеси из соли и снега. За доказательством того, что вода способна к расширению, естественно должен был последовать вопрос, может ли эта жидкость быть также сжимаема. Чтобы решить его, наполнили серебряный шар водою и пытались посредством сжатия и ударов молота изменить его форму³. При этом, против ожидания, оказалось, что поверхность шара покрылась каплями воды, просочившимися, очевидно, через серебро.

Подобно Галилею, академики пытались установить скорость звука и света. Для определения скорости звука они измеряли с помощью качаний маятника промежутки времени между вспышкой огня из помещенного на далеком расстоянии орудия и звуком выстрела его. При этом ими совершенно еще не учитывалось влияние температуры воздуха. Полученный ими результат (1111 парижских

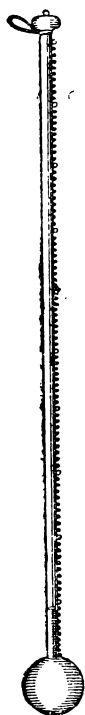


Рис. 27.
Термометр,
изобра-
женный
в „Трудах“
Accademia
del Cimento⁴.

¹ Глава III трудов Accademia del Cimento, Florenz 1667.

² E. v. Lippmann, Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, Leipzig 1906.

³ Глава IV „Saggi“.

⁴ Musschenbroeck, Tentamina, табл. I, фиг. 1.

рутов в секунду) был ближе к истинному значению, чем все предыдущие определения. Однако академики сделали на основании своих опытов ошибочный вывод, что ветер совершенно не влияет на скорость звука.

Попытки определить скорость света не могли привести ни к какому положительному результату, так как флорентинские ученые не нашли нового метода сигнализации, а пользовались способом Галилея.

Упомянем под конец, что академики подтвердили при помощи эксперимента некоторые положения, только высказанные, но не проверенные еще на опыте Галилеем. Так, они выстрелили с высокой башни в горизонтальном направлении пуль и в то же время дали свободно падать с той же башни пуле такого же размера. Оказалось, в согласии с утверждениями Галилея, что обе пули ударились о землю в одно и то же время.

Во Флоренции сохраняются еще некоторые остатки физической аппаратуры, которой пользовались академики при своих опытах¹. Сама академия, покрывая себя бессмертной славой, была в конце концов по проискам римской курии закрыта. Но, к счастью, религиозный фанатизм уже не был в состоянии загасить факел науки. Действительно, почти в то самое время, когда была закрыта Флорентинская академия, по ее образцу возникли великие академии Лондона и Парижа, продолжающие свое славное дело по нынешний день и являющиеся, наряду с многочисленными аналогичными обществами, твердынями свободного научного исследования.

Оптическими вопросами среди членов академии занимался главным образом Торичелли. Он изготовил крохотные шарики из стекла и пользовался ими как простыми микроскопами значительной увеличительной силы. Он занимался также геометрическим изучением действия линз и построил телескопы, превосходившие подзорные трубы Галилея³. Но экспериментальными исследованиями занимались усердно не только ученики и приверженцы Галилея; на этот же путь вступали часто и его противники, большинство которых рекрутировалось среди представителей воинствующей церкви. Во всяком случае безусловной уступкой духу времени со стороны этих кругов было то, что для борьбы с новыми истинами перестали считать достаточным, как в прежние века, церковное отлучение и схоластические словопрения. Таким противником Галилея и коперникова учения был иезуит Риччиоли (Riccioli). Несмотря на свою вражду к новым теориям, он сделал много ценного для астрономии и механики.

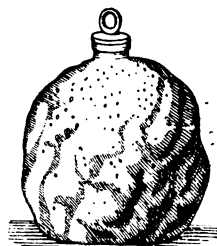


Рис. 28. Опыт академиков сжимаемости воды².

¹ Gerland, Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina, Halle 1882.
² Рисунок заимствован из книги Мюшенбрэка, Tentamina experimentorum naturalium captorum in Accademia del Cimento.

³ Один из этих инструментов находится еще и в наше время в Физическом музее во Флоренции.

Джиованни Батиста Риччиоли (1598—1671) произвел вместе с Гримальди (Grimaldi) опыты, чтобы проверить для случая свободного падения законы падения, доказанные экспериментально Галилеем только для случая наклонной плоскости. Оба ученых опускали (около 1640 г.) с башни с различной высоты шары и определяли время падения их (при этом один из исследователей находился наверху башни, другой оставался на земле). Для измерения времени они пользовались маленькими маятниками, делавшими 6 качаний в секунду. Риччиоли начал свои опыты с целью опровергнуть Галилея и самому установить истинные законы падения. Чтобы прочесть сочинения Галилея, он должен был получить на это специальное разрешение от своего начальства, так как произведения Галилея были занесены в индекс запрещенных книг. Полученные Риччиоли результаты приведены в нижеследующей таблице:

Число качаний маятника	Высота падения в футах	Расстояния, пройденные в равные времена	Отношение пройденных расстояний
5	10	10	1
10	40	30	3
15	90	50	5
20	160	70	7
25	250	90	9

Таким образом опыты Риччиоли и Гримальди вполне подтвердили закон, найденный Галилеем для случая падения по наклонной плоскости, но не доказанный еще для случая свободного падения. Большую честь характеру обоих исследователей делает то обстоятельство, что они откровенно признались в своем поражении и известили сторонников Галилея о результатах опытов.

Позднейшие опыты Риччиоли имели целью определить влияние сопротивления воздуха на падающие тела. Уже Галилей считал это сопротивление довольно значительным для больших скоростей и предложил для проверки этого предположения опыт, который, однако, произвели только члены Accademia del Cimento. Галилей предложил выстрелить ружейной пулей с высоты в 100 локтей вертикально вниз в железную пластинку и повторить затем этот опыт с расстояния в несколько локтей. Он считал вероятным, что в первом случае пуля, вследствие более длительного сопротивления воздуха, ударит в железо с меньшей скоростью, чем во втором, хотя при выстреле с большего расстояния сообщенная порохом скорость значительно увеличивается еще благодаря падению. По большему или меньшему изменению формы пули можно будет судить, верна ли эта догадка или нет. Академики подтвердили правильность догадки Галилея, так как действительно пуля, упавшая с большой высоты, изменилась меньше¹.

¹ Benzenberg, Versuche über das Gesetz des Falles, über den Widerstand der Luft und über die Umdrehung der Erde, Dortmund 1804, стр. 101.

Замечательны также относящиеся к этому вопросу опыты Риччиоли. Он изготовил два глиняных шара одинакового веса, из которых один был массивный и имел 10 дюймов в диаметре, а другой был полый и имел 20 дюймов в диаметре. Риччиоли давал падать обоим шарам с верхушки болонской колокольни. При этом оказалось, что массивный шар прошел расстояние до земли (280 римских футов) в 3,2 сек., а полый — в 4,2 сек. Далее Риччиоли произвел опыты над падением шаров из свинца, глины, воска и дерева, причем он наблюдал, что тела с большим удельным весом падают быстрее, чем тела с меньшим удельным весом.

Хотя Риччиоли был противником коперниковой системы, но он оказал большие услуги астрономии, издав под названием *Almagestum novum* (1651 г.) обширный, содержащий массу фактов сборник по этой науке.

ОСНОВОПОЛОЖНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ В ОБЛАСТИ ОПТИКИ

Около этого же времени были заложены новые экспериментальные основы учения о свете. Это было дело главным образом Гримальди.

Франческо-Мария Гримальди родился в 1618 г. в Болонье, был там учителем математики и умер в 1663 г. Он был очень ученым человеком и выдающимся наблюдателем.

Излюбленным предметом его занятий была оптика, в область которой он проникнул глубже, чем все прежние наблюдатели. Книга, в которой Гримальди собрал свои наблюдения и теории по этому вопросу, вышла только через несколько лет после его смерти под названием *Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride*¹. В этой книге имеется не только первое описание солнечного спектра, полученного при помощи призмы, но сообщается также о замечательных явлениях, которые на первый взгляд противоречат закону прямолинейного распространения света и которые получили потом название дифракции света.

Гримальди пропускал солнечный свет через маленькое отверстие в темную комнату и ставил на пути этого пучка лучей непрозрачное тело (рис. 29)². Когда на экране *CD* получали тень предмета, то она имела большую ширину (*MN*), чем можно было

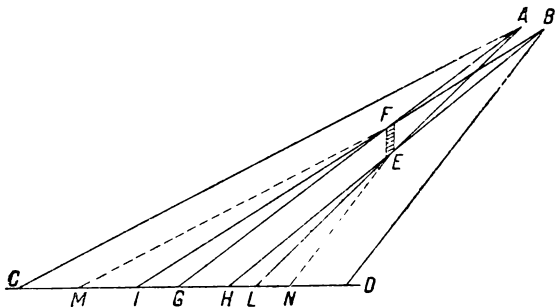


Рис. 29. Опыты Гримальди с дифракцией света³.

¹ Bologna 1665.

² *Physico-Mathesis*, стр. 2.

³ I. с., стр. 235 и сл.

ожидать на основании геометрического построения. Эта тень, кроме того, была окружена цветными полосами, которые шли параллельно краям ее и простирались также внутри тени. Когда Гримальди пропускал через отверстия CD и GH (рис. 30) световой конус и перехватывал его затем экраном IK , то основание этого конуса имело не диаметр NO , — как этого требует геометрическое построение, согласно законам прямолинейного распространения света, — а несколько больший диаметр IK .

Эти явления, в особенности первое, не совпадавшее, очевидно, с разложением белого света на цвета при преломлении света, навели Гримальди на мысль рассматривать свет как волнообразное движение. «Подобно тому, — говорит он, — как вокруг брошенного в воду камня образуются кругообразные волны, точно так же вокруг тени непрозрачного предмета образуются эти блестящие полосы. И подобно тому как указанные кругообразные волны не что иное, как

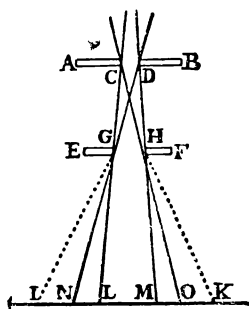


Рис. 30. Гримальди наблюдает дифракцию на световом конусе.

скопившаяся вода, вокруг которой тянется борозда, так и блестящие полосы не что иное, как сам свет, неравномерно распределенный, благодаря сильному рассеянию, и разделенный интервалами тени. И подобно тому, наконец, как кругообразные водяные волны становятся тем шире, чем больше они удаляются от источника своего происхождения, так и блестящие полосы тем шире, чем дальше они от начала своего возникновения»¹.

Мы находим здесь первый намек на волновую теорию света, получившую всеобщее признание в новейшее время, ибо она не только объясняла все известные световые явления, но позволяла даже в ряде случаев предсказывать новые, до того неизвестные факты.

В своем изложении Гримальди неоднократно возвращается к мысли, что свет состоит из тонкой жидкости, находящейся в волнообразном движении. Гримальди же впервые сделал то важное наблюдение, что «свет, прибавленный к свету», как выразился впоследствии Араго (Arago), может дать темноту. «Освещенное тело может стать темным, — говорит он², — если к получаемому им свету прибавляется еще новый свет». В ставне темной комнаты проделали два отверстия, через которые пропускали свет. Каждый световой конус давал сам по себе на белом экране светлое красноватое по краям пятно. Когда же Гримальди наложил частично световые конусы друг на друга (рис. 31), то он нашел, что дуги, заключающие общую обоим кругам площадь, кажутся темными. Так была открыта интерференция света. Гримальди еще не пришла в голову мысль составить белый свет из цветного света. Но с помощью дальнейших опытов он показал, что белый свет можно превратить в цветной свет путем, как

¹ Physico-Mathesis, стр. 8.

² Physico-Mathesis, Propos. XXII.

он выражался, простого отражения. Для этой цели Гримальди¹ давал падать солнечному свету сперва на металлическую пластинку, на которой были сделаны тонкие царапины, а оттуда на экран. На экране тогда показались вызванные дифракцией цветные полосы. Таким образом уже здесь, на пороге современной физики, мы встречаем тот метод, при помощи которого в наше время изготовляют дифракционные решетки.

Сам Гримальди объяснил на основании явлений, наблюдавшихся им на пластинках с царапинами, встречающиеся также в животном мире (на перьях птиц, крыльях насекомых и т. д.) переливы красок. Вопрос этот, к которому вернулись современные зоологи, был исчерпывающим для настоящего момента образом разрешен Брюкке (Brücke)².

Последний упомянутый нами опыт должен был навести Гримальди на мысль, что цвета являются составными частями белого цвета, а не какими-то особенными свойствами тел. Цвета, повторяет он неоднократно, не представляют чего-то отличного от света, что существует каким-то образом в цветных телах без наличия света. Причину цветов тел Гримальди видит скорее в том, что мы назвали бы теперь молекулярным строением тел. Действительно, он полагает³, что их причина заключается, вероятно, в расположении пор, т. е. в таком строении вещества, благодаря которому отражается как раз тот цвет, который свойственен рассматриваемому телу. Согласно этому, продолжает он, сам цвет представляет вызванную природой отражающего тела модификацию света и состоит, вероятно, в изменении формы движения и скорости последнего. Подобно тому как разные звуки вызываются различными колебаниями воздуха, так и цвета порождаются тем, что на глаз действуют колебания света, имеющие различную скорость, благодаря чему получаются различия в цветах. Все эти идеи имели основоположное значение для дальнейшего развития оптики.

Гримальди не проводил достаточно четкого различия между воззрением, согласно которому свет имеет телесную природу, и другим, согласно которому он является просто некоторым процессом движения; но это несколько не умаляет ценности его опытов и мало затрагивает значение связанных с ними теорий⁴. Поэтому у крупнейших физиков XVII в. — прежде всего у Гука (Hooke) и

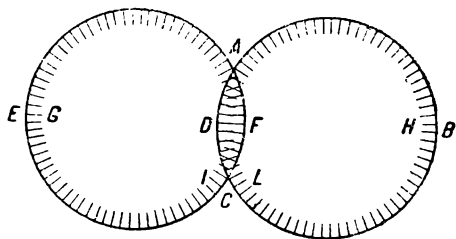


Рис. 31. Гримальди открывает интерференцию света.

¹ Physico-Mathesis, Propos. XXIV, стр. 231.

² Ostwalds Klassiker, № 43.

³ Grimaldi, Physico-Mathesis, Propos. XLII.

⁴ В первой книге своей Physico-Mathesis Гримальди старается доказать в 60 положениях, что свет есть субстанция; во второй же книге он высказывается в ряде положений в противоположном смысле, именно, что свет есть акциденция.

Ньютона — не раз встречаются следы полученных ими от Гримальди теоретических импульсов, хотя оба исследователя не всегда указывают в своих произведениях на этот источник¹.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА И МАГНЕТИЗМА

Индуктивный прием исследования пустил корни не только в Италии, но и в других культурных странах. Отчасти независимо от Галилея и его школы, отчасти под их влиянием выдвинулся целый ряд исследователей и ученых, понявших бесплодность старых методов и соединенными усилиями старавшихся ввести поток естествознания в новое русло.

В течение XVII в. в Италии благодаря стараниям реакционных кругов, все еще пребывавших во тьме средневековых воззрений, занятия естественными науками если и не совершенно подавлялись, то во всяком случае очень тормозились; зато почва Англии и Нидерландов в эту эпоху оказалась особенно благоприятной для развития этих наук. В Северной Европе благодаря реформации были разбиты оковы слепой веры в авторитет. Правда, это движение было скоро задержано новыми препонами; в Германии крайне неблагоприятной для него оказалась политическая обстановка; но влияние его не могло быть подавлено, и оно проявилось в духовном творчестве той эпохи. Особенно сказалось это в Англии, где со времен Елизаветы, параллельно с изменением всех условий жизни, шло расширение умственного кругозора и увеличение мощи страны, вызвавшие развитие всех сил ее до небывалых раньше размеров. «В разгар военных действий, — говорит историограф этой эпохи², — шел рост торговли. Гражданский мир внутри страны породил достаток и богатство; там, где были раньше хижины, появились дворцы». В Англии раздались знаменитые слова: «Знание — сила³», и следование этому лозунгу явилось одной из причин расцвета Англии, занявшей, как выразился однажды Бэкон, свое естественное место в мире.

Наиболее выдающимся исследователем, которого мы встречаем в Англии в начале нового времени, является Гильберт. Ему мы обязаны первой научной разработкой явлений электричества и магнетизма. Результаты своих работ Гильберт изложил в сочинении⁴ «О магните» («De magnete»). Вильям Гильберт родился в 1540 г.⁵ в Колчестере. С 1573 г. он жил в качестве врача в Лондоне, получив затем от королевы Елизаветы звание лейб-медика. Он умер в Лондоне в 1603 г.

¹ Rosenberger, Newton und seine Prinzipien, стр. 27.

² L. v. Ranke, Englische Geschichte im 17. Jahrhundert, т. 1, стр. 324.

³ Изречение Бэкона: „Scientia est potentia“.

⁴ Gilbert, Physiologia nova de magnete magneticis que corporibus et de magno magnete tellure, London 1600. В Германии тоже появилось несколько изданий этого сочинения, так, например, в Штеттине в 1628 г. и 1633 г. во Франкфурте-на-Майне в 1629 г. Очерк жизни Гильберта опубликовал Фельдгауз (F. M. Feldhaus, Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg 1904).

⁵ По другим данным в 1544 г. См. „Mitteilungen z. Gesch. d. Mediz. und Naturw.“, 1904 (т. 3; вып. 1 и 2), стр. 115.

Гильберта на его изыскания толкнула «*Magia naturalis*» Порты, а также то обстоятельство, что магнитная стрелка и земной магнетизм приобрели тогда исключительное значение для мореплавания. Но в то время как у Порты описание физических явлений перемешано с изложением каких-то фантастических бредней, Гильберт подобно Галилею ступил на путь свободного от предрассудков и необоснованных предположений, опирающегося только на эксперимент исследования. В итоге этой работы получилось чисто научное произведение, содержащее в себе основы новой обширной области знания. Мы постараемся познакомиться в общих чертах с содержанием его.

Для своих опытов Гильберт пользовался сильными магнитами соответственной величины и придавал им шарообразную форму. «Изготовленный таким образом магнит, — говорит он, — представляет верное и совершенное подобие Земли; мы поэтому назовем его *Terella*»¹. Чтобы найти полюсы магнита, он брал терреллу и клал на нее тонкую железную проволоку. Там, где проволока приставала к магниту, он проводил черту мелом. Затем он клал проволоку на другое место, на третье, на четвертое, проводя каждый раз на магните черту в направлении длины проволоки. «Эти черточки, — говорит Гильберт, — соответствуют на террелле меридианам. Можно заметить, что все они сходятся в полюсах терреллы». Затем на равном расстоянии от этих полюсов он проводил большой круг, соответствовавший экватору.

Гильберт пользовался еще другим методом для нахождения полюсов. Он брал для этого магнитную стрелку, снабженную небольшим углублением, и клал ее на острие иглы так, что она могла свободно двигаться. Этот приборчик клали затем на магнит *AB* в точке *C* так, чтобы стрелка находилась в равновесии (рис. 32). Ометив направление покоящейся стрелки мелом, переносят затем инструмент на другое место и снова отмечают направление стрелки. «Если поступить таким образом в очень многих точках, то пересечение отмеченных мелом линий даст один полюс в точке *A*, другой — в точке *B*. Полюс стрелка обнаруживает тем, что при приближении ее к магниту она принимает перпендикулярное положение к поверхности его, указывая на полюс, а также и на центр магнита».

Для своих опытов над делением магнита Гильберт брал продолговатый естественный магнит *AD* (рис. 33) с северным полюсом *A* и южным полюсом *D* и делил его на две равные части. Затем он давал плавать части *AB* в сосуде с водой. При этом он заметил, что северный

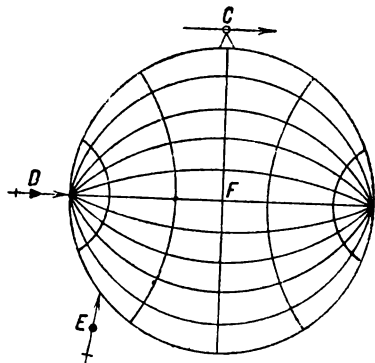


Рис. 32. Найти полюсы шарообразного магнита (из Gilbert, „*De magnet**“).

¹ Землица — уменьшительное от латинского Terra — Земля.

полюс *A* указывал на юг, южный полюс *D* — на север. Что же касается *B* и *C*, прежде связанных между собой, то теперь они стали северным и южным полюсами. Южный полюс *B* притягивал северный полюс *C*. «Если не было никаких препятствий и если устраняли действие тяжести, как это имеет место на поверхности воды, то эти полюсы приближались друг к другу и соединялись между собой. Если же приближали полюс *A* к полюсу *C* с другого магнита, то они удалялись друг от друга». В книге Гильберта мы не всегда имеем дело с совершенно новыми открытиями; но до него мы не встречаем такого ясного, действительно научного изложения. Одним из предшественников Гильберта был Петр Перегрин (Peregrinus). Вышедшая в 1269 г. работа Перегрина «О магните» представляет самое раннее в Европе исследование по этому вопросу, являясь в то же время одним из древнейших свидетельств того, что начатки экспериментального исследования восходят к средним векам¹.

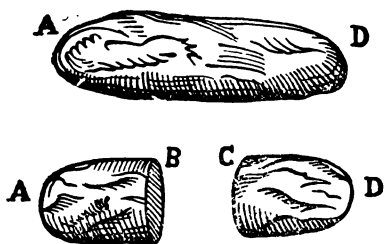


Рис. 33. Деление магнита (из Gilbert, „De Magnete“).

О содержании книги Петра Перегрина дают некоторое представление нижеследующие названия отдельных глав ее: Каким путем магнит притягивает железо. — Каким образом железо после прикосновения к магниту поворачивается по направлению к небесным полюсам. — О взаимном притяжении северных и южных полюсов. — Правило для нахождения полюсов. Оно гласит: Магнит

кладут в деревянный сосуд, который пускают плавать в наполненном водой резервуаре. Магнит тогда поворачивает деревянный сосуд, подобно тому как моряк поворачивает свой корабль, пока его полюсы не установятся в направлении небесных полюсов.

Гильберт сумел строго разграничить магнитные явления от явлений электрических, между тем как до него в этом пункте царил большая путаница. До него было известно, что электрическим притяжением обладает только янтарь. Опытами Гильберта было доказано, что эта сила свойственна всем твердым телам и даже жидкостям. Капли жидкости, к которой Гильберт приближал наэлектризованные тела, вытягивались вверх. Гильберт установил тот факт, что электричество действует на металлы; для этого он изготовил из последних легкоподвижные иглы и показал, что они притягиваются наэлектризованными телами. Гильберт еще не заметил, что между наэлектризованными телами имеет место и отталкивание. Однако электрическое отталкивание осталось не совсем неизвестным ему: действительно он подметил отталкивание пламени от наэлектризованного тела.

¹ О Петре Перегрине см. также т. 1, стр. III. Его сочинение было переиздано Г. Гельманом (G. Hellmann). См. № 10 переизданных Гельманом сочинений по метеорологии. В № 10 под названием „Rara Magnetica“ содержатся самые редкие и важные работы по вопросу о земном магнетизме из предшествующей Гильберту эпохи.

Гильберт, кроме янтаря, наэлектризовывал также алмаз, сапфир, рубин, опал, аметист, берилл, горный хрусталь, серу и смолу. Он показал, что эти вещества притягивают не только солому, но также все металлы, дерево, листья, камни, землю, даже воду и растительное масло, словом — «все, что может быть воспринято нашими чувствами». Но чтобы установить с помощью опытов, как происходит это притяжение и каковы вещества, которые притягивают таким образом все тела, Гильберт изготовил металлическую стрелку длиной в 3—4 дюйма и поместил ее на острие иглы, так что она стала легко-подвижной, как у компаса. Когда он приближал эту стрелку к натертому янтарю или к горному хрусталу, то она немедленно приходила в движение.

Магнит, замечает Гильберт, не приходится предварительно натирать, чтобы он проявил свой магнетизм; и он обнаруживает его одинаково в сухом и влажном состоянии, в воздухе и в воде, обнаруживает даже тогда, когда между ним и телом, на котором он действует, помещают толстые дощечки, каменные пластинки или металлические диски. Но магнит действует только на магнитные тела, между тем как электрические вещества притягивают все тела. Далее магнит может поддерживать значительные тяжести, между тем как наэлектризованное тело приводит в движение только совершенно ничтожные грузы¹.

Благодаря употреблению компаса, уже с XII в. применявшегося в Европе в мореплавании и горном деле², магнитными явлениями занимались гораздо больше, нежели электрическими. Поэтому от внимательного наблюдателя не могло ускользнуть отклонение магнитной стрелки от направления меридиана, называемое магнитным склонением. Колумб во время своего путешествия на запад открыл изменения склонения, и ему даже пришлось в голову воспользоваться этими изменениями склонения для определения географической долготы. В 200 морских милях к западу от острова Ферро он наблюдал западное склонение в 5° . При продолжении путешествия на запад склонение, бывшее тогда в Европе восточным, продолжало увеличиваться. Наклонение магнитной стрелки, вращающейся вокруг горизонтальной оси, также было уже известно. Сам Гильберт сообщает, что величина его равнялась в Лондоне в 1576 г. $71^{\circ}50'$ ³.

Главная заслуга Гильберта заключалась в том, что, исходя из предположения, что земной шар представляет собой громадный магнит, он стал рассматривать с юдной точки зрения все явления земного магнетизма. К этому заключению он пришел, тщательно исследовав отношение стрелки к шарообразному магниту и сравнив с этим отношение магнитной стрелки к земле. Из того, что стрелка на полюсах шарообразного магнита устанавливается перпендику-

¹ Gilbert, De magnete, кн. II, гл. II.

² О пользовании компасом при закладке копей сообщает Агрикола (Agricola) (1490—1555) в своей книге De re metallica.

³ Gilbert, De magnete, кн. I, л. 1. Это измерение сделано Робертом Норманом (Robert Norman). Первое, но очень неточное измерение наклонения было сделано немцем Георгом Гартманном (Georg Hartmann) в 1544 г.

лярно к поверхности его (рис. 34)¹, Гильберт вывел заключение, что в странах, лежащих дальше к северу, магнитное наклонение должно быть больше, нежели в Лондоне; впоследствии это предположение было подтверждено Гудсоном (Hudson) в его путешествиях в полярных областях Америки. Гудсон наблюдал в 1608 г. уже под 75° северной широты почти вертикальное положение стрелки наклонения. Это не совсем соответствовало предположению Гильберта, который думал, что магнитный северный полюс Земли непременно должен совпадать с географическим, и считал суточное вращение Земли тоже следствием земного магнетизма. Но Галилей, высоко ценивший Гильберта и в общем разделявший его воззрения, доказал ошибочность взгляда, будто свободно парящий в пространстве магнитный шар должен вращаться вокруг своей оси.

От доказательства, что Земля есть шарообразный магнит, оставался только один шаг до допущения, что и другие небесные тела, в особенности Луна и Солнце, наделены магнитными силами. Гильберт без колебания сделал этот вывод и, будучи приверженцем системы Коперника, пытался объяснить магнетизмом движение небесных тел, а также явления приливов и отливов. В этом вопросе за ним последовал и Кеплер, со взглядами которого на магнитную силу Солнца мы познакомимся ниже.

Так как по мнению Гильберта, географические полюсы должны совпадать с магнитными, то явление склонения нуждалось в особом объяснении. Гильберт, в распоряжении которого имелось еще слишком мало наблюдений, считал причиной этого отклонения магнитной стрелки распределение суши и моря. По его мнению, внутри больших материков, где сглаживается влияние моря, должно исчезать и склонение магнитной стрелки. Немногочисленные наблюдения, сделанные к тому времени мореплавателями, способны были служить подтверждением этого ложного взгляда.

Гильберт не был еще в состоянии дать настоящую теорию установленных им фактов, хотя он и пытался, подобно древним авторам, объяснить электрические явления истечением жидкостей. Подобно тому как воздух должен считаться истечением Земли, так и способность тел быть наэлектризованными вызывается тем, что некоторая тончайшая жидкость, служащая для связи тел, выгоняется трением из них. Эта жидкость и вызывает электрическое притяжение легких тел, подобно тому как, по представлению Гильберта, воз-

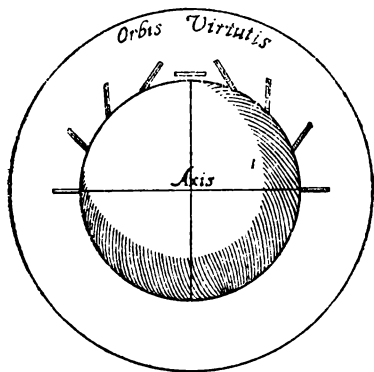


Рис. 34. Гильберт исследует положение, занятое небольшим магнитом по отношению к его терреде².

¹ Gilbert, De magnete, кн. II, гл. VI.

² Gilbert, De magnete, кн. II, гл. IV.

дух заставляет приближаться к центру Земли все тела, когда их лишают опоры. Такое представление об одной или нескольких жидкостях как носителях электрических явлений, встречающееся в зародыше у древних и у Гильберта, было развито в научную теорию в XVIII в., когда стали уделять особенно много внимания изучению электричества от трения.

Гильберт отказался от физического объяснения явлений магнетизма, считая их следствием одушевленности материи. По ту сторону истечений, порождающих электрические явления, находится пустое пространство — вакуум, сквозь которое не может пройти никакое материальное воздействие. Это соображение заставило Гильберта, за которым последовал и в этом пункте Кеплер, допустить в небесных телах какую-то психическую силу. Таким образом великая загадка действия материи на расстоянии встречается уже здесь, на пороге нового естествознания¹.

Но отсутствие ясных теоретических представлений никоим образом не умаляет ценности результатов, достигнутых экспериментальным путем; и именно такими исследованиями наука в высокой степени обязана Гильберту. Можно упомянуть еще об опытах Гильберта с магнитами, снабженными арматурами. Он получал их, покрывая полюсы естественного магнита железными колпаками (рис. 35). При этом оказалось, что подъемная сила магнита значительно повышается благодаря такой арматуре. Так, один магнит поднимал без арматуры 2, с арматурой 12 унций железа. На рис. 35 представлен такой магнит с арматурой, поддерживающий два других магнита той же величины³.

С произведением Гильберта нельзя поставить ни в какое сравнение толстую книгу одного ученого немца, вышедшую несколькими десятилетиями позже (1634 г.). Она носит название «*Magnes sive de arte magnetica*»; автором ее является иезуит Афанасий Кирхер, бывший профессор в Вюрцбурге. Кирхер — исследователь такого же типа, как Порта, Швентер (Schwenter) и подобные им, еще меньше исполненные научного духа нового времени, ученые. Он не физик, как Гильберт или Галилей; он любит многословные описания поразительных естественно-научных явлений и интересных для профана физических фокусов. В главе о переходной эпохе (см. том 1), мы уже говорили о деятельности Кирхера в области оптики и других отраслях естествознания. Здесь заслуживает упоминания лишь то, что он пытался определить силу магнита при помощи

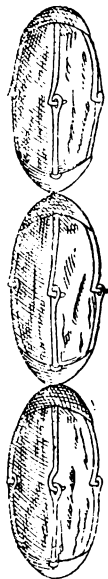


Рис. 35.
Опыты Гильберта над магнитами с арматурами².

¹ Идеи, сходные с воззрениями Гильберта, встречаются также у Декарта, и можно допустить, что последний построил свою теорию вихрей под влиянием учений Гильберта (M. L. Horpe, *Die Abhängigkeit der Wirbeltheorie des Descartes von Gilberts Lehre vom Magnetismus*. Галле на Заале 1914).

² Gilbert, *De magnete*, гл. XX.

³ Такие опыты производил уже Галилей, см. выше.

весов. Большое место в книге Кирхера занимают его планы лечения болезней при помощи магнетизма. К этой же силе природы он сводил некоторые явления из жизни животных, например перелеты птиц. Особая глава посвящена магнетизму любви (*Magnetismus amoris*). Книга заканчивается размышлениями на ту тему, что бог — магнит всей природы (*totius naturae magnes*).

Совсем другой характер носит, приближаясь к типу творчества Гильберта и Галилея, деятельность другого немца, Отто фон-Герике, который не только изобрел воздушный насос, но и является одним



Рис. 36. Электрическая машина Герике ¹.

из первых исследователей в области магнитных и особенно электрических явлений. Герике же построил первую, правда, еще очень простую электрическую машину. Она описана им в его книге «*De vacuo spatio*», где дан и рисунок ее (рис. 36). Чтобы изготовить ее, Герике наполнял стеклянный шар расплавленной серой. После того как сера охлаждалась, разбивали стекло и насаживали получившийся таким образом серный шар на ось, покоившуюся на двух подпорках. Шар натирали сухой рукой; кондуктора еще не было. Но все-таки это был первый прибор типа машины для получения электричества. Натертый шар притягивал бумагу, перья и другие легкие предметы, увлекая их за собой. При приближении к нему капля воды они начинали приходить в волнообразное движение. Когда к натертому шару приближали палец, то замечали вспышку света и особый запах. При помощи этой машины Герике открыл также незамеченное Гильбертом явление отталкивания одноименно наэлектризованных тел. Далее он заметил, что тело, оттолкнутое

¹ Otto von Guericke, *De vacuo spatio*. 1672, табл. XVIII, фиг. 5.

шаром, снова притягивается им после того, как оно коснулось пальца или земли. Если, например, Герику помещал перо между наэлектризованным шаром и полом, то это перо прыгало вверх и вниз. Герику показал также, что электричество шара передается посредством льняной нити.

Герику сделал уже даже то наблюдение, что тела наэлектризовываются при одном только приближении их к натертому серному шару. Таким образом он является предшественником Эпинуса (Aepinus), первого подлинного исследователя явлений электрической индукции. К сожалению, Герику в этом вопросе не уделили того внимания, которое оказали его воздушному насосу и магдебургским полушариям. Профаны не могли следовать за ним в этой области, а ученые дали открытиям Герику покрыться пылью забвения¹.

ОСНОВАНИЕ ФИЛОСОФИИ ОПЫТА

Совсем иначе, чем Галилей и Гильберт, содействовал возрождению естествознания в это самое время англичанин Френсис Бэкон (1561—1626). Если роль Гильберта, как и Галилея, была созидательная, и они творили делом, то Бэкон действовал разрушением и словом. Именно Бэкон помог очистить духовную атмосферу от тех загрязнявших ее примесей, которые еще оставались в ней от схоластически-аристотелевской эры. В этом ему помогал литературный талант, умение выражать свои мысли в ясной и красивой форме. В своем главном труде, «Новом органоне»², он выступил красноречиво в борьбу со всем, что мешало людям применять индуктивный метод исследования. Согласно его взглядам, таким препятствием являются прежде всего «идолы» или ложные понятия, отчасти коренящиеся в природе человека, отчасти имеющие своим источником общественную жизнь.

Человеческие чувства не являются вовсе, по Бэкону, мерой вещей. Наоборот, все свидетельства чувств и построения разума образуются скорее с природой человека, чем с природой вселенной. Человеческий разум похож на «зеркало с шероховатой поверхностью, примешивающее к исходящим от предметов лучам свою природу». Кроме того, особый склад мыслей каждого отдельного человека вызывает в свою очередь тоже особый подход к вещам. Далее, на дух сильно влияют часто неудачные наименования вещей и процессов, так что «простые слова приводят людей к бесчисленным пустым спорам и выдумкам». Но главнейшим источником заблуждений являются обманы чувств. Люди ставят все то, что сильно действует на чувство, выше того, что не производит такого действия, хотя бы последнее и было по существу более важно. Этим объясняется, например, то, что природа обыкновенного воздуха все еще почти неизвестна. Для правильного объяснения природы необходимо произво-

¹ Hoppe, Geschichte der Elektrizität, Leipzig 1884, стр. 5.

² Bacon, Novum organon 1610. Существует немецкий перевод с примечаниями J. H. Kirchmann, Berlin 1870.

дить надлежащие опыты, причем чувства могут высказываться только об опыте, а о самой природе должен высказываться опыт.

Цель наук, по Бэкону, заключается в том, чтобы обогатить человеческую жизнь новыми открытиями и изобретениями. Но серьезного прогресса в этом отношении можно ждать лишь тогда, когда естествознание станет заниматься преимущественно такими опытами, которые, не доставляя непосредственной выгоды, приводят к открытию причин и законов. Далее важно не просто увеличивать число опытов; необходимо, опираясь на новый метод, создать определенные правила для произведений их. Предоставленное самому себе, производимое наугад экспериментирование только вводит в заблуждение, а не просвещает людей. Но если изучение природы будет происходить планомерно, согласно установленным измененным правилам, то можно рассчитывать на значительный прогресс науки.

Многие из существующих изобретений таковы, что раньше о них не только никто не догадывался, но их считали даже чем-то невозможным. Бэкон указывает при этом на изобретение огнестрельного оружия и компаса. Поэтому можно надеяться, что в лоне природы скрывается еще много такого, что не имеет ничего общего с сделанными уже открытиями и стоит совершенно в стороне от проторенных нашим воображением путей. С течением времени это скрытое станет, несомненно, явным для нас, как это случилось с уже сделанными открытиями. Но на указываемом Бэконом пути это произойдет скорее и вернее.

Несмотря на эти безусловно правильные принципы философии опыта, было бы ошибочно считать Бэкона естествоиспытателем или даже, как это думают иные авторы, истинным основателем современного естествознания. То, чего он требовал, уже давно было осуществлено Галилеем, Гильбертом и другими учеными. Во всех странах пробуждался новый дух с его стремлением к опытному исследованию. Заслуга Бэкона заключается в том, что он сумел выразить это устремление в ясной, подчас даже пророческой форме. Поэтому мы должны видеть в нем не основателя нового индуктивного метода, а красноречивого проповедника его. Приведем теперь некоторые сведения из жизни этого замечательного человека.

Френсис Бэкон родился в Лондоне 22 января 1561 г. Он уже рано проявил выдающиеся способности: 13 лет от роду он поступил в университет, а в 16 лет опубликовал свое первое сочинение, в котором он уже принялся за задачу своей жизни, борьбу против схоластической философии. Стимулы к этому Бэкон получил с разных сторон. В XVI в. в разных странах появились исследователи, стремившиеся освободиться от влияния аристотелевских теорий и приступить к самостоятельному изучению природы. Среди них нужно назвать прежде всего итальянца Телезио (Telesio), главное произведение которого «De natura rerum» появилось в 1565 г.¹ Бэкон, как и Джордано Бруно, относился с величайшим уважением к Телезио.

¹ В предисловии к этой натурфилософской книге Телезио (Bernardinus Telesius) написал, что он не понимает, как могли довольствоваться аристо-

Во время своего пребывания во Франции Бэкон познакомился с Палисси (Palissy), человеком, который, не будучи совсем знаком с греческой и латинской наукой, отдался исследованию природы и своими открытиями и изобретениями обратил на себя внимание ученых кругов Франции. Палисси сделал важные открытия в области керамики и дал описание оборудованного им минералогического кабинета. Он боролся с алхимией, видел в окаменелостях остатки живых существ и обнаружил в своем трактате о водах и источниках здравые геологические взгляды. Этот замечательный человек¹ читал в Париже лекции, на которых присутствовал и Бэкон.

Бэкон был государственным деятелем. Блестящее красноречие и слишком большая подчас покладистость характера служили прекрасными орудиями его честолюбивых стремлений. Когда он говорил, то так очаровывал своих слушателей, что они боялись, чтобы он не перестал говорить. Поднимаясь со ступени на ступень, неразборчивый в своих средствах, Бэкон достиг, наконец, высшей чести: король назначил его великим канцлером и возвел его в звание барона Веруламского. Это произошло в то время, когда в Англии все больше и больше стали обнаруживаться признаки надвигающегося политического переворота и когда сопротивление парламента короне и представителям ее непрерывно возрастало. Одной из первых, но отнюдь не невинных, жертв этой борьбы сделался Бэкон.

В Англии тогда был широко распространен отвратительный обычай делать чиновникам денежные подарки. И Бэкон также брал такие подарки, чтобы иметь возможность вести роскошный образ жизни, связанный с его положением. Вследствие этого Бэкон был обвинен во взяточничестве, хотя он клятвенно уверял, что в своей служебной деятельности никогда не руководствовался какими-нибудь посторонними правосудию соображениями. Тем не менее парламент признал установленным факт взяточничества более чем в двадцати случаях; и палата лордов приговорила канцлера и верховного судью Англии к устранению от должности. По суровому, но справедливому приговору (1621 г.)² Бэкону было запрещено занимать впредь какую бы то ни было государственную должность и быть членом парламента; он был, кроме того, удален от двора. Остаток жизни Бэкон провел в уединении, работая над своими философскими сочинениями.

Хотя Бэкон настаивал на необходимости экспериментов и учил, что всякая философия должна исходить из опыта, сам он едва ли про-

телевской физикой в течение стольких веков столь многие выдающиеся люди. Он основал общество, ставившее себе целью изучение природы и борьбу с философией Аристотеля. Общество это было закрыто римской курией.

Согласно Телезио существует только три принципа: один совершенно пассивный, вещество, и два движущих — теплота и холод. Теплота расширяет вещество, холод сжимает его. Телезио не сделал ничего для экспериментального исследования природы. Заслуга его заключается в том, что он пытался освободить человечество от веры в авторитет.

¹ Подробнее о Палисси и его отношении к Бэкону см. книгу A. B. H a n s c h m a n n, Bernhard Palissy als Vater der induktiven Wissenschaftsmethode, Leipzig 1913. О Палисси см. также том 1 этого труда.

² L. v. R a n k e, Englische Geschichte, т. 2, стр. 135.

извел хотя бы один серьезный эксперимент. Его математические и физические познания были весьма незначительны даже для того времени. Хотя Бэкон и был знаком с произведениями Галилея и Гильберта, но для основательного изучения их у него, очевидно, не нашлось досуга. В то время как Галилей исследовал небо посредством телескопа, Бэкон еще сомневался в пользе инструментов для науки¹. К тому же он всю свою жизнь оставался противником учения Коперника*. Точно так же Бэкон не понял успехов, достигнутых механикой благодаря Галилею и его ученикам. В этой области он целиком находился еще в оковах схоластики, против которой вообще боролся. Посмотрим, например, как он объясняет дрожательное движение. «Оно есть, — говорит он², — результат вечного заключения, при котором тела находятся в положении, не соответствующем их природе, но также и не чувствуют себя совсем плохо и потому движутся туда и обратно, так как они ни довольствуются своим положением, ни решаются подвинуться вперед». Такого рода движение свойственно, по мнению Бэкона, например, сердцу. Мало того, ему известно даже «движение вследствие боязни движения». Поэтому не приходится удивляться тому, что Бэкон еще придерживался аристотелевского противоположения легкости и тяжести и советовал, например, исследовать, является ли воздух абсолютно легким или тяжелым телом³.

Несмотря на неспособность Бэкона работать самостоятельно в указанном им направлении, все-таки не следует недооценивать его влияния. Его произведения заставили многих крупных исследователей посвятить свои силы выполнению великой, выдвинутой Бэконом на первый план задачи, именно основать истинное могущество человека на овладении силами природы. В философии Бэкон является основателем того направления, которое исходит из опыта и называется реализмом. Его влияние простиралось и на педагогику. Амос Коменский (Comenius), отец современной педагогики, заимствовал главным образом от Бэкона свое стремление выдвигать на первый план наглядность обучения. «Правильно обучать юношество, — говорит Амос, — не значит вовсе напичкивать его мешаниной из слов, фраз, сентенций и мнений, а расширять его ум для понимания окружающего мира. Почему бы нам вместо чужих книг не открыть живой

¹ См. Draper, *Geschichte der geistigen Entwicklung Europas*, Leipzig 1841, стр. 527 и след.

² *Novum organum scientiarum*, Lügdt. Bat. 1645, гл. 48, стр. 366.

³ Суровую, но во многих отношениях справедливую оценку Бэкона дал Либих (Liebig) („Ueber Bacon und die Methode der Naturforschung“): „Приговор Бэкона над Гильбертом и Коперником есть смертный приговор его собственной научной деятельности. Открытые Гильбертом факты Бэкон считал баснями (Nov. Org., II Aphor. 48), а Коперника он называл шарлатаном (Glob. Intell., Cap. VI). Убийственно для Бэкона то, что он осуждает обоих, отрицая правомерность их метода исследования (Nov. Org., I, Aphor. 64). Ряд философов выступил против Либиха в защиту Бэкона. Правильное суждение следует искать между этими крайними мнениями, и мы в своем изложении старались придерживаться этой средней линии. Ср. v. Lipmann в „Abhandl. u. Vorträge“, т. 1: Bacon.“

книги природы? ¹ Почти никто не обучает физике путем наглядного, основывающегося на эксперименте преподавания. Преподавание сводится у всех к устному изложению сочинений Аристотеля или какого-нибудь другого автора».

УМСТВЕННАЯ ФИЗИОНОМИЯ XVII ВЕКА

Наряду с Италией, Францией, Нидерландами и Англией живое участие в возрождении естествознания приняла и Германия. Здесь возникла система Коперника, отсюда исходило реформационное движение, охватившее большую часть Европы. Правда, освободительной силе этого движения грозила серьезная опасность погибнуть в оковах нового формализма и в бесконечной религиозной распре. Протестантская иерархия не уступала католическому духовенству Италии в своем стремлении ограничить свободу науки. Как и в Италии, ученые в германских университетах не осмеливались открыто признавать истинность мировоззрения Коперника. К этому в протестантских странах присоединялась такая безграничная ненависть к католицизму, что даже разумные новшества отвергались, если они исходили из Рима. Так случилось, например, с реформой календаря, проведенной в 1582 г. по инициативе папы Григория XIII. До того времени христианский календарь был основан на юлианском годе в $365\frac{1}{4}$ дней, хотя уже Гиппарх и Птолемей знали, что продолжительность года несколько короче. Все попытки устранить возмужавшую ошибку календаря — попытки, в которых, между прочим, принимал живое участие и Коперник, — оставались бесплодными. Во времена Григория эта ошибка составляла уже 10 дней. Ее устранили таким способом, что выкинули все десять дней от 5 до 15 октября 1582 г., причем было постановлено впредь не считать високосным последнего года тех столетий, которые не делятся на 400 ².

За всеобщее введение григорианского календаря ратовал особенно Кеплер, сопровождавший в 1613 г. императора на сейм в Регенсбург. Но протестантские сословные представители смотрели на это дело как на религиозный вопрос и отклоняли всякую попытку сговориться. Прошло целых сто лет, пока путанице был положен конец, и благодаря стараниям Лейбница реформа календаря проникла и в протестантские области Германии ³.

¹ Аналогичные требования выдвигались неоднократно задолго до Амоса Коменского. Но надо было прежде всего, как выражается Галилей, „научиться понимать язык и письменные знаки, на котором написана эта книга природы. Только тогда она может быть понята“.

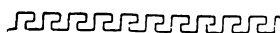
Нападению подвергалась также общепринятая система филологического образования. Против нее выступил особенно резко остроумный Монтень (Montaigne) (1533—1592), по мнению которого благодаря многолетнему изучению греческого и латинского языков воспитанник „делается глупее, чем он был до того, как его стали обучать“.

² Григорианский календарь вставляет, таким образом, в течение 400 лет 97 високосных годов; ошибка этого календаря в течение этих 400 лет достигает всего только 0,122 дня.

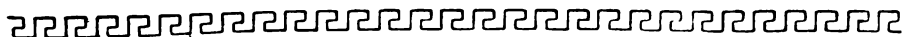
³ Евангелическая Германия приняла григорианский календарь в 1700 г. Англия приняла его лишь в 1752 г. Между тем как грекокефалическая церковь относится к нему отрицательно и по сию пору.

Как в вопросах относительно календаря и системы Коперника, так и во всех других вопросах решающую роль играли не вполне отстоявшиеся еще и мутные религиозные тенденции, которые, попав на ложный путь, наложили свою печать на весь XVII в. Религия тесно переплелась с политическими интересами, вследствие чего борьба между приверженцами старого и нового вероисповедания привела к преследованиям и войнам, превосходившим по своей кровопролитности и опустошительности все, что испытало до тех пор человечество. Но прежде чем вспыхнула тридцатилетняя война в Германии и пражская война в Англии — события, вызвавшие продолжительный застой в развитии этих стран и заглушившие много ростков, — научный дух успел уже пустить в них такие прочные корни, что рост его мог быть лишь задержан, но не уничтожен окончательно. В течение XVI и XVII вв. духовное развитие, особенно в Германии, было направлено к тому, чтобы вытеснить схоластически-аристотелевский образ мышления сначала гуманистически-филологическим, а затем и естественно-научным исследованием. Правда, мышление широких масс, подчиняясь закону инерции, имеющему силу и в духовной области, оставалось попрежнему в плену старых форм. Но в эпоху, предшествующую религиозным войнам в Германии, число самостоятельно мыслящих людей все время возрастало. Одновременно с этим расцвели искусства, промышленность и торговля, оказывая этим благотворное влияние на многие отрасли науки.

Доказательство того, каким авторитетом все еще продолжал пользоваться Аристотель, представляет один эпизод из истории открытия солнечных пятен. Когда в 1611 г. иезуит Шейнер открыл, почти одновременно с Фабрицием и Галилеем, эти пятна, то его духовный начальник заявил ему, что дело тут, конечно, только в каком-то недостатке стекол или глаз: действительно, он дважды прочитал всего Аристотеля и не нашел у него ничего подобного. Однако на Шейнера этот довод не подействовал. Он сделал около 2000 наблюдений¹ над Солнцем и с успехом распространил, как мы видели, свои исследования на природу процесса зрения и на строение глаза.



¹ Rosa Ursina sive sol ex admirando facularum et macularum suarum phaenomenovarius, 1630.



V

АСТРОНОМИЯ В ЭПОХУ ТИХО И КЕПЛЕРА

Коперник основал гелиоцентрическую систему мира. Немецкому же ученому предстояло развить ее дальше и сделать окончательно бесспорным достоянием науки. Этим ученым был Иоганн Кеплер, крупнейший немецкий астроном XVII в. Не только научные исследования Кеплера, но и вся его судьба заслуживают того, чтобы на них остановиться несколько подробнее.

ХОД РАЗВИТИЯ КЕПЛЕРА

Иоганн Кеплер родился 27 декабря 1571 г. в вюртембергском городке Бейле. Уже в раннем детстве начались его злоключения, преследовавшие его всю дальнейшую жизнь. Судьба Кеплера представляет любопытный эпизод из истории европейской культуры. Его хилому организму пришлось перенести не одну болезнь. Родители его не ладили между собой. Отец поступил на военную службу. По возвращении домой он потерял свое небольшое состояние благодаря взятому на себя поручительству. Впоследствии он снова ушел на военную службу и пал на войне против турок. После безрадостного отрочества Кеплер, непригодный по своему слабому здоровью к какой-нибудь практической профессии, был отдан сначала в монастырскую школу, а затем в духовную семинарию в Тюбингене.

«Я без труда понимал все то, что касается геометрии и астрономии, — писал впоследствии Кеплер¹. — Я воспитывался за счет герцога вюртембергского. О моих успехах в науках могла свидетельствовать моя книга *Mysterium cosmographicum*». Это первый астрономический труд Кеплера, вышедший в 1596 г; мы еще рассмотрим впоследствии содержание и историческое значение этой книги.

Любовь к математике и астрономии Кеплеру внушил Местлин (Mästlin), преподававший в Тюбингене. Местлин (1550—1631) был профессором математики и астрономии в Тюбингене. Он был сторонником коперникова учения и, говорят, склонил в пользу его также Галилея. Местлин объяснил «пепельный» свет Луны тем, что на Луну падает отраженный Землею свет Солнца.

¹ Kästner, Geschichte der Mathematik, IV, стр. 247.

Между Местлином и Кеплером завязалась дружба. По мере того, как у Кеплера возрастал интерес к астрономии, он все более отдалялся от господствовавшей в то время теологии. Эта последняя выродилась тогда в протестантском Вюртемберге в какую-то ортодоксию, стеснявшую всякое свободное движение духа и застывшую в догматах, которые не могли найти доступа в истинно религиозной душе Кеплера. Когда же Кеплер вдобавок объявил себя сторонником коперникова учения, то его теологической карьере пришел конец. Он был признан человеком, непригодным для церковного служения, и должен был считать себя счастливым, когда благодаря Местлину получил место в Граце. Здесь Кеплеру пришлось преподавать математику и риторику, а также составлять календари, причем особенно важным считалось предсказание погоды и политических событий. С каким тяжелым сердцем должен был этот столь прямотдушный человек заниматься подчас этим делом, которое он сам характеризует как «бесплоднейшую, но неизбежную служебную работу»! «Матери астрономии пришлось бы, наверное, голодать, — выразился он в другой раз, — если бы дочь астрология не зарабатывала на хлеб». Что Кеплер признавал, однако, в известной мере влияние космических процессов на ход земных событий, видно из заключительной главы его «подробного доклада о появившейся в 1607 г. комете и ее значении»¹. Как заявляет здесь Кеплер, он не намеревается безусловно отрицать того, что кометы могут вызывать чуму. Действительно, в случае прикосновения хвоста кометы к земле воздух может оказаться загрязненным. Но так как это случается редко, то должна быть другая причина для объяснения возможного действия комет. «Если действительно верно, — рассуждает Кеплер, — что согласно порядку природы появление кометы вызывает и, значит, предвещает наводнения, засуху или чуму, то это должно происходить следующим образом: когда на небе появляется какой-нибудь исключительный феномен, то силы всех естественных вещей должны испытывать это. Эта симпатия, связывающая все с небом, простирается в особенности на силу, скрытую в земле и господствующую над ее внутренним состоянием. Вследствие этого из земли выделяются влажные испарения, влекущие за собой дожди, наводнения, а под конец и чуму».

И человек, даже слепой, обладает подобными чувствительными к происходящим на небе событиям силами; при появлении кометы на небе силы эти выходят тоже из состояния равновесия и не только могут приводить к неестественным движениям крови, а вследствие этого к болезням, но также и к сильным потрясениям духа. Эти взгляды Кеплера значительно отличаются от господствовавшей в его время суеверной страсти к звездочетству. Ведь именно исследования Кеплера лишили астрологию всякой почвы. «Так называемые блуждающие звезды, — говорит один из его биографов², — которые своими

¹ См. Dannemann, Aus der Werkstatt grosser Forscher, 3 изд., разд. 12. Дело шло в данном случае о комете Галлея.

Популярное изложение взглядов Кеплера содержится в книге: L. Günther, Die Mechanik des Weltalls, Leipzig 1909.

² Breitschwerdt, J. Keplers Leben und Wirken, 1831, стр. 71.



ИОГАНН КЕПЛЕР

1571—1630

движениями якобы определяют человеческие судьбы, перестали отныне блуждать, а мистическое истолкование, которое астрология давала этим блужданиям, потеряло всякую опору».

Несмотря на это Кеплер вынужден был нести астрологическую баршину, так как иначе он не мог бы оставаться на своем месте астронома. Благодаря этому обстоятельству он пришел в соприкосновение с двумя историческими фигурами, именно с императором Рудольфом II и Валленштейном, пристрастие которых к астрологии достаточно известно. По счастливой случайности помещенные Кеплером в его первом календаре предсказания — именно суровая зима и возникновение беспорядков — действительно осуществились. Такого рода успех ценился тогда в глазах легковерной толпы выше, чем подготовка научного труда.

Свободное развитие науки во времена Кеплера очень сильно тормозилось также благодаря отсутствию того этического момента, который мы называем свободой академического преподавания и который еще и теперь приходится защищать от посягательства реакционных элементов. Свобода преподавания могла развиваться лишь по мере того, как бессодержательные словопрения и ссылки на авторитет стали вытесняться осязательными и логически доказуемыми результатами точного исследования. Последнему мы обязаны тем, что постепенно потеряла свое значение максима *αὐτός ἐφη* (он, т. е. учитель, сказал), и на ее место появился новый, возвещающий истину язык — именно тот язык, на котором природа отвечает на поставленные ей вопросы.

В то время, о котором мы рассказываем, такой ученый, как Местлин, мог быть принужден сенатом протестантского университета в Тюбингене читать астрономию, вопреки своему убеждению, по системе Птолемея и писать против григорианского календаря. Когда Местлин замедлил с выполнением этих требований, он получил выговор. Местлину, чтобы не потерять своего места, пришлось покориться. Он исполнил навязанную ему работу, указав некоторые несущественные недостатки нового календаря. В другой раз Местлин попал в затруднительное положение, когда Кеплер прислал ему из Граца свою первую работу, «*Mysterium cosmographicum*»¹, для того чтобы напечатать ее в Тюбингене. Сенат воспротивился этому, так как учение о движении Земли, положенное Кеплером в основу своей книги, могло умалить авторитет священного писания. «Что же делать?» — писал Кеплер Местлину. — «Я думаю, нам придется подражать пифагорейцам и сообщать только друг другу о наших открытиях. Я не хотел бы, чтобы ты из-за меня нажил себе врагов». В конце концов затруднение все-таки удалось преодолеть. Книга вышла в свет, и молодой автор послал экземпляры ее Тихо де-Браге и Галилею, величайшим астрономам того времени, с которыми он и впоследствии поддерживал отношения.

¹ *Prodromus dissertationum cosmographicarum continens Mysterium cosmographicum de admirabili proportione orbium coelestium Joanne Keplero, Tübingen 1596.*

ПОСТРОЕНИЕ КЕПЛЕРОМ ПЛАНЕТНЫХ СФЕР

Основная цель, которой руководствовался Кеплер не только при составлении своей первой книги, но и во всех других своих работах, сводилась к тому, чтобы найти простые арифметические или геометрические отношения между расстоянием планет и между их скоростями. К решению первой части этой задачи Кеплер тщетно стремился в своем «Mysterium», между тем как со второй частью ему под конец удалось справиться после огромной, стоившей больших усилий работы.

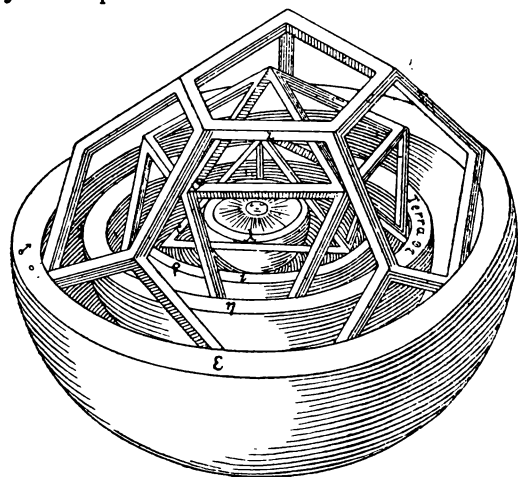


Рис. 37. Планетные сферы по Кеплеру.

Когда Кеплер начал свою научную деятельность, естествознание находилось под господством пифагорейских и платоновских умозрений, основанных на понятиях числа и меры. Это направление мысли сказалось и в первом труде Кеплера.

В то время было известно всего шесть планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер и Сатурн.

Основание для существования именно шести планет Кеплер видел в возможности существования только пяти правильных тел, которые он помещал между шарообразными планетными сферами. Мы передадим собственными словами Кеплера содержание этой «тайны», открытием которой он так гордился, что, как он однажды выразился, он не променял бы честь этого открытия на корону саксонского курфюрста. «Орбита Земли дает нам сферу, являющуюся мерой для всех других. Опишем вокруг этой сферы (η на рис. 37) додекаэдр. В сфере, окружающей этот додекаэдр, лежит путь Марса (ζ на рис. 37). Опишем вокруг сферы Марса тетраэдр. Шаровая поверхность, описанная вокруг этого тетраэдра, заключает в себе орбиту Юпитера (рис. 38, γ). Опишем вокруг этой последней куб; описанная вокруг него сфера (α) содержит в себе орбиту Сатурна (μ). Далее построим внутри земной сферы икосаэдр; вписанная в него шаровая поверхность заключает в себе путь Венеры (рис. 37, φ). Если внутри ее сферы вписать октаэдр, то он охватывает сферу Меркурия».

Таким образом Кеплер берет шесть шарообразных поверхностей, в которые вписаны или вокруг которых описаны пять правильных тел. Вычисление показало, что радиусы этих шести сфер соответствуют приблизительно расстояниям планет, найденным Коперником. Однако указанные Коперником расстояния значительно отклоняются от дей-

ствительных, установленных впоследствии. Кроме того, позже сам Кеплер, в результате неутомимых трудов последующих лет, опровергнул предположение о том, что планеты движутся по крутовым орбитам. Таким образом «тайна» оказалась не более, как остроумной попыткой, не лишенной, однако, своих оснований. Ведь деятельность исследователя, в случае открытий основоположного значения, сводится большей частью к тому, что он высказывает какую-нибудь новую идею и затем пытается путем проверки установить, укладывается ли весь известный фактический материал в рамки этой идеи. Аналогичным образом поступал и Галилей. Так, из понятия равномерно-ускоренного движения он вывел все вытекающие отсюда следствия, а затем при помощи опыта доказал, что в случае свободного падения или падения по наклонной плоскости движения тела вполне соответствует понятию равномерно-ускоренного движения. Наше современное естествознание также складывается из такого сочетания созданий творческой мысли, называемых системами, гипотезами и теориями, с совокупностью всего известного материала. Ни продукты беспочвенного умозрения, ни голые факты опыта не представляют еще сами по себе науки.

Кеплер сам признается однажды, что прежде чем достигнуть истинного представления, вполне соответствующего фактам, он сочинил целых 19 гипотез, которые за негодностью отбросил.

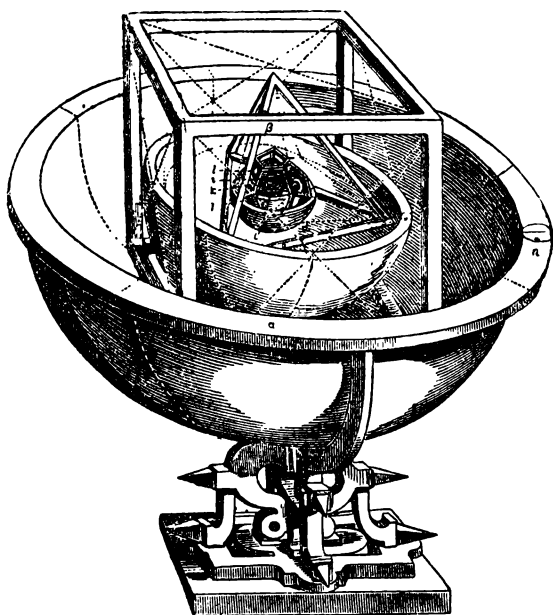


Рис. 38. Планетные сферы по Кеплеру.

Olium planetarum dimensiones et distantias per quinque regularia corpora geometrica exhibens α = sphaera Saturni; β = Cubus; γ = sphaera Jovis; δ = tetraedrus; ε = sphaera Martis; ζ = додекаэдр; η = orbis Terrae; θ = икосаэдр; ι = sphaera Veneris; x = октаэдр; λ = sphaera Mercurii; μ = Sol.

УСПЕХИ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО ИСКУССТВА

В Штирии Кеплер оставался недолго. Через несколько лет после опубликования «Mysterium» бразды правления перешли к воспитаннику иезуитов, эрцгерцогу Фердинанду (впоследствии императору Фердинанду II), принявшемуся за искоренение протестантизма. Кеплер, подобно преступнику, вынужден был уехать из Граца, где он уже успел обзавестись семейным очагом. Как ни печально было само по

себе это обстоятельство, но оно имело, однако, ту хорошую сторону, что привело Кеплера в непосредственное соприкосновение с величайшим тогда астрономом-наблюдателем Тихо де-Браге. Только благодаря тому, что Кеплер мог использовать наблюдения Тихо, он был в состоянии выполнить задачу своей жизни, заключающуюся в исследовании истинного движения планет.

Тихо де-Браге¹ был родом из Швеции. Он родился в 1546 г. и уже с ранних лет, под влиянием наблюдения одного солнечного затмения, а также изучения Альмагеста, стал проявлять большой интерес к астрономии. Он увлекался также алхимией. Тихо надеялся даже при помощи последней добыть средства, необходимые для устройства обсерватории.

Когда Тихо однажды вечером в ноябре 1572 г. покинул свою алхимическую лабораторию и по обыкновению устремил взор на хорошо знакомое ему звездное небо, то он заметил новую, раньше им невиданную звезду в созвездии Кассиопеи. Другие лица заметили эту звезду еще за несколько дней до Тихо. Спустя месяц эта новая звезда по своей яркости почти равнялась Юпитеру. Весною 1573 г. она казалась звездой первой величины, но с этого времени блеск ее стал постепенно убывать. В начале следующего года она представляла собою звезду не более чем пятой величины, а затем в том же году она совершенно исчезла.

В астрономическом мире это происшествие вызвало, как легко понять, сильное возбуждение. Так как вслед за Аристотелем звездному небу приписывали неизменное бытие, то большинство астрономов думало, что наблюдавшееся явление могло иметь место лишь в сфере планет. В связи с этим высказывали самые бессмысленные предположения. Некоторые думали даже, что новое светило загорелось от Юпитера. В противоположность этому, Тихо доказал, что новая звезда должна была находиться за пределами самой крайней планетной сферы, так как она не изменяла своего положения по отношению к неподвижным звездам. По странной случайности внезапное появление новых звезд повторилось несколько раз в короткий период времени от 1572 до 1604 г., что снова показало астрономам необходимость составления точного каталога неподвижных звезд.

Никакая другая наука не пользовалась в такой мере милостью коронованных особ, как астрономия. Правда, часто при этом большую роль играл не столько интерес к самому предмету, сколько вера, что в звездах начертаны судьбы людей. В этом пришлось убедиться и Тихо. Благодаря щедрости датского короля² Тихо Браге был в состоянии построить на одном лежащем между Шоненом и Зеландией маленьком островке³ обсерваторию, какой не видел до тех пор мир. Эта обсерватория была названа Ураниенбург. В течение 20 лет она была центром научной деятельности Тихо, около которого сгруппиро-

¹ И. Дрейеру (J. E. L. Dreyer) принадлежит биография Тихо: *Tycho Brahe, ein Bild wissenschaftlichen Lebens und Arbeitens im 16. Jahrhundert*. Autorisierte deutsche Uebersetzung von M. Bruns, XII, стр. 434, Karlsruhe 1894.

² Фридрих II.

³ По названию Гвен.

вались выдающиеся сотрудники. Величайшая заслуга Тихо заключалась в том, что он придал астрономическим измерениям неизвестную до тех пор степень точности, заложив этим основание для всего дальнейшего развития астрономии. Чтобы найти прямое восхождение какой-нибудь звезды, раньше поступали следующим образом: днем определяли расстояние Луны от Солнца, а в следующую ночь сравнивали положение Луны с положением данной звезды. Тихо достиг значительно большей точности, воспользовавшись тем обстоятельством, что Венера видна иногда днем и гораздо более пригодна для этих определений, чем так быстро изменяющая свое положение Луна. Разница между прямыми восхождениями звезд получается, как известно, из времени, протекающего между их кульминациями. Но основывающийся на этом способ определения места звезд предполагает возможность пользоваться часами с точным ходом. Поэтому уже Тихо стремился к возможно более точному определению времени. Однако, так как в его распоряжении имелись лишь песочные часы или часовые механизмы без маятника, то эта задача могла быть разрешена лишь очень несовершенным образом.

Тихо превосходил всех своих предшественников особенно в искусстве измерения углов. Сперва он пользовался особым крестовым переплетом. Впоследствии (1569 г.) он заказал гигантский квадрант из дерева (рис. 39). Деления этого квадранта находились на латунном круге, радиусом в 6 м. Отсчет углов совершался при помощи отвеса, привешенного на металлической нити. Наблюдения производились через два диоптра. Вследствие огромных размеров квадранта, укрепленного на вращавшемся вертикальном дубовом валу, точность измерения была значительна.

Гигантский квадрант Тихо находился под открытым небом и поэтому не мог долго служить. На рис. 40 представлен изготовленный Тихо меньший инструмент, устройство которого понятно само собою. Ножи этого аппарата были длиной в 1,6 м.

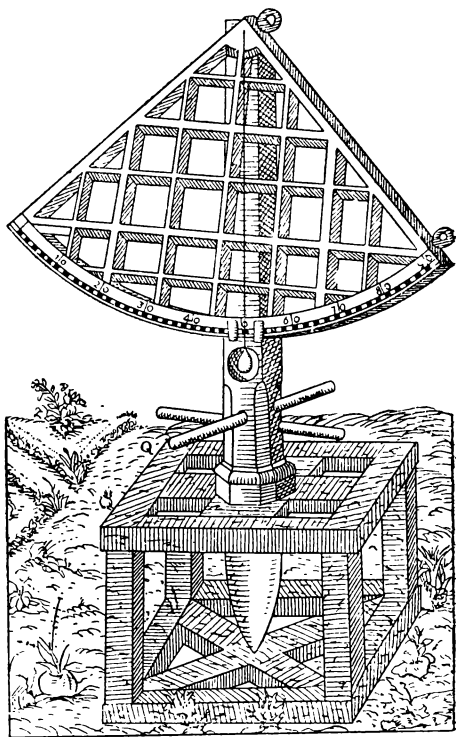


Рис. 39. Гигантский квадрант Тихо 1.

¹ По сочинению Тихо „Mechanica“, 1602.

Наконец прототипом современного теодолита был азимутальный квадрант Тихо, устройство которого дано на рис. 41. Инструмент был сделан из латуни и, несмотря на то, что он был значительно меньше гигантского квадранта, обладал такой точностью, что углы при помощи его можно было измерять с точностью до одной минуты.

Тихо заказал затем небесный глобус из меди, на котором было нанесено около тысячи звезд в проверенных им и исправленных положениях. Меридианы этого глобуса были разделены на минуты. Этот глобус обошелся в 5000 талеров.

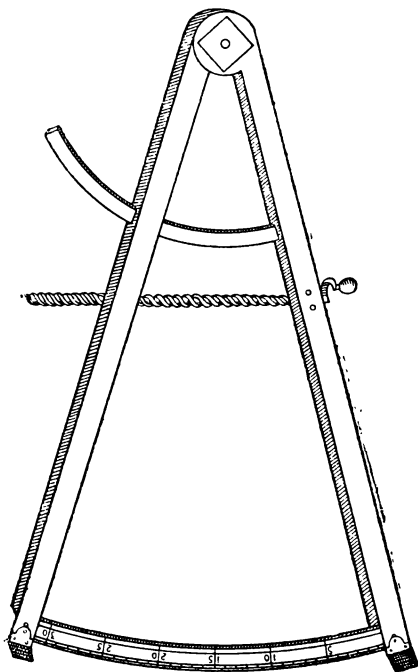


Рис. 40. Угломер Тихо.

Тихо отказывался принять систему Коперника, ибо ему лучше, чем кому бы то ни было, были известны те затруднения, которые связаны были еще с ней. Движение, изменяющее в течение полугода положение Земли на двойное расстояние ее от Солнца, — рассуждал вполне логично Тихо, — должно было бы вызвать соответственное изменение в положении неподвижных звезд. «Если допустить годовое движение Земли, — писал он¹, — то пришлось бы отодвинуть сферу неподвижных звезд² в такую даль, чтобы описываемая Землю орбита была по сравнению с этим расстоянием ничтожно мала. Считаешь ли ты возможным, чтобы расстояние между Солнцем, этим предполагаемым центром мира, и Сатурном было меньше одной семисотой расстояния от сфе-

ры неподвижных звезд? К тому же это пространство должно было бы быть лишенным звезд. А между тем так должно быть непременно, если годичный путь Земли, рассматриваемый с неподвижных звезд, составляет по величине только одну минуту. Но тогда неподвижные звезды третьей величины, видимый диаметр которых также равен минуте, должны были бы иметь размеры земной орбиты». Это последнее возражение Тихо устраняется, тем, что, как убедились после открытия телескопа, неподвижные звезды вообще не имеют видимого диаметра, а кажутся вооруженному глазу лишь светящимися точками. Это вполне соответствовало утверждению последователей Коперника, что сфера неподвижных звезд находится на огромном расстоянии от солнечной системы. Открыть, как это требовал Тихо, па-

¹ В письме к Ротману (Rothmann) от 24 ноября 1589 г. Tycho's Brahe, *Epistolarum astronomicarum libri*. 1610.

² Разумеется, при допущении системы Коперника.

раллакс звезд, величина которого позволила бы определить расстояния неподвижных звезд, удалось лишь, как мы увидим ниже, в XIX в. благодаря проницательности и наблюдательному таланту Бесселя (Bessel)¹. Тихо же безрезультатно пытался установить параллакс звезд, чтобы проверить таким образом правильность учения Коперника.

Помимо этих астрономических сомнений, отрицательное отношение Тихо к учению Коперника основывалось еще на характерном для того времени отсутствии правильных механических понятий. Так, он повторяет ходячее возражение, что если бы Земля двигалась, то падающее тело не могло бы достигнуть поверхности Земли по отвесной линии. Далее он замечает, что Земля слишком «инертна и толста», чтобы выполнять приписываемые ей Коперником движения.

Но, с другой стороны, Тихо понимал, что видимые движения планет лучше согласуются с новым учением, чем с геоцентрическим воззрением. Поэтому он выработал новую систему², занимавшую промежуточное положение между геоцентрической теорией и гелиоцентрической. Согласно этой системе, Солнце движется по эксцентрической окружности вокруг покоящейся в центре Земли, планеты же в это время обращаются вокруг

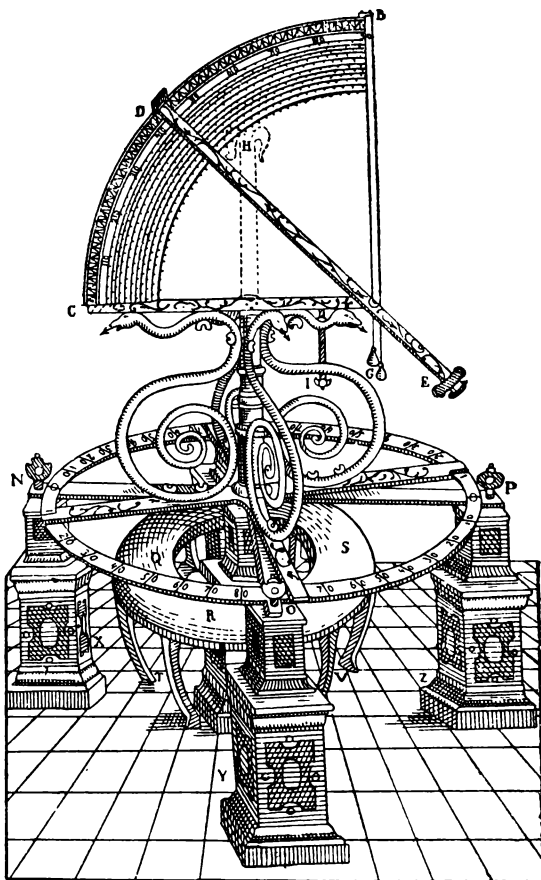


Рис. 41. Азимутный квадрант Тихо, из которого вышел современный теодолит².

Инструмент, изготовленный из латуни, служил для определения азимута и высоты светила. Азимутный круг NP покоился на четырех колоннах. Квадрант высот имел радиус почти в 2 локтя и был снабжен делением на минуты (BC) и алмадой (DE).

¹ См. 66-ю главу книги Даннемана „Aus der Werkstatt grosser Forscher“. Leipzig, W. Engelmann, 1908.

² Tycho Brahe, De mundi aetherei recentioribus phaenomenis, кн. вторая, Прага 1603; фиг. на стр. 463.

³ В 1587 г.

Солнца (рис. 42). Система Тихо нашла мало сторонников; ни один выдающийся астроном не принял ее.

Когда Тихо был на высоте своей славы, его постигла трагическая судьба. Его высокий покровитель умер¹, и тотчас же подняли голову многочисленные враги и завистники Тихо. По их интригам Тихо лишили сумм, предназначавшихся для Ураниенборга, под тем предло-

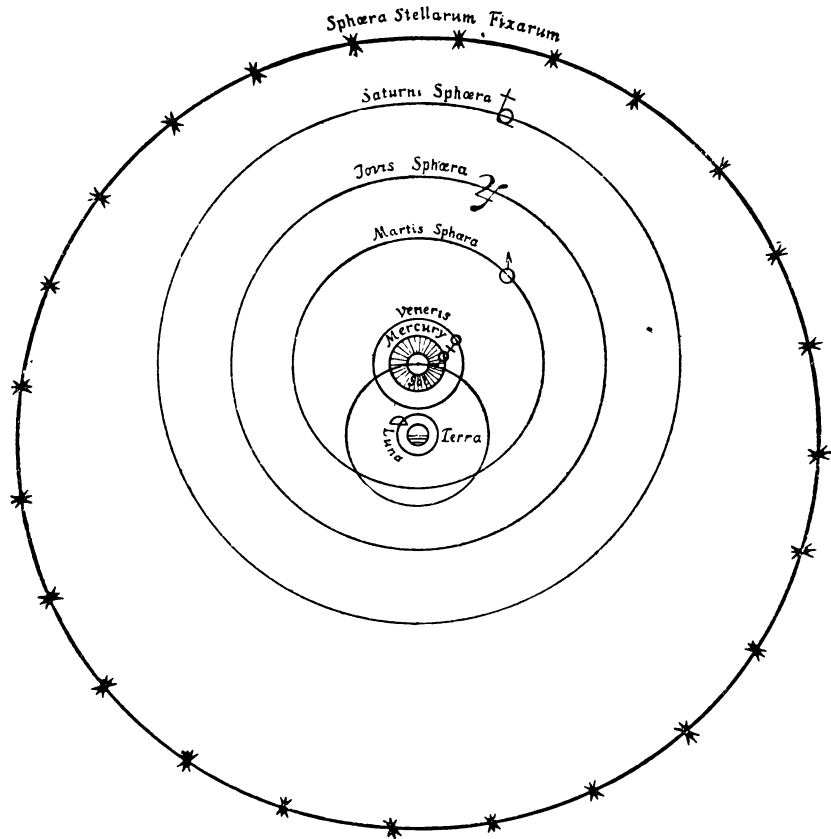


Рис. 42. Система Тихо².

гом, что его работы не только бесполезны, но даже «полны вредной любознательности». Великий исследователь, которого Бессель впоследствии назвал королем астрономов, получил от правительства приказ прекратить свои работы³. Этим решена была судьба Ураниен-

¹ 1588 г.

² Guericke, De vacuo spatio, lib I, Icon. III.

³ В своем „Изложении системы мира“ (нем. изд. Гауфа — Hauff) Лаплас говорит, что именно те, которые злоупотребляли своей властью, чтобы задержать победоносное шествие разума, должны быть преданы проклятию на все времена. Самым ожесточенным противником Тихо Лаплас называет (т. 2, стр. 278) датского министра Вальхендорпа (Walchendorp).

борга. Ослепление ума, принесшее так много вреда возрождавшемуся естествознанию, снова одержало одну из своих бесславных, но, к счастью, бесполезных побед. Тихо, которому грозило под конец даже физическое насилие, спас самую ценную часть своих инструментов и заметок и покинул свою родину. Он и его наука нашли себе новое убежище опять-таки благодаря княжеской милости. Следуя приглашению императора Рудольфа II, Тихо переселился в Прагу, где был назначен императорским астрономом.

Из Праги в 1599 г. Тихо пригласил к себе Кеплера, судьбу которого мы проследили до того момента, когда религиозный фанатизм лишил его обеспеченного места и поверг в безвыходное положение. Кеплер был назначен помощником Тихо в вычислительной работе, получив также разрешение использовать по собственному усмотрению обширный материал наблюдений датского астронома.

«Я считаю предначертанием providения, — писал впоследствии Кеплер¹, — что при моем прибытии производилось как раз исследование движений Марса. Либо движения этой планеты помогут нам проникнуть в тайны астрономии, либо мы навсегда останемся невеждами в ней». Дело в том, что из всех планет именно Марс представлял издавна наибольшие затруднения для астрономов. Это объясняется тем, что орбита Марса более всего уклоняется от окружности. С другой стороны, исследование Марса представляет то преимущество, что его обращение совершается в несколько лет, между тем как для наблюдения обращения остальных внешних планет требуется значительно большее время. Наблюдения Тихо над Марсом охватывали промежуток времени в 16 лет. Они, кроме того, простирались на всю орбиту планеты и были сделаны с точностью до нескольких минут, что представляло невиданную до тех пор степень точности².

ОТКРЫТИЕ КЕПЛЕРОВЫХ ЗАКОНОВ

До Кеплера никто не сомневался в том, что планеты описывают кругообразные орбиты. Кеплер первый отвергнул это положение, считавшееся почти аксиомой. Прежде всего он решил проверить, не получатся ли лучшие результаты, если допустить, что орбита Марса имеет форму овала. Под конец, когда при этом допущении все еще не получалось достаточного согласия между наблюдениями и теорией, Кеплеру пришлось в голову положить в основу вычислений вместо овала эллипс. В результате оказалось следующее. В то время как по таблицам Коперника действительное место Марса уклонялось в 1608 г. от вычисленного почти на целых 5° , Кеплер в своем вышедшем год спустя главном труде «О движениях Марса»³ показал, что это расхождение почти совершенно исчезает, если допустить, что планета описывает эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце.

¹ De motibus stellae Martis, Pars Secunda, 37.

² См. Johannes Frischau, Grundriss der theoretischen Astronomie und der Geschichte der Planetentheorien, Leipzig, W. Engelmann, 1903.

³ De motibus stellae Martis. Prag 1609, Opera omnia, ed. Frisch, III, стр. 135 и след.

Не много есть других открытий, которые в такой степени являлись бы результатом напряженного труда десятилетий, как это открытие Кеплера. В посвящении, обращенном к императору, Кеплер шутливо писал: «Астрономам до сих пор не удавалось одолеть Марса. Но превосходный военачальник Тихо после двадцатилетних ночных бдений сумел раскрыть все хитрости неприятеля. Это придало мужество Кеплеру, которому, наконец, удалось смирить Марса. Кеплер предлагает императору свои услуги, чтобы подобным же образом покорить и всю родню Марса — Юпитера, Венеру и Меркурия, но только пусть распорядятся о выдаче ему из казны необходимых для этого похода средств». Эти последние слова позволяют судить о постоянной нужде, в которой находился Кеплер до конца своей жизни. Тихо умер вскоре после переезда Кеплера¹, и Кеплер был назначен его преемником. Императорская казна большей частью была пуста, о чем особенно заботились алхимики, умевшие использовать пристрастие Рудольфа к их науке. Кеплер жалуется: «Я трачу целые дни в придворном казначействе и ничего не успеваю сделать. Но я утешаюсь мыслью, что служу не только императору, но всему человечеству, что я работаю не только для современников, но и для потомства».

После смерти императора Рудольфа положение Кеплера еще ухудшилось. Он получил место в Линце, где должен был преподавать математику и наблюдать за измерительными работами. Но, несмотря на все невзгоды, Кеплер никогда не терял из виду своей великой цели. Самая печальная страница в биографии Кеплера — это процесс, возбужденный против его матери по обвинению ее в колдовстве. Мы остановимся вкратце на этом эпизоде, что не только позволит нам познаться с состоянием тогдашних правовых отношений, но покажет также удивительный характер Кеплера. Мать великого астронома жила в одном маленьком городке Швабии. Одна из ее соседок, заболев, пустила слух, что ее околдовала госпожа Кеплер. Судья местечка постарался раздуть это дело в процесс о колдовстве. Против обвиняемой говорило особенно то обстоятельство, что она воспитывалась у одной родственницы, которая была, как ведьма, сожжена. Только благодаря стараниям Кеплера, поспешившего приехать из Линца, удалось спасти мать от пытки и костра. Остальные сыновья отстранились, а друзья Кеплера, юристы, не имели достаточно мужества, чтобы вступить за бедную преследуемую женщину, которая вскоре после оправдания умерла от пережитых потрясений. Найдется ли еще другой великий человек, который вызвал бы у нас такое же преклонение перед собой, как Кеплер? Не заботясь о собственной безопасности, он для спасения своей матери вступил в борьбу с безобразиями средневекового судопроизводства². И, несмотря на это, в эти тяжелые тревожные годы он открывает законы, управляющие движением миров.

¹ 24 октября 1601 г.

² Преследования ведьм длились более двух веков вплоть до конца XV в. Подробнее о них см. Binz, Doctor Johann Weyer, Ein rheinischer Arzt der erste Bekämpfer des Hexenwahns, Berlin 1896. Инициатива этих кошмарных процессов исходила от церкви. Только просвещение, обусловленное прогрессом естествознания, положило им конец. Доказательством печального ослепления,

В первые десятилетия XVII в. Кеплер, несмотря на свои служебные занятия, не избавлявшие его даже от забот о насущном хлебе, преследовал неутомимо две задачи. Во-первых, он старался на основании своих собственных наблюдений и наблюдений Тихо составить таблицы планет, которые своей точностью превосходили бы все прежние таблицы. Вторая, более высокая задача заключалась в установлении теории движения планет, которая согласовалась бы с системой Коперника. Обе эти задачи Кеплер блестяще разрешил, дав кроме того еще ряд ценных работ в области математики и оптики.

Новые таблицы (названные в честь императора Рудольфа, покровительствовавшего астрономии, рудольфовыми таблицами) появились только под конец жизни Кеплера¹. В последние годы их составления труд вычисления был облегчен благодаря изобретению логарифмов Бюрги (Bürgi) и Непером (Neper)². Почти в продолжение ста лет рудольфовы таблицы служили необходимым пособием для астрономов и лишь тогда были заменены новыми, более точными.

В то время как Коперник ограничивался задачей простого описания планетной системы, отчасти еще страдавшего недостатками геоцентрического воззрения, Кеплер уже ставил себе целью раскрыть закономерные отношения в ней. Неудача его первых попыток объясняется тем, что у Кеплера еще не было тогда достаточного фактического материала. Только благодаря сотрудничеству с Тихо он получил его в свое распоряжение. В 1609 г. (т. е. через 10 лет после смерти Тихо) Кеплер опубликовал свое открытие, что пути планет представляют собою эллипсы. Этим была устранена освященная традицией древности аксиома о круговых движениях. Так же мало могло уцелеть другое положение, согласно которому движение планет совершается равномерно. Кеплер доказал, что планеты, находясь ближе к Солнцу, движутся быстрее, чем тогда, когда они находятся дальше от него. Скорости движения находятся между собой в таком отношении, что площади, описанные в одинаковые времена радиусом-вектором, т. е. прямой, соединяющей Солнце с планетой, одинаковы (рис. 43).

Таким путем были открыты законы, которым подчиняется движение каждой отдельной планеты³. Оставалось еще найти зависимость

той эпохи могут служить следующие строки одного знаменитого богослова. Они заимствованы из одной книги, написанной по приказанию Иохима Бранденбургского. Там о ведьмах говорится следующее: „В нашем теле нет ни одного члена, которому они не могли бы причинить вреда. Чаше всего они вселяют в людей бесов, истязаящих свои жертвы. С бесами они вступают даже в плотское общение. Нет столь незначительного местечка, где не нашлось бы ведьмы; но зато там редко встречается инквизитор“. Вскоре, по церковному распоряжению, появились и последние: об этом свидетельствует тот факт, что в одной только местности Бормио (Bormio) назначенные Иннокентием VIII инквизиторы сожгли за один год 41 ведьму.

¹ Tabule Rudolphinae, Ulm 1627. Opera omnia (ed. Frisch), VI, 661.

² Бюрги, швейцарец (1552 — 1632), и Напир (Napier) или Непер, шотландец (1550 — 1617), сделали это важное открытие независимо друг от друга. Бюрги был сначала помощником в обсерватории ландграфа гессенского в Касселе. Позже он сам заведывал этой обсерваторией, но после смерти князя-покровителя перешел на службу к Рудольфу II и стал, таким образом, сотрудником Кеплера.

³ De motibus stellarum Martis, гл. 59 (Opera, ed. Frisch, т. 3).

связывающую между собою все планеты и превращающую их в одну цельную систему. Решение этой задачи стоило Кеплеру еще десяти лет усиленных работ; оно было опубликовано в 1619 г. в сочинении «Гармония мира».

С 1595 г. Кеплер, по его собственным словам, напрягал все силы своего ума, занимаясь разработкой системы Коперника. Он неутомимо искал причины трех явлений, именно — числа планет, их расстояний и их движений¹. И, наконец, он мог воскликнуть: «То, чему я посвящал большую и лучшую часть своей жизни, теперь найдено, и истина установлена с полнотой, превзошедшей самые пылкие мои желания»². Соотношение между временами обращения и расстояниями двух планет, известное под именем третьего закона Кеплера, гласит, что квадраты времен обращения планет вокруг Солнца относятся между собой, как кубы средних расстояний этих планет от Солнца³.

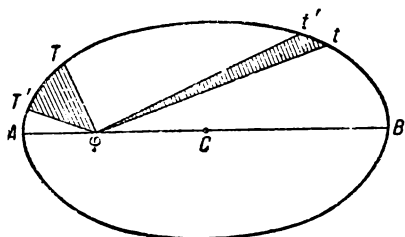


Рис. 43. Второй закон Кеплера.

Если дуги tt' и TT' описываются планетой в одинаковое время, то площади $tt\phi$ и $TT\phi$ равны между собой.

Если, например, время обращения планеты равно 27 годам, то из этого закона следует, что расстояние ее от Солнца в 9 раз больше расстояния Земли от Солнца, ибо $1^2 : 27^2 = 1 : 729 = 1^3 : 9^3$. Именно такое соотношение наблюдается приблизительно у Сатурна. Период обращения Сатурна равен 30 годам, а его расстояние от Солнца в 9 раз

с небольшим больше радиуса земной орбиты. Отсюда ясно, что точное определение расстояния Земли от Солнца имеет кардинальное значение. Кеплер не знал еще абсолютной величины этого расстояния. В своих вычислениях он принимал его за единицу и получал, следовательно, только относительные величины расстояний планет.

Кеплер сумел уберечься от опасного соблазна — истолковать открытые им законы в духе пифагорейцев, как причину явлений. Если под открытием причины явления понимать сведение его к другим процессам, закономерность которых уже установлена, то можно утверждать, что Кеплер ревностно старался разрешить проблему движений планет и в этом направлении. Однако окончательное решение этой проблемы суждено было найти Ньютону, которому удалось объяснить центральное движение, точно так же, как и свободное падение тел и движение брошенных тел, исходя из свойства тяжести. Что сила тяжести действует не только на поверхности земли, но и на космических расстояниях, это утверждал уже и Кеплер. Согласно его взглядам, два тела, на которые не действует третье тело, движутся друг к другу, пока не соединятся. При этом пройденные ими пути, как поясняет Кеплер, должны быть обратно пропорциональны массам. «Если

¹ Opera omnia (ed. Frisch), I, 106.

² „Harmonices mundi“, кн. V.

³ Opera omnia, V, стр. 279.

бы Луна не обращалась вокруг Земли, — пишет Кеплер, — то Земля приблизилась бы к Луне на одну пятьдесятчетвертую часть отделяющего их расстояния, а Луна подвинулась бы к Земле на остальные пятьдесят три части этого расстояния, и оба тела тогда соединились бы. (Все это при предположении, что плотность Земли и Луны одинакова.)»¹.

Однако объяснение планетных движений могло быть найдено лишь после того, как к ним был применен закон инерции, подобно тому как это сделал Галилей в своих исследованиях о движении тел на Земле. Кеплер же исходил из ошибочного предположения, будто для обращения планет вокруг Солнца необходим постоянно повторяющийся толчок. Этот толчок, по мнению Кеплера, имел своим источником вращение самого Солнца вокруг оси, которое Кеплер допускал в целях объяснения уже в то время, когда это явление еще не было установлено наблюдением. Если бы Солнце не вращалось вокруг своей оси, — рассуждал Кеплер, — то планеты не могли бы обращаться вокруг этого центрального светила, а должны были бы упасть на него. (На самом же деле вращение Солнца вокруг его оси, как мы теперь знаем, могло бы прекратиться, не вызвав изменений в движении планет.) Оставалось далее объяснить еще неодинаковую продолжительность периодов обращения планет. Кеплер говорит об этом следующее: «Если бы планеты не обладали природным сопротивлением, то нельзя было бы указать причины, почему бы им не следовать в точности вращению Солнца. Но хотя в действительности все планеты движутся в том же самом направлении, в каком совершается и вращение Солнца, скорость их движения неодинакова. Дело в том, что они смешивают в известных пропорциях косность своей собственной массы со скоростью своего двигателя»². Эта движущая планеты сила Солнца рассматривалась Кеплером как особая разновидность магнетизма. При этом он ссылаясь на Гильберта, который Землю тоже рассматривал как один большой магнит. Подобно тому как магнит водит за собой стрелку, так, по Кеплеру, Солнце водит за собой Землю.

Кеплеру было известно, что сила света обратно пропорциональна квадрату расстояния освещенного тела от источника света. Поэтому он поднимает вопрос, не подчиняются ли этому закону действия упомянутой движущей силы Солнца, подходя, таким образом, совсем близко к открытию ньютонова закона тяготения.

ДАЛЬНЕЙШИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ РАБОТЫ КЕПЛЕРА

Кеплеру принадлежит также некоторое право на открытие солнечных пятен. 28 мая 1607 г., т. е. в то время, когда еще не был изобретен телескоп, Кеплер отметил в своем дневнике одно странное на-

¹ Так как при одинаковой плотности массы пропорциональны объему В действительности объем Земли в 50 раз превосходит объем Луны, между тем как плотности их относятся между собой, как 1:0,6. Цитированное в тексте место находится в кеплеровой „*Astronomia nova*“ (Opera omnia, т. 3, стр. 151).

² По извлечению из „*Epitome astronomicae Copernicanae*“ Кеплера, приводимому Кестнером (Kästner) в его „Истории математики“ („*Geschichte der Mathematik*“ т. 4, стр. 360).

блюдение¹. Кеплер был знаком с очень старыми, восходящими к эпохе Карла Великого, сообщениями, согласно которым удавалось будто бы наблюдать Меркурий перед Солнцем в виде маленького черного пятна². Чтобы проверить, возможно ли это, Кеплер однажды, когда Солнце находилось в соединении с Меркурием, сделал следующий опыт: он пропустил солнечные лучи через узкое отверстие в темную комнату, давая им падать на бумажный экран (рис. 44). К великому изумлению Кеплера на изображении Солнца оказалось небольшое неясное пятно, которое он ошибочно принял за Меркурий.

Без сомнения, в этом случае, как и в указанных выше более древних сообщениях, дело шло о солнечных пятнах, ибо Меркурий, как это показали позднейшие вычисления, не находился в день наблюдения перед солнечным диском, кроме того, он слишком мал, чтобы во время соединения его можно было наблюдать так, как это описывает Кеплер.

Кеплер также неоднократно занимался вопросом о кометах, которые он вслед за Тихо относил к небесным светилам, между тем как большинство ученых считали их атмосферическими явлениями. «Пусть не вменяют мне в вину, — говорит он, — что я ввожу новую теорию или, вернее, следуя древнему учению Анаксагора и Демокрита и приписываю небу свойство, которого не хотели до сих пор признавать за ним, а именно, что на нем могут возникать новые вещи точно так, как у нас на Земле». Согласно Кеплеру, распространенный повсюду небесный воздух, эфир, сжимаясь, порождает из себя кометы, которыми небо так же полно, как море рыбами. Утверждая это, Кеплер противоречил Аристо-

телю, который был тогда для большинства ученых непререкаемым авторитетом. Аристотель, как известно, приписывал небесным светилам неизменное бытие: преходящий мир становления начинался у него лишь в подлунной сфере. Что касается планет, то они занимают промежуточное положение между обеими этими областями, как это показывается в особенности их неравномерным движением. Непоправимый удар этому учению Аристотеля нанесло неожиданное появление новых.

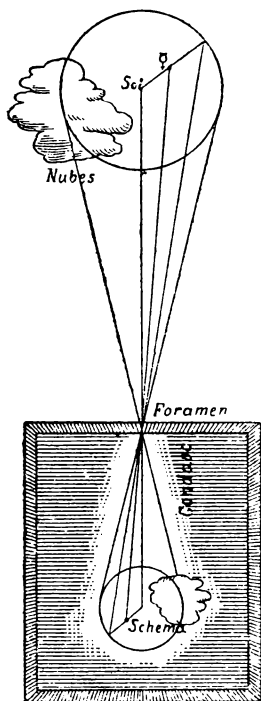


Рис. 44. Кеплер наблюдает солнечное пятно, которое он ошибочно принимает за Меркурий³.

¹ Joannis Kepleri, Phaenomenon singulare seu Mercurius in sole, Leipzig 1609 (Opera omnia, ed. Frisch, т. 2, 793).

² В эйнгардовой „Жизни Карла Великого“ („Vita Caroli Magni“, изд. Jaffe в 1876 г.) сообщается, что в апреле 807 г. Меркурий был „виден перед солнечным диском „quasi parva macula nigra“ (как маленькое черное пятно).

³ Opera omnia, т. 2, стр. 805.

звезд в 1572, 1600 и 1604 гг. и их позднейшее постепенное исчезновение.

Кеплер составил подробное сообщение о звезде 1604 г. Он показал, что и это новое светило, появившееся в созвездии Змеи, не изменяет своего положения по отношению к неподвижным звездам. Отсюда он заключил, что это не может быть ни планета, ни комета. «Дай бог, чтобы люди, без конца болтающие о происхождении этого светила, прочли сперва рассуждения Тихо о звезде 1572 г.; тогда они отказались бы от ребяческой мысли, будто это светило загорелось от Юпитера или Марса». Так пишет Кеплер в своем отчете о необыкновенной звезде, появившейся в октябре 1604 г. Недавно было издано¹ факсимиле этого отчета вместе с факсимиле сочинения Давида Фабриция о новой звезде 1604 г. Сочинение Фабриция вышло в 1606 г. в Магдебурге под названием «Небесный вестник».

Заманчиво посмотреть, каким образом оба эти исследователя трактуют одну и ту же проблему. С одной стороны, Давид Фабриций, убежденный астролог, объясняющий своим изумленным землякам, что знаменует собой удивительная звезда; с другой — Кеплер с его весьма скептическими соображениями по этому вопросу². Трудно понять, пишет Кеплер, что знаменует новая звезда. Либо она для нас, людей, не знаменует ничего, либо же она знаменует столь важные вещи, которые совершенно недоступны человеческому разумению.

Подобная звезда оказывает известное действие на людей постольку, поскольку вся природа каким-то скрытым образом чувствует исходящие от неба световые лучи и сообразует свое поведение с этим. Точно так же какой-нибудь государь, рассматривая появление нового светила, как данное самим небом знамение, может решиться на известное рискованное предприятие или же отказаться от него.

Кеплер не без юмора замечает, что новая звезда знаменует многое еще и в том отношении, что она приносит много работы и барыша издателям, ибо почти каждый теолог, философ или астроном имеет о ней свое особое мнение и хочет высказать его.

К исследователям этого рода принадлежит и фрисландский проповедник и астроном Давид Фабриций³, опубликовавший три работы о новой звезде. По его описанию, звезда была впервые замечена раз-

¹ Д-ром Бертольдом.

² См. предисловие к упомянутому изданию д-ра Бертольда. Об отношении Кеплера к астрологии см. также стр. 101 настоящего тома.

³ Проповедник Давид Фабриций занимался астрономией, но поверхностно, просто как любитель; после смерти Тихо Браге он занял первое место среди астрономов-наблюдателей. Таково, во всяком случае, мнение Кеплера, с которым Фабриций находился в оживленной переписке. Кеплер получил от Фабриция много ценного материала для определения орбиты Марса. Давид Фабриций также один из первых применил подзорную трубу к астрономическим наблюдениям. Вероятно, ее привез ему из Голландии его сын Иоганн, бывший в 1610 г. студентом медицинского факультета в Лейдене. При помощи такой трубы Иоганн Фабриций открыл в отцовском доме солнечные пятна. После этого он под руководством отца обработал ряд наблюдений, опубликовав результаты их в сочинении, вышедшем в 1611 г. под названием „De Maculis in sole observatis“ („О солнечных пятнах“). (Подробнее см. т. 2, стр. 24).

личными астрономами в Германии, Богемии и Италии 30 сентября 1604 г. вскоре после заката Солнца на юго-западе. Так как в Фрисландии было в это время облачно, то Фабриций увидел ее впервые 3 октября. Ее можно было наблюдать в течение целого года до октября 1605 г. По свидетельству Фабриция, новая звезда превосходила своим блеском все звезды, даже Юпитер, а также новую звезду 1572 г., и мерцала, «как большая свеча, колеблемая ветром».

Яркость звезды убывала постепенно с каждым месяцем, так что «в 1605 г. она была такой же величины, как Колос Девы. В марте она была 3-й, в июле 4-й величины» и т. д. И Фабриций не сомневался в том, что новое светило находится за сферой планет. Уже одно сильное мерцание его показывает, по мнению Фабриция, что здесь перед наблюдателем неподвижная звезда. Поэтому же «следует отвергнуть нелепое и ошибочное мнение многочисленных ученых, будто наблюдавшееся явление имеет своим источником земные испарения».

Но зато для Фабриция безусловно очевидно, «что везде и всегда новые звезды и кометы были провозвестниками грядущих бедствий и перемен». В частности «теперешняя удивительная звезда является знамением великих и важных событий», потому что она превосходит своим блеском всех своих предшественниц и потому что вскоре после ее появления и почти в самом месте этого появления произошло великое соединение Юпитера и Сатурна. Фабриций старается затем показать, что эти, происходящие каждые 800 лет соединения имеют огромное значение для судеб человечества. Ко времени соединения 800-го года относится царствование Карла Великого, а великое соединение, имевшее место в начале нашего летоисчисления, совпадает с возникновением христианства и «великими переменами во многих царствах и странах». И теперешнее великое соединение (Фабриций называет его — собирающимся через восемьсот лет сеймом обоих верховных небесных курфюрстов) служит знамением предстоящих великих перемен. Значение этого соединения усиливается еще особенно благодаря появлению в то же самое время новой звезды. Под конец Фабриций выражает надежду, что предстоящие перемены принесут немецкому народу эру мира и справедливости. Поэтому он называет свое сочинение также «Вестником счастья».

После того как Кеплер придал коперниковой системе более четкую форму, необходимо было новое систематическое изложение всего фактического и теоретического материала астрономии. Эту задачу Кеплер выполнил в своей «*Epitome astronomiae Copernicanae*»¹. Это был первый учебник астрономии, в основу которого была положена система Коперника, почти через сто лет после установления ее.

После смерти Кеплера его сын издал в 1634 г. второе, преследовавшее педагогические цели сочинение великого астронома, в котором последний старался изобразить в поэтически-фантастической форме астрономические явления в том виде, в котором они должны казаться наблюдателю на Луне. Книга носит заглавие «Сон Кеплера

¹ Появилась в 1618 — 1621 гг. в Линце и Франкфурте; Opera omnia, VI, стр. 113 и сл.

или посмертное сочинение об астрономии на Луне» и в качестве «одного из замечательнейших произведений эпохи обновления астрономии» заслуживает больше внимания, чем ей было уделено до сих пор¹. Кеплер описывает в ней фантастическое путешествие на Луну—излюбленная тема многих авторов до него и после него. Мостом для демонов, сопровождающих путешественника, служит конус тени, соединяющей во время затмения Луну с Землей. Затем путешественник наблюдает с Луны небесные явления; при этом оказывается, что вместе с переменной точки наблюдения, получается новая астрономия, совершенно отличная от земной астрономии. С изложением астрономии на Луне связано описание характера поверхности и природы этого светила, которое Кеплер населяет фантастическими живыми существами.

Ценность этого сочинения, составленного за четверть века до выхода его в свет, увеличивается еще благодаря примечаниям, которые Кеплер постепенно прибавлял к нему. В этих примечаниях можно найти много указаний, бросающих яркий свет на тогдашнее состояние астрономии и других отраслей естествознания².

Издатель называет «Сон Кеплера» облеченным в прекраснейшую форму астрономическим откровением и даже песнью песней коперникова учения. В примечаниях, написанных Кеплером между 1620 и 1630 гг., мы впервые встречаемся с утверждением³, что отраженные Лунной лучи обладают, кроме светового, также и тепловым действием. Кеплер думал даже, что теплоту лунных лучей можно будет почувствовать в фокусе параболического зеркала, как теплое дуновение. Однако произведенные в новейшее время измерения показали, что излучаемая Лунной теплота не больше теплоты, излучаемой свечой на расстоянии 21 фута. Кеплер далее высказывал тот взгляд, что жизнь не ограничивается одной Землей. Подобно тому как люди и животные приспособились к свойствам окружающей их природы, так должны приспособиться к своей среде живые существа на Луне⁴.

1619 г., в который Кеплер опубликованием третьего закона планетных движений увенчал труд своей жизни, оказался неблагоприятным для дальнейшей судьбы его. В этом году на императорский престол вступил фанатический Фердинанд II, при котором преследования протестантов усилились. В 1626 г. Кеплер вынужден был оставить свое плохо оплачиваемое место в Линце. С этого момента для бывшего уже на склоне лет ученого началась беспокойная, полная забот жизнь. Ему задолжали жалование в сумме не менее 12 000 гульденов. Чтобы избавиться от докучного кредитора, этот долг перевели на Валленштейна, назначенного тогда герцогом Мекленбургским. Валленштейн, с своей стороны, пытался отвязаться от Кеплера, предложив ему профессию в Ростоке.

¹ *Somnium Kepleri* von Ludwig Kepler dem Sohne, Frankfurt 1634. А. Гюнтер выпустил немецкий перевод этой книги с примечаниями L. Günther, Leipzig, B. G. Teubner. 1893.

² Гюнтер перевел также эти примечания, снабдив их пояснениями L. Günther *Keplers Traum vom Monde*, Leipzig 1898.

³ Günther, *Keplers Traum*, стр. 129 и сл.

⁴ *Ibid.*, стр. 174.

После падения Валленштейна Кеплер отправился в Регенсбург, чтобы заявить там свои требования на имперском сейме. Но его ослабевший организм уже не был в состоянии справиться с перенесенными лишениями и волнениями. Вскоре после прибытия в Регенсбург Кеплер скончался (15 ноября 1630 г.). Перед воротами этого города ему отвели место последнего успокоения. Два года спустя над этим местом пронеслись ужасы тридцатилетней войны, и от могилы Кеплера не сохранилось никакого следа. В следовавшие за этим два столетия Германия — если исключить Лейбница — не произвела ни одного математика и астронома, который хоть отдаленно мог бы равняться с Кеплером. Выдающиеся иностранные исследователи XVIII в., члены Берлинской академии — Эйлер (Euler), Даламбер (d'Alembert) и др. — тоже не оказали никакого влияния на возрождение математических наук в Германии¹. Внезапная перемена наступает лишь вместе с Гауссом (Gauss), за которым на немецкой почве появился длинный ряд выдающихся математиков. Но этим вопросом мы еще займемся впоследствии.

Литературное наследие Кеплера испытало такую же своеобразную судьбу, как и наследие Галилея. Сын Кеплера сумел издать только «Somnium», а внук Кеплера продал все его бумаги астроному Гевелию. Обсерватория Гевелия была уничтожена пожаром, но, к счастью, удалось спасти рукописи Кеплера. Владельцами их были затем поочередно разные лица, пока, по совету Эйлера, Екатерина II не купила их за две тысячи рублей и передала Петербургской академии. Потом рукописи покоились никем не тревожимые в архивах Пулковской обсерватории, пока, наконец, Хр. Фиш из Штутгарта, земляк Кеплера, не извлек из забвения эти сокровища. После тридцати лет подготовительной работы он издал между 1858 и 1871 гг. в восьми томах весь доступный ему печатный и рукописный материал с введениями и объяснениями под названием «Opera omnia Ioannis Kepleri».

ЗАСЛУГИ КЕПЛЕРА В ОБЛАСТИ ОПТИКИ

Изложив биографию Кеплера и его работы в области астрономии, мы обратимся к его заслугам в оптике, одной из важнейших вспомогательных наук астрономии. Особенное значение имеет для астронома проблема преломления света, которой занимались с известным успехом уже древние ученые. Ведь на явлении преломления основывается астрономическая рефракция, точное определение которой крайне важно для наблюдательной астрономии, а также устройство подзорной трубы, в которое Кеплер тоже внес некоторые усовершенствования.

Результаты своих оптических исследований Кеплер изложил в двух трудах, из которых один, «Дополнения к Вителлону»,² содер-

¹ См. также Н. Hankel, Die Entwicklung der Mathematik. Tübingen 1869, стр. 26.

² Ad. Vitellionem Paralipomena, Франкфурт 1604. (Opera omnia, ed. Frisch, т. 2, стр. 119).

жит полное учение о свете, а другой, «Диоптрика»¹, посвящен главным образом преломлению света. Все, что сделано было в области оптики в древности Евклидом и в позднейшее время Альхазеном (Alhazen), далеко уступает капитальным исследованиям Кеплера, содержащимся в вышеназванных трудах. Уже при изложении астрономических взглядов Кеплера мы упоминали о том, что ему был известен закон об убывании интенсивности света вместе с расстоянием². Кеплер впервые изложил с полной ясностью этот важный закон³ в своем первом, посвященном императору Рудольфу, сочинении по оптике, «Дополнения к Вителлону»⁴, к содержанию которого мы теперь обратимся.

В первой главе говорится о природе света. Здесь замечательны положения, что свет может распространяться до бесконечности (Прор. III), далее, что свет распространяется мгновенно (Прор. V)⁵.

Основной закон фотометрии изложен (Прор. IX) в следующих выражениях⁶: «Даны две концентрические шаровые поверхности, в центре которых находится источник света; сила или плотность световых лучей на меньшей шаровой поверхности относится к силе лучей на большей шаровой поверхности обратно пропорционально площадям этих поверхностей».

Кеплер не умел еще объяснить явление цветов; он полагал, что они возникают из различных степеней прозрачности и плотности, придерживаясь, таким образом, ошибочного взгляда, будто преломление света вызывается тем, что более плотная среда обладает большим сопротивлением и соответственно большей способностью преломления. Между тем уже вскоре после появления книги Кеплера ему было указано на то, что менее плотное растительное масло преломляет свет значительно сильнее, чем вода⁷.

Кеплер, подобно Мавролику, занимался также вопросом о том, почему отверстия различной формы дают всегда круглое изображение Солнца. К правильному объяснению этого он пришел при по-

¹ *Johannis Kepleri, Dioptrice. Augsburg 1611 (Opera omnia, ed. Frisch, т. 2, стр. 515). Диоптрика Кеплера была недавно издана в немецком переводе Плена (Plehn) в оствальдовской серии классиков точного знания № 144. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften herausgegeben (Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1904).*

² См. стр. 113 настоящего тома.

³ *Ad. Vitellionem Paralip.*, гл. I, Прор. IX. (Edit. Frisch, т. 2, стр. 113.)

⁴ Полное название книги гласит: *Ad. Vitellionem Paralipomena, quibus Astronomiae pars optica traditur*, Франкфурт 1604. Edit. Frisch, т. 2, стр. 119—397.

Поляк Вителлон (Vitello) жил около 1270 г., т. е. был современником Роджера Бэкона. Свою оптику, являющуюся по существу пересказом учения Альхазена, Вителлон написал в Италии. Она неоднократно перепечатывалась; наиболее известно издание Риснера (Risner) (Базель 1572).

⁵ Последнее объясняется тем, что свет не представляет ничего материального (*quia lux materia caret*).

⁶ *Sicut se habent sphaericae superficies, quibus origo lucis pro centro est, amplior ad angustiore; ita se habet fortitudo seu densitas lucis radiorum in angustiori ad illam in laxiori sphaerica superfice.*

⁷ Гарриотом (Harriot). *Epist. ad Keplerum scriptae*; ed. Hanschii, стр. 233; 1606.

См. также *Wilde, Geschichte der Optik*, т. 1, стр. 190.

мощи следующего геометрического построения¹: «Я взял книгу, заменявшую мне светящееся тело; меж этой книгой и стеной я поместил доску с коленчатым отверстием. Затем я прикрепил к одному углу книги нить, протянул ее через отверстие и, двигая нитью по контуру этого отверстия, описал куском мела, находившимся на конце нити, фигуру на стене. Фигура эта была подобна отверстию. Я повторил эту операцию, прикрепляя по очереди нить ко всем углам книги и многим другим местам ее. Из всех нарисованных мною таким образом фигур получилась под конец одна фигура, имевшая форму книги».

В третьей главе, кроме изложения основ диоптрики, содержится анализ обстоятельств, от которых зависит наше суждение о расстоянии предметов от нас. Мы, — доказывает Кеплер, — бессознательно пользуемся расстоянием между обоими глазами и определяем местоположение предмета с помощью треугольника, основанием которого служит это расстояние между глазами, а боковыми сторонами — прямые, проведенные от каждого глаза к предмету².

В двух последних главах своей «Оптики» от 1604 г. Кеплер рассматривает преломление света, в особенности астрономическую рефракцию, для которой он составил таблицу, и теорию зрения. Но так как эти проблемы оптики рассматриваются вторично в кеплеровой «Диоптрике» от 1611 г., то мы ограничимся лишь этим позднейшим изложением.

Поводом заняться снова вопросами оптики послужило для Кеплера сделанное в 1609 г. в Голландии изобретение подзорной трубы. Результатом его исследований, производившихся со скромным экспериментальным аппаратом, и была «Диоптрика». Права Кеплера на звание основателя современной оптики основываются главным образом на этом произведении. Для оптики Кеплер был тем же, чем Галилей был для механики и Гильберт для учения об электричестве. К сожалению, эта сторона деятельности Кеплера оценивается слишком низко по сравнению с работами других исследователей. В то время как, например, Галилей, благодаря своим исследованиям по оптике, не обогатившим существенно этой науки, добился славы, не говоря уже о материальных выгодах, крайне ценные работы Кеплера, давшие новый импульс этой науке, нисколько не облегчили печальной участи великого немецкого исследователя³.

«Диоптрика»⁴ Кеплера недавно была переведена на немецкий язык⁵. Излагая важнейшие завоевания Кеплера в области учения

¹ Ad. Vitellionem, гл. 2. Opera omnia, т. 2, стр. 153. Обзор содержания этой книги, заключающей в себе оптические основы астрономии, дан Ф. Пленом в „Archiv für Optik“, т. 1, стр. 75 и сл., 1908.

² Wilde, Geschichte der Optik, т. 1, 188.

³ Poggendorf, Geschichte der Physik, стр. 167.

⁴ Johannis Kepleri, Dioptrice, 1611. Opera omnia, т. 2, стр. 515—567.

⁵ Johannis Kepleri, Dioptrik oder Schilderung des Folgen, die sich aus der unlängst gemachten Erfindung der Fernrohre für das Sehen und die sichtbaren Gegenstände ergeben, 1611. Übersetzt und herausgegeben von Ferdinand Plehn. Ostwalds Klassiker des exakten Wissenschaften, № 144, Leipzig, Verlag von W. Engelmann, 1904.

о преломлении света, оптических инструментов и теории зрения, мы будем руководствоваться этим произведением.

Если желать правильно оценить заслуги Кеплера в этом вопросе, то надо принять во внимание, что в то время были еще настолько незнакомы с проблемой преломления света, что считали постоянным отношение между углом падения и углом преломления. Далее господствующая теория зрения была совершенно ошибочна; что же касается теории оптических инструментов, то таковой вообще не существовало.

В предисловии к «Диоптрике» Кеплер рассказывает, что изобретение телескопа вызвало в нем желание свести принципы этого изобретения к геометрическим законам и сделать, таким образом, для диоптрики то, что Евклид сделал для катоптрики.

В основу своего исследования Кеплер положил следующее опытное обобщение: лучи, вступающие в более плотную среду, после преломления приближаются внутри тела к перпендикуляру, восстановленному в точке вхождения лучей к поверхности раздела. Преломление остается одинаковым, независимо от того, входят ли лучи из среды A в среду B или выходят из среды B в среду A .

При измерении преломления Кеплер поступал следующим образом: он определял длину тени от BE (см. EH на рис. 45), а затем помещал куб из исследуемого вещества около вертикальной пластинки BDE . Вследствие преломления света тень в этом случае становилась короче на отрезок GH , из величины которого можно было вычислить отношение между углом падения и углом преломления. При этом Кеплер сделал открытие, что проходящий сквозь стекло луч света, угол падения которого на границе между стеклом и воздухом больше 42° , не выходит более в воздух, а целиком отбрасывается от поверхности раздела согласно закону отражения².

Несмотря на многочисленные измерения углов падения и соответствующих им углов преломления, Кеплер не сумел найти закономерного отношения между обеими этими величинами. Сперва он установил, что способность преломления горного хрусталя и стекла приблизительно одинакова. Для углов падения между 0° и 30° отношение угла падения к углу преломления оказалось, по его измерениям, приблизительно постоянным. В случае же больших углов пропорциональность

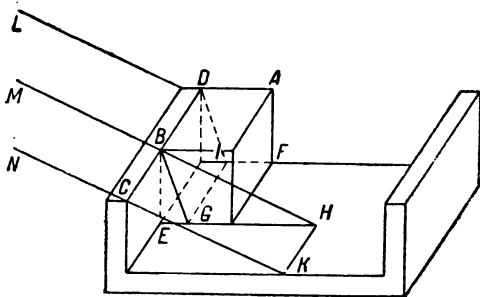


Рис. 45. Способ Кеплера для определения угла преломления¹.

¹ Kepler, Dioptrice, Рисунок к задаче IV (Edit. Frisch, т. 2, стр. 528).

² Dioptrice, Propositio XIII, (Edit. Frisch, т. 2, стр. 530). Nullus radius, qui intra corpus crystalli super unam ejus superficiem plus 42° inclinatur a vertice, poterit illam superficiem penetrare.

эта, признававшаяся прежде всеми исследователями, не имеет, по Кеплеру, места. «При угле падения в 30° , — читаем мы ¹, — угол преломления равен 10° . Если бы закон пропорциональности всегда сохранял свою силу, то при угле падения в 90° угол преломления равнялся бы 30° ; в действительности же, как показывает опыт, он равняется 48° »². Хотя уже Кеплер старался найти связь между законом преломления и какой-нибудь тригонометрической функцией, но это удалось лишь через несколько десятилетий Снеллиусу (Snellius) и Декарту. Снеллиус открыл (рис. 46), что длина пути луча (CA), переходящего из воздуха в воду и затем падающего на вертикальную стену BA, относится к длине пути того же луча (CB), по которому он прошел бы без преломления, как 3 : 2. Снеллиусу еще не была известна современная формулировка этого закона, которая гласит: синус угла

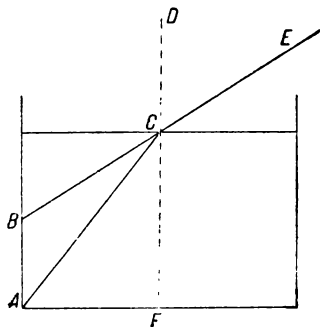


Рис. 46. Снеллиус открывает закон преломления.

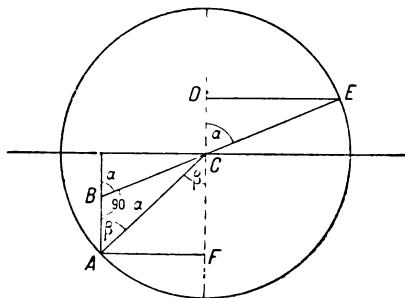


Рис. 47. Вывод закона преломления.

падения (DCE) находится в определенном соотношении с синусом угла преломления (ACF), равном в случае воздуха и воды 3 : 2³. Эта формулировка была введена в науку лишь французским философом и математиком Декартом⁴.

Хотя Кеплер не был знаком ни с законом преломления в его точной формулировке, ни с законом сопряженных фокусных расстояний, который, как мы увидим, установил только Галлей (Halley), он все же сумел развить правильную в основном теорию действия чечевиц и систем чечевиц. Он наблюдает сперва параллельные лучи, падаю-

¹ „Диоптрика“, теорема XII.

² Дополнение к прямому углу преломления в 42° .

³ Найденное Снеллиусом выражение этого закона легко привести к современной формулировке его. Станем исходить из рис. 47 и опишем вокруг точки C окружность радиусом CA (рис. 47). Тогда синус угла α (т. е. угла падения) равен DE , а синус угла β (т. е. угла преломления) равен AF ; далее, $AC:CB = \sin(180 - \alpha) : \sin \beta = \sin \alpha : \sin \beta = DE : AF$. Если отношение $AC:CB$ есть постоянная величина (в случае воздуха и воды оно равно 3 : 2), то и равное ему отношение $\sin \alpha : \sin \beta$ есть тоже величина постоянная.

⁴ Descartes, Диоптрика, гл. 2. Подробнее об участии Декарта в открытии закона преломления см. в работе Крамера (P. Kramer) („Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik“, вып. 4, 1882), а также Вилейтнера (H. Wieleitner), „Das Brechungsgesetz bei Descartes und Snellius“ („Natur und Kultur“, 13 год издания, стр. 403—406).



РЕНЕ ДЕКАРТ

1596—1650

щие на плоско-выпуклую стеклянную чечевицу, и, беря за коэффициент преломления $3:2$, находит, что они пересекаются между собою на расстоянии, равном приблизительно тройному радиусу кривизны. Для двояковыпуклой стеклянной чечевицы, обе поверхности которой имеют одинаковую кривизну, фокус, согласно другой теореме «Диоптрики»¹, совпадает приблизительно с центром кривизны. И в этом случае Кеплер исходил из допущения (достаточно точного для чечевиц с небольшим углом раствора), что у стекла угол падения относится к углу преломления как $3:2$, между тем как в действительности это отношение надо брать не для углов, а для синусов их. От Кеплера не ускользнуло то обстоятельство, что идущие от края чечевицы лучи не пересекаются в точности с центральными лучами² — явление, получившее название сферической аберрации. (Это явление наблюдается также у сферических зеркал, в связи с которыми оно упоминается уже у Роджера Бэкона.) Впрочем, уже Мавролик показал наличие сферической аберрации у стеклянного шара и объяснял ее преломлением света, так что заслуга Кеплера в этом отношении невелика. Однако ему принадлежит мысль придать чечевицам гиперболическую форму вместо сферической, чтобы освободиться таким образом от сферической аберрации. Вместе с современными ему анатомами Кеплер принимал, что задняя стенка хрусталика имеет гиперболическую форму и дает благодаря этому четкие изображения, между тем как от сферической аберрации изображение теряет в четкости.

Для вывода правил о действии чечевиц и комбинации чечевиц Кеплер пользуется большей частью двумя конусами лучей, общим основанием которых является чечевица, вершины же совпадают с какой-нибудь точкой предмета и соответствующей точкой изображения его. На рис. 48 даны три таких пучка лучей, как называет Кеплер каждую пару конусов. Так как точке E предмета соответствует точка F изображения, а точке C — точка D , то сама собою получается теорема, что чечевица дает обратные изображения. Этот способ построения был новшеством со стороны Кеплера. Его предшественники в области оптики рассматривали всегда только отдельные лучи, и только у Кеплера мы встречаем в первый раз в качестве способа построения пучки лучей, состоящие из бесчисленных лучей. Благодаря этому он был в состоянии определить положение и величину изображений гораздо правильнее, чем его предшественники. Кеплер открыл, например, что двояковыпуклая чечевица от предмета, находящегося от нее на расстоянии, равном двум

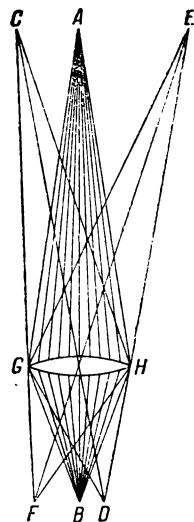


Рис. 48. Кеплер доказывает, что двояковыпуклая чечевица дает обратные изображения.

¹ Теорема XXXIX.

² См. также Wilde, *Geschichte der Optik*, Berlin 1833, т. 1, стр. 201.

фокусным расстояниям, дает на противоположной стороне изображение той же величины и на том же расстоянии.

Заслуги Кеплера велики также и в области теории зрения. Он указал, что именно сетчатка воспринимает произведенное хрусталиком изображение, и на этом основании полагал, что после удаления непрозрачных внешних оболочек глаза можно будет увидеть на сетчатке обратное уменьшенное изображение предмета; впоследствии это предположение было подтверждено на опыте Шейнером¹. Так как Кеплер после многочисленных неудачных попыток своих предшественников первый дал правильную теорию зрения, то мы остановимся еще несколько на ней, руководясь при изложении ее как первым его сочинением по оптике², так и «Диоптрикой»³. Предшественниками Кеплера в этой области были Мавролик и Порта. Оба принимали, что от каждой точки светящегося предмета исходит один луч, проникающий через зрачок в глаз. Согласно Порте, изображение получается на хрусталике, а согласно Мавролику — позади него. Кеплер, наоборот, правильно предполагал, что все точки предмета дают начало конусам света, общим основанием которых является зрачок. Все эти конусы лучей преломляются (рис. 48) хрусталиком глаза таким образом, что образуют за ним новые конусы, вершины которых лежат на сетчатке. Последняя соответствует экрану камер-обскуры и «в виде вогнутой дуги натянута со всех сторон вокруг хрусталика».

Очень правильны и близки к современным теориям соображения Кеплера о функции сетчатки. Мы приведем здесь с некоторыми сокращениями его подлинные слова: «Зрение, — говорит он, — это чувствующая деятельность раздраженной и наполненной зрительным духом сетчатки, или, выражая это иначе: видеть — значит ощущать раздражение сетчатки. Сетчатка раскрашена цветными лучами видимого мира». Но изменения сетчатки, согласно Кеплеру, не носят только поверхностного характера; они материального порядка, ибо в сетчатке находится необычайно тонкое вещество, «зрительный дух». От действия на него собранного хрусталиком света он разлагается, подобно тому как, например, изменяются от действия зажигательных стекол горючие вещества. Получившееся таким образом изображение сохраняется некоторое время. В качестве доказательства Кеплер ссылается на остаточные изображения, появляющиеся в глазу, когда «отворачиваются от яркого света». Предположение это нашло впоследствии подтверждение в открытии химически изменяющегося зрительного пурпура⁴.

¹ О сходстве глаза с камер-обскурой впервые упоминается у Леонардо да-Винчи. Порта, которому мы обязаны первым на Западе описанием камер-обскуры, рассматривал заднюю стенку глаза как вогнутое зеркало, от которого свет направляется к середине глаза, где он и воспринимается.

Однако Араузи (Arauzi) еще до Шейнера доказал (в 1587 г.), что хрусталик дает изображение на сетчатке. В задней стенке глаза животного был сделан разрез. В этом разрезе получали изображение свечи, помещенной перед глазом. См. E. Per g e n s, Geschichtliches über das Netzhautbildchen und den Optikus Eintritt. Klinisches Monatsblatt für Augenheilkunde, т. 42, I, стр. 137—143.

² In Vitellionem Paralipomena, гл. V.

³ Ostwalds Klassiker № 144 (Dioptrik), стр. 26—34.

⁴ Об этом см. в дальнейшем.

Кеплер указывал вполне правильно, что отображение предмета на сетчатке не составляет еще всего зрительного акта и что изображение переносится «духовным потоком» в мозг до самого сидалища зрительной способности.

Что мы видим только одно изображение предмета, это, по Кеплеру¹, зависит от того, что обе сетчатки раздражаются одинаковым образом. Если бы они раздражались различным образом, то мы видели бы два изображения предмета. Кеплер занимался также вопросом, почему мы видим предметы в прямом виде, в то время как на сетчатке получаются обратные изображения их; но он не смог дать на него удовлетворительного ответа. «Мы учимся различать верх и низ предметов, — говорит он, — на основании движения наших глаз, ибо мы устремляем их вверх, когда хотим видеть предмет, расположенный высоко, и устремляем их вниз, когда хотим видеть предмет, находящийся низко»².

Далее, Кеплер занимался объяснением явлений близорукости и дальнорукости. Уже древние врачи касались вопросов о близорукости. Однако они объясняли это недомогание — для борьбы с которым они не имели никаких средств — слабостью выходящего из глаза истечения³. Столь же неизвестной, как причина близорукости, оставалась для древних и сущность процесса зрения. В случае близорукого глаза, как правильно показывает Кеплер, исходящие от каждой точки предмета лучи пересекаются уже между хрусталиком и сетчаткой, внутри стекловидного тела. За этой точкой пересечения они вновь расширяются и дают поэтому на сетчатке вместо световых точек световые кружки. Аналогичные явления наблюдаются у дальнорукого глаза: он не преломляет достаточно сильно лучей, так что вершины конусов лучей лежат за сетчаткой⁴. Так как с изменением расстояния предметов от хрусталика изменяется и расстояние изображения, то оставалось еще объяснить, каким образом нормальный глаз в состоянии воспринимать с одинаковой отчетливостью изображения далеких и близких предметов. Кеплер полагал, что этот процесс аккомодации происходит благодаря смещению хрусталика или сетчатки⁵, между тем как Декарт склонялся к правильному взгляду, что вследствие производимого на хрусталик переменного давления он более или менее искривляется⁶. Так как сетчатка, рассуждает Кеплер, не может, находясь в одном и том же положении, получать отчетливые изображения от далеких и близких предметов и так как фактически у людей, видящих ясно вдали и вблизи, получаются одинаково отчетливые изображения, то сетчатка должна перемещаться по отношению к хрусталику. Весьма вероятно, говорит Кеплер, что молодой, здо-

¹ „Диоптрика“, теорема 62.

² Wilde, Geschichte der Optik, т. 1, стр. 199.

³ Hirschberg, Die Optik der alten Griechen, „Zeitschr. f. Psychologie u. Physiol. d. Sinnesorgane“, т. 16, стр. 350. См. также т. 1 настоящего сочинения.

⁴ Ad. Vitellionem Paralipomena. Франкфурт 1604, гл. V. Propos. XXVIII (Edit. Frisch., т. 2, 255).

⁵ Kepler, Dioptrice, LXIV, Propositio (Edit. Frisch., т. 2, 540).

⁶ См. Wilde, Geschichte der Optik, т. 1, стр. 254.

ровый глаз, способный двигать заметно зрачком, обладает также за хрусталиком способностью изменять глазное яблоко таким образом, что дно глаза приближается к хрусталику или удаляется от него, в зависимости от расстояния предметов. Может быть, источник этого движения находится в той оболочке, которая удерживает хрусталик в хрустальной жидкости и от которой отходят особые черные лучи, называемые ресничными отростками. Для того чтобы предполагавшиеся Кеплером изменения формы глаза были возможны, он допускал, что внутренность его жидка. Он рассказывает, что в течение нескольких лет он занимался почти исключительно проблемой процесса зрения. Но зато ему и принадлежит честь быть основателем физиологической оптики. На заслуги Кеплера в теории оптических инструментов мы уже указали выше¹.

Декарт и Кеплер придерживались того взгляда, что свет не требует времени для своего распространения *Декарт при этом основывался не только на явлениях, наблюдаемых на Земле, но и на фактах астрономического порядка. Но так как он привлек к рассмотрению только затмения Луны, от которой свет доходит до Земли в одну секунду, то он мог получить лишь отрицательный результат².

ПРЕЕМНИКИ КЕПЛЕРА В ОБЛАСТИ АСТРОНОМИИ

Среди ученых, с успехом продолжавших работу Кеплера в области астрономии, следует назвать прежде всего Гевелия. Иоганн Гевелий³ родился в 1611 г. в Данциге. Его биография во многих отношениях напоминает биографию Герике. Как и последний, Гевелий происходил из старинной зажиточной семьи. Он изучал в Лейдене юриспруденцию, много путешествовал, завязав во время этих путешествий отношения с выдающимися иностранцами, и, вернувшись в Данциг, занимал должность ратмана. Один из его данцигских учителей сумел внушить ему пристрастие к астрономии, которой Гевелий занимался в качестве любителя в свободные от своей профессиональной деятельности часы. Гевелий поклялся своему умирающему учителю сохранить верность любимой обоими науке. В 1641 г. он построил обсерваторию, причем не только изготовил сам все инструменты, которыми он пользовался (он даже сам шлифовал себе чечевицы), но следил также за изготовлением медных досок для своих рисунков и за печатанием последних.

При производстве измерений Гевелий еще не пользовался подзорной трубой, хотя остальные астрономы уже снабдили свои аппараты новым инструментом; с каким-то своеобразным упрямством он пользовался только диоптрами, приспособленными исключительно для невооруженного глаза. Несмотря на это, он достиг в своих работах большой точности. Галлей, посетивший Гевелия по поручению Королевского общества, должен был даже признать, что полученные

¹ См. стр. 22 настоящего тома.

² См. Ostwalds Klassiker d. exakt. Wiss., № 20, стр. 12 и 13.

³ Hevelius собственно даже Hewelke.

им при помощи телескопа измерения совпадали с измерениями Гевелия с точностью до одной дуговой минуты, отклоняясь от них часто лишь на несколько секунд.

Величайшая заслуга Гевелия заключалась в том, что он изготовил первые точные карты Луны и благодаря этому основал новую отрасль астрономической науки, селенографию. Появившаяся в 1647 г. книга Гевелия о Луне¹ была результатом многолетнего, потребовав-



Рис. 49. Карта Луны, изготовленная Гевелием.

шего большого напряжения труда. Она справедливо была названа одним из достойных памятников упорной научной работы². К сожалению, изготовленные Гевелием для этой книги медные доски погибли по небрежности его наследников. Темные пятна на Луне (рис. 49) Гевелий считал еще водными бассейнами; поэтому он назвал их *Mare frigidis* (море холода), *Oceanus procellarum* (океан

¹ *Selenographia seu descriptio lunae et macularum ejusdem.*

² Wolf, *Geschichte der Astronomie*, стр. 396.

бурь) и т. д. Для обозначения горных цепей и гор на Луне он пользовался географическими названиями. Поэтому на Луне нам встречаются Везувий, Аппенины, Карпаты и т. д. К большому ущербу для науки обсерватория Гевелия была истреблена в 1679 г. пожаром, уничтожившим также множество книг и его заметок.

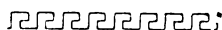
Гевелий также занимался усердно исследованием комет. Ему удалось за период времени 1652—1683 гг. наблюдать девять довольно больших комет. Сделанные им за это время, а также другими учеными рисунки 400 комет он опубликовал в своей «Кометографии» (1686 г.).

Гевелий умер в 1687 г. Он вел обширную переписку с крупнейшими учеными своего времени. Собранных Гевелием писем хватило бы на много фолиантов, но они были проданы впоследствии его наследниками за ничтожную сумму¹. История науки должна осудить такое поведение, чтобы это явилось предупреждением для позднейших поколений и напоминанием государству об его обязанности по отношению к науке там, где частные лица не понимают своего долга.

Следовавшее непосредственно за Кеплером поколение ученых создало также тесно связанную с физикой и астрономией всеобщую географию. Основание ей было положено Бернгардом Варениусом (Varenius) в вышедшем в 1650 г. произведении «Geographia generalis»². Огромное превосходство Варениуса над его предшественниками заключалось главным образом в том, что он не ограничивался одним только описанием, а прежде всего пользовался сравнительным методом. Поэтому произведение его по справедливости ставят рядом с появившимся двести лет спустя «Космосом» Александра Гумбольдта.

¹ Подробнее о вероятной судьбе этих писем см. у Поггендорфа (Poggendorff), *Geschichte der Physik*, стр. 448.

² Английское издание под редакцией Ньютона вышло в Кембридже в 1681 г.



VI

РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В СВЯЗИ С УСПЕХАМИ МАТЕМАТИКИ

Великие исследователи, виновники возрождения естествознания, обязаны своими открытиями в значительной степени применению к физическим и астрономическим проблемам методов математики. Поэтому дальнейшие успехи на пути, проложенном Галилеем и Кеплером, были связаны не только с усовершенствованием и распространением индуктивного метода, но и с развитием математики. В последней в эту эпоху были получены при содействии самых выдающихся естествоиспытателей крупные результаты, а в последовавший затем период эти достижения были продолжены Ньютоном, Лейбницем, Декартом и Гюйгенсом.

УСПЕХИ АРИФМЕТИКИ

С увеличением степени точности наблюдений определение их результатов стало отнимать все больше времени и усилий, благодаря чему возникла потребность в замене непосредственных умножения и деления больших чисел каким-нибудь более простым вычислительным методом. Такое упрощение принесло с собой открытие логарифмов, благодаря которому удалось свести эти операции к гораздо более легким и быстро выполнимым действиям — к сложению и вычитанию. В 1620 г. Кеплер впервые воспользовался при составлении астрономических таблиц логарифмами, удлиняющими, по выражению Лапласа, жизнь астрономов, позволяя проделывать в несколько часов работу, на которую раньше требовались целые месяцы.

Большие заслуги в разработке арифметических методов, равно важных как для человечества, так и для успешного развития науки, выпали на долю голландца Симона Стевина¹, с биографией и физическими исследованиями которого мы познакомимся ниже. Стевину мы обязаны первым систематическим изложением правил действий над десятичными дробями. Он не преминул при этом указать на значение десятичной системы исчисления и в связи с этим требовал от правительства введения десятичной системы денег, мер длины и весов. Это пожелание Стевина было осуществлено лишь двумя столетиями позднее деятелями французской революции.

¹ См. *ero „Pratique d'Arithmétique“, Leyden 1585.*

Обозначение десятичных дробей, принятое Стевином, еще довольно сложно. Он именно приписывал к каждой цифре указатель, соответствующий месту цифры в десятичном разложении дроби. Так, например, дробь 0,3469 у него писалась так: 3① 4② 6③ ④. Но почти одновременно с системой Стевина был введен, по предложению Виеты (Vieta), и современный способ обозначения, с употреблением запятой. С исчислением процентов были знакомы еще в древности. У индусов и итальянских купцов средневековья находим также исчисления¹ первых таблиц для вычисления простых и сложных процентов.

Сильнейшее влияние на дальнейшие успехи математики, а также и на применение математических методов в области естествознания оказало также развитие алгебраической символики и важнейшей отрасли алгебры — учения об уравнениях.

Мы знаем из предыдущего изложения, что в древнее время не существовало специальных математических обозначений и все вычисления и действия выражались при помощи слов. Но вскоре начали появляться технические термины и сокращения, а под конец и особые математические символы. Так, в конце XV столетия, когда в Италии вместо знаков плюса и минуса пользовались еще сокращениями *p* и *m*, появились символы $+$ и $-$ ².

Знак равенства ($=$) еще более позднего происхождения. Мы встречаем его лишь через полстолетия. Его изобретатель³ ввел этот знак на том основании, что, по его словам, нет ничего более равного, чем два параллельных отрезка. Скобки, знаки корня и бесконечности появились еще позднее.

Важнейший шаг вперед на пути преобразования алгебры в математический метод, основывающийся на международной системе как бы стенографических символов, был сделан французом Виетой, введшим общие буквенные обозначения⁴. У него же мы находим первые зачатки грядущего объединения алгебры и геометрии; он именно учил геометрически изображать корни алгебраических уравнений. Способ представления числа π при помощи бесконечного ряда также принадлежит Виете. Этим методом он вычислил π с точностью до 10 десятичных знаков.

Франциск Виета родился в 1540 г. в Пуату и умер в Париже в 1603 г. При Генрихе IV он состоял советником парламента, а за-

¹ В его „Pratique d'Arithmétique“.

² Впервые они встречаются в учебнике арифметики Иоганна Видманна (Johannes Widmann) из Эгера, вышедшем в 1489 г. в Лейпциге. Упомянем также о сочинениях по арифметике Адама Ризе (Adam Riese), заслуги которого в вычислительном искусстве вошли просто в поговорку. Книги Адама Ризе лишены какого-либо научного значения, но они были весьма удобны для практического употребления и приобрели очень широкое распространение. Эти книги почти не выходят за пределы основных арифметических действий, прогрессий, действий над дробями и тройного правила. Адам Ризе (1492—1559) был горным чиновником в Аннаберге и одновременно являлся руководителем школы, в которой он сам преподавал преимущественно арифметику.

³ Cantor, Geschichte der Mathematik, т. 2, стр. 479.

⁴ В зародыше это можно найти у Аристотеля.

тем был членом тайного королевского совета. Виета считается самым выдающимся французским математиком XVI столетия.

Еще задолго до Виеты в арифметике были известны теоремы общего характера. Но высказать какое-либо правило, имеющее силу для всей совокупности чисел, можно было только словами. Следующий пример пояснит сказанное. Выражения вида $3 \cdot (4 + 2) = 3 \cdot 6 = 3 \cdot 4 + 3 \cdot 2 = 12 + 6 = 18$ можно составить для какого угодно большого числа отдельных конкретных случаев. Из этого была выведена общая теорема, согласно которой произведение какой-либо суммы и некоторого числа можно получить, составив сперва сумму и умножив затем результат на второй множитель, или умножив сперва каждое слагаемое на второй множитель и потом сложив получившиеся произведения. Это многословное правило в алгебре, пользующейся буквенными величинами и особенно вошедшими вскоре после Виеты в употребление скобками, выражается формулой, понятной без всяких пояснений и обнимающей все возможные частные случаи:

$$a(b + c) = a \cdot b + a \cdot c.$$

Виета пытался также связать между собою тригонометрию и алгебру. Он учил, как преобразовывать и устанавливать разнообразные отношения между тригонометрическими функциями при помощи методов алгебры. Он создал таким образом ту отрасль тригонометрии, которую часто называют гониометрией. Так, он вывел формулы для $\sin na$ и $\cos na$ и показал, например, что $\sin 3a = \sin a \cdot \cos 2a + \cos a \cdot \sin 2a$ ¹.

УЧЕНИЕ ОБ УРАВНЕНИЯХ

Следующие крупные успехи алгебры были достигнуты в той части ее, которая имеет своим предметом алгебраические уравнения. Виета держался еще того мнения, что только положительные корни являются действительными решениями уравнения. И только математики XVII столетия первые нашли, что и отрицательные корни являются действительными решениями и что вообще всякое уравнение имеет столько корней, сколько единиц в его степени.

В 1629 г. голландец Жирар (Girard) в своем сочинении «Новые открытия в алгебре» вывел из найденной им зависимости между корнями уравнения и его коэффициентами то заключение, что всякое уравнение n -й степени имеет n корней². Указанную зависимость он получил, показав, что уравнение n -й степени может быть получено как произведение n алгебраических множителей первой степени. Математически это положение выражается так:

$$X_n = (x - a_1) (x - a_2) (x - a_3) \dots (x - a_n),$$

где X_n есть многочлен, стоящий в левой части уравнения, а $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ — корни последнего.

¹ Cantor, Geschichte der Mathematik, т. 2, стр. 581.

² Подробнее см. Cantor, т. 2, стр. 718.

После того как Жираром был найден закон образования уравнений, оправданным также оказалось существование мнимых корней, значение и смысл которых были непонятны раньше. Когда Жирар находит, что некоторое определенное уравнение 4-й степени обладает, наряду с двумя вещественными корнями, еще двумя мнимыми, то появление последних вовсе не смущает его, и он объясняет его тем, что именно эти корни удовлетворяют закону образования уравнения.

В первую половину XVII столетия начали производиться действия над отрицательными числами и нулем. Жирар, наряду с которым следует упомянуть также и Декарта, и здесь явился пролагающим первые пути пионером. Жирар замечает, что отрицательные решения могут быть иллюстрированы геометрически в виде движения вспять¹. Эта идея была использована Декартом при решении ряда задач. Вместе с Жираром он толковал геометрически отрицательные корни как отрезки, направление которых прямо противоположно тому, которое присвоено отрезкам, изображающим положительные корни².

К рассмотрению уравнений третьей степени привела еще древних математиков задача удвоения куба (см. том I). Архимед также натолкнулся на кубическое уравнение, пытаясь найти такое пересечение шара плоскостью, при котором объемы сегментов шара находятся в определенном отношении друг к другу. Под влиянием этого арабы стали заниматься уравнениями третьей степени, но также нашли только геометрические способы их решения. Алгебраическое решение этих уравнений стало поэтому одной из важнейших задач математики нового времени. Найти решение этой задачи удалось в начале XVI в.³, когда было открыто правило для нахождения корней уравнения $x^3 + ax = b$. Это решение стало известным благодаря Кардано (формула Кардано), который, однако, нашел его не сам, а заимствовал у Тартальи. Было установлено, что уравнение третьей степени имеет три корня и что сумма последних равна коэффициенту при x^2 . При этих исследованиях пришлось принимать во внимание также и корни из отрицательных величин и оперировать с этими «мнимыми» величинами как с алгебраическими количествами.

Уравнениями 4-й степени занимались раньше всех арабские математики. Решение их они нашли при помощи геометрических построений⁴. Алгебраическое же решение уравнений 4-й степени выпало на долю одного ученика Кардано⁵, который привел уравнение такого вида к кубическому.

Успехи, достигнутые в XVI столетии в этой области, послужили причиной того, что в течение XVII и XVIII вв. ученые ревностно пытались решить уравнения 5-й и 6-й степени. Но все их усилия оказались тщетными. В результате предпринятых исследований было найдено, что алгебраическое решение этих уравнений невозможно⁶.

¹ Suter, Geschichte d. mathem. Wissenschaften, т. 2, стр. 19.

² O. Stolz, Grössen und Zahlen, Leipzig 1891, стр. 11.

³ Сципионе дел Ферро, 1508.

⁴ Tropfke, т. 1, стр. 285.

⁵ Луиджи Феррари, 1522—1565.

⁶ Гауссом в 1799 г. и Абелем в 1824 г.

ОСНОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

Учение об уравнениях приобрело совершенно неожиданное значение, когда Декарту удалось установить самую тесную связь между этой отраслью алгебры и геометрией и тем самым заложить основы аналитической геометрии на плоскости. Декарт показал, что всякая кривая, возникающая по определенному закону, может быть определена уравнением, исходя из которого, можно при помощи вычислений вывести все ее свойства. При этом под кривой, возникающей по определенному закону, он понимал геометрическое место всех точек, удовлетворяющих некоторому определенному условию. Это условие Декарт выражает неопределенным уравнением между двумя зависимыми друг от друга переменными x и y , которые геометрически представляются в виде линий. Основную идею покоящегося на этих предпосылках метода¹ Декарт излагает в следующих словах: «Если мы будем придавать линии y по порядку бесконечное количество различных значений, то мы получим также бесконечное количество различных значений для линии x ». Но, таким образом, прибавляет Декарт, мы определяем бесконечное количество точек, удовлетворяющих заданному уравнению. Если соединить все эти точки, то получится кривая, служащая геометрическим образом нашего уравнения.

У Декарта встречаются лишь намеки на возможность построения аналитической геометрии в пространстве. Так, он указывает, что кривую в трехмерном пространстве можно вполне определить, если из каждой ее точки опустить два перпендикуляра на две пересекающиеся под прямым углом плоскости. Основания перпендикуляров образуют на указанных плоскостях плоские кривые, которые и дают нам исчерпывающее представление о форме этой пространственной кривой.

Хотя Декарт и примыкает непосредственно к Виете, который уже известен нам как творец алгебраической геометрии, но на открытие основных идей своего метода его натолкнуло изучение древних математиков. В введении к своей «Геометрии» Декарт рассказывает, что в свое время он занимался одной задачей Паппа (Pappus), полное решение которой древние не сумели найти. Декарт усмотрел причину этого неуспеха в том, что сама задача была неопределенной, т. е. что число наличных уравнений в ней было меньше числа неизвестных. Найти решение задачи, как убедился Декарт, возможно было лишь в том случае, если придавали лишней или лишним неизвестным какие-либо определенные значения — тогда определенные значения приобретали и другая неизвестная или другие неизвестные. При этом, правда, получалось столько различных решений, сколько различных значений придавалось этим лишним неизвестным, и в результате вместо одной точки получался ряд точек или же линия, все точки которой давали решение поставленной задачи. Великое значение метода Декарта заключалось в том, что отныне сделалось возможным исследование геометрических образов с помощью алгебраически-вычислительных методов и все геометрические задачи решались в общем виде,

¹ Опубликован в „Геометрии“ Декарта в 1634 г. Немецкий перевод этого произведения дан Шлезингером, Берлин 1894 г.

в то время как в древности приходилось рассматривать лишь отдельные частные случаи их.

Вместе с тем благодаря аналитическому методу стали доступны и новые проблемы, чрезвычайно важные для дальнейшего развития математики как прикладной, вспомогательной для естествознания дисциплины. Одной из первых таких задач, которой занимался еще Декарт и которая особенно содействовала развитию исчисления бесконечно малых, была задача о касательных. Первоначально Декарт подошел к ней с той стороны, что пытался провести в данной точке кривой нормаль, т. е. линию, перпендикулярную к касательной в той же точке. Но уже год спустя после выхода в свет «Геометрии» мы находим Декарта, занятым построением касательной к циклоиде той кривой, на которую первый обратил свое внимание Галилей¹. Метод Декарта, представлявший неопределенные уравнения в виде геометрических линий, послужил к открытию множества новых кривых. Мы упомянем из них только открытую Декартом логарифмическую спираль и — также найденную им и в честь его названную — кривую «декартов лист», уравнение которой таково:

$$x^3 + y^3 = axy.$$

Геометрия на плоскости была особенно глубоко разработана Ферма (Fermat), а геометрия в пространстве — столетием позже — французским ученым Клеро (Clairaut) (1713—1765).

Заслуги Ферма в деле дальнейшего развития математики как вспомогательной для естественных наук дисциплины столь велики, что мы должны несколько подробнее остановиться на этом ученом и его достижениях.

Пьер Ферма родился поблизости от Тулузы в 1601 г. и умер там же в 1665 г. Мы попытаемся охарактеризовать здесь Ферма, признаваемого некоторыми авторами самым выдающимся французским математиком², как сооснователя аналитической геометрии, проблемами которой он занимался еще за 10 лет до появления труда Декарта. Как и Декарт, Ферма пришел к своим открытиям, изучая работы древних математиков. Именно он пытался восстановить одно утраченное в целом и благодаря Паппу известное в отдельных отрывках сочинение Евклида, так называемые «Поризмы»³.

Основоположное для аналитической геометрии сочинение Ферма отличается от «Геометрии» Декарта своей большей ясностью и исчерпывающей трактовкой предмета. У Декарта нигде нет столь ясного изложения основной, руководящей идеи, какое дает уже в самом начале своей работы Ферма. Уравнения, говорит Ферма, можно удобно представлять геометрически, проведя два отрезка под определенным — лучше всего прямым — углом друг к другу и взяв их пе-

¹ Cantor, Geschichte der Mathematik, т. 2, стр. 780.

² Cantor, т. 2, стр. 605.

³ О трех книгах евклидовых „Поризмов“ см. Cantor, т. 1, стр. 239 и сл. Быть может, выражение это происходит от слова „πειρω“ = исследую, но во всяком случае под ним понимали положение, выдвигающее и заключающее в себе какую-нибудь новую проблему (Cantor, т. 1, стр. 291).

пересечение за точку отсчета. Эту исходную нулевую точку Ферма обозначает буквой N . Один из исходящих из точки N отрезков он обозначает буквой A (наше x), а перпендикулярный к A отрезок — буквой E (наше y). Для обозначения постоянных величин (a , b , c и т. д.) у него служат буквы B , D , G . У Ферма мы впервые встречаем уравнение прямой, проходящей через начало координат. Оно имеет у него такой вид: $D \cdot A = B \cdot E$ (у нас $ax = by$). Уравнение параболы Ферма писал так: $A^2 = D \cdot E$ (у нас $x^2 = ay$), круга: $B^2 - A^2 = E^2$ (теперь $r^2 - x^2 = y^2$) и т. д.¹

ЗАДАЧИ НА ОТЫСКАНИЕ НАИБОЛЬШИХ И НАИМЕНЬШИХ ЗНАЧЕНИЙ

Ферма один из первых открыл общий способ решения задач на отыскание наибольших и наименьших значений. Впервые мы встречаемся с одной из таких задач, облеченной при этом в геометрическую форму, у Евклида². Требовалось найти, если придерживаться современной терминологии, наибольшее значение выражения $x \cdot (a - x)$.

Ответ гласил, что это достигается при $x = \frac{a}{2}$. Древним математикам

было также известно, что среди всех плоских фигур с данным периметром наибольшей площадью обладает круг и что среди всех тел с данной поверхностью наибольшим объемом обладает шар.

Среди математиков нового времени задачами на *maxima* и *minima*, играющими такую важную и исключительно важную роль в физике, впервые занимались (исключительно отдельные случайные попытки у разных авторов³) Кеплер, Кавальери (Cavalieri) и Ферма. Заслуги Кеплера и Кавальери в деле основания современной математики мы рассмотрим в дальнейшем изложении, а пока остановимся на Ферма.

Метод, который употреблял Ферма, — тот самый, которым и ныне еще пользуются при элементарном изложении вопроса⁴. Он именно заменяет неизвестную величину x выражением $x + \Delta$, где Δ (сам Ферма пользовался буквой E) рассматривается как величина, лишь незначительно отличная от нуля. Затем после некоторых

¹ Свой аналитико-геометрический метод Ферма изложил в сочинении „*Ad locos planos et solidos isagoge*“. Вопрос о его приоритете по отношению к Декарту решить трудно, так как Ферма большей частью ограничивался тем, что письменно сообщал о результатах своих исследований проживавшим в Париже математикам (в особенности Мерсенну). Сочинения Ферма и значительная часть его писем были опубликованы лишь много лет спустя после его смерти. *Fermat, Opera, Tolosae 1679*.

² „Начала“, кн. 6, стр. 27.

³ У Региомонтана, например, мы находим задачу, в которой требуется определить, с какого места земной поверхности кажется наибольшим вертикальный шест длиной в 10 фут., заканчивающийся на 4 фут. над землей. Однако решения Региомонтан не дает. В XVI в. (у Тарталья) мы встречаем следующую задачу: разделить данное число на две части так, чтобы произведение обеих частей его, умноженное на их разность, было наибольшим.

⁴ *Methodus ad disquirendum maximum et minimum* (Fermat, Opera varia, стр. 63 и сл.) Ферма применял свой метод еще в 1629 г., т. е. задолго до появления труда Декарта.

преобразований данного выражения Δ приравнивается нулю, и находится искомое значение для x .

Мы поясним этот способ одним собственным примером Ферма, изменив в нем только обозначения. При каком значении x будет наибольшим произведение $x^2(a-x)$? Подстановка вместо x выражения $x + \Delta$ дает нам:

$$x^2(a-x) = (x + \Delta)^2 \cdot (a - x - \Delta).$$

Произведя соответствующие вычисления и преобразования, получим:

$$2ax - 3x^2 + \Delta(a - 3x - \Delta) = 0.$$

Положив далее $\Delta = 0$, мы найдем, что

$$2ax - 3x^2 = 0,$$

а отсюда определим x :

$$x = \frac{2}{3}a.$$

Метод, открытый Ферма, страдал тем недостатком, что он не указывал признака, по которому можно было бы судить, будет ли найденное значение нашего выражения наибольшим или наименьшим. Общее решение этого последнего вопроса удалось найти лишь при помощи изобретенного Лейбницем дифференциального исчисления.

Стремление применить открытый им метод к наукам о природе привело Ферма к его принципу наименьшего действия¹. Согласно

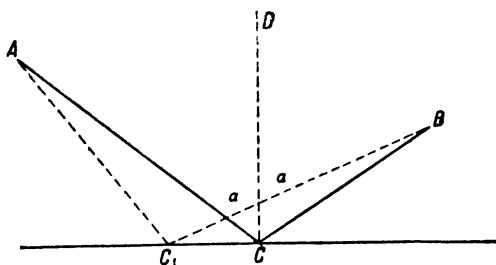


Рис. 50. Вывод закона отражения света из принципа наименьшего действия (в данном случае кратчайшего пути светового луча).

этому принципу природа, эта «великая труженица, не нуждающаяся в наших инструментах и машинах», заставляет все явления совершаться с минимальной затратой. Мысль эта не была чужда и древним. Так, например, они объяснили форму пчелиных ячеек стремлением природы расходовать как можно меньше вещества². Подобную же мысль, в связи с законом отражения света, высказывал и

александрийский физик Герон. Действительно, он указал на то, что ломаная линия, по которой свет распространяется от точки A до точки B , будет кратчайшей в том случае, когда точка отражения C расположена так, что угол падения ACD равен углу отражения BCD , ибо всякая другая ломаная, соединяющая точки A и B с отражающей поверхностью, например ломаная ABC (рис. 50), будет длиннее.

¹ De la moindre action.

² Эта мысль встречается также у Паппа. См. также Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung, стр. 397.

Свой принцип Ферма сперва применил к стоявшему тогда в центре внимания и настойчиво требовавшему своего объяснения закону преломления света. Ферма рассуждал примерно так: преломление светового луча при переходе из менее плотной среды в более плотную вызывается тем, что свет встречает в последней большее сопротивление и потому распространяется в ней медленнее. Действительно, чем больше сопротивление, тем больше времени требуется для его преодоления. С точки зрения принципа наименьшего действия вопрос принимает поэтому такой оборот: по какому пути должен распространяться свет, чтобы общее сопротивление его продвижению, состоящее из сопротивлений в обеих средах, было наименьшим или (что сводится к тому же, ибо меньшему сопротивлению соответствует меньший промежуток времени, необходимый для его преодоления) чтобы он мог пройти расстояние от A до B в кратчайшее время (рис. 51)? При помощи своего метода Ферма нашел, что задача решается в указанном смысле, если синус угла падения находится в том же отношении к синусу угла преломления, что и скорости в соответствующих средах ($\sin \alpha : \sin \beta = v_1 : v_2 = n$).

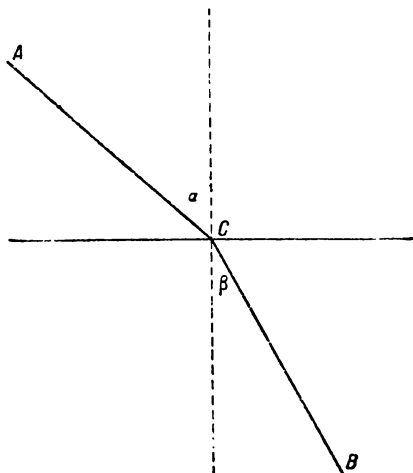


Рис. 51. Ферма объясняет закон преломления света на основании принципа наименьшего действия.

Из того обстоятельства, что этот закон преломления действительно наблюдается на опыте, Ферма сделал и обратное заключение о правильности своего — все же носящего несколько метафизический характер — принципа. Действительно, этот принцип был метафизическим, поскольку на место каузальной связи явлений он подставлял обдуманное, совершающееся по разумным основаниям действие.

Принцип наименьшего действия оказал немалое влияние на дальнейшее развитие естествознания, хотя он и является «самым неопределенным из всех принципов»¹, на основании которых пытались объяснить ход явлений в природе. Гюйгенс тоже пользовался этим положением Ферма. Была даже высказана догадка, что и Лейбниц, находившийся в близких отношениях с Гюйгенсом, был в некоторой степени обязан своим учением о предустановленной гармонии знакомству с идеями Ферма. Точно так же и математики и физико-телеологи XVIII столетия твердо верили в этот принцип и пытались доказать его всеобщую применимость, объясняя при помощи него многочислен-

¹ Dühring, *Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik* Berlin 1873, стр. 290.

ные отдельные явления. Таким образом принцип наименьшего действия оказал весьма полезное и плодотворное влияние на развитие научной мысли. Многие исследования XVIII в., связанные с отысканием наибольших и наименьших значений, были вызваны стремлением объяснить естественные явления при помощи этого принципа. Параллельно с этим возникла особая ветвь математики — вариационное исчисление, занимавшееся задачами на *maxima* и *minima* и открывшее ряд общих методов их решения. Предварительные итоги этим исследованиям, в которых принимали участие Иоганн и Яков Бернулли (Bernoulli), были подведены в труде Эйлера, вышедшем в 1744 г.¹ Взгляды Эйлера на принцип Ферма явствуют из следующих слов, заимствованных из этого классического сочинения: «Так как мир устроен самым превосходным образом, то в нем нельзя найти ни одного явления, которое не отличалось бы тем или иным максимальным или минимальным свойством. Поэтому нет никакого сомнения в том, что все явления на свете могут быть выведены при помощи метода экстремумов из конечных целей, как и из порождающих их причин».

Между тем все возрастало количество наблюдений, свидетельствовавших о том, что и в органическом мире принцип Ферма может оказаться полезным. Строение костей, перьев, стеблей — все как будто указывало на то, что природа использует имеющиеся в ее распоряжении средства самым целесообразным и бережливым образом и что в особенности при создании живых организмов она действует в согласии со своего рода законом бережливости, представляющим собой частный случай найденного в оптике и в механике принципа наименьшего действия. Мопертюи (Maupertuis), положивший в середине XVIII столетия эту мысль в основу своего естествознания, излагал ее в следующих выражениях: «Если в природе совершается какое-нибудь изменение, то требующиеся для него издержки наивозможно малы»².

Как мы увидим в дальнейшем, идея эта, встречающаяся еще в древности, более точно сформулированная Ферма и затем развитая в XVIII в., была заменена более точными механическими принципами лишь тогда, когда Лагранж дал новое обоснование механики.

Мы возвращаемся еще раз к Ферма, чтобы хотя бы вкратце упомянуть о его заслугах в создании теории чисел, учения о соединениях (комбинаторики) и теории вероятностей. Хотя на первый взгляд эти дисциплины кажутся чисто математическими, но в ходе своего развития они стали на службу естествознанию. Это относится в особенности к теории вероятностей. Ее начатки мы встречаем в XV и XVI вв., и своим происхождением она обязана азартным играм.

Творцами теории вероятностей как одной из отраслей математики являются Ферма и его современник Паскаль (1623—1662). Паскалю

¹ *Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes*; (недавно немецкий перевод вышел в серии остальдовских классиков № 46, Leipzig, W. Engelmann, 1894).

² *Les lois du mouvement et du repos, déduites d'un principe métaphysique. Histoire de l'Académie de Berlin*, 1746, стр. 290.

был предложен вопрос: какое количество различных комбинаций при бросании двух игральных костей благоприятствует выпадению в сумме шести очков? В качестве важнейшего орудия для решения проблем теории вероятностей Паскаль и Ферма создали комбинаторику, начатки которой мы ранее встретили уже у индусов.

Что касается заслуг Ферма в теории чисел, то мы упомянем лишь о том, что одна из самых основных ее теорем носит имя Ферма.

Выдающиеся заслуги в дальнейшем развитии комбинаторики принадлежат Якову Бернулли (XVIII в.) и Лапласу и Гауссу (XIX в.).

В то самое время, когда Декарт создал, наряду с евклидовой геометрией, аналитическую, мы встречаем впервые начатки третьего геометрического метода — метода центральной проекции. Из него в XIX в., благодаря исследованиям Понселе (Poncelet) и Штейнера (Steiner), выросла проективная геометрия¹, положения которой отличаются от теорем евклидовой и аналитической геометрии значительно большей степенью общности.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ИСЧИСЛЕНИЯ БЕСКОНЕЧНО МАЛЫХ

В начале XVII в. были сделаны также первые успехи в деле основания того математического метода, из которого впоследствии Ньютоном и Лейбницем создано было одно из могущественнейших орудий исследования природы. Мы говорим об исчислении бесконечно малых. Среди исследователей-предтеч нового исчисления первое место наряду с итальянцем Кавальери, учеником Галилея, занимает Кеплер. Уже древние ученые — в особенности это относится к Архимеду — обратили свое внимание на то, что некоторые геометрические задачи не поддаются решению способами элементарной математики. Это обстоятельство привело к открытию особого алгоритма, известного под именем метода исчерпывания, при помощи которого Архимед², например, нашел квадратуру параболы. Попытки Архимеда и ранее его живших ученых вычислить длину окружности при помощи вписанных и описанных многоугольников тоже показывают, как уже в древности решали (правда, довольно хлопотливыми способами) задачи на выпрямление кривых³. Согласно новейшим исследованиям (см. том I) Архимед обладал даже методом, близким по своему существу к ныне употребительным методам интегрирования.

Прогресс астрономии и физики был тесно связан с развитием математического метода, который давал бы возможность решать в общем виде проблему измерения кривых линий, поверхностей, образуемых замкнутыми кривыми, и тел, возникающих при движении подобных поверхностей. Как важно было бы, например, для Кеплера уметь определить длину эллипса по длинам его большой (a) и малой (b) осей⁴. Он и пытался найти эту длину и считал ее приблизительно рав-

¹ См. 8 главу 3 тома.

² Archimedes (ed. Nizze), стр. 12—25. См. также настоящее сочинение, т. 1.

³ Там же.

⁴ De motibus stellae Martis, гл. 59, 5. Opera Kepleri (ed. Frisch), т. 3, стр. 40.

ной $\pi (a + b)$. Кеплер сам определенно указывает на то, что эта формула дает только приближенное значение искомой величины. Несомненно, что ему было также известно, что этой формулой можно пользоваться только тогда, когда a и b лишь незначительно отличаются друг от друга¹.

Кеплер занимается определением объемов тел вращения в своей «Долиометрии»² или «Измерении бочек». Лагранж впоследствии говорил об этой книге, что в ней — как и в архимедовом исчислении песчинок — по поводу обыкновенного предмета развиваются самые величественные и возвышенные мысли. Кеплер обратил свое внимание на проблему измерения объема бочек в силу одного случайного обстоятельства. Он именно заметил при покупке вина, что продавцы определяют объем бочек, просовывая через втулку палку и измеряя длину той части, которая лежит между втулкой и противоположной стенкой бочки, не обращая внимания на кривизну последней. Если мы станем вращать продольное сечение бочки вокруг ее оси, то мы получим равное ей по объему тело вращения. Основная идея Кеплера и заключалась в том, чтобы разложить подобные тела вращения на бесконечное количество элементарных частей и затем суммировать все эти части. В «Долиометрии» он применил эту мысль при решении почти 90 различных задач.

Архимед и Евклид пользовались для квадратуры поверхностей «методом исчерпывания», с существом которого мы уже ознакомились ранее. Кеплер, напротив, для своих квадратур и кубатур пользовался бесконечно малыми величинами и при этом исходил из представлений, в общем чуждых древним математикам. Так, он рассматривал бесконечно малые дуги как прямые линии, бесконечно узкие плоскости — как линии, и бесконечно тонкие тела как плоскости. Эти же представления были позднее положены Кавальери в основание его собственного метода измерения геометрических фигур.

Примером может служить задача о квадратуре круга, которой мы уже пользовались для характеристики метода исчерпывания Архимеда. Окружность, говорит Кеплер, состоит из бесконечного числа частей, и каждую из них можно рассматривать как основание некоторого равнобедренного треугольника. Таким образом мы получаем в нашем круге бесконечное множество треугольников, с общей вершиной в центре окружности. Если, далее, расположить все такие основания (сумма которых равна длине окружности) одно за другим по прямой и соединить их концы с центром окружности, то мы получим состоящий из бесконечного количества этих треугольников один большой треугольник, площадь которого равна площади круга.

Таким же путем определяется и объем шара. «Он (шар) состоит, — говорит Кеплер, — потенциально как бы из бесконечного

¹ Zeuthen, Geschichte der Mathematik im 16. und 17. Jahrhundert, Leipzig, B. G. Teubner, 1903, стр. 255.

² Nova Stereometria Dollorum vinariorum. Linz 1615. Opera omnia (ed. Frisch), т. 4, 555. Под названием „Neue Stereometrie der Fässer“ переведено с латинского на немецкий и издано Р. Клугом как т. 165 оствальдовской серии классиков точного знания (Ostwalds Klassiker der exact. Wissensch. Leipzig, Engelmann, 1908).

количества равных конусов, основаниями которых являются, так сказать, точки, а общая вершина лежит в центре шара».

Одним из поучительнейших примеров применения метода Кеплера служит его кубатура кольца (рис. 52)¹. Сперва кольцо разбивается плоскостями, проходящими через ось A , на бесконечные количества маленьких дисков. Эти диски, правда, неодинаково толсты во всех своих частях, — именно они, считая от центра их, тоньше в направлении оси A и толще в обратном направлении, — но эти различия взаимно погашаются, и поэтому объем кольца равен объему цилиндра с основанием, равным поперечному сечению кольца, и с высотой, равной длине окружности, которая возникает при вращении центра этого сечения F вокруг оси A .

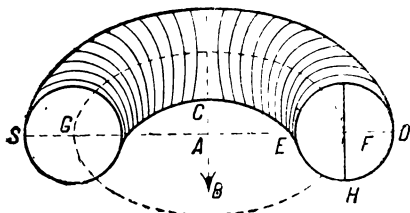


Рис. 52. Вывод Кеплером объема кольца¹.

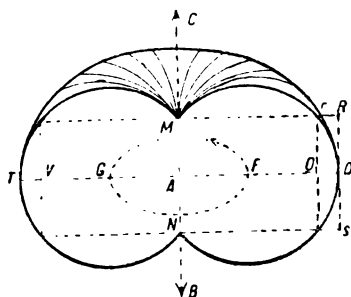


Рис. 53. Кеплерово тело вращения названо им «яблоком».

К немногим телам вращения, известным древним ученым, Кеплер присоединил множество новых: их общее количество достигает у него 92. Всю эту массу тел он получил вращением прямолинейных фигур и четырех конических сечений вокруг их диаметров, хорд, касательных или, наконец, осей, расположенных вне этих фигур (рис. 53). Возникшим при этом телам Кеплер часто давал наименования различных плодов. Так, например, его «яблоко» есть тело, получающееся от вращения части окружности, большей полуокружности, вокруг соединяющей ее концы хорды². «Лимоном», наоборот, он назвал подобное же тело, получающееся от вращения части окружности, меньшей полуокружности.

В своих исследованиях Кеплер не был в состоянии достигнуть той степени математической строгости, какая была присуща Евклиду и Архимеду. Это потребовало еще дальнейшего развития метода бесконечно малых, для которого он заложил лишь первые начала. В некоторых случаях Кеплер вынужден был довольствоваться лишь более или менее вероятными результатами, а иногда и совсем не находил правильного решения тех или иных стоявших перед ним вопросов.

В своей «Долиометрии» Кеплер поставил перед собой не только задачу определения объема бочек и иных тел вращения, но заодно

¹ Opera omnia, т. 4, стр. 575.

² Opera Kepleri, т. 4, стр. 584—585.

пытался решить, какая форма бочки является наиболее целесообразной, т. е. какую форму должна иметь бочка, чтобы при возможно малом количестве потребного для нее материала быть возможно более вместительной. Задачи подобного рода называют изопериметрическими, и мы увидим, что впоследствии они сыграли чрезвычайно важную роль в развитии высшего анализа. В качестве образчика деятельности Кеплера в этой области мы приведем его теорему, гласящую, что наибольший из вписанных в шар параллелепипедов есть куб¹.

Кеплер заметил также, что максимальные значения функций отличаются тем, что по близости их изменения функций становятся равными нулю. Если, например, MP (рис. 54) есть наибольшая из ординат кривой AMB , то увеличение или уменьшение этой ординаты при бесконечно малом параллельном смещении равно нулю. То обстоятельство, что Кеплер открыл эту основную в теории *maxima* и *minima* теорему — хотя он и не мог доказать ее, — показывает, насколько далеко продвинулся он и в этой части учения о бесконечно малых.

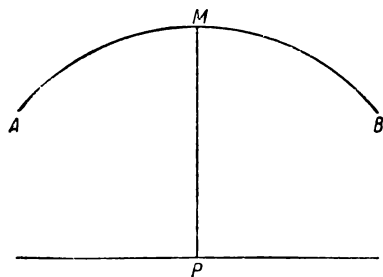


Рис. 54. Исследование Кеплером наибольших и наименьших значений функций.

Сам Кеплер формулировал эту теорему так: «Там, где имеет место переход от меньшего к наибольшему и потом снова к меньшему, разница всегда до известной степени незаметна».

Несколько позже, чем Кеплер, занялся вопросом о квадратурах и кубатурах итальянец Кавальери², также применивший к нему метод, отличный от методов древних. Он изложил свои открытия в 1635 г. в книге, озаглавленной «Геометрия неделимых»³. Точного определения слова «неделимые» Кавальери не дал. Его метод, состоявший в сведении поверхностей к линиям и тел к поверхностям, породил даже неправильное представление, будто Кавальери мыслил себе поверхности в виде сумм бесконечного количества параллельных отрезков, а тела — в виде сумм поверхностей, и вызвал поэтому отрицательное отношение к методу Кавальери. На самом же деле Кавальери прекрасно знал, что сумма всех параллельных хорд какой-нибудь замкнутой площади бесконечна и что отношение двух подобных сумм имеет неопределенное значение. Но если все многочисленные параллельные хорды, пересекающие две площади, расположенные между двумя параллельными линиями, находятся на одинаковых расстояниях друг от друга, то отношение сумм этих хорд при увеличении их числа стремится к определенному пределу. Этот предел как раз и равен отношению обеих наших площадей. Следующий простой пример

¹ Kepleri Opera 2 omnia (ed. Frisch), т. 4, стр. 607—609.

² Бонавентура Кавальери родился в 1598 г. в Болонье. Он был учеником, а позднее и другом Галилея. Он был профессором в Болонье и умер в этом же городе в 1647 г.

³ Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam ratione promota.

пояснит сказанное. Построим на основании какого-нибудь треугольника прямоугольник с высотой, равной высоте этого треугольника, и проведем в обеих фигурах на равных друг от друга расстояниях ряд отрезков, параллельных основанию. Сумма длин отрезков, расположенных в треугольнике, будет вдвое меньше, чем сумма длин отрезков, лежащих в прямоугольнике. Из этого Кавальери делает тот вывод, что и площади обеих фигур находятся в отношении 1 : 2.

Точно таким же образом можно показать, что площадь эллипса относится к площади круга с диаметром, равным одной из осей эллипса, как другая ось эллипса относится к диаметру круга.

При применении метода Кавальери к телам вместо линий следует брать равноотстоящие друг от друга параллельные плоскости. Если получаемые при пересечении этих плоскостей с телами площади находятся в определенном отношении друг к другу, то и объемы тел находятся в том же самом отношении. Как известно, эта теорема и теперь еще называется по имени Кавальери. В применении к равновеликим фигурам она гласит: площади плоских фигур и объемы тел равновелики, если проведенные на одинаковой высоте сечения их дают равные отрезки или площади.

Сравнительно с методом Кеплера, который ставил перед собой лишь отдельные конкретные задачи, метод Кавальери имел то преимущество, что он отличался как большей своей общностью, так и более принципиальным теоретическим характером. Несмотря на отрицательное отношение, которое встретили оба эти ученые, созданный ими метод бесконечно малых явился самой ценной из когда-либо привнесенных в математику идей. Но плодотворность его обнаружилась лишь после открытия аналитической геометрии, когда в результате объединения этой последней с новым кругом идей возникли дифференциальное и интегральное исчисления — самые мощные математические орудия современной науки.

Из числа научных противников Кеплера и Кавальери следует особо отметить Гульдена (Guldin). Этот ученый написал объемистый труд, в котором обстоятельнее и основательнее всех своих предшественников разработал проблему определения центров тяжести различных кривых, поверхностей и тел¹. Опираясь на одну встречающуюся у Паппа теорему, Гульден занялся также определением объемов. Теорема Паппа-Гульдена, еще и теперь известная под именем правила Гульдена, гласит, что объем тела вращения равен произведению из площади производящей поверхности на длину пути, проходимого при вращении ее центром тяжести.

Гульден не сумел дать безупречного доказательства этой теоремы. Он, скорее, считал ее справедливой потому, что с ее помощью получаются те же результаты, что и с помощью других методов. Примеры Гульдена часто те же, что и встречающиеся у Кеплера. Но в то время как метод Кеплера, с которым Гульден боролся, счи-

¹ Произведение Гульдена вышло в свет 1635 — 1641 гг. под названием „Centrobaryca“. Павел Гульден родился в 1577 г. в Ст.-Галлене, он был иезуитом и преподавал математику в Риме и других городах. Гульден умер в 1643 г.

тая его ненаучным, заключал в себе в зародыше элементы высшей математики, идеи Гульдена остались без дальнейшего влияния на развитие этой науки, тем более, что нахождение площади фигуры и определение ее центра тяжести часто представляют собой задачу, значительно более сложную, чем непосредственное определение объема соответствующего тела вращения¹.

Следующим шагом вперед в учении о бесконечно малых явилась «Арифметика бесконечного» англичанина Валлиса² (Wallis) (1655). Исследования Кавальери побудили Валлиса заняться проблемой квадратур и кубатур. Именно этим вопросам посвящена в основном его «Арифметика бесконечного». Уже из названия книги видно, что, в противоположность Кавальери, пытавшемуся облечь свои идеи в геометрическую форму, Валлис пользовался преимущественно арифметико-вычислительными методами. Он достиг этого путем синтеза аналитического метода Декарта с методом бесконечно малых Кеплера и Кавальери. Однако сомнительно, чтобы Валлис был знаком с «Долиометрией» Кеплера³.

Валлис поступал, например, так: он разбивал плоскую фигуру, квадратуру которой искал, при помощи бесконечного количества ординат на бесконечно большое количество бесконечно узких параллелограмов и затем старался определить их сумму. При этом он пользовался и ныне употребительным приемом перехода к пределу.

Дальнейшее развитие намеченных Кеплером и Кавальери основ новой, высшей, математики, превращавшейся постепенно в могучее и необходимое для прогресса естествознания и техники орудие, является главным образом делом Ньютона и Лейбница.

В результате своих исследований над бесконечными рядами Ньютон нашел общее решение задачи о касательных, которой занимались еще Ферма и Декарт. Первоначально Ньютон не предал свой метод гласности и лишь сообщил о нем, начиная с 1669 г., нескольким лицам, с которыми он состоял в научном общении. Лейбниц узнал об этих достижениях Ньютона из одного письма секретаря Королевского общества⁴, полученного им только в 1677 г. В своем ответе он в этом же году сообщил об открытии им метода, который приводил к тем же результатам, и опубликовал его в работах, появившихся в 1684 и в 1686 гг. В своей работе от 1684 г.⁵ Лейбниц изложил принципы дифференциального исчисления. Основную задачу последнего он видел в определении того бесконечно малого приращения, которое получает функция $f(x)$ при бесконечно малом изменении переменной x . Это бесконечно малое приращение функции Лейбниц назвал дифференциалом. Он обозначал его буквой d .

¹ Gerhard, Geschichte der Mathematik in Deutschland, стр. 130.

² Arithmetica infinitorum sive nova methodus inquirendi in curvilinearorum quadraturam, 1655. Джон Валлис родился в 1616 г. в одном маленьком местечке графства Кент и был профессором математики в Оксфорде. Валлис является одним из основателей Королевского общества. Он умер в 1703 г.

³ Cantor, Geschichte der Mathematik, т. 2, стр. 822.

⁴ Письмо было послано Лейбницу в октябре 1674 г.

⁵ Nova methodus pro maximis et minimis itemque tangentibus... (Acta eruditorum, 1684).

Во второй работе¹ Лейбниц изложил принципы интегрального вычисления. Здесь он занялся задачей, обратной предыдущей, пытаясь определить по бесконечно малому приращению функции самую функцию. Это и есть задача интегрирования. Для обозначения искомой функции Лейбниц ввел знак интеграла \int . Лейбницу также была уже тогда известна связь между интегральным исчислением и проблемой квадратуры и кубатуры.

Вскоре после опубликования этих работ вышли в свет (в 1687 г.) «Начала» Ньютона. Ньютон в них привел свои доказательства в геометрической форме. В результате метод, открытый Лейбницем, получил быстрое распространение, в то время как метод Ньютона остался почти никому неизвестен и был даже опубликован полностью лишь после смерти своего творца². Ньютон назвал свой способ методом флюксий. Место бесконечно малых величин, которыми оперировал Лейбниц, у Ньютона занимают исчезающие величины. Новым у Ньютона является в первую очередь понятие предела. Под ним он понимает то значение, к которому все более приближаются как бы текущие (отсюда самое выражение «флюксия») величины.

Упомянем еще, что в 1694 г. разгорелся жаркий спор по вопросу о приоритете. Непосредственной причиной его послужило замечание одного математика³, что по всей вероятности Лейбниц заимствовал свой метод у Ньютона. Лейбниц оказался настолько неосторожным, что в анонимном сочинении обвинил Ньютона в плагиате. Противники не примирились в течение всей своей жизни. Лейбниц до самой своей смерти (1716) жестоко страдал от этой полемики. Ньютон в своих «Началах» признал, что Лейбницем был самостоятельно найден метод, совпадающий с его собственным. Лишь в посмертном издании «Начал» это замечание было выпущено.

Нет сомнения, что приоритет принадлежит Ньютону, так же, как, несомненно, и то, что он косвенным образом натолкнул Лейбница на его открытие. Но за Лейбницем остается та заслуга, что он первый опубликовал новый метод и что созданный им алгоритм особенно сильно способствовал распространению и развитию этого метода.

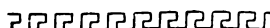
Более глубокое обоснование метода бесконечно малых впервые было дано лишь Карно (Carnot)⁴, великим Карно французской революции, племяннику которого принадлежат основоположные открытия в учении о теплоте (см. том. 3). Великая заслуга принадлежит, далее, Коши (Cauchy), сообщившему исчислению бесконечно малых необходимую математическую строгость. Коши решительно высказался в пользу основанного Ньютоном метода пределов, превосходящего по ясности и точности все остальные.

¹ De Geometria recondita et analysi indivisibilium atque infinitorum, Acta eruditor., 1686.

² Method of fluxions, London 1736. Ньютон написал это сочинение еще в 1671 г.

³ Фасио де-Дюйлье (Fatio de Duiller).

⁴ Réflexions sur la métaphysique du calcul infinitesimal, 1797.



VII

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕМ И НОВОЙ ФИЛОСОФИЕЙ *

Подобно математике философия тоже оказала огромное влияние на развитие естествознания. Ведь все эти три области знания вытекают из одного и того же источника, именно из присущего человеку стремления разобраться в окружающем его мире. В случае философии это стремление приводит к потребности определить также отношение окружающего мира к мыслящему субъекту. Мы уже раньше показали, как влияли друг на друга в древности математика, философия и естествознание. Вначале между ними существовала такая тесная близость, что обыкновенно один и тот же человек был одновременно философом, математиком и естествоиспытателем. Достаточно только напомнить о Фалесе, Платоне и Аристотеле. Впоследствии началась специализация. Такие исследователи, как Архимед и Герон, вряд ли занимались специально философскими вопросами; по крайней мере, это не видно из их произведений. Математика тоже стала для многих ученых самостоятельной областью, — чистой математикой, шедшей своим особым путем. Но во все эпохи сохранилась связь естественно-научного исследования с математическим мышлением. Астрономия была с самого начала прикладной математикой, физика стала ею, лишь только она обратилась к проблемам механики; что же касается остальных отраслей естествознания, то они приобретали научный характер лишь постольку, поскольку они открывали доступ к себе математике и покоящейся на ней механике.

Несмотря на тесную связь, существовавшую искони между естествознанием, математикой и философией, эти три науки далеко не всегда благоприятствовали взаимному прогрессу. Даже математика могла задержать развитие естественных наук, если прямая задача ее — содействие установлению в естествознании количественных методов — извращалась, заменяясь геометрическими и арифметическими спекуляциями. Но особенно пагубным было временами влияние философии на естествознание. Последнее имело под собой твердую почву; у философии же ее не было; поэтому она могла легко сбиться с правильного пути. Это наблюдалось даже в новейшее время, как мы увидим впоследствии, рассматривая в первой половине XIX в. роль господствовавшей тогда натурфилософии. В Германии новый

расцвет естествознания мог начаться в эту эпоху лишь после того, как оно освободилось от связи с современной ему философией. Аналогичное освобождение из плена философии должно было также предшествовать расцвету естествознания в начале XVII в. До тех пор в философии царил схоластика, видевшая свою задачу в посредничестве между верой и знанием. Первоначально для схоластики церковные догматы являлись непоколебимой истиной, а Аристотель — главным источником всякого знания. Чтобы найти компромисс между верой и знанием, приходилось прибегать ко всякого рода софистическим уловкам. Такой уловкой был и принцип, будто нечто может быть истинным с точки зрения веры, не будучи таковым с точки зрения разума. Церковь ожесточенно боролась с этим учением о двойной истине, так как в нем обнаруживалось стремление философии освободиться от церковной зависимости. Стремление это привело в конце концов к тому, что философия добилась самостоятельности, а пробудившийся благодаря самому методу схоластики дух сомнения и исследования выступил, наконец, на арену мысли со всеми своими требованиями и предпосылками. Это возрождение свободной мысли мы встречаем у Бэкона и Декарта.

Мы уже говорили о Бэконе и его отношении, с одной стороны, к схоластике, а, с другой, к развивавшемуся в его время, хотя и без его содействия, экспериментальному изучению природы. Мы обратимся теперь к Декарту, этому подлинному основателю новой философии. Мы уже говорили о его великих заслугах в области математики, а также о решении им ряда естественно-научных проблем, и нам придется еще коснуться этого вопроса в других местах¹.

Мы не собираемся здесь (а также в дальнейших частях этой главы) рассматривать философию во всем ее объеме. Исходным пунктом картезианской философии является отношение человека к разумному творцу мира. Таким образом она по своему существу дуалистична и, как всякая дуалистическая система, переступает границы естественно-научного исследования. Для последнего философия важна лишь постольку, поскольку она является натурфилософией. Декарт занимался также специально принципами натурфилософии. Принципы эти касаются вопросов о сущности материи и силы, а также об отношении последних к душе. Философский анализ этих понятий неотделим от более глубокого рассмотрения проблем естествознания. В этом анализе мы последуем за натурфилософами, бывшими в начале нового времени часто и естествоиспытателями. Это относится в особенности к Декарту.

В своих «Принципах философии» он пытается вывести все явления природы из понятий материи и движения. Сущностью материи он считает протяжение. «Признаюсь, — говорит он, — что я не принимаю никакой другой материи, кроме той, которую математики называют количеством. В этой последней я рассматриваю лишь дели-

¹ Рене Декарт (Cartesius) родился в 1596 г. в Турени и умер в 1650 г. в Стокгольме, куда он был приглашен шведской королевой Христиной. До того он, после скитальческой молодости, прожил много лет в Голландии.

мость, фигуру и движение. Далее я допускаю лишь то, что можно вывести из общих понятий, относительно истинности которых нет никаких сомнений, с такой достоверностью, что его можно считать математически доказанным. Так как таким образом можно объяснить все явления природы, то я не считаю ни допустимыми, ни желательными другие принципы».

По Декарту всякое пространство заполнено материей. Несмотря на это он принимает существование маленьких частиц, из фигуры, величины и движения которых следует выводить все явления природы. * Демокрит тоже принимал существование таких частиц, но он считал их неделимыми и приписывал им свойство тяжести; далее он предполагал существование пустого пространства. Декарт, наоборот, считал невозможным существование пустоты. Кроме того, частицы, из которых состоит материя, согласно Декарту, бесконечно делимы и не обладают силой притяжения, тяжестью.

«Если, — говорит Декарт, — я приписываю частицам тела определенную фигуру, величину и движение, хотя я должен признать, что эти частицы недоступны восприятию, то могут спросить, откуда я знаю об этих свойствах». На это он отвечает, что, во-первых, эти свойства соответствуют простейшим принципам, положенным им в основу своих размышлений. Во-вторых, сделанные им выводы совпадают с наблюдаемыми в действительности явлениями, что в свою очередь ручается за правильность его предпосылок.

Таким образом, согласно Декарту, цель естествознания заключается в объяснении явлений из движений мельчайших частиц. Он пытается достигнуть этой цели путем дедукции из немногих принципов по образцу математики. Учение Декарта о природе как о механизме, при помощи которого он хотел объяснить явления как неорганического мира, так и органического, находилось в самом резком противоречии с распространенным до него аристотелевско-схоластическим мировоззрением; кроме того, Декарт окончательно устранил из своей системы господствовавшее в прежнем мировоззрении понятие цели. В этом пункте он близок к Гассенди (Gassendi)¹. Разница между ними заключается лишь в том, что Гассенди возродил атомистику древних, в особенности учение Эпикура, между тем как Декарт не признавал неделимости материальных частиц и существования пустого пространства. Между взглядами Декарта и Гассенди наблюдается сходство и в том отношении, что они сводят всякое действие

¹ Пьер Гассенди (родился в 1592 г. в Провансе, умер в 1655 г. в Париже) возродил атомистическое учение Эпикура. Об отношении Эпикура к Демокриту см. том 1. Согласно Гассенди, первоначально было сотворено определенное количество атомов, являющихся первоосновой всех вещей. Поэтому не только элементы, но также и свет, и теплота и т. д. состоят из атомов. Последние неделимы, имеют определенную величину и фигуру, обладают тяжестью, абсолютно тверды и непроницаемы. Между атомами находится пустое пространство. Словом, в своей „*Physica corpuscularis*“ Гассенди развивает в основных чертах и лишь с небольшими отклонениями установленное впервые Демокритом материалистическое учение. (Подробнее см. у Ланге в его „*Geschichte des Materialismus und Kritik seiner Bedeutung für die Gegenwart*, 1832, стр. 184 и сл.).

тел друг на друга к ударам движущейся материи, а все чувственные качества — к величине, фигуре и движению материальных частиц (корпускул у Декарта и атомов у Гассенди).

Хотя стремление получить немногие всеобъемлющие принципы и было правомерно, но все же существовала опасность, что принципы эти будут установлены не индуктивным путем, а а priori. В этом заключалась угроза для экспериментального исследования. Правда, Декарт не отвергал эксперимента, но последний играл у него, по сравнению с теорией, второстепенную роль *. С этим умалением роли эксперимента гармонирует и отношение Декарта к Галилею. В одном письме к Мерсенну он пишет, что он не нашел в сочинениях Галилея ничего такого, из-за чего он мог бы ему завидовать, и почти ничего такого, чего он не получил бы самостоятельно. Это отрицательное отношение Декарта к результатам современного ему точного исследования природы сближает его до некоторой степени с Бэконом.

Таким образом наблюдающийся у Декарта и Бэкона в эпоху возрождения естествознания и философии союз обеих этих наук оказался мало благоприятным для точного знания. Ни расплывчатый эмпиризм Бэкона, ни теоретические спекуляции Декарта не смогли создать метода научного исследования. Не от философии получило естествознание свой метод: последний возник, наоборот, независимо от господствовавших тогда философских теорий, чтобы медленно, но верно приближаться к цели, которой тщетно хотело достигнуть смелым скачком отвлеченное умозрение. С зародышами метода современного естествознания мы встречаемся уже в XVI в. Разработка же его является делом главным образом Галилея, которого Декарт упрекал в том, что он, не рассматривая первопричин вещей, исследует только основания некоторых отдельных явлений и строит поэтому без фундамента. Таким образом точное исследование в самом же начале стало подвергаться опасности со стороны не останавливавшейся ни перед какими проблемами философии, о которой Гюйгенс мог сказать: «Декарт, повидимому, собирается решать все вопросы физики, не заботясь о том, рассуждает ли он правильно или нет»¹.

В эпоху, когда еще не была осознана грань, отделяющая то, что доступно знанию, от того, что останется навсегда загадкой, теории Декарта не могли не пленять умов. В центре внимания стояли тогда вопросы о сущности материи, об агрегатных состояниях, о причине тяжести. Ответ на эти вопросы давали атомистика и корпускулярная теория. Ко взглядам Гассенди примыкал Гюйгенс, бывший тоже строгим атомистом, между тем как Бойль, Гук, Борелли склонялись более к физическим теориям Декарта. При всем различии учений Гассенди и Декарта, последние сходились в том, что пытались объяснить все явления из движения материи и удара ее частиц и дать таким образом наглядную картину физических процессов. Давление, толчок и притягивание при помощи крючкообразных связей — вот понятия, которыми оперировали тогда исследователи. Заимствованное

¹ Письмо Гюйгенса к Лейбницу от 11 июля 1692 г. *Chr. Hugentii exercitationes mathem.* ed. Uglenbrock. Hag. Com., 1833, I, 136.

Гассенди у древних авторов понятие атома совершенно исключает внутренние силы. Атомы Гассенди, как и корпускулы Декарта, однородны изначально движением. Всякое действие сводится в конечном счете к передаче движения путем соприкосновения. Подобно тому как у древних существовали особые атомы для отдельных ощущений (см. том I), так у Гассенди имеются особые атомы теплоты. Сами по себе эти атомы не теплы, но благодаря своей фигуре, величине и движению они порождают теплоту. Картезианцы для объяснения теплоты прибегали к особой *materia subtilis*. Точно так же поступал Гюйгенс.

Но уже рано распространился отличный от этих воззрений взгляд, согласно которому теплота есть простое движение мельчайших частиц и, следовательно, может получаться в телах механическим образом. Особенно настойчиво защищали эту точку зрения Гук и Локк. Благодаря введенной Гассенди и Декартом механистической концепции из естествознания были изгнаны все скрытые качества схоластиков, разные симпатии и антипатии, и движение небесных тел, равно как и падение тел на землю, было сведено к ударам мельчайших частиц. Аксиомой считалось тогда положение, что тело может действовать только там, где оно находится. Только отдельные ученые, как Кеплер и Гильберт, приписывали материи силу притяжения. Бэкон говорит об этом следующее: «Весьма вероятно, что в случае световых лучей, звуков, теплоты и некоторых других, действующих на расстоянии вещей, промежуточная материя испытывает изменения и что для перенесения действий необходима соответствующая среда»¹. Однако магнитные силы нельзя по Бэкону объяснить действием такой среды; у Мерсенна же мы читаем², что многие авторы сводят тяжесть к притягательной силе земли, а не, как Декарт, к давлению. У Роберваля встречается уже определенно представление³, что каждой частице материи следует приписывать в качестве существенного ее свойства силу притяжения. А через сорок с лишком лет Борелли писал⁴, что очень часто приходится встречать гипотезу о силе притяжения. Борелли энергично выступает против этой гипотезы, правда, только для того, чтобы объяснить магнетизм и тяготение особым *motus spontaneus*, присущим железу и магниту, а также тяжелым телам. Так, в физике мало-по-малу привыкли к представлению о притяжении на расстоянии.

Из спекуляций насчет материи возникли умозрения насчет понятия силы. Декарт считал сущностью материи протяжение. Но, кроме того, он, как и Кеплер⁵, приписывал материи косность, благодаря которой она оказывает сопротивление всякому изменению ее со-

¹ *Novum organum*. Lugd. Bat., 1645, кн. II, § 37, стр. 294.

² *Cogitata physico-mathematica*, Parisiis 1644, стр. 21.

³ Aristarchus Samius de mundi systemate, Parisiis 1644, стр. 2. Cp. J. C. Fischer, *Geschichte der Physik*, 1801, т. 1, стр. 272.

⁴ *De motionibus naturalibus*, Lugd. Bat., 1636, гл. VI, стр. 166.

⁵ *Epitome astronomiae*, 1621, кн. IV, стр. 510. Лейбниц обращает в нескольких местах внимание на то, что впервые понятие косности ввел Кеплер. Намеки на него встречаются, по Ф. Липпманну, уже у Аристотеля.

стояния покоя или движения¹. К этому Бойль² и Гюйгенс³ присоединили еще другое существенное свойство — непроницаемость, между тем как Гук⁴ сводил непроницаемость к колебательному движению мельчайших частиц. Гюйгенс тоже замечает, что он не разделяет взгляда Декарта, будто сущность материи заключается в протяжении. К последнему надо еще прибавить: «la dureté parfaite, qui rend le corps, impenétrable» (совершенную твердость, делающую тело непроницаемым). Локк предложил впоследствии, вместо отрицательного выражения «непроницаемость», положительный термин *solidity* (твердость)⁵.

Гук делает мимоходом одно замечание об отношении материи к силе, на которое, как и на многие другие его указания, не было обращено достаточного внимания. «Я предполагаю, — говорит он, — что все вещи являющиеся объектами наших чувств, состоят из материи и силы. В настоящее время мы принимаем эти последние за совершенно различные сущности, хотя впоследствии, может быть, окажется, что они представляют только разные стороны одной и той же сущности».

У Декарта единая первоначальная материя разделилась благодаря движению на три элемента, отличающихся друг от друга различными степенями тонкости. Из самых грубых частиц образовались Земля, планеты и кометы, из более тонких — звезды и Солнце, а из самых тонких — наполняющее мировое пространство вещество, вихревым движением которого объясняется крутовращение планет. Это тончайшее вещество заполняет, согласно Декарту, также промежутки между грубыми частицами, из которых состоит земная материя. Оно же, будучи вездесущим, способствует распространению света. Эта концепция перешла в современную физику. Различение частиц по степени их тонкости, содержавшее в зародыше позднейшее деление на весомую и невесомую материю, дало картезианской физике возможность объяснить механическим образом, при помощи вихревого движения или ударов некоторой *materia subtilis*, не только тяготение и тяжесть, но также сцепление, прилипание, теплоту, свет, электричество, агрегатные состояния и т. д. Впоследствии Гюйгенс, Гук, Даниил Бернулли и Эйлер приняли для каждого из перечисленных явлений особую *materia subtilis*, откуда возникло затем учение о невесомых. Твердое агрегатное состояние Декарт объяснял покоем частиц. Иного взгляда придерживался Гук, предвосхитивший механическую теорию теплоты. «Доказательством того, пишет он, что частицы всех тел, как бы они ни были тверды, находятся в колебательном движении, является, на мой взгляд, тот факт, что все тела обладают известной степенью теплоты и что никогда еще не наблюдали абсолютно холодного тела»⁶.

¹ *Principia philosophiae*, 1677, ч. II, § 43, стр. 41.

² Boyle, *Origo formarum et qualitatum*, 1669, стр. 50.

³ Huygens, *Discours sur la cause de la pesanteur*, 1690, стр. 162.

⁴ Hooke, *De potentia restitutiva*, 1678, стр. 7.

⁵ Locke, *An essay concerning human understanding*. London 1731, т. 1, кн. II, стр. 87.

⁶ *Micrographia*, London 1665, стр. 16.

У Гука, введшего для тонкой материи название эфир¹, все мировое пространство заполнено этой субстанцией. Все остальные тела как бы растворены в ней. Вместо вихревых движений Декарта Гук приписывает эфиру колебательное движение, подробно объясняя при помощи последнего явления тяготения и света. Дальнейшей разработкой гипотезы эфира занимался главным образом Гюйгенс.

Созданная Декартом и его преемниками механистическая концепция нашла известное завершение в учении о неизменности количества материи и количестве движения². Зародыши этого учения встречаются уже у Эпикура. Последний указывает на то, что вне вселенной нет такого места, куда могла бы удалиться какая-нибудь частица материи и откуда могла бы проникнуть в мир какая-нибудь новая сила³. И это положение Гассенди заимствовал из системы Эпикура, выразив его в следующих словах: «Когда тела переходят в состояние покоя, то приращенная атомам сила не пропадает, а только тормозится. Точно так же, когда тела начинают двигаться, то сила не порождается: она только получает обратно свою свободу. Действительно, в телах сохраняется всегда ровно столько импульса (*impetus*), сколько его было в них изначально»⁴.

Этим рассуждениям соответствует утверждение Декарта о сохранении количества движения. Оно образует исходный пункт исследований, приведших под конец к установлению принципа сохранения энергии.

Мы рассматривали до сих пор картезианскую философию лишь постольку, поскольку она занималась объяснением физических явлений. Но наряду с телесным миром, который Декарт надеялся объяснить при помощи чисто механических принципов, он признавал другой, столь же реальный, духовный мир. Однако оба эти мира, согласно Декарту, не имеют между собой ничего общего.

Мы здесь вынуждены ограничиться только немногими указаниями на то, как был преодолен этот абсолютный дуализм мировоззрения. Первый шаг в этом направлении сделал Гоббс (*Hobbes*)⁵, пытавшийся объяснить и психические явления при помощи механических законов движения и основавший таким образом материалистическое направление натурфилософии. Важный вывод из учения Гоббса заключался в том, что согласно ему, не существует свободы воли.

¹ *Micrographia* 1665, стр. 12.

² *Descartes, Principia philosophiae*, 1677, ч. II, § 36, стр. 37.

³ *T. Lucretii Cari, De rerum natura, libri sex*, II, стр. 294—307. Ср. G. Berthold, *Notizen zur Geschichte des Prinzips der Erhaltung der Kraft* (Ber. d. Kgl. Akad. d. Wiss. z. Berlin, 1875, стр. 57, а также т. 1).

⁴ *Animadversiones in X libr. Diogenis Laertii*, 1675, т. 1, стр. 241.

⁵ Англичанин Томас Гоббс (1588—1679) пытался, подобно Декарту, свести все явления к движению мельчайших частиц. Движение распространяется благодаря тому, что движется и промежуточная среда. Не существует непосредственного действия на расстоянии. Все это характеризует материалистический аспект философии Гоббса. Но она в то же время и сенсуалистическая, ибо сводит все понятия к деятельности органов чувств. Гоббс формулировал это учение в следующем знаменитом положении: „*Nihil est in intellectu, quod non prius fuerit in sensu*“ („в разуме нет ничего такого, чего не было бы раньше в чувстве“). Предложение это ошибочно приписывается иногда Локку.

Преодоление одностороннего дуализма и не менее одностороннего материализма нашло место в философии Спинозы¹. Согласно Спинозе, существует только одна реальная субстанция, для обозначения которой он употребляет традиционно название бога. Эта абсолютная и бесконечная субстанция есть причина самой себя и всех вещей. Таким образом бог и природа тождественны. Дух и материя только модусы, т. е. различные формы проявления этой единой субстанции. Они связаны между собой таким образом, что каждому физическому процессу соответствует психический процесс; следовательно, природа — духовно телесна. Лишь в конце нашей работы мы сможем показать, как из этих философских воззрений развилась современная психофизика с ее чисто естественно-научными методами*.

Несмотря на многочисленные импульсы, полученные новым естествознанием от развивавшейся параллельно ему философии, великие естествоиспытатели относились к последней вообще отрицательно, ибо видели свою задачу в более близких к ним вещах.

Изречение Ньютона «*Hypotheses non fingo*» (я не занимаюсь сочинением гипотез) представляло собой решительный отказ от спекуляций картезианской физики. «Все то, что не вытекает из явлений, — говорит Ньютон, — является гипотезой. Гипотезам же нет места в экспериментальной физике. В последней выводы некоторые положения из наблюдаемых явлений и обобщают их путем индукции»^{2**}. Нужно было положить предел бурному росту гипотез и, отказавшись от постройки воздушных замков в духе картезианской натурфилософии, приступить к открытию истинных законов природы. После того как отвергли схоластическое учение о субстанциальных формах и скрытых качествах, следовало, согласно Ньютону, стараться свести явления природы к математическим принципам. В этом Ньютон видел свою главную задачу, которую можно формулировать как требование механического объяснения всех явлений природы при помощи сил.

В понятии силы, как его употребляет Ньютон, обнаруживается самым отчетливым образом коренное различие между старой и новой физикой. Это же понятие вызвало главным образом борьбу против теории Ньютона и явилось источником заблуждений многих последователей Ньютона. Механика корпускулярной философии сводилась к давлению и удару как к привычным для нашего чувственного воззрения представлениям. Ньютон же ввел понятие силы как «*causa mathematica*». При этом «*causa physica*» совсем не указывается. «Я не рассматриваю физических причин и местопребывания сил», — говорит Ньютон. Каузальная связь явлений природы изображается

¹ Спиноза (1632 — 1677) происходил от португальских евреев, бежавших в Амстердам, чтобы спастись от преследований инквизиции. Еврейская община в Амстердаме отнеслась к Спинозе не менее фанатично из-за его философских воззрений: она пыталась сперва убить его, а под конец исключила его из своей среды. Спиноза добывал себе средства к существованию, занимаясь шлифовкой оптических стекол.

² Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, 1723, кн. III, Scholium generale, стр. 484.

только в виде математической зависимости. Ньютону важно лишь установить законы движения. Он неоднократно заявляет, что говорит о силах только в этом смысле. «Употребляя выражения: притяжение, удар, тяготение к центру, — читаем мы в «Началах»¹, — я рассматриваю эти силы не в физическом смысле, а только в математическом. Пусть отсюда не умозаключают, будто я намереваюсь объяснить физическую причину или приписываю центрам реальные силы, говоря, что центры обладают силой притяжения»². Называя центробежные силы притяжением, Ньютон тотчас же замечает, что, может быть, правильнее было бы назвать их импульсами³. В соответствии с этим Ньютон неоднократно высказывался против представления о действии на расстоянии, а также против допущения, что тяжесть представляет существенное свойство материи. Так, например, он пишет: «Непонятно, как материя могла бы воздействовать на другую материю без посредства чего-нибудь нематериального; а между тем так должно обстоит дело, если тяжесть есть существенное, прирожденное свойство материи. Я считаю нелепостью допущение, будто тело, находящееся на некотором расстоянии от другого тела, может действовать на него через пустое пространство без всякого посредства. Поэтому тяжесть должна вызываться каким-то действующим постоянно по определенным законам агентом»⁴. Что касается вопроса о том, носит ли этот агент материальный или нематериальный характер, то на него Ньютон не дает никакого ответа.

В одном письме Ньютона к Бойлю⁵ причина тяжести сводится к эфиру. Но в конце этого письма Ньютон делает следующее замечание: «У меня так мало склонности к подобным вещам, что я вряд ли взялся бы за перо, если бы меня не побудило к этому ваше предложение». Вопреки данному Ньютоном определению силы как «*causa mathematica*», вопреки его предостережению не рассматривать тяжести как существенного свойства материи, последователи Ньютона стали принимать непосредственное действие на расстоянии (*actio in distans*) за нечто реально существующее.

Воззрение это защищалось Роджером Котсом (Cotes), написавшим в 1713 г. предисловие ко второму изданию «Начал», и Робервалем. Последний считал притяжение всеобщим свойством вещества и определенно приписывал эту силу каждой отдельной частице. К этому представлению мало-по-малу привыкли не только философы, но и физики, хотя первоначально оно наткнулось на сопротивление с разных сторон. Поскольку в картезианской физике пытались свести движения небесных светил, а также падение тел на земле, при помощи вихревого движения некоторой *materia subtilis*, к чисто механическим причинам, постольку в притяжении ньютоналинцев видели возврат к схоластическому учению о скрытых качествах. Этой точки зрения при-

¹ *Philosophiae natur. princ. math.*, 1723, стр. 5.

² Цит. соч., стр. 147.

³ Цит. соч., стр. 173.

⁴ Извлечение из письма Ньютона к Бентли от 25 февраля 1692 г.; перепечатано у Хорсли (Horsley) *J. Newtoni, Op. omni.*, Lond. 1782, т. 4, стр. 438.

⁵ Horsley, l. c., стр. 394.

держивались между прочим Иоганн Бернулли¹ и Гюйгенс². Хотя Гюйгенс признавал превосходство ньютоновой системы над картезианской, но он заявлял, что «притяжение нельзя объяснить на основании принципов механики». Лейбниц тоже выступил против учения о притяжении на расстоянии, между тем как Даниил Бернулли перешел на сторону ньютонианцев и пытался увлечь за собой Эйлера. Он писал последнему: «Если бог мог сотворить душу, природа которой нам непонятна, то он мог также наделить материю всеобщим притяжением»³. Однако Эйлер отвергнул гипотезу притяжения, признавая ее, правда, как рабочую гипотезу, хотя она «совершенно не согласуется с физикой»⁴.

Борьба между картезианцами и ньютонианцами представляет, независимо от своего исторического значения, особенный интерес потому, что здесь, на пороге нового времени, мы имеем перед собой блестящий пример того, как пагубно для прогресса науки чрезмерное пристрастие к отвлеченным спекуляциям. Декарт поставил физике задачу механического объяснения явлений природы; Ньютон приблизил решение этой задачи тем, что тернистым путем исследования пришел к установлению законов природы, между тем как картезианцы, избравшие легкий путь спекуляции, не получили никаких ценных результатов. Ньютон, отказавшийся от всяких спекулятивных построений и в своем ригоризме приписывавший гипотезе только ничтожное значение, видел верховный постулат научного исследования в том, чтобы отыскивать законы природы в данных опыта, обрывая исследование там, где перед ним ставятся неразрешимые проблемы. Таким путем благодаря Ньютону в физике восторжествовал, вопреки спекулятивному направлению картезианцев, эмпирически-математический метод. Ему именно обязана наука своим быстрым расцветом при преемниках Ньютона.

Решительное выступление Ньютона в пользу правильного метода в эпоху, когда лучшие умы находились еще в плену натурфилософии, образует поворотный пункт в развитии естествознания. Для начала этой новой эры столь же характерны результаты, полученные Ньютоном при помощи именно этого метода.

Благодаря Лейбницу было преобразовано и понятие материи. Лейбниц выступил против взгляда Декарта, будто сущность материи заключается только в протяжении. Недостаточно также, полагал он, прибавить к этому, вместе с позднейшими учеными, свойство непроницаемости, ибо все это только пассивные свойства⁵. Для характеристики сущности материи следует присоединить к протяжению и непроницаемости еще силу. Это активное начало обладает, по Лейбницу, также способностью восприятия. Концепция эта легла в основу лейбницаева учения о монадах. Несмотря на то, что в построениях

¹ Opera omnia; Lausanne 1742, т. 3, стр. 38.

² Diss. de causa gravitatis. Chr. Hugonii op. reliqua, 1728, т. 1, стр. 121, 125.

³ P. H. Fuss, Correspondance math. et physique, St. Petersburg 1843, т. 2, стр. 550.

⁴ Nov. act. Petrop., 1779, т. 3, ч. I, стр. 162.

⁵ Opera philosophica, ed. Erdmann, 1820, стр. 466.

Лейбница главную роль играли метафизические спекуляции, на которых мы не можем здесь останавливаться, он все же определенно заявляет, что для всех процессов материального мира допустимо только чисто механическое объяснение.

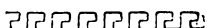
Кроме притяжения ньютонианцы допускали также силу отталкивания, причем они рассматривали обе эти силы как физические силы, хотя для Ньютона они были лишь «*causae mathematicae*». Для объяснения строения упругой жидкости Ньютон выдвинул в «Началах» гипотезу о существующей между частицами силе отталкивания. На основании этого позднейшие физики стали думать, будто отталкивательная сила молекул газа является доказанной Ньютоном физической истиной.

В это время снова стал обсуждаться и вопрос о постоянстве материи. Между тем как положение о неразрушимости вещества не подвергалось серьезному сомнению, несмотря на все испытанные понятием материи перемены, и стало фундаментом зарождавшейся в эту эпоху научной химии, — положение о сохранении энергии, этот основной принцип современной физики, было впервые строго сформулировано только Лейбницем, хотя все его значение было понято лишь значительно позже. Декарт выдвинул положение, что количество движения во вселенной остается постоянным. Гюйгенс, наоборот, в дополнении к теореме о законах удара упругих тел указал на то¹, что количество движения двух тел может при ударе увеличиться или уменьшиться. Постоянной до удара и после него остается только алгебраическая сумма количеств движения. Гюйгенс указал далее, что сумма произведений из масс на квадраты их скоростей остается постоянной до удара и после него. Это была первая ясная формулировка принципа сохранения живых сил. Декарт принимал за меру силы произведение *mv*. Гук пытался уже в 1669 г. показать, что сила движущегося тела пропорциональна квадрату v^2 . Десять лет спустя он высказал следующее положение: «Если какое-нибудь тело, приведенное в движение определенным количеством силы, движется с известной скоростью, то для того чтобы это тело двигалось в два раза скорее, требуется в четыре раза большая сила, а чтобы оно двигалось в три раза скорее, требуется в девять раз большая сила и т. д. Это относится не только к движению пущенных стрел и пуль, но также к колеблющимся телам, к пружинам, к падающим вертикально или наклонно телам, словом — ко всем движениям, если только отвлечься при этом от сопротивления среды».

Эти рассуждения приводят нас снова от голых умозрений к области фактов; впоследствии мы проследим развитие этих, здесь только намеченных зачатков теоретической физики. Пока же мы обратимся к дальнейшим результатам экспериментального исследования, так как только благодаря им возможно было проникнуть в связь явлений природы.

¹ Journal des savants, 1669, стр. 23.

² Th. Birsch, The history of the Royal Society, London 1756, т. 2, стр. 337.



VIII

РАЗРАБОТКА ФИЗИКИ ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ТЕЛ

Первым ученым, специально занимавшимся после возрождения наук механикой жидкостей, был голландец Стевин (Stevin).

Симон Стевин (Стевенс) родился в 1548 г. в Брюгге и занимал должность главного инспектора над гидротехническими сооружениями в Голландии. Он умер в 1620 г. в Лейдене. Стевин и Галилей производили свои исследования независимо друг от друга. Почти в то самое время, когда Галилей заложил основы динамики, «архимедовский, чисто статический метод праздновал свой последний триумф»¹ в работах Стевина. Последний опубликовал свои методы и открытия в вышедшем в 1586 г. сочинении «Принципы равновесия»². После его смерти было издано собрание его сочинений на французском языке³.

Стевин имеет крупные заслуги в разработке статики как твердых, так и жидких тел; он был знаком также с принципом виртуальных перемещений, хотя, в отличие от Галилея, не применял его к жидким телам. Стевин пользовался этим принципом при исследовании блоков и комбинаций блоков (простые блоки, сложные блоки, полиспасты) и нашел, что условия равновесия у них заключаются в том, чтобы произведения из веса грузов на соответствующие пройденные ими пути или — что сводится к тому же самому — скорости были равны на обеих сторонах.

Оригинален способ, каким Стевин получает условия равновесия на наклонной плоскости, а также теорему о параллелограмме сил. Рассуждение его, представляющее не столько строгое доказательство, сколько интуитивное предвосхищение истины, сводится к следующему: Стевин представляет себе, что $\triangle ABC$, имеющий горизонтальное основание, обвит цепью, которая состоит из звеньев одинакового веса (рис. 55) и может двигаться без трения вокруг треугольника. Подобная цепь должна находиться в равновесии, так как в противном случае она должна была бы двигаться непрерывно. Далее, равновесие не нарушится, если убрать обе одинаково тяжелые, симметрические части SL и VK , которые находятся под основанием треуголь-

¹ Rosenberger, Geschichte der Physik, т. 2, стр. 131.

² De Beghinselen der Weegkonst, Leyden 1586.

³ Les oeuvres mathématiques de Simon Stevin, Leyden 1634.

ника. Таким образом меньшая часть цепи, расположенная над BC , уравнивает большую часть ее, расположенную над AB . Но так как звенья цепи обладают одинаковым весом и находятся на одинаковом расстоянии друг от друга, то веса этих частей цепи относятся между собой так, как сторона AB относится к стороне BC . Отсюда следует теорема, что два расположенных на наклонных плоскостях AB и BC груза находятся в равновесии, если они относятся между собою, как длины этих плоскостей.

В том случае, когда BC перпендикулярно к AB , мы получаем простой закон равновесия для наклонной плоскости, согласно которому сила относится к сопротивлению, как высота наклонной плоскости к ее длине.

Рис. 55. Вывод Стевином условий равновесия наклонной плоскости.

Разлагая вес груза, находящегося на наклонной плоскости, на часть, параллельную наклонной плоскости, и другую часть, перпендикулярную к ней, Стевин получил теорему о параллелограмме сил, хотя только в применении к статике. Он сам был настолько поражен результатом своих размышлений и опытов, что воскликнул: «Это чудо и в то же время не чудо!»¹.

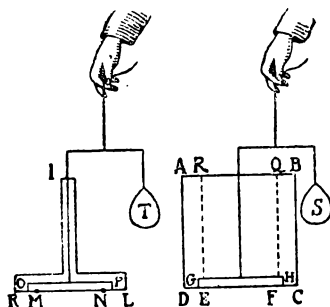


Рис. 56. Доказательство Стевином гидростатического парадокса.

Пусть IRL представляет другой сосуд той же высоты, что и первый, и имеющий отверстие той же величины на дне. Это отверстие тоже закрыто деревянным кружком OP , имеющим такой же вес, как и первый кружок. Опыт показывает в этом случае, что кружки не под-

ОСНОВАНИЕ ГИДРОСТАТИКИ

Величайшая заслуга Стевина заключается в том, что он нашел важнейшие теоремы гидростатики. Так, он доказал так называемый гидростатический парадокс², т. е. теорему, что давление на дно сосуда зависит только от площади дна и высоты столба жидкости, но не зависит от формы сосуда. Стевин доказал это положение при помощи опыта (рис. 56), который он описывает в следующих выражениях: «Пусть $ABCD$ будет наполненный водой сосуд, на дне которого находится круглое отверстие EF , прикрытое деревянным кружком GH .

¹ Wonder en is gheen Wonder.

² Сочинения Стевина, стр. 499, кн. V Статики.

нимаются вверх, а прижимаются к отверстиям, причем они испытывают одинаковое давление. Действительно, для уравнивания давления на кружки надо взять одинаковые грузы T и S , имеющие такой же вес, как водяной столб $ERQF$, расположенный над кружком GH ¹.

Таким образом, замечает Стевин, 1 фунт воды, находящийся в узкой трубке, может оказывать давление в 100 000 фунтов на затвор в широком сосуде. Изобретенный впоследствии гидравлический пресс основывается на этой идее Стевина.

Существование в жидкостях давления вверх Стевин доказал, приложив металлическую пластинку g (рис. 57) к открытой с обеих концов трубке EF и погрузив в воду тот конец ее, к которому была приложена пластинка. Оказалось, что пластинка не отпадает, ибо направленное вверх давление жидкости прижимает ее к трубке².

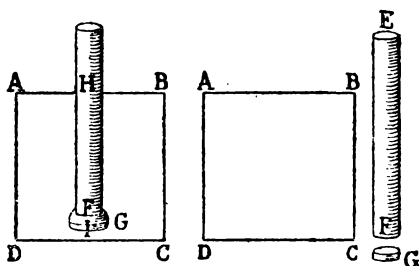


Рис. 57. Доказательство Стевином существования направленного вверх давления.

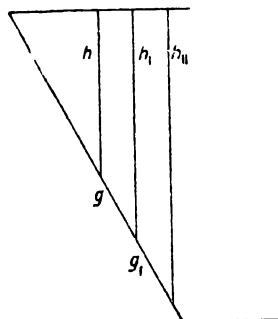


Рис. 58. Определение Стевином бокового давления.

Для определения давления, испытываемого частью стенки наполненного водой сосуда³, Стевин разбивает этот кусок посредством горизонтальных линий на ряд небольших прямоугольников. Самый верхний отрезок (рис. 58) испытывает давление, которое больше давления водяной призмы с основанием g и высотой h , но меньше давления призмы с таким же основанием, но с высотой h_1 . То же самое относится и ко всем остальным прямоугольникам. Складывая эти элементарные давления, Стевин получает одно совокупное давление, которое слишком велико, и другое, которое слишком мало. Обе эти суммы приближаются к одному и тому же пределу, если брать все более узкие полоски.

¹ Сочинения Стевина, стр. 499, фиг. 4.

² Сочинения Стевина, стр. 500, фиг. 2 и 3. Оба опыта, как известно, принадлежат к железному инвентарю современного преподавания физики, которое пользуется еще теми же самыми приборами, какими пользовался Стевин.

³ Сочинения Стевина, Les oeuvres mathématiques de Simon Stevin, изд. Жираром, Лейден 1634. Des éléments hydrostatiques; Théorème IX, стр. 488—491. Относящееся к этому исследованию Стевин опубликовал в 1603 г. (См. Cantor, Geschichte der Mathematik, т. 2, стр. 533).

Наконец, Стевин исследовал еще условия равновесия плавающих тел. Он нашел, что центр тяжести этих тел и центр тяжести вытесняемой ими массы воды расположены на одной вертикали. Равновесие плавающего тела будет, по Стевину, устойчиво лишь в том случае, если его центр тяжести расположен ниже центра тяжести вытесняемой массы воды. И устойчивость эта тем больше, чем ниже лежит центр тяжести тела под центром тяжести вытесненной массы воды.

НАЧАТКИ ГИДРОДИНАМИКИ

Ученики Галилея тоже распространили свои исследования на механику жидкостей и газов. Из них надо назвать прежде всего самого выдающегося ученика Галилея, Торичелли.

Эванджелиста Торичелли (родился в 1608 г. в Фаенце) происходил из знатной семьи. 20-ти лет от роду он отправился в Рим, где стал учеником математика Кастелли (Castelli). Кастелли до того преподавал в Пизе; сделавшись там ревностным приверженцем и другом Галилея, он старался внушить своим собственным ученикам дух и направление великого основателя современного естествознания. На особенно благоприятную почву новые идеи пали у Торичелли. После появления «Собеседований» — основоположного произведения Галилея по механике¹, Торичелли написал по тому же самому вопросу сочинение, в котором он пытался доказать собственным способом некоторые найденные Галилеем законы движения. Сочинение это попало несколько лет спустя в руки великого учителя, в это время совершенно ослепшего, и вызвало у него желание сблизиться с молодым талантливым ученым. Торичелли отправился тогда во Флоренцию и там под руководством Галилея написал продолжение «Собеседований», изданное впоследствии Вивiani². Но совместная работа Галилея и Торичелли продолжалась только несколько месяцев, ибо смерть учителя положила ей конец. Торичелли продолжал работать во Флоренции в духе Галилея, занимая должность своего учителя, пока в 1647 г. его не постигла преждевременная смерть.

Наиболее ценный результат научной деятельности Торичелли заключался в том, что он создал, наряду с основанной Галилеем динамикой твердых тел, динамику жидких тел. Вышедшая в 1644 г. работа Торичелли об истечении жидкостей³ имела основоположное значение для гидродинамики. Торичелли показал, что струя, выходящая сбоку из наполненного жидкостью сосуда, принимает форму параболы. Далее он доказал, что скорость вытекающей жидкости, а значит и количество ее, находится в определенном отношении к высоте столба жидкости, расположенного над отверстием. При высоте столба в четыре раза больше скорость в два раза больше; при высоте столба в девять раз больше скорость в три раза

¹ «Собеседования» Галилея появились в 1638 г.

² Viviani, Della scienza universale delle proporzioni.

³ Opera geometrica, Флоренция 1644, 3 глава: De motu gravium naturaliter descendentium.

больше и т. д., т. е. скорости относятся между собой, как квадратные корни из высот столбов¹.

Так как скорости соответствуют временам истечения жидкости, то из вышеприведенного закона следует, что времена, в которые опорожняются равновеликие сосуды через равновеликие отверстия, относятся между собою, как квадратные корни из высот столбов жидкости, находящихся над отверстиями.

Если отверстие для истечения жидкости находится на горизонтальном дне сосуда, то, согласно Торичелли, количества жидкости, вытекающие в равные времена, убывают в арифметической прогрессии, составленной из нечетных чисел. Так, например, если для истечения всей жидкости требуется 6 сек. и если принять количество жидкости, вытекшей в последнюю секунду, за единицу, то количества жидкости, вытекшие в 5, 4, 3-ю... секунду, будут соответственно 3, 5, 7,...

Торичелли развил дальше также динамику твердых тел. Занимаясь изучением движения брошенных тел, он показал, что дальность полета для угла наклона в $45^\circ + \alpha$ равна дальности полета для углов $45^\circ - \alpha$.

ИЗОБРЕТЕНИЕ РТУТНОГО БАРОМЕТРА

Торичелли особенно прославился изобретением ртутного барометра. Исходя из сделанного Галилеем наблюдения², что вода поднимается в насосе только до известной высоты (10 м), Торичелли занялся исследованием того, на какую высоту поднимается, под влиянием предполагаемой *horror vacui* ртуть, которая приблизительно в 14 раз тяжелее воды. Произведенный Вивiani по поручению Торичелли опыт показал, в полном согласии с предсказанием последнего, что высота подъема ртути во столько раз меньше высоты подъема воды, во сколько раз ее удельный вес больше удельного веса воды. В 1643 г. оба исследователя произвели следующий опыт (рис. 59). Они взяли трубку в два локтя длины, наполнили ее ртутью и опрокинули в сосуд с ртутью, закрыв предварительно открытый конец ее. Когда этот конец был открыт, то ртуть в трубке опустилась до высоты $1\frac{1}{2}$ локтя, оставаясь потом на

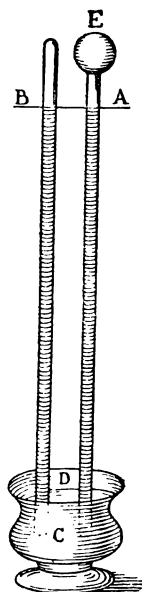


Рис. 59.
Опыт Торичелли³.

$$1 \quad v = \sqrt{2gh}, \quad v_1 = \sqrt{2gh_1}, \quad v : v_1 = \sqrt{h} : \sqrt{h_1}.$$

Торичелли еще не был знаком с формулой $v = \sqrt{2gh}$, которая была дана Иоганном и Даниилом Бернулли. У Торичелли $v = A \cdot \sqrt{h}$, где h означает высоту, а A — некоторую постоянную.

² См. Ostwalds Klassiker, № 11, стр. 17.

³ См. 7-й выпуск серии „Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie u. Erdmagnetismus“, hrsg. von Prof. Dr. G. Hellmann: Evangelista Torricelli, Esperienza dell'Argento Vivo, Berlin, A. Ascher & Co, 1897.

этом уровне. Образовавшаяся при этом над ртутью пустота была названа впоследствии торичеллиевой пустотой. Сам аппарат представляет собой барометр, так как высота ртутного столба соответствует величине атмосферного давления. Наблюдаемые у этого инструмента колебания высоты Торичелли объяснял изменениями атмосферного давления. Но ложное учение об *horror vacui* настолько укоренилось, что оно исчезло из физики только после неотразимо убедительных опытов Паскаля и Герики.

Выше мы уже упоминали об опытах, произведенных *Accademia del Cimento* при помощи барометра, а также об ее опытах над явлениями, наблюдаемыми в пустоте¹.

Только французу Паскалю — гениальной фигуре, составившей себе также крупное имя во французской литературе благодаря своим направленным против иезуитов «*Lettres provinciales*» («Письма провинциала») — удалось путем недопускающего никаких толкований опыта окончательно решить вопрос, поддерживается ли столб жидкости боязнью пустоты или атмосферным давлением.

Паскаль родился в 1623 г. в Клермоне. Вскоре после рождения Паскаля отец его переехал в Париж, где поддерживал отношения с различными выдающимися учеными, как например Робервалем (Robert) и Мерсенном. Эти знакомства дали первый толчок рано пробудившемуся в молодом Паскале математическому дарованию. Рассказывают, будто Паскаль, не зная еще совершенно геометрии, нашел теорему о сумме углов треугольника и будто десяти лет от роду он написал работу о звуке: на это исследование его натолкнуло наблюдение, что звучащий стакан замолкает при прикосновении к нему. Достоверно, во всяком случае, то, что 16-летний Паскаль написал ценную научную работу о конических сечениях, обратившую на себя внимание Декарта.

Особенно значительны заслуги Паскаля в области математики. Слишком напряженная умственная работа подорвала его слабое здоровье еще в молодости. Под конец он впал в религиозную меланхолию и умер в 1662 г. 39 лет от роду.

Благодаря обширной корреспонденции, которую вел Мерсенн, известие об опытах Торичелли достигло Франции². Паскаль повторил этот опыт с ртутью и с водой, которую он вливал в трубки длиной в 40 футов. Вначале он еще придерживался учения о *horror vacui*; но когда во Франции стало известно данное Торичелли объяснение его опытов, то Паскаль быстро принял его, считая однако, что для окончательного признания его требуется еще один решительный эксперимент. Этот опыт Паскаля³ состоял в том, чтобы получить торичеллиевую пустоту несколько раз на день в одной и той же трубке и с одной и той же ртутью, но один раз у подножья какой-нибудь горы, а другой раз на вершине ее, и проверить таким образом, одинакова

¹ Торичелли сообщил о своих опытах сперва Риччи (Ricci) в Риме, который со своей стороны написал об этом Мерсенну.

² На мысль произвести этот опыт натолкнул Паскаля будто бы Декарт.

³ См. стр. 75—76 настоящего тома.

ли в обоих случаях высота заключенной в трубке ртути¹. Действительно, если бы на вершине горы столб ртути был ниже, чем у подножья ее, то отсюда следовало заключить, что ртуть поддерживается атмосферным давлением. «Легко понять, — говорит Паскаль, — что у подножья горы воздух оказывает большее давление, чем на вершине ее, меж тем как нет никаких оснований предполагать, чтобы природа испытывала бо́льшую боязнь пустоты внизу, чем сверху».

Опыт был произведен не самим Паскалем, а его шурином Перье (Périer) на вершине горы Пюи-де-Дом, имеющей 4 300 парижских футов в высоту. Он вполне оправдал ожидания Паскаля. В Клермоне у подножья горы Перье устроил в двух сосудах торичеллиеву пустоту. При этом оказалось, что ртуть в обеих трубках находится на одинаковой высоте в 26 дюймов $3\frac{1}{2}$ линии. После этого, не прерывая опыта, он оставил одну трубку в ее сосуде; он отметил на стекле высоту ртутного столба и поручил одному человеку тщательно и непрерывно следить весь день за тем, не произойдут ли какие-нибудь изменения в показаниях инструмента. Со вторым аппаратом он отправился в сопровождении нескольких лиц на вершину Пюи-де-Дома и произвел там на высоте 500 туазов над Клермоном тот же самый опыт и тем же самым способом, что и у подножья горы. При этом оказалось, что высота ртутного столба равнялась теперь 23 дюймам и 2 линиям, т. е. упала, по сравнению с высотой ее в той же трубке в Клермоне, на 3 дюйма $1\frac{1}{2}$ линии. Этот результат привел в изумление всех окружающих.

Затем Перье произвел при спуске тот же опыт с тем же инструментом уже на высоте 150 туазов над Клермоном. Здесь высота ртутного столба равнялась 25 дюймам. «Это доставило нам, писал Перье, немалое удовлетворение, так как мы увидели, что высота ртутного столба уменьшалась вместе с увеличением высоты места».

По возвращении в Клермон Перье нашел, что высота столба ртути в оставленном им внизу аппарате был такую же, как и в начале опыта, равняясь попрежнему 26 дюймам $3\frac{1}{2}$ линиям. Лицо, оставленное в Клермоне для наблюдения за инструментом, сообщило, что за все время с ним не произошло никаких изменений.

На следующий день Перье предложили произвести тот же самый опыт у основания и на вершине высочайшей башни в Клермоне, чтобы проверить, обнаружится ли в этом случае какая-нибудь разница в высоте ртутного столба. И на этот раз он нашел разницу, — правда, величиной только в несколько линий.

Чтобы доказать, что причиной наблюдавшихся Торичелли явлений служит атмосферное давление, Паскаль, кроме своего эксперимента с подъемом на гору, придумал еще другой опыт. С открытой с двух сторон трубкой *ab* (рис. 60) он соединил U-образно согнутую трубку *cd*. Части *ab* и *cd* были каждая длиной приблизительно

¹ Blaise Pascal, *Récit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs*, Paris 1648. Недавно вышла в виде второго выпуска серии „Neudrucke von Schriften und Karten über Meteorologie und Erdmagnetismus“, изд. проф. Гельманом, Berlin, A. Asches & Co.

в один метр, представляя собой вместе как бы две торичеллиевые трубки, помещенных друг над другом. Трубки были затем наполнены ртутью и погружены концом *a* в ртуть, причем пальцами прикрывали отверстия *a* и *b*. Когда Паскаль открывал затем только отверстие *a*,

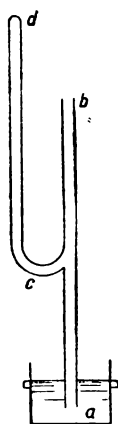


Рис. 60.
Паскалева
форма опыта
Торичелли.

то ртуть в *cd* опускалась в нижнюю часть верхней U-образной трубки, пока в обоих коленях последней она не останавливалась на одном уровне. В то же время ртуть в трубке *ab* опускалась до обычного уровня ртути в барометре, причем, благодаря наружному атмосферному давлению, палец при *b* крепко прижимался к отверстию. Таким путем получалась такая обстановка опыта, точно совершенно избавили верхний барометр от давления наружного воздуха. И, действительно, когда теперь открывали отверстие *b*, то ртуть в верхнем барометре *cd* подымалась до обычного уровня, в то же время совершенно опускалась в трубке *ab*.

Паскаль после этого опубликовал работу, в которой он изложил статику газообразных тел и тел капельно-жидких, подчиняющихся по отношению к давлению тем же законам, что и первые. Работа эта, носящая название «Трактат о равновесии жидкостей»¹, занимает по ясности изложения и убедительности приводимых в ней опытов выдающееся место среди физических сочинений XVII в. Сперва в ней показывается, какая масса повседневных явлений представляет собой результат атмосферного давления. Так, Паскаль сводит к нему всасывание, накачивание, действие банок и т. д., но ошибочным образом и прилипание отшлифованных пластинок. Самая важная сторона работ

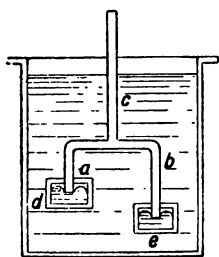


Рис. 61. Паскалев
сифон, начинающий
действовать под
влиянием давления
воды.

Паскаля заключается в установлении им истины, что вызванные атмосферным давлением и давлением какой-нибудь капельной жидкости явления вполне тождественны между собой. В качестве образчика экспериментального метода Паскаля мы приведем его опыт, в котором он при помощи давления воды заставил жидкость вытекать из сифона. Он погрузил вилкообразную, открытую со всех трех концов трубку *abc* с коленами *a* и *b* в сосуды с ртутью, находившиеся под водой (рис. 61). Если сосуд с водой, в которой был погружен весь прибор, был достаточно глубок, то ртуть в коленях *a* и *b* поднималась, пока столбы ее не соединились; с этого момента ртуть, вследствие разницы давления

между выше расположенным сосудом *d* и ниже расположенным сосудом *c*, начинала течь из первого во второй.

Галилей, и в особенности Стевин, заложили новые основы гидростатики; Паскаль независимо от них исследовал с большой прони-

¹ *Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*, Paris 1633. Работа эта была написана уже в 1653 г.

цательностью этот самый вопрос, выдвинув при этом совершенно новые стороны его. Гидростатические исследования Паскаля основывались на том принципе, что в жидкостях давление распространяется равномерно во все стороны. Далее, вслед за Галилеем, он применил к гидростатике принцип виртуальных скоростей или перемещений; но его подход к вопросу представлял серьезный прогресс по сравнению с методом Галилея. Он рассматривал каждую ограниченную твердыми телами жидкость как машину, в которой точно так, как в рычаге и в других простых машинах, силы находятся в равновесии согласно известным отношениям.

Рассмотрим, например, вместе с Паскалем два сообщающихся сосуда, закрытых поршнями. Пусть на поршнях лежат грузы, пропорциональные площадям их. В этом случае наша система находится в равновесии. Действительно, при каждом смещении этой системы производимые в противоположных направлениях работы равны между собою; или, привлекая здесь к рассмотрению механику твердых тел, для которой был впервые установлен принцип виртуальных скоростей, вышеописанный гидростатический прибор вполне аналогичен по способу своего действия неравноплечему рычагу. «Приходится удивляться, пишет Паскаль, тому обстоятельству, что в этой новой машине (именно в жидкости, ограниченной сосудом и двумя подвижными поршнями) действует постоянный закон, имеющий силу для рычага, блока и т. д., именно закон, согласно которому пути обратно пропорциональны силам. Его можно даже считать истинной причиной вышеуказанного действия, ибо, очевидно, одно и то же, пройдут ли 100 фунтов воды 1 дюйм пути или 1 фунт — 100 дюймов пути»¹.

Упомянем еще, что Паскаль, исходя из своего эксперимента с восхождением на гору, предложил пользоваться барометром для измерения высот и что он определил вес всей атмосферы в 8 триллионов фунтов.

После того, как было признано, что атмосферное давление является причиной многочисленных физических явлений, стали сводить к нарушениям равновесия этого давления и движения атмосферы. Торичелли первый пытался объяснить воздушные течения на основании этого физического принципа². Он принимал, что выравнивание давления между областями разреженного и более плотного воздуха происходит путем движения воздуха, ощущаемого нами как ветер. В виде примера он указывал на то, часто встречающееся, в особенности в Италии, явление, что в теплые весенние дни из дверей больших церквей дует холодный ветер. «Находящийся в больших зданиях воздух, — так объясняет Торичелли это явление, — в это время значительно прохладнее и тяжелее, чем окружающий их воздух. Поэтому он вытекает из двери, подобно тому как вытекала бы заключенная в здании вода, если бы внезапно устроили в стене его отверстие».

¹ P a s c a l, Oeuvres, III, стр. 85 — 86.

² В своих академических лекциях (lezioni accademiche), вышедших в 1715 г. во Флоренции, именно в 7-й лекции.

ИЗОБРЕТЕНИЕ ВОЗДУШНОГО НАСОСА

Благодаря опытам, произведенным Гери́ке с помощью изобретенного им воздушного насоса, физикой газообразных тел были достигнуты необычайно крупные успехи. Новое направление в естествознании, выдвигавшее на первый план эксперимент, до Гери́ке имело в Германии мало приверженцев. Даже такой великий человек, как Кеплер, не додумался до того, чтобы с помощью опыта проверить результаты своих размышлений относительно изображения предметов на сетчатке и относительно устройства астрономической трубы. В лице же Гери́ке перед нами выступает первоклассный экспериментатор. Только с этой стороны приходится оценивать Гери́ке, а не со стороны его способностей к разработке теоретических или философских вопросов. В последнем отношении, пожалуй, прав Лейбниц, говоривший, что Гери́ке не следует считать первоклассным исследователем. С другой стороны, однако, Гери́ке последовательностью своего мышления превосходил большинство своих современников. Гери́ке и люди, родственные ему по уму, — а таких в северной Европе вскоре появилось довольно много, — исходя не из расплывчатых идей, но из строгой логики фактов, проложили путь для истинной философии, основывающейся на результатах точной науки. Ввиду этого значения Гери́ке справедливо будет прежде всего остановиться на его биографии, изложение которой, как и жизнеописания Галилея и Кеплера, дает нам возможность судить о культурной жизни XVII столетия.

Отто фон-Гери́ке¹ (родился 20 ноября 1602 г. в Магдебурге) происходил из патрицианской семьи². Он изучал сперва право, а затем занимался математикой, механикой и фортификацией. После этого он предпринял путешествие в Англию и Францию. Получив эту подготовку, Гери́ке вступил в «коллегию советников» своего родного города. События тридцатилетней войны отразились тяжело и на жизни Гери́ке. Когда орды Тилли в 1631 г. ворвались в Магдебург, Гери́ке и его семье еле удалось спасти жизнь. Познания Гери́ке в инженерных науках открыли перед ним новое поле деятельности. Так, после падения Магдебурга он был в разных немецких городах руководителем при возведении укреплений, в постройке которых в ту эпоху видели главную задачу техники. Хорошая сторона этой работы заключалась в том, что благодаря ей Гери́ке решил применить средства инженерной механики к решению научных задач. К сожалению, нам известно мало достоверного о постепенном развитии экспериментальных исследований Гери́ке; мы не имеем точных сведений даже о том, в каком году он изобрел воздушный насос³. Окончательной формой изобретенного Гери́ке воздушного насоса надо считать ту, которую он описал в своем сочинении (см. рис. 62).

¹ Подробная биография дана Гофманом (F. W. Hoffmann) под названием: O. v. Guericke, ein Lebensbild aus der Geschichte des 17. Jahrhunderts.

² Умер он 11 мая 1686 г. в Гамбурге.

³ См. соответствующие статьи Г. Бертольда в „Annalen der Physik und Chemie“, т. 20, 1883; т. 54, 1895, также в „Трудах Стокгольмской академии наук“ 1895, № 1.

Впоследствии Герику вернулся в Магдебург, чтобы принять участие в отстройке заново города. Под его руководством были вновь восстановлены укрепления и мост через Эльбу, разрушенный императорскими войсками. Для Герики наступила затем пора спокойной жизни до тех пор, пока он не был выбран в бургомистры и не оказался обремененным разными делами. Так, мы встречаем его в качестве представителя интересов Магдебурга на мирной конференции в Оснабрюке, затем при венском дворе и на императорском сейме в Регенсбурге. Здесь он демонстрировал перед императором и собравшимися чинами свой воздушный насос (в 1654 г.), а также знаменитый опыт с магдебургскими полушариями.

Принимая во внимание, что опыты Герику требовали многолетних трудов и значительных издержек, — по расчету сына Герики, сумма их достигала 20 000 талеров, — можно с большой вероятностью предположить, что эти опыты относятся к десятилетию 1635—1645.

Первое печатное сообщение о воздушном насосе и опытах, которые произвел с ним Герику, принадлежит вюрцбургскому профессору Каспару Шотту (Schott). Этот последний воспроизводил опыты Герики по поручению своего государя, но он не сумел отделаться от учения о боязни пустоты, с которым столь энергично боролся Герику.

Каспар Шотт родился в 1608 г., недалеко от Вюрцбурга, в котором умер в 1666 г., состоя профессором физики и математики. Он принадлежал к господствовавшей тогда в Германии старой школе физиков, которые не могли вырваться из плена филологической и философской эрудиции и не были в состоянии ступить на открытый Галилеем путь индуктивного изучения природы. К тому же Шотт и его единомышленники были сильно связаны религиозными догматами. В каждом новом открытии они чуяли опасность для господствующей философии и церкви. Шотт тоже ожесточенно выступал против представителей нового естествознания, которых он насмешливо называл «*neotericos philosophastros*»¹ и которых он упрекал в том, что из так называемого пустого пространства они хотят вывести многое, нелепое с точки зрения философии и опасное с точки зрения религиозной ортодоксии. Несмотря на это Шотту принадлежит известная заслуга в деле возрождения естествознания в Германии, потому что он, подобно Мерсенну во Франции, находился в переписке с многочисленными исследователями, содействуя этим быстрому распространению новых наблюдений и открытий, подымал разные проблемы и спорные вопросы. Благодаря ему же тогдашние ученые получили первые сведения об открытиях и изобретениях Герики. Сообщил он об этом в своей вышедшей в 1657 г. «Механике жидкостей и газов» (*Mechanica hydraulico-pneumatica*). Свою книгу о магдебургских опытах Шотт опубликовал по предложению Иоганна Филиппа Майнцского (бывшего также епископом вюрцбургским), который в 1654 г. видел опыты Герики в Регенсбурге. О том, какое изумление вызывали тогда эти новые, теперь кажущиеся чем-то обыденным явления, свидетельствует предисловие Шотта к его вышедшим несколько лет спустя

¹ *Mechanica hydraulico-pneumatica* 307.

«Техническим достопримечательностям» (*Technica curiosa*, 1664). Шотт говорит здесь о магдебургских чудесах следующее: «Я, не колеблясь, заявляю, что в этой области никогда не видел ничего более поразительного. И я думаю, что под солнцем никогда еще с сотворения мира не наблюдалось ничего подобного, а тем менее что-нибудь более удивительное».

Хотя Герику первоначально не имел намерения писать о своих открытиях и изобретениях, но возникшие в связи с ними споры заставили его все-таки взяться за перо. Так возникло законченное уже в 1663 г., но опубликованное лишь в 1672 г. обширное сочинение «О пустом пространстве»¹. Важнейшую часть его составляет третья книга под заглавием «О собственных опытах». Это — одна из самых важных и поучительных старых монографий на тему из области физики².

Под влиянием философских споров о пустом пространстве у Герику возникло желание ответить на вопрос о возможности пустого пространства при помощи опытов, ибо умение спорить не имеет никакого значения в области естествознания³. Из рассказа Герику мы узнаем о его стараниях произвести пустоту в бочке⁴. Наполненная водой бочка была хорошо просмолена, так что в нее не мог проникнуть воздух. В нижней части бочки был проведен латунный насос для выкачивания из нее воды. Вода, рассуждал Герику, должна под действием собственной тяжести опуститься вниз, оставив над собою пустое пространство. В насосе Герику устроил два клапана; через первый из них вода входила из бочки в насос, через второй вытекала наружу.

Но все усилия получить в бочке безвоздушное пространство потерпели неудачу из-за пористости дерева. Опыт окончился неудачей даже тогда, когда Герику, желая помешать проникновению воздуха, поместил бочку в другой, большего размера сосуд, наполненный водой. Воду удалось извлечь из меньшей бочки, но через некоторое время последняя, к изумлению всех зрителей, оказалась наполненной отчасти водой, отчасти воздухом, которые проникли через поры дерева.

Поняв, что пористость дерева является причиной неудачи опыта, Герику решил взять для него медный шар, который он соединил с насосом, как и в предшествовавших опытах. Сначала поршень двигался легко в насосе, но затем это стало труднее и труднее. В тот момент, когда Герику думал уже, что он выкачал почти весь воздух, металлический шар, ко всеобщему ужасу, внезапно лопнул с громким треском. Герику приписал это тому обстоятельству, что на шаре имелось плоское место, которое не в состоянии было выдержать давления окружающего воздуха. Когда был изготовлен совершенно круглый шар, то опыт удался. Доказательством того, что в шаре

¹ *Ottonis de Guericke, Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio*, Amsterdam 1672.

² Переведено с латинского на немецкий и снабжено примечаниями Фр. Даннемана (*Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften*, т. 59).

Несколько важных глав из книги „О собственных опытах“ с соответствующими объяснениями составляют XVII главу работы Даннемана: *Aus der Werkstatt grosser Forscher*, Leipzig, W. Engellmann, 1908.

³ Из первой страницы предисловия к книге Герику.

⁴ *Ostwalds Klassiker* № 59, стр. 11.

было теперь безвоздушное пространство, служил тот факт, что из наружного клапана насоса не выходил наконец воздух.

Когда открыли затем кран шара, то воздух врывался в него с огромной силой. При приближении лица к крану захватывало дыхание; нельзя было даже держать руку над краном, ибо ее притягивало к нему с большой силой.

После столь блестяще удавшегося опыта Герики изготовил улучшенный воздушный насос, имевший следующее устройство (рис. 62)¹. К полу был привинчен крепко треножник. Между ножками его на надлежащей высоте был помещен цилиндр насоса, поршень которого приводился в движение рычагом *wi*. Верхняя, имевшая форму крышки часть воздушного насоса изображена на фиг. IV. В ней имеется трубка *n*, в которую входит кран колокола насоса. Под этой трубкой находится кожаный клапан, открывающийся при движении поршня вниз и впускающий воздух из колокола в цилиндр насоса. Через наружный клапан *z* (фиг. IV) воздух выходит при движении поршня вверх. Воронкообразный сосуд *xx* после соединения и законопачения всех частей его наполняется водой, чтобы по возможности помешать обратному проникновению воздуха. По тем же соображениям нижний конец цилиндра насоса погружается в сосуд с водой (фиг. VI).

Герики вскоре убедились, что воздух переходит из колокола в цилиндр насоса не под действием своей тяжести, как это он предполагал первоначально, а благодаря своей упругости. Так как к концу операции сила упругости не была уже настолько велика, чтобы приводить в движение клапан под трубкой *n*, то Герики приделал еще трубочку *m* с небольшим поршнем, который позволял приводить в движение клапан, независимо от упругости воздуха.

ИЗОБРЕТЕНИЕ ВОДЯНОГО БАРОМЕТРА

Когда Герики впускал однажды при помощи трубки воду в безвоздушный колокол из чана, стоявшего на полу комнаты, ему пришла в голову мысль исследовать, на какое расстояние можно удалить при этом опыте колокол от чана. С этой целью он удлинил трубку, так что она доходила от второго этажа его дома через окно до земли на дворе. Поставив затем под нее сосуд с водою, он открыл колокол.

¹ Один из изготовленных Герики воздушных насосов находится теперь, вместе с его магдебургскими полушариями, в „Немецком музее шедевров естествознания и техники“ в Мюнхене. Время изобретения воздушного насоса относят — трудно сказать, правильно ли — к 1647 — 1649 или к 1651 — 1652 гг. См. F. Poske, Zum Gedächtnis Otto von Guerickes, Verhandl. d. Deutschen physikal. Gesellsch., IV, 1902, № 16.

Другой воздушный насос попал в 1676 г. в Стокгольм, где в течение ряда десятилетий служил для производства опытов. Последний раз о нем упоминается в 1734 г. Предпринятые в новейшее время поиски этого изготовленного Герики воздушного насоса остались первоначально безрезультатными (Berthold в „Poggend. Annalen“, 1895, 726). Но недавно (1917) он нашелся в коллекциях Лундского университета. О сохранившихся еще воздушных насосах и вспомогательных аппаратах Герики, а также о первых английских и голландских воздушных насосах см. „Bericht über die Anstellung wissenschaftlicher Apparate im South Kensington Museum“, Berlin 1877, стр. 158 и сл.).

Вода, несмотря на свою тяжесть, поднялась в лишенный воздуха сосуд. Когда Герики повторил этот опыт, взяв более длинную трубку, то вода добралась даже до третьего этажа. Лишь после того, как

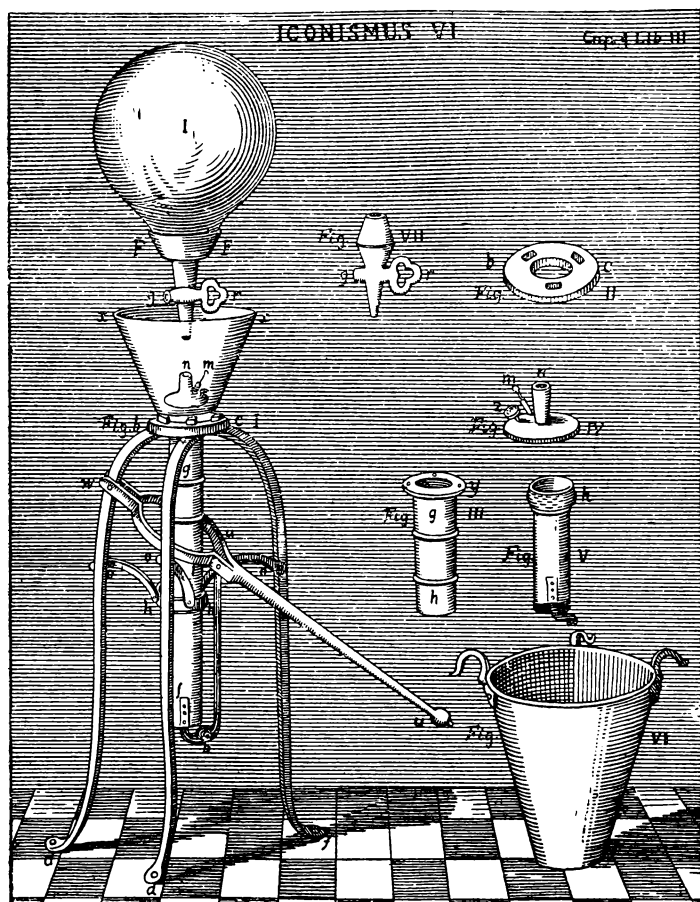


Рис. 62. Воздушный насос Герики. (Воспроизведено с 6-й таблицы „магдебургских опытов“.)

Герики поместился со своим колоколом на четвертом этаже, он заметил, что вода уже не проникает более в сосуд, а остается на некотором уровне в трубке.

На рис. 63, передающем X таблицу книги Герики, на правой стороне его находится водяной барометр; *mn* — это чан, *i* — колокол, *bg* — трубка, состоящая из четырех частей. В верхнем конце каждой из этих частей находилось чашеобразное расширение, в которое вливалась после соединения частей вода для лучшего предотвращения проникновения воздуха. Части трубки были сделаны из латуни, так что нельзя было точно установить высоту подъема воды. Поэтому

в том месте, где по предположению находилась вода, пришлось вставить стеклянную трубку, пригнав ее хорошо замазкой, и повторить

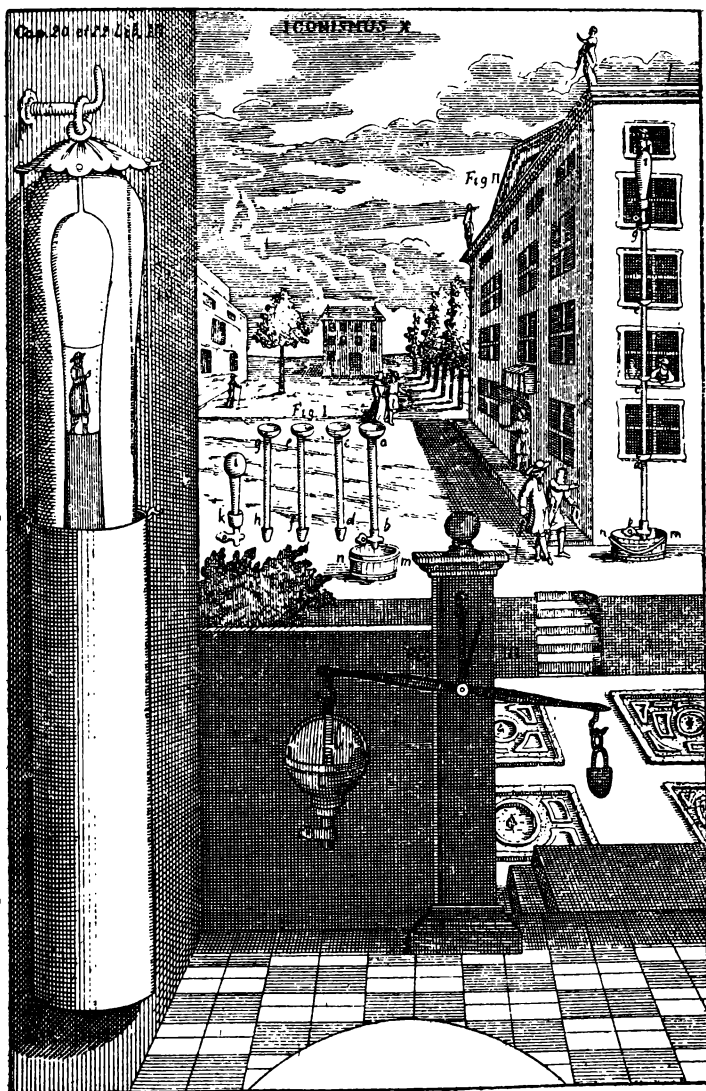


Рис. 63. Водяной барометр Герике. (Воспроизведено с 10-й таблицы „магдебургских опытов“.)

опыт снова. Когда Герике открыл теперь кран колокола, то он заметил, как вода проникла в стеклянную трубку и колебалась в ней некоторое время вверх и вниз, пока, наконец, она не пришла в покой. Теперь можно было точно установить место, до которого поднялась

вода. Герике отметил это место и опустил от него отвес до земли на дворе. Оказалось, что длина отвеса равна приблизительно 19 магдебургским локтям.

Продолжая свои наблюдения над этим инструментом, Герике скоро заметил колебания в высоте водяного столба. Вода стояла иногда на несколько ладоней выше обычного уровня, иногда же на несколько ладоней ниже. Чтобы лучше изучить эти колебания, Герике поместил в трубку деревянную фигурку, поднимающуюся и опускающуюся вместе с водой; кроме того, он провел на трубке шкалу с делениями, показывавшую положение фигурки (рис. 63). Из этих колебаний, — относительно которых Паскаль показал, что они имеют место в значительно более крупном масштабе с изменением высоты места наблюдения (см. выше, стр. 163), — оба исследователя сделали тот вывод, что подъем жидкостей вызывается не боязнью пустоты, а внешней причиной, именно атмосферным давлением. «Если бы подъем воды, — рассуждал Герике, — вызывался боязнью пустого пространства, то вода должна была бы либо следовать за пустотой до какой угодно высоты, либо же оставаться всегда на одном и том же уровне. Изменение уровня воды является вернейшим доказательством того, что не только подъем ее, но и колебание ее высоты зависят от некоторой внешней причины. Таким образом высота водяного столба зависит не от испытываемой природой боязни перед пустым пространством, а от равновесия между давлением водяного столба и атмосферным давлением».

От внимания Герике, далее, не ускользнул тот факт, что существует известная связь между открытыми им колебаниями водяного столба и метеорологическими явлениями. Об одном своем предсказании погоды он рассказывает следующее: «Когда в прошлом году разразилась памятная буря, то я определенно заметил особенное, необыкновенное изменение в воздухе. Воздух стал столь легким по сравнению с обычным его состоянием, что палец человека в стеклянной трубке опустился до самого нижнего деления на ней. Когда я увидел это, то я сообщил окружающим, что, несомненно, где-то разразилась гроза. И не прошло и двух часов, как в нашей местности уже свирепствовал ураган».

ВЗВЕШИВАНИЕ ВОЗДУХА И ОПЫТЫ В ПУСТОТЕ

Вслед за этим Герике взвесил определенное количество воздуха, установив разницу в весе между сосудом, наполненным воздухом, и пустым сосудом¹. Об исключительном даре наблюдательности Герике свидетельствует тот факт, что от его внимания не ускользнули даже незначительные колебания в весе эвакуированного сосуда, вызываемые колебаниями в потере веса сосуда в воздухе. Третий рисунок его X таблицы поясняет опыт, относящийся к этим колебаниям². Сосуд *L*, из которого выкачали воздух, уравнивался металлическим

¹ Магдебургские опыты, гл. XXII. См. т. 59 оствальдовской серии классиков, стр. 66.

² См. стр. 171.

телом значительно меньшего объема. Наблюдая довольно долго положение прибора, Герики нашел, что сосуд устанавливался то выше, то ниже. В связи с этим он замечает совершенно правильно, что, если бы погрузить весь прибор в воду, то сосуд в этой, более плотной среде должен был бы казаться гораздо легче и подниматься довольно высоко. Его опыт доказывал, следовательно, что явление, известное под именем потери веса и изученное уже Архимедом в случае жидкости, имеет место также и в газообразных средах.

Исходя из установленного им факта, что воздух производит то же самое давление, что и водяной столб вышиной в 19 магдебургских локтей (10 м), Герики показал¹, как можно вычислить давление любого цилиндрического столба воздуха. В том случае, когда диаметр цилиндра равняется $\frac{2}{3}$ локтя, давление соответствующего столба воздуха равняется 2687 фунтам. Чтобы показать наглядно это огромное давление, Герики поступил следующим образом: он изготовил два медных полушария диаметром приблизительно в $\frac{2}{3}$ магдебургских локтя, так что они вполне подходили друг к другу. Одно из этих полушарий было снабжено клапаном, через который можно было выкачать воздух из шара. К полушариям, далее, были приведены железные кольца, в которые можно было впрячь лошадей. Наконец, Герики изготовил кожаное кольцо, хорошо пропитанное воском и растительным маслом, так что оно не пропускало совершенно воздуха.

После того как между полушариями поместили кожаное кольцо, их положили друг на друга и затем быстро выкачали воздух из них. Благодаря давлению наружного воздуха оба полушария были прижаты друг к другу с такой силой, что 16 лошадей только с трудом могли оторвать их друг от друга. Когда же открыли кран и впустили таким образом воздух, то полушария можно было отделить друг от друга просто руками.

Почти все опыты с воздушным насосом, показываемые теперь при преподавании физики, принадлежат Герики. Так, он доказал, что звук не распространяется в пустоте, а свет беспрепятственно передается через нее. Животные умирали в лишенном воздуха сосуде спустя короткое время. Рыбы с закрытым со всех сторон пузырем сильно распухали вследствие расширения находящегося в нем воздуха; у рыб же, у которых пузырь имеет выход в рот, заключенный в пузыре воздух по той же причине частично выходил. Герики, далее, показал, что огонь гаснет в пустом пространстве. Он подтвердил также наблюдение, что при сгорании исчезает часть воздуха. Свеча, горевшая в закрытом сосуде, погасла после того, как была израсходована часть воздуха². Рассуждения Герики по поводу этого опыта показывают всю ясность его мысли. Прежде всего он ставит вопрос, почему свеча потухает до того, как потребляется весь воздух. Причину этого он находит в том, что воздух засоряется продуктами горения. Другой вопрос — уничтожается ли совершенно часть воздуха, потребленная огнем, или превращается лишь в другое вещество — Герики разрешает

¹ См. Ostwalds Klassiker № 59, стр. 66.

² Ostwalds Klassiker № 59 стр. 45.

в последнем смысле; но это новое вещество так тонко, что его никак нельзя обнаружить. О причине атмосферного давления Гери́ке говорит следующее: «Некоторые ученые считают его причиною доходящие до нас со всех сторон лучи звезд. Но если бы это было так, то земной шар должен был бы тоже испытывать это давление и оказывать ему сопротивление. Однако, когда два тела давят друг на друга, то помещенный между ними предмет испытывает с обеих сторон одинаковое давление. Отсюда с необходимостью следует, что верхние слои атмосферы испытывали бы такое же давление, как и нижние части ее, а это опровергается опытами».

«Так как нижние слои воздуха сжимаются сильнее, чем верхние, — причем эта разница наблюдается не только на высоких горах, но даже и на башнях¹, — то отсюда следует, что воздух простирается недалеко от поверхности земли и что высота его, по сравнению с огромными расстояниями звезд, ничтожна».

Чтобы исследовать условия распространения звука в пустоте, Берти (Berti) придумал в Риме в 1647 г. прибор, имевший большое сходство с водяным барометром Гери́ке. Берти изготовил у себя дома трубку в сто футов длины. Верхний конец ее он соединил герметически плотно с сосудом, в котором находился часовой механизм. Весь прибор наполнялся водой через находившееся сверху отверстие, которое затем запиралось герметически плотно. После этого открывали нижний конец трубки, погруженный в воду: вода опускалась, и в сосуде получалось пустое пространство. Несмотря на это, часовой механизм, приводившийся в движение магнитом, издавал звук. Отсюда Берти (а также Шотт, сообщающий об этом опыте) сделал вывод о невозможности пустого пространства. Однако Гери́ке, а за ним Бойль (Boyle) показали, что если устранить все источники погрешностей, то можно так эвакуировать сосуды, что звук в них совершенно не распространяется или распространяется едва лишь слышно². Так, Гери́ке подвесил часовой механизм на нити, чтобы по возможности помешать звуку распространяться через твердое вещество сосуда.

С торичеллиевым методом получения пустоты над ртутью Гери́ке познакомился лишь в 1654 г. на Регенсбургском сейме³. Гери́ке принадлежат также заслуги в учениях об электричестве, теплоте и в механике; но об этом речь будет в другом месте.

ОТКРЫТИЕ ЗАКОНА БОЙЛЬ-МАРИОТТА

Когда в Англию дошли сведения об изобретении Гери́ке, то Бойль изготовил воздушный насос, превосходивший во многих отношениях прибор Гери́ке. В 1660 г. Бойль выпустил свои «Новые

¹ Паскаль сделал этот вывод на основании уменьшения ртутного столба барометра (см. стр. 163 настоящего тома). Гери́ке закрыл сосуд у основания колокольни и поднялся с ним на вершину ее. Когда здесь открыли кран сосуда, то воздух стал выходить из него; наоборот, когда сосуд закрывали на вершине колокольни и снова открывали у основания ее, то воздух начинал входить в него. Guericke, De vacuo spatio, кн. III, гл. 30.

² Ostwalds Klassiker № 59, гл. XV.

³ Ostwalds Klassiker № 59, стр. 108.

опыты»¹, которые отчасти совпадали с «магдебургскими» опытами, отчасти были действительно «новыми». Упомянем сделанное Бойлем наблюдение, что согретая вода закипает в пустоте. Этим была установлена зависимость точки кипения жидкости от давления, под которым она находится.

Бойль же первый установил простую закономерность между объемом газа и производимым на него давлением. При помощи ртути он заключил 12 кубических дюймов воздуха в меньшее колено U-образной трубки (рис. 64)². По мере того как наливали ртуть в открытое длинное колено трубки, объем заключенного воздуха становился все меньше. При давлении в 2 атмосферы воздух занимал только 6 куб. дюймов, при давлении в 3 атмосферы — 4 куб. дюйма (т. е. $\frac{1}{3}$ первоначального объема), или, как выражался Бойль, воздух сгущался пропорционально сдавливавшей его силе.

Этот основной закон аэромеханики³ был спустя довольно долгое время открыт самостоятельно французом Мариоттом (Mariotte) (1620—1684), формулировавшим его яснее, чем Бойль. Превосходное изложение своего открытия Мариотт дал в «Опыте о природе воздуха»⁴. Мариотт погрузил барометр в достаточно глубокий сосуд с прозрачной водой и заметил, что водяной столб в 14 дюймов высоты вызывал подъем ртути на 1 дюйм. «Это объясняется, очевидно, тем, — говорит Мариотт, — что удельный вес ртути в 14 раз больше удельного веса воды». Если же высота ртути в барометре равна 28 дюймам, то отсюда следует, что этот ртутный столб весит столько, сколько весит воздушный столб с тем же основанием, простирающийся от поверхности ртути в сосуде до крайних пределов атмосферы.

Другое свойство воздуха заключается в том, что его можно до чрезвычайности сгущать и разрежать, причем он всегда производит давление, благодаря которому он отталкивает или стремится отталкивать тела, в которые он заключен. В то время как большинство других упругих сил постепенно убывает, это никогда не замечается относительно упругости воздуха. Так, например, давно заряженные духовые ружья дают в точности такой же эффект, как если бы они были заряжены лишь только что. При помощи U-образной трубки Мариотт показал, подобно Бойлю, что воздух сгущается пропорцио-

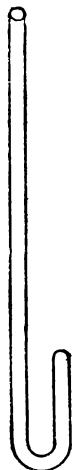


Рис. 64. Опыт Бойля для установления закона, связывающего объем газа с производимым на него давлением¹.

¹ New experiments, Physico-Mechanical, touching the Spring of the Air and its Effects made in the most part in a new pneumatical engine, Oxford 1660. Год спустя появился латинский перевод этой работы под названием: „Nova experimenta de vi aeris elastica“.

² R. Boyle, Opera varia, Genevae 1680, стр. 38, фиг. 5.

³ Закон этот сообщен Бойлем в его сочинении, написанном против Лина, Defensio contra Linum, London 1662, Cap. V. Opera Varia. Женева, 1680, стр. 42 и сл.

⁴ Mariotte, Essai sur la nature de l'air, 1679. Важнейшие главы имеются у Даннемана: Aus der Werkstatt grosser Forscher, стр. 104 и сл.

нально оказываемому на него давлению. Он указал так же на то, что для удаchi опыта необходимо, чтобы меньшее колено трубки имело повсюду одинаковую ширину, чего не требуется для более длинного колена.

Мариотт доказал также, что закон об обратной пропорциональности между объемом воздуха и производимым на него давлением имеет место и в случае уменьшения давления; для этого он поступил следующим образом. Он заключил в барометрическую трубку ртуть и воздух и произвел торичеллиев опыт. Ртуть тогда опустилась. «При опущении ртути, — говорит Мариотт, — находящийся внутри трубки воздух расширяется. Вследствие этого его упругость становится меньше. Часть ртути остается в трубке, причем высота ее зависит от плотности заключенного воздуха. Устанавливается состояние равновесия между атмосферным давлением, с одной стороны, и давлением ртути плюс напряжение заключенного в трубке воздуха — с другой». Если признать закон об обратной пропорциональности между объемом воздуха и производимым на него давлением, то, — умозаключал правильно Мариотт при одном опыте, при котором высота ртути в трубке равнялась 14 дюймам, — заключенный в трубке воздух должен занимать двойное пространство по сравнению с прежним своим объемом (предполагая, что высота безвоздушного ртутного барометра в это время равняется 28 дюймам).

Для доказательства этого Мариотт произвел следующий опыт. Он взял трубку в 40 дюймов длины и налил в нее $27\frac{1}{2}$ дюймов ртути, так что в ней находилось $12\frac{1}{2}$ дюймов воздуха. Когда, опрокинув трубку, он погрузил ее на 1 дюйм в ртуть сосуда и отнял палец, которым прикрывал открытый конец ее, то ртуть опустилась и после некоторых колебаний остановилась на высоте в 14 дюймов. Заключенный в трубке воздух занимал теперь объем в 25^1 куб. дюймов, т. е. удвоил свой объем, ибо до начала опыта в трубке было $12\frac{1}{2}$ куб. дюймов воздуха. Таким образом при уменьшении давления в два раза объем воздуха удвоился.

Мысль о барометре-анероиде встречается впервые у Лейбница. Лейбниц писал: «Я думаю, что можно изготовить барометр без ртути, аналогичный хорошо закрытым раздувальным мехам или насосу»¹. В одном письме Лейбница к Иоганну Бернулли мы находим следующие рассуждения по этому вопросу: «Я размышлял иногда о переносном барометре, который можно было бы заключить в небольшой футляр подобно часам. При этом надо будет применять не ртуть, но нечто вроде раздувальных мехов, которые тяжесть воздуха будет стремиться сдавить, в то время как они будут оказывать этому сопротивление благодаря упругой пружине». Практическое осуществление эта мысль нашла только в середине XIX в.³

¹ $25 = 40 - 1 - 14$.

² Leibnizens und Huygens-Briefwechsel mit Papin. Herausgegeben von Gerland, Berlin 1881, стр. 222.

³ Благодаря стараниям Види (Vidi). „Poggendorfs Annalen“, 1848, т. 73, стр. 620.



IX

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ИАТРОХИМИИ И ОСНОВАНИЕ НАУЧНОЙ ХИМИИ БОЙЛЕМ

От эпохи, обратившейся с такой энергией и таким успехом, как XVII в., к экспериментальному исследованию, можно было ожидать, что и химия обогатится рядом важных открытий, хотя эта наука и значительно позже достигла того уровня, до которого дошла благодаря Галилею и его современникам ее старшая сестра — физика.

НОВЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИИ

Мы покинули химию на том моменте ее развития, когда произошло существенное изменение во всем ее направлении. В течение XVI в. ее прежняя цель — отыскание философского камня для изготовления с его помощью золота — отступила на задний план перед задачей изготовления препаратов для лечения болезней. Это известное под именем иатрохимии направление химии достигло своего кульминационного пункта в работах ван-Гельмонта (van Helmont). Иатрохимия была основана Парацельсом, с жизнью и деятельностью которого мы уже раньше познакомились¹. Парацельс непомерно превозносил целебные действия неорганических соединений, между тем как Либавий (Libavius), о котором мы будем говорить в этой главе, как и о ван-Гельмонте, занимал промежуточное между ними и алхимиками положение. Хотя эти исследователи указали химии новые цели, но одной ногой они все стояли еще на почве алхимических воззрений.

Иоганн-Баптист ван-Гельмонт происходил из знатного рода. Он родился в 1577 г. в Брюсселе² и сперва посвятил себя геологии, но так как она его не удовлетворяла, то он обратился к медицине. Однако и здесь он не мог примириться с традиционными, восходящими еще к Галену догматами; выход из этих противоречий дал ему новое, созданное на химической основе, учение Парацельса. Ван-Гельмонт отказался от блестящей карьеры, которую ему сулило его происхождение. Он предпочел посвятить себя в тиши своей лаборатории целиком науке.

¹ См. т. 1.

² Там же он умер в 1644 г.

Особенной заслугой ван-Гельмонта считают то, что он первый указал на различие между воздухообразными телами и ввел понятие и название «газ»¹. До него считали по существу тождественными, несмотря на все их огромные различия, водород, двуокись серы, углекислый газ и атмосферный воздух. Особенно тщательно ван-Гельмонт изучил углекислый газ. Он показал, что этот газ можно получить из известняка и поташа, обливая их кислотами, и что он тождественен с продуктом сгорания угля. Ему было также известно, что углекислый газ находится в минеральных водах и возникает при брожении².

У ван-Гельмонта встречается также уже мысль о том, что в химии нет ни возникновения, ни уничтожения в собственном смысле слова. Так, он учил, что медь, выделяющаяся из синего купороса от прибавления к нему железа, не возникает здесь наново. Точно так же серебро, по его взглядам, сохраняется в своих солях. Несмотря на это, ван-Гельмонта очень интересовала основная проблема алхимии, значение которой даже выросло благодаря авторитету ван-Гельмонта.

Чтобы получить философский камень, *Materia prima*, алхимики варили, плавили и смешивали все вещества, на которые только они наталкивались. По словам выдающегося историка алхимии³, «было испробовано все, что встречается на земле, что скрыто в глубинах ее и что падает на нее». Алхимики исследовали также соки растений и выделения животных, как молоко, слюна, экскременты и моча. Хотя таким образом не удалось найти *Materia prima*, но зато были сделаны многие ценные наблюдения, а, главное, в центр человеческой практики и теории было поставлено изучение природы. Ведь раньше мистически-религиозные представления имели такую силу, что всякое занятие физическими явлениями считалось греховным делом и во всяком случае чем-то низменным. Хотя экспериментальному исследованию не хватало еще средств и правильных методов, но все же была расчищена почва для более высокой, подлинно научной работы и был сделан, хотя и случайным образом, ряд важных открытий. Так неутомимая обработка алхимиками путем согревания, накаливания и дистиллирования всевозможных веществ, которые должны были дать необходимую для получения золота *Materia prima*, привела в XVII в. к открытию гамбургским купцом Брандом⁴ (Brand) фосфора. Бранд в своих опытах исходил из мысли, что находящаяся в организме и производящая такие чудеса жизненная сила должна быть в состоянии превращать металлы. Поэтому он подвергал сухой перегонке получавшийся при выпаривании мочи остаток. При этом содержащиеся фосфор соединения мочи восстанавливались благодаря заключенному

¹ Очень подробно излагает историю названия „газ“ фон-Липпманн во втором томе своих „Статей и речей“ (v. Lippmann, Abhandlungen u. Vorträge, Leipzig 1913, стр. 361--394).

² Сочинения ван-Гельмонта издал в 1648 г. его сын под названием „*Ortus medicinae vel opera et opuscula omnia*“.

³ Н. Kopf, Die Alchemie in älterer und neuerer Zeit, Heidelberg 1886, т. 1, стр. 8.

⁴ Leibniz, Historia inventionis phosphori, Miscellanea Berolinensia, 1710, т. 1, стр. 91.

в органической материи углероду. Полученный таким образом¹ в 1669 г. элемент фосфор вызвал своими поразительными свойствами огромную сенсацию.

Большой интерес представляет также отношение к современным ему алхимическим воззрениям философа Лейбница, написавшего обстоятельную работу об открытии фосфора². Когда Лейбниц учился в Альтдорфе, он был членом нюрнбергского герметического общества. Но его отношение к преувеличенным ожиданиям алхимиков ясно из следующего отрывка, написанного характерным для тогдашних немецких ученых жаргоном.

«Лаборанты, шарлатаны, фокусники, алхимики и прочие бродяги — это обыкновенно люди большого *Ingenio*, а также и опыта; но только *disproportio ingenii et indicii*, а также то, что они тешатся пустыми надеждами, доводит их до гибели и делает из них всеобщее посмешище. На деле же такой человек знает иногда из опыта и наблюдения природы больше фактов, чем иной уважаемый в свете ученый, который умеет украшать свою вычитанную из книг эрудицию элоквенцией и другими поэтическими штучками, ловко используя ее, между тем как первый благодаря своим чудачествам становится ненавистным или презренным в глазах всех. Но мудрый правитель в благоустроенном государстве не должен обращать на это внимания, а должен пользоваться такими людьми, давая им определенное регулярное амплуа или работу и избавляя таким образом их и их талант от гибели» (Klorp, *Die Werke von Leibniz*, т. 1, стр. 143).

Король Фридрих I Прусский имел тоже своего алхимика, графа Каetano, итальянца, обещавшего ему изготовить в несколько недель на шесть миллионов талеров золота. Но когда надежды короля не оправдались, то он приказал повесить «графа». До того Каetano сумел подобными обещаниями выманивать у курфюрста баварского и у императора крупные суммы денег.

В XVII в. мы встречаем также обратную постановку традиционных задач алхимии. Вместо того, чтобы творить золото, стремились разрушить данное количество его, или, как тогда выражались, «вывести его из его сущности». Тогда появилась книга под названием «*Sol sine veste*, или тридцать экспериментов, с помощью которых можно извлечь из золота его пурпур»³. За подобное разрушение золота считали, например, своеобразное тончайшее распределение золота в литой стеклянной массе. Даже Кункель (Kunkel) думал, что золото, придающее рубину его окраску, лишено своей сущности, т. е. не является уже более золотом.

В вопросе о превращении вещества известную роль играло также учение, что вода является главной составной частью всех веществ. Но у ван-Гельмонта этот взгляд не был пустой философской спеку-

¹ Сто лет спустя (1776 г.) Ган (Gahn) показал, что можно получить фосфор из подвергшихся обжигу костей, дестиллируя через уголь остаток, получившийся от поливания костей серной кислотой.

² H. Peters, *Leibniz in seiner Beziehung zur Chemie und den anderen Naturwissenschaften*, „*Chemikerzeitung*“, 1901, № 81 и 82.

³ J. C. Orchall, Augsburg 1684.

лящей, как у Фалеса. Он основывался на ошибочно истолкованных наблюдениях и опытах. Так, например, ван-Гельмонт отвесил 200 фунтов земли и поместил ее в глиняный сосуд, куда он посадил пятифунтовую иву. Последнюю он поливал только дождевой водой. Через 5 лет ива весила уже 170 фунтов, между тем как вес земли в сосуде уменьшился только в несколько унций. Ван-Гельмонт, не знавший еще роли атмосферного углерода в питании растений, приписал увеличение веса ивы одной только воде.

В эпоху же натрохимии возникли, весьма вероятно, сочинения, приписывавшиеся ранее Василию Валентину (жившему будто бы около 1450 г.). Дело в том, что в начале XVII в. Тельде (Thölde), казначей магистрата в Франкенгаузене, выпустил ряд алхимических сочинений. Названия важнейших из них были: «Триумфальная колесница Антимония» и «О великом камне древнейших мудрецов». Сочинения эти снова оживили алхимические тенденции, начинавшие тогда уже склоняться к упадку. Но, согласно новейшим исследованиям, они основываются на совершенно своеобразной литературной подделке. Хотя фальсификация эта не выяснена еще во всех своих подробностях, но достоверно то, что приписывавшиеся Василию Валентину сочинения имеют автором не жившего в XV в. монаха с этим именем, а были написаны лишь в конце XVI или в начале XVII в.

Включение в число медицинских препаратов многочисленных неорганических соединений вызвало вначале некоторое сопротивление, имевшее весьма часто под собой почву. Так, например Гейдельбергский медицинский факультет требовал еще до середины XVII в. от лиц, удостоивающихся степени доктора, клятвы в том, что в своей врачебной практике они никогда не будут пользоваться препаратами из сурьмы и ртути. Подобное же запрещение издал и Парижский факультет.

К компромиссу между сторонниками Парацельса и приверженцами старинного врачебного искусства стремился в особенности Либавий. Андрей Либавий родился в Галле¹. Он изучил медицину, историю и языкознание и умер в 1616 г. директором гимназии в Кобурге. Либавий был самым известным немецким химиком своего времени. Мы обязаны ему первым учебником химии — именно его появившейся в 1595 г. *Alchymia*, на которой мы остановимся несколько подробнее. Как видно из самого названия книги и как явствует из первых положений ее, Либавий был открытым сторонником алхимии. Алхимия для него — искусство получать магистерии, т. е. вещества, служащие для превращения металлов, и выделять чистые основоначала из их смесей². За основоначала или принципы он тоже признает ртуть (*Mercurius*), соль (*Sal*) и серу (*Sulphur*). Вторая часть «Алхимии» Либавия представляет собственно учебник химии, так как она является по существу изложением известных в его

¹ Год рождения его неизвестен.

² *Alchemia est ars perficiendi magisteria et essentias puras e mistis separato corpore extrahendi.*

время химических фактов и содержит в себе основы дохимии (пробирного искусства). Вот заголовки некоторых глав книги:

- О природе металлов.
- О золоте.
- О серебре.
- О несовершенных металлах.
- О железе.
- О веществах, родственных металлам.

В качестве таких веществ перечисляются: ртуть, висмут, сурьма, сера, мышьяк.

Либавий тщательно изучил известные уже задолго до него соли свинца, свинцовый сахар и свинцовый уксус и предложил пользоваться ими в качестве лекарств. Он упростил процесс получения серной кислоты и показал, что получающаяся из квасцов, купороса или серы кислота представляет одно и то же вещество.

Подобно своему современнику Агриколе, Либавий пытался указать пути и средства для определения содержащихся в рудах и металлургических препаратах металлов. Оба они основали металлургическое пробирное искусство (дохимия), подготовленное, впрочем, еще истари практикой металлургических заводов. Так, Либавий задавал себе вопрос, сколько золота примешано к другим металлам, сколько его примешано к серебру, свинцу или ртути, как можно определить количество серебра, содержащегося в свинцовом глете, и т. д. Книга Либавия имеет еще особенное значение и потому, что она содержит точное описание употреблявшихся к концу XVI в. химических аппаратов и приборов. Рисунки Либавия показывают нам, что, кроме теплоты, пытались использовать в качестве химического агента, например, также и свет.

ВЛИЯНИЕ ХИМИИ НА РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Большой толчок развитию химии в Германии дал расцвет промышленности. Важнейшим представителем выделившейся в связи с этим, в качестве особенной отрасли знания, прикладной химии является Глаубер (Glauber). Иоганн-Рудольф Глаубер (1604—1668) обогатил неорганическую химию рядом открытий из области главным образом соединений хлора. Заняться последними побудило Глаубера то обстоятельство, что он научился получать соляную кислоту путем воздействия серной кислоты на поваренную соль. Точно так же он получал азотную кислоту из селитры и серной кислоты. Появляющаяся при этом натриевая соль серной кислоты была названа по его имени глауберовой солью¹. Глаубер был, повидимому, уже знаком также с хлором. До Глаубера соединения хлора получали из металлов, нагревая последние вместе с сулемой (хлорной ртутью). Вследствие этого пришли к неверному предположению, что в хлористых

¹ Она была названа также чудесной солью (Sal mirabile) и нашла вскоре обширное применение в медицине.

соединениях металлов содержится ртуть. Глаубер, наоборот, утверждал, что они представляют собой соединение металлов с соляной кислотой. Он тоже заблуждался в этом отношении, так как дело идет только об одной составной части соляной кислоты, хлоре, который был получен в чистом виде только Шеле (Scheele).

Изученные и описанные, а отчасти впервые полученные Глаубером соединения хлора — это хлорное олово и хлорный цинк, хлорное железо, хлорный свинец, треххлористый мышьяк и полухлористая медь. Тогда было также известно хлористое серебро и то, что оно получается из раствора серебра путем прибавления соляной кислоты. Далее Глауберу удалось получить давно уже известный в качестве вулканического продукта нашатырь путем воздействия соляной кислоты на углекислый аммиак, называвшийся тогда «летучей щелочной солью». Углекислый аммиак прежние алхимики получали путем перегонки из застоявшейся мочи.

Можно себе представить, какой переворот в медицине вызвали все эти препараты и как в то же время злоупотребляли ими, чрезмерно прославляя их и сообщая о них с самым таинственным видом. Особенно старались получить и использовать с медицинскими целями новые препараты из мышьяка, сурьмы и ртути. Так получили сурьмянокислый калий и некоторые виннокаменнокислые соли. Воздействуя трехокисью сурьмы на винный камень, получили рвотный камень, приобретший скоро огромное значение как лечебное средство. Весьма понятно, что чисто теоретический интерес к наблюдаемым соединениям стал брать все больше верх над практически-медицинским значением их, так что цель химии переместилась. Из простой отрасли лечебного искусства получалась таким образом, как это было и в случае зоологии и ботаники, чистая наука, стремящаяся исследовать свой предмет ради него самого, независимо от всяких утилитарных соображений.

Одним из научных результатов экспериментальной работы Глаубера было более ясное выделение понятия химического сродства. Так, Глаубер, говоря об освобождении аммиака из нашатыря путем воздействия извести (оксида кальция) ¹, употребляет выражение, что одна составная часть нашатыря «любит известь больше, чем другая часть его, и с своей стороны больше любима известью». У Глаубера же встречаются начатки представления о двойном замещении (обменном разложении). Так, он утверждал, что из хлорной ртути и сернистой сурьмы получается путем взаимного обмена составных частей сернистая ртуть и хлорная сурьма. Чтобы дать некоторое представление о тогдашнем способе выражения, мы приведем здесь это химическое превращение на языке Глаубера, присоединив к этому современные формулы: «Когда нагревают Mercurius sublimatus (HgCl_2), смешанный с Antimonio (Sb_2S_3), то spiritus (Cl), находящийся вместе с Mercurio sublimato, охотнее набрасывается на Antimonium (Sb_2S_3) и дает упасть Mercurium (Hg), и таким образом получается жирное Oleum (SbCl_3). Но Sulphur Antimonii (S) соединяется с Mercurio

¹ $2 \text{NH}_4\text{Cl} + \text{CaO} = \text{CaCl}_2 + 2 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

vivo (Hg) и дает киноварь (HgS), остающуюся в горлышке реторты»¹. Первоначальное представление, что сходные вещества обладают сродством между собою, уступило место правильному взгляду, что именно наиболее отличные друг от друга вещества обладают наибольшим стремлением к соединению. Яснее всего формулировал этот взгляд Герман Бургав (Boerhaave) (1668—1738), говоря, что именно несродные между собой вещества обладают силой, называемой химическим сродством, термин, встреченный нами уже у Альберта Великого.

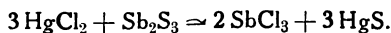
Нельзя считать Глаубера убежденным сторонником алхимии. О последней он выражался следующим образом: «У кого есть время и возможность производить в большом масштабе подобные работы, тому не возбраняется испробовать, нельзя ли получить от этого какой-нибудь пользы». Он признается также, что лично он не добился ни малейшего успеха «в деле облагораживания металлов».

Главное произведение Глаубера носит название «*Novi furni philosophici*». Оно вышло впервые в 1648 г. под немецким названием «*Beschreibung einer Destillierkunst*» («Описание дестиллировального искусства»). Дадим на основании этой книги еще некоторые сведения о методах и приемах Глаубера. Главе о соляной кислоте он дает следующее название: «Как следует дестиллировать Spiritus salis». Глаубер рекомендует для этого следующее правило: «Берут обыкновенную поваренную соль и смешивают ее с купоросом или с квасцами. Эту смесь ставят на раскаленный уголь. Выделяющийся из нее Spiritus сгущается в особом приемнике (рис. 65). Кто-нибудь мог бы сказать, что этот Spiritus не совсем чист, ибо вместе с ним в приемник перешел также Spiritus купороса или квасцов. На это я отвечу, что это не так. Я очень часто помещал в печь в отдельности купорос или квасцы и не получал тогда в приемнике никакого Spiritus'a. Объясняется это тем, что Spiritus купороса или квасцов не подымается вверх, а стораает в печи». Устройство своей печи Глаубер поясняет следующим образом: *A* представляет печь с замурованным в нее железным перегонным сосудом, к которому приспособлен особый приемник. С показывает форму перегонного сосуда, а *D* — как «он выглядит изнутри».

Следующая глава посвящена вопросу о применении соляной кислоты (De usu spiritus salis). Глаубер расхваливает ее как «великолепное лекарство для внутреннего и наружного употребления», как средство для растворения всех минералов и металлов «*excepta Luna*», т. е. за исключением серебра. В домашнем хозяйстве соляная кислота может заменить уксус, так как говядина, птица и всякое другое мясо, приготовленное вместе с соляной кислотой, «имеет гораздо более приятный вкус».

Дальнейшие предписания Глаубера относятся к получению серной кислоты, азотной кислоты и царской водки, а также к применению их.

¹ На языке современной химии этот процесс выражается следующим равенством:



Путем дистиллирования купороса он получает серную кислоту как «тяжелое масло, которое можно перегонять и очищать с помощью сильного огня, так что оно становится прозрачным». При помощи этого «едкого Oleum Vitrioli» можно также растворять некоторые металлы, например железо и цинк, и превращать их в соответствующие купоросы. Но для этого надо прибавлять воду, ибо иначе масло не оказывает действия.

И здесь тоже известную роль играет применение этих веществ к врачевным целям; так, по словам Глаубера, теплота, получающаяся при действии кислоты на железо, помогает исцелению болезней.

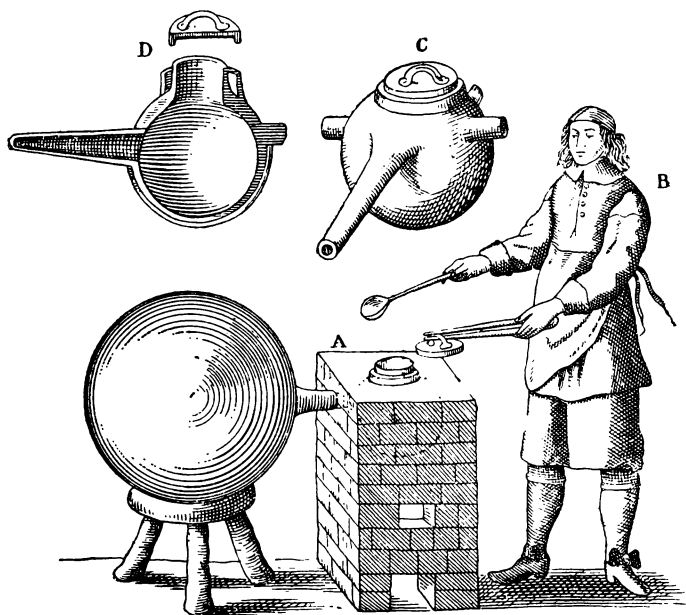


Рис. 65. Дистилляционная печь Глаубера.

О Spiritus nitri (азотной кислоте) говорится, что, хотя она встречается почти во всех аптеках, но мало употребляется в медицине. Наконец, Aqua regis (царскую водку) Глаубер изготовлял, растворяя в стеклянных ретортах поваренную соль в азотной кислоте.

В другом сочинении «Teutschlands Wohlfahrt» («Богатство Германии») Глаубер пытался показать значение химии для народного хозяйства. «Сочинение это, — говорит он в предисловии, — которым я хочу служить своему отечеству, имеет целью показать скрытые в Германии огромные сокровища, которые, правда, добывались до сих пор, но не так, как должно и можно. Так, например, можно превратить гниющее даром дерево в селитру, чтобы встретить врага лицом к лицу. Далее, путем концентрирования минералов и металлов можно будет изготовить хорошее лекарство для борьбы с грядущими великими эпидемиями».

ОСНОВАНИЕ ХИМИИ КАК НАУКИ

Сильный толчок к развитию химии в XVII в. дали работы Бойля. Роберт Бойль родился в 1626 г. Он учился в Оксфорде и Женеве; с 1668 г. он жил в Лондоне, где вместе с Ньютоном, Гукком и другими выдающимися учеными основал Royal Society. Общей чертой этих исследователей было то, что в своих проникнутых подлинным научным духом работах они руководствовались исключительно стремлением к познанию природы, а не какими бы то ни было посторонними соображениями. Бойль первый усмотрел истинную задачу химии в изучении состава тел. «Химики, — говорит он¹, — руководились до сих пор узкими принципами, не глядели на вещи с более высокой точки зрения. Они видели свою задачу в изготовлении лекарств и в превращении металлов. Я попытался рассмотреть химию с совершенно другой точки зрения, не как врач или алхимик, а как естествоиспытатель». Бойль наметил план для химической философии, которую он надеется усовершенствовать при помощи опытов и наблюдений. Люди должны больше думать о прогрессе науки, чем о своих других, более мелких интересах. Человечеству оказывается величайшая польза тем, что производят опыты, копят наблюдения и не выдвигают никакой теории, не проверив предварительно, насколько она подтверждается фактами.

С установлением этих принципов для химии началась новая эра. Бойль, принимая за последние составные части, за элементы в современном смысле слова, вещества, недоступные дальнейшему разложению, нанес смертельный удар аристотелеву учению о стихиях (огонь, земля, воздух и вода) и учению алхимиков о принципах (соль, сера и ртуть). Бойль же впервые установил отчетливое различие между механическими смесями и химическими соединениями. Характерной чертой соединений он считал то, что в них исчезают свойства их составных частей.

Продолжая работы ван-Гельмонта, Бойль перегонял дождевую воду в стеклянных сосудах. Получая при этом всегда некоторый осадок, он считал себя вправе сделать на основании этого вывод, что вода превращается в землистые вещества. Только Лавуазье и Шеле выяснили истинное положение вещей и доказали ошибочность взгляда, будто вода может испытать подобное превращение. Другой важный опыт Бойля, из которого исходил впоследствии Лавуазье при обосновании современной химии, относится к окислению металлов при нагревании их на воздухе. Бойль расплавлял олово и свинец и показал, что получившиеся при этом окислы металлов тяжелее этих металлов². Для объяснения этого явления он предполагал, что некоторое происходящее из огня вещество проникает в сосуд, в котором плавится металл, и соединяется с последним. Аналогичное гипотетическое вещество, выделяющееся якобы при горении, так называемый флогистон, получил у химиков, преемников Бойля, такое

¹ В своей „Preliminary discourse“.

² E. Bloch, Boyles Anschauungen über die Metallverkalkung, Chemikerzeitung 1915, стр. 481—486.

значение, что вся химическая эпоха от Бойля до Лавуазье называется эпохой флогистона.

Благодаря работам Бойля, которого его соотечественники прозвали великим экспериментатором, была основана также аналитическая химия. До Бойля при качественном анализе ограничивались по существу так называемым сухим способом, применяемым еще и ныне при предварительном исследовании, а также при определении минералов. Бойль показал, как анализировать растворенные вещества при помощи жидких реактивов, делая на основании возникновения и характера осадков вывод о составе изучаемого вещества. Так, при помощи раствора серебра он обнаруживал наличие соляной кислоты, а при помощи известковых солей — присутствие серной кислоты. Он осаждал железо при помощи настоя чернильных орехов¹ и пользовался для обнаружения кислот бумажками, пропитанными растительными соками. Эти приемы употребляются еще и в настоящее время.

В эпоху Бойля жил также английский врач Джон Майов (Mayow), предвосхитивший антифлогистонную теорию и относящийся к Лавуазье приблизительно так, как в астрономии Аристарх относился к Копернику.

Джон Майов родился в 1643 г. в Лондоне. Он посвятил себя медицине и практиковал в небольшом курорте Бате. Исследование свойств батского источника побудило его заняться химией. Впоследствии Майов стал членом Королевского общества. Вскоре затем он умер (1679 г.) в Лондоне еще молодым человеком. Подобно многим другим исследователям той эпохи, Майов был ревностным сторонником философа Декарта и его механического объяснения явлений окружающего мира. Важнейшие свои исследования Майов изложил в книге под названием: «Tractatus quinque». Самую ценную для развития химии часть этого сочинения составляют (имеющиеся и в немецком переводе) «Исследования о селитре и селитряном воздушном спирте, о горении и дыхании»². К сожалению, работы Майова не привлекли к себе заслуженного ими внимания и под конец были совершенно забыты. Их постигла та же участь, какая постигла впоследствии ботанические работы Шпренгеля (Sprengel), которые тоже, несмотря на свое исключительное значение, в течение целого века оставались под спудом. Только после открытия кислорода и основания антифлогистонной теории Лавуазье немецкие и английские ученые указали на то, что уже Майов понял истинную сущность горения и дыхания. Если бы Майов встретил более внимательное отношение к своим работам и жил дольше, так что он мог бы лучше обосновать свое учение, то химия вряд ли осталась бы в течение века в плену ошибочной теории флогистона. Действительно, надо принять во внимание то, что в XVII в. уже ряд ученых, как Гук, Бойль и Рей (Rey), установили факт увеличения веса металлов при нагревании их на воздухе. Рей же объяснил это явление соединением воз-

¹ По фон-Липпманну эту реакцию знал уже Плиний.

² Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, № 125, Leipzig, W. Engelmann, 1901.

духа с металлами. А Гук, который так часто улавливал в своих лаконических замечаниях сущность дела, и предвосхитил даже теорию тяготения, дал в своей «Микрографии» (1665) теорию горения, содержащую тоже зачатки антифлогистонного учения. Действительно, Гук допускал, что в воздухе и в селитре содержится вещество, действующее на горючие тела.

Майов тоже начинает свои исследования с селитры. Это чудесное вещество, говорит он, призвано произвести в науке такой же переворот, как и в военном деле. Из способа возникновения селитры и разложения ее следует, что составными частями селитры являются кислый селитряный спирт (как Майов назвал азотную кислоту) и некоторое щелочное вещество. Действительно, если лить полученную путем дистиллирования из селитры кислоту на надлежащую щелочную соль, то снова образуется селитра со всеми своими известными свойствами. Естественная селитра тоже образуется путем воздействия селитряного спирта на щелочные соли почвы; но не следует думать, что селитряный спирт (т. е. азотная кислота) содержится как таковой в воздухе. Скорее в воздухе имеется одна часть этого спирта, именно селитряное воздушное вещество. Последнее поддерживает горение и дыхание. Оно, таким образом, вполне тождественно с кислородом противников флогистона.

Заслуживает также упоминания, замечает Майов, что вес сурьмы увеличивается от обжига¹. Трудно понять, откуда берется это увеличение веса, если не от соединяющихся с металлом частиц воздуха. «Я отлично знаю, — продолжает Майов, — что по общепринятому взгляду кальцинирование (обжиг) сурьмы заключается в удалении содержащейся в ней серы. Несмотря на это, я склонен думать, что взгляд этот неверен».

Главная цель дыхания, по Майову, заключается в том, чтобы доставить из воздуха в легкие необходимые для жизни животного частицы и теснейшим образом перемешать их с кровью. По словам Майова, он произвел опыты, показавшие, что выдыхаемый легкими воздух был лишен некоторых частиц, причем он в то же время уменьшился в объеме. Это уменьшение объема вызвано тем, что воздух потерял селитряные воздушные частицы (т. е. кислород).

Майов ставит себе затем вопрос, какую функцию в организме выполняет проникший в кровь кислород, и дает на это тоже правильный в общем ответ. «Я придерживаюсь того взгляда, — замечает он, — что и у животных и у растений селитряный воздушный спирт есть главный источник жизни и движения». Точно так же теплоту

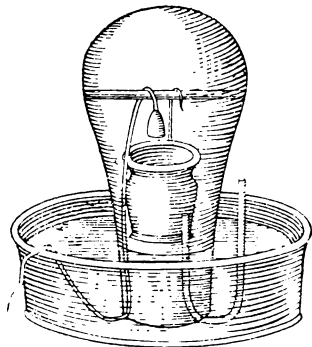


Рис. 66. Анализ Майовым воздуха.

¹ Это наблюдали неоднократно с 1600 г. еще до Майова.

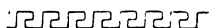
тела нельзя сводить к происходящему в сочленениях трению. Она тоже происходит скорее от действия кислорода на кровь, в которой заключается масса горючих веществ. Майов знал тот, уже давно установленный опытом факт, что кровь при своем вступлении в легкие темнокрасного цвета, а при выходе из них яркокрасного цвета. Для него ясно, что это зависит от химического действия воздуха на кровь, ибо выставленная на воздух венозная кровь становится на поверхности яркокрасной, между тем как нижние слои ее остаются попрежнему темнокрасными.

Развитая Майовым теория дыхания проливала яркий свет и на соседние области физиологии, как учение о функциях и совместном действии органов дыхания и кровообращения. Майов указал также на то, что зародыш получает кислород не путем дыхания, а через артериальную, столь богатую кислородом кровь матери.

Взгляды Майова были не продуктом счастливого случая, а плодом часто очень остроумно придуманных опытов. Одним из прекраснейших образчиков искусства Майова является следующий опыт, представляющий в то же время одно из первых газометрических исследований. В стеклянном сосуде помещают палку так, как это указано на рис. 66. На этой палке привешивают покрытый глазурью горшок с азотной кислотой (селитряным спиртом по Майову). Над горшком привешивают на нити связку железных стружек. Эту нить проводят сперва над палкой, а затем под краем сосуда наружу (см. рис. 66) так, что связку со стружками можно погружать в кислоту и снова вынимать из нее. «После того как согревшийся от соприкосновения с руками воздух охладился, — продолжает Майов, — и отметили высоту внутреннего уровня воды, железные стружки опускали в кислоту». Это вызывало бурную реакцию, причем под влиянием получившихся паров внутренний уровень сперва понижался. Через некоторое время Майов вынимал стружки из жидкости. Тогда вода поднималась над своим первоначальным уровнем, причем «четверть занимавшегося воздухом первоначального пространства наполнялась водой». Это уменьшение объема Майов вполне правильно объясняет потерей кислорода или, как он выражается, селитряных воздушных частиц¹. «Действительно, говорит он, воздух испытывает здесь такое же уменьшение объема, как при горении». Изобретенный через столет эвдиометр основывается на том же взаимодействии между выделяющимися из азотной кислоты газами и кислородом воздуха².

¹ Ostwalds Klassiker № 125, стр. 15.

² См. XIX главу III тома.





Х

РАЗВИТИЕ БОТАНИКИ И ЗООЛОГИИ ПОСЛЕ ВОЗРОЖДЕНИЯ НАУК

В одной из прежних глав мы познакомились с первыми попытками нового обоснования наук об органическом мире. Важнейшими результатами в области ботаники были возникновение травников (Бок и Брунфельс), устройство первых ботанических садов и гербариев, а также ознакомление с флорой новооткрытых внеевропейских стран. В то же время в энциклопедических трудах Геснера (Gesner) и Альдрованди (Aldrovandi) были заложены новые основы зоологии. Воттон (Wotton) усовершенствовал систематику, а Везалий заложил основы современной анатомии.

УСПЕХИ БОТАНИКИ

Наряду с немцами много занимались ботаникой в особенности голландцы. Благодаря торговле и предпринимавшимся для открытия новых земель путешествиям голландцы получили сильный стимул к занятиям естественной историей. К тому же уже тогда садоводство и разведение цветов стояли в Нидерландах на очень высоком уровне. Величайшим ботаником XVI в. является Карл Ключий (Clusius) из Антверпена (1525—1609). Он долгое время заведывал императорскими садами в Вене и благодаря этому получил возможность исследовать с естественно-исторической точки зрения и Венгрию. Ключий умер профессором естественной истории в Лейдене в 1609 г., обогатив ботанику таким множеством новых видов, как это не сделал никто до него, ни после него. Плодом его пребывания в Австро-Венгрии явилось описание флоры восточной Европы¹. Из Аугсбурга он предпринял, вместе с членами семьи Фуггеров, путешествие по Франции, Испании и Португалии. Результатом этого путешествия была книга по флоре Пиренейского полуострова². Кроме того Ключий является одним из первых авторов, описавших растения Индии и Передней Азии³. Он дал также отличные рисунки новооткрытых видов.

¹ *Rariorum stirpium per Pannoniam, Austriam et alias provincias observatarum historia*, Антверпен 1583.

² *Rariorum stirpium per Hispanias observatorum historia*, Антверпен 1576.

³ *Exoticorum libri 10*, Антверпен 1605.

Клюзий мог выполнять свои планы только благодаря поддержке многочисленных исследователей и путешественников. Среди его сотрудников надо назвать голландца Лобелия (Lobelius). Лобелий родился в 1538 г. и умер в 1616 г. в Англии, где он заведывал королевскими садами. У Лобелия обнаруживается уже очень ясно понимание естественного родства. Так, злаки, лилейные, орхидеи, крестоцветные, зонтичные, мотыльковые и губоцветные образуют у него уже ясно распознаваемые группы.

В то время как ученые Центральной Европы обратились в XVI в. к изучению преимущественно окружающей их флоры, итальянцы трудились главным образом над выяснением содержания ботанических произведений древних авторов. Но когда они заметили, что у Диоскорида и Плиния упоминается лишь ничтожная часть встречающихся в Италии растений, то они обратились — особенно в Северной Италии — к изучению отечественной флоры. Здесь внимание аптекарей, врачей и других интересующихся ботаникой людей особенно привлекли к себе своей необычайно богатой растительностью южные известковые Альпы. Так возник ряд монографий, посвященных исключительно флоре столь богатой растениями Monte Baldo, одной расположенной к востоку от озера Гарда известковой горы.

Одним из самых выдающихся итальянских ботаников XVI в. был Маттиоли (Mattioli, 1501—1577). Он обладал исключительно талантом комментировать Диоскорида и «редким чутьем для угадывания растений, упоминаемых древними авторами»¹. Маттиоли был также очень тонким наблюдателем и усердным коллекционером, обогатившим ботанику многочисленными новыми видами.

Стремление заменить употреблявшийся вначале алфавитный порядок порядком естественным нашло свое продолжение у Богена (Bauhin), в работах которого первый период современной ботаники достигает своего кульминационного пункта.

Каспар Боген родился в 1550 г. в Базеле в семье одного врача. Часть своих студенческих годов он провел в Падуе; он изучил флору Германии, Италии и Франции. Боген открыл много новых видов; но, совершенно независимо от этого, главная его заслуга заключается в установлении исчерпывающей характеристики ботанических видов, в введении бинарной номенклатуры, в расположении растений по их сходству и, наконец, в устранении хаоса, вызванного бесчисленными синонимическими названиями растений.

Начнем с последнего пункта. Со времени возрождения ботаники во всех частях Европы и в открытых внеевропейских странах были найдены новые растения, число которых значительно превосходило число описанных древними авторами растений. Однако наименования этим новым растениям давались без какой-либо единой руководящей точки зрения, причем нередко совершенно произвольно использовались для этого старые названия. Часто различные авторы давали одному и тому же виду различные названия, а в то же время для различных видов пользовались одинаковыми наименованиями. Это

¹ Sprengel, Geschichte der Botanik, 1, 294.

создавало страшный хаос и прозило здоровому прогрессу науки, для которой название не есть вовсе «пустой звук». Этому невыносимому состоянию Боген положил конец своей книгой о синонимах растений, явившейся плодом неутомимой сорокалетней работы¹. В ней он привел употреблявшиеся различными ботаниками названия для всех известных ему видов (около 6 000), создав таким образом для ботанической литературы самое полное сочинение о синонимах, полезное для систематики еще и в наше время. «Немалая похвала для книги через 250 лет после ее появления»².

Благодаря этому Боген не только ввел порядок в ученые работы своих предшественников, но и предотвратил также тем образцовым способом, каким он сам называл и описывал растения, возможность повторения прежнего хаоса. Действительно, он довел описание растений до искусства давать в немногих строках исчерпывающую характеристику их, при помощи которой их легко снова узнавать. Каждая из этих характеристик содержала в себе чрезвычайно краткое описание всех частей растения. Форма, величина, разветвление корней и стебля, форма листьев, характер цветка, плода и семени — все это излагалось в немногих метких словах на протяжении каких-нибудь двадцати строк. Далее Боген тщательно и сознательно отличал друг от друга виды и роды. Каждый вид получил название, состоявшее большей частью из двух слов, которые можно рассмотреть как родовое и видовое имена. Таким образом бинарная номенклатура, проведением которой так прославился впоследствии Линней, восходит к Богену.

НАЧАТКИ ЕСТЕСТВЕННОЙ И ИСКУССТВЕННОЙ СИСТЕМАТИКИ

Наконец в книге Богена о синонимах выступает еще резче, чем у Лобелия, стремление расположить растения по сходству, всех их признаков — по естественным семействам, как сказали бы мы теперь; однако полученные таким образом группы не имеют у него названий и не отделены отчетливо друг от друга. Боген тоже начинает со злаков, которые он принимал за простейшие цветковые растения. За ними следуют лилейные, важнейшие семейства травянистых растений и наконец деревья. Как и Лобелий, Боген еще не понял особого положения папоротниковых. Далее у него встречаются такие сближения растений, которые теперь представляются грубыми ошибками. Так, например, Боген соединяет явнобрачные водяные ряски с мхами, а губки с морскими водорослями. Однако мы не должны вменять ему в вину подобных ошибок, потому что отношение тайнобрачных к явнобрачным выяснилось лишь через сотни лет после Богена, а природа зоофитов была раскрыта лишь в XVIII в. Трамблеем (Trembley).

В то время как индуктивный метод, начатки которого мы встречаем в травниках, привел к некоторой, правда, не лишенной еще ошибок, естественной систематике, в Италии при возрождении бо-

¹ Pinax theatri botanici, Базель 1623.

² Sachs, Geschichte der Botanik, стр. 37.

таники продолжали еще исходить, по образцу Аристотеля, из априорных принципов классификации. Здесь Цезальпин (Caesalpinus) пытался справиться со все возрастающим богатством растительных видов, положив в основу своей классификации главным образом свойства плодов. В ближайшее время это направление, с его односторонней искусственной систематикой, стало господствующим, ибо оно лучше отвечало потребностям практики, чем еще несовершенная естественная классификация, имеющая, однако, большее научное значение. Линней, как мы увидим в дальнейшем, выполнил поставленную себе Цезальпином задачу. И он воздал ему должное, назвав его первым истинным систематиком.

Главное ботаническое произведение Андрея Цезальпина¹ появилось в 1583 г. под названием *De plantis libri XVI*. Хотя Цезальпин дает в нем также описания отдельных растений, но в двух отношениях он превосходит авторов травников. Во-первых, в отличие от последних, он не ограничивается описанием общего облика растения, а тщательно исследует отдельные части его, обращая при этом особенное внимание на органы оплодотворения. Во-вторых, мы встречаем у Цезальпина теоретически-философский подход к растению вообще и к его природе. Однако основы теоретической ботаники, к которым он таким образом приводит в введении к первой книге своего произведения, носят преимущественно аристотелевский характер. Так как растение обладает лишь душой, служащей для питания, роста и размножения, то оно довольствуется гораздо более простыми органами, чем животное, которому свойственно сверх того еще движение и ощущение. Функция растительной души заключается в том, чтобы при помощи питания сохранить индивид, а при помощи размножения сохранить вид. Поэтому растение обладает двумя частями: корнем, через который оно получает пищу, и стеблем, который дает начало плоду. Для низших растений — как грибы и лишай — у которых Цезальпин не мог еще заметить органов размножения, он принимает, вместе с Аристотелем, произвольное зарождение (*generatio spontanea*). Они возникают будто бы путем гниения, и им остается поэтому только питаться и расти. Они представляют нечто промежуточное между неорганической природой и совершенными растениями, подобно тому как существуют также переходные ступени между последними и животными. Не следует умалять влияния, оказанного Цезальпином на развитие ботаники в XVII и XVIII вв. Созданная им теория была завершена Линнеем, благодаря чему было в основном доведено до конца развитие искусственной систематики.

ОСНОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ РАСТЕНИЙ

В XVII в. были сделаны также первые шаги в деле основания научной морфологии растений. Главным представителем последней является немец Иохим Юнгий (Jungius). Нам придется еще впоследствии говорить о деятельности этого ученого (1587—1657 гг.) и о его

¹ Он родился в 1519 г. в Арредо, был учеником упомянутого в томе I Луки Гини и умер в 1603 г.

значении для духовной культуры его времени. Его стремления заметить чем-то лучшим схоластические логомахи, игравшие такую роль в XVII в. в Германии, увенчались особенным успехом в области ботаники. Огромное рукописное наследие его¹ свидетельствует о том, что реформаторские стремления Юнгия охватывали все естествознание. Опираясь на атомистику Демокрита, обладая ясным умом и острой наблюдательностью, Юнгий успешно работал над возрождением наук. Его влияние могло бы быть еще более значительным, если бы он не ограничивался лекциями, устными беседами и рукописными заметками. К счастью он избежал участи, постигшей за столетие до него Леонардо да-Винчи, который тоже почти ничего не опубликовал из своих столь ценных заметок и поэтому оказал лишь ничтожное влияние на развитие наук. Но в то время как рукописи Леонардо стали доступными лишь к концу XVIII в., важные ботанические произведения Юнгия были вскоре после его смерти опубликованы его учениками. Они встретили подобающее им внимание не только на родине, но и в Англии благодаря Рею и в Швеции благодаря Линнею.

Главное ботаническое произведение Юнгия² оказало действие в двух направлениях. Во-первых, он создал научную терминологию, столь удачную, что она сохранилась отчасти до нашего времени. Так, ограничиваясь одним примером, употребляемые еще и ныне для различных форм цветка выражения, как *spica*, *panicula*, *umbella*, *corymbus*, и их точное определение восходит к Юнгию. Линней тоже присоединился к номенклатуре Юнгия. Далее Юнгий первый указал на изменение формы, испытываемое листьями стебля по мере их удаления от почвы. Юнгий же отчетливо отличил друг от друга и обозначил простые листья и часто смешиваемые прежде с ветвями сложные листья.

Юнгий изучал также очень подробно форму цветка, хотя ему осталась еще неизвестной сущность пола у растений. Выяснение основных морфологических понятий повлекло за собой лучшую классификацию растений. Юнгий признал бесполезными для классификации такие признаки, как запах, вкус, лечебные действия, окраска и другие второстепенные особенности растений. Он отверг также все еще употреблявшееся до него деление растений на деревья, кусты и травы.

Далее Юнгий, объединив по их общему облику многочисленные растения, прежде приводившиеся в отдельности, и дав правила для наименования их, придал более прозрачный характер систематике растений.

Выдвинутые Богеном и Юнгием принципы нашли прежде всего плодотворную почву в Англии, где ими воспользовались Морисон (Morison) и Рей для разработки систематической ботаники³.

Морисон подвергнул тщательной проверке систему Богена, изложенную последним в его «*Pinaх*», и показал, какие растения зани-

¹ Emil Wohlwill, Joachim Jungius. Mit Beiträgen zu Jungius Biographie und zur Kenntnis seines handschriftlichen Nachlasses, Hamburg 1888.

² *Isagoge phytoscopica*, 1678.

³ Роберт Морисон родился в 1620 г. в Эбердине и умер в 1683 г.

мают там неправильное место. Далее он первый из ботаников дал подробную монографическую работу о крупной группе растений — именно о зонтичных¹. В этой монографии зонтичные были распределены на ряд групп по свойствам плодов.

По стопам Морисона последовал прославившийся также в качестве зоолога Джон Рей². В обширном произведении³ он дал, подобно Богену, энциклопедию всей тогдашней ботанической науки. Морфологию растений он рассматривал, следуя непосредственно за Юнгием. В его системе впервые нашли себе место крупные естественные группы растительного царства. Он начинает с несовершенных растений (*Imperfectae*) — грибов, мхов, папоротников и подводных растений.

К последним он относит, кроме водорослей, также зоофитов. Цветковые растения Рей делит на двусемянодные и односемянодные. Из последних особенно подробно рассматриваются и систематически расчленяются по всему своему внешнему виду злаки.

К односемянодным он причисляет также пальмы, лилейные и орхидеи. Уже раньше были известны естественные группы губоцветных и мотыльковых. Более или менее отчетливо выступают теперь крестоцветные, мареновые, растения с шершавыми листьями, сложноцветные и другие соответствующие естественной системе группы. Однако в частностях классификация представляла довольно много недостатков, так как у Рея не было еще руководящей точки зрения.

Если Морисон и после него Рей видели в свойствах плодов необычайно важный систематический признак, то немец Ривин (*Rivinus*)⁴ приписывал особенное значение числу и связи лепестков. У Ривина же мы встречаем проведенный впоследствии Линнеем принцип повторять родовое имя при каждом виде, выражая последний при помощи дополняющего прилагательного.

Во Франции самым выдающимся представителем этой предшествующей Линнею стадии развития ботаники был Турнефор (*Tournefort*)⁵. Система его представляла собой шаг назад постольку, поскольку в ней не нашли себе место установленные Реем крупные естественные группы тайнобрачных, односемянодных и двусемянодных. В основу классификации цветковых растений были положены, как у Ривина, свойства венчика. В соответствии с этим Турнефор различал безлепестковые и лепестковые растения. Последние распадалась на однолепестковые и многолепестковые растения. К однолепестковым причислялись, например, колокольчики и губоцветные с их состоящими из одного куса венчиками, к многолепестковым же — крестоцветные, розоцветные, мотыльковые и т. п.

¹ *Plantarum umbelliferarum distributio nova*, 1672.

² Он родился в 1628 г. в Эссексе и умер в 1705 г.

³ *Historia plantarum*, 1686 — 1704.

⁴ Латинизированное имя Бахманна (*Bachmann*) (1652 — 1725).

⁵ Турнефор (1656 — 1708) родился в Провансе. Он был профессором в *Jardin des Plantes* и изучил флору Греции, Северной Африки и Малой Азии — стран, обладавших особенно притягательной силой благодаря тому, что с ними были связаны ботанические произведения древних авторов.

Полученные таким образом Турнефором двадцать два класса, при установлении которых он пользовался в то же время расплывчатыми понятиями деревьев, кустов и трав, — распадались на группы. У лепестковых растений группы эти были образованы в зависимости от свойств венчика. Так, у губоцветных Турнефор отличал растения с прямой, шлемовидной и ложкообразной верхней губой. К ним примыкали губоцветные без верхней губы. Таким образом Турнефор создал искусственную систему, т. е. систему, основывающуюся на свойствах произвольно выбранного органа, в данном случае венчика.

Система Турнефора господствовала в течение первых десятилетий XVIII в., пока ее не сменила искусственная система Линнея, основывавшаяся на свойствах тычинок. Сам Турнефор приписывал ничтожное значение тычинкам, в которых он видел простые органы выделения.

Турнефору приписывалась также та заслуга, будто он установил понятие рода. Но в действительности понятия рода и вида образовались совершенно постепенным образом со времени возрождения ботаники благодаря описанию отдельных растений и сравнению их. Кроме того, уже задолго до Турнефора Боген в своей номенклатуре пользовался этими понятиями. Правда, оба понятия становились все более определенными, по мере того как научились отличать существенные признаки от несущественных и поняли, что соединение растений в один род основывается на сходстве не одной только существенной части, а большинства их. За такие существенные части стали все более и более принимать органы размножения.

Менее определенно было понятие вида, потому что при установлении его принимали иногда во внимание слишком изменчивые свойства и не умели еще различать разновидностей от настоящих видов. По этому вопросу высказался также Лейбниц, выдвинув против односторонней точки зрения отдельных ботаников по вопросам систематики одно очень удачное, гармонирующее с идеей о естественной классификации соображение. Поводом для этого послужило ему замечание одного немецкого ботаника, что необходимые для классификации признаки следует искать не в цветах, а в корнях. Лейбниц заметил на это¹, что следует принимать во внимание признаки всех частей; но при этом следует иметь в виду, что целью растительной жизни является сохранение индивида и вида: поэтому при построении классификации следует отдать предпочтение тем частям растения, которые находятся в теснейшей связи с этими целями.

Но было бы ошибочно придавать решающее для развития науки значение этому рассуждению, как и другим случайно высказывавшимся в аналогичных случаях замечаниям, и причислять, например, на этом основании Лейбница (как это было сделано некоторыми авторами) к основателям половой теории и основывающейся на ней классификации.

¹ Sprengel, Geschichte der Botanik, II, 157.

УСПЕХИ ЗООЛОГИИ

Зоология проделала такую же эволюцию, какую мы встречаем в области ботаники. И здесь прежде всего начали с работ древних авторов; после этого обратились к собственным наблюдениям и описанию форм доступных животных, а под конец из таких отдельных описаний выросли обширные зоологические энциклопедии. В лице Геснера и Альдрованди мы уже познакомились с представителями этого направления. Географические открытия необыкновенно способствовали расширению знакомства с животными видами, точно так, как они содействовали развитию ботанических сведений. Около середины XVII в. мы встречаем, например, уже специальные сочинения о фаунах Бразилии и Ост-Индии.

За периодом собирания последовала эпоха классификации. И в этом отношении развитие зоологии шло параллельно развитию ботаники. Мало того: в XVII в. нередко одни и те же ученые занимаются систематикой животного и растительного царств. Это относится также к величайшему в XVII в. систематику в области зоологии, к англичанину Рею.

Джон Рей родился в 1628 г. в Эссексе. Он изучил флору и фауну Великобритании, Германии, Франции и Италии, был членом Королевского общества и умер в 1705 г. Издав несколько ботанических произведений¹, он выпустил в 1693 г. свой *Synopsis* — основоположенное для систематической зоологии произведение. Рей делит в нем животных, подобно Аристотелю, на позвоночных и беспозвоночных. Он пользуется даже аристотелевскими терминами «кровеносные» животные и «бескровные». Позвоночные распадаются у Рея на легочно-дышащих и жаберно-дышащих (рыбы). Легочно-дышащие делятся на живородящих и яйцекладущих (птицы). Рей принимает во внимание также строение сосудистой системы, ибо яйцекладущие легочно-дышащие с одним только желудочком сердца выделяются в особую группу. Для образования низших подразделений принимаются во внимание строение челюсти и свойства членов. Так, мы встречаем грызунов (зайцеподобных животных), когтистых животных, однокопытных, двукопытных и четырехкопытных (носорог и гиппопотам). По сходным соображениям группируются птицы, так что и здесь были созданы основы для позднейшей классификации. Беспозвоночные распадаются у Рея на мягкотелых, ракообразных (раки), скорлупняков (моллюски и улитки) и насекомых. Особенно подробно он занимался последними. Под насекомыми он понимал всех животных, имеющих насечки.

Работы Рея в области зоологической систематики послужили непосредственной основой для линейной системы, которой мы занимаемся ниже. Рей был предшественником Линнея также по строгому определению понятия вида. «Формы, принадлежащие к различным видам, — говорит Рей², — постоянно сохраняют свою особенную

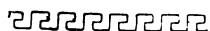
¹ *Historia plantarum* (1686) и *Methodus plantarum nova*, 1682.

² *Historia plantarum*, т. 1, 1886, стр. 40.

природу, и ни одна из них не возникает из семени другой». Однако Рей не придерживался еще того абсолютного понимания понятия вида, который встречается у систематиков XVIII в. Действительно, к приведенной выше формулировке¹ он прибавляет следующее ограничение: «Но хотя этот признак видового сходства довольно постоянен, он все же не неизменен и безошибочен».

Но XVII в. не был для зоологии и ботаники эпохой одной только систематики. К этому присоединился другой, особенно важный момент, ибо описательное естествознание подпало под влияние точного физического исследования, так пышно расцветшего со времени Галилея. Это повлекло за собой применение особенных инструментов, например микроскопа, к изучению живых существ. Благодаря этому внимание зоологов и ботаников было обращено гораздо больше, чем до тех пор, на изучение внутреннего строения организмов и на исследование мельчайших живых существ. Тут перед изумленным взором открылся новый мир, бывший до тех пор совершенно скрытым от чувств из-за ничтожных размеров этих микроорганизмов. Но сближение с физическим исследованием повлекло за собой не только использование новых научных инструментов; к явлениям животного и растительного миров был применен также метод новейшего физического исследования, количественный эксперимент. Влияние оказала в этом отношении и основная тенденция новой, начинающейся с Декарта философии, стремившейся сводить все явления к основным законам механики и рассматривавшей даже организмы с телесной их стороны как простые машины. Так возникло в XVII в. биомеханическое направление, с главным представителем которого, Борелли, мы познакомимся в дальнейшем. Мы ограничимся здесь пока только этим намеком на достигнутые биологическими науками под влиянием физики успехи, чтобы заняться ими подробнее в отдельных главах, после того как мы рассмотрим расцвет науки о неорганическом мире во время эпохи Ньютона-Гюйгенса, следующей за периодом Галилея.

¹ Ibid., стр. 42.



ОСНОВАНИЕ БОЛЬШИХ НАУЧНЫХ АКАДЕМИЙ

В течение первой половины XVII в. центр тяжести научной работы лежал в области механики. Лишь после того, как установлены были законы, которым подчинены твердые, жидкие и газообразные тела, создан был фундамент для дальнейшего исследования всех явлений природы. Попытка механического объяснения всех физических процессов сделана была в течение следующего периода; наиболее выдающимся делом этого периода было создание Ньютоном небесной механики.

В одном из своих писем к Кеплеру Галилей высказал опасение, что вслед за научным оживлением, ознаменовавшим XVII в., наступит, может быть, полоса затишья. Ведь последовала же за периодом расцвета греческой науки реакция, длившаяся несколько столетий. Но опасения Галилея оказались неосновательными. Наука стала общим достоянием всего цивилизованного человечества; она не была уже больше связана с судьбой одного какого-нибудь народа. Когда в Италии реакционные направления стали мешать прогрессу науки, последняя стала развиваться в других странах, сначала преимущественно в Англии, Нидерландах и Франции. На естественные науки оказал благоприятное влияние прогресс математики, в особенности основание аналитической геометрии и исчисления бесконечно малых. Тогда не существовало еще того чересчур далеко зашедшего разделения труда, которое мы наблюдаем в настоящее время и которое представляет немалую опасность для науки. Самые выдающиеся философы и математики — назовем лишь Декарта¹ и Лейбница — работали тогда одновременно и над разрешением естественнонаучных задач. Новейшая философия обнаружила стремления порвать со всеми традиционными воззрениями и рассматривать свои проблемы без всяких предвзятых точек зрения. Эта тенденция оказалась также чрезвычайно плодотворной и в области естествознания. Особенно длительное влияние на последнее оказал английский философ Джон Локк (1632—1704), глубокие исследования которого в области теории познания положили начало современному реализму.

¹ Karl Jungmann, Die Weltentstehungslehre des Descartes, Bd. 54 der Berner Studien zur Philosophie und ihrer Geschichte. Herausgegeben von Ludwig Stein, Bern, Buchdruckerei Scheitlin, Spring Co, 1907, стр. 51.

Достоинство внимания, как высоко стала оцениваться математика в ее применении к естествознанию. Математику и математическую физику, вместе с освободившейся от схоластических пут философией, стали отождествлять с наукой вообще; они стали, так сказать, новым евангелием. Они сделались даже составной частью придворного образования. Знатные дамы окружали себя философами и математиками, а не поэтами и певцами, как раньше. Подобно тому, как в эпоху Возрождения увлекались античностью, так в XVII в. царил не меньший энтузиазм к точному знанию и родственной ему по духу новейшей философии, явившимся как бы заменой религиозной жизни прошедших веков. Самым отрядным результатом этого устремления явилось основание больших северноевропейских академий.

По образцу Accademia del Cimento возникли также и в северных странах Европы ученые общества, которые, получая щедрые средства и пользуясь расположением королей, стали оказывать огромное влияние на дальнейшее развитие науки. Самое важное преимущество подобного рода объединений было однажды отмечено Лапласом в следующих словах: «В то время как отдельный ученый легко предается догматизированию, столкновение догматических взглядов в ученом обществе легко ведет к их уничтожению. Желание взаимно убедить друг друга побуждает далее членов такого общества согласиться допускать лишь результаты точных наблюдений и вычислений»¹.

Этим духом были в особенности проникнуты созданные в 1666 г. при Людовике XIV Парижская академия и возникшее около того же времени Королевское общество в Лондоне². В течение XVIII в., главным образом в эпоху Фридриха Великого, аналогичного значения достигла созданная Лейбницем Прусская академия наук.

История этих академий более, чем жизнеописания и ход развития отдельных исследователей, показывает нам зависимость науки от общего культурного состояния и политической структуры Европы. Поэтому мы еще несколько подробнее остановимся на этом своеобразном явлении, наблюдаемом нами в новейшей истории науки.

В период, предшествовавший основанию больших академий, иезуит Мерсенн (1588—1648) стяжал себе особую заслугу тем, что благодаря своей обширной переписке он содействовал ознакомлению отдельных ученых с идеями и опытами других исследователей. Переписка Мерсенна, представляющая богатый материал для истории науки, хранится в Парижской национальной библиотеке³. В том же направлении, что и Мерсенн, в Германии действовал другой иезуит отец Каспар Шотт. С основанием упомянутых академий роль этих людей переняли на себя секретари этих обществ.

Королевское общество создано было в 1645 г. группой английских исследователей с целью, как выражались творцы его, найти в исследовании естественнонаучных явлений утешение от бедствий,

¹ Laplace, Précis de l'histoire de l'astronomie, Paris 1821, стр. 99.

² С 1665 г. Королевское общество публиковало свои труды под названием „Philosophical Transactions“.

³ См. также P. Tannery, Les sociétés savantes et l'histoire des sciences, Paris 1906.

переживаемых страной. История Королевского общества представляет собой важную часть истории наук вообще. Идея создать независимый от каких бы то ни было побочных целей научный институт, снабженный всеми необходимыми средствами, исходила в Англии от Френсиса Бэкона. Он выразил эту мысль в своей новой «Атлантиде» и назвал свой идеал «домом Соломона». К этому плану удалось склонить также и короля; он гарантировал этому объединению, в число основателей которого входили Бойль и Врен (Wren), свое особое покровительство, предоставив ему права корпорации и дав ему титул Королевского общества¹. Целью этого общества было установить ту систему наук, о которой мечтал еще Бэкон. Но стало очевидным, что для этого необходимо прежде всего создать прочный фундамент путем эмпирического исследования фактов, не взирая ни на какие теории.

Таким образом интересовавшиеся естествознанием английские круги проникнуты были тем же духом, что и члены академии del Cimento, достигшей уже благодаря этому столь значительных успехов.

В центре внимания стояли не доклады, а опыты и демонстрации, которые исследователи, открывшие новые законы и факты, должны были повторять в присутствии членов академии. Среди последних вначале преобладали врачи. Этим объясняется тот факт, что первые годы больше всего занимались исследованием учения Гарвея о кровообращении и приводили некоторые новые доводы в его пользу. В недрах Королевского общества Бойль поставил свои опыты о дыхании. Другие исследователи занимались анатомированием организмов. Словом, непосредственному свидетельству органов чувств придавалось решающее значение, и, таким образом, устранены были многие ложные мнения и предрассудки. Общество не ограничивалось, однако, общением членов его между собой; оно завязывало также связи с крупными заграничными учеными. Обширную, необходимую для этого переписку вел в течение первых лет немец, по фамилии Ольденбург, занимавший место секретаря академии².

Левенгук, Мальпиги (Malpighi) и многие другие ученые общались первые сведения о своих открытиях Королевскому обществу. Последнее щедро поддерживало всякие научные предприятия, даже если они затевались заграничными учеными. Так, оно отпечатаło на свои средства большое исследование Мальпиги о шелковичном червяке, снабдив его иллюстрациями. Труды Королевского общества носили название *Philosophical Transactions*³. Они выходили с 1664 г.,

¹ Weld, *History of the Royal Society*, и v. Ranke, *Englische Geschichte* v, 165. Права корпорации даны были обществу 15 июля 1662 г.

² Генрих Ольденбург родился в 1626 г. в Бремене. В Англию он приехал в качестве консула своего родного города. Потеряв эту должность, он стал воспитателем одного молодого лорда в Оксфорде. Здесь он познакомился с членами Королевского общества, поручившими ему благодаря его знанию языков место секретаря общества.

³ Одно время они назывались „*Philosophical Collection*“. Общество взяло на себя издание их лишь с 47-го тома (1753).

представляя содержащимися в них докладами и работами один из важнейших источников истории развития наук за последние столетия.

В центре внимания Королевского общества со времени его основания стояла астрономия. Этому содействовал также усиленный интерес Карла II к астрономии, имевшей практическое значение для мореплавания. Основание Гринвичской обсерватории было плодом сотрудничества короля и общества, членом которого являлся также королевский астроном. Среди прочих научных задач, которыми занимались в середине XVIII в., на первом плане стояли проблемы механики, создание из учения о движении одной связной, опирающейся на немногие аксиомы системы. Главная заслуга Королевского общества заключалась в том, что оно поняло научные задачи своего времени и не переставало побуждать исследователей к решению их; но к этому присоединилось еще то счастливое обстоятельство, что в недрах его зародился тот гений, который дал исчерпывающий ответ на все эти вопросы. Этим гением, самым выдающимся членом Королевского общества, был Ньютон. В нем объединились и нашли свое дальнейшее развитие две главные ветви современного естествознания — астрономия в том виде, какой придал ей Кеплер, и механика, как она вышла из головы Галилея.

Парижская академия наук, основанная Кольбером в 1666 г. при Людовике XIV, возникла, как и Королевское общество, из потребности некоторых исследователей в свободном научном общении. Это был тот кружок, который уже в течение десятков лет до основания академии собирался вокруг Мерсенна¹.

Парижская академия наук² еще в XVII в. выросла в учреждение, достойное стоять рядом с Королевским обществом. Обе академии выпускали регулярно свои труды, в которых печатались самые крупные работы отечественных и иностранных ученых.

Во время революции Парижская академия наук была закрыта (в 1793 г.), но снова была восстановлена уже в 1795 г. Свой окончательный вид она получила по окончании революционной эпохи в 1816 г. Согласно своим статутам академия насчитывает 65 членов и распадается на 11 отделений, именно на отделения математики, механики, астрономии, географии, физики, химии, минералогии, ботаники, агрокультуры, зоологии с анатомией, медицины.

Вслед за Королевским обществом и Парижской академией в XVIII в. возникло значительное количество аналогичных исследовательских учреждений. Важнейшими из них являются следующие академии: Берлинская (1700), Петербургская (1725), Стокгольмская (1739), Мюнхенская (1759). Особенной признательности заслуживает Мюнхенская академия за свои заслуги в области истории наук³.

¹ О Мерсенне и его значении для прогресса наук говорилось уже выше (см. стр. 199).

² Не следует смешивать ее с основанной еще раньше французской академией, имевшей своей задачей, подобно римской *Accademia della Crusca*, заботу о французском языке.

³ См. I главу 4 тома.

Прежде чем приступить к описанию жизни и научной деятельности Ньютона, мы бросим беглый взгляд на Германию, где в XVII в. в лице Лейбница появился исследователь, хотя и уступавший гениальностью английскому ученому, но превосходивший его многосторонностью своих интересов. Лейбниц больше, чем кто-либо другой, сумел соединить в себе различные духовные течения, имевшие своими источниками Возрождение, Реформацию и точное знание. Наряду с ним следует назвать Юнгия, в котором как бы воплотилось в первой половине XVII в. стремление к возрождению наук в Германии. Юнгий является предшественником Лейбница также в своих усилиях объединить для совместной деятельности ученых, посвятивших себя свободному исследованию.

Иоахим Юнгий родился в 1587 г. в Любике. Он посвятил себя медицине и прожил несколько лет в Италии, где познакомился с ботаническими работами Цезальпина и проникся духом расцветавшего тогда в Италии нового естествознания. Вернувшись в Германию, он принял здесь участие в борьбе против схоластики, пытаясь собрать вокруг себя людей одинакового образа мыслей. Преследуя эту цель, Юнгий основал в 1622 г. в Ростоке первое немецкое общество, поставившее себе в качестве важнейшей задачи заботу о развитии математики и изучении природы. Цель этого общества заключалась в том, «чтобы находить истины из разума и опыта, освободить науки от софистики и умножить их при помощи новых открытий». О том, чего успел добиться сам Юнгий в этом направлении, будет сказано в другом месте¹.

Наряду с Ростокским обществом заслуживает также упоминания возникшая несколько позже (1652 г.) Императорская леопольдовская академия. С 1672 г. она выпускала труды по большей части естественнонаучного содержания, но для научной жизни Германии она не имела значения, соответствующего ее гордому названию. Это зависело от того, что местопребывание этой академии часто менялось и что члены ее были разбросаны по всей стране. Благодаря этому отпадал самый ценный момент в жизни академии — именно частый личный обмен мыслями между ее членами. Росту общегерманской академии, какой по первоначальному замыслу должна была быть Леопольдовская академия, помешало также то обстоятельство, что в столицах отдельных немецких государств (Пруссия, Бавария) имелись свои особые академии.

Мысль, которую пытались осуществить — хотя и со скромным успехом — Юнгий и основатели Леопольдовской академии, воскресла в Лейбнице, успевшем во время своего многолетнего пребывания в Париже убедиться в необыкновенной плодотворности сообщества ученых исследователей, получающего щедрую поддержку со стороны государства. Лейбниц употребил всю свою энергию и все свое красноречие, чтобы содействовать основанию подобного же учреждения в Германии.

¹ Юнгий в течение некоторого времени был ректором Иоганновской школы в Гамбурге. Он умер после полной тревожений жизни в 1657 г. См. также Guhrauer, Joachim Jungius und sein Zeitalter, Tübingen 1850.

План такой академии изложен — с приложением нескольких проектов — в его *Consultatio* от 1672 г.¹ Принципы, которые развивал здесь Лейбниц, сводятся вкратце к следующему: Для более глубокого проникновения в тайны природы необходимо объединение всех научных сил. Поэтому, чтобы указать цели и направление исследованию, следует представить в систематическом виде более простые и решенные уже проблемы, а также более трудные и нерешенные. Полученные таким образом результаты необходимо сделать доступными всему обществу, чтобы они были полезны для образования и для практической жизни. Поэтому будущая академия должна при издании своих трудов пользоваться немецким языком. В связи с этим Лейбниц высказывает ряд очень метких замечаний о значении односторонне-классического образования и о преувеличенной оценке грамматически-филологического обучения: «Мы заставляем нашу молодежь выполнить сперва геркулесову работу, заставляем ее тратить свои силы на изучение различных языков, благодаря чему часто притупляется острота ума, и осуждаем на невежество всех, кто не знает латыни». Лейбниц с полным правом отвергает опасения, будто в случае отказа от древних языков как всеобщего образовательного средства погибнет вообще и изучение их. Теолог никогда не сможет обходиться без знания греческого языка, как и юрист без знания латинского языка; точно так же и историк не захочет закрыть себе доступа к источникам своей науки.

На первых порах идеи, высказанные в *Consultatio*, не имели никакого успеха. Это должно было напомнить Лейбницу, что, если и существует единая Франция, то не существует единой Германии. Однако он не отказался от своего плана, с осуществлением которого он связывал надежды на то, что немецкая наука вскоре обгонит науку других народов. То, что не было осуществимо в рамках Германской империи, то, может быть, было возможно в одном из составлявших эту слабо связанную империю отдельных государств. Поэтому Лейбниц в этом столь близком его сердцу деле обратил свое внимание на самое могущественное немецкое государство, на усиливающуюся тогда Бранденбург-Пруссию. Одно внешнее обстоятельство пришло на помощь Лейбницу. Курфюрст Фридрих III Бранденбургский вступил в брак с ганноверской принцессой Софией-Шарлоттой. Лейбниц, поступивший по возвращении из Парижа на ганноверскую службу, нашел в Софии-Шарлотте восторженную ученицу. Отношения между новой курфюрстиной и ее старым учителем продолжались в виде оживленной переписки, самой важной темой которой был старый план Лейбница создать в Германии — на этот раз уже в Берлине — учреждение, достойное стать рядом с Французской академией наук. Лейбниц подчеркивал в особенности то обстоятельство, что Пруссия должна усилиться в области практических

¹ Полный перевод заглавия гласит: „Предложение оказать содействие изучению природы ради приносимых им выгод и основать с этой целью немецкое общество, задачей которого было бы описание на немецком языке полезных искусств и наук и умножение славы отечества“.

искусств, ибо в борьбе и соперничестве между народами победит самая цивилизованная и промышленная нация. Академия должна была быть одним из средств увеличить мирным образом мощь руководимой Пруссией протестантской Германии, путем применения наук к сельскому хозяйству и промышленности.

После долгих ожиданий и усилий Лейбниц добился, наконец, успеха в Берлине. 19 марта 1700 г. курфюрст повелел «установить в Берлине Académie des Sciences и обсерваторию». Таким образом прошло четверть века, прежде чем осуществился развитый Лейбницем в его Consultatio plan. Лейбниц был приглашен в Берлин и поставлен во главе академии. Но предоставленные на первых порах в распоряжение академии средства совершенно не соответствовали грандиозным замыслам Лейбница. Фридрих-Вильгельм I, вступивший на престол через 10 лет после основания академии, по всему своему духовному складу не способен был интересоваться научными учреждениями. Король этот (которому, впрочем, Пруссия обязана очень многим) игнорировал и даже презирал академию и ее учреждения. Он ценил и содействовал успехам одной только науки, именно химии, имевшей в Пруссии во время его правления несколько выдающихся представителей, как например Шталь (Stahl) и Потт (Pott).

Условия эти резко изменились, когда власть перешла к великому сыну Фридриха-Вильгельма I, вместе с которым «на престол вступили науки и искусства». Еще будучи кронпринцем, Фридрих II лелеял мысль возродить к новой жизни Академию наук. Он даже присматривался в Европе к тем ученым, которых он намеревался по вступлении на престол привязать к Пруссии через академию. Его внимание прежде всего устремилось на Мопертюи и Вольфа. Современники считали Мопертюи одним из самых выдающихся представителей астрономии и математической физики. Вольф же пользовался величайшим авторитетом в качестве философа. Фридрих полагал, что оба этих ученых призваны заменить Ньютона и Лейбница. Но суд истории отвел им гораздо более скромное место. Вольф не принял приглашения в Берлин, ибо перенес в Пруссии довольно крупные неприятности. Когда он был профессором философии в Галле, его сослуживцы с богословского факультета обвинили его в неверии и добились того, что Вольф должен был под угрозой смертной казни покинуть страну в 48 часов. Заслуги Вольфа по отношению к философии сводились по существу к тому, что он развивал далее и популяризовал систему Лейбница. При этом он пользовался, в согласии с инициативой Лейбница, немецким языком, — и в этом его огромная заслуга.

Мопертюи последовал приглашению короля и в 1742 г. был назначен директором академии. За год до того членом академии стал и великий Эйлер. Первые десятилетия эпохи Фридриха Великого были самыми плодотворными для Прусской академии наук. Мопертюи сумел собрать вокруг нее выдающихся исследователей в качестве действительных членов или иностранных членов-корреспондентов. Прусская академия может гордиться тем, что она была тогда убежищем для гонимых фанатизмом или абсолютизмом иностранных

ученых и цитаделью против нетерпимости церкви¹. В дальнейших главах будет рассказано, что сделали для науки члены ее, среди которых, кроме вышеупомянутых, следует назвать еще Лагранжа (Lagrange), Ламберта (Lambert) и Маргграфа (Marggraf).

Одним из главнейших средств, которыми пользовались академии для достижения своих целей, были задачи на премии. В решении их принимали участие лучшие научные силы. Эти задачи были, как выражается историограф Прусской академии наук, своего рода рычагом, при помощи которого науки приподымались из тогда в год со ступеньки на ступеньку. К поставленной задаче, в которой выражались дух и устремление соответствующей академии, относились почти с таким же напряженным интересом, как и к объявленной премии.

Ценным дополнением к издававшимся академией трудам являлись другие, периодически выходившие научные издания. Среди последних следует в особенности назвать *Acta Eruditorum*. Они выходили с 1682 г. в Лейпциге и содержали в себе многочисленные работы по математике и физике и отчасти по всем другим отраслям знания. К числу сотрудников *Acta Eruditorum* принадлежали Лейбниц, Чирнгаузен (Tschirnhausen) и многие другие крупные ученые. Последний том их вышел в 1776 г. По мере того, как в отдельных отраслях естествознания возникали свои особые периодические издания, *Acta Eruditorum* утрачивали свое значение и, наконец закрылись.

Прогрессу науки содействовал также господствовавший в XVIII в. обычай, согласно которому члены различных академий предлагали друг другу задачи. При этом, однако, нередко возникали разжигавшиеся национальным соперничеством споры, имевшие в особенности место между немцами и англичанами. Подобные споры представляли собой подчас довольно безотрадное зрелище, но в общем они не мешали прогрессу науки.

¹ Harnack, *Geschichte der preussischen Akademie der Wissenschaften* Berlin 1901, стр. 243.





XII

НЬЮТОН

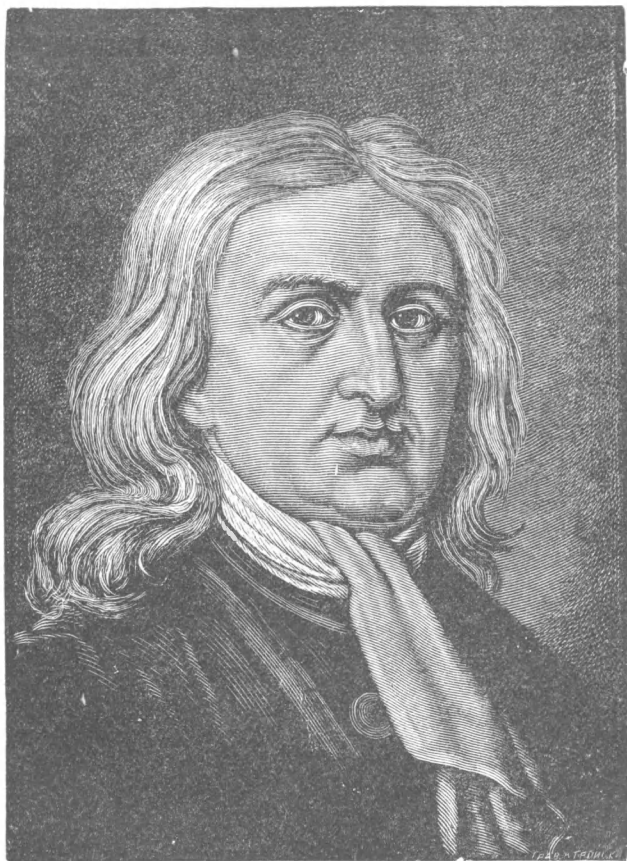
Познакомившись с общеисторическим, культурно-историческим и натурфилософским фоном, на котором выделяется колоссальная фигура Ньютона, мы перейдем теперь к характеристике его личности и его научной деятельности.

Исаак Ньютон¹ родился 4 января 1643 г. (по григорианскому исчислению) в деревушке Вульсторп графства Линкольншайр, через год после смерти Галилея и через сто лет после смерти Коперника. Отец Ньютона, занимавшийся сельским хозяйством, умер за несколько месяцев до рождения сына. Мать мечтала, чтобы последний перенял в будущем принадлежавшее ей маленькое имение. Ньютон был послан в школу в Грантаме, небольшом городке, расположенном в нескольких милях от Вульсторпа. Первоначально он не обнаруживал большой охоты учиться; зато с особенным усердием он занимался устройством механических приборов, изготовляя ветряные мельницы, солнечные и водяные часы и т. д. Оригинальный склад характера Ньютона обнаруживался и в том, что он принимал лишь слабое участие в играх своих сверстников.

Когда мальчик в 14 лет вернулся домой в имение матери, хозяином которого он должен был впоследствии стать, то обнаружилось, что он не обладает необходимыми для ведения практических дел склонностями. По совету и при содействии дяди Ньютона, заставшего его однажды позади изгороди погруженным в чтение геометрической книги, Ньютон был снова отослан в Грантам. 17 лет от роду он поступил в Кембриджский университет. Здесь он изучал сперва математические произведения древних, в особенности геометрию Евклида. Затем его внимание приковали к себе работы новейших авторов. Он прочел сочинения по математике Декарта, арифметику Валлиса²,

¹ Подробная биография Ньютона была написана Брюстером (Brewster), *Life of Newton*, London 1831 übersetzt von B. M. Goldberg, Leipzig 1833 (немецкий перевод Гольдберга). Произведение это было переработано и вышло под названием: *Memoirs of the Life, Writings and Discoveries of Sir Isaac Newton*, Edinburg, 2 mm; 1855, 2-е изд., 1860. См. также Snell, *Newton und die mechanische Naturwissenschaft*, Dresden u. Leipzig 1843.

² Wallis, *Arithmetica infinitorum sive nova methodus inquirendi in curvilinearorum quadraturam*, 1655. Валлис занимался в этой книге, как Кавальери



ИСААК НЬЮТОН
(1643 — 1727)

содержавшую в себе зародыши открытого впоследствии Ньютоном и Лейбницем исчисления бесконечно малых, и «Диоптрику» Кеплера. К изучению работ других ученых он приступал, однако, с характерной для выдающихся умов самостоятельностью суждения. Уже в студенческие годы, занимаясь собственными математическими исследованиями, он нашел общую теорему о биноме. Точно так же еще до того, как он получил в Кембридже последнюю академическую степень магистра, он занимался проблемой тяготения. При этом он руководствовался плодотворной мыслью установить тождество между тяжестью и силой воздействия Земли на Луну. Но тогда он не достиг поставленной себе цели, ибо определения размеров Земли, лежавшие в основе его выкладок, были недостаточно точны. Только градусное измерение Пикара (Picard), о котором речь будет ниже, дало необходимую для его теории основу, так что он лишь через 16 лет мог доказать правильность своей идеи.

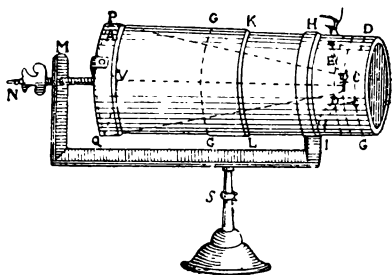


Рис. 67. Общий вид зеркального телескопа Ньютона.

УСПЕХИ ПРАКТИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

К началу научной деятельности Ньютона относятся также его первые занятия оптикой. Подобно Галилею, Ньютон обратил на себя внимание своих современников прежде всего своими работами в деле усовершенствования телескопа. Было замечено, что препятствием для усовершенствования этого инструмента являются два свойства оптических стекол: во-первых, падающие параллельно лучи не соединяются в точности в одной точке; во-вторых, у изображения наблюдаются по краям цветные полосы. Оба эти явления известны под названием сферической и хроматической аберрации. Так как последняя не наблюдается у изображений, полученных при помощи вогнутых зеркал, то Ньютон осуществил высказывавшуюся некоторыми авторами¹ идею зеркального телескопа (рис. 67)². Порожденно

в своих „Неделимых“, главным образом вопросом о квадратурах и кубатурах; но, примыкая к Декарту, он оперировал преимущественно алгебраическими методами, между тем как Кавальери старался придать своим дедукциям по возможности геометрический вид (см. также Santor, *Geschichte der Mathematik*, II, стр. 822).

¹ Цукки (Zucchi), 1616 г. См. Nicolai Zucchi, *Optica philosophica*, Leyden 1652. Соответствующее место приводится Вильде в его „*Geschichte der Optik*“, т. 1, стр. 308. Цукки, как он сообщает в этом месте, произвел также соответственный основной опыт: именно, он давал падать свету на вогнутое зеркало, поместив в то же время на надлежащем расстоянии перед глазом двояковогнутую чечевицу. Повтому Вильде считает его изобретателем зеркального телескопа. (Wilde, I, стр. 308). Грегори в своей „*Optica promota*“ (1663 г., стр. 92 и сл.) ограничился предложением рассматривать через чечевицу полученное при помощи двух зеркал изображение. Но построен был этот грегориевский телескоп лишь 10 лет спустя (1774 г.) Гуком. См. схематический чертеж в книге Вюльнера (Wüllner), *Lehrbuch der Experimentalphysik*, II, стр. 344.

² *Philos. Transactions*, за 1672 г.

сферическим вогнутым зеркалом ($aqsb$) изображение отражается вбок наискось поставленным плоским зеркалом (fg) и рассматривается через вставленную в боковую стенку трубы чечевицу (h) (рис. 68).

Первый, изготовленный в 1668 г., зеркальный телескоп имел в длину лишь пять дюймов. Но с помощью него можно было наблюдать спутников Юпитера, а также фазы Венеры. Несколько лет спустя Ньютон¹ послал Королевскому обществу другой инструмент уже больших размеров. Телескоп был одобрен обществом и выз-

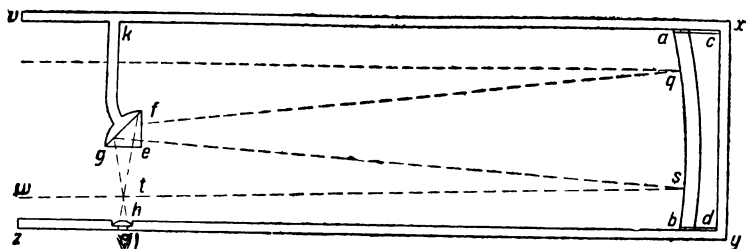


Рис. 68. Схематический рисунок Ньютона, изображающий его зеркальный телескоп.

вал восхищение при дворе. Инструмент хранится еще и ныне в библиотеке Королевского общества. На нем имеется надпись: *Invented by Sir Isaac Newton and made with his own hands, 1671.* (Изобретен Исааком Ньютоном и сделан его собственными руками.)

Заслуга гениального изобретателя, бывшего с 1662 г. профессором математики в Кембридже, была вознаграждена тем, что его избрали членом Королевского общества, председателем которого он впоследствии был.

Краткого упоминания заслуживает также зеркальный секстант, изобретенный Джоном Гадлеем (Hadley). Согласно Мескеляйну (Maskelyne)², уже Ньютон носился с мыслью изготовить зеркальный октант для определения углового расстояния Луны. В 1731 г.³ Гадлей опубликовал описание измерительного прибора с зеркалом, вытеснившего затем все инструменты, употреблявшиеся прежде моряками для измерения углов. Инструмент этот представляет октант с установленной перпендикулярно к его биссектрисе подзорной трубой (рис. 69). Перед трубой находится неподвижно укрепленное зеркало, а влево от него зеркало, расположенное на подвижной алидаде. Перед этим последним зеркалом можно вращать диафрагму (на рисунке совсем налево). На место октанта, разделенного на градусы и минуты, стали употреблять сектант, от которого инструмент и получил свое название.

¹ 1672 г.

² Philos. Transactions, 1742, стр. 155.

³ Philos. Transactions, 1731, стр. 147 и сл.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО СПЕКТРА

Не меньшее значение, чем эти, в первую очередь практические работы, имели исследования Ньютона в области теоретической оптики. Уже древние ученые, а среди новейших исследователей в особенности Кеплер и Снеллиус, занимались изучением преломления света. Ньютон чрезвычайно углубил эту проблему, обратив свое вни-

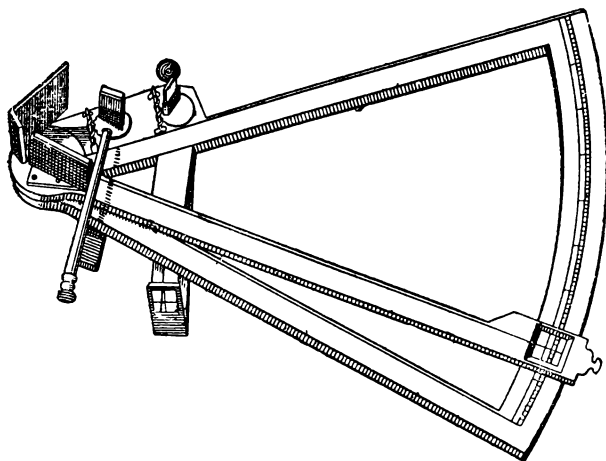


Рис. 69. Зеркальный октант Гадлея.

мание на явление, которым до тех пор пренебрегали, рассеяния цветов. Все основные опыты из этой области, занимавшей его уже с 1666 г., принадлежат ему. Систематическое изложение этого вопроса Ньютон дал в трех книгах своей «Оптики»¹. Ньютон начинает первую книгу заявлением, что он не собирается объяснять свойства света при помощи гипотез, а намерен только раскрыть их и выяснить при помощи опытов и вычислений. Однако Ньютон не остался верен этому обещанию: через всю книгу проходит красной нитью взгляд, что свет представляет собой тонкую, состоящую из отдельных частиц материю, которая испускается светящимися телами. Учение Ньютона получило название теории эманации или теории истечения и господствовало в науке до XIX в.

Исходным пунктом исследования служило доказательство того, что свет различной окраски обладает различной степенью преломляемости. Ньютон поместил в темной комнате позади маленького отверстия стеклянную призму. Последняя отклоняла световые лучи, проникавшие через отверстие в помещение, и давала на противоположной

¹ Optics or a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light. Немецкий перевод „Оптики“ Ньютона под редакцией В. Абендрота появился в виде 96-го и 97-го томов оствальдовской серии классиков точного знания. Это первый немецкий перевод. Кроме четырех английских изданий, существует шесть латинских и три французских издания.

стене комнаты спектр. Ось призмы была расположена перпендикулярно к направлению падения лучей. Вращая призму вокруг этой оси, Ньютон наблюдал, как спектр сперва опускался, а потом снова подымался. В тот момент, когда изображение, казалось, находилось в покое — т. е. в момент минимума отклонения, — он закрепил призму. После этого он давал преломленному свету падать перпендикулярно на

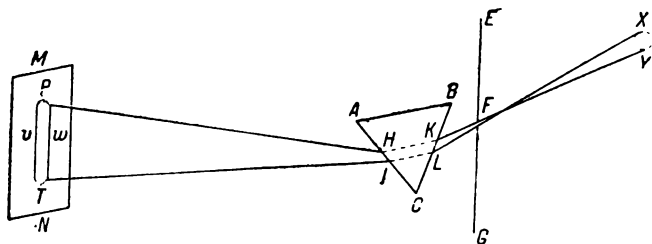


Рис. 70. Ньютон исследует солнечный спектр.

лист белой бумаги MN , помещенной на противоположной стене комнаты, и наблюдал вид и величину получившегося там спектра (рис. 70)¹. Спектр был красного цвета на наименее преломленном конце T , фиолетового — на наиболее преломленном конце P . После этого на пути светового луча были помещены две доски (рис. 71)² DE и de с отверстиями в G и g . Через G проходила только часть преломленного

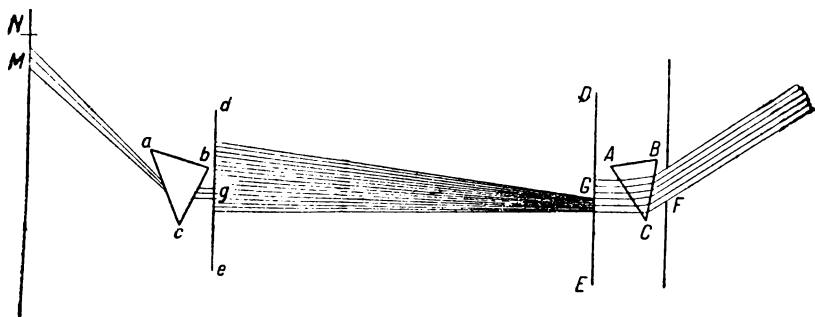


Рис. 71. Ньютон доказывает, что спектральные цвета обладают различной преломляемостью.

света, остальная же часть его задерживалась. В 12 футах от первой доски Ньютон укрепил вторую доску de (рис. 71) таким образом, что опять-таки только часть преломленного света, прошедшего через G , могла пройти через отверстие g второй доски. Непосредственно за второй доской de он поместил затем вторую призму abc , которая должна была отклонять свет, прошедший через отверстие g . Вращая затем первую призму ABC медленно вокруг своей оси, он добивался того,

¹ „Оптика“ Ньютона, I, табл. III, рис. 13.

² „Оптика“ Ньютона, I, табл. IV, рис. 18.

что спектр двигался вверх и вниз, так что все части его должны были одна за другой падать на призму abc . Одновременно с этим Ньютон отметил места на противоположной стенке NM (рис. 71), куда попадали световые лучи, пройдя через вторую призму abc . Из различной высоты этих мест он сделал тот вывод, что наиболее преломляемые лучи, образующие голубую часть спектра, преломляются сильнее, чем красный свет. Действительно, если через отверстие g проходила нижняя, красная часть спектра, то свет этот падал на более низкое место M стены. Если же через отверстие g проходила верхняя, голубая часть спектра, то лучи света падали на выше расположенное место N . Наконец, расположенные между голубым и красным части спектра, пройдя отверстие g , падали на стену между M и N (рис. 71).

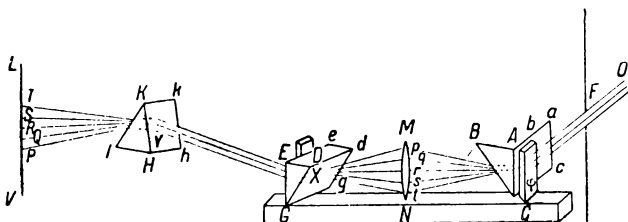


Рис. 72. Ньютон составляет белый свет спектральных цветов.

Ньютон придавал этому опыту столь решающее значение, что он назвал его *Experimentum crucis*, т. е. опытом на перекрестке. Выражение это заимствовано из терминологии Бэкона, столь богатой образами.

Путем соединения всех спектральных цветов можно было получить белый солнечный свет во всей его первоначальной чистоте. Ньютон доказал это при помощи следующего опыта.

На рис. 72 $ABCabc$ представляет призму, преломлявшую падавший в темную комнату солнечный свет таким образом, что он падал на чечевицу MN , давая в $pqrst$ известные спектральные цвета. Расходящиеся лучи света собирались затем чечевицей в X , давая там благодаря смещению всех цветов белый луч света.

Вслед затем Ньютон поместил в X вторую призму $DEGdeg$ параллельно первой призме, чтобы отклонить белый свет вверх по направлению к Y (рис. 72)¹. Углы преломления призм и их расстояния от чечевицы были равны, так что лучи, которые собирались в X и которые — не испытай они там преломления — должны были бы пересечься в этой точке и затем снова разойтись, становились благодаря второй призме параллельными. Лучи эти в таком случае образовывали снова белый световой луч XY , с которым можно было проделать все те опыты, какие были прежде произведены непосредственно с солнечным светом. Задерживая перед чечевицей MX какой-нибудь

¹ „Оптика“ Ньютона, II, табл. IV, рис. 16.

из спектральных цветов *pqrst*, можно было показать, что полученные благодаря опыту с лучом *XУ* цвета соответствовали в точности лучам, из которых был составлен луч *XУ*. Отсюда следовало, что цвета образуются не путем какого-то изменения света, вызванного преломлением или отражением его, а получаются путем разделения и соединения лучей, обладающих каждый известным цветом.

НЬЮТОНОВА ТЕОРИЯ ЦВЕТОВ

Чтобы установить причину цветов тел, Ньютон помещал различные предметы на пути луча *XУ* (рис. 72), причем он нашел, что они все имели там тот цвет, которым они обладают при дневном свете. Так, например, киноварь, освещенная лучом *XУ*, имела тот же цвет, что и при дневном свете. Когда задерживали у чечевицы *МХ* зеленые и голубые лучи, то красный цвет киновари казался еще насыщеннее и ярче. Если задерживали лучи, вызывающие красный цвет, то киноварь казалась уже не красной, а желтой, или зеленой, или какого-нибудь другого цвета, в зависимости от падавшего на нее сорта лучей. Если Ньютон помещал киноварь и ультрамарин друг около друга в однородном красном свете, то оба казались красными, но только киноварь была яркокрасного цвета, ультрамарин же — слабого темнокрасного цвета. В однородном голубом свете и киноварь и ультрамарин казались голубыми, но на этот раз ультрамарин был яркого светлоголубого цвета, а киноварь — слабого темно-голубого цвета. Из этих опытов Ньютон сделал тот вывод, что цвета тел зависят от сорта отражаемых ими по преимуществу лучей. Фиалки отражают главным образом лучи с наибольшим преломлением и имеют поэтому соответствующий цвет. И то же самое, согласно Ньютону, относится ко всем прочим телам: каждое отбрасывает лучи соответствующего ему цвета в большем количестве, чем другие лучи; цвет его объясняется тем, что лучи первого рода преобладают в отражаемом им свете. Таким образом, строго говоря, все тела, как указывает Ньютон, не окрашены вовсе в известный цвет, а обладают только известной способностью вызывать ощущение того или иного цвета. Подобно тому как звук колокола представляет собой не что иное, как колебательное движение звучащего тела, передающееся воздуху и раздражающее наш орган слуха, так и «наблюдаемые у предметов цвета представляют только их способность отражать тот или иной сорт лучей; а в лучах опять-таки имеется только способность распространять это движение до нашего органа зрения; наконец, только в последнем возникает ощущение этих движений в виде цветов».

Ньютонова теория цветов представляет, несомненно, одно из величайших завоеваний оптики. Не надо забывать того, что учение Аристотеля, согласно которому цвета получаются путем смешения белого и черного, света и тьмы, было в XVII в. еще в полной силе. Даже Кеплер придерживался этой аристотелевской теории¹, а

¹ Opera omnia (ed. Frisch), II, стр. 119 и сл.

де-Доминис (de Dominis) писал в своем замечательном произведении по оптике (1611 г.), что цвета получаются, если примешивать к свету несколько темноты, не угашая, однако, всего света¹. Так, например, огонь кажется красным, потому что образующийся при нем дым затемняет его.

После того, как Ньютон доказал, что различные цвета лучей обладают различной преломляемостью, должен был встать вопрос, имеет ли силу для каждого сорта лучей установленный Снеллиусом, без отношения к учению о цветах, закон, согласно которому между синусом угла падения и синусом угла преломления существует постоянное отношение. Весьма вероятно, полагал Ньютон, что на этот вопрос следует ответить утвердительно, ибо природа следует всегда однообразным законам. Однако было желательно экспериментальное доказательство² этого утверждения, которое и было дано Ньютоном. На основании этих опытов Ньютон считал преломление света и возникновение цветов двумя неразрывно связанными друг с другом процессами. Отсюда у него и возникло убеждение, что невозможно устранить хроматическую аберрацию стекол.

Несовершенство телескопов Ньютон приписывал исключительно сферической форме стекол. По его мнению, самый серьезный недостаток их заключается в том, что лучи различной преломляемости не сходятся в одной и той же точке. Действительно, исследование показало, что для лучей, испускаемых светящейся точкой, находящейся на очень большом расстоянии от чечевицы, фокус наиболее преломляемых лучей расположен ближе к стеклу почти на 28-ю часть среднего фокусного расстояния. Несмотря на это началась борьба между рефракторами и рефлекторами. Недостаток рефракторов старались ослабить тем, что придавали объективу очень малую кривизну, увеличивая соответственно с этим фокусное расстояние. Вследствие этого размеры телескопа непрерывно возрастали. Наконец, по предложению Гюйгенса, совсем отказались от твердого соединения объектива с окуляром. Появился так называемый воздушный телескоп (рис. 73) с объективом, фокусное расстояние которого доходило до 2 м. Впоследствии, благодаря стараниям Вильяма Гершеля (Herschel) и рефлектор достиг почтенной длины в 40 футов³. В дальнейшем мы расскажем, как благодаря открытию ахроматических чечевиц (идея которых принадлежит Эйлеру) рефрактор

¹ De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et iride Tractatus Marci de Dominis, Венеция 1611.

Де-Доминис (1566 — 1624) был священником и испытал такую же судьбу, — что и Джордано Бруно. За свои несогласия с учениями католической церкви он был арестован инквизицией и умер в Энгельсбургской тюрьме, вероятно от яда.

По фон-Липпману учение о том, что цвета представляют собой смесь белого и черного, заимствовано из ложно приписываемых Аристотелю сочинений.

² Подробнее см. „Оптику“ Ньютона (Ostwalds Klassiker, т. 96, стр. 50 и сл., а также Wilde, Geschichte der Optik, II, стр. 44 и сл.

³ Зеркало этого телескопа имело диаметр в 4 фута и весило 2000 фунтов. Описание этого телескопа Гершель дал в „Philos. Transactions“, 1795, II, 347. Построенный лордом Россом в 1845 г. рефлектор был еще больших размеров: длина его равнялась 16,5 м, а диаметр зеркала равнялся 1,82 м.

окончательно восторжествовал¹ над рефлектором и была доказана ошибочность утверждения Ньютона о неустранимости хроматической аберрации.

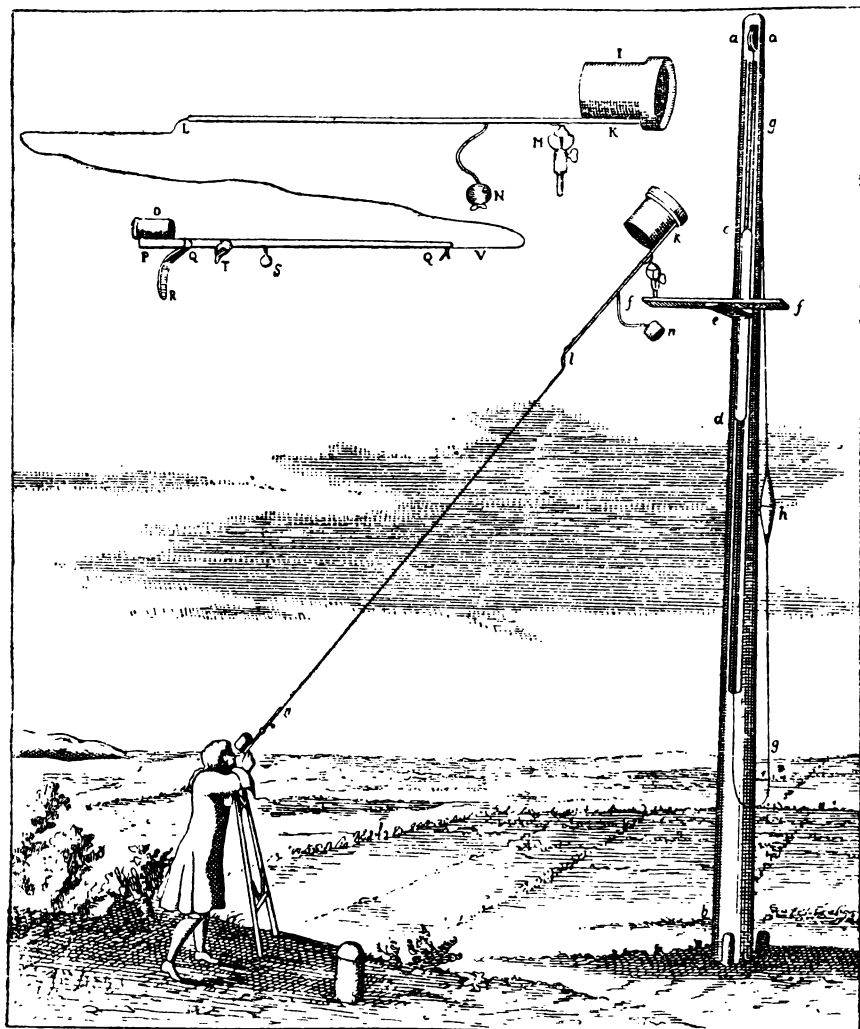


Рис. 73. Воздушный телескоп Гюйгенса.

Дальнейшим выводом из работ Ньютона по исследованию спектра была его теория радуги, остававшейся в течение тысячелетий неразрешимой загадкой. Аристотель пытался объяснить радугу отражением света, арабские оптики приписывали ее преломлению света.

¹ Для определенных целей (фотографических снимков) и теперь еще употребляются колоссальные рефлекторы с объективом в 2 м и больше.

После того как Снеллиус нашел названный по его имени закон преломления, Декарт и де-Доминис дали теоретический и экспериментальный анализ этого явления, в котором недоставало только объяснения цветов радуги. Объяснение это было дано Ньютоном. Рис. 74, заимствованный из его «Оптики», представляет внешнюю и внутреннюю радуги, а также ход световых лучей в каплях, расположенных в красной части F и в фиолетовой части E^1 . Из рисунка ясно, что во внутренней дуге происходит однократное отражение света от стенки дождевой капли, во внешней же — двукратное. Последнее допускал уже Декарт, чтобы объяснить меньшую яркость внешней дуги. Ньютон показал, как фиолетовая часть спектра попадает в глаз наблюдателя O от капли E , угловое расстояние кото-

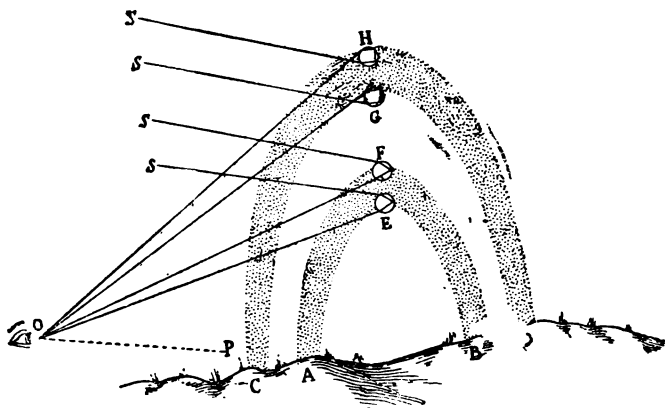


Рис. 74. Ньютоново объяснение радуги².

рой от общего центра обеих дуг, лежащего на продолжении линии OP , равно $40^\circ 17'$. OP представляет прямую, соединяющую Солнце с глазом наблюдателя. Что же касается капли F , расстояние которой от той точки, где OP пересекает небесный свод, равно $42^\circ 2'$, то она, как видно из рисунка, будет посылать в глаз лучи меньшей преломляемости. Поэтому тот кольцеобразный пояс, в котором находится капля F , должен казаться красным. Во внешней дуге мы наблюдаем обратное отношение. Капля H посылает в глаз более преломленную фиолетовую часть спектра, между тем как красная часть порождается внутренним поясом, представленным каплей G .

Для экспериментального доказательства своей теории Ньютон по примеру Декарта и де-Доминиса³ повесил на солнечном свете наполненный водой стеклянный шар и двигал его вверх и вниз, так что угол между солнечными лучами и прямой, соединявшей шар

¹ Для внешней дуги в G (красное) и в H (фиолетовое).

² Ostwalds Klassiker, т. 96, стр. 130.

³ Иезуит, живший в 1566 — 1624 гг. Из-за своих свободных религиозных воззрений он был заключен инквизицией в тюрьму.

с глазом, принимал различные значения. Когда этот угол равнялся приблизительно 42° , то нижняя, обращенная от Солнца сторона шара была яркокрасного цвета. Если шар опускали, так что угол уменьшался на несколько градусов, то на место красного цвета появлялись последовательно желтый, зеленый и голубой. Если шар поднимали, то при угле в 51° наблюдали красный цвет на верхней, обращенной к Солнцу стороне его. Остальные цвета появлялись в этом случае один за другим, если, продолжая постепенно поднимать шар, увеличивали угол на несколько градусов.

ЭМИССИОННАЯ И ВОЛНОВАЯ ТЕОРИИ СВЕТА

В течение XVII в. физики познакомились с рядом новых, неизвестных до того явлений. Бартолин открыл двойное преломление исландского шпата, Гримальди (Grimaldi) — дифракцию света, а Гук впервые исследовал цвета тонких пластинок. Благодаря этому в оптике возник ряд новых задач. Теоретическое решение их дано было в позднейшую эпоху, но для экспериментального исследования их сделал немало Ньютон.

Итальянский математик Гримальди (1618—1663) опубликовал свои наблюдения о природе света в книге, вышедшей в 1665 г., т. е. в то время, когда Ньютон начал свои исследования. В этой книге имеется не только первое описание порождаемого призмой солнечного спектра¹: в ней говорится также о замечательных явлениях, получивших впоследствии названия дифракции и интерференции. Об опытах Гримальди, имевших основополагающее значение для теории света, мы уже говорили раньше².

Первыми приверженцами волновой теории света с ее допущением необычайно упругой среды, содействующей распространению света, были, кроме Гримальди, только смутно предчувствовавшего истину, Гук и Гюйгенс. Последний, как мы увидим в дальнейшем, особенно ясно развил волновую теорию³ и по справедливости считается ее основателем. Некоторые выражения Ньютона указывают на то, что он вовсе не отрицал известной правомерности волновой теории. Но в своей собственной теории он считал необходимым исходить из допущения, что свет — это вещество, испускаемое светящимися телами. Дело в том, что если оба учения, как волновая теория Гюйгенса, так и ньютонова теория истечения, могли объяснить явления отражения и преломления, то первая в приданной ей Гюйгенсом форме еще не была в состоянии истолковать явления цветов.

Согласно Ньютону, существуют световые частицы различной величины. Если на прозрачное тело падает косо луч белого света, в котором имеются частицы всех величин, то самые малые частицы, порождающие фиолетовый цвет, отклоняются благодаря притяжению

¹ Grimaldi, *Physico-Mathesis de lumine, coloribus et iride*, Bologna 1665, стр. 235 и сл.

² См. стр. 83 и сл.

³ Huygens, *Трактат о свете*. № 20 оствальдовской серии классиков точного знания.

со стороны частиц тела сильнее, чем более крупные световые частицы, дающие начало красному цвету. Между обоими этими крайними случаями имеют место всевозможные переходы, и таким именно образом возникает, по Ньютону, непрерывная цветная полоса спектра. Чтобы объяснить дифракцию и цвета тонких пластинок, о которых будет сейчас речь, Ньютон должен был приписать световому веществу новые свойства, так что с каждым новооткрытым явлением его гипотеза становилась все сложнее и запутаннее. Это обстоятельство, конечно, не было благоприятным для нее. Однако эмиссионная теория, вследствие огромного авторитета своего творца, удержалась в течение всего XVIII в. и даже после него, несмотря на то, что различные исследователи, в особенности Эйлер¹, обнаружили ее недостатки.

Новое поле для оптических исследований открыли работы Гука о цветах тонких пластинок. Роберт Гук родился в 1635 г. на острове Уайте и умер в 1703 г. в Лондоне. Он был членом Королевского общества и отличался большой разносторонностью, мешавшей ему, к сожалению, настойчиво преследовать одну и ту же задачу. Гюйгенс развил впоследствии подробно волновую теорию, исходя из замечаний Гука о природе света.

Исследования Гука, служащие переходом к работам Ньютона, находятся в его «Микрографии»², произведении, важном и с естественно-исторической точки зрения, ибо в нем содержатся первые наблюдения над клеточным строением растений. «Толстые пластинки слюды, — читаем мы здесь³, — бесцветны. Если раскалывать их и делать их все тоньше, то под конец каждая пластинка окажется окрашенной в красный цвет; если в трещины проникает воздух, то появляются цвета радуги. При сжатии стеклянных пластинок возникают аналогичные явления». Очень тонко выдутое стекло, отпущенная сталь, вообще очень тонкие прозрачные тела, лежащие на отражающих телах с другим показателем преломления, дают начало тем же цветам. Гук объясняет возникновение этих цветов «хаотическим смешением» отраженных от поверхностей тонкого слоя колебаний. Частицы каждого светящегося тела находятся в более или менее быстром движении. Некоторые вещества становятся светящимися от удара или трения. Поэтому надо допустить, что свет заключается в незаметно малых колебаниях и что прозрачны только такие тела, которые могут воспринять эти движения и передать его. Заимствованный из книги Гука рисунок (рис. 75) объясняет возникновение интерференционных цветов. Если световой луч, которому Гук приписывает известный диаметр, падает на тонкую прозрачную пластинку, то часть луча немедленно отражается первой поверхностью. Другая часть его проникает внутрь пластинки и отражается затем от нижней поверхности ее, чтобы, наконец, после нового преломления

¹ D a n n e m a n n, Aus der Werkstatt grosser Forscher, Leipzig 1908, ra. 34.

² H o o k e, Micrographia or some philosophical descriptions of minute bodies London 1655.

³ Micrographia, Observat. IX: Of the Colours observable in Muscovy Glass and other thin Bodies.

выйти из пластинки в направлении, параллельном первоначально отраженной части луча. Так как распространение света требует времени, то обе части, на которые разложился луч, покинут верхнюю поверхность пластинки не одновременно. Благодаря этому расхождению во времени и возникают, согласно Гуку, на сетчатке цвета. Красный цвет получается тогда, когда более яркая часть света, отразившаяся от верхней поверхности, идет впереди, а за ней следует менее яркая часть. В случае голубого цвета дело происходит наоборот. Он возникает благодаря интерференции, когда за менее яркой частью света, выходящей изнутри пластинки, следует часть луча, отразившаяся от верхней поверхности. Получившееся при этом на сетчатке единое световое восприятие вызывает ощущение голубого

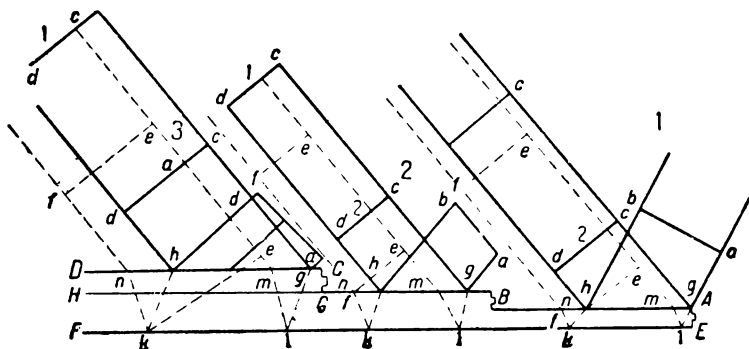


Рис. 75. Гук объясняет возникновение явлений интерференции.

цвета. По Гуку основными цветами являются голубой и зеленый, и из их смещения получаются остальные цвета. При всех недостатках теории Гука, основная идея ее, согласно которой цвета тонких пластинок объясняются интерференцией двух отразившихся от обеих поверхностей пластинки лучей, сохранилась и перешла в современную теоретическую оптику. Но его усилия установить закономерность между толщиной слоя, вызывающего явления интерференции, и самими этими явлениями остались безуспешными.

«Я неоднократно тщетно пытался найти крайне важное для этой гипотезы отношение, — пишет по этому вопросу Гук, — именно определить толщину пластинки, необходимую для наступления этих цветовых явлений. Но эти пластинки так необычайно тонки, а наши микроскопы так несовершенны, что все мои усилия оказались бесплодными».

В этом именно пункте начинаются исследования Ньютона, изложенные им во второй книге «Оптики». Чтобы определить последовательность цветов, Ньютон положил чечевицу телескопа на стеклянную поверхность. При этом возникли соответствующие цветам тонких пластинок «ньютоновы кольца», представляющие в монохроматическом свете просто ряд светлых и темных полос; если же на пластинку падал солнечный свет, то получались спектральные цвета.

Поблизости от места прикосновения, которое само по себе было совершенно прозрачно и бесцветно, Ньютон нашел цветные кольца в такой последовательности: фиолетовый цвет, голубой, зеленый, желтый, красный. Эта череда цветов повторялась, причем они становились все слабее, слившись после четвертой смены в белый цвет. Из этого слияния цветов Ньютон сделал опять-таки вывод, что белый цвет представляет собой смешение всех цветов.

Зная кривизну чечевицы и расстояния колец от точки прикосновения, Ньютон вычислил соответствующую каждому цвету толщину воздушного слоя. Для желтого цвета каждого цветового кольца соответствующие значения относились между собой, как $1:3:5:7\dots$, между тем как для лежащих между желтыми поясами темных частей отношение было: $2:4:6:8\dots$. Таким образом из сделанных Ньютоном измерений и вычислений получился простой закон, согласно которому соответствующие ярким и темным местам толщины воздушного слоя относятся между собой, как натуральные числа¹.

Дальнейшие усилия Ньютона заключались в том, чтобы установить аналогию между постоянными цветами естественных тел и цветами тонких прозрачных пластинок. Для этого он стал рассматривать поверхности тел как тонкие пластинки, ибо все тела до некоторой степени прозрачны.

К опытам Гримальди Ньютон отнесся так же, как и к рассуждениям Гука. В обоих случаях он дополнил исследования своих предшественников точными измерениями, доставив таким образом ценный материал для основания теории, сменившей впоследствии его собственные ошибочные взгляды на природу света.

Третья книга «Оптики» содержит, кроме проверки опытов Гримальди о дифракции света (к которым Ньютон присоединил еще свои собственные эксперименты), ряд размышлений, названных Ньютоном «Вопросами» (Queries). В этих «Вопросах» высказаны некоторые соображения, проверку которых путем дальнейшего наблюдения и опытов Ньютон желал предоставить другим ученым. Из своего трактата по оптике Ньютон хотел исключить все то, что он еще не выяснил окончательно для самого себя. Так, он задает вопрос, не согревает ли свет тела благодаря тому, что он приводит частицы их в колебательное движение². То обстоятельство, что нагретые тела испускают свет, объясняется, по Ньютону, опять-таки колебательным движением их частиц³. Надо заметить, что доказательства, приводимые Ньютоном в пользу этого взгляда, представляют набор разнородных явлений, объясняющихся, как показало дальнейшее исследование, самыми различными причинами. Так, Ньютон говорит, что морская вода светится в бурю, ртуть — когда ее встряхивают в пустоте, спина кошки — когда ее гладят в темноте. Далее, фосфор светится при трении, а железо — если быстро ударять по нем

¹ Newton, Optice, lib. II, pars I. Observatio VI, C. 149 кларковского издания от 1740 г.

² Вопрос 5 (Ostwalds Klassiker, № 97, стр. 101).

³ Вопрос 8 (Ostwalds Klassiker, № 97, стр. 101).

молотом. Если привести стеклянный шар в быстрое вращательное движение, то он светится в том месте, в котором прижимают к нему ладонь руки.

Далее имеется вопрос, не возникает ли ощущение различных цветов оттого, что свет вызывает колебания различной величины, подобно тому как воздушные колебания различной величины вызывают ощущение различных звуков. Правда, Ньютон представлял себе эти колебания в виде продольных колебаний в потоке материальных световых частиц. Таким образом и здесь Ньютон не покидает почвы своей теории. Он даже высказывает тот взгляд, что твердые тела и свет могут превращаться друг в друга¹.

В одном из ньютоновских «Вопросов», относящемся к оптическим явлениям, наблюдаемым в исландском шпате, следует искать происхождение термина «поляризация». «Не следует ли думать, — говорит Ньютон², — что необыкновенное преломление, наблюдаемое в исландском шпате, вызывается особой притягательной силой, присущей с известных сторон как лучам, так и частицам кристаллов?» Присущая лучам сила должна бы соответствовать силе, присущей частицам кристалла, так, как «соответствуют друг другу полюсы двух магнитов». И, подобно тому как магнетизм может быть усилен или ослаблен или даже совершенно отсутствовать, так и способность преломлять перпендикулярно падающие лучи света является большей в исландском шпате, меньшей в горном хрустале и, наконец, совершенно отсутствует в других телах.

Через сто лет эта идея Ньютона была снова выдвинута Малюсом (Malus), когда он открыл явления поляризации через отражение. Впоследствии и сторонники волновой теории света стали употреблять слово «поляризация» для обозначения того, что некоторые световые лучи обладают «сторонами».

В связи с своими «Вопросами» Ньютон развил — тоже в гипотетической форме — основы эмиссионной или эманационной теории света. Согласно этой теории световые лучи состоят из крайне мелких телец, испускаемых светящимися веществами. В однородной среде телец эти движутся прямолинейно. Прозрачные вещества действуют на них на расстоянии, вызывая явления преломления, отражения и дифракции. Для объяснения различных цветов и различной преломляемости лучей света достаточно допустить, что световые лучи состоят из телец различной величины; самые мелкие из них дают начало фиолетовому цвету, остальные же, в соответствии с градацией своих размеров, порождают синий, зеленый, желтый и красный цвета, отклоняясь при этом со все большим трудом.

Недостаточность теории истечения обнаруживается особенно резко там, где дело идет о явлениях интерференции. Делавое здесь Ньютоном допущение периодически повторяющихся фаз более легкого отражения света и более легкого прохождения его не может претендовать на роль механического объяснения. Такие же трудности

¹ Вопрос 30 (Ostwalds Klassiker, № 97, стр. 124).

² Вопрос 29 (Ostwalds Klassiker, № 97, стр. 123).

представляло для эмиссионной теории двоякое преломление в исландском шпате. Ньютон полагал, что оно тоже должно объясняться особой силой притяжения, свойственной известным сторонам как лучей, так и частиц кристалла. Однако трудно понять, как могли бы световые лучи обнаруживать силу с двух сторон, если бы они не состояли из телец.

Хотя сам Ньютон вовсе не высказывался решительным образом в пользу той или иной из рассмотренных в приложении к «Оптике» теорий, но его ученики и приверженцы возвели эманационную теорию в ранг догмата, освященного авторитетом учителя. То, в чем Ньютон только сомневался, было отвергнуто, а то, что он считал лишь вероятным, было признано вполне достоверным. Таким образом Ньютон был превращен своей школой в отца эманационной теории¹, хотя он сам всегда подчеркивал свой нейтралитет по отношению ко всякой гипотезе. Теория эта до того овладела умами ученых, что на отличные от нее взгляды Гюйгенса, Эйлера и Христиана Вольфа не обращали никакого внимания. Благоговение к имени Ньютона мешало большинству физиков XVIII в. высказать хотя бы малейшее сомнение в истине эманационной теории. «Это — печальная страница в истории физики, — говорит один из историографов последней², — и разительное доказательство того, как пагубно может действовать авторитет великого мыслителя на следующие поколения, если преклонение перед ним задерживает непредубежденное исследование».

ОТКРЫТИЕ ЗАКОНА ТЯГОТЕНИЯ

Высшего своего расцвета творчество Ньютона достигло тогда, когда он снова приступил к неудавшейся ему в 1666 г. попытке объяснить движение небесных тел на основании законов механики. Поводом к этому послужило дошедшее до него в 1682 г. известие, что француз Пикар получил совершенно другие размеры для земного шара, чем принятые в Англии в эпоху Ньютона. Жан Пикар (1620—1682), член Французской академии, исходя из предположения, что Земля имеет форму шара, произвел градусное измерение при помощи триангуляции между Амьеном и Мальвуазином³. При этой съемке впервые применялись угломерные инструменты, снабженные подзорными трубами. Пикар нашел, что величина градуса широты равняется 70 английским милям или 57 060 туазам⁴, между тем как Ньютон, не знавший о произведенном Снеллиусом в 1617 г. измерении⁵, в своих вычислениях от 1666 г. исходил из длины градуса широты в 60 английских миль.

¹ Rosenberger, Newtons Prinzipien, стр. 329.

² Poggendorff, Geschichte der Physik, стр. 645.

³ Picard, La mesure de la terre, Paris 1671.

⁴ 1 туаз = 6 франц. фут. = 1,949 м.

⁵ Измерение это дало для градуса широты 55 072 туаза. Снеллиус поступил следующим образом. Он нашел, что высота полюса для Алькмаара равняется 52° 40' 5", а для Бергена на Зуме 51° 29'. Разница между параллельными кругами,

Среднее расстояние Луны от Земли было известно с достаточной точностью. Ньютон принимал его равным 60 земным радиусам. На основании этих данных можно было вычислить, что отрезок, на который отклоняется Луна в одну минуту под влиянием центробежной силы от касательной к ее орбите, равняется 15 футам¹. При сделанном в 1666 г. допущении вычисления приводили к отклонению лишь в 13,5 футов, т. е. давали такую величину, что нельзя было найти простого отношения между нею и путем, проходимым в одну минуту на поверхности Земли свободно падающим телом. Этот последний отрезок равняется $54\,000 = 60 \cdot 60 \cdot 15$ футов, т. е. он во столько раз больше направленного к центру Земли отклонения Луны, во сколько раз квадрат расстояния Луны от Земли больше радиуса Земли; следовательно, в той же пропорции больше и сила, действующая на падающее тело. Таким образом оказывалось, что центростремительная сила, действующая на Луну, тождественна с тяжестью, если допустить, что последняя убывает пропорционально квадрату расстояния. Так был найден необычайно общий закон, который по справедливости называют всемирным законом.

Когда Ньютон сделал приведенный только что вывод, то его охватило такое волнение, что он должен был попросить своего друга довести до конца выкладки. То, что предугадывал уже Анаксагор, говоря, что с исчезновением центробежной силы Луны последняя должна была бы упасть на Землю, как падает камень из пращи; то, что рисовалось Кеплеру и Гуку со все возрастающей отчетливостью, — то предстало вдруг с полной ясностью перед духовным взором Ньютона. А затем за минутой счастливого открытия последовали годы напряженнейшей работы, ибо надо было доказать правильность найденного принципа, приложив его ко всем астрономическим явлениям. Свое исследование Ньютон распространил на планеты, спутников Юпитера, явления приливов и отливов, даже на кометы. И повсюду найдено было подтверждение закона тяготения, согласно которому сила притяжения прямо пропорциональна массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния. Так возникли «Математические начала естествознания», в которых

проходящими через оба эти места, равнялась таким образом $1^{\circ}11',5$. Измерение расстояния между ними дало для градуса 55 072 туаза. При этом измерении впервые прибегли к методу триангуляции (De terrae ambitu a Willebrordo Snellio, (Leyden 1617). Снеллиус исходил из неизменного, весьма точно измеренного базиса, строя и определяя путем измерения углов сеть треугольников. Когда несколько лет спустя после его первого измерения окрестности Лейдена были затоплены и замерзали, то он воспользовался этим случаем, чтобы еще раз измерить с максимальной точностью базис.

Мы уже раньше указали, что Виллеброрду Снеллиусу принадлежит открытие закона преломления (родился в Лейдене в 1591 г. и умер там профессором университета в 1626 г.). Ему же принадлежит тригонометрический метод, ошибочно приписывавшийся французу Потно (Pothénot). Изображенная здесь вкратце деятельность этого выдающегося геометра дала возможность Ньютону решить величайшую естественнонаучную проблему, которую когда-либо ставило себе человечество.

¹ В точности равняется $15'1''\ 14/9'''$. См. „Начала“ Ньютона (изд. Вольферса) стр. 386.

Ньютон дал законченное для своей эпохи объяснение механизма мира на основании теории тяготения¹.

В своей работе о движении земли² Гук подошел уже совсем близко к открытию закона тяготения. «Я разовью теорию, — читаем мы здесь, — которая во всех отношениях согласуется с общепризнанными правилами механики. Теория эта основывается на трех допущениях: во-первых, что все без исключения небесные тела обладают направленным к их центру притяжением или тяжестью, благодаря которой они притягивают не только свои собственные части, но также и все находящиеся в сфере их действия небесные тела. Согласно второму допущению все тела, движущиеся прямолинейным и равномерным образом, будут двигаться по прямой линии до тех пор, пока они не будут отклонены какой-нибудь силой и не станут описывать траектории по кругу, эллипсу или какой-нибудь другой менее простой кривой. Согласно третьему допущению силы притяжения действуют тем больше, чем ближе к ним находятся тела, на которые они действуют. Я не мог еще установить при помощи опыта, каковы различные степени притяжения. Но если развивать дальше эту идею, то астрономы сумеют установить определенный закон, согласно которому движутся все небесные тела». К этим размышлениям Гук присоединяет пожелание, чтобы кто-нибудь развил эту идею, так как сам он очень занят другими вещами.

Механика теории тяготения представляет по существу дальнейшее развитие найденных Галилеем теорем о движении брошенных тел. Легче всего в этом убедиться при помощи следующего, принадлежащего самому Ньютону, рассуждения⁴: «Исходя из движения брошенных снарядов, можно показать, что центральные силы могут удерживать планеты на их орбите. Брошенный камень отклоняется под действием тяжести от прямолинейного пути и, описав кривую траекторию, падает наконец на Землю. Если его бросить с большей скоростью, то он упадет дальше. Увеличивая скорость, можно было бы добиться того, что он опишет дугу в 10, 100, 1000 миль и, наконец, покинет пределы Земли и не упадет больше на нее. Пусть AFB (рис. 76) означает поверхность Земли, C — ее центр, а VD , VE ,

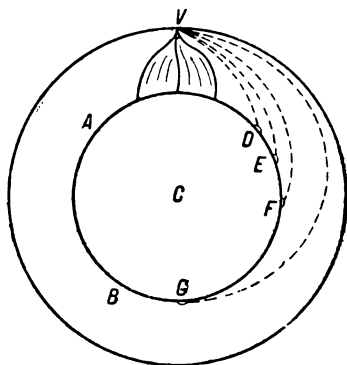


Рис. 76. Ньютон выводит центральное движение из движения брошенного тела³.

¹ Philosophiae naturalis principia mathematica, London 1687. Перевед. на немецкий Вольферсом (Berlin 1872). См. также Ferd. Rosenberger: Isaak Newton und seine physikalischen Prinzipien. Ein Hauptstück aus des Entwicklungsgeschichte der modernen Physik, Leipzig 1895.

² Hooke, An attempt to prove the motion of the earth, London 1674, стр. 27 и 28.

³ Начала" Ньютона (изд. Вольферса), фиг. 213.

⁴ „Начала“ Ньютона (изд. Вольферса), стр. 515.

и VF — кривые линии, описываемые камнем, брошенным в горизонтальном направлении с возрастающей скоростью с вершины V очень высокой горы. Чтобы не вводить в вычисление сопротивления воздуха, вообразим себе его совершенно отсутствующим. Подобно тому как тело, брошенное с увеличивающейся скоростью, описывает дуги VD , VE и VF , так при дальнейшем возрастании скорости оно под конец обгонит Землю и вернется к горе, с которой его бросили¹. Так как согласно теоремам о центробежной силе² скорость при возвращении к горе не может быть меньше, чем при оставлении ее, то тело должно отныне продолжать вращаться таким же самым образом вокруг Земли. Представим себе тела, брошенные в горизонтальном направлении с еще более высоких точек, например с точек, находящихся на 10 миль, 100 миль или же на 10 земных радиусов или 100 радиусов над поверхностью Земли; в таком случае тела эти, в зависимости от своей скорости и от размеров действующей в отдельных точках силы притяжения, опишут либо концентрические, либо эксцентрические кривые. И они будут продолжать двигаться по этим траекториям, подобно тому как планеты описывают в небесном пространстве свои орбиты».

Таким образом новый момент в теории Ньютона по сравнению с концепцией Галилея заключается в том, что направление постоянно действующей на тело силы непрерывно изменяется, между тем как у Галилея³ оно было неизменным.

Своим произведением Ньютон заложил основы современной математической физики, и «Начала» его если не по объему, то по методу являются первым учебником математической физики.

«НАЧАЛА» НЬЮТОНА

Значение «Начал» для развития не только механики и астрономии, но и остальных отраслей естествознания так велико, что мы должны несколько подробнее остановиться на этом произведении.

Ньютон начинает свое изложение рядом определений и законов, которые отчасти новы, отчасти впервые выражены им с надлежащей ясностью. Важнейшие из них следующие⁴:

1. Величина или масса материи определяется ее плотностью и ее объемом.
2. Количество движения равно произведению из массы на скорость.
3. Тело, на которое не действует никакая сила, остается в состоянии покоя или равномерного движения.
4. Силой называется действующее на тело стремление изменить его состояние движения.

¹ Это произойдет при скорости 21000' в секунду.

² „Начала“ Ньютона, 1 кн., § 13.

³ См. рис. 14 настоящего тома.

⁴ См. также „Определения и постулаты“ из ньютоновых „Начал“ естествознания, собранные в первой части 191-го томика оствальдовской серии классиков точного знания (Leipzig, W. Engelmann, 1914).

5. Изменение движения пропорционально действию движущей силы и совершается в том самом направлении, в котором действует эта сила.

6. Действия двух тел друг на друга всегда равны и противоположны по направлению.

7. Под действием двух сил тело описывает диагональ параллелограмма и притом в такое же время, в которое оно описало бы под действием каждой из этих сил в отдельности соответствующую сторону этого параллелограмма.

Для разрешения более сложных динамических задач уже недостаточно было созданных древними математических методов. В динамике приходилось рассматривать переменные; «текущие» величины и испытываемые их отношениями мгновенные изменения. Когда Ньютон писал свои «Начала», он уже обладал изобретенным им методом — который он назвал исчислением флюксий, — созданным специально для механики и удовлетворявшим только что указанному требованию. Во многих местах своего произведения Ньютон дает — правда, очень кратко и бегло — набросок своего метода. Но, странным образом, при решении задач о движении он предпочитает старый, геометрически-синтетический способ изложения, хотя результаты свои он получил (как он сам сообщил об этом впоследствии) аналитическим путем.

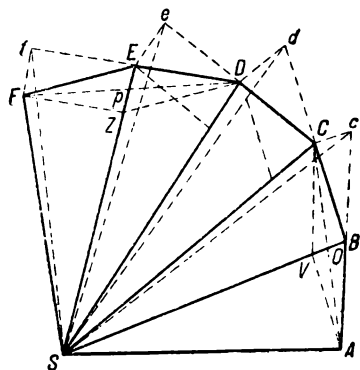


Рис. 77. Теорема Ньютона о движении тела под действием центральной силы.

Сформулировав основные понятия механики так, как мы это показали на некоторых примерах, и изложив свой математический метод, Ньютон обращается затем к своей настоящей задаче, именно к изучению центральных сил. Сперва он доказывает по способу, употребляемому еще и в наше время, что траектории тел, движущихся под влиянием центробежной силы, лежат в неизменных плоскостях и что площади, описываемые радиусами-векторами, пропорциональны временам. Мы приведем здесь хотя бы только геометрическое построение, лежащее в основе доказательства Ньютона (рис. 77).

За этой теоремой следует обратная теорема, именно, что каждое тело, движущееся в неизменной плоскости таким образом, что радиусы-векторы описывают в равные времена равные площади, находится под действием центробежной силы.

Ньютон переходит затем к изучению движения тел по коническим сечениям, в одном из фокусов которых находится центр силы. Сперва он рассматривает самый важный для движения планет случай, когда тело движется по эллипсу, и старается найти закон центральной силы, направленной к его фокусу. Оказывается, что искомая

сила обратно пропорциональна квадрату радиуса-вектора. Тот же самый закон устанавливается затем для параболы и для гиперболы. В особой главе рассматривается притяжение сферических тел. Их совокупное притяжение выводится из отдельных притяжений составляющих такие тела частиц. Ньютон находит, что действие массивного однородного шара на находящуюся вне его точку прямо пропорционально массе и обратно пропорционально квадрату расстояния точки от центра шара. Действие же массивного шара на точку, расположенную внутри него, пропорционально расстоянию этой точки от центра шара. Наконец, взаимное притяжение двух шаров пропорционально массам этих шаров и обратно пропорционально квадратам расстояний их центров.

Развив в первых двух книгах своего фундаментального творения общие законы движения, включая сюда и движение жидкостей, Ньютон переходит в третьей книге к приложению этих законов к системе мира.

Ньютон показывает, что из всеобщего закона притяжения можно вывести второй и третий законы Кеплера. Далее, он показывает, что все спутники тяготеют к своим планетам, а все планеты к Солнцу, а также, что движения этих тел управляются центральными силами, прямо пропорциональными массам и обратно пропорциональными квадратам расстояний. Таким образом закон Ньютона имеет силу для всего мирового пространства. Это — тот всемирный закон, к которому так давно уже стремились, который более или менее ясно предчувствовал ряд исследователей, но который только Ньютон впервые раскрыл с полной отчетливостью.

За установлением этого универсального закона следует разбор отдельных вопросов о возмущениях планет, о неравенствах в движении Луны, о морских приливах и отливах и т. д. «Все планеты, — говорит Ньютон, — тяготеют друг к другу, поэтому, например, Юпитер и Сатурн, когда они находятся поблизости от своего соединения, будут заметно притягивать и возмущать движения друг друга. Точно так же Солнце будет возмущать движение Луны, а Солнце и Луна будут оказывать влияние на море». Вывод из закона тяготения указанных явлений, не поддававшийся до тех пор никакому механическому объяснению, представлял немалые трудности. Ньютон еще не в состоянии был окончательно преодолеть их, ибо ограничивался только рассмотрением притяжения сферических тел. Все же ему удалось вывести из своего закона основные особенности системы мира.

Уже Кеплер высказал ту мысль, что явления приливов и отливов объясняются космическим притяжением. Он видел в этих явлениях доказательство того, что притягательная сила Луны простирается до Земли. С этим взглядом мы встречаемся уже и в древности; Сенека замечает даже, что в случае сильных приливов, кроме действия Луны, обнаруживается еще и действие Солнца¹.

Однако переход от такого рода догадок к объяснению законов явления и доказательство того, что факты в общем соответствуют этим законам, представлял собой огромный прогресс, осуществление

¹ Seneca, Nat. Quaest., III, стр. 28.

которого является одной из важнейших заслуг Ньютона. Опираясь на работы последнего, Эйлер и Лаплас смогли в XVIII в. завершить в известной мере теорию приливов¹. Ядром ньютоновой теории является положение, что вода на обращенной к Луне стороне Земли притягивается сильнее, чем на стороне, обращенной от Луны, так что на этой последней стороне она отстает от Земли, которая ведь тоже тяготеет к Луне и, так сказать, падает на нее. Вследствие этого на море возникают две приливные волны. Подъем воды на обращенной к Луне стороне Земли казался понятным и до Ньютона. Но только он впервые объяснил возникновение второй волны и ряд подробностей в движении приливов.

В связи с учением о тяготении мы упомянем еще о составленных себе Ньютоном по примеру Декарта и Гассенди взглядах на строение материи. Он считал наиболее вероятным, что материя состоит из твердых, непроницаемых, подвижных частиц. Так как свойства физических тел, например воды, неизменны, то частицы, из которых они состоят, не могут уничтожаться. Наблюдаемые в телах изменения сводятся исключительно к разделениям, соединениям и движениям этих неизменных частиц, вытекающим из активных принципов, к которым Ньютон причисляет и силу тяжести.

Понятие притягательной силы (как *causa mathematica*) Ньютон перенес также на явления сцепления, прилипания, химического соединения и т. д. «Из сцепления тел я готов заключить, — писал он, — что и мельчайшие частицы их взаимно притягиваются благодаря особой силе, вызывающей на малых расстояниях также химические действия»². Но он подчеркивает, что эти принципы, являющиеся всеобщими законами природы, не следует смешивать со скрытыми качествами аристотеликов. Истина этих принципов обнаруживается нам в явлениях природы, хотя причины их не открыты еще до сих пор. Таким образом разница между старым и новым мировоззрением заключается в том, что, по мнению аристотеликов, наблюдаемые в вещах явления имеют своим источником какие-то неизвестные свойства, которых нельзя ни открыть, ни выснить. Такое допущение является, разумеется, помехой для всякого прогресса в познании природы. Наоборот, новое, защищавшееся Ньютоном направление в исследовании природы считало большим достижением, если можно было вывести из явлений общие принципы движения и показать затем, как из них вытекают свойства и действия телесного мира, хотя бы причина этих принципов оставалась неизвестной. Такова была основная идея, которой руководствовался Ньютон в своих исследованиях, и в этом именно смысле следует понимать его часто цитируемое изречение: «Я не занимаюсь сочинением гипотез». Такое же самоограничение, как у Ньютона, мы встречаем у Галилея. «Вопрос о причине законов свободного падения тел не является необходимой составной частью нашего исследования», — говорил последний. «Для нас достаточно изучить свойства этого движения, исходя из предположения, что в основе его лежит простой закон»^{*}.

¹ Подробнее об этом см. в 3-м томе.

² «Оптика», Вопрос 31.

МИРОВОЗЗРЕНИЕ НЬЮТОНА

Однако мировоззрение Ньютона не было чисто материалистическим. Ему казалось совершенно нефилософским допустить, будто мир возник из хаоса в силу действия одних только законов природы. Так, например, изумительная закономерность планетного мира не могла быть вызвана действием одних только слепых стихий; она свидетельствует об определенном умысле и плане. Мы увидим впоследствии, что мыслители XVIII в. не последовали в этом пункте за Ньютоном и что Кант и Лаплас пытались объяснить происхождение планетной системы чисто механическими причинами.

Но и независимо от этих соображений, свидетельствующих о телеологической позиции Ньютона, вся его концепция мирового целого носит дуалистический характер, ибо он допускает, что все тела пропитаны некоторой заключенной в них духовной субстанцией. «Благодаря силе этой духовной субстанции, — говорит Ньютон¹, — частицы тел взаимно притягивают друг друга»*. Благодаря этой силе они действуют также на величайшие расстояния. Колебаниями этой духовной силы можно, по его мнению, объяснить также деятельность мозга и воздействие этого органа на нервы и мускулы. Кроме того, Ньютон уделяет в «Началах» место размышлениям о сущности божества, которое он отказывается отождествлять с мировой душой, но все это стоит вне всякой связи с его, в остальном столь стройной системой.

Учение Ньютона лишь медленно проложило себе дорогу, в особенности во Франции и Германии, так как современные ему астрономы, а еще больше физики, находились всецело под влиянием вихревой теории Декарта. Декарт, который как основатель новой философии пользовался величайшим авторитетом и работы которого над установлением закона преломления света, над теорией радуги, а также над основанием аналитической геометрии заслужили всеобщее признание, представлял себе планеты плавающими во вращающихся эфирных потоках, в центре которых находится Солнце. Действие на расстоянии казалось сторонниками картезианской физики совершенно недопустимым².

Из произведений Ньютона трудно заключить определенным образом, думал ли он, что действие на расстоянии распространяется непосредственным или посредственным образом. Сперва Ньютон склонялся к предположению, что движения небесных светил следует

¹ Ньютон, „Начала“, III, гл. 5.

² Вольтер (Voltaire) однажды в следующих насмешливых выражениях формулировал противоположность взглядов ньютоналистов и картезианцев: „Француз, приезжающий в Лондон, находит разницу в философских взглядах, как и во всем остальном. Он покинул полный мир, а находит его пустым. В Париже считают вселенную состоящей из вихревой тонкой материи; в Лондоне ничего этого не признают. У нас давление Луны вызывает морские приливы, а у англичан море тяготеет к Луне, так что когда вы думаете, что Луна должна была бы вызвать прилив, эти господа полагают, что должен быть отлив; к сожалению, этого нельзя проверить, потому что для выяснения этого нужно было бы исследовать Луну и приливы в первый момент творения“.

объяснять на основании механических принципов. Однако впоследствии он отказался от этого, так как не чувствовал себя в состоянии вывести из явлений причину тяжести. В предисловии ко второму изданию «Начал» от 1730 г. тяготение называется «causa simplicissima» (наипростейшей причиной), для которой не существует механического объяснения. Однако предисловие это было написано другом Ньютона, Котсом (профессором астрономии в Кембридже), и нельзя безоговорочно приписывать высказанных здесь взглядов Ньютону. В пользу того, что Ньютон не считал совершенно исключенным существование материального агента, передающего действие тяготения, говорит следующее его замечание: «Мне кажется величайшей нелепостью предполагать, будто тяготение представляет присущее материи свойство, так что тело может действовать на другое тело на расстоянии, через совершенно пустое пространство, без посредства чего-нибудь другого. Я не могу себе представить, чтобы кто-нибудь, способный мыслить философски, мог впасть в подобное заблуждение».

Во всяком случае не следует думать, будто мысль о том, что действие распространяется через некоторую среду, возникла лишь в XIX в. в голове Фарадея. Наоборот, уже в XVIII в. были выдающиеся защитники этой идеи. И уже Кеплер задолго до Ньютона высказался против возможности «actio in distans» и принял существование особой, вызывающей тяжесть, лучистой энергии, распространяющейся подобно свету в пространстве и пронизывающей все тела¹. Великий немецкий философ Лейбниц занимал промежуточное положение. Что касается Гюйгенса, то он еще меньше Лейбница мог примириться с ньютоновым понятием силы². Поэтому, не отрицая ньютонова закона тяготения, он пытался, исходя из картезианских принципов, дать механическое объяснение силы тяжести. Эту теорию, к которой мы вернемся в следующей главе, он изложил в 1690 г. в приложении к своему сочинению о свете.

Но мало-помалу ньютонова механика тяготения добилась всеобщего признания. Во Франции, где особенно долго придерживались теории Декарта, путь новому учению был проложен лишь Вольтером и Мопертюи. Хотя закон тяготения и признавали правильным, но зато тем энергичнее боролись с допущением действующей на расстоянии силы, «центростремительной силы» Ньютона, и пытались объяснить космические явления на основе видоизмененной вихревой системы. Тяготение пытались также свести к чувственному наглядному принципу при помощи гипотезы об ударах молекул, движущихся в мировом пространстве³. Однако спустя сто лет именно французы, и главным образом их великий астроном Лаплас, завершили намеченную Ньютоном в общих чертах теорию, разработав ее во всех подробностях.

¹ E. Hoppe, Zur Geschichte der Fernwirkung. Programm des Wilhelmgymnasiums, Hamburg 1901.

² Rosenberger, Newtons Prinzipien, стр. 234.

³ Подробнее теория corpuscules ultramondaines (сверхмировых телец) была развита Ле-Сажем. (Prévost, Deux traités de physique mécanique, Genève et Paris, 1818.)

В то время, когда вышли в свет «Начала», Ньютон все еще занимал место профессора математики в Кембридже и получал скудное жалованье, едва хватавшее на удовлетворение самых скромных потребностей. К тому же его постигло несчастье: сторела часть его ценных заметок. Ньютон был этим так потрясен, что одно время даже опасались за его рассудок. Но материальное положение Ньютона сразу изменилось, когда он получил назначение на должность управляющего королевским монетным двором. С этого времени Ньютон жил, осыпанный на старости лет почестями, попеременно то в столице, то в своем имении близ столицы, пока 31 марта 1727 г. (по григорианскому исчислению) каменная болезнь не положила конец его столь богатой научными открытиями жизни.

Несмотря на свои величайшие заслуги Ньютон был скромным, тихим ученым. «Не знаю, — сказал он однажды, — каким я кажусь людям. Самому же себе я кажусь ребенком, который играет на берегу моря и радуется, когда ему удастся отыскать гладкий камушек или красивую раковину не совсем обыкновенного вида, в то время как неизмеримый океан истин лежит передо мною неисследованным».

Ньютон был похоронен в Вестминстерском аббатстве, месте упокоения всех великих людей Англии; ему были оказаны при погребении почести, какие обыкновенно оказываются только членам королевского дома. На его памятнике сделана латинская надпись, которая в переводе гласит:

„Здесь покоится

СЭР ИСААК НЬЮТОН

Который почти божественной силой своего ума

Впервые объяснил

Помощью своего математического метода

Движения и формы планет,

Пути комет, приливы и отливы океана.

Он первый исследовал разнообразие световых лучей

И протекающие отсюда особенности цветов,

Каких до того никто даже и не подозревал.

Прилежный, проникательный и верный истолкователь

Природы, древностей и священного писания,

Он прославил в своем учении Всемогущего Творца.

Требуемому евангелием простоту он доказал своей жизнью.

Пусть смертные радуются тому, что в их среде

Жило такое украшение человеческого рода.

Родился 25 декабря 1642.

Умер 20 марта 1727 г.“.





ХІІІ

ГЮЙГЕНС И ПРОЧИЕ СОВРЕМЕННОКИ НЬЮТОНА

Из всех современников Ньютона наиболее близок к нему по своему гению был неоднократно уже упоминавшийся нами голландец Гюйгенс, которого сам Ньютон называл «великим Гюйгенсом» (*Summus Hugenius*). Гюйгенс тоже стоял на почве, подготовленной Галилеем. Он работал в тех же областях знания, в которых прокладывал новые пути Ньютон, именно в оптике и механике. Там, где оба великих исследователя расходились во взглядах, выяснение этих разногласий сильно содействовало прогрессу науки.

Христиан Гюйгенс родился 14 апреля 1629 г. в Гааге. Одаренный математическими способностями, уже рано возбуждавшими всеобщее изумление, он отличался также особенным талантом практического решения механических задач. Подобно Галилею и Ньютону, Гюйгенс обратил на себя внимание своих современников прежде всего своими астрономическими открытиями. Замеченное Галилеем загадочное явление на Сатурне, которое он истолковал как утроение этого небесного тела¹, впервые было правильно объяснено Гюйгенсом. До Гюйгенса объяснением загадочного вида этой планеты занимались Гримальди и в особенности Гевелий. У Гримальди создалось впечатление, будто Сатурн имеет два ушка, между тем как Гевелий установил, что планета периодически меняет свой вид в течение определенного промежутка времени.

Гюйгенс с своей стороны при помощи изготовленных им превосходных рефракторов нашел, что в данном случае не может быть речи ни об утроении планеты, ни о двух ушках, которые видели будто другие наблюдатели, но что Сатурн окружен свободно парящим кольцом, как это изображено на рис. 78, взятом из книги Гюйгенса о системе Сатурна².

Гюйгенс сделал это открытие в 1665 г. Он сперва опубликовал его по тогдашнему обычаю в виде загадки, имевшей такой вид:

$$a^7 c^5 d^1 e^5 g^1 h^1 i^7 l^4 m^2 n^9 o^4 p^2 q^1 r^2 s^1 t^5 u^5.$$

Цифры в этом выражении означают, сколько раз встречается в решении загадки соответствующая буква. Решение загадки гласило:

¹ См. стр. 30.

² Christiani Hugenii Systema Saturnium, Гаага 1659.

Saturnus cingitur annulo tenui, plano, nusquam cohaerente et ad eclipticam inclinato¹.

Гюйгенс мог с правом говорить о системе Сатурна, так как, кроме кольца, он открыл шестого, самого большого из спутников Сатурна². Он долгое время следил за этим новым небесным светилom и нашел, что вращение его вокруг Сатурна происходит в 16 дней.

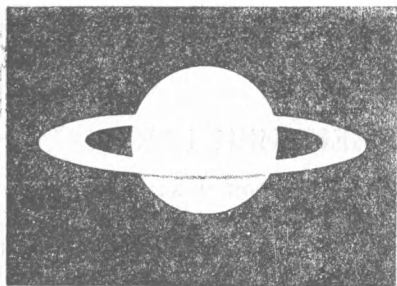


Рис. 78. Кольцо Сатурна по рисунку Гюйгенса.

Открытый Гюйгенсом спутник Сатурна был первым³ из многочисленных его спутников, увиденных человеческим глазом; поэтому и это открытие Гюйгенсом представляло значительное обогащение наших знаний о планетном мире.

Почти в то самое время, когда Гюйгенс открыл кольцо Сатурна, он изобрел также часы с маятником, о которых еще будет речь впереди⁴. Благодаря этим открытиям и изобретениям Гюйгенс, не достигший еще тридцатилетнего возраста и не опубликовавший еще

своих основоположных работ по оптике и механике, сделался уже европейской знаменитостью.

Поэтому, когда Кольбер основал Французскую академию наук, то он первым делом привлек к ней нидерландского ученого. Гюйгенс принял предложение и оставался от 1666 до 1681 г. украшением нового научного учреждения. Но когда преследования протестантов во Франции стали принимать угрожающий характер, Гюйгенс, еще до отмены Нантского эдикта, возвратился в свой родной город, хотя ему лично была гарантирована полная свобода исповедания. Он умер 8 июня 1695 г.

РАЗРАБОТКА ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ СВЕТА

Главная заслуга Гюйгенса в оптике заключается в разработке волновой теории света. К исследованиям в этом направлении его привели, с одной стороны, теоретические спекуляции Декарта и Гука⁵, из которых последний также рассматривал уже свет как волнообразное движение, не обосновав, однако, подробнее своего взгляда; с другой — открытие явления двойного преломления света, а также установление скорости распространения света⁶. Уже Галилей

¹ Сатурн окружен тонким, плоским, свободно парящим и наклонным к эклиптике кольцом.

² Остальные спутники Сатурна были открыты впоследствии Кассини, Гершелем и др.

³ По порядку же, как сказано выше, это был шестой спутник.

⁴ Патент, взятый Гюйгенсом на это изобретение, помечен 16 июня 1657 г.

⁵ См. стр. 86.

⁶ См. стр. 234.



ХРИСТИАН ГЮЙГЕНС

1629—1695

занимался вопросом, нельзя ли измерить подобно скорости звука также скорость света. Но Галилей не пришел ни к каким результатам; это вполне понятно, так как он пользовался простыми световыми сигналами. По Декарту от светящихся тел в наш глаз не попадает ничего вещественного; при этом он, однако, считал свет не движением, а лишь стремлением к движению; и стремление это, как нечто совершенно нематериальное, не требует времени для своего распространения. Декарт первый пытался разрешить вопрос при помощи астрономических соображений. Если свет требует определенного промежутка времени для своего распространения, то, — рассуждал Декарт, — затмение Луны не может наступить в тот самый момент, когда земной шар становится между Луной и Солнцем. Между тем все наблюдения показывают, что затмение начинается именно в этот самый момент. Следовательно, для распространения света не требуется вовсе времени. По этому поводу Гюйгенс замечает, что приведенным рассуждением Декарт доказывает лишь очень скорое, но отнюдь не моментальное распространение света. Если бы, например, свет проходил путь до Луны в 10 секунд, то заметить это при астрономических наблюдениях было бы весьма трудно.

Декарт же первый пытался заменить старое псевдоаристотелевское учение о возникновении красок из смешения света и тьмы объяснением, покоящимся на механических принципах, между тем как Гюйгенс отказался совершенно от объяснения цветов.

Сделанное Гюйгенсом допущение, что для распространения света необходимо время, подтвердилось за несколько лет до того, как он опубликовал свою волновую теорию¹. Это было установлено наблюдениями, произведенными датским математиком Оларом Ремером (Römer)² над самым внутренним спутником Юпитера. Последний делает полный оборот вокруг своего центрального тела в $42\frac{1}{2}$ часа³ и по прошествии этого периода всякий раз выступает из тени Юпитера. В своем «Трактате о свете» Гюйгенс следующим образом излагает наблюдения и заключения Ремера. Пусть A (рис. 79)⁴ изображает Солнце, $BCDE$ — годичный путь Земли, T — Юпитер и GN — орбиту ближайшего из спутников его. Пусть в точке H этот спутник выступает из тени Юпитера. Предположим, что это случилось, когда Земля находилась в точке B ; тогда вто-

¹ См. Dannemann, Aus des Werkstatt grosser Forscher, стр. 96.

² Олаф или Олоф Ремер родился 25 сентября 1644 г. в Аргуусе и умер 19 сентября 1710 г. в Копенгагене. Упомянутые наблюдения были сделаны им в 1672—1676 гг. в Парижской обсерватории. Его доклад Парижской академии помещен 22 ноября 1675 г. (Anc. Mémoires, Paris, т. I, гл. X).

³ Точнее 42 часа 27 минут 33 секунды.

⁴ Chr. Huygens, Трактат о свете, фиг. 2. См. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, № 20, стр. 14.

„Трактат о свете“ („Traité de la lumière“) появился в 1690 г. в Лейдене вместе с „Рассуждением о причине тяжести“ („Discours de la Cause de la Pésanteur“). Исследование о свете возникло уже в Париже около 1678 г., но издание его затянулось до 1690 г., потому что Гюйгенс покинул в 1681 г. Францию из-за преследования его единоверцев. В 1728 г. вышел сделанный с'Гравесандом (s'Gravesande) латинский перевод под названием „Tractatus de Lumine“.

ричного выхождения из тени следовало бы ожидать спустя лишь $42\frac{1}{2}$ часа, если бы Земля все это время находилась на том же самом месте. А если бы Земля в течение 30 обращений спутника вокруг Юпитера находилась все время на одном и том же месте, то спустя равно $30 \cdot 42\frac{1}{2}$ часа должно было бы снова наблюдаться выступление спутника из тени. Однако за это время Земля в действительности передвинулась по своей орбите до точки *C*, все более и более удаляясь от Юпитера, который, с своей стороны, вследствие продолжительности своего периода обращения мало изменил свое положение. Из этого следует, что, если для распространения света требуется время, появление маленького спутника из тени Юпитера будет наблюдаться в *C* позднее, нежели оно могло бы наблюдаться в *B*.

К $30 \cdot 42\frac{1}{2}$ часам необходимо прибавить еще то время, которое требуется для прохождения светом расстояния *MC*, т. е. разности между расстояниями *CH* и *BH*. Таким же образом, когда Земля, переходя из *D* в *E*, приближается к Юпитеру, мы из точки *E* заметим вступление спутника *G* в тень раньше, чем в том случае, если бы Земля оставалась в точке *D*. Наблюдения и вычисления Ремера привели к тому результату, что расстояние, равное радиусу земной орбиты, свет проходит приблизительно в 11 минут.

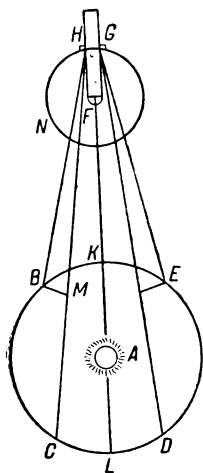
Позднейшими измерениями было доказано, что это число, само по себе уже поразительно малое ввиду огромности расстояния, слишком еще велико и что в действительности свет проходит расстояние от Солнца до Земли не больше чем за 8 минут. Таким образом скорость света больше скорости звука не в 600 000 раз, как полагал Гюйгенс, а приблизительно в 900 000 раз.

Рис. 79. Ремер определяет скорость света.

Если свет требует для прохождения времени, то отсюда, по мнению Гюйгенса, следует, что он распространяется, подобно звуку, шарообразными поверхностями или волнами.

Однако Гюйгенс указывает на важное различие между светом и звуком: в то время как звук вызывается внезапным сотрясением всего тела или какой-нибудь значительной части его, световое движение должно исходить из каждой точки светящегося предмета, для того чтобы можно было видеть все части его.

Для объяснения света Гюйгенс принимает далее, что светящиеся тела состоят из очень маленьких частиц, находящихся в бурном движении и ударяющих окружающие их еще более мелкие частицы, наполняющие пространство. «Движение этих частиц, вызывающих свет, — продолжает Гюйгенс, — должно происходить значительно скорее и более бурно, чем движение тел, порождающих звук: действительно, мы видим, что дрожащее движение звучащего тела так же мало может вызвать свет, как движение руки в воздухе может породить звук».



Материю, в которой распространяется исходящее от светящихся тел движение, Гюйгенс называет «эфиром». Она отлична от той материи, которая служит для распространения звука. Действительно, звук распространяется через воздух; если убрать воздух, то свет все же будет распространяться; следовательно, умозаключает Гюйгенс, должно существовать отличное от воздуха вещество, именно эфир. Последний заполняет бесконечные небесные пространства и промежутки между весомыми частицами тел. Он невесом и, следовательно, не подчинен закону тяготения.

Из своей теории эфира Гюйгенс выводил также объяснение явления прилипания и капиллярности. Вначале он был склонен сводить оба эти явления к давлению воздуха. Но опыты с воздушным насосом показали, что эти явления наблюдаются и в пустоте. После этого он стал объяснять прилипание, капиллярность и сходные с этим явления давлением некоторой *materia subtilis*, к которой он свел и свет.

Чтобы объяснить исключительную скорость распространения света, Гюйгенс приписывает частицам эфира три свойства. Во-первых, они необычайно малы, гораздо меньше, чем частицы воздуха; затем они очень тверды, но в то же время необычайно упруги. Если взять некоторое количество равновеликих шаров из очень твердого и в то же время очень упругого вещества, например из стали, и расположить их по прямой линии так, что они соприкасаются между собой, и если затем ударить таким же шаром в первый шар этого ряда, то движение как бы в одно мгновение доходит до последнего шара. Этот шар отделяется тогда от всего ряда, причем остальные шары остаются неподвижными. Точно так же и шар, которым пользовались для удара, остается неподвижным в соединении с другими шарами¹. Здесь, таким образом, мы наблюдаем переход движения, совершающийся с опромной скоростью, которая тем больше, чем тверже и более упруго вещество шаров. Гюйгенс не усматривает никакой трудности в том, что эфир, как жидкое тело, должен находиться в постоянном движении, ибо в нем совершается движение всей прочей материи. Действительно, распространение эфирных волн состоит, по его мнению, не в поступательном движении частиц эфира, а в небольшом колебании их, которое должно передаваться окружающим частицам, несмотря на движение, изменяющее их взаимное положение. Что касается происхождения этих волн и способа их распространения, — продолжает Гюйгенс, — то из предыдущего следует, что всякое незначительное место светящегося тела — безразлично: Солнца, свечи или раскаленного угля — порождает волны, центром которых является это место. Если, например, *A*, *B*, *C* представляют различные точки пламени свечи (рис. 80), то описанные вокруг каждой из этих точек концентрические окружности представляют волны, исходящие из этих точек.

¹ Этот, описанный во многих руководствах физики (см., например, Wüllner, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, III изд., т. 1, фиг. 66) аппарат для доказательства законов удара был придуман Мариоттом (*Traité de la percussion ou du choc des corps*, Paris 1677).

Гюйгенс не находил также ничего загадочного в том, что множество волн перекрещиваются между собой, не уничтожая друг друга. Ведь одна и та же материальная частица может распространять несколько волн, приходящих из различных и даже противоположных сторон. И это имеет место не только тогда,

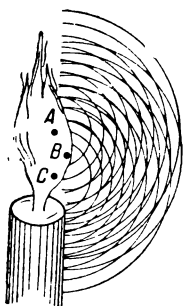


Рис. 80. Распространение света.

когда в частицу попадают следующие быстро друг за другом удары, но и тогда, когда на нее попадают удары, действующие в один и тот же момент. В доказательство этого Гюйгенс приводит следующий опыт с вышеупомянутым аппаратом, состоящим из упругих шаров. Если ударить в покоящиеся шары в один и тот же момент с противоположных сторон двумя равновеликими шарами *A* и *D* (рис. 81), то каждому шару будет сообщена одинаковая скорость в противоположных направлениях, и весь ряд шаров останется на своем месте, хотя движение распространилось по нему целиком и притом два раза. Может показаться невероятным, что вызванные движением столь мелких телец волны способны распространяться на такие колоссальные расстояния, какие отделяют Землю от

Солнца или неподвижных звезд. Но Гюйгенс сумел найти ответ и на это возражение. Действительно, надо иметь в виду, что, если сила волн уменьшается по мере удаления их от их



Рис. 81. Гюйгенс объясняет распространение света.

источника, то зато на большом расстоянии от светящегося тела соединяется огромное множество волн. «Бесчисленное количество волн, исходящих в один и тот же момент из всех точек такого огромного тела, как, скажем, Солнце, образует одну единственную волну, обладающую достаточной силой, чтобы воздействовать на наши глаза».

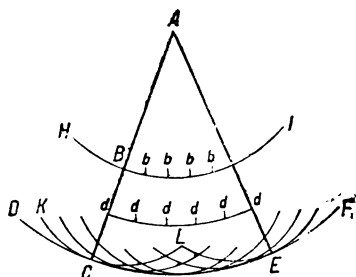


Рис. 82. Объяснение принципа Гюйгенса.

Относительно распространения этих волн следует заметить, что каждая частица вещества, в котором распространяется какая-нибудь волна, должна сообщить свое движение не только ближайшей частице, которая лежит на прямой линии, исходящей от светящейся точки, но и всем прочим частицам, соприкасающимся с ней и сопротивляющимся ее движению. Поэтому вокруг каждой частицы должна образоваться

волна, в центре которой находится эта частица. Следовательно, если *DCE* (рис. 82) представляет волну, центром которой является светящаяся точка *A*, то частица *B* из числа частиц,

около друга частиц. Промежутки между этими частицами заполнены частицами эфира. При прохождении света через тела в движении находятся не только эфирные частицы, но и частицы тела, меньшей упругостью которых и объясняется уменьшение скорости распространения световых волн внутри тел¹. Но возникает вопрос: почему не все тела прозрачны, раз эфир заполняет их поры? Для объяснения этого Гюйгенс делает допущение, что некоторые материальные частицы, уступая давлению эфира, изменяют свой вид и таким образом уничтожают движение эфира.

Мы видим, как Гюйгенс пытался развить созданную философами нового времени и в особенности Декартом корпускулярную теорию и использовать ее в целях объяснения природы. Учение Гюйгенса, сумевшего сделать из этой теории научный метод, использующий принципы кинетики, является завершительным этапом в ее развитии. Посмотрим теперь, как Гюйгенс объясняет на основании своих принципов движение светового луча внутри прозрачного тела.

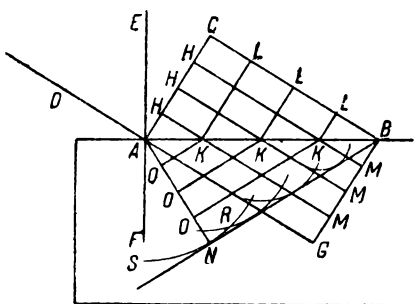


Рис. 84. Гюйгенс выводит из своего принципа закон преломления света.

Пусть AB (рис. 84) будет граница прозрачного тела, а AC — часть волны, исходящей от светового источника, настолько удаленного, что можно принять AC за прямую линию. Пусть, далее, скорости света вне тела и внутри него относятся между собой, как $3:2$. В таком случае в тот промежуток времени, в который свет доходит из C в B , вокруг A образуется в теле волна, ограниченная BN , причем отрезок AN , согласно предположению, равен $\frac{2}{3} AG$.

Между тем и вокруг точек KKK образуются элементарные волны, представленные окружностями, радиусы которых равняются $\frac{2}{3}$ соответствующих отрезков KM , KM , KM . У всех этих окружностей имеется общая касательная BN . Эта касательная ограничивает движение и является, таким образом, продолжением волны AC для того момента, в который она пришла из C в B . Но скорости света CB и AN , отношение между которыми мы приняли в данном случае равным $3:2$, относятся между собой, как синус угла EAD к синусу угла FAN , так что построение Гюйгенса приводит к полному согласию с законом преломления света.

ДВОЙНОЕ ПРЕЛОМЛЕНИЕ И ПОЛЯРИЗАЦИЯ

Гораздо более трудно было вывести из принципа элементарных волн открытое в середине XVII в. двойное преломление исландского шпата. Относящиеся к этому вопросу исследования Гюйгенса являются, по выражению его издателя, венцом всего его произведения,

¹ Ostwalds Klassiker, № 20, стр. 34.

представляя непревзойденный образец синтеза экспериментального исследования и глубокомысленного теоретического анализа.

Всеобщий интерес, вызванный сочинением Бартолина об исландском шпате¹, заставил, именно, Гюйгенса приступить к изучению удивительного новооткрытого явления, так как оно, как будто, сводило на-нет его объяснение обыкновенного преломления. В результате оказалось, что двойное преломление можно свести к тому же основному закону, и таким образом и с этой стороны получилось подтверждение его.

Гюйгенс сперва постарался проверить полученный Бартолином результат. Он нашел, что углы C и D (рис. 85) ромбоэдра равны $101^{\circ}52'$, а углы A и B равны $78^{\circ}8'$.

Чтобы объяснить форму, спайность, а также оптические свойства исландского шпата, Гюйгенс выдвинул идею, имевшую огромное значение для дальнейшего развития минералогии. Он исходил из

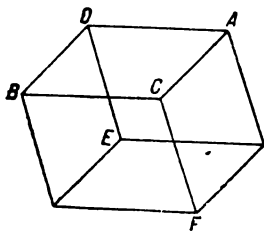


Рис. 85. Гюйгенс исследует исландский шпат.

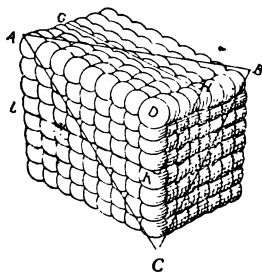


Рис. 86. Гюйгенс объясняет строение исландского шпата.

предположения, что кристалл состоит из мельчайших частиц; сделав затем некоторые допущения насчет формы и расположения этих частиц, он сумел на основании их объяснить все наблюдаемые явления. Гюйгенс предположил, что частицы кристалла представляют собой эллипсоиды вращения, получающиеся от вращения эллипса вокруг его малой оси. Если оси этих эллипсоидов находятся в определенном отношении и если предположить, что множество подобных эллипсоидов соединены между собой так, как это указано на рис. 86, то получится наблюдаемая в опыте форма кристалла с соответствующими углами и спайностью. Если бы эллипсоиды были соединены между собой каким-нибудь связывающим веществом (на модели можно было бы заменить действующую в природе между эллипсоидами силу притяжения склеиванием их), то получившееся из них тело раскалывалось бы по плоскостям, параллельным плоскостям диагональных сечений. Каждый эллипсоид в этом случае при отделении отрывался бы только от трех эллипсоидов соседнего слоя, между тем как он должен был бы оторваться от шести эллипсоидов, чтобы покинуть слой, к которому он сам принадлежит.

¹ Experimenta crystalli islandici disdiaclastici, quibus mira et insolita refractio detegitur, Havniae 1669.

Так как Гюйгенс открыл, что и горный хрусталь двояко преломляет свет, то он допустил, что и этот минерал имеет аналогичное строение. Идея о том, что кристаллы правильно построены из однородных частиц определенной формы, была, как мы увидим в дальнейшем, снова выдвинута в XIX в. Гаюи (Hauy) и перенесена им на все кристаллические формы.

Говоря об открытии мало заметного двойного преломления горного хрусталя, Гюйгенс сообщает, что он приказал вырезать из хрусталя по различным направлениям призмы и хорошо отшлифовать их. Когда затем он стал смотреть через эти призмы на пламя свечи, то оно оказалось двойным. Этим был объяснен также тот факт, что чечевицы, изготовленные из столь вообще прозрачного горного хрусталя, оказались непригодными для телескопов более или менее значительных размеров.

Подобно тому, как форма и спайность исландского шпата становится понятной при гипотезе небольших эллипсоидов, так, по Гюйгенсу, можно объяснить оптические свойства

шпата, исходя из эллипсоидальных световых волн, соответствующих по своему положению частицам тел; и таким образом строение кристалла оказывается причиной всех их геометрических и физических свойств¹.

Мы не можем здесь подробнее останавливаться на ходе исследования Гюйгенса. Достаточно рассмотреть распространение света эллипсоидальными волнами для случая луча, падающего перпендикулярно к поверхности кристалла и тем не менее отклоняющегося от своего направления. Подобные волны должны образоваться, если свет «распространяется

в одном направлении несколько скорее, чем в другом».

Пусть AB (рис. 87) будет границей между кристаллом и воздухом, а RC — частью световой волны. Пусть луч света встречает кристалл в точках $AKkkB$. Из этих точек теперь исходят не полусферические, как это было раньше, а полуэллипсоидальные элементарные волны, большие оси которых, как например ось VAX , наклонны к плоскостям AB . По истечении некоторого промежутка времени вокруг точки A образуется полуэллипсоид $SVNT$, предста-

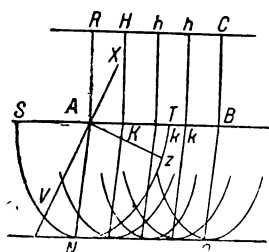


Рис. 87. Гюйгенс объясняет двоякое преломление.

¹ Гюйгенс нашел, подобно Бартолину, что свет испытывает в исландском шпате вообще два преломления, причем один из лучей следует найденному Снеллиусом закону, согласно которому синус угла падения находится в определенном отношении к синусу угла преломления. Отношение это, по вполне совпадающим между собой определениям Бартолина и Гюйгенса, равно было 5:3. Оно оставалось всегда одинаковым для всех углов падения, в то время как для второго необыкновенного луча оно изменялось в зависимости от величины этого угла. Чтобы объяснить появление двух лучей, Гюйгенс должен был допустить, что одна часть света распространяется, после вхождения его в кристалл, шаровыми волнами, другая же часть — волнами эллипсоидальными. Далее нужно было найти для необыкновенного луча закон, аналогичный закону Снеллиуса, чего Бартолин не сумел сделать.

вляющий элементарную волну, исходящую из точки A . Вокруг точек K, k, k, B образуются в то же самое время такие же элементарные волны, расположенные подобно $SVNT$, общая касательная которых NQ , как и в разобранный выше случае простого преломления, является продолжением в кристалле волны RC , ибо эта прямая ограничивает в одно и то же мгновение движение, исходящее от волны RC , падающей на AB . Хотя эта общая касательная NQ параллельна AB и равна по длине этому отрезку, но она не лежит в точности напротив AB .

«Теперь я понял, — говорит Гюйгенс, — что волна RC , достигшая отверстия AB , оттуда будет распространяться между параллельными прямыми AN и BQ ».

Насчет того, как Гюйгенс определяет затем положение эллипсоидов и отношение их осей и как, исходя из гипотезы полуэллипсоидальных элементарных волн, он строит для наклонно падающего света ход необыкновенного луча при помощи построения касательной, аналогичного тому, которое мы имели на рис. 84, — насчет всего этого мы вынуждены отослать читателя к самому трактату Гюйгенса¹.

Из построения получается, кроме только что рассмотренной аномалии, заключающейся в преломлении перпендикулярно падающего света, еще и тот результат, что существуют, с другой стороны, падающие наклонно лучи, проходящие через исландский шпат, не испытывая преломления. Опыт показал, в полном согласии с вычислениями, что это имеет место в случае луча, падающего на поверхность кристалла под углом в $73^{\circ}20'$. Словом, Гюйгенс нашел, что все явления, которые он мог вывести из своей гипотезы, совпадали с результатами наблюдения — «не малый аргумент» в пользу правильности его предположений.

После того, как Гюйгенс довел свое исследование оптических свойств исландского шпата до этого пункта, он открыл еще «одно удивительное явление», которого он не смог вывести из своей теории, именно поляризацию двойкопреломленного света.

Гюйгенс описывает это открытие следующим образом: «Если взять два куска кристалла и положить их (рис. 88) друг на друга так, что все стороны одного кристалла параллельны сторонам другого, то луч AB , разлагающийся в первом куске на лучи BD и BC , не расщепится вторично при своем вхождении во второй кусок. Обыкновенный луч DG испытывает правильное преломление, необыкновенный луч CE испытывает неправильное преломление (рис. 88). Это происходит всегда, если главные сечения обоих ромбоэдров расположены в одной и той же плоскости, хотя бы боковые поверхности ромбоэдров были расположены наклонно друг относительно друга».

Когда же Гюйгенс располагал оба кристалла таким образом, что их главные сечения были взаимно перпендикулярны (рис. 89), то обыкновенный луч $ABDG$ испытывал во втором кристалле одно

¹ Ostwalds Klassiker № 20, стр. 61.

² Ostwalds Klassiker, № 20, стр. 65.

только необыкновенное преломление GH , необыкновенный же луч — одно только обыкновенное преломление EF .

Наконец, во всех промежуточных положениях лучи при вхождении в нижний кристалл снова расщеплялись на два луча каждый, так что из единственного первоначального луча AB получилось четыре луча. Гюйгенс нашел, что эти четыре луча обладают, в зависимости от взаимного расположения кристаллов, то одинаковой, то различной яркостью, причем, однако, «все вместе они, повидимому, содержат не больше света, чем единственный луч AB ».

Хотя Гюйгенс и не решился дать объяснения этого сделанного им, чрезвычайно важного открытия, но все же в связи с ним он делает очень меткое замечание, оказавшееся весьма полезным для иссле-

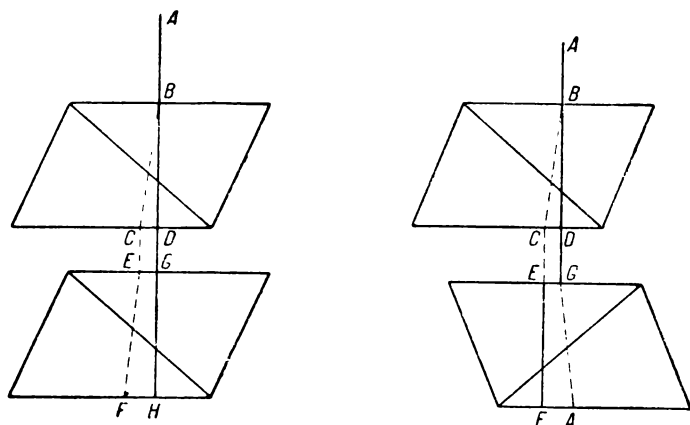


Рис. 88 и 89. Гюйгенс открывает поляризацию двоякопреломленного света.

дователей, работавших впоследствии над этой проблемой. Гюйгенс высказывает догадку, что световые лучи, проходя через первый кристалл, приобретают, очевидно, некоторое расположение, определяющее их поведение во втором кристалле. Но он не мог найти удовлетворительного объяснения того, в чем заключается это расположение световых лучей. Это странное и стоящее совершенно одиноко явление, названное Гюйгенсом поляризацией, продолжало оставаться в тени, пока Малюс (Malus) через сто с лишним лет не нашел, что свет поляризуется и путем отражения¹. Поляризация не поддавалась никакому объяснению до тех пор, пока вместе с Гюйгенсом принимали, что световые колебания, подобно звуковым колебаниям, продольны. Лишь после того, как отказались от этой гипотезы, волновая теория света сумела, как мы в этом убедимся в дальнейшем, объяснить все оптические явления.

Гюйгенс отказался также от объяснения происхождения цветов. В его трактате не говорится ни слова о причине их. Этим обстоя-

¹ Речь об этом будет у нас еще позже.

тельством объясняется в значительной мере то, что волновая теория не сумела на первых порах вытеснить теории истечения. Явления дифракции света, открытого Гримальди (1665) не задолго до возникновения трактата Гюйгенса, Гюйгенс, повидимому, еще не знал, ибо он нигде не упоминает о нем.

Из физиков Декарт первый создал учение о цветах, расходящееся с господствовавшим до тех пор взглядом Аристотеля¹, согласно которому цвета возникают путем смешения света и темноты. Согласно Декарту, в космическом пространстве имеется необыкновенно тонкая материя, заполняющая поры доступной нашим чувствам материи, состоящей из более грубого вещества. Это тонкое вещество находится, по Декарту, как целое, а также и в своих отдельных частицах, во вращательном движении. Большие вихри являются причиной движения планет, между тем как вращение частиц, в зависимости от различной величины его, вызывает различие цветов. Сам световой луч заключается только в давлении на заполняющие космическое пространство элементарные частицы, и так как подобное давление представляет лишь стремление к движению, а не само движение, то оно не требует вовсе времени для своего распространения. Глаз ощущает это давление в качестве света, а в качестве цветов — вращательное движение элементарных частиц, которое сверх того, под влиянием плотных оптических сред, испытывает изменения, дающие начало спектру. Наиболее скорому вращению шарообразных частиц соответствует красный цвет, наиболее медленному — фиолетовый.

Хотя теория Декарта не была никем принята, как первая попытка объяснить механическим образом свет и цвета, она обратила на себя внимание всех современных физиков. Бойль и Ньютон тоже занимались ею.

ИЗОБРЕТЕНИЕ ЧАСОВ С МАЯТНИКОМ

В области механики заслуги Гюйгенса не менее велики, чем в области оптики, хотя в первой он только строил на фундаменте, заложенном Галилеем. В то время как Ньютон развил учение Галилея о падении брошенного тела, Гюйгенс развил подробнейшим образом теорию маятника, для которой великий творец механики установил лишь основные законы. При этом Гюйгенс в сочинении «О часах с маятником»², которое можно поставить рядом с «Началами» Ньютона, применяет с таким поразительным искусством геометрию

¹ Согласно современным исследованиям, аристотелевское сочинение „О цветах“ не принадлежит самому Аристотелю, но вышло из школы этого философа. См. также Wilde, *Gesch. d. Optik*, I, стр. 8 и сл.

² *Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum*, Париж 1673. Анализ отдельных частей этого произведения имеется в статье А. Гекшера (A. Heckscher) в „*Mitteilungen z. Gesch. d. Med. u. d. Natw.*“, т. 14, стр. 97. В немецком переводе А. Гекшера и А. Ф. Эттингена оно имеется в виде 192-го томика оствальдовской серии классиков точного знания под названием „*Die Pendeluhr*“ (Leipzig, W. Engelmann, 1913). Первые сделанные Гюйгенсом часы с маятником сохраняются еще и поныне в физическом кабинете Лейденского университета.

к решению механических проблем, что по всей вероятности пример Гюйгенса и побудил Ньютона избрать для своего главного труда тоже геометрический способ доказательства, а не метод высшего анализа, которым он уже владел в ту пору¹.

Вопрос о введении точной меры времени приобрел очень острый характер в XVII в., эпохе столь великих открытий в области астрономии и физики. Дальнейший прогресс этих наук существенно зависел от введения точной меры времени. Мы видели, что еще Галилей при своих опытах над падением тел пользовался особыми водяными

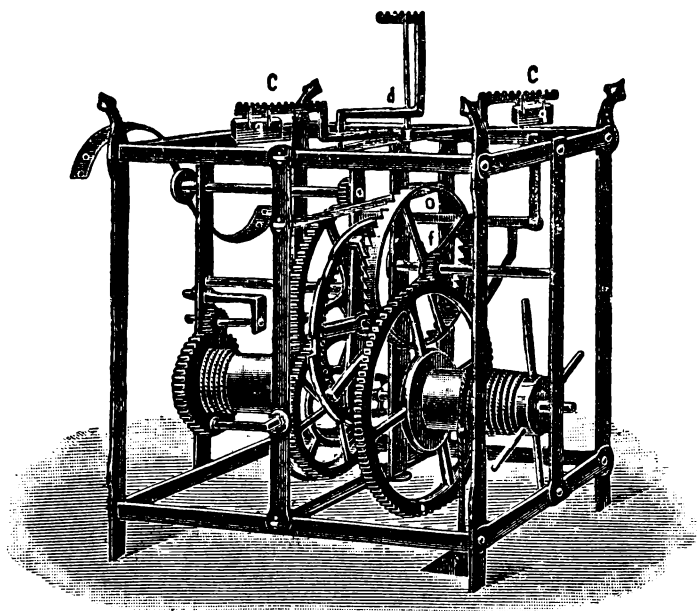


Рис. 90. Башенные часы XIV в., сохраняющиеся в Южно-Кенсингтонском музее (Лондон).

часами². Так как Галилей при помощи этого приспособления доказал, что продолжительность качания одного и того же маятника есть величина постоянная, то у него должна была возникнуть мысль воспользоваться этим простым средством для измерения времени. Галилею приходило даже на мысль соединить маятник со счетным аппаратом³. Оставалось только заменить в приборе Галилея повторный толчок рукой каким-нибудь автоматически действующим при-

¹ Ньютон уже в 1666 г. владел своим новым аналитическим методом, который впоследствии сделался известным под именем исчисления флюксий (См. Cantor, Geschichte der Mathematik, т. 3, стр. 150 и сл.).

² См. стр. 52 настоящего тома.

³ Модель такого прибора, построенная Вивини, находится и поныне в музее Галилея во Флоренции (см. Günther, Vermischte Untersuchungen zur Geschichte der mathematischen Wissenschaften, 1876, стр. 316).

способлением. В этом и состоит изобретение великого Гюйгенса, на которое он взял патент в 1657 г., 28 лет от роду¹.

В древности и в ранний период средних веков пользовались только солнечными и водяными часами. С XI же столетия вошли в употребление часы с колесами и гири. Впоследствии эти часы были соединены с приспособлением для боя. Во вторую половину XIV в. такие башенные часы существовали уже во многих городах. Регулировались эти часы либо при помощи вращающихся крыльев (как это употребляется еще ныне в игрушках), либо горизонтальной штангой с прикрепленными к ней гири. Но ход этих часов был так не точен, что сторожу приходилось следить за ними и время от времени выверять их по Солнцу.

На рис. 90 изображены древнейшие из сохранившихся еще башенных часов, показывавших время в Дувре от 1348 до 1872 г. Не изображенный на рисунке груз висит на веревке *a* и приводит в движение зубчатку *b*; последняя посредством шестерни приводит в движение храповое колесо *c*, которое, с своей стороны, связано с вертикальной осью *d* горизонтального маятника *e*. Последний совершает более или менее быстрые колебания в зависимости от

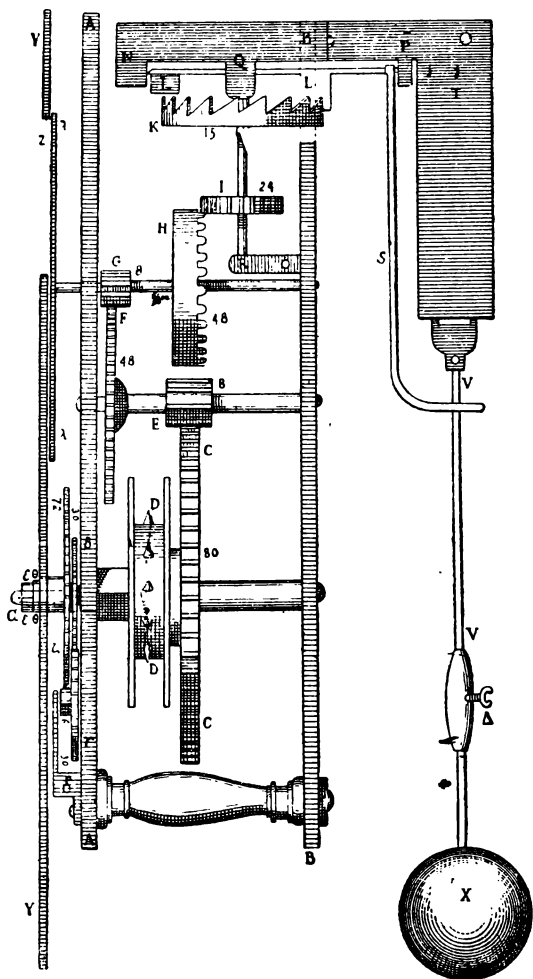


Рис. 91. Рисунок Гюйгенса, изображающий изобретенные им часы с маятником.

положения передвигаемых грузов *g*, получая импульс к движению от двух прикрепленных к его оси *d* пластинок, которые находятся

¹ Выдача патентов на изобретение является институтом нового времени. Распространилась она в XIX в., но начало патентного законодательства относится еще к XVII в. Первый патентный закон был издан в 1624 г. в Англии Яковом I. В течение первых ста лет в Англии выдано всего лишь 300 патентов. Во Франции начало патентного законодательства относится к 1791 г., а в Пруссии — к 1815 г.

друг от друга на расстоянии диаметра храпового колеса и попеременно попадают в промежутки между его зубцами.

Самыми знаменитыми часами Германии были освященные в 1574 г. астрономические часы в страсбургском соборе¹. Они были соединены с небесным глобусом, который еще теперь сохраняется в Страсбурге. За ними помещался вечный календарь. Астролябия показывала местонахождение планет в Зодиаке в данный момент времени и т. д. Многие из этих вещей еще сохранились до настоящего времени².

Для астрономических наблюдений впервые приспособил часы с колесами в 1484 г. Вальтер из Нюрнберга. Домашние часы с боем появились около середины XVI в. Тогда уже довольно часто встречались и карманные часы. Их автором считают Петра Генлайна (Henlein) из Нюрнберга, заменившего груз пружиной (1505). Один современник пишет об этом следующее: «Он изготовил маленькие часы с множеством колесиков. Часы эти можно носить в кошельке». По их форме их называли нюрнбергскими яйцами.

Рис. 91³, взятый из сочинения Гюйгенса, показывает изобретенные им часы с маятником. Они состояли из соединения горизонтального зубчатого колеса *K* с горизонтальной осью, лопасти которой *LL* попеременно попадали в промежуток между зубцами. Вокруг *D* был обернут шнур, на котором висела гиря. Употребляемый ныне анкерный спуск был изобретен лишь впоследствии⁴.

Галилей доказал аналогию движения маятника с падением тела по наклонной плоскости. Гюйгенс обобщил эту мысль и свел падение тела по любой кривой к сумме движений по наклонной плоскости. Он нашел, что среди исследованных им линий существует одна, по которой падение в безвоздушном пространстве совершается вполне изохронно. Это была не дуга круга, как считал Галилей, а циклоида. Когда тело падает по циклоиде *ABC* (рис. 92)⁵, то оно достигает самой нижней точки этой кривой в одно и то же время, с какой бы точки между *A* и *B* ни началось движение⁶.

Этот результат своих математических исследований Гюйгенс сумел применить и на практике. Для того чтобы маятник вместо

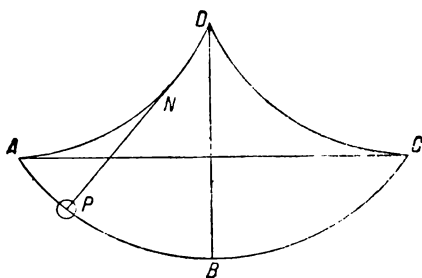


Рис. 92. Гюйгенс доказывает, что качания по циклоиде совершаются изохронно.

Рис. 91³, взятый из сочинения Гюйгенса, показывает изобретенные им часы с маятником. Они состояли из соединения горизонтального зубчатого колеса *K* с горизонтальной осью, лопасти которой *LL* попеременно попадали в промежуток между зубцами. Вокруг *D* был обернут шнур, на котором висела гиря. Употребляемый ныне анкерный спуск был изобретен лишь впоследствии⁴.

Этот результат своих математических исследований Гюйгенс сумел применить и на практике. Для того чтобы маятник вместо

¹ О них см. работу В. Шмидта (W. Schmidt) в *Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik*, 8 вып. (1898), стр. 177.

² См. фотографию, приложенную к работе Шмидта.

³ Christiani Hugenii *Horologium oscillatorium*, Paris MDCLXXIII, стр. 4, фиг. 1.

⁴ В 1680 г. лондонским часовщиком Клементом (Clement).

⁵ *Horologium oscillatorium*, фиг. на стр. 12.

⁶ *Horologium oscillatorium*, ч. II.

кругового движения получил циклоидальное, требовалось, чтобы нитка (которая у кругового маятника во всяком положении образует прямую) при движении прижималась к кривой определенного вида. Оказалось, что эта кривая должна быть также циклоидой. В соответствии с этим на рис. 92 части AD и CD циклоиды совпадают с частями AB и BC .

Рис. 93¹ показывает приспособление, предложенное Гюйгенсом для циклоидального маятника. Оно состоит из двух циклоидальных шаблонов, к которым прижимается верхняя нитеобразная часть маятника. На практике циклоидальный маятник применяется редко, так как с введением анкерного спуска круговой маятник при малых размахах качания давал вполне удовлетворительные в смысле точности хода результаты.

Карманные часы Гюйгенс снабдил (рис. 94) и ныне еще употребительным балансиrom². Далее он разработал теорию конического или центробежного маятника³, который качается по полному горизонтальному кругу, в то время как нитка описывает поверхность конуса; это приспособление Ватт (Watt) впоследствии применил в качестве регулятора к усовершенствованной им паровой-машине.

Если мы к этому прибавим, что Гюйгенс первый точно определил длину секундного маятника (он нашел его равным 3,0565 парижского фута), что он далее дал формулу качания маятника⁴ и вывел из нее ускорение свободного падения тел на земле, то мы поймем, какой массой новых открытий он обогатил науку.

Ускорение g свободного падения или силы тяжести получилось, когда в формулу качания маятника $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ подставили вместо l значение длины секундного маятника ($t=1$ и $l=3,0565$) и затем нашли отсюда значение g : $1 = \pi \sqrt{\frac{3,0565}{g}}$; $g = \pi^2 \cdot 3,0565 = 30,1666$ парижского фута или, как у Гюйгенса, 30 футам 2 дюймам.

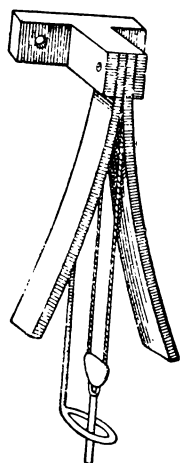


Рис. 93. Циклоидальный маятник Гюйгенса.

¹ Horologium oscillatorium, стр. 4, фиг. 11.

² Это изобретение было опубликовано в „Journal des savants“ от 25 февраля 1675 г.

³ Horologium oscillatorium, ч. 5. Сжатый очерк истории изобретения часов с маятником дал E. Gerland в „Wiedemanns Annalen“, т. 4, стр. 585—613.

Герланд приписывает Галилею заслугу изобретения часов с маятником уже в 1641 г., т. е. за 15 лет до Гюйгенса. Оба ученых, по его мнению, пришли к этому открытию независимо друг от друга. Но от прибора Галилея сохранился только проект его. Он был осуществлен — и то несовершенным образом — через 10 лет после смерти Галилея (См. Gerland und Trau Müller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. (Стр. 56 и 104 данного тома).

⁴ $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

Гюйгенс предложил принять найденную им длину секундного маятника в Париже за единицу длины; но предложение это не встретило сочувствия у его современников.

Гюйгенс не удовольствовался изучением действия силы тяжести; он попытался также объяснить ее механически, подобно свету¹. Тяжесть не следует, по его мнению, сводить к какому-то «свойству» или склонности; как и всякое физическое явление, она должна быть объяснена из движения. В этом вопросе Гюйгенс примыкает к Декарту, который пытался объяснить тяжесть при помощи движения особой вращающейся вокруг земли материи. Тяжесть, говорит Гюйгенс, действует таким таинственным образом, что наши чувства ни-

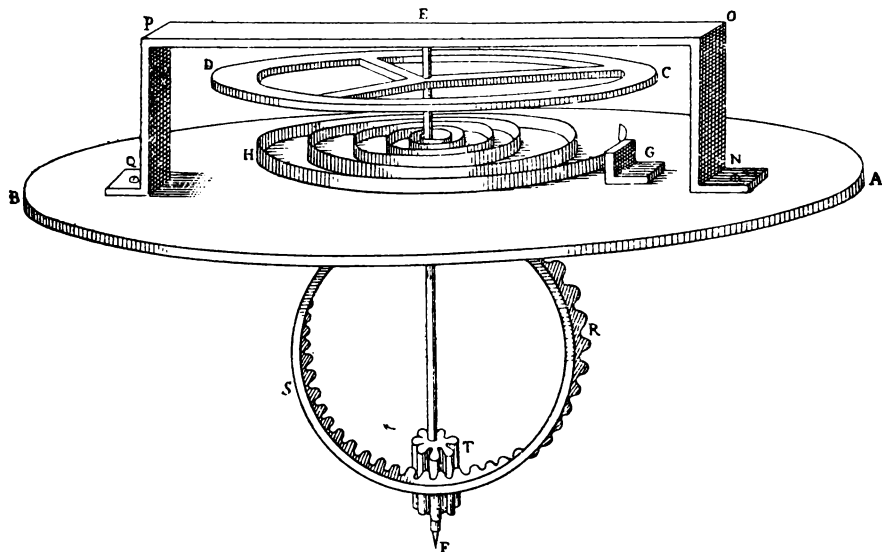


Рис. 94. Балансир Гюйгенса.

чего не могли открыть относительно нее. Прежде действие ее приписывали внутренним свойствам (качествам) тел; но это означало замену исследования причин ссылкой на какие-то темные принципы. Декарт, наоборот, понял, что физические явления следует сводить к понятиям, не превосходящим нашего разума. Такими понятиями Декарт и Гюйгенс считали бескачественную материю и ее движение.

В своей теории тяжести Гюйгенс исходил из следующего опыта. Он покрывал дно цилиндрического сосуда маленькими кусочками какого-нибудь твердого вещества (например сургуча). Затем, наполнив сосуд водой, он приводил его во вращение при помощи центробежной машины. Когда он внезапно останавливал машину, а с нею

¹ Гюйгенс сделал это в „Рассуждении о причине тяжести“ („Discours de la cause de la pesanteur“), появившемся в 1690 г. в виде приложения к „Трактату о свете“.

и сосуд, то вода продолжала еще некоторое время вращаться. При этом оказалось, что кусочки сургуча собрались у центра дна сосуда. По мнению Гюйгенса, вокруг Земли вращается, как в вышеприведенном опыте вода в сосуде, особая «эфирная материя», степень жидкости которой несравненно больше, чем степень жидкости воды. Если бы в этой жидкой материи находились более грубые тела, то, как показывает опыт, они не последовали бы за быстрым движением этой эфирной материи, а получили бы толчок по направлению к центру движения. Таким образом тяжесть есть «действие эфира, который движется вокруг центра Земли и пытается удалиться от этого центра, толкая на место себя тела, не следующие за этим движением».

Новейшие попытки механического объяснения явлений тяготения сводятся по существу к развитым Гюйгенсом в его «Рассуждении» воззрениям.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ МАЯТНИКА

Вышеуказанным далеко еще не исчерпывается значение Гюйгенса. Рассмотренные нами до сих пор работы из области механики были либо практического характера, либо заключались в изучении простого маятника, под которым разумеют материальную точку, качающуюся на невесомой нити. Вскоре после того, как исследования Галилея стали известны в северных странах, один французский ученый¹ выдвинул вопрос о законах, которым подчинены колебания тел любой формы. Декарт и другие талантливые математики — в том числе и 17-летний Гюйгенс — принялись за эту задачу, но не могли ее решить. Декарт, правда, придал ей более отчетливую формулировку. «Подобно тому, как у всех свободно падающих тел существует центр тяжести, так все тела, движущиеся под действием тяжести вокруг какой-нибудь точки, имеют центр колебания; и все тела, у которых этот центр колебания одинаково удален от точки подвеса, совершают свои качания в одно и то же время». Определение этого центра колебания или центра качания удалось только значительно позже Гюйгенсу, опубликовавшему свой метод решения этой задачи в сочинении о «Часах с маятником» спустя 27 лет после того, как вопрос был поднят.

Возьмем, кроме материальной точки, образующей простой маятник, на линии маятника еще одну точку, неизменно связанную с первой (рис. 95). Если мы желаем определить длину ox простого маятника, который имел бы такое же время качания, как и система ab , то мы имеем перед собой проблему центра качания в ее простейшей форме. Точка b испытывает замедление благодаря точке a , точка a , напротив, испытывает ускорение, благодаря точке b . Следовательно, точка b будет качаться медленнее, а точка a быстрее, чем они качались бы сами по себе; поэтому между точками a и b должна существовать такая точка, которая имеет такое точно время качания, как система ab .

¹ Отец Мерсенн (1588 — 1648), находившийся в переписке с наиболее выдающимися людьми своего времени.

Теперь возникает вопрос: как у физического маятника, состоящего из бесконечно многих материальных точек, соединяются в одно совокупное движение отдельные движения неизменно связанных между собой частей его? Решение этой проблемы физического или сложного маятника является, без сомнения, крупнейшим открытием



Гюйгенса в области теоретической механики. Он посвящает этой проблеме 4-ю часть своего великого творения. В начале ее предпосланы некоторые объяснения, среди которых мы встречаем прежде всего определение центра качания. Определение это гласит: «Под центром качания или колебания любой фигуры понимают ту точку на линии, проходящей через центр тяжести, которая удалена от оси качания на длину простого маятника, изохронного с данной фигурой»¹. Поэтому можно представить себе, что масса качающегося тела сосредоточена в этой точке точно таким образом, каким сосредоточена в центре тяжести масса покоящегося тела. Действительно, в центре качания различные силы, действующие на части маятника во время его колебания, соединены тоже в одну равнодействующую, подобно тому как в случае покоящегося тела параллельно направленные силы тяжести складываются в одну равнодействующую, проходящую через некоторую точку всей системы, которую мы поэтому называем центром тяжести. Решение этой

Рис. 95.
Проблема
центра
качания.

сложной задачи удалось Гюйгенсу благодаря одному выставленному им принципу, который оказался как в этом случае, так в дальнейшем и в ряде других случаев, необыкновенно плодотворным. Гюйгенс формулирует его следующим образом: «Если какие-нибудь тяжелые тела приходят в движение вследствие действия на них силы тяжести, то их общий центр тяжести не может подняться выше того уровня, на котором он находился в начале движения»². Гюйгенс поясняет этот принцип на примере маятника, говоря, что если удалить воздух и все другие препятствия, то центр тяжести движущегося маятника должен при опускании и подымании описывать всегда равные дуги. Этим для него доказывается в то же время невозможность *perpetuum mobile*, т. е. получение силы без какой-нибудь

¹ *Centrum oscillationis vel agitationis figuræ cujuslibet, dicatur punctum in linea centri, tantum ab axe oscillationis distans, quanta est longitudo penduli simplicis quod figuræ isochronum sit.*

² *Si pondera quodlibet, vi gravitatis suae moveri incipiant, non posse centrum gravitatis et ipsius compositae altius, quam ubi incipiente motu reperiatur, ascendere.*

Гюйгенс пользуется этим положением, чтобы доказать невозможность *perpetuum mobile*, которое он признает „механически“ невозможным. Но Гюйгенс не знал еще, что принцип сохранения сил применим ко всем силам природы. Так, в одном письме к Лейбницу он прямо заявляет, что, хотя *perpetuum mobile* невозможно механически, но можно все же надеяться построить его физико-механически, например с помощью магнита. В противоположность этому, Мерсенн еще в 1644 г. высказался вообще против возможности *perpetuum mobile*, сравнив попытки построить его с поисками философского камня. *Cogitata physico-mechanica*, 1644, стр. 224.

соответствующей затраты. Действительно мы могли бы получать силу из ничего, если бы масса тела поднималась выше того уровня, с которого она раньше упала.

Из законов падения тел было известно, что высота, до которой доходит тело, поднимаясь вверх, пропорциональна квадрату скорости, которую оно получило бы, падая с этой высоты. Но скорости частиц маятника пропорциональны расстояниям их от оси вращения. При помощи этих положений Гюйгенс и получает общее решение проблемы центра качания. «Расстояние его от оси вращения, — говорит он, — можно получить, разделить сумму произведений масс частиц на квадраты их расстояний от оси вращения на сумму произведений этих масс на их расстояния от оси вращения». На рис. 96 дана система материальных точек B, C, D, \dots с соответственными массами m_1, m_2, m_3, \dots . Пусть их расстояния от оси вращения A будут a_1, a_2, a_3, \dots . Тогда, согласно теореме Гюйгенса, расстояние центра качания O от точки подвеса A будет

$$z = \frac{m_1 a_1^2 + m_2 a_2^2 + m_3 a_3^2 + \dots}{m_1 a_1 + m_2 a_2 + m_3 a_3 + \dots}$$

или выражая это короче:

$$z = \frac{\sum (ma^2)}{\sum ma}$$

После того, как Эйлер ввел для обозначения произведения массы на квадрат ее расстояния от оси вращения название «момент инерции», теореме Гюйгенса можно было придать следующую формулировку: Для получения расстояния центра качания физического маятника от оси вращения его надо разделить сумму моментов инерции на сумму статических моментов. В таком виде эта теорема формулируется и в настоящее время.

Высказанное Гюйгенсом положение, что общий центр тяжести связанных между собою, на изолированных как целое масс не может подняться выше того уровня, с которого он раньше упал, было впоследствии признано Иоганном Бернулли всеобщим законом природы и названо «принципом сохранения живых сил». Последнее выражение принадлежит Лейбницу, который понимал под живой силой произведение из массы на квадрат скорости и строил уже гипотезу об имеющемся во вселенной запасе сил.

За выводом главных теорем у Гюйгенса следует определение центра качания отдельных геометрических фигур. Гюйгенс указал уже на то, что время колебания маятника не изменяется, если подвесить его за точку качания, и что в этом случае точка, бывшая раньше точкой подвеса, становится центром качания. Ему же принадлежит идея реверсионного маятника, получившего в XIX в. такое огромное значение для точного определения длины секундного маятника.

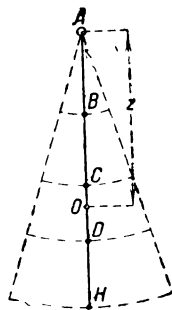


Рис. 96. Решение Гюйгенсом проблемы центра качания маятника.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ СИЛЫ

В конце своего сочинения о «Часах с маятником» Гюйгенс устанавливает еще ряд важнейших теорем насчет центробежной силы. Здесь тоже мы имеем расширение учения Галилея о движении маятника. Когда тело, совершающее прямолинейное и равномерное движение, вынуждено двигаться по кругу, то оно вызывает давление в направлении от центра этого круга, которое может быть уравновешено либо давлением одинаковой силы, направленным в противоположную сторону, либо же натяжением нити, соединяющей тело с центром. Гюйгенс доказал, что центробежная сила пропорциональна квадрату скорости движущегося тела и обратно пропорциональна радиусу круга.

Обширное исследование Гюйгенса о центробежной силе было опубликовано лишь после его смерти. Оно озаглавлено *Tractatus de vi centrifuga* и недавно вышло в немецком переводе¹. Когда трактат Гюйгенса появился впервые в 1703 г., то Ньютон уже развил свое учение о центробежной силе с гораздо более общей точки зрения, не ограничиваясь, подобно Гюйгенсу, одним лишь случаем кругового движения, а обобщив проблему и приложив ее к изучению эллиптического движения небесных светил.

Результат исследований Гюйгенса о центробежной силе можно выразить в двух теоремах, из которых выводятся уже все остальные положения насчет этой силы. Если обозначить скорость движущегося по кругу тела через v , массу его через m , а радиус круга через r , то центробежная сила равна:

$$P = \frac{mv^2}{r}.$$

Так как, далее, v равняется частному от деления пути $2\pi r$ на время t , то имеем также:

$$P = \frac{m \cdot 4\pi^2 r}{t^2}.$$

Формула $P = \frac{mv^2}{r}$ представляет кратчайшее выражение обеих установленных в «Трактате» теорем, которые Гюйгенс формулирует следующим образом:

1. Если равные тела движутся на неравных кругах с равной скоростью, то центробежные силы их относятся между собой обратно пропорционально диаметрам кругов, так что на меньшем круге сказанная сила больше.
2. Если равные тела движутся на равных (или на том же самом) кругах с неравными скоростями, то центробежные силы их относятся между собой, как квадраты скоростей.

¹ Феликса Гаузгофера (Felix Haushofer) в 138-м томике *оствальдовского* серии классиков точного знания (W. Engellmann, Leipzig 1903),

Гюйгенс исследует затем, как велика должна быть скорость тела, если действующая на него центробежная сила уравнивает силу тяжести. Он рассматривает затем возникающую под влиянием движения маятника центробежную силу и устанавливает, например¹, что, если простой маятник с массой равной единице, находившейся первоначально в горизонтальном положении, пройдя четверть окружности, достигает низшей точки, то он натягивает свою нить с силой, в три раза большей, чем когда он висит на ней в покое². Наконец, особенно подробно он рассматривает тот случай, когда «привешенные на нитях тела вращаются таким образом, что они описывают горизонтальные окружности, в то время как другой конец нити остается неподвижным». Он находит, что в случае двух конических маятников (рис. 97)³ одинакового веса, но разной длины силы натяжения нитей при одинаковой высоте конуса относятся между собой, как длины нитей. Относительно других обстоятельств, связанных с движением конического маятника, мы вынуждены отослать читателя к теоремам VIII—XIV трактата Гюйгенса.

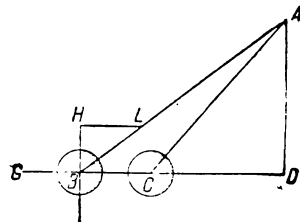


Рис. 97. Гюйгенс исследует движение конического маятника.

Из опытов Гюйгенса с центробежной силой надо упомянуть ввиду их значения следующие два эксперимента. Он взял наполненный водой доверху сосуд, в который поместил несколько деревянных шаров, и стал его вращать вокруг его оси. Тогда деревянные шары устремились к оси, показывая этим, что центробежная сила зависит от удельного веса вращающихся тел. Эксперимент этот в настоящее время производят таким образом, что деревянные шары помещают в трубку RR изображенного на рис. 98⁴ аппарата. Если трубки наполнены воздухом, то шары удаляются от оси и при достаточной скорости вращения поднимаются вверх по трубкам. Если же трубки наполнить водой, то ввиду меньшего удельного веса дерева шары движутся по направлению к оси. Скатывание вниз деревянных шаров по наполненной водой трубке вызывает в первый момент удивление. Как известно, техника использо-

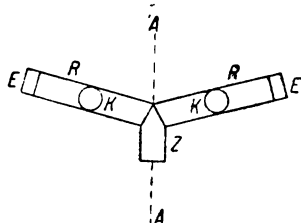


Рис. 98. Гюйгенс показывает, что вращающиеся тела размещаются под влиянием центробежной силы сообразно своему удельному весу.

¹ Ostwalds Klassiker, № 138, стр. 158.

² Действительно, так как в самой низшей точке пройденный путь равен l , что $v = \sqrt{2gl}$, а центробежная сила $P = \frac{v^2}{l} = \frac{2gl}{l} = 2g$. К этому присоединяется еще тяжесть g , так что (для $m = 1$) все натяжение равно $3g$.

³ Ostwalds Klassiker, № 138, фиг. 21.

⁴ M a c h, Mechanik, фиг. 106.

вала эти особенности центробежного движения: при помощи центрофуг отделяют теперь водянистые составные части молока от плавающих в нем более легких капелек жира.

Второй опыт Гюйгенс произвел над глиняным шаром, который он приводил в быстрое вращательное движение. Центробежная сила действует на каждую точку тела, расположенную не на оси вращения. Если связь частиц тела не неизменная, если тело состоит, например, из пластического вещества, то, — рассуждал Гюйгенс, — форма тела должна измениться под действием центробежной силы, возрастающей вместе с расстоянием от оси. Для доказательства этого он насадил глиняный шар на ось, проходившую через центр его, и стал вращать его. Шар принял тогда форму сжатого у обоих полюсов сфероида. С помощью этого опыта и вышеизложенных соображений Гюйгенс мог объяснить наблюдавшееся сжатие Юпитера. Оно являлось для него наилучшим доказательством того, что и Юпитер, подобно Земле, вращается вокруг своей оси. Но в таком случае учение о шарообразности Земли, лежавшее в основе всех градусных измерений, не могло быть правильным. Вычисленное Гюйгенсом сжатие Земли равнялось $1 : 587$. Ньютон, также занимавшийся этим вопросом, нашел теоретическим путем величину, более соответствующую результатам позднейших измерений, а именно $1 : 229$.

Эти исследования обоих великих математиков нашли подтверждение благодаря одному замечательному наблюдению, которое в то же время показало, какое важное значение имеют часы с маятником. Французский астроном Жан Рише (Richer) занимался в 1672 г. астрономическими измерениями на острове Кайенне, лежащем близ экватора. При этом ему бросилось в глаза, что часы, привезенные им из Парижа, ежедневно отставали на 2 минуты. Когда он укоротил маятник на $\frac{5}{4}$ линии¹, часы снова стали идти верно. Когда часы были привезены обратно в Париж, оказалось, что они спешат, пока не удлинили маятника до его первоначальной величины. Гюйгенс объяснил это явление следующим образом: с приближением к экватору центробежная сила, противодействующая силе тяжести, возрастает и на экваторе равна $1 : 289$ силы тяжести, наблюдаемой в Париже². Поэтому, продолжает Гюйгенс, если бы Земля вращалась вокруг своей оси со скоростью в 17 раз большей, то тяжесть совершенно была бы уничтожена центробежной силой ($17^2 = 289$), и тогда при малейшем увеличении этой центробежной силы тела, находящиеся на экваторе, удалялись бы прочь от Земли.

Вычисление Ньютона дало для центробежной силы такую же величину, какую нашел и Гюйгенс. Но в то время, как Гюйгенс еще предполагал, что тяжесть на всей Земле одинакова и что изменения длины секундного маятника обуславливаются исключительно различием в величине центробежной силы, Ньютон показал, что

¹ „Начала“ Ньютона (нем. перевод Вольферса), стр. 406.

² Причем и для Парижа принято во внимание уменьшение тяжести, обуславливаемое центробежной силой. По этому вопросу см. также выкладки Ньютона в „Началах“, стр. 401.

тяжесть и сама по себе, независимо от центробежной силы, обладает переменной величиной и убывает с приближением к экватору. Необходимость укорочения маятника в местностях, близких к экватору, обуславливается, следовательно, двумя причинами: уменьшением самой тяжести и возрастанием противодействующей ей центробежной силы.

Большинство французских ученых отнеслись отрицательно к этим результатам. Они приписывали наблюдавшееся Рише явление влиянию теплоты. Ньютон, однако, доказал, что влияние теплоты, хотя и доступное измерению, не может быть столь значительным. Действительно, железная палка длиной в 3 фута зимой становится короче, чем летом, всего лишь на одну шестую линии. Учение, что Земля представляет сжатый у полюсов сфероид, также встретило противодействие во Франции. Доминик Кассини (1625—1712), директор основанной в 1667 г. Парижской обсерватории, о даре наблюдения которого говорит открытие им четырех спутников Сатурна¹, а также вращения Юпитера, считал на основании результатов новейших градусных измерений более вероятным, что Земля представляет удлинённый, а не сжатый у полюсов сфероид. Сторонники Ньютона ссылались на наблюдения над Юпитером, как на доказательство по аналогии, подтверждающее их теоретические выводы. Именно Юпитер, обладающий необычайно быстрым вращением вокруг оси², имеет и наибольшее сжатие у полюсов.

Этот спор продолжался очень долго еще и после смерти Ньютона. Наконец, французские ученые убедились в необходимости прибегнуть для решения вопроса к более точным градусным измерениям. Результаты последних подтвердили правильность допущения Ньютона, система которого одержала к тому времени полную победу и во Франции. Мы рассмотрим историю разрешения этой важной проблемы в главе, посвященной периоду, последовавшему за веком Гюйгенса и Ньютона и ознаменовавшемуся первыми точными определениями размеров нашей солнечной системы³.

ОСНОВАНИЕ ТЕОРИИ УДАРА

Как мы видели выше, Гюйгенс пришел к закону сохранения живых сил не только путем исследования движения маятника; к этому основному закону привело его также начатое им и некоторыми близкими к нему физиками изучение явлений удара. В первой половине XVII в. не существовало еще теории удара. Правда, Галилей посвятил в своих «Собеседованиях» проблеме удара особую главу, но, к сожалению, она осталась незаконченной. Во всяком случае, Галилей не вышел здесь из рамок рассуждений общего характера⁴. Столь же безрезультатными оказались попытки Декарта найти законы удара.

¹ В промежуток времени от 1671 до 1684 гг. Кассини открыл третьего, четвертого, пятого и восьмого спутников Сатурна.

² По определениям Кассини время обращения Юпитера вокруг оси составляет 9 час. 55 мин.; сжатие Юпитера равно $\frac{1}{14}$.

³ См. ниже в настоящем томе.

⁴ См. стр. 62 этого тома.

Поэтому в 1668 г. Королевское общество предложило своим членам задачу заполнить этот существовавший еще в механике пробел. В результате этого предложения и вскоре после него появились работы Валлиса, Врена и Гюйгенса о теории удара.

Джон Валлис родился в 1616 г. в одном маленьком местечке графства Кент и был профессором математики в Оксфорде¹. Главной научной заслугой Валлиса является его участие в основании высшей математики. Работы Кавальери и Валлиса проложили путь открытию исчисления бесконечно малых Ньютоном и Лейбницем. В 1650 г. Валлис познакомился с «Неделимыми» Кавальери². За этим трудом последовала в 1655 г. его собственная «*Arithmetica infinitorum*»³, в которой проблема квадратур решается путем разложения площади на бесконечное множество узких параллелограмов и суммирования последних.

Из трех основателей теории удара Валлис первый представил свою работу Королевскому обществу. Она появилась в 1668 г. под названием: *A summary Account given by Dr. John Wallis on the general laws of motion* (Краткое изложение общих законов движения, сделанное д-ром Джоном Валлисом)⁴.

Валлис рассматривает удар неупругих тел, и притом случай центрального удара, при котором тела движутся по прямой, соединяющей их центры тяжести. Для своих дедукций он пользуется встречающимся уже у Декарта понятием количества движения. Пусть массы соударяющихся тел будут m и m_1 , а скорости их пусть будут v и v_1 . Пусть далее, скорость массы $m + m_1$ после удара будет u . Тогда, как показал Валлис, имеет место равенство:

$$u = \frac{mv + m_1v_1}{m + m_1}$$

для случая равнонаправленного движения и равенство:

$$u = \frac{mv - m_1v_1}{m + m_1}$$

для случая противоположнонаправленного движения.

Вторым ученым, занявшимся по предложению Королевского общества исследованием законов удара, был знаменитый архитектор Христофор Врен, которому Лондон обязан 60 с лишним публичными зданиями и планом реконструкции города после большого пожара в 1666 г. Врен родился в 1632 г. и умер в 1723 г. Он был одним из основателей Королевского общества.

Путем опытов над качающимися телами Врен нашел законы удара упругих тел, но он не сумел дать теоретического доказательства их. Через несколько месяцев после Врена (в феврале 1669 г.)

¹ Он умер там в 1703 г.

² См. стр. 142 настоящего тома.

³ Wallis, *Opera mathematica*, I, стр. 355 — 478. Полное заглавие сочинения таково: *Arithmetica infinitorum sive nova methodus inquirendi in curvilinearorum quadraturam*.

⁴ Она появилась в латин. переводе в 1669 г. в *Philosophical Transactions*.

Гюйгенс также опубликовал без доказательства законы центрального удара упругих тел. Найденные Вреном и Гюйгенсом результаты можно выразить в следующих формулах. Пусть m и m_1 будут соударяющиеся массы, v и v_1 — скорости их до, а u и u_1 — скорости их после удара, пусть, далее, e будет коэффициент упругости; тогда мы имеем:

$$u = -\frac{mv + m_1 v_1 e - (v - v_1) m_1}{m + m_1},$$

$$u_1 = \frac{mv + m_1 v_1 + e(v - v_1) m_1}{m + m_1}.$$

Впоследствии Гюйгенс развил более подробное учение об ударе, дав также доказательства относящихся к нему теорем. Но эта работа появилась лишь через восемь лет после его смерти на латинском языке. Недавно она появилась в немецком переводе¹. Мы здесь остановимся в немногих словах на содержании этой основоположной работы великого исследователя.

Хотя Гюйгенс нигде не говорит о совершенной упругости, но он всегда предполагает ее. Об этом свидетельствует вторая из трех предпосланных его теоремам предпосылка, гласящая: «Если два одинаковых тела, движущихся в противоположных направлениях с одинаковыми скоростями, ударяются центральным образом, то каждое из них отскакивает от другого с той самой скоростью, какую оно имело при ударе». Вторая предпосылка заключается в законе инерции, а третья — в важной аксиоме об относительном движении, установленной Гюйгенсом и последовательно проведенной им в его сочинении. Согласно этой аксиоме движение тел и равенство или неравенство скоростей следует рассматривать относительно образом, т. е. по отношению к другим телам, которые признаются покоящимися, хотя, может быть, они участвуют в каком-нибудь другом общем движении. Гюйгенс рассматривает, например, тот случай, когда пассажир плавающего судна заставляет удариться два равных шара, движущихся с равной скоростью в направлении движения судна. Для этого пассажира шары отскочат друг от друга с одинаковой скоростью. Наоборот, для зрителя находящегося на суше, в том случае, когда скорость шаров равна скорости судна, один из шаров после удара останется неподвижным, другой же отскочит со скоростью вдвое большей, чем сообщенная ему первоначально пассажиром скорость».

ЖИВАЯ СИЛА И СОХРАНЕНИЕ СИЛЫ

Все законы, установленные в этой области Гюйгенсом, относятся к случаю центрального удара. Так как, однако, он изменяет отношения масс и скоростей, то рассматривать ему приходится множество

¹ Christian Huygens, Über die Bewegung der Körper durch den Stoss. Издано В. Гауздорфом в виде 138-го томика (I ч.) оствальдовской серии классиков точного знания. Эта работа Гюйгенса была издана в 1703 г. под заглавием: „Tractatus de motu corporum ex percussione“ (Opuscula posthuma).

частных случаев. Мы укажем здесь на некоторые, важнейшие из них. «Если покоящееся тело подвергается удару со стороны другого, равного ему тела, то после соприкосновения последнее придет в состояние покоя, а покоившееся ранее приобретет скорость, которую имело ударяющее тело».

Это положение представляет собой частный случай следующего: «После удара двух равных тел, движущихся с различными скоростями, каждое из них приобретает скорость другого тела». В этой теореме, но еще более в знаменитой 11-й теореме Гюйгенса, находит свое выражение общий принцип, согласно которому совокупная энергия движения при ударе двух абсолютно упругих тел не изменяется.

11-я теорема гласит: При ударе двух тел сумма произведений из масс на квадраты их скоростей одинакова до удара и после него. Со времени Лейбница это произведение называется живой силой. Таким образом в этой теореме Гюйгенса (1669 г.) впервые был выражен наиболее общий закон механики, закон сохранения живой силы. В зародыше и в философском облачении этот принцип встречается, правда, уже у Эпикура, взгляды которого на игру сил во вселенной изложил в поэтической форме Лукреций Кар¹. Истинное значение этого закона смогло быть познано лишь позднее, после того, как было найдено, что теплота является особым видом движения. Но мысль об универсальном характере этого закона мы находим уже у Лейбница, который писал: «Вселенная есть система тел, не сообщающихся с другими телами. Поэтому в ней всегда сохраняется одна и та же сила»². В другом месте Лейбниц замечает, что и та сила, которую поглощают при ударе малейшие частицы, также не потеряна для вселенной³.

Исходным пунктом для этих выдвинутых Лейбницем идей послужило одно утверждение Декарта, с которым Лейбниц боролся, считая его ошибочным. Декарт, именно, принял в качестве меры силы произведение массы на скорость, так называемое количество движения, и утверждал, что во вселенной сумма количества движения должна оставаться постоянной. Лейбниц выступил против этого мнения в своем сочинении от 1688 г., полное и очень многозначительное название которого гласило так⁴: «Краткое доказательство замечательного заблуждения Декарта и других в вопросе об одном законе природы, по которому, как они полагают, благодаря Господу сохраняется всегда одно и то же количество»⁵.

¹ См. т. I настоящего сочинения. При этом атомисты обосновывали постоянство материи и силы тем, что не существует ни одного места вне вселенной, куда могла бы попасть хоть частица материи или из которого могла бы проникнуть в мир какая-нибудь новая сила.

² Leibniz, *Mathematische Schriften*. Herausgegeben von Gerhardt, Halle 1860, т. 2, стр. 434.

³ Издание Pertz-Gerhardt'a, т. 6, стр. 231.

⁴ Brevis demonstratio и т. д. („Acta eruditorum“, 1686, стр. 163).

⁵ До 1691 г. борьба велась между Лейбницем, с одной стороны, и Папином и другими картезианцами — с другой. Потом в ней приняли участие также и англичане (переписка между Кларком и Лейбницем). И. Бернулли вначале был противником Лейбница, но позднее стал на его сторону. В конце концов в этот

Лейбниц пытался опровергнуть взгляды своего противника, используя другое — на этот раз правильное — его положение, которому он, опираясь на открытые Галилеем законы падения, придал новое выражение¹. Декарт именно высказал ту правильную мысль, что величину силы следует выражать произведением из веса тела на высоту подъема его. Отсюда следовало, что величина силы равна произведению из веса на квадрат скорости, а не произведению из веса на скорость, ибо, по законам падения тел, высота подъема пропорциональна квадрату начальной скорости. Впрочем, Лейбниц допустил все же одну ошибку, поскольку за выражение способности к работе он принимал произведение mv^2 , в то время как действительным выражением служит величина $\frac{mv^2}{2}$.

Лейбницу, конечно, не была известна зависимость между потенциальной и кинетической энергией, так же как и эквивалентность различных видов энергии, хотя он вместе со многими своими современниками разделял тот взгляд, что теплота состоит в движении мельчайших частиц. Он даже приводит интересный пример перехода молярного движения в молекулярное, сравнивая этот переход с разменом крупной монеты на мелочь².

ДАЛЬНЕЙШАЯ СУДЬБА УЧЕНИЯ О СОХРАНЕНИИ СИЛЫ

Мы хотим, исходя из достигнутой Лейбницем точки зрения, дать еще краткий ретроспективный и проспективный обзор рассматриваемого вопроса. Мы уже указывали на родственные взгляды, встречающиеся у Эпикура. Вольтер имел поэтому основание заявить по адресу Декарта, выдвинувшего вновь эти идеи, что его соотечественник только возродил старую химеру Эпикура³.

Ньютон не сделал ничего для введения принципа сохранения силы в динамику, и он был совершенно далек от мыслей о замкнутости вселенной и неизменности имеющегося в ней запаса сил, как их развивал Лейбниц. Это нашло свое выражение и в принадлежащем Лейбницу замечании, что божественная машина Ньютона, т. е. вселенная, как последний ее представлял себе, была, по собственному мнению Ньютона, столь несовершенна, что время от времени ее надлежало исправлять.

Из законов удара следовало, что количество движения непостоянно, и Ньютон заключил из этого, что — в противовес утверждению Декарта — количество движения и во вселенной не может быть

спор вмешались ученые всех стран Европы. Окончательно вопрос был решен лишь в 1743 г. д'Аламбером. Последний показал, что весь спор по существу являлся пустой метафизической дискуссией и сводился к спору из-за слов. D'Alembert, *Traité de dynamique*, 1743. Предисловие, стр. 21. *

¹ Dühring, *Kritische Geschichte der allgemeinen Prinzipien der Mechanik*, стр. 230.

² *Opera philosophica*, стр. 775.

³ H. Berthold, *Notiz zur Geschichte des Prinzips der Erhaltung der Kraft* (Chem. Zentralbl., VII, 7, 1876).

постоянным. Необходимы два принципа: один — для приведения тел в движение, другой — для сохранения движения. Против этого выступил Иоганн Бернулли: если бы, говорил он, Ньютон понял истинное значение принципа сохранения живых сил, то он не выставил бы двух различных принципов. Тот самый принцип, который сообщает движение, действует и так, что движение сохраняется — но не в смысле сохранения количества движения, а в смысле сохранения живых сил, из чего следует, что движение во вселенной никогда не может исчезнуть¹.

Подобно И. Бернулли, Лейбниц настаивал на том, что сумма сил во вселенной неизменна. Сумма эта не уменьшается, так как ни одно тело не теряет своей силы, не сообщая ее вместе с тем другому телу. Точно так же сумма сил и не увеличивается, так как ни одна машина — а, значит, и мир — не может произвести силу сама по себе, без помощи воздействия извне.

Среди преемников Гюйгенса принципом сохранения силы в XVIII столетии особенно усердно занимались Иоганн и Даниил Бернулли.

Наибольшего внимания заслуживают исследования по этому вопросу, опубликованные Даниилом Бернулли в 1750 г.² В рассуждениях, которые мы встречаем у Гюйгенса и Лейбница, речь шла о живых силах, порожденных равномерно действующей и остающейся параллельной самой себе силой тяжести. Даниил Бернулли же рассматривает тот случай, когда центры сил изменяют свое местоположение, когда тела, например, притягивают друг друга по закону Ньютона. Допустим сперва, что мы имеем дело с двумя телами. Пусть массы их будут M и m , а расстояние между ними — a . Оба тела свободно подвижны, так что они могут приближаться друг к другу. Бернулли доказывает, что сумма их живых сил остается неизменной, когда оба тела переходят каким-нибудь образом от первоначального своего расстояния a к новому расстоянию x . Далее Бернулли распространяет свое исследование на случай трех, а затем и любого количества тел, и показывает, что и в этом случае имеет силу тот же самый закон, независимо от того, какие пути описывают отдельные массы. «Природа, — так заключает он, — никогда не изменяет великому закону сохранения живых сил». Таким образом Бернулли первый сообщил этому закону его современное всеобщее значение³.

Даниил Бернулли рассеял тот метафизический туман, который окутывал до него принцип сохранения живой силы. Чтобы избежать всяких возражений, он особенно охотно пользовался таким выражением: «Равенство между актуальным опусканием и потенциальным подъемом», примыкая тем самым непосредственно к Гюйгенсу.

¹ Opera omnia, III, стр. 253.

² Daniel Bernoulli, Bemerkungen über eine allgemeinere Fassung des Satzes von der Erhaltung der lebendigen Kraft. Berlin 1750. Переведено с французского и издано в виде 191-го томика остальдовской серии (Лейпциг 1914).

³ См. также „Лекции по динамике“ Якоби, изданные Э. Лоттнером (Lottner) Берлин 1834, стр. 19.

Иоганн Бернулли говорит¹: «Мы пришли к тому выводу, что всякая живая сила обладает своим определенным количеством, ни одна часть которого не может быть утрачена, а только переходит в действие, произведенное этой силой. Отсюда следует, что живая сила сохраняется вечно, так что та сила, которая заключалась до действия в одном или в нескольких телах, после действия заключается в одном или в других телах, если только часть силы не сохранилась в первом теле или первой системе. В этом и состоит то, что я называю «сохранением живых сил». Этот всеобщий закон природы действителен и в тех случаях, в которых на первый взгляд наблюдается отклонение от него. «Если, например, тела не абсолютно упруги, то кажется, что при сжатии их, не сопровождающемся возвратом к начальному состоянию, часть живых сил утрачивается. Но мы должны себе представить, что это сжатие соответствует сгибанию упругой пружины, которой препятствуют разогнуться и принять прежний вид, так что она не отдает тех живых сил, которые были ей сообщены действовавшими на нее телами, но сохраняет их в себе, и потеря силы таким образом не имеет места». Для Иоганна Бернулли — это логически неизбежный вывод, ибо аксиоматически ясно, что ни одна действующая причина не может исчезнуть ни полностью, ни частично, не произведя равного своей потере действия. В том же духе, что и Иоганн Бернулли, высказывается и Даниил Бернулли². Оба они были, таким образом, близки к тому, чтобы открыть переход молярного движения в молекулярное и найти механический эквивалент теплоты.

Но в эту эпоху и в непосредственно следующий период отсутствовали точные числовые данные. Дидро справедливо указывал на то³, что к познанию связи между силами природы можно будет прийти лишь тогда, когда будут достигнуты большие успехи в экспериментальной части физики.

Так как применение принципа сохранения энергии осталось ограниченным областью одной механики и его не удалось распространить на все области физики, то принцип этот был почти забыт, так что даже Кант не упомянул о нем, хотя он и опубликовал сочинение об определении живых сил.

Только тогда, когда принципу сохранения энергии было дано новое, более глубокое обоснование, была установлена связь между различными ветвями физики и вместе с тем механика стала их общей основой.

Замечательно, как мы только что указали, что Кант в своих исследованиях о вселенной и процессе ее образования нигде не упоминает принципа сохранения силы. Зато в своих «Метафизических основаниях естествознания» он выдвигал учение о неизменности количества материи⁴. Распространение принципа из области дина-

¹ De vera ratione virium vivarum. Acta erudit. 1735, стр. 240.

² Hydrodynamica 1738, гл. I, § 20, стр. 12.

³ Pensées sur l'interprétation de la nature, 1754, § 45, стр. 61.

⁴ A. Stadler, Kant und das Prinzip von der Erhaltung der Kraft (Philosoph. Monatshefte, т. 15, Leipzig 1879).

мики, в которой он был открыт, на все решительно естественные явления последовало лишь в середине XIX столетия и явилось результатом работ Майера (Mayer), Джоуля (Joule) и Гельмгольца (Helmholtz). Отношение этих людей к Даниилу Бернулли позволяет сравнить с отношением Коперника к Аристарху.

ОТКРЫТИЯ МАРИОТТА

Среди современников Ньютона выдающееся место наряду с Гюйгенсом занимает француз Мариотт, хотя по своему значению он значительно уступает обоим этим исследователям. Мариотт родился в 1620 г. и вступил в парижскую Академию наук в 1666 г., т. е. в самый год ее основания. Умер он в Париже 12 мая 1684 г. Работы Мариотта относятся главным образом к областям механики, оптики и учения о тепле¹. О принадлежащем ему и Бойлю открытии основного закона аэромеханики мы уже говорили ранее. Мариотт опубликовал свое открытие этого закона в сочинении, озаглавленном: «*Essai sur la nature de l'air*», в 1676 г., т. е. шестнадцатью годами позднее Бойля². Хотя заслуга Мариотта и умаляется тем, что приоритет открытия принадлежит Бойлю, но зато Мариотт первый попытался определить при помощи этого закона зависимость атмосферного давления от высоты и таким образом заложил основание барометрического способа измерения высот. Несмотря на то, что путь, которым следовал в этих изысканиях Мариотт, и был правильным, лишь Делюку (Deluc) удалось найти пригодную для употребления гипсометрическую формулу.

Гидродинамику Мариотт обогатил своим «*Traité du mouvement des eaux et des autres fluides*». Это сочинение вышло в 1686 г.³; речь в нем идет преимущественно об истечении жидкостей и возникающем при этом трении, при помощи которого Мариотт объяснял некоторые расхождения между теорией и опытом. В этом сочинении он описал также известный прибор, который назван в его честь сосудом Мариотта и который дает возможность получать истечение жидкости при постоянном давлении. Далее, он привел в нем первую формулу для вычисления толщины стенок цилиндрических трубок, испытывающих давление изнутри, объяснил движение воды в таких трубках, рассматривал действие удара жидкостей, определил высоту фонтанов и исследовал также некоторые другие равно важные как для науки, так и для техники вопросы. Косвенной причиной исследования по гидростатике и гидродинамике послужили, несомненно, великолепные гидравлические сооружения в Версале⁴. Мариотт занимался также механикой твердых тел. В одном сочинении⁵ от 1677 г. он исследовал проблему удара и описал приспособление,

¹ Собрание его сочинений появилось в 1717 г. в Лейдене: *Oeuvres de Mariotte, Divisées en deux tomes*.

² *Oeuvres de Mariotte*, т. 1, стр. 149 и сл.

³ *Oeuvres de Mariotte*, т. 2, стр. 322 и сл.

⁴ *Poggendorff, Geschichte der Physik*, стр. 493.

⁵ *Traité de la percussion ou choc des corps*. Paris 1677. *Oeuvres*, т. 1, стр. 3 и сл.

служащее для экспериментального подтверждения открытых им и другими (в особенности Вреном) законов удара. Это приспособление состоит из нескольких шаров из слоновой кости, соприкасающихся друг с другом и подвешенных так, что их центры лежат на одной горизонтальной прямой¹.

В оптике Мариотт приобрел известность благодаря открытию «слепого пятна» в глазу. Он сообщил об этом в 1666 г. парижской Академии наук в следующих словах: «При анатомическом исследовании людей и животных я часто замечал, что зрительный нерв выходит на поверхность глазного яблока не в точности напротив зрачка, а несколько выше и ближе в сторону носа. Чтобы направить исходящие от предмета лучи на зрительный нерв моего глаза и исследовать, что при этом происходит, я укрепил на темном фоне примерно на уровне моих глаз диск из белой бумаги, который служил мне для фиксирования взгляда. Затем я поместил справа от первого диска, но несколько дальше в глубину и на расстоянии приблизительно двух футов от него второй диск так, чтобы он мог действовать на зрительный нерв моего правого глаза, в то время как левый я держал закрытым. Я поместился напротив первого диска и начал постепенно удаляться от него, удерживая его все время в поле зрения. Когда я отошел приблизительно на 9 футов, второй диск, имевший около 4 дюймов в диаметре, совершенно исчез. Это нельзя было объяснить тем, что второй диск был расположен сбоку, ибо я в состоянии был видеть другие предметы, находившиеся еще более в стороне, чем он, так что я мог бы даже подумать, что второй диск удалили. Но я его тотчас же увидел снова, как только слегка изменил положение своего глаза. Когда я затем снова устремил взгляд на первый диск, второй диск, находившийся справа, опять исчез из виду. Я повторил опыт, переменяя свое расстояние от дисков и одновременно с тем изменив в том же отношении расстояние между дисками. Далее я, закрыв правый глаз, проделал то же самое с левым, перенеся лишь предварительно второй диск влево от точки, на которую был устремлен мой взор (т. е. от первого диска). Таким образом я определенно установил, что здесь, несомненно, дело в каком-то недостатке зрения, связанном с зрительным нервом (правильнее, с местом его выхода на поверхность глазного яблока). Поразительно, что когда таким образом видишь, как исчезает на светлом фоне черный бумажный диск, то не замечаешь никакой тени или темного места там, где он находится. Фон на всем своем протяжении кажется белым»². Опыт этот вызвал величайшую сенсацию. Королевское общество даже повторило его в 1668 г. в присутствии короля. Мариотт пришел к неправильному заключению, что местопребыванием зрительной способности является не сетчатка, а лежащая под ней сосудистая оболочка.

В оптике Мариотту принадлежит еще заслуга объяснения окружающих иногда Луну и Солнце венцов, а также ложных лун и ложных

¹ См. стр. 236 настоящего тома.

² Mariotte, Oeuvres, т. 2, стр. 496.

солнц. Его теория происхождения венцов, имеющих в поперечнике 23° , в существенном сохранилась и по сию пору. Мариотт объясняет это явление, исходя из предположения, что в высоких слоях атмосферы носятся призматические ледяные иглы, в которых свет претерпевает двукратное преломление и однократное отражение. Метод доказательства сходен с тем, который был применен Декартом для объяснения радуги преломлением и отражением света в каплях воды. Так как ледяные иглы, заполняющие воздух между глазом наблюдателя и Солнцем или Луной, встречаются во всех мыслимых положениях, то всегда должно иметься достаточное количество игол, оси которых перпендикулярны к прямой, соединяющей глаз с небесным светилом. А при таком расположении игол, угол, под которым наблюдается венец, должен, как показывают вычисления, быть равен 23° .

В области учения о теплоте мы обязаны Мариотту важными наблюдениями, проливающими свет на тепловое излучение. Он, например, показал, что солнечные лучи проникают через стекло, почти не ослабляясь, в то время как тепло каминного огня задерживается стеклом почти полностью. Мариотт пользовался при этом опыте зажигательным зеркалом, в фокусе которого, когда оно было расположено перед каминным огнем, царил невыносимая жара. Жара сильно ослабевала, когда между камином и зеркалом помещали стеклянную пластинку. Знаменит, далее, опыт Мариотта, имевший целью зажечь порох при помощи сделанной из льда чечевицы. Свой опыт Мариотт описывает следующим образом¹: «Некоторые лица пытались сделать зажигательное зеркало из льда, однако здесь имеются свои трудности. Чтобы получить совершенно чистый лед, я в течение получаса кипятил чистую воду и таким образом удалил из нее весь воздух. Затем я дал воде замерзнуть в форме пластинки толщиной в несколько дюймов. В ней не было ни одного пузырька воздуха, и она была совершенно прозрачна. После того я положил кусок этой ледяной пластинки в маленький, изнутри шарообразный сосуд и, поворачивая в нем лед, давал ему таять до тех пор, пока он не принял с обеих сторон форму сосуда. Тогда я, надев перчатки, взял этот кусок льда за края и выставил его на солнце. В короткое время я смог воспламенить при помощи этой, сделанной из льда чечевицы, порох, помещенный в ее фокусе».

Большинство ученых XVII столетия, после возрождения усилиями Гассенди атомистической теории, видело сущность теплоты в особых атомах тепла точно так, как представляли себе, например, свет в виде особых атомов. Когда Гассенди говорит, что теплота проникает, разлагает и т. д., то под этим он понимает то, что определенные атомы — сами по себе вовсе не теплые — внедряются в тела, проходят через них, рассеивают их и т. д. Полагали, что атомы тепла очень малы, круглы и способны легко передвигаться. Они должны были обладать этими свойствами, чтобы проникать в поры всех тел.

Лишь спорадически — и без серьезного научного обоснования — высказывались взгляды, что в теплоте мы имеем дело с некоторым

¹ Oeuvres de Mariotte, т. 2, стр. 607.

состоянием движения. Это различие во мнениях продолжало существовать все время, особенно после того, как Даниил Бернулли и Эйлер в начале XVIII столетия развили относительно природы теплоты воззрения, расходившиеся с господствовавшими тогда взглядами. И в конкурсе на премию, учрежденном в 1736 г. парижской Академией наук на тему «О природе огня и его распространении», ответ был в пользу теории материальности теплоты. Однако по существу вопрос о распространении тепла не мог быть решен при тогдашнем состоянии физики и химии. Несколько позднее высказал свои взгляды на этот вопрос и Кант¹. Согласно ему «сущность огня составляет некоторое упругое вещество, связывающее элементы тел. Его волнообразное или же колебательное движение и есть то, что называют теплотою».

Таким образом то, что мы встречаем в XVII и XVIII вв. в области учения о теплоте, состояло преимущественно из гипотез и аналогий, лишенных достаточно солидного обоснования их опытами и измерениями.

В связи с учением о теплоте были сделаны также успехи в области метеорологии. Так, например, Мариотт сравнивал количество осадков с вытекающей из какого-нибудь речного бассейна массой воды. Вычисления его относились к реке Сене, бассейн которой он считал равным примерно 3 000 квадратных французских миль. Высота дождевых осадков, выпадавших за год, достигала, по тогдашним измерениям, 15 дюймов, что давало массу жидкости более чем в 600 000 000 куб. футов, тогда как Сена уносит в своем течении только 100 000 000 куб. футов, т. е. $\frac{1}{6}$ всего количества осадков. Конечно, эти вычисления не могли бы ныне претендовать на особенную точность. Точно так же Мариотт едва ли подозревал, какое значение приобретут подобные исследования, путь к которым он указал, для дальнейших работ, направленных на хозяйственное использование водных богатств.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЛЛЕЯ

Еще более тесной, чем между Ньютоном и Гюйгенсом, была связь между несравненным английским исследователем и его младшим соотечественником Галлеем, отношения которого к Ньютону можно сравнить с отношениями Торичелли к Галилею.

Эдмунд Галлей родился в 1656 г. близ Лондона. Как и у Ньютона, у него рано проявились наклонности к математике и физике. Еще 15-летним школьником он занялся изготовлением аппаратов и производством наблюдений над земным магнетизмом. Галлей учился в Оксфорде; 20 лет от роду он опубликовал в *Philos. Transactions* свою первую работу. Она была посвящена вопросу об эксцентриситете планетных орбит. В этом же возрасте он сумел склонить своих знатных покровителей к тому, чтобы его отправили на остров Святой Елены с поручением составить каталог неподвижных звезд

¹ I. Kant, Einige kurzgefasste Bemerkungen über das Feuer, Königsberg 1755.

южного неба. Издержки по этой экспедиции взяла на себя Ост-Индская компания. Каталог, содержавший около 360 невидимых в Европе звезд, появился в 1679 г.¹ и принес Галлею звание члена Королевского общества, в которое он был принят в возрасте 22 лет, за год до опубликования своей работы. Появление больших комет 1680 и 1682 гг. побудило Галлея, по его возвращении на родину, заняться исследованием этих небесных светил. Сперва было необходимо найти метод определения орбиты кометы на основании ряда наблюдений. С этой целью Галлей в 1684 г. завязал сношения с Ньютоном. Последний познакомил его со своим методом, опубликованным позднее в конце его «Начал». При этом Галлей ознакомился и с другими подготовительными работами Ньютона к его великому труду, который Ньютон — как Коперник свои «Круговращения» — не заканчивал и не опубликовывал в течение многих лет, чтобы устранить еще имевшиеся в нем маленькие недостатки. Тем, что «Начала» в конце концов появились в 1688 г., мы обязаны настойчивости Галлея, который буквально вырвал это сочинение у Ньютона и сам озаботился о его напечатании.

Пользуясь методами созданной Ньютоном теории, Галлей на основании данных наблюдения вычислил орбиты 24 комет, появившихся за промежуток времени с 1337 по 1608 г. В противоположность прежним взглядам, согласно которым все эти небесные светила являются чуждыми пришельцами совершенно неизвестного происхождения, наносящими солнечной системе на своем параболическом пути лишь краткий визит, Галлей сделал поразительное открытие, указав, что некоторые кометы являются членами нашей системы и обращаются вокруг Солнца, подобно планетам, по эллиптическим, хотя и весьма удлинённым орбитам. Это открытие было сделано им при исследовании кометы 1682 г. Действительно, вычисления дали для этой кометы и для комет, появившихся в 1607 и 1531 гг., почти одинаковые элементы². Если была правильна гипотеза Галлея, что во всех трех случаях появлялось одно и то же светило, обращающееся вокруг Солнца по эллиптической орбите в 75 лет, то следовало ожидать нового возвращения его в 1759 г. Это единственное в своем роде предсказание, рядом с которым в XIX столетии можно поставить открытие Нептуна Леверрье, исполнилось. Через следующие 75 лет комета снова появилась в 1835 г., ее наблюдали также и в 1910 г. Впоследствии появления кометы Галлея были прослежены назад вплоть до начала нашего летоисчисления. Галлей считал вероятным также периодическое возвращение кометы 1680 г., самой большой из когда-либо наблюдавшихся, — ее хвост имел длину 70°. Время обращения этой кометы, по предположению Галлея, достигает 575 лет. Справедливость этой гипотезы может быть проверена лишь после ее возвращения в 2225 г.

¹ Catalogus stellarum australium, seu supplementum catalogi Tycho-nici.

² Сопоставление этих элементов находится у Вольфа (Wolfs) Geschichte der Astronomie, стр. 702. Комета Галлея при своем появлении в 1456 г. вызвала во время осады Белграда необычайный ужас у турок и христиан.

Галлей также первый провел аналогию между кометами и метеорами: он полагал, что последние так же, как и первые, являются телами космического происхождения. До того в них видели явления атмосферические. Данные наблюдений над одним замеченным в Англии в 1708 г. метеором, указывавшие, что он загорелся на огромной высоте, заставили Галлея склониться к названной гипотезе. Однако взгляды его не встретили отклика, и добиться окончательного признания теории, что в метеорах и астероидах мы имеем дело с космическими телами, удалось лишь Хладни¹.

Дальнейшая астрономическая деятельность Галлея приходится преимущественно на первую половину XVIII в. О ней речь будет в одной из следующих глав, посвященных астрономии этого времени. В качестве физика Галлей приобрел очень большие заслуги в оптике, учении о магнетизме и учении о теплоте.

Мы знаем уже, с какими трудностями пришлось бороться Кеплеру при основании диоптрики благодаря тому, что ему тогда еще не были известны закон преломления света и формула, связывающая фокусное расстояние чечевицы с расстояниями от нее предмета и его изображения. Установить такую общую формулу Галлею впервые удалось в 1693 г.², после того как Кавальери уже было найдено правило для вычисления фокусных расстояний сферических стекол³. Открытая Галлеем основная формула диоптрики может быть, как известно, представлена в таком простом виде:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b},$$

где f есть фокусное расстояние, a — расстояние от чечевицы предмета и b — расстояние от нее его изображения. Эта формула применима не только к сферическим чечевицам, но и к сферическим зеркалам⁴.

Другой важной формулой, выводом которой мы обязаны Галлею⁵ и которую тщательно пытался найти Мариотт, является формула для барометрического определения высот. Галлей при выводе ее рас-

¹ См. об этом позднее, т. 3.

² В 1647 г. См. Wilde, *Geschichte der Optik*, т. 1, 272.

³ *Philos. Transactions* от 1693 г.

⁴ Приведенное Галлеем доказательство этой формулы имеется у Вильде, *Geschichte des Optik*, т. 1, стр. 265 и сл.

⁵ *Philos. Transactions*, 1686. Discourse of the rule of the decrease of the height of the mercury in the barometr, according as places are elevated above the surface of the earth.

Рис. 102 заимствован из работы Галлея (*Philos. Transactions*, 1686, стр. 79). Для высот, соответствующих определенному уровню ртути в барометре, Галлей составил следующую таблицу:

Уровень ртути в барометре в дюймах		Высота в футах	
30	20	0	10 947
29	15	915	18 715
28	10	1 862	29 662
27	5	2 844	48 378
26	1	4 922	91 831

суждал таким образом. По закону Бойля объемы данной массы воздуха обратно пропорциональны давлениям, или $v : w' = p' : p$. Но в таком же отношении находятся и координаты гиперболы, если за оси ординат и абсцисс принять ее асимптоты. Действительно (рис. 99), $OP : OQ = OB : PA$. Если OP , OQ и OR представляют собой давления, то PA , QB и RC изображают соответствующие объемы нашей массы воздуха. Вместо объемов мы можем взять высоты, так как в цилиндрическом или призматическом слоях воздуха, простирающихся от Земли до границы атмосферы, основания всех отдельных слоев составляющих его слоев одинаковы. Совокупная высота всех слоев воздуха между двумя пунктами, которым соответствуют высоты ртути в барометре OS и OR , равна площади $RCDS$. Далее

в случае нашей гиперболы мы имеем для площадей $RCDS$ и $QBCR$ такое отношение:

$$RCDS : QBCR = \lg \frac{OS}{OR} : \lg \frac{OR}{OQ}.$$

Так как площади представляют собой высоты, а абсциссы — уровни ртути в барометре, то из этого следует, что:

$$H = A \lg \frac{B}{b},$$

где A — постоянная, величину которой Галлей определил, исходя из отношения плотностей воздуха и ртути.

Такова барометрическая формула в ее простейшем виде и без учета

влияние температуры. Буге (Bouguer) во время предпринятого им совместно с Кондамином (Condamine) измерения величины градуса меридиана в Перу первый воспользовался при определении высоты места этой логарифмической формулой.

Заслуги Галлея в математике мы можем обрисовать здесь лишь совсем кратко. Упомянем о некоторых работах, в которых дается путем построения (при помощи конических сечений) решение кубических и биквадратных уравнений¹. Важным является также появившееся несколько позднее (в 1695 г.) сочинение Галлея о вычислении логарифмов². В нем приводится, между прочим, вычисление модуля бригговой системы логарифмов, доведенное до 60 десятичных знаков³. Выдающиеся заслуги Галлей приобрел также изданием в 1710 г. трудов Аполлония. Так как на греческом языке до нас дошли лишь первые четыре книги труда Аполлония о конических сечениях, а пятая, шестая и седьмая имелись лишь в арабском пере-

¹ Cantor, Geschichte der Mathematik, т. 3, стр. 114 и 115.

² Cantor, т. 3, стр. 80—82.

³ Cantor, т. 3, стр. 363.

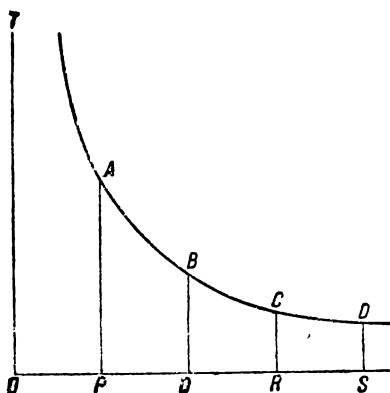


Рис. 99. Галлей выводит барометрическую формулу определения высот.

воде, то Галлей для выполнения своей задачи был вынужден взяться за изучение арабского языка. Он вскоре овладел им настолько, что был в состоянии вносить поправки в арабские тексты, вызывавшие изумление ориенталистов.

Несколько подробнее мы должны остановиться на применении Галлеем математики при решении одной биологической и социально-политической проблемы, именно при вычислении вероятности дожития — проблемы, приобретшей большое значение в конце XVIII столетия в Англии и Голландии, ибо в это время там появилось впервые страхование жизни. Посвященное этой задаче сочинение Галлея вышло в свет в 1693 г.¹ под названием: «Оценка степени смертности, основанная на статистике рождений и смертей». В этом сочинении Галлея заключается абсолютно новый для того времени подход к изучению смертности, и оно содержит так много плодотворных мыслей, что его следует считать основоположной работой в этой отрасли социальных наук².

Упомянем здесь заодно, что дальнейшим развитием выдвинутых Галлеем в этой области идей занялись французский математик Муавр (Moivre)³, а в Германии — в особенности Зюссмильх (Süssmilch). Сочинение Зюссмильха появилось в 1741 г. под следующим заглавием: «Доказательство существования божественного порядка в изменениях рода человеческого на основании рождений, смертей и размножения». Книга Зюссмильха представляет собой фундаментальный и существеннейший для статистики труд, так как сводит воедино более ранние работы Галлея и другие исследования в этой области⁴.

После этого краткого отступления мы снова возвращаемся к Галлею, научная карьера которого вызывает тем больше изумления, чем дальше прослеживаешь ее. С ранней юности Галлей занимался явлениями земного магнетизма, и его излюбленным желанием было подробнее изучить их и под тропиками. Его план, от выполнения которого ожидали полезных результатов для искусства мореплавания, встретил сочувственный отклик, и Галлей был назначен за счет правительства начальником двух экспедиций, вместе с которыми он в 1698—1700 гг. посетил тропическую Америку, некоторые группы островов и берега Африки и Ост-Индии. Плодом этого путешествия, южная граница которого простиралась до 53° широты, была первая карта магнитных склонений. Она явилась прообразом всех позднейших подобных карт и еще и теперь полезна при изучении вековых колебаний магнитного склонения.

Карта Галлея появилась в 1701 г. под названием: *A general chart, showing at one view the variation of the compass*⁵. Способ,

¹ Philos. Transactions, XVII, 596—610. An Estimate of the Degrees of the Mortality of Mankind, drawn from curious Tables of the Births and Funerals at the City of Breslaw; with an Attempt to ascertain the Price of Annuities upon Lives.

² Cantor, Geschichte der Mathematik, т. 3, стр. 45—47.

³ Cantor, т. 3, стр. 343.

⁴ Cantor, Geschichte der Mathematik, т. 3, стр. 616.

⁵ Синоптическая карта, позволяющая найти сразу магнитное склонение стрелки компаса.

при помощи которого он представил в легко обозримой форме результаты многочисленных отдельных наблюдений, сводился к соединению общей линией точек одинаковой величины склонения. Этот введенный Галлеем метод графического изображения стал позднее общим достоянием науки. Для получающихся при применении этого метода линий одинакового склонения было принято название изогон.

Уже давно было известно, что магнитное склонение какого-нибудь места подвержено вековым колебаниям¹. Несколько десятилетий спустя после появления галлеевой карты были открыты и малые дневные колебания².

Галлей первый также поставил в связь явление северного сияния с земным магнетизмом. Он, именно, заметил, что западное отклонение северного сияния совпадает по величине с западным склонением магнитной стрелки. Установление этого обстоятельства явилось фактом выдающейся важности, хотя связанные с ним попытки Галлея объяснить северное сияние оказались безуспешным³.

Галлей, бывший руководителем нескольких морских экспедиций, приобрел заслуги и в океанографии. Он улучшил водолазный колокол, описал особый водолазный шлем и открыл, когда спустился сам на значительную глубину под поверхность моря, что морская вода отражает зеленые лучи и, наоборот, пропускает дополнительные цвета, так что, например, его руки на большой глубине казались ему совершенно красными. Закономерность пассатов и муссонов также обратила на себя внимание Галлея, но данное им объяснение этих явлений оказалось неправильным.

Так как Галлей объяснял происхождение ветра неравномерным нагреванием воздуха, то неудивительно, что он занимался также и методами измерения температуры. Ему было известно, что температура кипения жидкостей постоянна, и он предлагал избрать за верхнюю неподвижную точку температуру кипения спирта. В качестве нижней точки он рекомендовал температуру глубоких погребов. Он производил также измерения того расширения, которое испытывают при нагревании вода и ртуть.

После того как Галлей закончил свои экспедиции, которыми он руководил в звании капитана английского флота, он был назначен профессором геометрии в Оксфорде. Вместе с тем он занял место секретаря Королевского общества. После смерти Флемстида (Flamsteed) он в 1721 г. взял на себя руководство Гринвичской обсерваторией. На этом посту он оставался до самой своей смерти (1742 г.). На выдающихся заслугах, принадлежащих Галлею в астрономии, мы можем подробнее остановиться лишь в главе, посвященной развитию этой науки в XIX столетии⁴.

¹ Открыто это явление было Э. Гунтером (E. Gunter) в 1662 г.

² Graham, Observations made on the Variation of the horizontal needle at London, 1722—1723.

³ Heller, Geschichte der Physik, т. 2, стр. 308.

⁴ См. ниже в настоящем томе.

ОТКРЫТИЯ КАССИНИ

Мы упоминали ранее, что в споре о точной форме Земли принимал участие Кассини. Так как в лице Кассини мы встречаемся с одним из самых выдающихся астрономов-наблюдателей эпохи Ньютона, то мы несколько остановимся на его биографии и заслугах.

Джиованни-Доменико (Доменик) Кассини родился в 1625 г. под Ниццей. 25 лет от роду он был назначен на место Кавальери профессором в Болонье. Первым астрономическим открытием Кассини явилось определение (в 1655 г.) времени обращения Юпитера вокруг своей оси, которое он нашел равным 9 часам и 56 минутам. В последующие годы Кассини распространил свои исследования на Марс и Венеру. Для обеих этих планет он нашел времена обращения соответственно в 24 часа 37 минут и 23 часа 21 минуту.

Между тем Кольбер основал французскую Академию наук и построил Парижскую обсерваторию. Подобно Гюйгенсу, членом академии был назначен и Кассини, и в 1669 г. он был вызван в Париж с тем, чтобы в качестве королевского астронома взять руководство обсерваторией. В этой должности он пробыл свыше 40 лет. Он умер в 1712 г.

Этим вызовом в Париж Кассини был, в первую очередь, обязан составленным им таблицам движения спутников Юпитера¹. Он разрешил тем самым задачу, которой, как мы уже знаем, занимался в последние годы своей жизни Галилей².

Наше знакомство с планетной системой Кассини значительно обогатил тем, что к первому, открытому Гюйгенсом спутнику Сатурна присоединил еще открытие четырех других его спутников. В честь Людовика XIV он их назвал *Sidera Ludovica*³.

Свои наблюдения над спутниками Юпитера Кассини, для уточнения составленных им в Болонье таблиц, продолжал и в Париже. Он нашел себе сотрудника для этой работы в лице Олафа Ремера. На долю этого последнего выпало сделать во время совместной с Кассини работы одно из величайших открытий. Дело в том, что в движении спутников Юпитера наблюдались некоторые неправомерности, которые уже у Кассини вызвали догадки, что «свет употребляет некоторое время на прохождение пути от спутников Юпитера к нам». Кассини, однако, потом отказался от этой мысли, в то

¹ *Ephemerides Bononienses Mediceorum Siderum*, Болонья 1668.

² См. стр. 43 настоящего тома.

³ Четыре спутника Юпитера Галилей также назвал в честь покровительствовавшего ему государя.

В порядке времени их открытия спутники Сатурна располагаются следующим образом:

Гюйгенс открыл 6-го спутника в 1665 г.					Кассини открыл 3-го спутника в 1684 г.						
Кассини	"	8	"	"	1671	Гершель	"	1	"	"	1789
"	"	5	"	"	1672	"	"	2	"	"	1789
"	"	4	"	"	1684	Бонд	"	7	"	"	1848

В 1898 и 1904 гг. были открыты еще два спутника (см. приложение).

время как Ремер остался при ней и, как мы уже раньше видели¹, доказал справедливость ее.

Кассини принадлежит также та заслуга, что он в сотрудничестве с молодым, данным ему в помощники астрономом² произвел первые наблюдения над не утратившим своей загадочности и по сию пору зодиакальным светом. Замечательное, появляющееся иногда в сумерки сияние конической формы, которое мы называем зодиакальным светом, было известно уже арабам. В европейской литературе первое ясное описание его мы встречаем в 1661 г.³

Наблюдения Кассини над зодиакальным светом производились в течение 1683—1688 гг. На основании их можно было заключить, что зодиакальный свет следует за Солнцем в его годовом движении. Кассини и его сотрудники искали причину этого явления в окружающем Солнце кольце маленьких, отражающих свет телец.

В противоположность тем успехам, которых Кассини достигнул как астроном-наблюдатель, участие его в развитии теории незначительно. Упорно придерживаясь воззрений Декарта, Кассини даже отрицательно относился к новшествам в этой области. Сын, внук и правнук Кассини также приобрели известность в качестве астрономов⁴.

ГЕРМАНИЯ В ЭПОХУ НЬЮТОНА-ГЮЙГЕНСА

В противоположность оптике и механике, успехи которых в связи с дальнейшим развитием математики повлияли в эпоху Ньютона-Гюйгенса исключительно благотворным образом на астрономию, другим отраслям физики уделялось далеко не такое внимание. В учении об электричестве вряд ли можно указать хоть на одно достойное упоминания открытие, и его развитие выпало преимущественно на долю XVIII в. К этому присоединилось еще то обстоятельство, что оживленная научная деятельность в Италии ослабела, а Германия, несмотря на успехи экспериментальной техники, достигнутые в результате работ Герике, в своем научном развитии отстала от других стран. Эта страна жестоко страдала от последствий 30-летней войны. Она была разорена и тяжело потрясена, а между тем наука уже достигла к тому времени той ступени развития, на которой дальнейший прогресс ее был обусловлен не только моральной, но и материальной поддержкой широких кругов населения. Вместо этого тогдашние властители Германии, постоянно нуждавшиеся в деньгах, все еще продолжали проявлять интерес к проблемам алхимии и на их разрешение тратили средства, достойные лучшего употребления⁵.

¹ См. стр. 234 настоящего тома.

² Николаем Фасьо (Fatio), родился в Базеле в 1664 г.

³ Оно было сделано англичанином Чильдреем (Childrey) и опубликовано им. в его „*Britannia Vasconica*“.

⁴ Жак Кассини (1677—1756). Цезарь-Франсуа Кассини де-Тюри (1714—1784) Жак-Доминик Кассини де-Тюри (1748—1845). Последний был директором Парижской обсерватории до 1793 г.

⁵ В этом отношении поучительна история Беттгера (Böttger), мнимого изобретателя фарфора. См. его биографию, составленную Энгельгардом. См. далее стр. 274.

Среди немногочисленных немцев, приобретших во второй половине XVII в. большие заслуги в развитии науки, прежде всего следует назвать Чирнгаузен и Лейбница. Эренфрид Вальтер, граф фон-Чирнгаузен (также Чирнгауз), родился в 1651 г. недалеко от Герлица. Подобно Гевелию и Герику, он принадлежал к тем богатым частным лицам, которые в XVII в., заинтересовавшись успехами индуктивного метода исследования, занялись точными науками из любительского интереса к ним. Чирнгаузен учился в Лейдене, где в XVIII в. особенно усиленное внимание уделялось медицине и естественным наукам. Затем он совершил обширные путешествия, поддерживал личное знакомство с Лейбницем и Спинозой, был иностранным членом французской Академии наук и умер в 1708 г. в Дрездене. Как и Герику, Чирнгаузен тратил значительные средства на изготовление физических, в особенности оптических приборов. Его сферические медные зеркала, наибольшее из которых представляет достопримечательность и до сих пор, достигали поперечника в 3 локтя и имели фокусное расстояние в 364 локтя. С помощью их можно было расплавить в течение 5 минут талер, но они не давали сколько-нибудь заметного нагревания, когда ими собирали свет Луны. Чечевицы Чирнгаузена обладали поперечником до 80 см¹.

Одна из его чечевиц попала во Флоренцию и послужила для опытов над сжиганием алмазов, предпринятых там в 1695 г. В фокусе этой чечевицы, расплавляющей фарфор и пемзу, алмаз весом в 140 гран сгорел в течение получаса.

Опыты с зажигательными зеркалами привели Чирнгаузена также и к теоретическим изысканиям в области оптики. Эти его исследования относились к катакаустике или же фокальной линии, т. е. к той кривой, которая возникает при отражении падающих на сферическое зеркало лучей в силу того, что отраженные лучи не сходятся все в одной и той же точке оптической оси. Другими словами, катакаустика есть геометрическое место точек пересечения каждой двух соседних отраженных лучей. На прилагаемом рис. 100 параллельно идущие лучи отражаются от AFF . Луч DF отражается в направлении FG . Смежный с лучом DF луч отражается по прямой, лишь незначительно отклоняющейся от FG . Оба отраженных луча пересекаются в точке G . Точки пересечения всех отраженных лучей лежат на кривой EGB , или катакаустике, по отношению к которой отраженные лучи представляют семейство огибаемых ею касательных.

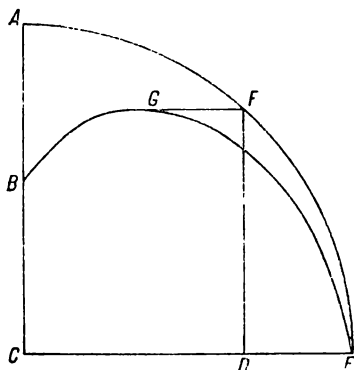


Рис. 100. Теорема Чирнгаузена о катакаустике.

¹ См. Gerland, Beiträge zur Geschichte der Physik. Leopoldina, Halle 1882. Одна чечевица с фокусным расстоянием в 4,34 м находится в Касселе. Она, однако, полна пузырьков.

Теорема Чирнагаузена о фокальной линии гласит, что ее отрезок EG равен сумме длин отрезков DF и FG . Подробнее занялись изучением катакаустики и возникающей при преломлении света диакаустики Иоганн и Яков Бернулли.

Чирнгаузен опубликовывал свои работы большей частью в «Acta Eruditorum», периодическом издании, значение которого для Германии было примерно таким же, какое имели «Philosophical Transactions» для англичан. «Acta Eruditorum» — старейшее научное периодическое издание, появившееся на германской почве. О нем подробнее говорилось во вступительной главе к настоящему тому.

По всей вероятности, Чирнгаузену принадлежит также заслуга открытия первого в Европе способа изготовления фарфора. Изобретателем европейского фарфора часто называют алхимика Беттгера, который помогал Чирнгаузену в его опытах и сумел присвоить себе честь этого открытия. Однако в XVIII в. Чирнгаузена с полным правом считали истинным изобретателем саксонского фарфора. Лишь тогда, когда заслуги Беттгера были описаны в одной объемистой биографии¹, Чирнгаузен был забыт. Однако новейшие, составленные на основании первоисточников исследования² установили факт этой «замечательной в истории изобретения фарфора замены одного лица другим, порожденной биографом Беттгера»³. Согласно этим изысканиям, Чирнгаузен работал над изготовлением фарфора еще тогда, когда Беттгеру было едва лишь 10 лет. Как известно, Август Сильный держал Беттгера взаперти, так как этот последний не выполнил своего обещания открыть способ делать золото. Чирнгаузен имел доступ к Беттгеру и убедил его заняться под его руководством вместо бесплодных алхимических попыток работами по изготовлению фарфора. Эти опыты закончились успехом в 1707 г. Годом позднее Чирнгаузен умер, и Беттгер, один только знавший способ приготовления фарфора, выдал себя за его изобретателя.

Значение Лейбница (о котором мы уже довольно часто упоминали) для философии, математики и всех отраслей теоретического и прикладного естествознания нельзя описать исчерпывающим образом в тех немногих строках, которые мы можем ему здесь уделить. Его называли Аристотелем XVII в. Действительно, у Лейбница мы встречаемся с энциклопедической ученостью в соединении с самостоятельностью мышления, какие едва ли можно встретить еще у кого-нибудь. Но в то время, как аналогичные способности привели Аристотеля к систематической обработке философии и естествознания, Лейбниц в своем творчестве чрезмерно разбрасывался. Даже столь важные философские сочинения, как «Теодиция» и «Монадология», составлены были им, чтобы изложить некоторым высокопоставленным лицам основные вопросы философии. Другие опубликованные Лейбницем труды, касающиеся всех областей человеческого мышления и деятельности, в еще большей степени носят характер сочинений,

¹ Составленной К. А. Энгельгардтом.

² Петерса.

³ См. реферат Дирпратца (Diergarts) в Mitteil. zur Geschichte der Medizin u. der Naturwissenschaften, т. 5, стр. 534.



ГОТФРИД-ВИЛЬГЕЛЬМ ЛЕЙБНИЦ

1646—1716

написанных по случайному поводу и лишь слабо связанных между собой. Готфрид-Вильгельм Лейбниц родился 21 июня 1646 г. в Лейпциге, где отец его был правителем канцелярии университета. Лейбниц оставил подробные заметки о ходе своего развития в течение первых десятилетий своей жизни¹. Мальчиком он изучил сам, без помощи учителя, латынь. Вообще в большинстве наук он был самоучкой, стремясь при этом постоянно проникнуть «глубже во все вещи и найти в них что-нибудь новое». Так как в его распоряжении находилась библиотека отца, то он рано познакомился с древними писателями, особенно с Аристотелем. Он читал также и произведения схоластиков. Под влиянием работ Декарта он перешел от телеологического мировоззрения к признанию принципа причинности. Лейбниц признается в одном из своих позднейших сочинений, что с трудами новых философов он познакомился тогда, когда оставил школу. Он вспоминает, как пятнадцатилетним мальчиком он размышлял на прогулках о том, должен ли он продолжать придерживаться схоластических взглядов. «В конце концов механическая теория вышла победительницей и побудила меня взяться за изучение математических наук».

Пятнадцати лет от роду Лейбниц поступил в университет своего родного города. Специальностью его была юриспруденция. По окончании университета ему «по юности лет» не разрешили добиваться ученой степени. Поэтому докторскую степень Лейбниц получил в Альтдорфе (в 1668 г.), где ему из-за его выдающихся познаний и красноречия тотчас же предложили профессию. Лейбниц отвергнул это предложение и отправился в Нюрнберг. Там он вступил в сношения с алхимическим обществом розенкрейцеров. Он прослужил год в этом обществе, причем его обязанностью было делать извлечения из алхимических работ, вести переписку и т. д. Хотя Лейбниц и не принимал участия в разрешении алхимических проблем, но всегда питал к ним живой интерес². Практическими целями алхимиков он совершенно не интересовался. В одном, написанном в более зрелом возрасте сочинении³ он выражал даже пожелание, чтобы ради общего блага было воспрещено искусственное производство золота и серебра, если бы оно даже и удалось когда-нибудь. Зато достойным ему казалось стремление «выделить из золота квинт-эссенцию, как из вина выделяют алкоголь, и превращать с помощью этой квинт-эссенции другие металлы и золото». Это не приносило бы никакой прибыли и, наоборот, потребовало бы некоторых издержек, но это подвинуло бы вперед дело познания природы. Однако к этому Лейбниц уныло прибавляет, что маловероятно разрешение и этой последней задачи.

После того как Лейбниц покинул Нюрнберг, он поступил на службу к курфюрсту майнцскому, столь живо интересовавшемуся опытами Герике⁴. Из Майнца Лейбниц был послан в 1672 г. с дипломатическим поручением в Париж. Дело шло о том, чтобы побудить Людовика XIV предпринять войну с Египтом и тем обезо-

¹ Vita ase ipso breviter delineata (краткая автобиография).

² К о р р, Geschichte der Alchemie т. 1, стр. 233.

³ Miscellanea Berolinensia. Berolini 1710, стр. 16 и сл.

⁴ См. стр. 169 и сл.

пасить Германию от завоевательных поползновений этого короля. Идея этой военной экспедиции принадлежала Лейбницу и была доложена королю в составленной немецким философом памятной записке. Хотя эти дипломатические попытки оказались безуспешными, но пребывание в Париже имело большое значение для Лейбница. Он познакомился здесь со многими выдающимися людьми, и прежде всего с Гюйгенсом. Личное влияние этого человека и изучение его работ о часах с маятником вновь пробудили в Лейбнице его прежний интерес к математике и механике. За сделанным еще в Нюрнберге изобретением счетной машины последовало открытие дифференциального исчисления. Об обоих этих открытиях, а также о связанном с последним споре о приоритете мы уже говорили в другом месте.

Из Парижа Лейбниц в 1677 г. возвратился через Лондон в Германию. Он занял должность библиотекаря в Ганновере, где и провел большую часть своей жизни. Созданная Лейбницем философская система вызвала особый интерес у Софии-Шарлотты, бабушки Фридриха Великого, говоривавшего, что Лейбниц один представлял собой целую академию. Под влиянием Лейбница София-Шарлотта побудила своего мужа, будущего короля Фридриха I, основать в 1700 г. в Берлине «Общество наук», академию, Лейбниц был ее первым президентом. Косвенным образом, путем личного влияния на Петра Великого, Лейбниц содействовал и основанию Петербургской академии¹. Такую же роль он сыграл и в деле основания Дрезденской и Венской академий. По плану Лейбница, эти учреждения должны были не только способствовать развитию науки, но и сделать из нее общее достояние. Просвещение человечества являлось главной целью великого философа, и в этом направлении за ним в XVIII в. последовали такие люди, как Христиан Вольф, популяризовавший философию Лейбница, Базедов (Basedov), приобретший заслуги на поприще педагогики, и даже Лессинг (Lessing) и Гердер (Herder).

Лейбниц умер в Ганновере 14 ноября 1716 г. Говоря о его смерти, нельзя не упомянуть об одном печальном факте, характерном для тогдашнего культурного уровня Германии. Летописец сообщает, что «Лейбниц был похоронен скорее, как разбойник с большой дороги, чем как человек, являвшийся украшением своего отечества». Двор не был представлен никем, ни одно духовное лицо не сопровождало гроба. Наоборот, когда десятилетием позже хоронили в Вестминстерском аббатстве Ньютона, саван несли лорд-верховный канцлер и герцоги. Подобные контрасты заслуживают упоминания в назидание грядущим поколениям. Даже Парижская академия почтили память Лейбница торжественным заседанием, в то время как Берлинская вовсе не отметила смерти своего основателя и крупнейшего сочлена!

¹ Открытие Петербургской академии произошло уже после смерти Петра.



ОСНОВАНИЕ В СВЯЗИ С ХИМИЧЕСКИМИ И ФИЗИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ СОВРЕМЕННОЙ МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОЛОГИИ

Исходным материалом для получения большинства химических соединений являются минералы. По мере того, как химия приобретала все более научный характер, наряду с практическим интересом к минералам, которым главным образом руководствовался, например, еще Агрикола¹, возник и чисто теоретический, научный интерес к ним. Встал вопрос о составе и возникновении не только минералов, но и вообще твердой земной коры. В течение XVII в. никто не обнаружил такой проницательности при решении этого вопроса и не занимался им с таким успехом, как Стено.

Николай Стено или Стенон родился в 1631 г. в Копенгагене. Он изучил в Париже медицину и в 60-х годах XVII в. был лейб-медиком флорентинского двора. В 1672 г. Стено вернулся по желанию датского короля в Копенгаген, где занял кафедру анатомии. Однако он вскоре снова покинул свое отечество, где терпел неприятности из-за своих религиозных убеждений, и, побывав в различных местах Германии, умер в 1687 г. в Шверине. По желанию Медичи труп его был перевезен во Флоренцию и похоронен в Сан-Лоренцо.

Стено занимался подробным изучением почвенных условий Тосканы. Плодом этих исследований явилась работа, в которой впервые дано было ясное изложение основ геологической науки, иллюстрированное рисунками геологических профилей; в существовавшей до Стено литературе встречаются лишь разрозненные замечания по вопросам геологии².

КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕНО

Прежде всего Стено пытался доказать, что ни минералы, ни пласты, из которых сложены горы, не являются первозданными, существующими от века телами, как это представляется, в проти-

¹ См. т. 1.

² Steno, *Desolido inter solidum naturaliter contento*, Флоренция 1669. Сделанное Эли де-Бомоном (Beaumont) извлечение из этого произведения помещено в „*Annales des sciences naturelles*“, XXV, стр. 337.

воположность переходящему органическому миру, наивной мысли. О том, какую роль играли еще во времена Стено в вопросах геологии подобного рода представления, свидетельствует тот факт, что он должен был выступить против его взгляда, будто горы выросли по образцу растений или будто они являются чем-то аналогичным скелету животных.

По мнению Стено, минералы — форму которых он описывает на примерах горного хрусталя, серного колчедана, железного блеска и алмаза — растут путем присоединения новых слоев извне. Однако этот процесс не совершается равномерно по всем граням кристалла.

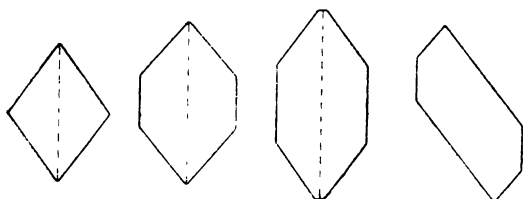


Рис. 101. Рисунки Стено, изображающие продольные сечения горного хрусталя.

В результате этого получается искажение математической формы кристалла, между тем как угол наклона между соседними гранями остается всегда одинаковым.

Свои наблюдения Стено производил главным образом на горном хрустале, минерале, который с древ-

нейших времен привлекал к себе внимание своей особенной формой и величиной своих кристаллов, а также своей прозрачностью. Стено выступил против того взгляда, будто горный хрусталь возникает от холода или из пламени, или будто бы он был создан при сотворении мира. Кристаллы, по его мнению, возникают из растворов и при помощи соответствующих средств могут быть снова переведены в форму растворов. По его словам, на это указывают и разноцветные соли, из которых иногда состоят кристаллы. Для доказательства своего взгляда Стено брал растворы и получал из них путем кристаллизации различные соли, как например купорос и квасцы, причем он наблюдал у них те же явления, какие встречаются у минералов. Из способа образования кристаллов Стено объясняет не только их слоистость и искажение формы, но также ступенчатые уступы, включения жидкостей и т. п. При помощи весьма поучительных рисунков, представляющих поперечные и продольные разрезы кристаллов горного хрусталя различной формы (рис. 101 и 102), Стено иллюстрировал факт различия размеров граней при сохранении угла наклона между ними. Таким образом Стено ясно высказал уже основной закон минералогии, закон постоянства углов между гранями, хотя во всей всеобщности он был сформулирован лишь в следующем веке Роме де-Лилем (Romé de l'Isle).

Для объяснения того явления, что грани призм горного хрусталя исчерчены поперечным образом, Стено делает допущение, что эти грани возникли путем соединения ряда многочисленных пирамид в продольном направлении кристалла.

Минералы, по Стено, возникли путем кристаллизации из жидких растворов процесса, который он пытался объяснить особого рода магнитной силой; горные же породы образовались, согласно ему, путем

осаждения взвешенных в воде частиц. Частицы эти, подчиняясь силе тяжести, образовали пласты, расположенные первоначально горизонтальным образом. В пользу теории осаждения из воды говорит, по мнению Стено, и тот факт, что опустившиеся частицы приспособились в точности к форме заключающих их тел, заполнив мельчайшие полости последних.

Всякая перемена в составе породы, из которой состоят пласты, свидетельствует, по его мнению, об изменении условий возникновения последних, причем изменение это могло заключаться либо в том, что на жидкость, из которой образовались пласты, влияла периодическая смена времен года, либо же в том, что состав ее изменялся.

Если мы находим в пласте морскую соль или остатки морских существ, то мы должны предположить, что море некогда находилось на том месте, где теперь находится этот пласт: либо море некогда было выше, либо суша опустилась. По отпечаткам трав и камышей и окаменевшим стволам деревьев Стено заключал, что пласт, в котором они находятся, образовался на суше. Стено допускал, что подобные образования могли возникнуть при наводнениях вследствие разлива реки или горных потоков.

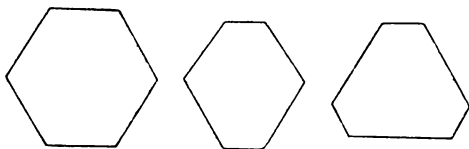


Рис. 102. Рисунки Стено, изображающие поперечные сечения горного хрусталя.

С необычайной отчетливостью Стено развивал далее всеобщее учение о пластах (стратиграфию), основные черты которого мы вкратце изложим здесь по его указаниям. Образование каждого пласта предполагает наличие под ним твердой основы. Поэтому верхние пласты более недавнего происхождения, чем нижние. Каждый пласт ограничен двумя параллельными плоскостями; он занимал первоначально горизонтальное положение, так как являлся результатом осаждения твердых частиц из воды. Но каждый пласт должен быть ограничен и с боков, если нет оснований допустить, что он простирается по всему земному шару. Поэтому, если мы встречаем где-нибудь какой-нибудь пласт, то можно найти либо его продолжение, либо же другие твердые тела, помешавшие его дальнейшему распространению¹.

Если теперь встречаются вертикальные, или наклонные, или даже изогнутые пласты, то, продолжает Стено, они приняли свое теперешнее положение лишь впоследствии, благодаря горообразовательным силам, нарушившим их первоначальное горизонтальное положение. На насильственный разрыв пласта, составлявшего первоначально одно целое, указывает и то обстоятельство, что на противоположных склонах гор встречаются часто изломанные пласты, совершенно тождественные между собой как по составляющим их породам, так и по внешнему виду.

¹ Annales des sciences naturelles, XXV, стр. 347.

Горообразовательные процессы Стено сводит к двум силам: действующей внутри Земли вулканической силе и работе воды, которая в виде дождя и потоков увлекает раздробленные благодаря смене теплоты и холода пласты и которая таким образом содействует формированию поверхности Земли.

Неправильно толкует Стено каменноугольные залежи, происхождение которых он объясняет лесными пожарами, потушенными водой.

Как указал Александр Гумбольдт¹, Стено первый стал различать те пласты горных пород, которые существовали уже до появления животных и растений и потому не содержат в себе окаменелых остатков организмов, от позднейших пластов, которые отложились над первичными и наполнены органическими остатками. «Подобно нашим современным геологам, — пишет Гумбольдт, — Стено допускал для Тосканы шесть великих эпох природы, в течение которых море периодически то затопляло сушу, то возвращалось в свои прежние границы»².

В древнейшие времена море покрывало всю Землю и образовало те породы, которые составляют теперь ядро и высочайшие гребни горных цепей. Так как эти породы не содержат в себе никаких окаменелостей, то это доказывает, что в первобытном море еще не было никаких обитателей. Затем образовалась суша, а в третьем периоде началось образование гор.

То обстоятельство, что напластования лишь в редких случаях сохранили свое первоначальное горизонтальное положение, обыкновенно же встречаются в наклонном, а то и в вертикальном положении, Стено приписывает двум причинам. Либо пласты были раздроблены ударами, шедшими из глубины, либо же произошел обвал вследствие того, что нижние пласты были размыты и унесены водой, оставив таким образом верхние без достаточной опоры.

В четвертую эпоху имело место новое наступление моря, в результате которого образовались породы, содержащие окаменелости. После этого суша снова поднялась из моря, а в последний (шестой) период горы под влиянием эрозийной деятельности воды и вулканических извержений получили свой теперешний вид, в то время как в устьях рек и в море образовались новые осадочные пласты. Под влиянием многочисленных разрывов пластов, вызванных вулканическими извержениями или обвалами, образовались расселины, в которых осадились минералы. Это изложение истории Земли Стено иллюстрировал схематическими рисунками, изображающими почвенные условия Тосканы. На этих рисунках мы имеем перед собой первые геологические профили.

Стено пытался согласовать по возможности свои взгляды на развитие Земли с библейской историей творения. Если бы он мог заниматься своими исследованиями, не считаясь ни с какими побочными соображениями, то его работы представляли бы еще более ясную картину геологических процессов.

¹ Humboldt, Essai géognostique, Paris 1823, стр. 38.

² Humboldt, цитир. сочинение.

Тем не менее огромная заслуга Стено в том, что он далеко опередил свое время и сделал открытия, которые нашли свое место среди общепризнанных истин науки лишь века спустя после его смерти.

РАЗВИТИЕ ВЗГЛЯДОВ НА ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

К первым произведениям, занимавшимся вопросом о внутреннем строении и происхождении Земли, относится «Подземный мир» Кирхера¹, — книга, значение которой состоит в том, что она, несмотря на все свои недостатки, представляет первое физическое землеописание.

В основе книги Кирхера лежит не столько интерес к самостоятельному исследованию, сколько энциклопедическая эрудиция автора, связанная часто с некритическим отношением к излагаемым фактам. Однако вулканические явления описываются на основании собственных наблюдений Кирхера, сделанных им в средней Италии, Сицилии и на Липарских островах. Главы, посвященные вулканическим явлениям, приобретают особенное значение благодаря тому, что Кирхер перечисляет в них все исторически известные извержения южноевропейских вулканов, а также исторически засвидетельствованные изменения морского берега. Зато совершенно фантастическую картину представляет кирхерово описание внутренности Земли. Согласно взглядам Кирхера внутренность Земли пронизана двумя системами разветвленных каналов. В одной системе движется расплавленная масса, выступающая наружу при извержении вулканов, другая же система получает воду из моря и питает таким образом источники. Очень подробно описываются составные части почвы. Из наблюдаемых в пластах земной коры окаменелостей лишь часть рассматривается как остатки прежних органических существ; многие из них объясняются пластической силой неорганической материи. Следует упомянуть еще, что у Кирхера встречаются первые указания на факт непрерывного повышения температуры по мере углубления внутрь Земли. Этими указаниями он был обязан рудокопам.

Декарт и Лейбниц тоже занимались вопросом о природе земного шара и о происхождении его. Декарт, изложив предварительно принципы теории познания и механики, разбивает затем свои взгляды на вселенную и на физику Земли во второй части своего главного произведения². Земля и прочие планеты были, согласно ему, первоначально пылающими солнцами. Под влиянием охлаждения образовалась твердая кора, содержащая в себе легкие составные части земного шара, между тем как более тяжелые вещества собрались около центра³. Разрушение коры повлекло за собой образование океанов и материков, гор и долин.

¹ Athanasius Kircher, *Mundus subterraneus, in quo universae naturae majestas et divitiae demonstrantur*, 2 vol. fol., Amsderdam 1664. Ученый иезуит Кирхер родился в 1602 г. недалеко от Эйзенаха. Он был преподавателем математики в Риме, где основал *Museum Kircherianum*, и умер там же в 1680 г.

² *Principia philosophiae*, 1644.

³ Декарт различал три основных вещества, которые должны встречаться на Солнце, в мировом пространстве и на Земле. См. E. Bloch, *Die chemischen Theorien bei Descartes und den Kartesianern* (Isis 1914, стр. 590—635).

Землетрясение Декарт объяснял действием существующей еще внутри Земли жидкой массы. Таким образом он пришел к взглядам, сходным с воззрениями, которые развивает современная геология на основании гораздо более подробного изучения геологических процессов. Эта заслуга Декарта в деле обоснования космологии и геологии была недавно особенно отмечена во Франции¹.

Воззрения, аналогичные только что изложенным, высказал через несколько десятилетий великий немецкий философ Лейбниц в своей «Protogaea» («Первоземле»). Сочинение это наряду с фантастическими утверждениями содержит и многочисленные удачные замечания. Лейбниц допускает, что планеты возникли из Солнца и представляли поэтому первоначально огненножидкие массы. Благодаря охлаждению на этой расплавленной массе образовались сперва плавающие шлаки; аналогичные образования возникают еще и в настоящее время на Солнце, представляясь нашему взору в виде солнечных пятен. Наконец, возникла сплошная охладившаяся кора; жар же сохранился внутри Земли. Под влиянием охлаждения сгустилась и вода, находившаяся первоначально в парообразном состоянии. Таким образом возник первобытный океан, представлявший собой раствор находившихся на охлажденной поверхности Земли солей. В следующий период основная стекловидная масса Земли подверглась многообразным процессам разрушения, отчасти под влиянием растворяющей силы и движения воды, отчасти под соединенным действием солей и жара, так что верхний слой этой основной массы превратился в ил. Вследствие сжатия охладившейся коры образовались трещины, возвышения и углубления. Стекавшие с гор воды уносили с собой ил, образуя новые горные породы. Таким образом горные породы имеют, по Лейбницу, двойное происхождение: отчасти они возникли из охладившейся расплавленной массы, отчасти же они снова образовались после раздробления этой массы в воде. Через имеющиеся в земной коре щели вода проникла также во внутренность Земли, находящуюся еще и теперь в огненножидком состоянии, и вызвала тем борьбу стихий, проявляющуюся еще и в настоящее время в вулканических извержениях и землетрясениях.

ЗАРОЖДЕНИЕ ПАЛЕОНТОЛОГИИ

Окаменелости Лейбниц признавал остатками прежних живых существ². Он подробно описал отпечатки рыб в мансфельдском медном сланце. Вообще «Protogaea» следует рассматривать как плод изучения Лейбницем постановки горного дела в Гарце, к чему его обязывало его служебное положение в Ганновере. Данное Лейбницем объяснение возникновения мансфельдских отпечатков рыб может еще и в настоящее время считаться в существенных чертах правильным.

«Большинство исследователей, — говорит он, — желая объяснить эти явления, называют их игрой природы, оперируя таким образом

¹ G. Daubrée, Descartes l'un des créateurs de la Cosmologie et de la Géologie, Paris 1880.

² См. т. 1.

ничего не значащими пустыми словами. Они допускают, будто великая строительница, природа, шутит, подражая зубам и костям животных. Но сходство этих отпечатков рыб с действительными рыбами настолько велико, что плавники и чешуя оказываются скопированными до мельчайших подробностей. В одном месте имеется такое множество этих отпечатков, что здесь приходится искать какое-нибудь другое объяснение, а не игру случая. Почему бы, например, не допустить, что большое озеро со всеми своими рыбами было засыпано землею под влиянием землетрясения или действия воды, уносившейся с гор? Когда же эта земля окаменела, то она сохранила произведенные в мягкой массе отпечатки, заполнившиеся впоследствии, когда органические остатки давно уже истлели, рудой¹. Возможно, что эта металлическая материя, распределенная по всей толще ила, испарилась под влиянием теплоты и проникла в углубления, оставленные рыбами. Нечто подобное этому мы встречаем у ювелиров. Они покрывают паука или какое-нибудь другое животное веществом, твердеющим от жара. Затем при помощи ртути они извлекают из этого остова золу от животного. Наконец, на место ртути они вливают через то же самое отверстие серебро. Таким образом получают животное из серебра, поразительно похожее на живое существо.

Убежденный в новизне и важности затронутого вопроса, Лейбниц замечает, что его рассуждения представляют только опыт, но что в них содержится зародыш новой науки. Последующие поколения, изучив различные виды земных пород и их историю, сумеют разобраться во всем этом лучше. Пренебрежение, в котором находилась до тех пор эта столь важная задача, вырывает у него невольное восклицание: «Я часто досажду на косность человечества, не желающего открыть глаз и завладеть лежащей перед ним наукой». Но дело в том, что в XVII в. человечество только начинало усердно читать книгу природы.

К интересным результатам пришел также и Гук². Он учил, что окаменелости, в которых раньше видели игру природы или пробные попытки какой-то находящейся в земле творческой силы, возникли из остатков животных и растений. Гук утверждал, что окаменелости представляют собой более ценные документы, чем рукописи и монеты, так как их нельзя подделать, и он выдвинул требование написать историю Земли на основании этих окаменелостей. Гук высказал также ряд удачных соображений насчет процесса превращения в окаменелости.

¹ Современные геологи также допускают, что мансфельдские сланцы возникли из тонкого ила, населенного многочисленными рыбами морского залива. В залив этот проникли сернокислые соли меди, железа и серебра. Это повлекло за собой гибель рыб, погрузившихся затем в ил. Получившийся из этого ила сланец, благодаря богатому содержанию в нем разлагавшегося животного вещества, приобрел смолистый характер. В то же время органическое вещество действовало восстанавливающим образом на сернокислые металлические соли. Под влиянием этого последние превратились в сернистые металлы (руды), пронизывающие медный сланец и покрывавшие в особенности те места, где некогда находились истлевшие трупы рыб.

² Hooke, Lectures on Earthquakes, 1688.

Гук пытался далее показать, что ископаемые Англии принадлежат большей частью к вымершим видам и похожи больше всего на живущие и в наше время экзотические формы. Из этого он сделал тот вывод, что в прежние периоды геологического развития Англия была покрыта тропическим морем. Далее некоторыми учеными было высказано предположение, что кости огромных четвероногих, в которых раньше видели доказательство прежнего существования великанов, являются остатками экземпляров вида *Elephas*¹.

ДАЛЬНЕЙШИЕ УСПЕХИ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ

Не ограничиваясь одними наблюдениями, исследователи стали производить также геологические опыты. Так, пытались доказать, что подземная теплота является результатом химических процессов; этот взгляд нашел сторонников и в наше время. Один французский ученый² воспроизвел, например, в миниатюре вулкан, закопав в землю влажную смесь из серы и железа. Под влиянием проникшего из воздуха кислорода эта масса до того нагрелась, что произошло нечто вроде извержения, причем был разрушен прикрывавший слой, под которым находилась эта смесь.

Для метода работы основателей современной минералогии в XVII в. характерно то, что более точные наблюдения они производили на отдельных, особенно бросающихся в глаза минералах, не распространяя полученных результатов на остальные минералы. Сравнительное изучение минералов явилось уделом позднейшей эпохи. Стено производил свои наблюдения главным образом на горном хрустале. Другим минералом, привлечшим к себе в XVII в. внимание естествоиспытателей, был исландский шпат. Минерал этот через посредство датских купцов попал в руки Бартолина, изучившего его тщательнейшим образом.

Эразм Бартолин, открывший явление двойного преломления, родился в 1625 г. в Дании. Он изучил медицину, объехал Западную Европу и Италию и в 1656 г. стал профессором математики в Копенгагене. Он умер в 1698 г.

Бартолин написал несколько математических и астрономических произведений; но он особенно прославился своим сочинением об исландском шпате и оптических его свойствах³. Сочинение это представляет собой столь тщательное и точное исследование исландского шпата, что ничего лучшего и не могло быть сделано с находившимися в распоряжении Бартолина инструментами и работами его предшественников. Бартолин не ограничился простым описанием формы кристаллов шпата; он измерил также углы между соседними гранями и нашел величину их равной 101° и 79° . Он показал, что из двух изображений, порождаемых исландским шпатом, одно движется при вращении кристалла, а другое остается неподвижным; при известном

¹ Гипотезу эту высказал Лангмантель (Langmantel) в 1688 г.

² Лемери (N. Lemery).

³ *Experimenta Crystalli Islandici Disdiaclastici, quibus mira et insolita refractio detegitur, Havniae 1669.*

направлении светового луча получается только одно изображение. Бартолин показал далее, что появление двух изображений имеет своей причиной не отражение, а какой-то совершенно необычайный процесс, именно неподвижное изображение возникает благодаря обыкновенному преломлению, а подвижное — благодаря необыкновенному преломлению. Бартолин не мог установить закона этого необыкновенного преломления; от его внимания ускользнуло также явление поляризации света, прошедшего через исландский шпат. Открытие этого явления принадлежит Гюйгенсу¹.

Дальнейшие исследования Бартолина относились к физическим и химическим свойствам исландского шпата. Оказалось, что если потереть кристалл сукном, то он притягивает, подобно янтарию, соломинки и другие легкие тела, что под водою он постепенно теряет свою гладкость, что под влиянием азотной кислоты он закипает, а под действием сильного жара превращается в известь. Словом, исландский шпат был изучен подробнее и точнее, чем какой бы то ни было минерал до него. Мы уже раньше упоминали о том, что работа Бартолина побудила великого физика Гюйгенса заняться дальнейшим исследованием исландского шпата и развить свои крайне важные взгляды на природу света. Гюйгенс убедил также своего земляка Левенгука составить монографию о другом минерале, гипсе². В этой работе Левенгук обратил внимание на ряд важных минералогических фактов. Он указал на то, что спайность следует известным законам и что, например, углы получившихся путем раскалывания гипса ромбоидальных пластинок равны 112° и 68° (точнее $113^\circ 46'$ и $66^\circ 14'$). Далее, он показал, что выделяющаяся при нагревании гипса вода составляет одну пятую веса минерала. Поливая далее перегоревший минерал водой, он растворил гипс и показал, что при испарении воды из этого раствора выделяются кристаллы. Основываясь на этих опытах, он высказал ряд, правда, мало удачных, соображений насчет образования минералов внутри земли.

К тому времени был собран значительный запас наблюдений и опытов насчет драгоценных камней. Описанию их была посвящена монография, автором которой является известный главным образом как физик Роберт Бойль³. Он тоже пришел к тому результату, что минералы образовались из жидкого состояния и притом таким же образом, каким соли выделяются в виде кристаллов из растворов. В пользу этого взгляда Бойль приводит ряд интересных соображений⁴. Так, встречаются горный хрусталь и другие минералы с жидкими включениями. Далее, цвет большинства драгоценных камней вызывается примесями, которые обыкновенно распределены равномерно по всей массе камня, но иногда местами или же совершенно отсутствуют. В пользу гипотезы одинакового происхождения минералов и солей говорит и то обстоятельство, что минералы, подобно получающимся из раствора солям, слонсты.

¹ См. стр. 242.

² *Arcana naturae defecta* ab Antonio van Loeuwenhoek, 1695, стр. 124.

³ Подробнее о Бойле см. стр. 185 настоящего тома.

⁴ *Specimen de Gemmarum origine et virtutibus*, auctore Roberto Boyle, 1673.

Бойль указал далее на то, что существует также кристаллизация из расплавленной массы; он исследовал весьма тщательно этот процесс — в частности на висмуте — доказал также влияние ускоренной благодаря быстрому охлаждению кристаллизации на свойства кристаллов, показал путем анализа и установления действия магнита наличие в гранате железа и определил удельный вес многих минералов. Словом, он обогатил минералогию массой новых отдельных фактов, так что наряду со Стеном и Бартолином его можно назвать одним из основателей ее.

ХИМИЯ В ЭПОХУ ТЕОРИИ ФЛОГИСТОНА

В то самое время, когда Бойль старался поставить химию на научную основу, немецкие химики Кункель (Kunkel) и Бехер (Becher) еще придерживались алхимических представлений. Однако Кункель (1630—1702), несмотря на ошибочность своих основных воззрений, обогатил химию многими наблюдениями.

Одним из важнейших химических открытий XVII в. является открытие фосфора¹ Брандом (1669). Бранд сперва держал в тайне свой метод получения фосфора. Но Кункелю удалось на основании некоторых намеков тоже получить фосфор, так что через несколько лет после открытия нового элемента он мог показать его великому курфюрсту. Последний назначил Кункеля руководителем своей алхимической лаборатории, которую курфюрст содержал, подобно некоторым другим государям XVII в.

Бехер (1635—1682) состоял, как и Кункель, одно время в звании алхимика при дворах немецких князей. Он и живший несколько позднее Шталь² являются основателями флогистонной теории, господствовавшей, несмотря на ошибочность своих предпосылок, в которой убедились некоторые тогдашние исследователи, почти в течение всего XVIII в.

Система химии, соответствующая фактам, была установлена значительно позже, чем система механики; это объясняется тем, что химия — наука преимущественно индивидуальная, и она лишь в наши дни стала доступной дедуктивным методам. Прогрессу различных отраслей физики, в особенности оптики и механики, содействовала больше всего тесная связь и постоянная взаимная поддержка индуктивного и дедуктивного методов. Создать основы химической теории было несравненно труднее, так как химические процессы недоступны непосредственному чувственному восприятию, и основы эти удалось установить лишь ценою долгих и упорных трудов, путем комбинирования и логической обработки результатов экспериментального исследования. Однако со времен Бойля, Бехера и Шталя химия видела свою задачу в исследовании при помощи эксперимента изменений вещества. Особенно сильно ощущалась потребность свести к одному основному принципу те многообразные изменения вещества, которые

¹ См. стр. 179 настоящего тома.

² Георг-Эрнст Шталь родился в 1660 г. в Ансбахе и был профессором медицины и химии в Галле. От 1716 г. до своей смерти (1734 г.) он жил в Берлине.

происходят при горении. Таким основным началом, по представлениям Бехера и Штала, являлась некая тонкая материя, существование которой предполагалось во всех горючих телах и которую Шталь назвал флогистон. Процесс горения, по мнению Штала, заключается в удалении этого флогистона из данного тела. Следовательно, горючее тело представляет собой соединение флогистона с продуктом сгорания, содержащимся в горючем теле еще до горения. Чем меньше продуктов сгорания остается от горючего тела, тем последнее богаче флогистон. Уголь, от сгорания которого остается лишь очень незначительное количество золы, считался поэтому почти чистым флогистон. При сжигании цинка последний распадался на две свои составные части — цинковые белила и флогистон. Когда же из окиси цинка получали путем нагревания с помощью угля обратно цинк, то, согласно флогистонной теории, это означало, что к цинковым белилам прибавляется заключенный в угле флогистон. Подобным образом удалось не только объяснить в весьма доступной форме явления окисления и восстановления, но и свести процессы дыхания и гниения к одному основному принципу. На установленный во многих случаях и несовместимый с теорией флогистона факт, что вес продукта сгорания превосходит вес первоначального вещества, не обращали просто никакого внимания. Флогистики XVIII в., среди которых были также первоклассные экспериментаторы, как Шееле, Пристли и Маргграф, оказали химии в высшей степени важные услуги, несмотря на то, что они исходили из ложного принципа. Собирая трудолюбиво камень за камнем, но не будучи в состоянии построить из них стройное здание, они сами подготовили падение флогистонной теории и сделали возможным появление труда француза Лавуазье, проницательности которого мы обязаны логическим объединением в одно целое бесчисленного множества отдельных химических наблюдений.

Здесь мы намерены упомянуть в особенности о Маргграфе, жившем около середины XVIII в. в Берлине и бывшего там одним из украшений Академии наук. В это время среди членов Берлинской академии было множество выдающихся химиков, так что президент ее Мопертюи имел основание сказать Фридриху Великому: «Наши химики превосходят всех химиков Европы»¹.

Андрей-Сигизмунд Маргграф родился в 1709 г. в Берлине. Его отец, аптекарь, направил его по фармацевтическому пути. Из вспомогательных наук этой области химия увлекла Маргграфа до такой степени, что он отдался ей целиком. По окончании занятий в Галлеском университете и Фрейбергской горной школе он вернулся в Берлин, где посвятил себя исключительно химическим и минералогическим исследованием. Он стал членом Академии наук и впоследствии директором естественнонаучного отделения этого учреждения, в «Трудах» которого за 1747—1779 гг. были опубликованы работы

¹ Кроме Маргграфа и его ученика Ахарда (Achard) из берлинских химиков следует назвать еще Неймана (Neumann) и Потта (Pott). Каспар Нейман (1683—1737) был профессором медицинской школы в Берлине. Его преемником был Иоганн-Генрих Потт (1692—1777). Заслуги первого относятся к области аналитической химии второго — к области минеральной химии.

Маргграфа. В этих работах были выяснены многие вопросы неорганической и органической химии, а также минералогии. Свои результаты Маргграф получил, пользуясь главным образом методом влажного анализа, который он усовершенствовал при помощи ряда вспомогательных средств. Утверждают также, что он первый стал применять микроскоп при химических исследованиях.

К результатам его аналитических исследований мы вернемся еще, когда будем говорить об успехах минералогии. Здесь упомянем только, что он указал, что магнезия¹ и глинозем² являются совершенно отличными от извести веществами. Маргграф показал далее, что гипс является соединением извести, серной кислоты и воды; он определил состав квасцов и мочекислотной соли, в которой он установил присутствие фосфорной кислоты и летучей щелочи. Маргграфу и его ученикам принадлежат многочисленные исследования о фосфоре, о получении его и о его соединениях. Особенно тщательно была изучена фосфорная кислота³. Маргграф получал ее, либо нагревая фосфор с азотной кислотой, либо сжигая фосфор. От его внимания не ускользнуло при этом, что получившаяся фосфорная кислота весила больше, чем вступивший в соединение фосфор. Этот факт должен был бы нанести удар теоретическим воззрениям Маргграфа, так как он радикально противоречил учению о флогистоне, согласно которому сгорание заключается в удалении некоторой тонкой материи. Но на примере Маргграфа подтвердилось старое наблюдение, что именно специалисты меньше всего склонны пожертвовать излюбленными теориями, на которых зиждется вся система их знания, в пользу новых революционных воззрений.

Начатки антифлогистонного учения возникли еще при жизни Маргграфа, который тем не менее остался флогистиком. Это упорство в заблуждении несколько, однако, не умаляет научных заслуг Маргграфа, так как наука развивается до известной степени независимо от перемен в теоретических воззрениях, строясь на прочно установленных фактах. Маргграф ввел в химию не только микроскоп, но и весы, — заслуга, приписываемая обыкновенно Лавуазье. Он осаждал, например, раствор серебра при помощи поваренной соли и сравнивал вес растворенного серебра с весом осадка из хлористого серебра. В этих опытах, а также в аналогичных опытах, производившихся в то же самое время в Швеции Бергманом (Bergmann)⁴, мы встречаем перед собой зачатки количественного анализа, т. е. метода, заключающегося в том, чтобы не только взвешивать вещества в изолированном виде, но и выделять их в форме нерастворимых соединений известного состава и определять вес последних.

¹ 1760. Cp. v. Lippmann, Abhandl. u. Vorträge, т. 1: Marggraf.

² 1754. Cp. v. Lippmann, Abhandl. u. Vorträge. т. 1: Marggraf.

³ Некоторые из работ Маргграфа о фосфоре перепечатаны в 187-м томике остальдовской серии классиков точного знания (W. Engelmann, Leipzig 1912). Особенное значение имеет первая из помещенных там работ, появившаяся в 1743 г. в *Miscellanea Berolinensia* (VII, 324—344), ибо благодаря ей вопрос о фосфоре был освобожден от всякой мистики, окружавшей его со времени открытия этого элемента (Ostwalds Klassiker, № 187, стр. 43)

⁴ См. о нем дальше.

Технологическая химия тоже очень многим обязана Маргграфу. Он получил новые сплавы металлов, усовершенствовал способы заводского получения цинка, так что с тех пор промышленность могла иметь его в достаточном количестве, а самое важное, он показал, как добывать сахар из туземных растений. Об этом открытии, значение которого Маргграф отлично сознавал, он сообщил в «Трудах» академии от 1747 г. в работе под названием¹: «Химические опыты, предпринятые с целью получить настоящий сахар из различных растущих в наших краях растений». Среди растений, из корней которых он добывал чистый сахар, он выделяет в особенности свекловицу. «Легко понять, — заканчивает он свое исследование, — какое практическое значение имеют эти опыты. В будущем можно будет добывать сахар из наших растений, вместо того чтобы прибегать к дорогому тростниковому сахару или плохому сиропу». Маргграфу было совершенно ясно, что дело здесь идет не просто о веществе, сходном с тростниковым сахаром, но о самом тростниковом сахаре и получении его из сока свекловицы.

Техника добывания сахара из свекловицы была разработана учеником Маргграфа, Архардом. Но метод этот получил практическое значение лишь тогда, когда введенная Наполеоном континентальная блокада прекратила доступ колониальному сахару на европейский материк. Благодаря этому химическая промышленность была вынуждена заняться вопросом о получении вещества, которое могло бы заменить тростниковый сахар. Однако расцвет изготовления свекловичного сахара начинается лишь с 1825 г.



¹ См. цит. соч., стр. 79—90.

РАСЦВЕТ АНАТОМИИ И ФИЗИОЛОГИИ

Уже в XVI в. зоология перестала ограничиваться простым описанием внешних форм животных и основанной на этом систематикой, а начала принимать во внимание также внутреннее строение организма и его развитие. В гораздо большей степени мы наблюдаем это в XVII в., когда благодаря микроскопу не только выяснились тонкие детали строения животного организма, но впервые стали исследовать также анатомию растений, изучение которой было невозможно без усовершенствования наших органов чувств. Сообразно тенденции той эпохи, старавшейся сводить все процессы неорганической природы к физическим принципам, возникло стремление объяснить с помощью механики и отправления живого организма. Словом, в эту эпоху мы находим зачатки той науки, которую мы называем биологией в широком смысле слова и которая характеризуется не столько своим предметом, сколько методом исследования.

УЧЕНИЕ О КРОВООБРАЩЕНИИ

Величайшим завоеванием в этой области является основанное англичанином Гарвеем (1578—1658) учение о кровообращении. Анатомия, расцветшая со времен Везалия, установила ряд фактов, не согласовавшихся с господствовавшими еще тогда взглядами Галена¹. Так были окончательно опровергнуты столь важные для учения Галена гипотезы, будто перегородка, делящая сердце на правую и левую половины, пориста и будто артерии наполнены воздухом. Были также тщательно изучены сердечные клапаны и открыты венозные клапаны, о которых не имел еще никакого представления Гален. Фабрицио (Fabricio), открывший в 1570 г. венозные клапаны, размышляя над целью их устройства, пришел к убеждению, что их задачей является устранение неправильностей кровообращения, вызываемых движением членов организма. Таким образом он не понял еще истинного назначения клапанов. Для этого необходимо было предварительно великое открытие Гарвея. Наконец, ученый врач Серве (Servet), сожженный в Женеве по распоряжению Кальвина, указал уже в 1540 г. на то, что кровь отводится от сердца к легким

¹ См. том 1, настоящего сочинения.

легочной артерией. Смешавшись здесь с воздухом, она изменяет свой цвет и через легочные вены возвращается в левое предсердие. Этим был установлен принцип легочного или малого круга кровообращения. Учение Серве, не проверенное им самим, было подтверждено опытами Везалия на животных¹. Но все эти открытия вызвали сомнения в правильности учения Галена только у немногих просвещенных исследователей. Правильные воззрения не могли пробить себе дорогу, пока еще придерживались учения греческого врача о таинственной пневме.

Лишь благодаря продолжавшимся более 20 лет работам Гарвея, был вполне выяснен этот прежде столь темный, полный противоречий вопрос. Это стало возможным лишь потому, что Гарвей, недаром бывший учеником итальянцев, пользовался в своих работах двумя принципами, которые были поставлены Галилеем и его последователями во главу угла всякого естественнонаучного исследования — именно, свободной от традиционных, освященных древностью мнений и руководящими указаниями опыта. То, что Гарвей внес эти принципы нового естествознания в физиологию, имело не меньшее значение, чем сами результаты его исследований.

Мы не должны, конечно, думать, что освобождение от господствовавших раньше воззрений и признание новых методов исследования произошли сразу и окончательно. Даже величайшие новаторы остаются во многих отношениях детьми своего времени, как мы это уже видели на примерах Галилея, Гильберта и Кеплера. Авторитет Галена был еще так велик в глазах самого Гарвея, что прошло почти 10 лет после его великого открытия, прежде чем он отважился объявить о нем в своем «Анатомическом этюде о движении сердца и крови»².

Вильям Гарвей родился в 1578 г. Он изучал в Кембридже медицину и в 1598 г. отправился в Падую, где слушал лекции вышеупомянутого крупного анатома Фабрицио из Аквапенденте. По возвращении в Англию он сперва занимался медицинской практикой, а потом был профессором анатомии в Лондоне. Свое учение о кровообращении он основал уже в 1619 г. Однако опубликовано оно было лишь десять лет спустя (1628), после того как Гарвей собрал при помощи вивисекций обширный материал в пользу своей теории. Вскоре после этого Карл I назначил его своим лейб-медиком. По своей должности он обязан был сопровождать короля во время пражданской войны в его походах³. Гарвей умер в 1665 г.

Новыми в учении Гарвея являются следующие пункты: сердце подобно мышце; при сокращении оно становится тверже и бледнее и выталкивает из себя кровь, держащую себя пассивно. Вытолкнутая при систоле (сокращении) сердца кровь попадает в артерии, находящиеся в диастоле (в состоянии расширения), когда сердце

¹ John Hemmeter, Michael Servetus. Discoveret of the Pulmonary Circulation. His Life and Work. Janus, стр. 331—364, с 9 таблицами.

² Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus, Francof. 1628.

³ West, Harvey and his times, London 1874.

сокращается. Из разветвлений артерий кровь попадает в вены и возвращается через них обратно в сердце, так что в определенное время вся масса крови протекает через последнее.

Около середины XVII в. было также опровергнуто старое ошибочное учение о том, будто кровь образуется в печени. К этому привело открытие заканчивающегося в венозной системе *Ductus thomasicus*¹, связь которого с лимфатическими сосудами кишечника была установлена почти в то же самое время. Лишь благодаря этому был «завершен цикл открытий, дополняющих учение Гарвея»².

Так как клапаны существуют и в имеющих горизонтальное расположение венах четвероногих, то, в противоположность мнению Фабрицио, назначение их не может заключаться в том, чтобы ослаблять падение крови; функция их в том, чтобы помешать оттоку венозной крови из сосудов, несущих ее к сердцу, в ответвления, в которых собирается кровь. В то время как артериальная система питается левой сердечной полостью, сжатие правой полости гонит венозную кровь по указанному уже Серве малому кругу сперва в легкие. Здесь венозная кровь изменяет свой цвет благодаря соприкосновению с атмосферным воздухом. Характер этого процесса Гарвей не мог еще выяснить, так как ему была неизвестна химическая роль воздуха. Малый круг кровообращения завершается тем, что кровь возвращается из легких к сердцу. Все эти факты были добыты путем точных анатомических исследований, опиравшихся на эксперименты над высшими и низшими животными. Работа Гарвея, несмотря на всю свою основательность и ясность, натолкнулась сперва — как и все то, что противоречит укоренившимся взглядам — на сильное сопротивление. Одним из первых признал новое учение Декарт. Он познакомился с содержанием книги Гарвея благодаря неугомимому Мерсенну и на основании открытия Гарвея дал сам в своем «Рассуждении о методе» подробное изложение учения о кровообращении³.

После того как учение Гарвея было, наконец, признано, оставалось решить еще ряд частных вопросов. Благодаря введению метода инъекций форма и расположение более крупных частей кровеносной системы была изучена тщательнее, чем это было возможно путем расчленения трупов. Правда, зачатки этого метода относятся к гораздо более раннему времени. Его открытие приписывается Сильвию, который жил в первую половину XVI в. и тоже указал уже на существование венозных клапанов. Мальпиги (1661), а затем Левенгук применили микроскоп к изучению тончайших разветвлений кровеносных сосудов. Они исправили в существенных чертах господствовавшее первоначально мнение, что более тонкие артериальные ветки изливают кровь в ткани, откуда ее высасывают вены своими крайними оконечностями, доказав существование тонкой сети капиллярных сосудов, соединяющих артерии с венами. Одновременно с этим оба исследователя открыли плавающие в крови красные тельца.

¹ Таково анатомическое название крупного сосуда, приносящего в кровь изготовленный в лимфатических сосудах желудка и кишечника млечный сок (хил).

² Haeser, Geschichte der Medizin, т. 2, стр. 277.

³ См. также K. Lasswitz, Geschichte der Atomistik, 2, стр. 84.

В дальнейшем возник вопрос о происхождении крови. Гален утверждал, что кровь изготавливается в печени, а оттуда попадает в верхнюю полую вену, связанную при помощи особого ответвления с печенью. Но материал для приготовления крови получается, в конечном счете, из млечного сока. Однако лишь около середины XVII в. удалось найти анатомические элементы, соединяющие кишечник с кровеносной системой. Было доказано¹, что открытые уже Гарвеем в стенке кишечника млечные сосуды ведут все в один общий проток, *Ductus thoracicus*, и изливают через него свое содержание в левую подключичную вену². Вслед за открытием и правильным объяснением млечных сосудов была открыта лимфатическая система³. Только теперь можно было дать удовлетворительный ответ на вопрос, какую роль играют при изготовлении крови отдельные органы и системы органов, хотя химико-физиологическая сторона вопроса этим не была совершенно затронута.

Аналогичные трудности возникли, когда стали искать объяснения постоянного и ритмически повторяющегося биения сердца. Согласно Галену сердечные полосы расширяются пассивным образом: под влиянием теплоты, источник которой Гален и Аристотель видели в сердце, кровь расширяется и как бы закипает. Наоборот, новое учение видело причину движения крови в сжатии сердечной мышцы. Но что вызывало это сжатие? Декарт полагал, что вливающаяся в сердце кровь действует на сердечную мышцу подобно раздражению. Но этот взгляд был опровергнут опытами. Действительно, оказалось, что сокращения сердца продолжались еще долго после того, как его удалили из груди какого-нибудь животного. При помощи легких раздражений эти сокращения можно было снова вызвать после того, как они совершенно прекратились. Чтобы иметь возможность дать ответ на вопрос о характере импульса, получаемого сердцем, последующие поколения должны были сперва тщательно изучить иннервацию сердца и связь ее со всей нервной системой.

БОЛЕЕ ГЛУБОКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ ОРГАНОВ

После того как Серве и Гарвей показали, что кровь через малый круг кровообращения попадает в легкие, стали с усиленным интересом изучать эти последние. И здесь основоположное значение имели исследования Мальпиги. Он показал (1661 г.), что легкие представляют двойную сеть трубок, причем тончайшие ветки воздушных трубок заканчиваются нежными пузырьками, окруженными кровеносными сосудами.

Вышеупомянутые исследования Мальпиги о строении легких и о капиллярных сосудах показали, что микроскоп имеет для физиологии почти такое же значение, какое имеет для астрономии телескоп. Хотя микроскоп был открыт раньше телескопа, но на первых порах ему уделяли гораздо меньше внимания. Даже Левенгук, давший

¹ Жаном Пеке (Jean Pecquet).

² См. также стр. 292, примечание 1.

³ Шведским врачом Олафом Рудбеком (Rudbeck) в 1651 г.

своими исследованиями во второй половине XVII в. такой толчок изучению микроорганизмов, пользовался при этом простыми двояковыпуклыми чечевицами из особенно тонкого стекла. С их помощью он получал линейное увеличение в 160 раз. Подобного рода чечевицы, которыми пользовался и Гюйгенс, были величиной с булавочную головку. Пользование ими требовало большого искусства и отличного зрения. Благодаря употреблению микроскопа настолько развились

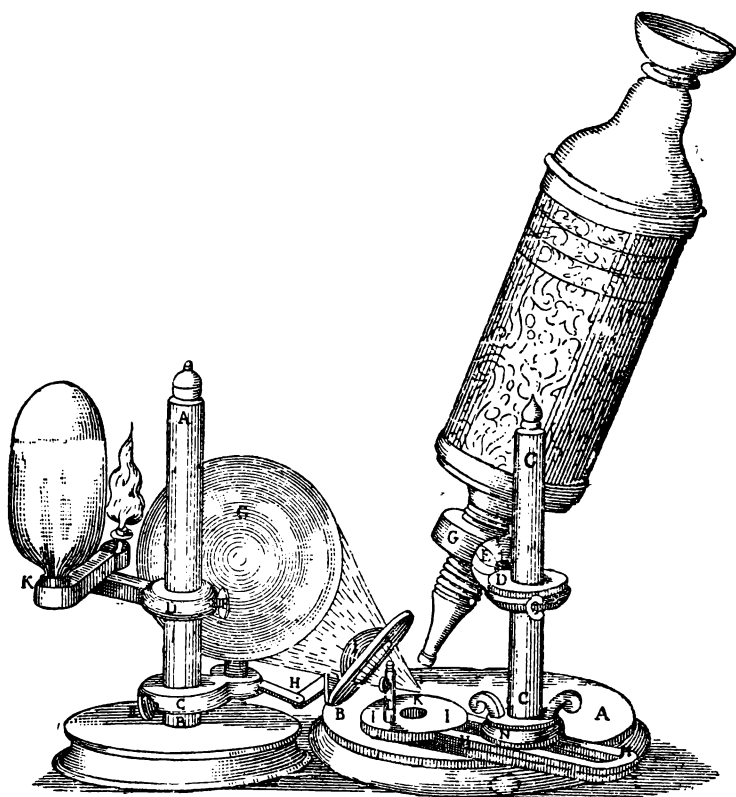


Рис. 103. Сложный микроскоп Гука.

тонкость зрения и тщательность наблюдения, что научились различать даже невооруженным глазом такие предметы, которые прежде совершенно ускользали от наблюдения. Лишь сравнительно поздно микроскоп был усовершенствован настолько, что он стал пригоден для научных исследований. Усиления увеличения и ослабления хроматической аберрации старались достигнуть тем, что начали изготавливать объектив и окуляр, состоявшие прежде каждый из одной чечевицы, из двух чечевиц. Далее придумали приборы для усиления освещения, пример чего мы видим на рисунке Гука (рис. 103)¹.

¹ Hooke, Micrographia, Schem., 1, фиг. 5—6.

Чтобы доказать современникам пригодность своего микроскопа, Гук опубликовал в 1667 г. свою «Микрографию или описание малых предметов». Хотя Гук не имел в виду решения биологических проблем, тем не менее он сделал открытие величайшей важности, обратив внимание на клеточное строение растений. Гук далее срисовал жало пчелы, причем ясно были видны крючочки его. В «Микрографии» изображены также крючочки, соединяющие между собой тончайшие веточки птичьих перьев. И вообще автор «Микрографии» с почти детской любознательностью занимался всем, что случайно привлекало к себе его интерес.

АНАТОМИЯ И МЕХАНИКА

Члены Accademia del Cimento тоже не занимались одними только физическими проблемами; наоборот, они стремились в духе Галилея применить методы великого учителя ко всем отраслям естествознания. В этом отношении следует отметить прежде всего Борелли.

Джованни-Альфонсо Борелли родился в 1608 г. в Неаполе. Он изучил математику и философию и работал в различных местах Италии в качестве учителя и разностороннего исследователя. Одним из учеников его был Мальпиги. Во Флоренции Борелли занимался физическими исследованиями в качестве одного из ревностнейших членов Accademia del Cimento¹. Когда флорентинская академия была закрыта, он поселился в Риме. Самая крупная работа его имеет своим предметом движение животных.

Этим сочинением² Борелли оказал физиологии величайшие услуги, применив к ней принципы механики. Он показал, например, что при совместном действии мышц и костей последние служат рычагами второго рода, причем действующая в мышцах сила приложена к меньшему плечу. При данном на рис. 104³ положении руки сила сжатия мускула, уравнивающая вес груза *R*, относится, согласно закону рычага, к этому грузу так, как отрезок *OK* к отрезку *OI*. Следовательно, исходящее от двуглавой мышцы *CF* напряжение должно значительно превосходить действующую в *B* силу груза.

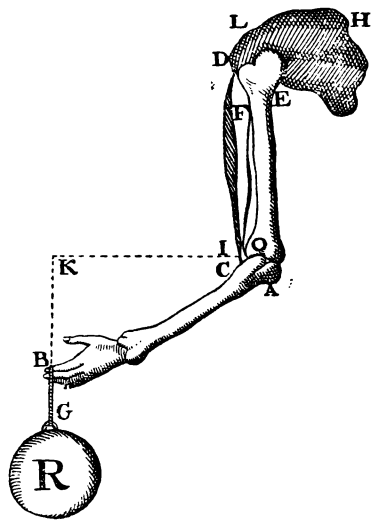


Рис. 104. Борелли объясняет действие двуглавой мышцы плеча.

¹ Борелли изобрел гелиостат, придав при помощи часового механизма зеркалу такое движение, что солнечные лучи постоянно отражались в одном и том же направлении.

² Borelius, De motu animalium. Рим 1680, Лейден 1685.

³ Borelius, De motu animalium, Лейден 1685, табл. III, фиг. 2.

Борелли вычислил, что в случае горизонтального положения руки, к пальцам которой привешен груз в 10 фунтов, мышцы руки, вместе взятые, производят натяжение, во много раз большее, чем вес груза.

Борелли далее так тщательно изучил с физической стороны механику хождения, беганья, прыганья, плавания и летания, что лишь новейшие работы братьев Веберов превзошли его. На рис. 105 указан метод, каким Борелли определял положение центра тяжести тела¹. Борелли особенно тщательно показал, какое огромное значение имеет при отдельных движениях положение этой точки и способ подпирания ее. Чтобы понять, какой огромный прогресс представляло все это для правильного понимания механики животного тела, надо принять во внимание, что до самого начала XVII в. мясо рассматривалось либо как не имеющая никакой физиологической функции масса, либо как орган ощущения и осязания. Лишь теперь начали обращать внимание на сокращение мышц при движениях. Борелли пытался объяснить это сокращение особого рода упругостью мышц. Но особенно настойчиво он подчеркивал то, что этот процесс зависит, в свою очередь, от деятельности нервов. Многие из того, что добыто в этом отношении новое время, было уже известно древним авторам, в особенности Галену (см. том 1).

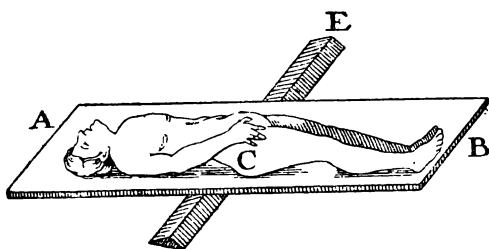


Рис. 105. Борелли определяет центр тяжести человека.

Борелли изучил также движения, имеющие место при процессе дыхания. Он установил роль межреберных мышц при расширении грудной клетки, вызывающем акт вдоха; он показал, далее, что выдох представляет собой пассивный акт, происходящий благодаря ослаблению этих мышц, и, главным образом, что сами легкие во время всего этого процесса ведут себя совершенно пассивным образом, следуя только движениям мышечного аппарата. На значение, которое имеет при дыхательных движениях наряду с межреберными мышцами грудобрюшная преграда, указал один из учеников Борелли².

Исследования Мальпиги, касающиеся железистых тканей, имели значение для анатомии и физиологии высших животных. В то время как, например, многие из его современников предполагали еще, что желчь образуется в желчном пузыре, Мальпиги утверждал с полной решительностью, что она образуется в печени. Его исследования кожи как важнейшего органа осязания привели к открытию находящегося под эпидермой слоя, носящего еще в настоящее время имя Мальпиги.

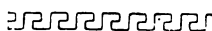
¹ De motu animalium, табл. X, фиг. 12.

² Лоренцо Беллини (Bellini). Основанная главным образом Борелли школа называется натрофической.

Мальпиги впервые правильно истолковал анатомическое строение и функции желез. Он понял, что эти органы состоят по существу из маленьких пузырьков (клеток), изливающих в выводные протоки жидкость особого рода и действия.

Не существует почти такой главы анатомии или физиологии, которой Мальпиги не обогатил бы капитальными теориями. Мы обязаны ему важнейшими открытиями не только в области учения о строении легких, но и учения о строении почек¹ и кожи. Мальпиги проследил мочевые канальцы и показал, как в почках они соединяются в пирамидадные пучки. Он изучил далее расположение сосудов внутри почек, открыл названные по его имени почечные клубочки и показал, что они связаны с мочевыми канальцами. К этим анатомическим открытиям надо прибавить опыты, при помощи которых Мальпиги доказал, что моча переходит из почек через мочеточники в мочевой пузырь.

Исследования кожи привели Мальпиги к открытию, что чувствования локализовано в особых сосочках, лежащих под эпидермой.



¹ Malpighi, Opera omnia, Лондон 1697, т. 2, стр. 87.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НИЗШИХ ЖИВОТНЫХ

Крупнейшим завоеванием зоологии в XVII в. было открытие при помощи простого и сложного микроскопов мира мельчайших животных.

Ученые начинают теперь знакомиться с такими живыми существами, на которых раньше не обращали внимания вследствие их малых размеров. С изумлением узнали, что внутренность их, кажущаяся невооруженному глазу какой-то однородной массой, в действительности имеет сложное строение, нисколько не уступающее строению высших животных. Только теперь поняли всю истину выражения Плиния «*Natura in minimis maxima*» (природа велика и в самом малом). Руководясь принципом целесообразности, ученые стараются найти объяснение наблюдаемого ими.

СТРОЕНИЕ И РАЗВИТИЕ НАСЕКОМЫХ

В своих трудолюбивых исследованиях строения и развития насекомых Сваммердам (Swammerdam) руководился идеей, что творец все устроил сообразно определенному плану, который можно познать из его творений.

Ян Сваммердам родился в Амстердаме 12 февраля 1637 г. Его отец был аптекарем и большим любителем природы. За 50 лет он собрал богатую коллекцию. Подраставший сын, которому поручен был надзор за этой коллекцией, проникся непреодолимым влечением к исследованию природы. Бургав (Boerhaave) рассказывает, что мальчик искал маленьких животных повсюду: в воздухе и воде, в полях, лугах, на дюнах и на растениях; он старался добыть их яйца, изучить их образ жизни, обиталища и болезни. Когда впоследствии (с 1661 г.) Сваммердам стал изучать медицину в Лейдене, он особенно сошелся со своим учителем анатомии¹. По окончании курса он, однако, не занялся врачебной практикой, а стал применять приобретенные им

¹ Яном ван-Горном (Jan van Hoorne). Он первый понял значение яичников для развития зародыша. См. Hirsch, Geschichte der medizinischen Wissenschaften, стр. 120.

анатомические познания к изучению внутреннего строения маленьких существ, внешние формы и привычки которых так привлекали его уже в детстве.

В Лейдене Сваммердам познакомился также с выдающимся датским ученым Николаем Стено, жившим впоследствии в Тоскане и заложившим там основы геологии¹. Великий герцог тосканский, находившийся в 1669 г. в Голландии, познакомился тогда также с Сваммердамом и осмотрел его коллекцию. «Ничто так не поразило великого герцога, — рассказывает Бургав в своей биографии Сваммердама, — как когда последний показал ему мотылька, лежащим еще свернутым в куколке. Сваммердам, пользуясь исключительно тонкими орудиями, с невероятной ловкостью вынул мотылька из куколки, чтобы показать государю сложные части насекомого». Великий герцог предложил Сваммердаму за его коллекцию 12 000 гульденов, но с тем условием, чтобы Сваммердам поселился при тосканском дворе и заведывал там и обогащал свою коллекцию. К несчастью, Сваммердам отклонил это приглашение, как и ряд других предложений. Проболев, он умер в бедности в 1680 г.

Его прилежание Бургав² называет сверхчеловеческим. Как только всходило солнце, Сваммердам начинал рассматривать под открытым небом свои тонкие препараты. В вечернее и ночное время он их описывал и срисовывал. При своих исследованиях он пользовался стеклами самой разнообразной силы. Каждый предмет Сваммердам рассматривал сперва при более слабом увеличении, а затем изучал при помощи все более сложных стекол. Ножницы, ножи и ланцеты, которыми работал Сваммердам, были настолько малы, что он должен был оттачивать их под увеличительным стеклом. Чтобы проследить ход нежных сосудов, он надувал их при помощи тонких стеклянных трубочек или наполнял окрашенными жидкостями. Таким образом он мог демонстрировать внутренности пчелы с такой ясностью, какая до тех пор была возможна лишь на крупных животных. Зоотомические работы Сваммердама простирались также на мягкотелых (например виноградная улитка и каракатица) и земноводных. Строение и развитие лягушки были описаны им с такими деталями и с такой точностью, что его наблюдения над мочеполовыми органами могли найти себе подтверждение лишь в работах новейшего времени³.

Среди многочисленных приемов, введенных Сваммердамом в анатомию, упомянем еще следующие. Он пользовался кислотами, придававшими при продолжительном действии нежным частям организма большую плотность и твердость. Чтобы удалить облегающий некоторые органы жир, мешавший разглядеть форму и связь частей, он пользовался в качестве растворяющего средства скипидаром. Он иногда тратил целые дни на то, чтобы удалить жир у какой-нибудь гусеницы. Для инъекций он пользовался не только окрашенными жидкостями, но и растопленным воском. Сваммердам ввел также в анатомическую технику метод рассечения мелких животных под

¹ См. стр. 277.

² Бургав (1668—1738) был профессором химии и ботаники в Лейдене.

³ См. Carus, *Geschichte der Zoologie*, München 1872, стр. 403.

водой: благодаря этому обособлявшиеся друг от друга части начинали плавать, и их легко было отделить и изучать в отдельности.

Если обратиться к исследованиям Сваммердама над низшими животными, то прежде всего следует упомянуть его работу о строении и развитии пчел. По выражению Бургава, издавшего сочинения Сваммердама под названием «Библия природы», книга о пчеле не имела себе тогда равной во всей научной литературе. По словам Бургава, сочинение это было написано в начале 70-х годов XVII в. Сваммердам, глаза которого совершенно притупились «от беспрестанного напряжения», «надорвался» над этой работой.

Чтобы дать представление о методе работы Сваммердама и результатах его исследований, мы приведем некоторые данные из этой книги о пчелах, имевшей такое значение для развития зоотомии.

Сперва Сваммердам тщательно описывает три формы пчелы — трутней, самок и рабочих пчел — и рисует их образ жизни. Затем следует описание внутренних органов. Верхний и нижний глоточные ганглии он отличает друг от друга, как большой мозг и мозжечок. От последнего, по описанию Сваммердама, идет спинной мозг. Спинной мозг тянется по всему телу насекомого, образуя на известных расстояниях узловатые утолщения, от которых отходят более тонкие нервы.

В груди пчелы Сваммердам открыл мышцы крыльев и ножек, а также дыхательные трубки. В брюшке он нашел пищевод, тянувшийся через грудь, желудок, тонкие и толстые кишки, а также относящиеся к кишечнику железы и органы дыхания с их пузырьками и дыхательными трубками. Он наблюдал далее сердце, а также массу жира и мышцы, лежащие под хитиновой оболочкой члеников и приводящие их в движение.

Очень точно описывается развитие пчелы после того, как она покинула яйцо. При этом Сваммердам не ограничивается описанием изменений внешней формы пчелы; он изучает рост внутренних органов и таким образом первый приходит к правильным взглядам на казавшееся столь загадочным до того явление превращения насекомых.

Перед тем как анатомировать изучаемых животных, Сваммердам клал их в цветные жидкости. Таким путем он мог наблюдать такие части животных, которые без этого были бы совершенно недоступны наблюдению или представлялись бы в неясном виде. Когда он вскрывал личинку пчелы на спинной стороне, то, по его описанию, начинала течь жидкость из затронутых артерий и сердца. Под кожей он нашел мышцы, приводившие в движение членики тела; затем оказался жир, а в жире, посередине на спинке, сердце, как продолговатая трубка, тянущаяся по всей спине до головы и отсылающая по всем направлениям сосуды. Далее он увидел под сердцем желудок, окруженный бесчисленными дыхательными трубками (рис. 106). Он нашел его мясистым и наполненным желтым веществом. Сзади желудка (*d*) видны были четыре маленьких сосуда (*e*). Это были мальпигиевы сосуды, показывающиеся впоследствии в гораздо большем количестве и являющиеся органами выделения мочи, между тем как прежде им приписывалась функция печени, т. е. изготовление

своего рода желчи. Сваммердам сам говорит, что он не был в состоянии разгадать их значение; но после долгих и утомительных исследований он установил, что концы этих сосудов замкнуты.

На каждой стороне личинки пчелы Сваммердам нашел десять отверстий для дыхания. Он установил также, что все ведущие в тело дыхательные трубки соединены между собой при посредстве трубки, идущей от одного отверстия к другому, от него к третьему и так далее по всему телу. «Строение этих дыхательных трубок, — восклицает Сваммердам, — поразительно, изумительно; они все состоят из расположенных тесно друг около друга колец, соединенных между собой очень тонкими оболочками. Дыхательные трубки всегда открыты точно так, как у людей и высших животных. Относительно этих дыхательных трубок следует еще заметить, что они пронизывают все части тела, даже мозг и глаз, как я это еще покажу при более подробном рассмотрении этого изумительного шедевра великого строителя».

Сваммердам наблюдал также, что линьке подвержены и эти тонкие дыхательные трубки. При этом процессе выталкивались наружу целые жилки и трубки таким образом, что отделившиеся внутри дыхательные трубки показывались наружу, сохраняя свойственное им положение и форму внутри тела. Аналогичным образом происходит линька желудка, рта и задней кишки, но это с трудом поддавалось наблюдению. Замечательно было и то, что после того, как личинка превратилась в куколку, все члены, крылья, усики и жевательный аппарат оказались снабженными дыхательными трубками, которые при распрямлении этих частей наполнялись воздухом и с своей стороны содействовали растягиванию членов.

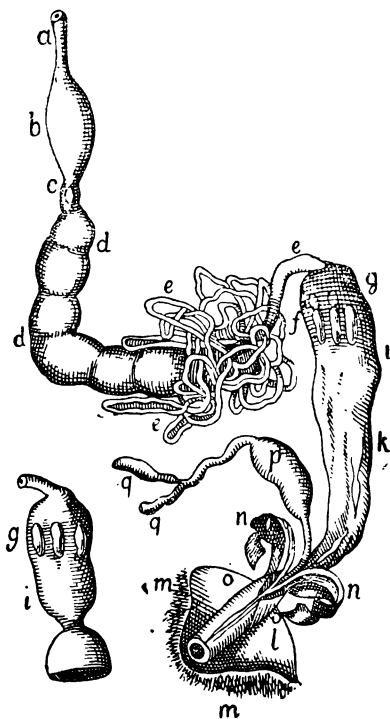


Рис. 106. Рисунок Сваммердама, изображающий кишечный канал пчелы.

b — сосательный желудок; *d* — желудок; *e* — мальпигиевы сосуды; *p* — пузырь с ядом; *g* — железы, производящие яд; *i* — задняя кишка; *m* — части последнего брюшного членика.

САМОПРОИЗВОЛЬНОЕ ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ

С точностью и тщательностью наблюдения, обнаруживающимися в изложенных нами результатах исследований Сваммердама, гармонирует и ясный, свободный от предрассудков подход этого исследователя к явлениям природы. Благодаря Сваммердаму, а также его

современнику, итальянцу Реди (Redi), была если не окончательно устранена, то все же опровергнута для многих случаев ошибочная идея о произвольном зарождении низших животных, распространенная тогда как среди ученых, так и среди профанов. В XVIII в., как и в предыдущие столетия, невежество всегда охотно прикрывалось этим ложным учением. Гарвей, давший столь многое в своем сочинении о размножении животных¹ и поставивший во главе его положение «Ех ovo omnia» (все живое выходит из яйца), не имел ясных представлений о развитии насекомых и других низших животных. «Некоторые существа, — говорит он, — образуются из готового вещества целиком и затем принимают последовательно различные формы. Все части зарождаются и обособляются сразу путем превращения. Так совершается размножение насекомых»². Таким образом в этом вопросе Гарвей еще всецело находился под влиянием традиции и ходячих представлений, в которых уже со словом «превращение» связаны были ошибочные взгляды. Какие странные представления соединяли с этим словом, видно хотя бы из следующих рассуждений Гарвея: «Путем превращения животные приобретают форму как бы через наложение печати. У тех же животных, которые возникают путем роста, образовательная сила производит одну за другою иные и иначе расположенные части»³. Только если принять во внимание, что таких взглядов придерживался величайший анатом XVII в., человек, который на основании цитированного выражения и теперь еще рассматривается как противник учения о самозарождении⁴, можно вполне понять все значение Сваммердама. Когда последний употребляет слово «превращение», то под этим он подразумевает не что иное, как медленное вырастание членов, протекающее совершенно естественным путем под покровом оболочек и потому недоступное прямому наблюдению до тех пор, пока форма не разорвет внезапно старой оболочки.

Сваммердам считает установленным, что в природе нигде нет самозарождения, а имеет место лишь размножение, и что всякое беспозвоночное животное происходит от яйца, положенного животным того же вида. Правда, он не имел возможности доказать при помощи наблюдения правильность этого взгляда по отношению ко всем случаям. Но собранный им материал достаточно обширен, чтобы оправдать это обобщение. К этому присоединилось у него еще доказательство по аналогии, заключавшееся в обнаружении столь тонкого внутреннего строения низших животных, какое не подозревалось приверженцами учения о самозарождении. «Все линии Апеллеса, — говорит Сваммердам в своем описании жука-носорога⁵, — представляются лишь грубыми балками по сравнению с нежными штрихами природы.

¹ Harvey, Exercitationes de generatione animalium, London 1651.

² De gener. animal. XLV, Лейден, изд. 1737 г., стр. 161.

³ См. цит. соч., стр. 162 и 163.

⁴ См. также Harvey, Über die Erzeugung der Tiere, Прейера (Preyer) в Zeitsch. „Kosmos“, II. год, стр. 396.

⁵ „Bibel der Natur“, 1752, стр. 126.

Любая, созданная человеком, искусственная ткань должна спрятаться перед кусочком трахеи. Кто может ее срисовать? У кого найдется достаточно проницательности, чтобы ее описать? У кого хватит прилежания, чтобы ее исследовать?» Так как органы насекомых оказались столь же совершенными и целесообразными и столь же искусно устроенными, как органы самых крупных животных, то невозможно было допустить, как делали приверженцы самозарождения, что эти животные возникают путем случайного соединения частей, а необходимо было заключить, что и они рождаются, подобно высшим животным, через размножение.

Обнаружив у насекомых различные формы развития, Сваммердам этим заложил в то же время основы современной систематики этого класса. В одних случаях животное, по его описанию, вылупляется из яйца, снабженное всеми своими членами. В качестве представителя этой группы Сваммердам тщательно исследовал вошь. У другого типа по вылуплении из яйца крылья вырастают лишь медленно, и стадия покоя (стадия куколки) отсутствует. Сваммердам проследил такой процесс развития у стрекозы. Пчелы, муравьи и жуки покидают яйцо в недоразвитом состоянии и приобретают свою окончательную форму путем постепенного развития членов под оболочкой. «Наконец, — говорит Сваммердам, — оболочка сбрасывается, и все члены выступают наружу. Завеса, которая вызывала такую путаницу в головах ученых, так сказать, раздвигается».

Но как был поражен наш исследователь, когда в одно прекрасное утро из четырех куколок дневной бабочки, вместо ожидаемых мотыльков, вырвалась масса маленьких крылатых насекомых! Объяснение этого замечательного явления было найдено лишь впоследствии, когда познакомились с таинственным образом жизни наездников. Известно, что они откладывают свои яйца в личинках других насекомых, так что куколка пожирается развивающимися внутри нее паразитными насекомыми, которые потом разрывают оболочку и вырываются наружу.

Союзником Сваммердама был итальянец Реди¹, который путем планомерных опытов сумел тоже поколебать учение о самозарождении. В своем вышедшем в 1668 г. сочинении, озаглавленном «Опыты, касающиеся размножения животных», он старался доказать, что в исследованных им случаях мнимого самозарождения животные и насекомые произошли не из гниющих веществ, а из яиц, положенных животными соответственного вида в этих гниющих веществах. Правильно предугадывая открытие позднейшего времени, Сваммердам говорит по этому поводу, что ни одно животное не порождается гниением, а, наоборот, гниение вызывается животными.

Наиболее известен опыт, при помощи которого Реди доказал, что попадающие в мясо червячки происходят из яиц мух: когда мясо накрывали тонкой сеткой, мешавшей мухам откладывать свои яйца, червячки не появлялись.

¹ Francesco Redi (1618–1676). Флорентинский врач и член Accademia del Cimento.

Реди доказал также, что некоторые паразитические черви возникают путем размножения. Несмотря на это, учение о самопроизвольном зарождении сумело укрыться в недоступных еще для исследования областях, где оно продолжало прозябать вплоть до новейшего времени. О Реди скажем еще, что он приобрел заслуги также в области изучения анатомии змей, электрического ската и птиц. В своем исследовании строения тела птиц он обратил особенное внимание на воздушные мешки, через которые воздух из легких проникает в кости.

В XVII в. самым выдающимся итальянским исследователем в области анатомии, физиологии и эмбриологии был Марчелло Мальпиги¹ (1620—1694), ученик и друг Борелли. Мы уже упоминали о его заслугах по введению микроскопа в изучение организмов и по обоснованию анатомии растений. Мальпиги широко использовал изобретенный Сваммердамом метод инъекции, заключающийся в наполнении тонких сосудов окрашенными жидкостями или легко застывающими массами (например растопленным воском). Подобно голландскому исследователю, высказавшему надежду, что путем изучения насекомых можно будет добиться понимания процесса размножения у других животных, Мальпиги исходил из совершенно правильной мысли, что изучение низших животных форм подготовит почву для более глубокого понимания строения высших животных, — мысли, побудившей его заняться изучением растений как простейших организмов. Мальпиги опубликовал образцовую для того времени работу о шелковичном черве², анатомию и развитие

которого он подробно исследовал. В этой работе имеется первое описание спинного сосуда и нервной системы насекомых, а также придаточных желез и названных по его имени органов выделения, которые Сваммердам обнаружил впоследствии у пчелы⁴.

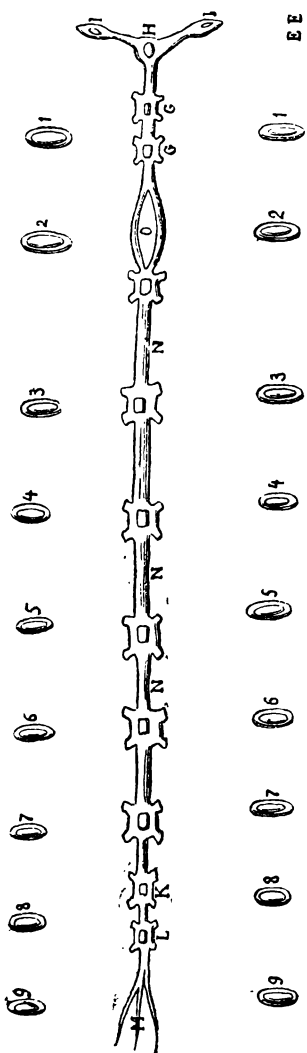


Рис. 107. Рисунок Мальпиги, изображающий нервную систему шелковичного червя³.

¹ Профессор медицины в Болонье, впоследствии лейб-медик папы Иннокентия XII.

² Malpighi, Opera omnia, London 1686.

³ Malpighi, De Bombycibus, табл. VI, фиг. 2.

⁴ См. стр. 300.

На рис. 107¹ воспроизведен рисунок Мальпиги, изображающий брюшную центральную нервную цепочку. Мальпиги различил в ней тринадцать нервных узлов и проследил выходящие из них нервные стволы до их мельчайших разветвлений. Он показал, например, что из узлов *I, I* выходят нервы по направлению к глазам и жевательному аппарату. Узлы *GG* находятся, по его описанию, между двумя самыми передними отверстиями системы трахей. Затем оба нервных ствола расходятся в *O* далеко друг от друга, образуя таким образом млоточное кольцо. Наконец, *G* означает последние тончайшие разветвления всей нервной цепочки.

Первая фигура табл. II (см. рис. 108) показывает нам, с какой тщательностью Мальпиги проследил ход трахей, выходящих и расположенных попарно друг против друга отверстий-дыхалец (стигм) 1—9 (рис. 107).

На фигуре изображены тончайшие разветвления трахей, доставляющих воздух нервному узлу. Если принять во внимание, какой ничтожной величиной обладает подобный узел, то нельзя не удивляться как тщательности исследователя, так и успехам, достигнутым микроскопом в течение столь сравнительно короткого промежутка времени. Большая верхняя трахея *PD*, спирали которой видны на рисунке, соединяет две расположенные друг против друга стигмы. Она отсылает к соседнему нервному узлу ветви, переходящие затем в тончайшие разветвления. Аналогичным образом доставляется воздух остальным узлам и соединяющему их веществу мозга, а также всем прочим тканям.

В работе Мальпиги о шелковичном черве описываются также органы пищеварения и размножения. Мальпиги старался, далее, установить изменения, претерпеваемые отдельными системами органов насекомого на различных стадиях его развития.

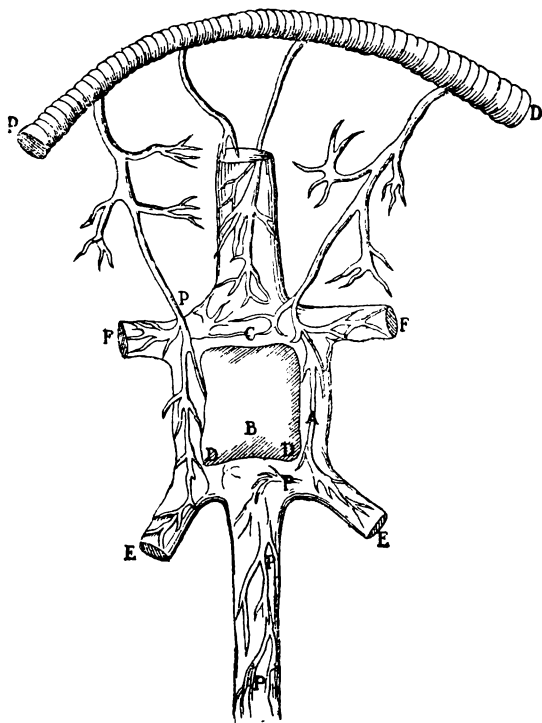


Рис. 108. Мальпиги исследует связь нервного узла с системой трахей.

¹ См. выше, стр. 304.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭМБРИОЛОГИИ

В pendant к исследованию развития шелковичного червя Мальпиги опубликовал также работу о возникновении позвоночного животного, именно о развитии цыпленка в яйце. Здесь он приступил к изучению проблемы, которой занимался уже Аристотель, а в предшествующий период Фабрицио. Для разрешения этой задачи, — удовлетворительно разрешенной лишь в XIX в., — когда ф. Бер (Baer) сделал из эмбриологии важнейшую основу зоологического исследования, — Мальпиги впервые прибегнул к микроскопу. В особенности тщательно изучил Мальпиги на цыпленке возникновение позвоночника и различных частей мозга.

Мы остановимся несколько на этой работе, выпущенной Мальпиги в 1672 г. под названием «О высиженном яйце», так как она явилась основой для всех дальнейших работ по эмбриологии. Ценность этой работы увеличивается еще в значительной степени благодаря множеству (59) приложенных к ней отличных рисунков. Вторая таблица, изображающая возникновение позвоночного столба и мозга, воспроизведена на рис. 109. На фиг. VIII мы видим борозду, первоначальную борозду или, по выражению Мальпиги, *Carina*. А представляет конец головы, у которой замечен первый рудимент шеи, а *D, D* представляют собой зачатки позвонков. На фиг. XI Мальпиги показывает нам, что у основания борозды образуется спинной мозг (*C*), у которого в области головы имеется несколько пузыреобразных утолщений (Мальпиги называет их *Vesiculae cerebri*). На фиг. XVII изображено, как постепенно закрывается борозда, срастаясь своими краями. На нижнем рисунке изображена область вокруг эмбриональных зачатков. Мы узнаем на рисунке Мальпиги мешок *F* и несколько областей, из которых область *H* он называет *Area umbilicalis*. На фиг. XVII мы видим зачатки сердца *D* в виде простой трубки. В то же время замечаем (фиг. XVIII) в области, носящей название *Area umbilicalis*, многочисленные сосуды, изображенные у *B* (рис. 110). Сосуды эти, как замечает Мальпиги, имеют сперва желтоватый цвет, но вскоре принимают красноватую окраску. На фиг. XIX (рис. 109) изображено появление глаз (*A*) по обе стороны зачатков мозга.

Великая заслуга Мальпиги заключается в том, что он дал такое описание почти всего хода развития зародыша, которое во многих пунктах целиком совпадает с позднейшими исследованиями и имело основополагающее значение для дальнейшего развития эмбриологии¹.

Микроскопы, с которыми работал Мальпиги, оказались еще недостаточными для более точного исследования нервной системы, в особенности мозга. Так, например, он считал нервы полыми трубками, а мозг железистым органом. Эти неверные наблюдения привели в физиологии и столь тесно связанной с ней психологии к некоторым ложным учениям. Так, например, принимали, что в мозгу выделяются особые тонкие жидкости, которые доставляются всему телу в качестве животных духов (*Spiritus animales*), совершая по нервам круговорот, подобный круговороту крови.

¹ A. Hirsch, Geschichte der medizinischen Wissenschaften, 1893, стр. 122.

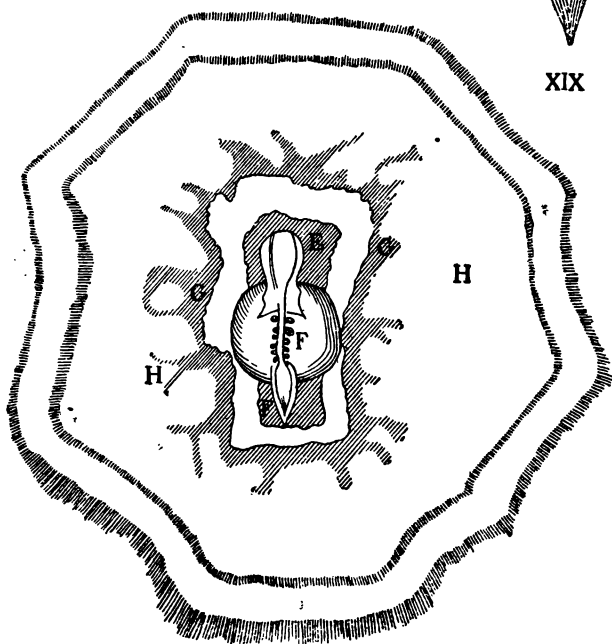
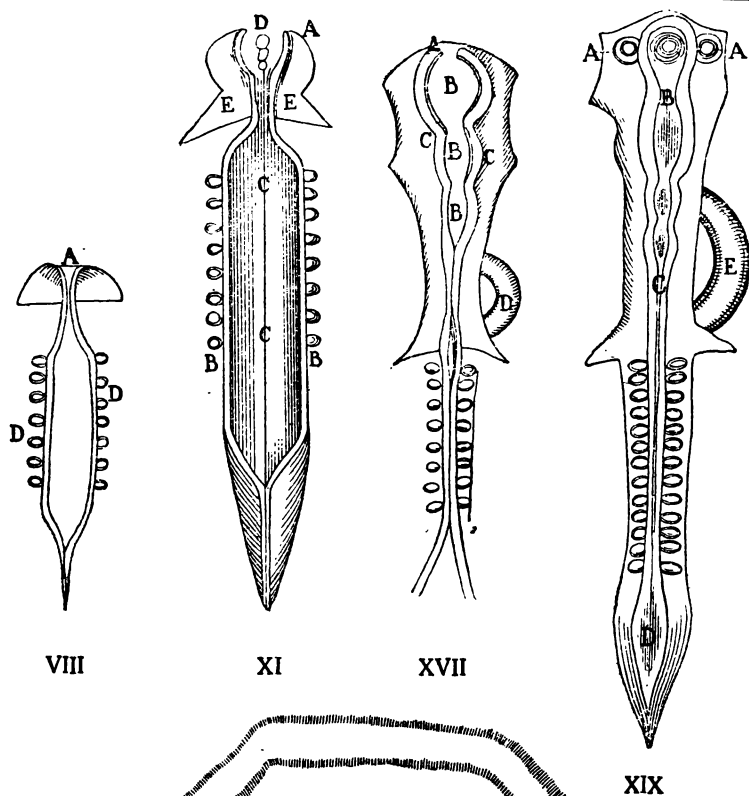


Рис. 109. Рисунок Мальпики, изображающий развитие позвоночного животного.

ОТКРЫТИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ

В то время как только что названные микроскописты рассматриваемого периода занимались своими исследованиями по определенному плану, в основе работ Левенгука лежала скорее страсть любителя, чем стремление углубиться в изучаемую им проблему. От Левенгука пошел ряд тех исследователей, которые в течение XVIII в.

усердно занимались микроскопическими наблюдениями с целью «усладить свои глаза и душу»¹. Но мы обязаны ему целым рядом микроскопических открытий. О своих наблюдениях, которые он вел в продолжение 50 лет, он сообщил в ряде писем, собранных впоследствии в одном сочинении².

Антон ван-Левенгук родился в 1632 г. в Дельфте. Его готовили к купеческой карьере, но сам он, хотя и не получив настоящего научного образования, обратился к изготовлению чечевиц и к изучению невидимого мира малых объектов. Сообщения о своих открытиях он посылал Королевскому обществу, печатавшему их в «*Philosophical Transactions*». Первая из этих работ датирована 1673 г.

Рис. 110. Рисунок Мальпиги, изображающий развитие позвоночного животного.

Книга, в которой он собрал все свои работы, появилась сперва на голландском языке, ибо Левенгук не знал совершенно латыни. Она была издана в 1695—1719 гг. под названием «*Arcana naturae ore microscopiorum detecta*» («Тайны природы, открытые при помощи микроскопов») в четырех больших томах и снабжена была многочисленными рисунками. Королевское общество избрало Левенгука своим членом. Он умер 90 лет от роду (1723 г.) в Дельфте, где ему воздвигнут великолепный памятник.

Наибольшую известность Левенгук приобрел благодаря сделанному им в 1675 г. открытию инфузорий. Он дал описание целого ряда форм их. Он наблюдал также и описал коловраток. Благодаря недостаточной силе своих микроскопов он приписывал инфузориям такие органы и функции (как например совокупление), которые у них не встречаются. Левенгук, по его описанию, открыл инфузории в настоях и в слизи рта. О последней он пишет следующее³: «Я исследовал белую массу, образующуюся между зубами, я смешал ее с дождевой водой, в которой не было никаких микроорганизмов. К своему великому изумлению, я заметил, что в упомянутой массе находились многочисленные очень мелкие существа, двигавшиеся самым потеш-

¹ *Ledermüller, Mikroskopische Gemüts- und Augenergötzungen, 1763.*

² *Leeuwenhoek, Arcana naturae. Delphis Batavorum, 1695—1719.*

³ *Arcana naturae, т. 1, стр. 42.*

ным образом». Для пояснения сказанного может служить заимствованный из книги Левенгука рисунок (рис. 111)¹, изображающий, очевидно, бацилл и инфузорий.

В связи с этим открытием микроскопических организмов в живом теле возникло уже в XVII в. учение об органических возбудителях болезней (*Contagium animatum*)², носившее, правда, еще очень фантастический характер и мало интересовавшееся вопросом о каузальной связи. Благодаря дальнейшему росту микроскопического исследования гипотеза о существовании причинной связи между известными болезнями и низшими организмами продолжала все больше укрепляться в XVIII в., пока в XIX в. учение о *Contagium animatum* не вошло в железный инвентарь патологии не только людей, но также высших животных и растений.

Левенгук наблюдал также клетки дрожжей (1680 г.), не принимая их, однако, за органические существа.

Он открыл, далее, кровяные тельца и наблюдал чудесную картину обращения крови в теле головастика. «Исследуя хвост этого червяка, — сообщает Левенгук, — я увидел зрелище, превосходившее по своей красоте все, что я до сих пор наблюдал. Я не только видел, как движется и протекает кровь по тончайшим сосудам от середины хвоста к наружным частям, но как каждый сосуд загибался и проводил кровь снова к середине хвоста, дабы она могла обратно притечь к сердцу»³. Левенгук открыл также почкование пресноводного полипа (гидры), а также партеногенетическое размножение травяных вшей (тлей), которые он описывает следующим образом: «Открытый мною способ размножения этих тварей показался мне более замечательным, нежели всякий другой из известных доньше. Тщетно я искал яичек или самцов. Наконец, я решился разрезать более крупные экземпляры тлей, чтобы добыть из их тела яички. Вместо яичек я, к своему изумлению, извлек изнутри маленьких животных, которые по своему виду так походили на свою мать, как одно яйцо походит на другое. Из одной и той же тли я извлек не одно только животное, а целых четыре»⁴.

Левенгук наблюдал также, что муравьи охотно ищут тлей, но он думал, что с целью пожирать их, между тем как в действительности муравьи употребляют в пищу лишь выделяемый тлями сок, так называемую медвяную росу. Левенгук доказал, что медвяная роса, относительно которой до тех пор полагали, что она попадает на листья из воздуха, животного происхождения.

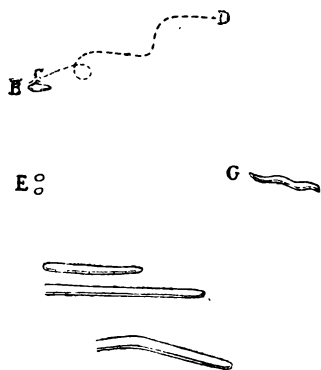


Рис. 111. Рисунок Левенгука, изображающий встречающихся в слизи рта инфузорий и бацилл.

¹ Arcana naturae, т. 1, стр. 42.

² Hirsch, Geschichte der Medizin, стр. 493.

³ Arcana naturae, 1695, т. 1, стр. 173.

⁴ Arcana naturae, 1695, т. 1, письмо 90. Более подробное объяснение развития тли дал Бонне (Bonnet) в первом томе своей „Инсектологии“, Париж 1745.

МИКРОСКОПИЯ И АНАТОМИЯ

Основоположные открытия Левенгука в области микроскопического строения людей и высших животных так многочисленны, что всех их невозможно здесь перечислить. Он открыл волокнистое строение нервов, но ошибочно считал нервные волокна полыми. Далее, анатомия глаза достигла крупнейших успехов благодаря микроскопическому исследованию Левенгуком этого органа. Он нашел, что хрусталик состоит из упругих волокон, образующих несколько слоев, так что эту часть глаза можно разделить на три части. Левенгук доказал также волокнистое строение роговой оболочки и наличие в ней эпителиального покрова. Далее, он сделал то важное открытие, что сетчатка, которую он описывает весьма подробным образом, включает в себе слой палочек, — по крайней мере, мы встречаем у него первый намек на существование этого слоя¹. Левенгук доказал, что глаз насекомых состоит из многочисленных фасеток. Он открыл, далее, чешуйки рогового слоя кожи, трубки в зубном веществе и многочисленные другие подробности.

Левенгук подтвердил сделанное в 1677 г. немцем Людвигом Гамом (Ham), учившимся в Лейдене, удивительное открытие, что человеческое семя включает в себе самостоятельно движущиеся существа, которые были названы семенными животными. Но Левенгук не ограничился этим, а распространил свои исследования на все животное царство и доказал существование семенных нитей во всех его классах. Благодаря этому основанное Гарвеем учение об эволюции подверглось существенному преобразованию, ибо Левенгук полагал, что в семенных нитях содержится зачаток зародыша и что женские половые органы играют роль лишь хранилищ зародыша.

Упомянем, наконец, еще, что Левенгук первый открыл поперечно-полосатый характер произвольных мышц. На рис. 112 воспроизведен сделанный им рисунок нескольких мышечных волокон сердца, обладающих еще той способностью, что они связаны между собой в виде сетки, в то время как обыкновенные мышечные волокна идут параллельно².

Величайшее удивление вызвало то обстоятельство, что Левенгук сумел сделать огромную массу подчас трудных наблюдений, пользуясь не сложным микроскопом, а простым, хотя Роберт Гук уже около 1660 г. придал сложному микроскопу вполне пригодную для научных исследований форму. При помощи своих простых двояковыпуклых чечевиц, которые он изготовлял с непревзойденным мастерством, Левенгук достигал линейного увеличения в 160 раз. После его смерти его стекла стали собственностью Королевского общества. Сделать вышеупомянутые открытия с помощью столь простых инструментов можно было только в том случае, если наблюдатель обладал необычайно зорким и опытным глазом, а также совершенно исключительным искусством и терпением. Однако относительно рисун-

¹ Hirsch, Geschichte der Medizin, стр. 115.

² Рисунок заимствован из книги Левенгука „Arcana naturae“, 1695, т. 1, стр. 447.

ков Левенгука справедливо было замечено, что они не выдерживают сравнения с рисунками Мальпиги и других исследователей той эпохи.

Этот обзор открытий Стено, Грю, Мальпиги, Сваммердама и Левенгука показывает, что полученный наукой вместе с основанием динамики импульс, отразившийся затем на всей физике и астрономии, оказал во второй половине XVII в. свое влияние на все прочие области естествознания, так что повсюду были заложены новые

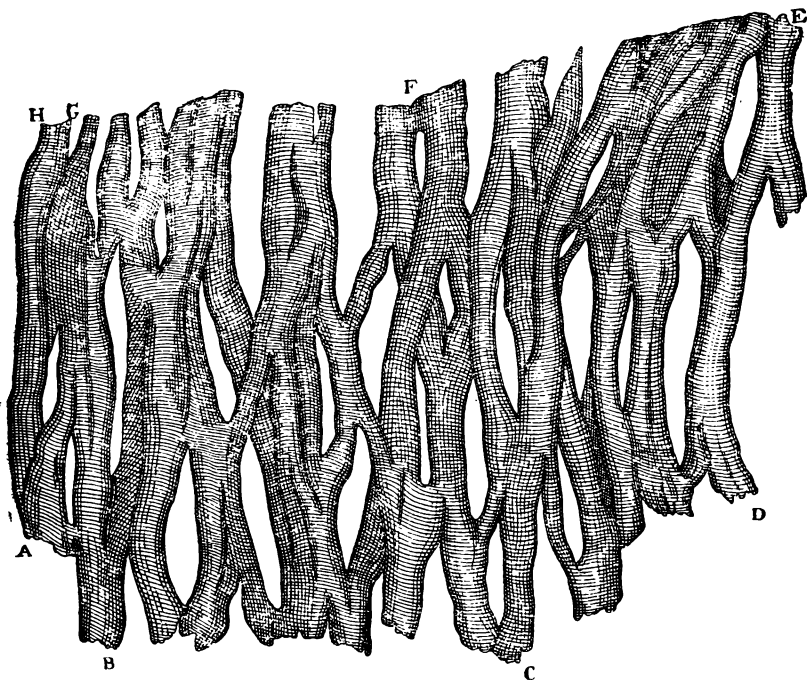
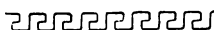


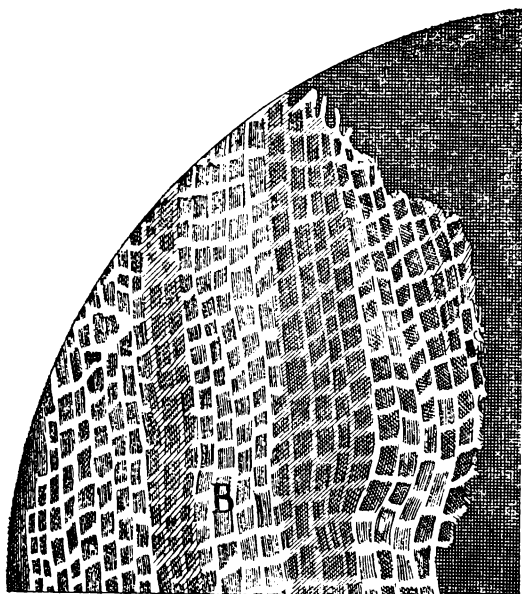
Рис. 112. Рисунок Левенгука, изображающий мышечные волокна сердца.

основы. На этом фундаменте в течение большей части XVIII в. шла спокойная созидательная работа. Лишь к концу XVIII в. происходит новая революция почти во всех областях знания. Она знаменует начало новейшего и последнего периода в развитии наук, не только приводящего нас непосредственно к задачам современной эпохи, но таящего в себе также многочисленные зародыши будущих обобщений, открытий и изобретений.



ОСНОВАНИЕ АНАТОМИИ РАСТЕНИЙ И УЧЕНИЯ О СУЩЕСТВОВАНИИ ПОЛА У РАСТЕНИЙ

Гук, с заслугами которого в деле усовершенствования микроскопа мы уже познакомились, первый открыл клеточное строение растений, не догадываясь, впрочем, ни в малейшей мере о значении виденного им.



Рассматривая тонкий разрез пробки, он заметил многочисленные, разделенные стенками ячейки, которым он дал название «клеточек», сохранившееся до настоящего времени для обозначения элементарных органов животных и растений. Гук вычислил, что на 1 куб. дюйм пробки приходится 1 200 миллионов таких клеточек. На рис. 113¹ воспроизведен старейший рисунок, иллюстрирующий клеточное строение вещества растения². Такого же рода строения Гук обнаружил в сердцевине бузины и в древесине различных растений. При этом от его внимания не ускользнул тот факт, что клеточки часто бывают вытянуты в длину и что в свежем состоянии они наполнены спираль-

Рис. 113. Старейший рисунок, изображающий клеточное строение пробкового вещества.

ком. Гук наблюдал еще ряд других деталей. Он описывает спираль-

¹ Hooke, *Micrographie*, Схема, XI, фиг. 1.

² Hooke, *Micrographia or some physiological descriptions of minute bodies*, London 1667, стр. 112 (Observat. XVIII).

ные сосуды древесины, жгучие волоски крапивы, сок которой он признал за причину ожога¹, строение плесневого грибка и т. д.

Левенгук, с заслугами которого в области микроскопического исследования организма животных мы познакомились в предыдущей главе, в вопросе о внутреннем строении растений сделал лишь случайные открытия. Так, Левенгук открыл норы (Tüpfel) в сосудах древесины. Лишь в XIX в. удалось правильно истолковать это замечательное явление. Левенгук же первый указал на наличие кристаллов внутри растений.

Рис. 114² воспроизводит данное Левенгуком изображение нор волокон древесины и сердцевины сосны. Норы сердцевинных волокон он считал за отверстия. Он ошибался точно так же и относительно природы окаймленных (gehöft) нор. Он говорит об этом следующее³: «Рисунок изображает сердцевину сосны, которую я расколол по возможности тоньше в длину. Вследствие крайней тонкости объекта глаз мог отчетливо наблюдать многочисленные шарики, лежащие в клеточках древесины (in tubis ligneis). Зрелище это поразительно не только благодаря идеальной сферической форме этих шариков, но и потому, что иногда в них появляется светлое пятно. По моему мнению, шарики эти представляют то вещество, которое мы называем смолой».

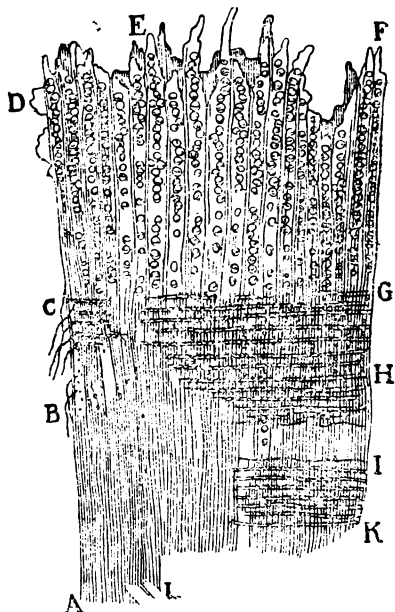


Рис. 114. Рисунок Левенгука, изображающий простые и окаймленные норы сосны.

ОСНОВАНИЕ АНАТОМИИ РАСТЕНИЙ

Скоро последовали и первые планомерные исследования в области анатомии растений. Они принадлежали соотечественнику Гука, Неемии Грю, и выдающемуся анатому и физиологу Мальпиги. Оба исследователя почти одновременно (1671 г.) представили результаты своих работ Королевскому обществу. Более подробное изложение своих исследований они дали лишь спустя несколько лет в двух обширных трудах⁴.

¹ Micrographia, стр. 143.

² Arcana naturae, т. 1, стр. 315.

³ Arcana naturae, т. 1, стр. 318.

⁴ Malpighi, Anatomie plantarum, 1675; Grew, The anatomy of plants, 1682. Фолиант, снабженный 83 гравюрами. См. Marcellus Malpighi, Die Anatomie der Pflanzen, bearbeitet von M. Möbius. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, № 120, стр. 31. Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1901.

Произведенные Грю и Мальпиги независимо друг от друга исследования еще не ставили себе целью показать, что клеточка, все значение которой поняли лишь значительно позже, является основным органом всех частей растений. Работы эти, наряду с описанием частей растения, недостаточно ясно различаемых невооруженным глазом — в особенности органов цветка, первых зачатков почек, плодов, семени и т. д., — ограничиваются изображением грубо анатомических фактов. Все исследование сводится скорее к разложению органов на отдельные ткани, чем к обнаружению элементов этой ткани и закономерной связи между ними. Таким образом весь метод исследования чисто аналитический. В качестве элементов ткани различаются волокна и клеточки.

Неемия Грю, сын английского священника, родился в 1628 г. Он посвятил себя медицине, но наряду с этим занимался и анатомией растений. В качестве члена Королевского общества Грю занимал должность секретаря его. Он умер в 1711 г.

«Анатомия растений» Грю свидетельствует о необыкновенном искусстве его в манипулировании микроскопом и о совершенно исключительном даре наблюдения. Чтобы оценить эту книгу по достоинству, надо принять во внимание, что у Грю в исследованной им области не было предшественников; до него имелись лишь разрозненные и притом по большей части неправильно истолковывавшиеся наблюдения. Поэтому даже еще совсем недавно книга его благодаря ясности изложения могла быть рекомендована крупнейшими авторитетами¹ начинающим для первоначальной ориентировки в вопросе. В дальнейшем мы приведем некоторые данные из этого великого, бессмертного творения.

Наряду с основной тканью, для которой Грю ввел употребляемый еще и теперь термин «паренхима», он различал три рода волокон: спиральные трубки, волокнистые клеточки и млечные сосуды (milk vessels).

Первые наблюдатели считали неуплотнившиеся части стенок клеточек за отверстия, через которые происходило движение соков. Грю опровергнул этот взгляд и показал, что это вовсе не отверстия, а что паренхиму лучше всего можно сравнить с пеной, образующейся на поверхности жидкостей. Созданное Грю выражение «ткань» для всех состоящих из однородных элементов соединений клеточек, как и выражение «паренхима», усвоено современной терминологией. Но связанное с этим первоначальное представление, будто внутренность растения можно сравнивать с искусственной тканью, например с кружевами, оказалось ошибочным.

Грю заметил также устьица листьев. Это важное открытие навело его на мысль, что функция листьев заключается в том, чтобы способствовать сообщению между внутренностью растений и внешним миром, иначе говоря, способствовать процессу вдыхания и выдыхания. Но в XVII в. химия еще не была настолько развита, чтобы точнее определить характер этого обмена веществ.

¹ Sachs, Geschichte der Botanik, стр. 259.

Так как Грю всегда старался физиологически истолковать виденное им, то нет ничего удивительного в том, что при микроскопическом исследовании частей цветка он натолкнулся на вопрос о существовании пола у растений, на который он дал утвердительный ответ. Такой же положительный ответ дал 10 лет спустя в Германии Камерарий (Camérarius)¹. Взгляды Грю по этому вопросу сводятся приблизительно к следующему. В цветке находится часть, производящая семя, тычинка, и соответствующая яичнику часть. Последняя оплодотворяется шариками, находящимися в тычинке и соответствующими семенам животных. Таким образом растения являются гермафродитом². Несмотря на близость к истине этого представления, первенство открытия пола у растений принадлежит все же Камерарию, который путем безупречных опытов доказал необходимость для целей оплодотворения совместной деятельности тычинки и пестика.

Среди основателей анатомии растений следует наряду с Грю назвать прежде всего итальянца Мальпиги. Марчелло Мальпиги родился 10 марта 1628 г. недалеко от Болоньи. Студенческие годы он провел в Пизе, где завязал дружеские сношения со своим учителем Борелли, бывшим на 20 лет старше его. Борелли был одним из самых выдающихся членов Accademia del Cimento, ставивший себе задачу исследования природы в духе Галилея путем всестороннего применения эксперимента. Борелли первый применил новый метод исследования к области органической жизни, и на этом пути за ним последовал в Италии Мальпиги. По окончании своих медицинских занятий Мальпиги стал усердно заниматься анатомическими исследованиями. В 1658 г. он стал профессором медицины в Болонье, где преподавал с незначительными перерывами до 1691 г. В этом году папа назначил его своим лейб-медиком. Вследствие этого Мальпиги переехал в Рим, где и умер в 1694 г.

Мальпиги³ указывает в особенности на широкое распространение спиральных трубок (рис. 115). Повсюду вопрос о функциях описываемых элементов связан у него с их анатомическим строением. Однако физика и в особенности химия еще не в состоянии были оказать необходимую помощь физиологии растений, так что вопросы

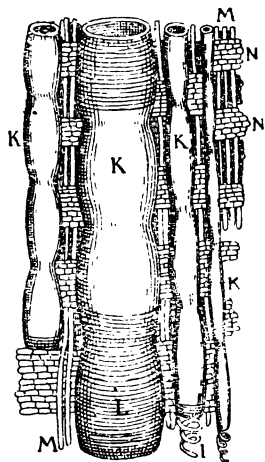


Рис. 115. Рисунок Мальпиги, представляющий продольный разрез древесины виноградной лозы.

Видны спиральные сосуды (K) волокна древесины (M) и горизонтальные ряды клеток (N).

¹ См. стр. 318.

² The anatomy of plants, стр. 172.

³ См. Marcellus Malpighi, Die Anatomie der Pflanzen, bearbeitet. von M. Möbius. Ostwalds Klassiker der exacten Wissenschaften, № 120, стр. 31 Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1901.

о движении соков и питании, хотя и стояли в центре внимания, еще не могли найти правильного решения. Мальпиги, воображавший, будто он наблюдал в спиральных трубках нечто, аналогичное перистальтическому движению кишечника¹, сделал основоположное для дальнейшего развития физиологии питания открытие, что листья являются теми органами растения, которые изготавливают пищу для него. Он показал также, что продукты ассимиляции проникают из листьев во все остальные части растения, где либо откладываются про запас, либо тотчас же потребляются для роста.

Труд Мальпиги начинается гениальным очерком строения и формы органов растения. Он называет эту главу *Anatomes plantarum idea*. По существу он излагает здесь то, что он сообщил уже в 1771 г. для закрепления за собой приоритета Королевскому обществу, избравшему в 1669 г. итальянского ученого своим иностранным членом. Затем следует подробное изложение вопроса, иллюстрируемое 93 таблицами.

Чрезвычайно любопытно узнать, как совершился у Мальпиги и у тех из его современников, которые прониклись духом современного естествознания, разрыв с прежними методами исследования. По мнению Мальпиги, войны и государственные перевороты были не так пагубны для развития наук, как неправильный метод изучения их. Действительно, говорит он, прежде старались овладеть науками во всем их объеме, рассматривая их как нечто готовое, вместо того, чтобы отдаться упорному и тщательному исследованию какой-нибудь ограниченной области знания. Он сам в энтузиазме молодости дерзнул немедленно же приступить к изучению анатомии высших животных. Но так как многое здесь осталось для него непонятным, то он пришел к мысли о необходимости исследования сущности вещей путем аналогий и изучения более трудных проблем при помощи предварительного решения более простых и легче понятных задач. Так пришел он к исследованию насекомых, надеясь этим путем понять анатомическое строение более совершенных животных. Но и в этой области он натолкнулся на слишком еще большие трудности; тогда он обратился к исследованию растений, чтобы после тщательного изучения их вернуться обратно и найти таким образом через мир растений путь к занимавшим его раньше проблемам. Но по существу, замечает он вполне справедливо, он должен был бы для объяснения органического мира начать с исследования минералов или даже элементов. Но такое предприятие превосходит его силы.

Мальпиги исследует затем особенно тщательно анатомию ствола, ограничиваясь по отношению к листу и цветку преимущественно макроскопическим, грубо анатомическим описанием. Самая внешняя часть растений представляет собой оболочку, состоящую из мешочков (клеток). К старости они пустеют, представляя собой вы-

¹ По Мальпиги, спиральные трубки состоят из узкой нежной полоски, имеющей спиральную форму и соединенной по концам. „Если трубка разрывается, то спиральная полоска не распадается на отдельные кольца, как мы это наблюдаем в трахее высших животных, а получается длинная полоска“ (Ostwalds Klassiker, № 120, стр. 7).

сохший верхний слой. Под ними имеются сетеобразно связанные между собой волокна, между которыми, однако, опять-таки наблюдаются продолговатые мешочки, расположенные горизонтально по отношению к древесине. Аналогичным образом Мальпиги нашел, что древесина состоит из продолговатых волокон и спиральных трубок, петли которых пронизаны горизонтальными сосудистыми пучками. Мальпиги не сумел еще объяснить происхождения древесины и коры из лежащей между ними ткани, камбия. По Мальпиги, слои древесины происходят из самых внутренних слоев коры — заблуждение, державшееся в анатомии растений до первых десятилетий XIX в. Ему часто приходила в голову мысль, что в волокнистой коре существуют уже заранее в скученном виде зачатки, на счет которых ежегодно увеличивается древесина, подобно тому как это имеет место для некоторых органов бабочек, которые еще недоступны наблюдению у гусеницы и куколки. Таким образом мы встречаем уже здесь намек на вызвавшее впоследствии столь много споров учение об эволюции предсуществующих в зачатке, но не доступных еще наблюдению органов — учение, которое, как мы увидим, привело к самым нелепым выводам. Огромное значение имело то, что Мальпиги уже при самом основании анатомии растений понял непрерывную связь слоев ткани, выразив это в такой удачной форме, что некоторые из его рассуждений по этому вопросу заслуживают быть здесь приведенными: «Корни, — говорит Мальпиги, — представляют у деревьев ту часть ствола, которая разветвляется в земле, переходя под конец в тонкие, как волос, нити. Такие трубки, разделенные в почве, мало-помалу собираются в пучки, соединяясь под конец в один большой цилиндр, ствол. Вследствие вновь наступающего разделения трубок ствол дает на другом своем конце ветви, пока пучок трубок, дробясь все более и более, не найдет своего завершения в листьях».

Изложение Мальпиги носит анатомический характер только в первых главах книги, трактующих о коре и стволе. Дальнейшие главы посвящены вопросам морфологии, трактуют о листосложении, частях цветка, волосках, колючках, усиках и т. д. Мальпиги интересуется главным образом проблемой размножения растения и его органов. Здесь особенно ярко обнаруживается его стремление найти аналогию между животным и растительным мирами. Он приходит к тому результату, что семена растений представляют яйцо, которое заключает в себе зародыш, состоящий из главнейших частей растения, и которое в течение многих лет остается способным к развитию. Под влиянием проникающей внутрь влажности эти части раскрываются, и растению становится побегом. Функция семядолей, как установил Мальпиги, заключается в том, чтобы доставить побегу его первую пищу. Борелли оспаривал это; это побудило Мальпиги тщательнее исследовать и иллюстрировать рисунками процесс прорастания некоторых растений, как например лавра и финиковой пальмы. Уже раньше он изучил и иллюстрировал 20 рисунками историю роста кледевины. Но для Мальпиги оставался еще совершенно темным процесс оплодотворения и роль пыльцы. Функция тычинок и лепестков, по его мнению, заключается в том, чтобы, так сказать,

очистить и отфильтровать сок, из которого должно образоваться семя. К этому ошибочному взгляду его привело то наблюдение, что лепестки выделяют часто жидкость, значение которой для процесса опыления Мальпиги еще не знал. В выделении нектара Мальпиги готов даже видеть процесс, аналогичный менструации высших животных. Ведь функция менструации заключается в том, чтобы удалить из организма все вещества, которые могли бы повредить каким-нибудь образом матке: благодаря этому оставшаяся в матке очищенная кровь может быть легко оплодотворена и приспособлена к сущности животного. Мы видим, таким образом, к каким нелепым взглядам может привести стремление отыскивать повсюду аналогии и находить в этом главную задачу объяснения природы. В этом отношении немало согрешили и позднейшие ученые. Даже в наше время ложные аналогии продолжают еще играть роковую роль. Задача истории наук и заключается в том, чтобы постоянно напоминать нам об этом и приучать к крайней осторожности в этом отношении.

ВОПРОС О ПОЛЕ У РАСТЕНИЙ

Основанная Мальпиги и Грю анатомия растений не получила на первых порах дальнейшего развития. Физиологи и особенно систематики следующего периода не интересовались этой отраслью ботаники. Кроме того, микроскоп еще не был настолько усовершенствован, чтобы он мог обнаружить более тонкие анатомические детали. Благодаря этому развитие открытой во второй половине XVII в. научной области последовало лишь в начале XIX в., приведя тогда с поразительной быстротой к результатам, изменившим весь облик ботаники и придавшим ей характер чисто индуктивной науки.

Самым важным открытием, сделанным в XVII в. в области физиологии растений, является доказательство существования пола у растений. Уже некоторые древние авторы догадывались об этом. Так, Теофраст сообщает о применявшемся к смоковнице методе получения лучших плодов, называвшемся капрификацией. Уже давно было замечено, что на дикой смоковнице (*Caprificus*) живет особая оса (*Cynips psenes*, L.), благодаря укусу которой плоды этого дерева становятся более сочными, сладкими и крупными. Основываясь на этом наблюдении, привешивали укушенные осами дикие смоквы к выращивавшимся в садах культурным смоковницам, для того чтобы выползающие из смоквы насекомые действовали на плоды этих смоковниц таким же благоприятным образом¹. Теофраст указал на то, что в данном случае насекомые не вызывают возникновения плодов, а только способствуют созреванию их. Таким образом этот метод лишь внешне был похож на наблюдаемые у финиковой пальмы явления².

Уже во время Аристотеля и Теофраста в речи различали слова, обозначавшие мужские и женские растения, т. е. растения плодонося-

¹ Метод этот употребляется еще и в настоящее время.

² См. т. 1, настоящего сочинения.

щие и бесплодные. Но отсюда не следует умозаключать, что тогда уже были знакомы с процессом оплодотворения растений. Как на особые разновидности размножения Теофраст указывал на пересаживание черенков, прививку и окулировку, причем растение служит для привоя, так сказать, почвой¹. Экспериментальное доказательство существования пола у растений является заслугой тюбингенского профессора Камерария.

Рудольф-Яков Камерарий родился в 1665 г. в Тюбингене, где и умер в 1721 г. В 1688 г. он стал профессором и директором ботанического сада в Тюбингене.

Ботаники XVI и XVII вв., говоря о мужских и женских растениях, употребляли эти выражения лишь в фигуральном смысле, чтобы отметить этим резко бросающееся в глаза различие всего облика многих растений. Цезальпини и Мальпиги полагали, что возникновение семени представляет собой процесс, аналогичный образованию почки. Функция тычинки и лепестка заключается, по их мнению, в том, чтобы притянуть к себе часть влаги, для того чтобы в остальных частях цветка получился благодаря этому более чистый сок, необходимый для образования семени.

Камерарий, наоборот, исходил из наблюдения, что плодоносящее тутовое дерево, вблизи которого не находится другого, несущего только сережки, дает глухие, пустые семена, неспособные к прорастанию. Он решил поэтому исследовать отношения, в которых находятся различно устроенные особи одного и того же вида, экспериментальным способом — единственным, который обещал успех. Камерарий выбрал для этой цели одно из самых распространенных двудомных растений, однолетнюю пролеску (*Mercurialis annua*). Когда он клал в землю спелые семена ее, то из них получались растения двух родов, вообще очень похожие друг на друга и получившие одинаковые названия. Но он заметил, что одни растения обладали только тычинками и лишены были плодов и семян, в то время как другие приносили плоды, но зато не имели венчика и пыльника. Когда же он совершенно изолировал плодоносящие экземпляры пролески от экземпляров с пыльцой, то оказалось, что в этом случае они всегда приносили неспособные к развитию семена. После этого он перешел к опытам над растениями, у которых тычинки и пестики находятся на одном и том же экземпляре. Когда он удалял у клещевины и майса мужские цветы раньше, чем развились пыльцевые мешки, то никогда не получалось зрелых семян.

Опыты эти Камерарий описывает в следующих выражениях: «Когда я удалил у клещевины круглые, производящие пыльцу, почки до развития пыльника и тщательно помешал появлению новых подобных почек, то из имевшихся нетронутых семенных зачатков я никогда не получал семян; бесплодные оболочки семян свисали вниз и под конец увядали и погибали. То же самое наблюдалось у майса. После того, как я заблаговременно отрезал маковку (содержащую в себе тычинки), появились два початка, не имевшие совершенно

¹ Теофраст, О причинах растений, I, 6.

семян, так что получилось множество пустых оболочек семян». «Поэтому мы имеем право, — заключает Камерарий, — приписать пыльниковым мешкам значение мужских половых органов, из которых выделяется семя — именно вышеуказанная пыльца. Точно так же ясно, что завязь со своим столбиком представляет женский половой орган растения»¹.

Камерарий не скрывал от себя трудностей, которые были присущи еще тогда этой теории. Так, хвости и плауны должны были казаться ему растениями, которые обладают пыльниками и все же не производят семян. У этих растений, говорит Камерарий, имеется в обилии мужское семя; но, продолжает он, у них нет соответствующего ему женского пола, ибо нет пестика, околоплодника, семян. Решение этого кажущегося противоречия было дано лишь в XIX в. благодаря объяснению процесса размножения у обеих этих групп растений, носящих ныне названия *Equiseta* и *Lycopodia*. Камерарий, чтобы справиться с этой трудностью, зачисляет упомянутые группы растений в несовершенные (тайнобрачные) растения, происхождение размножения которых еще неизвестно.

Под влиянием неудачи опытов с коноплей Камерарий поднял вопрос, не может ли столбик одного растения быть оплодотворенным пылью другого растения, иначе говоря — вопрос о том, возможна ли и в растительном царстве гибридизация. Он рассказывает, что пересадил три молодых женских экземпляра конопли с поля в сад и наблюдал тщательно за тем, чтобы они не были оплодотворены пылью какого-нибудь соседнего мужского растения того же вида. Несмотря на это женские экземпляры конопли принесли много плодovitых семян, что сперва очень огорчило Камерария, но потом привело его к следующим размышлениям. Возможно, что женские экземпляры конопли были удалены слишком поздно от соседства мужских экземпляров, из которых некоторые, может быть, распространили уже свою пыльцу. Но возможно также, что нуждавшиеся в оплодотворении женские экземпляры конопли были опылены растениями другого вида, находившимися во множестве в саду. Ведь никто не сомневается в том, что в животном царстве самка может быть оплодотворена самцом другого вида. Спрашивается, может ли женское растение быть оплодотворенным мужским растением другого вида, может ли, например, женский экземпляр конопли быть оплодотворен мужским экземпляром хмеля? Но ответ на этот вопрос, который оказал бы серьезную поддержку учению о половой дифференциации растений, был дан лишь позже и другим исследователем².

Если таким образом можно было доказать существование половой дифференциации у растений, то это все же еще не давало полного понимания процесса оплодотворения. Для решения этого вопроса, по

¹ Camerarius, De sexu plantarum epistola датирована 25 августа 1694 г. Издано Гмелиным (J. G. Gmelin, Tübingen, 1749 г. Немецкий перевод выпущен Мебиусом (M. Möblus) в виде 105-го томика оствальдовской серии классиков точного знания (1899). См. также Dannemann, Aus der Werkstatt grosser Forscher, 3 изд., отдел 27.

² Кельрейтером (Koelreuter, см. ниже).

мнению Камерария, было бы очень желательно узнать от микроскопистов, что содержат в себе зернышки пыльника, как глубоко они проникают в женские органы растения, прибывают ли они без изменения в то место, где они соединяются с семяпочкой, и что при этом выделяется из них.

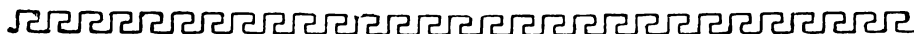
Ответ на все эти вопросы был дан, как мы увидим в дальнейшем, лишь в XIX в. Камерарий считал еще самоочевидным, что в том весьма частом случае, когда тычинка и пестик находятся на одном цветке, оплодотворение происходит между этими, близко расположенными друг к другу частями; в действительности же, как показали дальнейшие исследования, в природе имеются самые разнообразные приспособления для того, чтобы воспрепятствовать самооплодотворению гермафродитных растений. Современник Камерария, Сваммердам, открыл в животном царстве, именно у улитки, гермафродитизм, аналогичный соединению полов у двуполых растений. Камерарий упоминает наблюдение Сваммердама, замечая при этом, что явление это, крайне редкое в животном царстве, типично для растений. В то же время он удивляется тому, что улитки не оплодотворяют себя самих, подобно тому как это происходит, по его мнению, у растений.

Сочинение Камерария заканчивается латинской одой, автор которой неизвестен и которую можно сравнить с гётевской «Метаморфозой растений». Ода эта излагает основы нового учения и заканчивается следующими словами:

Мы с изумлением видим, что как животные,
Так и растения обладают различными полами!
Все живущее, все производящее потомство
Возникает тождественным образом.
О могучая сила духа, сделавшая впервые
Столь великое, скрытое от людей в течение веков открытие,
Пусть твоя слава воодушевит того,
Кто посвятит себя изучению природы.
О великое, всемогущее существо,
Сотворившее мир, ты заботись о том,
Чтобы сохранить установленный тобою порядок в природе
И обновляешь древнее творение.

Линней, вскоре после этого завершивший провизорно систематику созданием своей, основанной на половых признаках системы, опирался на работы Камерария, хотя и не прибавил ничего существенно нового к его учению. Развито оно было лишь исследованиями Кельрайтера, о которых речь будет впереди.





XVIII

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ОПТИКИ, МЕХАНИКИ И АКУСТИКИ

Метод, которым пользовались Галилей, Ньютон и родственные им по духу исследователи и который путем сочетания эксперимента с математическим доказательством приводит к открытию законов природы, применялся в течение XVIII в., как и при жизни его творцов, главным образом в астрономии и механике. Кроме того, в эту эпоху шла также работа приспособления созданного Ньютоном¹ и Лейбницем² высшего анализа к решению тех великих проблем, которые ожидали еще ответа, в первую очередь в областях астрономии, оптики и акустики.

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И МАТЕМАТИКА

Высшая математика стала в XVIII в. «богатырским мечом» для астронома и физика, а впоследствии и вообще для современного естествоиспытателя, благодаря главным образом членам семейства Бернулли и Леонарду Эйлеру. Старейшим и в то же время одним из наиболее выдающихся среди многочисленных крупных математиков этой семьи был Яков Бернулли (1654—1705). Он был одним из виднейших основателей исчисления бесконечно малых, учения о рядах, комбинаторики (теории соединений) и исчисления вероятностей³. Двумя последними науками Яков Бернулли занимался приблизительно с 1680 г. Но его великое творение, в котором он изложил как собственные исследования, так и достижения других математиков в области комбинаторики и теории вероятностей, вышло лишь несколькими десятилетиями позднее⁴. В этой книге изложено в форме, употребительной и поныне, почти все, составляющее предмет комби-

¹ Newton, Abhandlung über die Quadratur der Kurven (1704). Aus dem Lateinischen übersetzt von G. Kowalewski (Band 164 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften, Leipzig, Verlag von W. Engelmann. 1908).

² Leibniz, Über die Analysis des Unendlichen. Aus dem Lateinischen übersetzt von G. Kowalewski (Band 162 von Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften, Leipzig, Verlag von W. Engelmann. 1908).

³ См. также стр. 139.

⁴ Ars conjectandi Якова Бернулли, Базель 1713. Вышла в немецком переводе под редакцией Гауснера (K. Haussner) в качестве 107-го и 108-го томов оствальдовской серии классиков точного знания, 1899.

наторики¹. Но значительно более важной является последняя часть книги². Бернулли поставил в ней перед собой задачу применить исчисление вероятностей к «явлениям гражданского, морального и хозяйственного характера». В этой части книги намечались совершенно новые пути развития этой отрасли математики, и потому особенно прискорбно, что она осталась незаконченной. Вероятность определяется Бернулли как некоторая степень достоверности, отличающаяся от последней так, как часть отличается от целого. Если абсолютная достоверность (a или 1) состоит из пяти вероятностей (или частей), из которых три благоприятствуют, а две не благоприятствуют наступлению некоторого события, то это событие обладает $\frac{3}{5}a$ или $\frac{3}{5}$ достоверности.

Венцом всего исследования является теорема Бернулли³, которую называли также законом больших чисел. В этой теореме рассматривается вопрос, увеличивается ли, при увеличении числа наблюдений или же повторяющемся накоплении отдельных случаев, вероятность того, что отношение числа случаев благоприятных к числу случаев неблагоприятных достигает в конце концов истинной величины. Бернулли формулирует задачу и путем математического доказательства дает положительный ответ на нее. Он очень правильно замечает, что задача имеет, так сказать, асимптотическое решение, поскольку даже при любом увеличении числа наблюдений не может быть превзойдена некоторая определенная степень вероятности того, что найдено истинное соотношение между числом благоприятных и неблагоприятных случаев.

В качестве примера Бернулли берет закрытую урну, в которой — без нашего ведома — находится 3000 белых и 2000 черных камней. Если мы начнем повторно вынимать камешки и будем потом всякий раз класть их обратно в урну, то мы станем с вероятностью, все возрастающей и в конце концов граничащей с достоверностью, приближаться к отношению 3 : 2, причем с увеличением числа испытаний эта величина будет заключаться во все более и более узких границах. Поэтому, говорит Бернулли, мы вынуждены признать, что всем явлениям присуща известная необходимость. Действительно, если бы мы могли наблюдать все явления в течение вечности, то в конце концов вероятность перешла бы в полную достоверность. Поэтому мы должны даже в случайно происходящих событиях усматривать наличие необходимости и притти к выводу, что все на свете происходит определенным, закономерным образом.

Работы Якова Бернулли над бесконечными рядами⁴ возникли в связи с тем, что такие ряды часто дают в руки исследователю метод решения задач на интегрирование. Именно по этой причине еще основатели исчисления бесконечно малых, Валлис и Ньютон, зани-

¹ T r o p f k e, Geschichte der Elementarmathematik. т. 2, стр. 354.

² Ostwalds Klassiker, № 108, стр. 71 и сл.

³ Ostwalds Klassiker, № 108, стр. 104 и сл.

⁴ Они возникли за время с 1689 по 1704 г. и составляют содержание 171-го тома оствальдовской серии классиков точного знания (W. Engelmann. 1904). Переведены и редактированы Ковалевским.

мались разложением функции в бесконечные ряды¹. Так, например, Валлис выразил в виде бесконечного ряда величину площади между гиперболой и ее асимптотами. У него же встречается уже ряд, составленный из величин, обратных квадратам целых чисел:

$$\frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \dots,$$

сумму которого, однако, впервые нашел лишь Эйлер.

Первое интегрирование при помощи разложения в бесконечный ряд произвел Николай Меркатор (1768) при квадратуре равно-сторонней гиперболы². Лейбниц тоже занимался суммированием некоторых рядов, представляющих собой разложение π . В зачаточном виде учение о бесконечных рядах встречается еще у Евклида и Архимеда, но настоящее обоснование этой теории было делом Ньютона, открывшего общую формулу бинома. Для целочисленных и положительных степеней разложение формулы $(a + b)^n$, содержащее в этом случае конечное число членов, было известно задолго до Ньютона.

Мы не можем здесь останавливаться подробнее на работах Якова Бернулли по теории бесконечных рядов. Полученные им результаты заслуживают здесь упоминания лишь в той мере, в какой с ними связано развитие прикладной математики. Так, например, Бернулли удалось выразить в виде бесконечного ряда отношение между координатами кривой упругости, найти при помощи другого такого ряда длину дуги параболы и логарифмической линии и решить ряд других задач³.

Яков Бернулли и его брат Иоганн вновь обратили также внимание математиков на задачи о наибольших и наименьших значениях, играющие особенно важную роль в физике, а своими исследованиями так называемой изопериметрической проблемы они заложили то основание, на котором Эйлер, Лагранж и другие ученые впоследствии воздвигли вариационное исчисление.

В изопериметрических проблемах дело идет о кривых, удовлетворяющих известным условиям максимума или минимума. Старейшая из таких задач гласила: какая из всех изопериметрических кривых заключает в себе площадь наибольшей величины? Еще в древности было известно, что такой кривой является круг⁴.

¹ Валлис в своей „Arithmetica Infinitorum“ (1655), а Ньютон в своем „Methodus fluxionum“.

² Ostwalds Klassiker, т. 171, стр. 110.

Николай Меркатор (не следует смешивать с жившим за сто лет до него Гергардтом), родился в 1640 г. в Гольштейне. Он был членом Королевского общества и умер в 1677 г. Особенное влияние на его математические исследования оказала „Arithmetica Infinitorum“ Валлиса (1655).

³ Из новейших исследований по теории рядов упомянем еще работы Поля дю-Буа-Реймонда, поскольку они опубликованы в остальдовской серии P. du Bois-Reymond, Ueber unendliche und trigonometrische Reihen, т. 185 остальдовской серии классиков P. du Bois-Reymond, Über die Darstellung der Funktionen durch trigonometrische, т. 186 остальдовской серии классиков.

Pappus V. 2.

Первой изопериметрической задачей, которой занялся Иоганн Бернулли, была задача о брахистохроне, т. е. о линии скорейшего падения¹. Иоганн Бернулли формулировал проблему в следующих словах: «Требуется соединить две точки, находящиеся на различных расстояниях от земной поверхности и не расположенные на одной вертикали, такой кривой, чтобы падающее по ней в силу своей тяжести тело пришло из вышележащей точки в нижележащую в кратчайшее время». После того как он сам нашел решение, он, в соответствии с тогдашним обычаем, предложил разрешить ее «проницательнейшим математикам всего земного шара». Лейбницу это удалось сделать еще в тот же день, в который он узнал о ней. Точно так же решили задачу Ньютон и Яков Бернулли, нашедшие, что искомой кривой является циклоида. Это было тем более поразительно, что Гюйгенс в свое время нашел другое свойство циклоиды, согласно которому падающее по ней тяжелое тело всегда приходит в нижнюю ее точку в одно и то же время, независимо от того, какова была начальная точка падения. На этом основании Гюйгенс назвал эту кривую «таутохроной». Так, говорит в сообщении о своем решении Иоганн Бернулли², неожиданно было найдено совершенно новое свойство у кривой, исследованной столь многочисленными математиками, что изучение ее, казалось, не могло дать ничего нового.

ОСНОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

На заложенном творцами высшего анализа фундаменте оба старших Бернулли воздвигли в первую очередь здание дифференциального и интегрального исчисления.

В 1691 и 1692 гг. Иоганн Бернулли составил извлечение из своих лекций о методах интегрального исчисления³. Сочинение его по дифференциальному исчислению, повидимому, пропало. Благодаря Иоганну и Якову Бернулли созданный Лейбницем метод бесконечно малых быстро приобрел права гражданства.

После некоторых замечаний общего характера Иоганн Бернулли начинает с квадратуры площадей и с спрямления кривых. Вслед затем он обращается к разбору физико-механических проблем, как, например, к впервые подробно исследованной Чирнгаузенем каустике и к цепной линии. Позднее Даниил Бернулли старался посредством этого нового метода осилить трудные механические проблемы, которые не поддавались разрешению при помощи геометрического метода, употреблявшегося Гюйгенсом и даже еще Ньютоном в его «Началах». Даниил Бернулли должен поэтому считаться главным основателем той отрасли знания, которую называют математической физикой. Он ввел в механику принцип сохранения силы, встречающийся в за-

¹ Исследование по вариационному исчислению: Ostwalds Klassiker, т. 46, стр. 3—16, W. Engelmann, 1894.

² Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, т. 46, стр. 14—20, Leipzig, W. Engelmann, 1894.

³ См. Johann Bernoulli, Die erste Integralrechnung. Перевод с латинского на немецкий Г. Ковалевского, 194-й томик оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг, Энгельман. 1914.

родыше уже у Гюйгенса в его исследованиях о сложном маятнике; в своих работах о движении жидких тел он использовал последовательным образом этот принцип (Гидродинамика, 1738)¹. Гюйгенс высказал указанный принцип в такой форме, что свободно падающее тело, как бы ни изменяли направление его движения, может снова подняться только до первоначальной высоты, ибо следствие равно причине. На этом основании Гюйгенс оспаривал также возможность *perpetuum mobile*. Даниил Бернулли² предчувствовал великое значение принципа сохранения энергии, но только в XIX в. удалось доказать этот принцип во всей его всеобщности и построить на нем все естествознание.

К числу тех проблем механики, которыми занимался XVIII в., принадлежал также вопрос о свободном падении и бросании тел. Правда, еще Галилей построил теорию этих видов движения, положив тем самым начало новой эре в механике; но в своих исследованиях он отвлекался от одного очень существенного фактора — сопротивления воздуха — не потому, впрочем, что ему не было известно его важное значение, а потому, что в силу тогдашнего состояния науки он был вынужден поставить себе это ограничение.

Впервые закон сопротивления, оказываемого движущимся телам жидкостями и газами, установлен был Ньютоном. Он пришел к тому, что для данного тела сопротивление среды пропорционально квадрату скорости тела. По инициативе Ньютона были произведены опыты для проверки этого закона. Выяснилось, что он верен также для скоростей средней величины.

Иоганн Бернулли первый предпринял попытку определить траекторию, описываемую брошенным телом под влиянием сопротивления воздуха. Оказалось, однако, что математический анализ не в силах справиться с этой задачей и что приближенного решения баллистической проблемы можно было ожидать только от сочетания опыта и вычисления. Наиболее ценной в этом отношении была работа Робинса (Robins)³, которую Эйлер издал на немецком языке под названием «Новые принципы артиллерии»⁴. Робинс показал, что закон Ньютона справедлив только для малых скоростей и что при больших скоростях сопротивление возрастает значительно сильнее, чем это следует из указанного закона.

¹ *Hydrodynamica seu de viribus et motibus fluidorum commentarii*, 1738.

² Яков Бернулли (1654—1705), Иоганн Бернулли (1667—1748), брат предшествовавшего. Даниил Бернулли (1700—1802), сын Иоганна Бернулли.

Семейство Бернулли считается примером того, как может передаваться по наследству столь редко встречающаяся математическая одаренность. Но пример этот во всяком случае является единственным в своем роде. Восемь членов семейства Бернулли были выдающимися математиками; среди них столь часто упоминавшиеся выше трое известны как первоклассные математики. Бернулли были родом из Антверпена, из которого некий Яков Бернулли, спасаясь от преследований герцога Альбы, переселился во Франкфурт. Один из его внуков в 1662 г. стал гражданином города Базеля. Математическую кафедру Базельского университета в течение более ста лет постоянно занимал какой-нибудь из Бернулли.

³ *Robins, New Principles of gunnery*, London 1742.

⁴ Берлин, 1745.

Чтобы определить скорость снаряда в любой точке его траектории, Робинс построил свой «баллистический маятник». Очень тяжелое тело подвешивалось таким образом, что оно в состоянии было раскачиваться. Выстрелив в это тело ядром, можно было по весу, размерам и отклонениям маятника вычислить на основании законов удара скорость ядра. Действительно, после удара маятник, имевший массу M , и ядро, имевшее массу m и двигавшееся в момент столкновения со скоростью v , обладают одинаковой скоростью V . Но по законам удара

$$mv = (M + m)V.$$

Из этого следует, что

$$v = \frac{(M + m)V}{m}.$$

После Бернулли и Робинса теоретическая и опытная физика продолжали заниматься вопросом о влиянии сопротивления, оказываемого движению жидкостями и газами, но в силу большой сложности подлежащих учету обстоятельств вопрос и до сих пор не разрешен окончательным образом.

Еще больше, пожалуй, чем Даниил Бернулли, сделал Эйлер. Леонард Эйлер родился 15 апреля 1707 г. в Базеле и был учеником занимавшего там профессорскую кафедру Иоганна Бернулли. По рекомендации Даниила Бернулли 20-летний Эйлер был приглашен в С.-Петербургскую академию наук. Необыкновенные математические способности Эйлера характеризует следующий факт. Когда понадобилось вычислить некоторые астрономические таблицы, математики при академии заявили, что им нужен для этого срок в несколько месяцев; Эйлер же предложил изготовить таблицы в три дня и сдержал свое слово. Он, однако, жестоко поплатился за этот успех: вследствие болезни, вызванной переутомлением, он потерял один глаз. В 1741 г. Фридрих Великий письмом, написанным в военном лагере, пригласил Эйлера в Прусскую академию наук. Эйлер затем целых 25 лет работал над дальнейшим развитием новейшей математики, оставаясь украшением этого созданного прусскими королями в их резиденции учреждения. При этом великий человек развил беспрецедентную продуктивность. В одних лишь Ежегодниках Берлинской академии он опубликовал 121 работу, причем некоторые из этих работ были весьма обширны². После смерти Мопертюи Эйлер стал президентом академии. Но в конце концов началась склока, побудившая Эйлера порвать отношения с Берлинской академией и, следуя предложению Екатерины Второй, возвратиться в Петербург. Место его в Берлинской академии занял достойный преемник — Лагранж. Несмотря на то, что вскоре после этого Эйлер совершенно ослеп, его научная деятельность не ослабела. Еще за несколько часов до своей

¹ Эта формула действительна лишь, если считать наш маятник простым.

² Всего насчитывается около 700 опубликованных Эйлером работ. Наряду с этим он написал 45 томов самостоятельных трудов. Полное собрание сочинений Эйлера заключало бы около 2000 печатных листов.

смерти, последовавшей 7 сентября 1783 г., он занимался вычислением движения воздушного шара, изобретенного в том же году.

Прежде чем обратиться к работам Эйлера в области математической физики и астрономии, мы познакомимся с ним как с математиком, ибо математиком он был в первую очередь. Не существует ни одной отрасли чистой математики, в которой ему не принадлежали бы крупнейшие достижения¹.

Эйлер завершил работу, начатую еще Вьетой, и создал из алгебры «международную математическую стенографию»². В своем «Введении в анализ бесконечного», вышедшем в 1748 г.³, он дает подробное описание кривых, определяемых общим уравнением второй степени. Содействуя этим дальнейшему прогрессу аналитической геометрии, он, с другой стороны, понимал необходимость освобождения высшего анализа от стесняющих его геометрических оков и преобразования его в самостоятельную дисциплину. Далее, одной из крупнейших заслуг Эйлера является то, что ему удалось дать в первых главах «Introductio» строгое определение понятия функции, того понятия, которое справедливо причисляется к важнейшим созданиям новой математики⁴. Продолжая работы Бернулли над изопериметрическими проблемами, Эйлер создал особую отрасль высшего анализа — вариационное исчисление.

В то время как Иоганн Бернулли уверял, будто было бы довольно безнадежной затеей искать общий метод разрешения изопериметрических проблем, Эйлер сделал первые шаги на пути создания «метода определения кривых, которым какое-нибудь свойство присуще в наибольшей или наименьшей степени». Избранные главы из объемистого труда Эйлера, посвященного рассматриваемому вопросу, недавно были опубликованы в немецком переводе⁵. Более подробное изложение содержания этого капитального сочинения Эйлера, называемого обычно «Methodus inveniendi», здесь неуместно⁶. Заметим только, что применяемый Эйлером метод по существу геометрический, благодаря чему исследование более простых случаев становится чрезвычайно ясным и наглядным. Свой метод Эйлер назвал вариационным исчислением, формулировав задачу его в следующих словах: «Вариационное исчисление представляет собой метод для

¹ „Введение в анализ бесконечного“ Эйлера и его „Введение в дифференциальное и интегральное исчисление“ до сих пор считаются превосходными учебниками высшей математики. Как ни много было написано с того времени книг об этом предмете, но почти все они в большей или меньшей степени являются вариантами на тему, разработанную Эйлером (Ф. Радно в работе L. Euler, стр. 16).

² T r o p f k e, Geschichte der Elementarmathematik, t. 1, стр. 127.

³ Introductio in analysis infinitorum.

⁴ H. Hankel, Die Entwicklung der Mathematik in den letzten Jahrhunderten, стр. 15.

⁵ P. Stäckel в 46-м томе киевской серии классиков точного знания, Лейпциг 1894. Сочинение Эйлера появилось в 1744 г. Полное заглавие его таково: Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes sive solutio problematis isoperimetrical latissimo sensu accepti.

⁶ Изложение содержания его дает Кантор в III томе своей „Geschichte der Mathematik“, стр. 830—840.



ЛЕОНАРД ЭЙЛЕР

1707—1783

определения тех изменений, которые претерпевает составленное из любого количества переменных выражение при изменении всех или только одной из переменных»¹.

В приложении к книге «Methodus inveniendi» Эйлер более подробно освещает значение заключающихся в ней идей для разрешения проблем физики. Он утверждает, что «в природе не происходит ничего, в основе чего не лежало бы какое-нибудь свойство максимума или минимума». Из этого для исследования получаются два метода: первый — непосредственного исследования, второй — косвенного. Каждый из них подкрепляет собой другой, что гарантирует высокую степень достоверности полученных результатов. Если, например, требуется определить кривизну подвешенной за оба конца веревки, то, с одной стороны, это можно сделать прямым путем, исследовав то влияние, которое оказывает на веревку сила тяжести. Но, с другой стороны, можно воспользоваться методом наибольших и наименьших величин и определить с его помощью, какую форму должна принять веревка для того, чтобы ее центр тяжести занял возможно более низкое положение. Пользуясь обоими способами, мы получим одну и ту же кривую, именно цепную линию, очень похожую на параболу².

От цепной линии, в случае которой упругость не играет никакой роли, математики перешли к исследованию тех кривых, формы которых принимают под действием сил упругий стержень. Возникающие при этом фигуры были известны уже давно. Всякому, например, знакома изображенная на рис. 116 фигура, форму которой принимает закрепленная в точке B пластинка из китового уса или же стали, если на ее концы A и C будут действовать две силы в направлениях AD и CD .

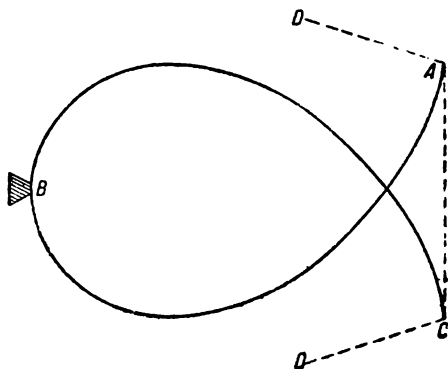


Рис. 116. Одна из исследованных Эйлером кривых упругости.

От исследования кривых упругости, в котором также играет роль теория наибольших и наименьших значений, перешли к изучению колебаний упругих стержней. Даниил Бернулли первый серьезно занялся этими проблемами. Если колебательное движение происходит достаточно быстро, то оно порождает звук, свойства которого можно исследовать при помощи опытов. Поэтому оказалось возможным на основании физических изысканий подтвердить результаты математического анализа и глубже познать природу упругих тел.

¹ Leonhard Euler, Vollständige Anleitung zur Integralrechnung. Ausgabe von Salomon, т. 3, стр. 392.

² О проблеме цепной линии у Галилея, который еще не был в состоянии разрешить ее, у Гюйгенса, Лейбница, а также братьев Бернулли, см. стр. 59; примечание 1.

Исследованиями в этой области мы также обязаны главным образом Эйлеру. Эйлер при этом проводил различие между разными случаями, например между колебательным состоянием упругого стержня, закрепленного на одном конце, или же стержня, закрепленного на обоих концах. В этих исследованиях, далее, Эйлер рассматривал отдельно колебания тел, становящихся упругими лишь после их натяжения (упругие струны), и колебания самих по себе упругих стержней¹. Возникающие при этом звуки были подвергнуты Хладни (Chladni) в его «Акустике»² особенно глубокому исследованию, причем оказалось, что результаты опыта находятся в достаточном согласии с полученными Эйлером математическим путем выводами.

Одна из самых ранних работ Эйлера в области прикладной математики относится к данной Ньютоном теории морских приливов и отливов³. Парижская академия наук, сознавая важность этого вопроса, организовала в начале XVIII в. многочисленные наблюдения над приливами в французских портах. При этом оказалось, что эти наблюдения только отчасти могли быть объяснены по теории Ньютона. Поэтому академия в 1740 г. объявила конкурс на премию по этому вопросу. В числе работ, получивших премию, находились также исследования Эйлера и Бернулли. На основах, созданных Ньютоном, удалось при помощи высшего анализа ввести в расчет некоторые обстоятельства, играющие роль при приливах и отливах, вследствие чего, например, получилась возможность определить отставание приливной волны от кульминации Луны.

Эйлеру удалось также разрешение второй, очень важной для мореплавания, задачи, над которой безуспешно трудился в последние годы своей жизни Галилей: задачи об определении долготы. Галилей и древние ученые клали в основу своих вычислений известные астрономические явления, как, например, затмения спутников Юпитера или же гораздо более редкие лунные затмения. Еще до Галилея появились новые предложения, осуществление которых должно было привести к окончательному решению задачи, остававшейся так долго неразрешенной. Так как Луна благодаря своему обращению вокруг Земли быстро изменяет свое место, то расстояние этого светила от определенных неподвижных звезд, меняющееся непрерывно с минуты на минуту, может служить для сравнения местных времен и таким образом для определения долготы. Для этого требуется лишь таблица, которая давала бы для определенного места Земли расстояние Луны от неподвижных звезд для каждого дня, часа и минуты. Если потом в этом месте, где желают определить долготу, соответствующее расстояние Луны от данной звезды наблюдается в другое время дня, то из разницы этих времен можно вычислить разницу долгот⁴. Другой

¹ L. Euler, Von den elastischen Kurven, 1744. Работа эта переиздана в 175-м томе киевской серии классиков точного знания.

² См. ниже стр. 350.

³ См. стр. 227.

⁴ Этот метод рекомендуется уже Апианом (1495—1552) в его „Космографии“ (§ 5).

метод¹ основывается на употреблении точных хронометров, которые во все время путешествия указывают местное время пункта, служащего исходной точкой при определении долготы. К осуществлению этих двух предложений стали усиленно стремиться после того, как английский парламент назначил премию в 20 000 фунтов за практическое разрешение задачи определения долготы.

Так как движение Луны зависит от сил притяжения Земли и Солнца, то определить его было гораздо труднее, чем движение планет. Еще во времена Ньютона ошибка при предсказании лунного затмения составляла иногда час и даже более. Геттингенский астроном Тобиас Майер (Mauser) на основании вычислений Эйлера² и собственных наблюдений составил в середине XVIII в. лунные таблицы³, годившиеся для определения долгот. Вдова Майера и Эйлер получили поэтому часть премии.

Довольно точный хронометр изготовлен был в 1758 г. часовых дел мастером Джоном Гаррисоном. После путешествия, длившегося четыре месяца, ошибка этого хронометра составляла всего лишь около двух минут. При дальнейшем усовершенствовании хронометра эта ошибка была еще более уменьшена, после чего Гаррисон получил половину суммы, назначенной парламентом. Чтобы колебания температуры не могли влиять на длину маятника, Гаррисон изготовил по методу Грегга (Graham) компенсационный или уравнильный маятник, соединив для этой цели металлы с различными коэффициентами расширения (латунь и железо). Грегг (1675—1751) изобрел для этой цели так называемую ртутную компенсацию.

К числу сложных задач, поддающихся разрешению только при посредстве высшего анализа, относятся звуковые явления. Эйлер не только исследовал колебания струн и стержней⁴, но и определил пределы слышимости звуков. Эти пределы согласно его опытам соответствуют 20 и 7 000 колебаниям в секунду. Вообще Эйлер много сделал для научной разработки музыки. Впрочем, еще значительно ранее (около 1700 г.) пытался превратить музыку в предмет научного исследования Совер (Sauveur)⁵. У Совера мы встречаем уже тот взгляд, которого впоследствии придерживался и Эйлер — именно, что явление консонанса сводится к простому отношению чисел колебаний обоих тонов, легко воспринимаемому органом слуха. Согласно Соверу, тоны, числа колебаний которых находятся в отношении 5 : 6, уже не будут давать созвучия. Отношение 5 : 6 он считает границей консонанса.

Главная заслуга Совера состояла в том, что он в своих музыкально-акустических исследованиях стремился проводить повсюду количественный метод. Совер далее заметил уже, что колеблющаяся

¹ Предложенный Геммой Фризиусом (Gemma Frisius, 1508—1555).

² *Novae et correctae tabulae ad loca Lunae computanda*, Берлин 1746.

³ *Novae tabulae motuum Solis et Lunae*, 1752.

⁴ См. стр. 329.

⁵ E. Mach, *Zur Geschichte der Akustik* (E. Mach, *Vorlesungen*, IV, Leipzig, J. A. Barth, 1896). Работы Совера по акустике опубликованы в „*Mém. de Paris*“ от 1701 г.

струна издает еще, кроме своего основного тона, обертоны. Это явление вызывается тем, что струна может колебаться либо вся целиком (рис. 117, I), либо же так, что колебания испытывают только отдельные ее части (рис. 117, II), либо она может колебаться одновременно и вся целиком и в отдельных своих частях (рис. 117, III).

Возникающие таким образом более высокие тоны называются дополнительными тонами или обертонами. Устранить их можно лишь при помощи специальных приспособлений. Обычно колебательное состояние бывает типа III. Указанное явление было открыто еще в 1674 г.¹, но Совер открыл его независимым образом и исследовал более тщательно². В своих исследованиях Совер пользовался монохордом. Заставив сперва струну издать свой основной тон, он затем прикасался к ней в некоторых определенных местах. Если прикосновение имело место в точке b , то он получал октаву, если в точке c , то была слышна вторая октава. Для изучения форм колебательного движения Совер применил и ныне еще употребительный метод. Он насаживал,

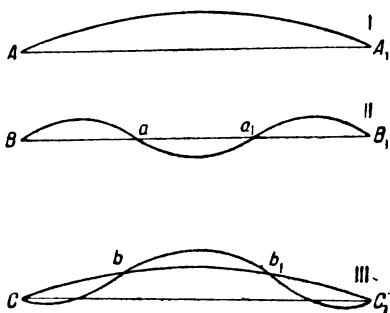


Рис. 117. Колеблющиеся струны.

например, на струну в точках b , c , c' черных бумажных «гусариков», а в точках, расположенных между ними, — белых (рис. 117а). Когда он затем вызывал звучание струны, прикасаясь к ней в точке c , то черные «гусарики» оставались на месте, тогда как белые соскакивали. Точки b , c , c' , оставшиеся в покое, Совер назвал узлами, колеблющиеся же между ними части струны — пучностями. Этими обозначениями пользуются и по настоящее время.

Совер не только изучил явление обертонов (назначение которых при возникновении того, что мы называем тембром, указал впослед-

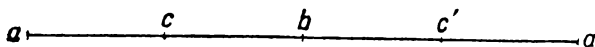


Рис. 117а.

ствии Гельмгольца), но дал также научное объяснение явлению, известному под именем «биений». Органным мастерам давно уже было известно, что когда играют на двух трубах, тоны которых лишь незначительно разнятся между собой, то ухо воспринимает через неправильные промежутки времени своеобразные толчки. Совер объяснял появление этих толчков (он назвал их *battements* — ударами) сложе-

¹ Ноблем (Noble) и Пиго (Pigot), сделавшими о своем открытии сообщение в „Philos. Transactions“ от 1677 г.

² Декарт, переписывавшийся с Мерсенном о формах колебательного движения струн, подозревал уже, что колебания происходят и в отдельных частях струн и что эти колебания оказывают влияние на тон, издаваемый струной.

нием колебаний, которое и проявляется всякий раз в усилении звука. Если, например, какой-нибудь звук состоит из десяти колебаний в некоторую единицу времени и если одновременно с ним слышится другой звук с десятью колебаниями в ту же единицу времени, то всякий раз по истечении указанного времени будет происходить суммирование колебаний. В этот момент звук будет наиболее сильным, затем он будет снова ослабевать, чтобы по истечении того же промежутка времени опять усилиться. Совер воспользовался этим явлением для определения числа колебаний некоторого звука: он вызывал его звучащие одновременно с другим тоном, число колебаний которого ему было известно, и затем определял количество возникающих в секунду биений¹.

ЭЙЛЕРОВА ТЕОРИЯ ЭФИРА

Благодаря сведению акустических процессов к колебаниям упругих тел и средин должна была явиться надежда на успешное завершение предпринятой уже Гюйгенсом попытки объяснить аналогичным образом световые явления. И вот Эйлер начинает усердно работать над тем, чтобы установить аналогитю между звуковыми и световыми явлениями. Вскрыв все недостатки эмпирической теории Ньютона, которую он считал противоречащей здравому смыслу, он развил свои собственные взгляды насчет эфира и света. Подобно Гюйгенсу, Эйлер исходил из предположений, что небесное пространство заполнено крайне тонкой материей — эфиром. Эфир представляет собой жидкость, как и воздух, но несравненно более тонкую, так как небесные светила движутся в нем, не испытывая заметного сопротивления. Далее, эфир обладает способностью расширяться во всех направлениях и заполнять всякое пустое пространство. Вследствие этого он не только находится в небесном пространстве, но пронизывает земную атмосферу и проникает в поры всех земных тел.

Так как воздух обладает способностью воспринимать колебания звучащих тел и распространять их по всем направлениям (в этом состоит, ведь, звук), то, естественно, что при аналогичных условиях эфир станет воспринимать колебания и распространять их по всем направлениям, притом на гораздо большие расстояния. Эти колебания эфира и вызывают, по Эйлеру, свет. И подобно тому как от колокола, звон которого поражает наше ухо, не доходит до нас ничего вещественного, так не доходит до нас ничего материального и от Солнца. Поэтому нет никаких оснований опасаться того, что Солнце, посылая свет, теряет хоть малейшую часть своей субстанции. Кажущееся противоречие, заключающееся в том, что земные источники света явным образом убывают, Эйлер совершенно правильно объяснял тем, что эти источники не только светят, но испускают также дым и испарения. Если бы можно было, замечает Эйлер, уничтожить этот дым и эти

¹ Если, например, имелся звук с 36 колебаниями в секунду и если он, вместе с другим, несколько более высоким звуком давал 4 биения в секунду, то согласно вышеприведенному примеру второй звук обладал 40 колебаниями. Отметим еще то любопытное обстоятельство, что Совер был совершенно немусыкален и свои исследования мог производить только в сотрудничестве с музыкантами.

испарения, то простое испускание света не повлекло бы за собой уменьшения вещества источника. В качестве доказательства Эйлер ссылается на тот факт, что встряхиваемая в безвоздушной трубке ртуть начинает светиться, нисколько не теряя в своем веществе.

Эйлер сомневался в том, что когда-нибудь удастся определить число колебаний эфира. Солнечный свет кажется белым потому, что он состоит из эфирных колебаний любой численности. В случае преломления белый свет расщепляется на волны различной длины, порождающие после своего разделения простые цвета. Чтобы объяснить цвета тел, Эйлер прибегает к сравнению частиц тел с натянутыми струнами. Струны приводятся в колебания звуками, соответствующими их основному тону; в таком же отношении к колебаниям эфира находятся частицы тел в зависимости от степени их упругости. Тело кажется нам красным, если частицы его делают определенное число колебаний, соответствующее красному свету. Тело кажется белым, если частицы его благодаря своему напряжению настроены на все колебания, содержащиеся в солнечном свете; оно кажется черным, если оно не отвечает ни на какие колебания солнечного света.

Из всего сказанного ясно, что Эйлер подошел очень близко к тому пониманию цветов, которое развилось впоследствии из волновой теории света. Но несмотря на всю ясность, с которой он изложил свои взгляды о природе света в письмах к одной немецкой принцессе¹, несмотря также на данное им в мемуарах Берлинской академии научное обоснование этих взглядов, ньютонова теория истечения осталась непоколебленной. Однако, если чисто теоретическая, спекулятивная борьба с ошибочной гипотезой не имела успеха, то впоследствии благодаря открытию новых фактов с нею было быстро покончено. Гипотеза, не согласовавшаяся с этими фактами, не могла более удержаться.

Эйлер исправил и другую ошибку Ньютона. Ньютон утверждал, что устранение хроматической аберрации невозможно, так как преломление света всегда якобы связано с рассеянием цветов. Под влиянием этого исследователи начали считать немыслимым усовершенствование рефракторов и обратились, по примеру Ньютона, к изготовлению по преимуществу рефлекторов, которые достигли к концу XVIII в. благодаря Вильгельму Гершелю высокой степени совершенства. Но в 1742 г. Эйлер показал, в противоположность Ньютону, что фактически наш глаз дает решение проблемы, считавшейся Ньютоном неразрешимой, ибо получающиеся на сетчатке изображения не обнаруживают хроматической аберрации. Так как при образовании изображений в глазу участвуют среды с различным показателем преломления — роговая оболочка, хрусталик, стекловидное тело, — то Эйлер пришел к мысли о необходимости соединить соответствующим образом со стеклом другое вещество, чтобы устранить таким образом явление рассеяния цветов. Эйлер для этого изготовлял свои объективы из стекла и воды (см. рис. 118)².

¹ См. Dannemann, Aus der Werkstatt, 3-е изд., раздел 34.

² Эйлер, Письма к одной немецкой принцессе, Лейпциг 1733, т. III, рис. на стр. 299.

Правда, метод этот представлял на практике трудности, но он все же свидетельствовал о правильности рассуждений Эйлера; действительно, хотя получавшиеся изображения и не обладали желательной отчетливостью, но они были зато свободны от хроматической аберрации.

Под влиянием этой работы Эйлера оптик Доллонд (Dollond)¹ пришел 10 лет спустя к мысли о том, чтобы заменить стекло и воду двумя сортами стекла с различными коэффициентами преломления. Сперва он изготовил призмы из кронгласа и флинтгласа с различными преломляющими углами. Испытывая действие таких призм, Доллонд получил комбинации, при которых не имело места рассеяние цветов, а свет в то же время преломлялся, хотя и в меньшей степени. Убедившись таким образом в осуществимости своей идеи, Доллонд

перешел к практическому выполнению ее. Он изготовил чечевицы из двух кусков стекла, из которых один состоял из кронгласа, другой из флинтгласа. И здесь путем проб и испытаний была установлена наиболее целесообразная комбинация. Так был изобретен ахроматический рефрактор, достигший благодаря сыну Доллонда и особенно (в начале XIX в.) благодаря Иосифу Фраунгоферу (Fraunhofer) такой степени совершенства, что он вытеснил господствовавший в течение XVIII в. рефлексор².

Эйлер занимался также одной важной проблемой прикладной механики. В 1750 г. Сегнер (Segner) изобрел названное по его имени водяное колесо³. Это побудило Эйлера развить «более совершенную теорию машин, приводимых в движение реакцией воды»⁴. Работы Сегнера и Эйлера имели основоположное значение для построения горизонтальных водяных колес (турбин). Только что упомянутая работа Эйлера считается еще и в настоящее время мало устаревшей⁵. Эйлер ставит себе в ней и решает задачу определить полезное действие гидравлической машины, построенной в расчете на определенную высоту падения воды и на определенный дебит ее. Далее, он показывает на ряде примеров, как можно вычислить для определенных условий максимальное полезное действие турбины.



Рис. 118. Объектив Эйлера, составленный из стекла и воды¹.

ОСНОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

В XVIII в. механика благодаря усилиям ряда ученых, начиная от братьев Бернулли и Эйлера, переходя через Даламбера и кончая великим аналитиком Лагранжем, получила на время свою окончатель-

¹ Родился в 1706 г. недалеко от Лондона.

² Еще в настоящее время имеется несколько рефракторов Доллонда, находящихся в обладании Петербургской академии наук. Доллонд изготовил их для русской экспедиции, имевшей целью наблюдение прохождения Венеры в 1769 г.

³ J. A. Segner (1704—1777), *Programma, quo theoriae machinae cujusdam hydraulicae praemittit*. Gött. 1750.

⁴ Вышла также в виде 182-го томика оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1911.

⁵ Ostwalds Klassiker, т. 182, стр. 71.

ную форму. Особенно крупную роль сыграл в этом Лагранж. Старшее, представленное Эйлером поколение довольствовалось решением многочисленных задач из разных отделов прикладной математики. Поэтому для каждой проблемы приходилось отыскивать особый путь и придумывать особые приемы, так что только самые крупные математики могли работать в области механики. Благодаря Даламберу и еще в большей мере Лагранжу этот недостаток был устранен, ибо они нашли общие теоремы, применимые к целым группам задач по механике. Даламбер начал это «оформление» механики, а Лагранж завершил его¹. Благодаря этой роли Даламбера мы позволим себе остановиться вкратце не только на его главном научном произведении, но и на его биографии, тем более, что его отношения к философским устремлениям эпохи просвещения представляют еще свой особый интерес.

Обстоятельства жизни Даламбера совершенно необычайны. Во время регентства пресловутого герцога Орлеанского на ступенях одной церкви нашли подкидыша, которого передали на воспитание жене ремесленника Аламбера. Только когда ребенок возмужал и прославился под именем Даламбера, была приподнята завеса, скрывавшая его происхождение. Оказалось, что его мать была светской дамой, салон которой посещали выдающиеся писатели, видные военные и духовные лица, среди которых был, между прочим, будущий папа Бенедикт XIV. 12 лет от роду Даламбер поступил в колледж. Он изучал богословие, юриспруденцию и медицину, пока, наконец, не посвятил себя окончательно философии и математическим наукам. Даламбер стал впоследствии членом Парижской и Берлинской академий. Не соблазнившись блестящими предложениями Фридриха Великого и Екатерины Второй, он остался во Франции, где и умер в 1783 г.

Основоположный «Трактат по динамике» Даламбера был опубликован им, когда ему было 26 лет от роду (1743)². Работа эта представляет собой крупную веху в развитии механики, ибо она дала для динамики такой же основной простой принцип, каким является в статике принцип виртуальных скоростей.

Для вывода принципа Даламбера надо обратиться к проблеме сложного маятника. Последний представляет собой, очевидно, находящийся в движении рычаг. Как известно, силы, действующие на каждую материальную точку такого рычага, можно разложить на две группы, из которых силы одной группы взаимно уничтожают друг друга, не давая таким образом ничего для движения, между тем как силы другой группы, в противоположность «потерянным», взаимно уравновешивающимся силам первой группы, сообщают системе движение. Материальная точка, в которой не происходит ни потери, ни выигрыша, представляет собой известный нам из предыдущего изложения центр качания. В качестве типичного случая для изложения

¹ Dühring, Prinzipien der Mechanik, стр. 162.

² „Трактат по динамике“ (Traité de dynamique) Даламбера переведен на немецкий язык и издан в качестве 106-го томика оствальдовской серии классиков точного знания, А. Корном (Leipzig, W. Engelmann, 1899).

своего принципа Даламбер берет закрепленный на одном конце стержень, на котором привешены в разных местах различные тела, иначе говоря — берет систему, которую тоже можно рассматривать как сложный маятник или как находящийся в движении рычаг. Затем он разлагает — подобно тому, как это сделал уже до него Яков Бернулли при исследовании сложного маятника — действующие силы на силы уравновешивающиеся и силы, вызывающие движение. В этом подходе к вопросу и заключается сущность даламберова принципа, который в общем виде можно формулировать следующим образом: если системе материальных точек или тел сообщаются движения, испытывающие под влиянием взаимной связи точек или тел некоторое изменение, то результирующие движения получаются таким образом: сообщенное каждому телу движение надо разложить на два других движения $a, \alpha; b, \beta; c, \gamma, \dots$ такого рода, что если бы сообщить телам только движения a, b, c, \dots , то они могли бы сохранить эти движения, не мешая друг другу, а если бы им сообщить только движения $\alpha, \beta, \gamma, \dots$, то система осталась бы в покое. В таком случае a, b, c, \dots представляют собой движения, которые примут эти тела под влиянием своего взаимодействия.

Даламбер дал в третьей главе своего труда многочисленные приложения своего принципа¹. Ему удалось, далее, свести к этому принципу динамику жидкостей². Даламбер придерживался распространенного в его время взгляда, что принципы механики доказуемы. Но приводимые им мнимые доказательства сводятся по существу лишь к утверждению, что рассматриваемое положение истинно, ибо для противоположного суждения нет достаточного основания. Однако сомнения насчет характера принципов механики выразились уже в поставленной тогда на конкурсе Берлинской академией задаче на тему о том, «обладают ли законы механики необходимой или только эмпирической достоверностью». Согласно принципу Даламбера задачи динамики сводятся, очевидно, к задачам статического характера и приобретенному при исследовании их опыту. Принцип этот не делает вовсе излишним опыта. Он обладает «значением готового шаблона» для удобного решения разного рода задач; способствует «не столько теоретическому анализу процессов, сколько практическому одолению их»³.

Прежде чем перейти к рассмотрению дальнейшего развития физики, мы остановимся на деятельности того человека, который занял место Эйлера и продолжал дело этого гениального математика. Мы говорим о Лагранжи. Ему и Эйлеру удалось заменить во всех отраслях чистой и прикладной математики синтетические приемы прежних веков чисто аналитическими методами.

Лагранж и в служебном и в научном отношении является преемником Эйлера. После ухода Эйлера (1766 г.) он стал членом Прусской академии наук и жил до смерти Фридриха Великого (1786 г.) в Берлине. Трудно было найти лучшего заместителя

¹ Ostwalds Klassiker, т. 106, стр. 71 и сл.

² D'Alembert, Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides. Paris 1744

³ E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung, 1883, стр. 335.

Эйлера. Для дела дальнейшего развития механики Лагранж сделал не меньше, чем Эйлер, и Прусская академия наук может гордиться тем, что почти в течение полувека ее членами были оба величайших теоретика этой науки.

На примере Пруссии Фридриха Великого можно убедиться в том, какое огромное значение для прогресса наук имеет помощь со стороны государства. В царствование грубого, лишенного всякого научного интереса отца Фридриха II Прусская академия, в которой в дальнейшем течении XVIII в. билась могучая духовная жизнь, влачила жалкое существование. Для ученых своей страны король не знал ничего кроме насмешек. Пруссия, несомненно, отстала бы на пути культурного и политического прогресса, если бы отношение к науке продолжало и дальше быть таким, как в эпоху Фридриха-Вильгельма I. Но его великий сын с лихвой наверстал то, чего не сделал Фридрих-Вильгельм I. И достиг он этого не только предоставлением материальных средств для научных исследований, но главным образом личным участием и постоянной благосклонностью к ученым, а также и защитой их от всяческих реакционных поползновений. Если принять во внимание сделанные в эпоху Фридриха Великого открытия и труды математиков, астрономов, физиков, химиков, анатомов и ботаников, членов Прусской академии наук, то надо согласиться с утверждением историка этого учреждения¹, что никакая другая академия не сделала в то время большего в области естествознания. Не следует, однако, забывать, что самыми выдающимися членами Берлинской академии были иностранцы. Но вернемся к Лагранжу.

Иосиф-Луи Лагранж родился 25 января 1736 г. в Турине. Отец его был родом из Франции. В Турине материальное положение его оказалось столь тяжелым, что молодой Лагранж, младший из 11 детей, должен был с ранних лет начать жить самостоятельно. Впоследствии Лагранж неоднократно благословлял это обстоятельство, говоря, что если бы он не испытывал нужды в молодости, то не полюбил бы математики и, может быть, вообще не познакомился бы с ней. 19-ти лет от роду Лагранж был уже преподавателем математики в одной артиллерийской школе, где часть учеников была старше его. С Эйлером и Даламбером Лагранж познакомился благодаря тому, что он, подобно двум названным великим математикам, занимался столь сильно интересовавшей тогда научный мир проблемой колебаний струн. Но знаменитостью стал Лагранж, когда 28-ми лет от роду (1704 г.) он получил большую математическую премию Парижской академии за работу о либрации Луны². При этом исследовании он впервые применил принцип виртуальных скоростей³, поставленный им затем во главу угла аналитической механики. В Берлин Лагранж попал благодаря Даламберу, которого Фридрих Великий тщетно просил занять место Эйлера. После смерти великого короля один прусский министр до того отравил жизнь Лагранжу в Берлине, что он вернулся в Париж, где благодаря содействию королевы ему дано было

¹ Harnack. Geschichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften.

² См. стр. 43 настоящего тома.

³ См. стр. 60 настоящего тома.

помещение в Лувре. В Париже он опубликовал в 1788 г. свой главный труд «Mécanique analytique». Так как Лагранж не выступал в общественной жизни, то бури революционного времени мало коснулись его. В течение этой эпохи он был профессором Ecole Polytechnique и членом комиссии, которой поручено было в 1792 г. установление новой системы мер. Наполеон, величайший в истории покровитель точных наук, осыпал его почестями и назвал его полушутя, полувосхищаясь им: «La haute pyramide des sciences mathématiques» (хеопсовой пирамидой математических наук). Лагранж умер 10 апреля 1813 г. и был похоронен в Пантеоне. Значение его для науки Лаплас охарактеризовал в некрологе в следующих выражениях: «Подобно Ньютону, Лагранж обладал в высшей мере счастливым искусством открывать общие принципы, составляющие сущность науки. Искусство это он сочетал с редким изяществом в развитии самих абстрактных теорий».

УСПЕХИ МАТЕМАТИКИ

Мы займемся сперва рассмотрением того, что сделал Лагранж для развития чистой математики. В этой области он продолжал работу семейства Бернулли и Эйлера. Мы лишь упомянем о дополнениях Лагранжа к «Элементам алгебры» Эйлера. Они относятся к области неопределенного или диофантова анализа, которому Эйлер посвятил последнюю часть своего труда. Эти исследования относятся к чистой математике и лишь слабо связаны с развитием естествознания. Но в новейшее время они явились основой для теории алгебраических чисел и поэтому недавно были переведены на немецкий язык¹.

Неопределенными уравнениями Лагранж занимался также в работе от 1768 г., имевшей основоположное значение для этой области математики². Рассматриваемая здесь задача заключается в том, чтобы найти решение в целых числах всех неопределенных уравнений второй степени с двумя неизвестными. Попытки решать подобные уравнения делались уже давно. Ферма нашел решение их, но он не сообщил своего метода. Лагранжу суждено было найти общий метод и доказать, что подобные уравнения всегда имеют целочисленные решения. Так как всякое уравнение второй степени с двумя неизвестными можно свести к простой форме $A = x^2 + By^2$, то проблема была решена в общем виде.

Примыкая опять-таки к Эйлеру, Лагранж развил теорию дифференциальных уравнений с частными производными. Если продифференцировать уравнение $y = f(x)$, то из получившегося дифференциального уравнения можно при помощи интегрирования восстановить первоначальное уравнение. Но подобное интегрирование возможно не для любого дифференциального уравнения. Надо было поэтому найти

¹ Лагранж, Дополнения к эйлеровым началам алгебры. Вышли под редакцией А. Эттингена и Г. Вебера в виде 103-го томика оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1898.

² Лагранж, О решении неопределенных уравнений второй степени; сделанный под ред. Е. Непто немецкий перевод работы Лагранжа вышел в виде 146-го томика оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпц. г 1904.

признак интегрируемости дифференциального уравнения, — задача, решенная Эйлером для уравнений первого порядка уже в 1734 г. Впоследствии он с успехом распространил свои исследования на дифференциальные уравнения высшего порядка. Но все же Эйлер не установил общей теории интегрирования дифференциальных уравнений, ограничившись решением многочисленных частных случаев. Общее решение проблемы было дано Лапласом и математиками XIX в. (Пфаффом, Коши и др.).

Работы Лагранжа, двинувшие вперед учение об интегрировании дифференциальных уравнений, относятся к периоду 1772—1785 гг. Его исследование от 1772 г. «Об интегрировании дифференциальных уравнений с частными производными первого порядка» было переведено недавно и на немецкий язык¹. Но исчерпывающий метод интегрирования линейных дифференциальных уравнений в частных производных с любым числом переменных Лагранж дал лишь 7 лет спустя, после того как он обратился к изучению этой выдвинутой Эйлером проблемы.

Вместе с Лагранжем начинается также новая эпоха в исследовании задач на *maxima* и *minima*. Заслуга Лагранжа здесь заключается в том, что он применил к решению этих проблем аналитические методы, между тем как Бернулли и Эйлер пользовались преимущественно геометрическими приемами. Метод Лагранжа заключался в тесном соединении дифференциального и интегрального исчисления и получил от Эйлера название «вариационного исчисления». Основоположная для этой отрасли высшего анализа работа Лагранжа появилась в 1762 г.²

Мы уже раньше³ указывали на тянувшийся еще с древности интерес к изопериметрическим проблемам⁴ и отметили, что сделал в этой области Ферма. В течение XVIII в. задачами этого рода занимались прежде всего члены семейства Бернулли и Эйлер. В своей составившей эпоху работе от 1762 г. Лагранж дал общее решение задачи о том, чтобы найти для подинтегрального выражения SZ , в котором Z означает определенную функцию переменных x , y , z и их дифференциалов, такое связывающее эти переменные отношение, при котором SZ становится максимумом или минимумом. Свой метод он иллюстрирует затем на проблеме брахистохроны, кривой, игравшей особенную роль в истории математики, потому что она явилась исходным пунктом исследований Бернулли об изопериметрических проблемах⁵.

Упрощение и усовершенствование вариационного исчисления Лагранж дал в одной работе от 1770 г.⁶, а главным образом в своей

¹ Вышло в переводе Г. Ковалевского в виде 113-го томика оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1900.

² Лагранж, Опыт нового метода нахождения максимумов и минимумов неопределенных интегралов. Немецкий перевод этой работы под редакцией П. Штекело вышел в 47-м томике оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1894.

³ См. стр. 134 настоящего тома.

⁴ Другое выражение для обозначения задач на *maxima* и *minima*.

⁵ См. выше стр. 324.

⁶ Лагранж, О методе вариации, 1770. См. 47-й томик оствальдовской серии.

«Аналитической механике» (1788 г.). Лежандр (Legandre), а после него Якоби (Jacobi) сделали также многое для дальнейшего развития этого, столь важного для математической физики метода¹.

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Лагранжу суждено было систематизировать механику и путем комбинирования принципа виртуальных скоростей с принципом Даламбера вывести то уравнение, которое он сам называл основной формулой динамики, ибо ею «определяется движение любой системы тел»². Благодаря этому «*Mécanique analytique*» Лагранжа стала тем фундаментом, на котором воздвиглось здание современной механики, и приобрела почти такое же значение, какое имели для предшествующего периода «Начала» Ньютона. Однако между Ньютоном и Лагранжем имеется существенное различие, заключающееся в том, что Ньютон получал свои теоремы геометрическим (синтетическим) путем, между тем как Лагранж и его предшественник Эйлер ввели в механику аналитический или числовой метод. Эти аналитики стремились получить максимально объемлющие формулы, при помощи которых можно было бы рассматривать многочисленные частные случаи согласно одной и той же схеме и которые таким образом облегчали бы решение этих задач. В этом смысле «Аналитическая механика» Лагранжа является одним из величайших творений человеческого духа в его стремлении к экономии мышления³.

В области статики Лагранж вывел общую формулу для равновесия любой системы сил из принципа виртуальных перемещений. Если на систему материальных точек действуют силы P_1, P_2, P_3, \dots и если соответствующие виртуальные перемещения равны p_1, p_2, p_3, \dots , то система находится в равновесии, когда $P_1 p_1 + P_2 p_2 + P_3 p_3 + \dots = 0$, или, выражая короче эту основную формулу статики, получаем:

$$\sum P p = 0.$$

Если мы возьмем прямоугольную систему координат и разложим каждую силу на составляющие параллельно осям координат, то формула принимает следующий вид:

$$(X dx + Y dy + Z dz) = 0.$$

Для отдельных материальных точек составляющие будут $X_1, Y_1, Z_1; X_2, Y_2, Z_2$ и т. д. Аналогичным образом составляющие виртуальных перемещений, параллельные осям координат, будут $dx_1, dy_1, dz_1; dx_2, dy_2, dz_2$ и т. д.

Для получения основной формулы динамики из принципа виртуальных скоростей в соединении с принципом Даламбера поступают следующим образом. Пусть m_1, m_2, m_3, \dots будут материальные точки, $x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2, \dots$ — соответствующие координаты их, а

¹ Соответствующие работы Лежандра и Якоби П. Штеккель тоже издал в 47-м томе оствальдовской серии.

² Мес. *analyt.*, часть II, отд. 11.

³ E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, Leipzig 1897, стр. 458.

$X_1, Y_1, Z_1; X_2, Y_2, Z_2, \dots$ — составляющие приложенных к этим точкам сил. Так как материальные точки связаны между собой, то они выполняют такие движения, которые могли бы вызвать силы $m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2}$, $m_1 \frac{d^2 y_1}{dt^2}$, $m_1 \frac{d^2 z_1}{dt^2}, \dots$, приложенные к несвязанным между собой точкам. Эти силы и действующие на точки реальные силы X, Y, Z, \dots находятся согласно принципу Даламбера в равновесии. Если применить к ним затем принцип виртуальных перемещений, то получается следующая формула:

$$\sum m \left(\frac{d^2 x}{dt^2} \delta x + \frac{d^2 y}{dt^2} \delta y + \frac{d^2 z}{dt^2} \delta z \right) = \sum m (X \delta x + Y \delta y + Z \delta z).$$

Ее можно писать также и в следующем виде:

$$\sum \left\{ m \left(X - \frac{d^2 x}{dt^2} \right) \delta x + m \left(Y - \frac{d^2 y}{dt^2} \right) \delta y + m \left(Z - \frac{d^2 z}{dt^2} \right) \delta z \right\} = 0.$$

Основные формулы аналитической механики, выведенные из известных уже принципов, не дают нам какого-нибудь нового познания природы механических процессов. Они дают лишь возможность разрешить аналитическим путем частные задачи механики¹. Поэтому усовершенствования, введенные после Лагранжа в аналитическую механику Пуассоном (Poisson), Гринном (Green), Гамильтоном (Hamilton), Гауссом, Гельмгольцем и другими исследователями, зависели в первую голову от дальнейшего развития анализа.

Благодаря своей «Аналитической механике» Лагранж двинул вперед не только математическую физику, но также теоретическую астрономию и особенно ее. Астрономии Лагранж посвятил, кроме того, еще ряд работ, из которых особого упоминания заслуживает «Опыт нового метода для решения проблемы трех тел»².

В своих вычислениях эллиптического пути, описываемого планетой вокруг Солнца, Ньютон не мог еще принять во внимание отклонения, испытываемые этой планетой под влиянием какого-нибудь третьего небесного светила. Клеро и Эйлеру первым удалось решение этой проблемы в отдельных частных случаях. После них очень многое сделали для решения ее Лагранж и в особенности Лаплас. Хотя ученые не были в состоянии дать вполне удовлетворительной теории этих возмущений, но все же они установили, что и в случае действия третьего тела имеет место движение по эллиптической орбите, при котором, однако, элементы эллипса подвержены очень медленным (вековым) изменениям. Так как по истечении продолжительных промежутков времени периодически наступает снова то же самое состояние, то устойчивость солнечной системы оказалась обеспеченной.

¹ Mach, цит. соч., стр. 471.

² Essai d'une nouvelle méthode pour résoudre le problème des trois corps, Paris 1788.

Упомянем, наконец, что Лагранж применил математический анализ и к картографии. Как известно, Ламберт¹ (Lambert) первый пытался дать общую теорию этой научной дисциплины. Он поставил себе задачу определить положение кругов долгот и широт таким образом, чтобы все получающиеся на карте углы были равны соответствующим углам на поверхности земного шара. Той же задачей занимался и Эйлер². Но в то время как Ламберт и Эйлер ограничивались еще определенными видами проекции, Лагранж пытался придать теории большую общность, рассматривая все те случаи, когда меридианы и параллели изображаются на карте кругами³.

ОСНОВЫ ФОТОМЕТРИИ

Распространение математического анализа на все отрасли естествознания принесло в XVIII в. пользу не только чистой и прикладной механике, но также оптике и находившейся так долго в пренебрежении акустике.

До Кеплера и Шейнера оптика была по преимуществу геометрической наукой. Шейнер заложил основы физиологической оптики. Около середины XVIII в. Ламберт значительно усовершенствовал теорию зрения, приняв во внимание физиологическую и физическую сторону этого процесса и внеся в изучение его количественные методы. Ламберта мы можем назвать основателем фотометрии. В своем большом труде по фотометрии⁴ Ламберт исследовал столь исчерпывающим образом эту область, что со времени появления его работы остались лишь немногие, относящиеся к фотометрии вопросы, которых он не рассмотрел бы или хотя бы не коснулся в ней.

Иоганн-Генрих Ламберт, сын бедного ремесленника, родился 26 августа 1728 г. в Мюльгаузене в Эльзасе. Так как у родителей его не было средств, чтобы, следуя совету преподавателей, дать возможность учиться высоко одаренному мальчику, то Ламберт вынужден был сперва изучить портняжное ремесло. Благодаря своему красивому почерку он получил затем место писца, сперва на одном металлургическом заводе, потом у одного базельского профессора юриспруденции. Последний предоставил ему часть дня для продолжения научных занятий, и благодаря этому Ламберт сумел заполнить пробелы своего образования. Вслед затем его покровитель нашел ему место воспитателя в семье одного графа. Занимаясь со своими воспитанниками дома, а затем помогая им в их университетских занятиях, Ламберт сумел найти досуг, чтобы основательно познакомиться с науками. Особенно интересовался он астрономией. Заняться

¹ См. Ostwalds Klassiker, т. 54.

² См. Ostwalds Klassiker, т. 93.

³ Лагранж, О построении географических карт, 1779, в 55-м томике оствальдовской серии классиков точного знания, изданном под ред. Вангерина, Лейпциг 1894.

⁴ Lambert, Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae, 1760. Работа эта, снабженная многочисленными примечаниями, появилась в немецком переводе под ред. Андинга (E. Anding) в виде 31-го, 32-го и 33-го томов оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1892.

учением о свете его толкнуло стремление решить некоторые астрономические вопросы. После того как Ламберт оставил место воспитателя, появились одно за другим его главные три произведения — именно «Фотометрия» (1760 г.), работа о движении комет и его «Космологические письма» (1761 г.). Благодаря этим трудам Ламберт, имевший немногим больше 30 лет, сразу стал европейской знаменитостью. Многосторонний исследователь настолько прославился также в качестве философа, что Кант считал его одним из самых выдающихся своих современников¹. Кант писал Ламберту, что он считает его величайшим гением Германии и тем человеком, который должен реформировать философию. Сам он готов вычеркнуть в своих произведениях всякую строку, которую Ламберт найдет невразумительной. Старания Петербургской академии привлечь Ламберта остались безрезультатными, так как Берлинская академия наук избрала его членом своего физического класса и назначила ему ежегодное содержание в 500 талеров. Ламберт находился

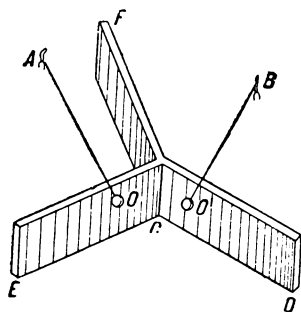


Рис. 119. Фотометр Буге.

в оживленной переписке с Эйлером и Лагранжем. Он умер 25 сентября 1777 г. Его преждевременную смерть объясняют тем, что он подорвал свое здоровье чрезмерной работой. Мы обладаем следующей характеристикой Ламберта: «Он был равнодушен ко всему, что украшает жизнь и делает ее приятной. Голова его, не тревожимая никакими страстями, работала неутомимо, как могучая машина. Он был наивен и прост. В математике он уступал Эйлеру и Лагранжу. В астрономии он не был Гершелем, в физике Ньютоном. В философии ему не хватало универсальности и подвижности ума Лейбница и проникающего во все глубокомыслия Канта. Но тот факт, что во всех четырех дисциплинах он дал важные и плодотворные идеи, делает его похожим на величайших гениев».

В области фотометрии до Ламберта было сделано лишь немного. Правда, Кеплер вывел геометрическим образом основную теорему о том, что сила света убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, но лишь Гюйгенс первый поставил опыты, имевшие целью сравнить между собой силу света различных светящихся тел. Первый настоящий фотометр был изготовлен французом Буге (Bouguer) (1698—1758). Фотометр этот состоял из двух прозрачных экранов, помещенных в отверстиях OO' (рис. 119). Для того чтобы свет

¹ Философские произведения Ламберта заслуживают особенного внимания потому, что они были вызваны стремлением применить к философии математику и методы точного доказательства. Произведения эти носят следующие названия: *Neues Organon oder Gedanken über die Erforschung und Bezeichnung des Wahren und dessen Unterscheidung von Irrtum und Schein*, Leipzig 1764 („Новый орган или мысли об исследовании и обозначении истинны и об отличии ее от заблуждения и иллюзии“); *Architektonik oder Theorie des Einfachen und Ersten in der philosophischen und mathematischen Erkenntnis*, Riga 1771 („Архитектоника или теория простого и первого в философском и математическом познании“).

от обоих источников не смешивался между собой, между обоими отверстиями была устроена в стороне, обращенной к источникам света, перегородка *F*. Источник света, силу которого измеряли, передвигали до тех пор, пока находившемуся перед *00'* глазу оба прозрачных экрана не начинали казаться одинаково яркими.

Буге написал также книгу по фотометрии¹, которая вышла в 1760 г., т. е. одновременно с работой Ламберта по тому же вопросу, и которой, следовательно, Ламберт не мог воспользоваться. Нетрудно понять, что возникли споры об относительных заслугах Буге и Ламберта в деле основания новой научной дисциплины, причем нашлось немало исследователей, стремившихся умалить значение работ Ламберта². Надо, действительно, признать, что французский ученый превосходил немецкого исследователя постановкой заботливо и остроумно придуманных опытов; экспериментальные исследования Ламберта отличались даже некоторой небрежностью: ведь весь его инструментарий состоял из трех небольших зеркал, двух чечевиц, нескольких стеклянных пластинок и одной призмы. С другой стороны, Ламберту принадлежит та заслуга, что он создал основные понятия и всю систему фотометрии. В то время как Буге не отходит ни на шаг от данных наблюдений и выводит из них лишь ровно столько, сколько из них можно вообще вывести³, Ламберт стремится дать для всякой проблемы вполне адекватное ей математическое решение. Правда, иногда это было возможно лишь путем столь основательного упрощения исходных посылок, что результат выкладок Ламберта являлся лишь весьма грубым приближением к действительности. То, что француз, как мы указали, выдвигал на первый план наблюдение и точные измерения, а немец, исходя из скудного фактического материала, образование точных понятий и дедукцию, не было вовсе делом простого случая: это вполне соответствовало своеобразию французского и немецкого духа. Аналогичное отношение мы наблюдаем в XVIII в. в научной области между англичанами и немцами. Благодаря тому, что немцы сумели усвоить достоинства западноевропейских методов и сочетать их со своими собственными преимуществами, Германия заняла в XIX и XX вв. руководящее место в целом ряде отраслей естествознания.

Сделав эти общие замечания и отведя Ламберту подобавшее ему место среди его современников⁴, мы обратимся теперь к его «Фотометрии», произведению, которое, как указывает его издатель, столь же необходимо для астрофизика, как «Небесная механика» Лапласа для астронома⁵.

Ламберт начинает с анализа основных понятий фотометрии. По его мнению, именно то особенно недоступно нашему пониманию, что

¹ Bouguer, *Traité d'optique sur la gradation de la lumière*. Ouvrage posthume, Paris 1760.

² Об этом см. Zöllner, *Photometrische Untersuchungen*.

³ Zöllner, *цит. соч.*, стр. 27 и сл.

⁴ Отношения фотометрии Ламберта к современным научным воззрениям рассмотрены Г. Рекнагелем (G. Recknagels) в его премированной работе: *Lamberts Photometrie*, München 1861.

⁵ Ostwalds Klassiker, № 33, стр. 63.

постоянно встречается в чувственном восприятии. Весьма наглядным примером этого является теория света. О неудовлетворительности ее говорит уже одно то, что для объяснения оптических явлений пользуются двумя столь различными гипотезами, как гипотезы Ньютона и Эйлера (правильнее Гюйгенса). Первая понятнее нашему разуму, но теория Эйлера больше соответствует природе вещей. С этим суждением у Ламберта связано часто цитируемое изречение о значении гипотез. Он говорит следующее: «Одним из надежнейших критериев того, что какая-нибудь гипотеза приближается к истине, надо считать возможность предвидения на основании ее новых явлений и выведения из нее положений, с которыми согласуются установленные для этой цели опыты»¹. Испытание такого рода решило значительно позже дело в пользу защищавшейся Гюйгенсом и Эйлером волновой теории света².

Так как для фотометрических исследований не существует абсолютной меры, а приходится всегда считаться с крайне субъективным фактором, именно с суждением глаза, то Ламберт устанавливает предпосылку, согласно которой «известное оптическое явление остается всегда одним и тем же, поскольку тот же самый глаз получает от него то же самое восприятие». В случае различных степеней яркости глаз не в состоянии решить, во сколько раз одна степень яркости больше другой, но мы должны предположить, что глаз способен высказываться определенным образом насчет равенства двух степеней яркости. Только связав эту аксиому с вытекающими из геометрических соображений принципами фотометрии, можно построить эту часть оптики.

Из принципов фотометрии Ламберт, кроме теоремы об ослаблении силы света вместе с квадратом расстояний, выдвигал в особенности еще два других. Первый из них гласит: «Если одна и та же поверхность освещается в одном случае m , а в другом n источниками света, из которых каждый обладает одинаковой интенсивностью света и испускает свой свет при совершенно тождественных условиях, то степени яркости относятся между собой, как $m : n$ ». Таким образом освещение листа бумаги тем сильнее, чем больше число горящих свечей, предполагая, разумеется, что они одинаково ярки, обладают одинаковой величиной и находятся на одинаковом расстоянии от нашего листа³.

Третий и самый важный принцип гласит, что яркость света пропорциональна синусу угла падения света. Приводимое Ламбертом геометрическое доказательство этого положения («Фотометрия», § 53) вошло во все учебники физики. Не ограничиваясь теоретическим доказательством этих принципов, Ламберт пытался также установить путем соответствующих опытов их взаимную зависимость и придать им таким образом еще большую достоверность.

Следующая глава «Фотометрии» посвящена вопросу об измерении силы прямо падающего света. Ламберт вычисляет для многочис-

¹ Ostwalds Klassiker, № 31, стр. 5.

² Здесь имеется в виду открытие конического преломления света.

³ Ostwalds Klassiker, т. 31, стр. 21. На этот принцип указал уже Эйлер.

ленных частных случаев количество света или силу освещения, даваемого поверхностями различной формы. Фотометр, которым пользовался Ламберт, был очень похож на румфордов фотометр. Метод Ламберта состоял в сравнении яркости двух поверхностей, из которых одна освещалась определенным источником света, другая — источником света, силу которого хотели определить. Устройство прибора Ламберта ясно видно из фиг. 2 «Фотометрии» (рис. 120).

В точках *K* и *A* находятся оба сравниваемые между собой источника света. *BDCEFG* представляет белую плоскую поверхность, перед которой над *HI* помещен непрозрачный, отбрасывающий тень экран. Получающаяся от источника света *A* тень покрывает часть *DFEC* белой поверхности, между тем как тень от источника *K* падает на *DFGB*. Таким образом передняя часть поверхности *DFGB* освещается только источником света *A*, а задняя часть *DFEC* освещается только источником *K*. Один из источников света передвигают до тех пор, пока белая поверхность не начинает казаться одинаково ярко освещенной по обе стороны линии *DF*.

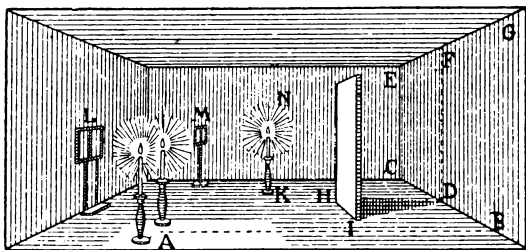


Рис. 120. Фотометр Ламберта.

За главой, посвященной вопросу о прямо падающем свете, следует глава об отражении света темными телами¹. Далее рассматривается вопрос о яркости прозрачных тел, освещенных рассеянным светом, в частности земной атмосферы, и выводится формула ослабления света при прохождении его через атмосферу («Фотометрия», § 878—882). В связи с этим исследуется вопрос о сумерках и вычисляется высота атмосферы при допущении известных простых гипотез.

Шестая часть труда Ламберта содержит в себе основы астрофотометрии. В ней развивается теория определения яркости Луны и главных планет. В заключение дается экспериментальный и теоретический анализ интенсивности разнородного и относительного света, под которыми понимаются цвета и тень.

Мы не можем здесь подробнее останавливаться на ходе исследований Ламберта, но приведем некоторые из полученных им результатов. По Ламберту свет, проходя вертикально через атмосферу, поглощается в отношении $59:100^2$. Для отношения средней яркости Луны во время полнолуния к яркости Солнца он находит величину $1:277\,000$, а средняя яркость Луны во время полнолуния оказывается равной $\frac{2}{3}$ средней центральной яркости. Последняя затем определяется также для планет на основании первого кеплерова принципа фотометрии из центральной яркости Земли.

¹ Ostwalds Klassiker, т. 32, стр. 1 и сл.

² Ostwalds Klassiker, т. 32, стр. 71.

УСПЕХИ АКУСТИКИ

Со времен Галилея все выдающиеся физики занимались механикой и оптикой; что же касается акустики, то на первых порах она находилась в пренебрежении. Правда, Ньютон вывел в своих «Началах» формулу для скорости распространения звука. Но экспериментальные определения этой важной постоянной давали результаты, колебавшиеся между 1 071 и 1 255 парижскими футами. Из формулы Ньютона получалось еще меньшее значение в 906 футов. Это противоречие между теорией и опытом побудило математиков обратить большое внимание на акустику. Сперва Эйлер и вскоре за ним Лагранж проверили формулу Ньютона, но не сумели объяснить указанного противоречия. Даниил Бернулли занимался главным образом исследованием воздушных колебаний в органичных трубах¹. Далее он, а также Эйлер изучали колебания струн и стержней. Однако работы на эту тему Эйлера, Лагранжа, Бернулли, Даламбера и др. представляют скорее математический, чем физический интерес. Первым ученым, сумевшим плодотворно соединить эксперимент и математический анализ в применении к проблемам акустики, был Хладни.

Эрнст-Флоренс-Фридрих Хладни, сын профессора юриспруденции, родился 30 ноября 1756 г. в Виттенберге. Первоначально он также изучал юриспруденцию, но впоследствии обратился к занятиям естествознанием и музыкой. Занятия музыкой вызвали у него интерес к сочинениям по акустике. Но так как последние не удовлетворяли его, то он самостоятельно занялся исследованием вопросов акустики.

До Хладни ученые рассматривали исключительно поперечные колебания струн. Хладни же открыл, что у струн и особенно у стержней можно получить также продольные и крутильные колебания².

Для получения продольных колебаний закрепляют стержень и натирают его в длину. Хладни пользовался для этого преимущественно стеклянными трубками. Чтобы извлечь из них звуки, он пользовался натертой наждаком суконкой, которой он натирал стержень в длину. В случае стержня средней длины звуки были очень высоки. Нельзя было установить никакого определенного отношения между ними и звуками, вызываемыми в том же самом стержне при помощи поперечных колебаний.

Основываясь на продольных колебаниях стержней, описанных им в работе «Ueber die Longitudinalschwingungen der Saiten und Stäbe» (Erfurt 1796), Хладни построил некоторые новые музыкальные инструменты, как эвфон и клавицилиндр.

Эвфон состоял из стеклянных стержней, которые покоились на железных стержнях и которые натирали влажными пальцами. В клавицилиндре стержни были деревянные; при помощи особой клавиатуры они прижимались к вращавшемуся влажному стеклянному

¹ D an. Bernoulli, Sur le son et sur les tons des tuyaux d'orgues, Mém. de Paris 1762.

² О крутильных колебаниях стержня Хладни сообщил в Neuen Schriften der naturforschenden Freunde in Berlin, т. 2, 1799.

цилиндру. Оба инструмента издавали тихие непрерывные, медленно нараставшие и убывавшие звуки. Однако они не нашли распространения.

Изучение продольных колебаний привело Хладни также к вычислению скорости распространения звука в твердых телах. Хладни нашел, что она значительно больше, чем скорость звука в воздухе. Принимая скорость звука в воздухе за единицу, он нашел, что скорость его для

олова	равна	7,5
серебра	„	9
меди	„	12
железа	„	17
стекла	„	17

Прямое измерение скорости звука в металле было сделано через несколько десятков лет Био (Biot), производившим свои опыты на соединенных между собой чугунных трубах. Если ударяли по одному концу получившейся таким образом очень длинной металлической проводки, то сперва воспринимали звук через металл и лишь затем через воздух. Из этой разницы во времени получилось, что скорость распространения звука в чугуне равна приблизительно 3 500 м.

Хладни исследовал также скорость звука в различных газах. Уже Пристли производил опыты насчет силы звука в различных газах. Он нашел, что звук в водороде почти так же слаб, как и в пустоте, между тем как в кислороде и в углекислом газе он сильнее, чем в атмосферном воздухе. Хладни не смог определить путем непосредственного измерения скорость звука в различных газах. Его метод заключался в том, что он заставлял звучать органнйе трубы в различных газах. Так как здесь число колебаний, а значит, и высота звуков, находится в математически определенном отношении к скорости распространения звука, то из различия высоты звука, производимого одной и той же трубой в различных газах, можно было определить скорость распространения звука в каждом газе. Впоследствии Реньо (Regnau) произвел непосредственные измерения скорости распространения звука в водопроводных трубах, наполненных различными газами. Измерения эти показали, что выводы Хладни в общем были правильны.

Хладни открыл совершенно новую область исследования, когда он обратился к экспериментальному и математическому изучению колебаний пластинок. Результаты своих исследований он изложил подробно в 1787 г. в сочинении, носящем заглавие: «Entdeckungen über die Theorie des Klanges» («Открытия в области теории звука»). Особенную сенсацию вызвал его способ делать доступными глазу колебания пластинок при помощи особых, названных по его имени фигур. К этому методу его привели пыльные фигуры Лихтенберга. Лихтенберговы фигуры возникают, когда насыпают на пластинки тонко измельченные тела (например сернистый цвет или порошок охры) и дают перескакивать через них электричеству. По способу расположения порошка можно определить, положительно или отрицательно электричество.

Если перескакивающая искра была положительной, то порошок располагался лучеобразно, если же она была отрицательной, то получались облакообразные фигуры. Когда Хладни повторял опыты Лихтенберга, то ему пришла вдруг в голову мысль: не получатся ли на плоских звучащих пластинках, на которых насыпано будет немного песку, фигуры, характеризующие соответствующий звук и как бы делающие его видимым.

Чтобы определить таким образом акустическое состояние какой-нибудь пластинки, Хладни укреплял ее в горизонтальном положении в одном или нескольких местах и проводил по ней под прямым углом

смычком, насыпав в то же время на нее немного песку. Песок, «подбрасываемый в местах, находящихся в колебании, и остающийся в покое в местах неколеблущихся», располагается в этом случае в виде известных правильных фигур. Хладни установил на основании этого, что «естественная фигура тел пересекается упругими искривлениями поверхности в известных линиях, соответствующих узловым точкам у звучащих струн, и что два места, отделенные друг от друга такой неподвижной линией, колеблются всегда в противоположных направлениях».

Нижеследующие, заимствованные из книги Хладни четыре фигуры (рис. 121) показывают нам, как колеблется квадратная пластинка, когда ее закрепляют в различных местах и проводят по ней смычком.

Рис. 121. Звуковые фигуры Хладни.

Фиг. 86 появляется, когда пластинку закрепляют в середине и проводят смычком в одном углу ее. При этом способе колебаний получается наиболее низкий звук.

Фиг. 87 возникает, когда пластинку закрепляют опять-таки в середине, но проводят смычком по середине одной стороны ее¹.

Звук при этом приблизительно на квинту выше, чем в предыдущем случае.

Фиг. 88, легко переходящая в фиг. 89, получается, когда закрепляют пластинку в точках *n* или *g* и проводят смычком в точке *a*. Издаваемый пластинкой звук опять-таки несколько выше, чем в предыдущем случае.

Хладни показал, что, закрепляя пластинку в нескольких местах и изменяя положение закреплений, можно получить колоссальное множество состояний колебания и соответствующие им фигуры. По его

¹ Chladni, Entdeckungen über die Theorie des Klanges. 1787. табл. VIII-фиг. 87—90.

мнению, эти фигуры могли бы дать фабрикантам обоев и ситца достаточно материала, чтобы разнообразить свои образцы. Хладниевы фигуры вызвали интерес во всех кругах общества, так как Хладни, не занимавший никогда должности, демонстрировал их во многих местах в своих лекциях по акустике, которыми он зарабатывал себе на существование¹.

Кроме упомянутых работ Хладни, надо упомянуть еще его обширную работу «Акустика»². В своих новых исследованиях по акустике (1817 г.) Хладни установил, что верхняя граница слышимости звуков равняется 22 000 колебаний в секунду.

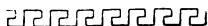
О заслугах Хладни в деле выяснения природы метеоров будет сказано в другом месте. Он умер в Бреславле 3 апреля 1827 г.

Сведения о состоянии всей экспериментальной физики в XVIII в. дают большие труды Деагюлье (Desaguliers), с'Гравезанда (s'Gravesande) и Мушенбрэка (Musschenbroek). Более подробное название этих имеющих не один только исторический интерес работ будет дано нами в конце четвертого тома в обзоре литературы. Они посвящены главным образом вопросам прикладной механики и оказали значительные услуги науке того времени, отвращая ее от увлечения спекулятивными построениями и направляя по надежному пути эксперимента. Деагюлье занимается преимущественно вопросами механики и машиностроения. У с'Гравезанда, наоборот, мы встречаемся с многочисленными исследованиями из области гидростатики и гидродинамики, между тем как Мушенбрэк под влиянием работ Флорентийской академии произвел многочисленные опыты над тепловыми явлениями.

¹ Хладни был принят с почетом Наполеоном, живо интересовавшимся результатами физических исследований. Изречение Наполеона: „Хладни дал нам видеть звуки“ обошло весь образованный мир. См. J. Ebstein, Aus Chladnis Leben und Wirken („Mitteilungen zur Geschichte der Med. und der Naturw.“, т. 4, № 3, 1905, стр. 438 и сл.).

В работе Эбштейна имеется 18 до сих пор еще не опубликованных писем Хладни. Хладни подробно описал (в музыкальном журнале „Цецилия“) прием, встреченный им у французских ученых и при дворе Наполеона. Он оставался в Париже почти полтора года (1808—1810). В 1809 г. Лаплас и Бертолле представили его императору, чтобы показать его опыты и продемонстрировать его клавицилиндр. Этот визит продолжался несколько часов. В другой раз Хладни был послан подарок в 6 000 франков. Наполеон оказался хорошо осведомленным в вопросах акустики. Он отлично знал, что ученые еще не в состоянии столь же основательно вычислять поверхности, как кривые. Поэтому он назначил премию в 3 000 франков за математическую теорию колебаний поверхностей, порождающих хладниевы фигуры.

² Chladni, Die Akustik, Leipzig 1802.



XIX

УСПЕХИ АСТРОНОМИИ ПОСЛЕ СОЗДАНИЯ ТЕОРИИ ТЯГОТЕНИЯ

В течение XVIII в. астрономия стала образцом, которому стремились подражать остальные естественные науки, в особенности физика. Но ни одна из отраслей естествознания не могла соперничать с астрономией ни по совершенству своих методов, ни по надежности полученных ею результатов.

Наряду с борьбой между рефракторами и рефлекторами астрономы XVIII в. были поглощены еще двумя важными вопросами, оставшимися от предыдущей эпохи, именно вопросами об отклонении формы поверхности Земли от шаровой формы и об определении солнечного параллакса на основании прохождений Венеры, ожидавшихся в 1761 и 1769 гг. Чтобы проверить правильность гипотезы Ньютона и Гюйгенса, согласно которой Земля представляет собой сжатый у полюсов эллипсоид вращения¹, необходимо было произвести точные градусные измерения поблизости от одного из полюсов и от экватора. Если, как утверждал Ньютон, кривизна Земли около полюса меньше, чем у экватора, то градус широты у полюса должен быть больше, чем у экватора. Для решения этого вопроса французское правительство послало в 1735 и 1736 гг. две экспедиции — одну в Перу, другую в Лапландию. Первая экспедиция, во главе которой стояли Буге² и де-ла-Кондамин³, измерила расстояние между двумя местами, расположенными к северу и к югу от экватора, и нашла, что градус широты равняется 56 734 туазам. Руководимая Мопертюи⁴ вторая экспедиция производила свои измерения недалеко от Торнео под 66° северной широты. Полученная этой экспедицией величина градуса широты равнялась 57 438 туазам⁵, т. е.

¹ См. стр. 254 настоящего тома.

² Пьер Буге родился в Бретани в 1698 г. и умер в 1758 г.

³ Шарль-Мари де-ла-Кондамин родился в Париже в 1701 г. и умер в 1774 г.

⁴ Пьер де-Мопертюи родился в 1698 г. в Сен-Мало. В 1731 г. он был избран членом Парижской академии наук. Десять лет спустя Фридрих Великий пригласил его в Берлин и назначил его президентом Берлинской академии наук. Занимая пост президента этой академии, Мопертюи дал немного для науки. Но зато большой шум вызвал его спор с Вольтером, повлекший за собой охлаждение между последним и королем. В 1753 г. Мопертюи вернулся в Париж. Он умер в 1759 г.

⁵ 1 туаз — 1,949 м.

была на 704 туаза больше, чем величина градуса под экватором; под широтой же в 45° величина градуса имела промежуточное значение, равняясь 57 012 туазам. Таким образом гипотеза Ньютона и Гюйгенса насчет фигуры Земли подтвердилась. Из измерений этих следовало по де-ла-Кондамину, что земная ось относится к экваториальному диаметру, как 299 : 300, между тем как Ньютон нашел чисто теоретическим путем отношение 288 : 289.

Среди ученых, сопровождавших Мопертюи в его лапландской экспедиции, был и 23-летний Клеро (Clairaut), один из величайших математиков Франции¹. Ему принадлежит самое крупное теоретическое исследование фигуры Земли².

Поводом заняться этими исследованиями послужило для Клеро главным образом то обстоятельство, что хотя оба градусные измерения доказали правильность допущения Ньютона и Гюйгенса, но получившееся на основании их сжатие Земли оказалось вдвое больше, чем это следовало по теории. Клеро исходил из предположения, что если отвлечься от незначительных неровностей поверхности Земли, называемых нами горами и долинами, то фигура Земли должна определяться законами гидростатики. Поэтому измерения поверхности Земли должны привести к такому же результату, к какому привели бы измерения на поверхности затвердевшей жидкости, которая приняла бы до того соответствующую равновесию форму. Из поставленной таким образом задачи определить фигуру Земли на основании законов гидростатики и развилась собственно математическая гидростатика³.

Начала учения о равновесии жидкостей развиты были главным образом Ньютоном и Гюйгенсом. Гюйгенс выставил положение, что жидкая масса находится в покое лишь тогда, когда поверхность ее представляет собой поверхность уровня, т. е. повсюду перпендикулярна к направлению действия сил. Ньютон с своей стороны выводил состояние равновесия из давления, имеющего место в столбах жидкости, простирающихся от поверхности жидкой массы до центра сил. Наконец, Клеро выдвинул более общий принцип, согласно которому жидкость находится в равновесии лишь тогда, когда силы, действующие во всех точках какого-нибудь канала любой формы, взаимно уравниваются. Возникновение такого канала можно представить себе, предполагая, что вся остальная масса жидкости

¹ Алексис-Клод Клеро родился в 1713 г. в Париже, где отец его был преподавателем математики. Он так заботился об образовании своего сына, обнаружившего совершенно исключительную преждевременную зрелость математического таланта, что молодой Клеро уже 13 лет от роду представил Парижской академии работу, в которой при помощи исчисления бесконечно малых анализировались некоторые кривые. 16 лет от роду Клеро представил академии исследование, о котором докладчик сказал, что талантливейшие математики сочли бы для себя честью быть авторами его. (Подробнее об этом см. Cantor, *Gesch. d. Math.*, III, 1901, стр. 779). Клеро умер в 1765 г. в Париже.

² Clairaut, *Théorie de la Figure de la Terre*, tirée des Principes de l'Hydrostatique, Paris 1743. Вышла в немецком переводе в виде 189-го томика остальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1913.

³ Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt*, 1901, стр. 428 и сл.

затвердела. Далее, каналы эти могут либо заканчиваться у поверхности, либо проходить по самой поверхности, либо же замыкаться в самих себе (рис. 122). Исходя из этого принципа каналов, Клеро получил дифференциальные уравнения в частных производных равновесия жидкостей. Действительно, если для любого канала имеет место равновесие, то, очевидно, и вся масса жидкости находится в состоянии равновесия.

Пользуясь законами гидростатики для объяснения фигуры Земли, Ньютон ограничивался случаем однородной массы, найдя, что при этом отношение полярного диаметра к экваториальному равно 230:231. Клеро распространил исследование на тот случай, когда плотность различных слоев изменяется вместе с приближением к центру. Мы не можем здесь останавливаться подробнее на частностях исследования Клеро и на вытекающей отсюда «теореме Клеро», ибо вопрос этот относится к области высшего анализа¹.

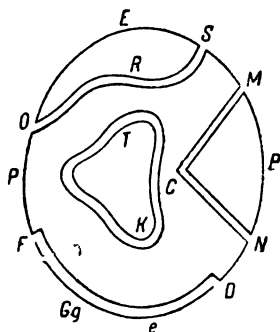


Рис. 122. Иллюстрация к принципу каналов Клеро.

Клеро был также одним из первых ученых, применивших высший анализ к теории движения Луны. Этого требовало изучение проблемы трех тел², для приближенного решения которой, кроме Клеро, дали очень многое Даламбер, Эйлер, Лагранж и Лаплас.

Упомянем еще, что в «Теории фигуры Земли» Клеро встречается уже основная идея учения о силовой функции или потенциале, дальнейшим развитием которой занимались в особенности Грин, Лаплас и Гаусс³.

Гораздо точнее того градусного измерения, в котором принимал участие Клеро, было другое, предпринятое в конце XVIII в.

В этом последнем случае дело шло не об измерении, преследующем чисто научные задачи, а об измерении, имевшем целью определить некоторую физическую постоянную, чтобы положить ее в основу системы мер и весов.

Уже в XIV в. вместе с расцветом торговли возникла потребность установить некоторую единую систему мер и весов. Становилось все более очевидным, что существование различных мер не представляет никакой выгоды, а ведет только к злоупотреблениям и обманам. Но попытки внести улучшения в систему мер разбились о со-

¹ Согласно этой теореме, в случае близкого к шару сфероида тяжесть независима от закона, по которому изменяется плотность внутри этого сфероида. Теорема Клеро выражается следующей формулой:

$$g_{\varphi} = g_0 \left[1 + \sin^2 \varphi \left(\frac{5}{2} \cdot \frac{f}{g_0} - \alpha \right) \right].$$

В этой формуле α означает полярное сжатие, g_0 и g_{φ} — ускорение под экватором и под широтой φ , а f — центробежную силу под экватором.

² См. стр. 342 настоящего тома.

³ См. т. 3, гл. 20.

противление государей и высших церковных сановников. Поэтому после победы революции во Франции одним из первых требований деятелей ее было требование заменить существовавшие в стране различные меры одной общей естественной мерой длины, которая должна была быть положена в основу системы всех мер и весов.

Уже в 1670 г. один французский ученый¹ предложил в качестве такой естественной единицы длины минуту географического градуса широты. Почти в то же самое время Гюйгенс в своем сочинении о «Часах с маятником» (1673 г.) выдвинул в качестве единицы длины длину секундного маятника. Гюйгенс предлагал ввести во всеобщее употребление под названием часового фута третью часть длины секундного маятника. Но вскоре после этого была открыта зависимость длины секундного маятника от географической широты. Поэтому идея Гюйгенса не получила дальнейшего развития.

В 1790 г. вопрос рассматривался в Учредительном собрании, которое решило выбрать в качестве единицы длины длину секундного маятника под 45° широты и поручило комиссии, заключавшей в себе самых выдающихся французских ученых (Лапласа, Лагранжа, Монжа и Борда), сделать все необходимые для этого дела приготовления. Кроме того, постановлено было постараться привлечь к этому предприятую также английское правительство и пополнить французскую комиссию комиссией, выбранной Лондонским королевским обществом. План принять за единицу длины длину секундного маятника был отвергнут, так как последняя зависела от другой величины, именно времени и произвольного деления его на секунды. Поэтому комиссия предложила измерить по возможности точно четверть меридиана и принять десятимиллионную часть его за единицу длины.

Все эти обсуждения и постановления имели следствием две работы, из которых одна преследовала задачу определения длины секундного маятника, другая же, состоявшая в измерении длины дуги меридиана от Дюнкирхена до Барселоны, легла в основу метрической системы².

Измерения длины маятника продолжались от июня 1792 г. до августа того же года. Они производились с величайшей точностью, при соблюдении всех предосторожностей, по методу совпадений, основывавшемуся на сравнении колебаний маятника астрономических часов с колебаниями измеряемого маятника. Часы и маятник находились в стеклянном ящике и были таким образом защищены от воздушных течений. Маятник состоял из тонкой платиновой проволоки и платинового шара диаметром приблизительно в $16\frac{1}{8}$ линий (рис. 123). Шар этот был прикреплен к проволоке особым образом³,

¹ Gabriel Mouton (1618—1694), *Observationes diametrorum solis et lunae apparentium, medianarumque*, стр. 427.

² Отчет об этом, произведенном Мешеном (Méchain) и Деламбром (Delambre) измерении вышел в трех томах в Париже в 1806—1810 гг. Избранные части его переведенные на немецкий язык, вошли в 181-й томик оствальдовской серии классиков точного знания. В этом томе содержится также работа Борда и Кассини о длине секундного маятника, Лейпциг 1911.

³ Чтобы иметь возможность заменить его шарами из других веществ и показывать таким образом, что величина одинакова для всех веществ.

а приспособление для подвешивания маятника было так устроено, что оно не оказывало никакого влияния на продолжительность качаний маятника. Наблюдения по методу совпадений, введенному впервые Борда, происходят следующим образом: заставляют качаться оба маятника и наблюдают прохождения их через поле зрения трубы, установленной в направлении DD . Сперва определяют тот момент, когда оба маятника проходят одновременно через поле зрения (совпадение). Так как маятники неодинаковой длины, то уже при следующем колебании один из них несколько обгонит другой, и ближайшее совпадение произойдет тогда, когда качающийся быстрее маятник сделает одним колебанием больше, чем другой. Чем больше наблюдается совпадений (причем устанавливается каждый раз время, прошедшее от одного совпадения до другого), тем точнее будет экспериментальная основа для последующих вычислений. Прежде всего необходимо было определить на основании наблюдения совпадений число качаний маятника в средние солнечные сутки. Затем надо было установить со всеми необходимыми предосторожностями и поправками расстояние точки подвеса маятника от центра качания его. И, наконец, на основании этой величины и числа колебаний маятника в сутки следовало вычислить длину секундного маятника.

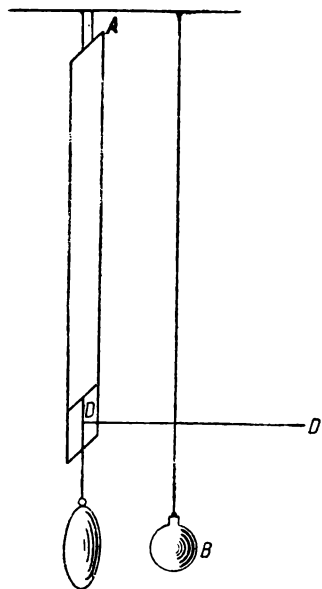


Рис. 123. Определение длины секундного маятника.

Для Парижа ($48^{\circ}50'14''$ сев. широты) длина эта оказалась равной 440,5593 линии. Отсюда следовало, что ускорение g равно 9,80882¹.

Мы обратимся теперь к градусному измерению, имевшему целью установление единицы длины. Смуты революционной эпохи в высшей степени мешали этому предприятию, которое затянулось поэтому на несколько лет. Можно только удивляться смелости, выдержке и искусству, с какими было начато и выполнено такое колоссальное дело в эпоху, когда в стране, находившейся под угрозой вражеского нашествия, свирепствовал террор и не было твердо установленного государственного порядка. Законом 1 августа 1793 г. длина метра была провизорно установлена в 443,443 линии, при этом исходили из предположения, что

¹ Бессель (Bessel) повторил определение длины секундного маятника („Untersuchungen über die Länge des einfachen Sekundenpendels“, 1826. См. т. 4 настоящего труда). Он тоже пользовался методом совпадений и нашел, что для Кенигсберга длина секундного маятника равна 440,8179 линии, а величина ускорения g равна 9,81443 м. Кэтер (Kater) нашел в 1818 г. с помощью реверзионного маятника, что под широтой Лондона и на уровне моря g равняется 9,80804 м. Kater, Experiments for determining the length of the pendulum vibrating seconds in the latitude of London (Philos. Trans., 1818. Подробнее см. т. 4).

результаты градусного измерения не будут заметным образом отличаться от этой величины.

Отчет о своих работах комиссия мер и весов могла дать лишь несколько лет спустя. Найденная путем геодезических измерений и названная метром единица длины оказалась равной 443,296 линии (3 фута 11,296 линии). Таким образом провизорная единица была на 0,146 линии, т. е. приблизительно на $\frac{1}{3}$ мм длиннее, чем установленный путем градусного измерения метр. После этого была установлена в десятичной метрической системе единица веса. Оказалось, что кубический дециметр дистиллированной воды при наибольшей плотности весит в пустом пространстве 18827,15 грана¹. Изготовленные на основании этого из платины весьма точные нормальные единицы (один метр и один килограмм) были помещены 22 июня 1799 г. в государственном архиве. Там они сохраняются с величайшей заботливостью и лишь редко извлекаются для проверки других мер, так как для этой цели служат изготовленные на основании их эталоны.

Вполне естественно, что впоследствии были найдены ошибки в измерении дуги градуса. Согласно предпринятым в 1840 г. вычислениям метр равняется 3 футам 11,375 линии. Таким образом четверть меридиана не в 10 000 000, а в 10 000 856 раз больше, чем хранящийся в Париже *étalon primitif*. Однако решили придерживаться длины последнего, «так как путем градусных измерений нельзя притти к абсолютно точной естественной единице длины».

Определение длины метра является одним из замечательнейших научных исследований в истории градусных измерений. Огромный интерес представляет также выполнение этого предприятия, превосходившего все предшествовавшие ему по своим размерам и точности. Крайними точками измеренной дуги были Дюнкирхен ($51^{\circ}2'10,5''$ сев. широты) и одна башня поблизости от Барселоны ($41^{\circ}21'44,8''$ сев. широты). Таким образом длина этой дуги равнялась $9^{\circ}40'25,7''$. Середина ее лежала под $49^{\circ}11'58''$. Так как желали, чтобы середина дуги находилась по возможности ближе к 45° сев. широты, то впоследствии (1846 г.) триангуляционную съемку продолжили дальше к югу до острова Форментеры. Благодаря этому длина измеренной дуги стала равной $12^{\circ}22'13,44''$. Середина ее приходилась на $44^{\circ}51'2,83''$.

В основу триангуляции были положены две базисные линии. Одна из них, находившаяся вблизи Парижа, была длиной в 6075,9 туаза, другая же, находившаяся вблизи испанской границы (в Перпиньяне) и служившая для контроля, была длиной в 6006,25 туаза. Эти базисные линии были измерены при помощи платиновых жезлов, изготовленных с величайшей тщательностью под наблюдением Борда. Были приняты особые предосторожности для того, чтобы учесть влияние температуры на длину жезлов. В результате измерения был установлен замечательный в научном отношении факт, что Земля не представляет правильного эллипсоида вращения, иными словами, что ни один

¹ Ostwalds Klassiker, № 181, стр. 186.

меридиан не равен в точности другому. К тому же выводу привело и другое, произведенное в Англии градусное измерение, которое, хотя и было меньше по размерам, но было выполнено с величайшей точностью. Поэтому, чтобы определить хотя бы приближенным образом фигуру Земли, надо было собрать результаты всех произведенных в различных пунктах земного шара градусных измерений и вычислить на основании их по методу наименьших квадратов ту геометрическую фигуру, которая ближе всего к истинной форме Земли. Задачу эту, которой занимался уже Бессель, пытались решить основанное в 1886 г. общество международного измерения Земли. В результате всех этих работ было установлено, что Земля не обладает правильной геометрической фигурой. Правда, она образует повсюду выпуклую вонне поверхность, но для точного определения ее нужно соединить геодезические исследования с систематически произведенным измерением силы тяжести. Для характеристики этой, названной геоидом, поверхности надо путем тригонометрических измерений, геометрической нивелировки и измерения силы тяжести найти отклонение ее от нормального эллипсоида вращения, получая таким образом все более точное представление об истинной фигуре Земли.

СОЛНЕЧНЫЙ ПАРАЛЛАКС, ПЛОТНОСТЬ ЗЕМЛИ И АБЕРРАЦИЯ

В описываемую нами эпоху были также определены расстояние Солнца от Земли и величина Солнца, а кроме того расстояния планет от Солнца; таким образом были решены задачи, стоявшие перед астрономией еще со времен Аристарха.

Эдмунд Галлей (1656—1742), младший современник Ньютона, с заслугами которого в деле дальнейшего развития физики, астрономии и физической географии мы уже познакомились, наблюдая прохождение Меркурия перед диском Солнца, пришел к мысли, что такого рода явления можно использовать для определения солнечного параллакса, т. е. того угла, под которым виден с Солнца радиус Земли.

Галлей изложил свой проект в двух работах, появившихся в 1693 и 1716 гг. в «Philosophical Transactions» и носивших названия: «О видимом соединении нижних планет с Солнцем»¹ и «Особый метод точного определения параллакса Солнца путем наблюдения прохождения Венеры перед диском Солнца»². Галлей предлагал в этих работах наблюдать с нескольких удаленных друг от друга пунктов земного шара времена прохождения одной из нижних планет перед диском Солнца.

Дело в том, что в случае прохождения перед Солнцем Меркурия или Венеры планеты эти описывают на солнечном диске хорды, положение и величина которых различны в зависимости от места, занимаемого наблюдателем на Земле. Вследствие этого продолжительность

¹ De visibili conjunctione inferiorum planetarum cum Sole.

² Methodus singularis, qua Solis parallaxis ope Veneris intra Solem conspiciendae tuto determinari poterit.

одного и того же прохождения будет неодинаковой для различных наблюдательных станций. Как видно из рис. 124¹, расстояние cd между хордами ef и gh находится в определенном отношении к расстояниям между собой рассматриваемых трех небесных светил и к расстоянию ab , величина которого известна на основании производимых на Земле измерений, так что из результатов наблюдения прохождения Венеры можно вычислить величину и расстояние от Земли Солнца². Самому Галлею не было суждено осуществить свой проект, так как прохождения Венеры имеют место весьма редко и после его смерти повторились лишь четыре раза, именно в 1761, в 1769, 1874 и 1882 гг. Как в 1761 г., так и в 1769 г. для наблюдения прохождений Венеры были снаряжены экспедиции, в которых особенно деятельное участие приняли Англия, Франция и Россия. На основании произведенных в Гудзоновом заливе, в Лапландии, на Таити и т. д. наблюдений французский астроном Делаланд нашел, что солнечный параллакс равен 8,5—8,6 сек. Так как средний видимый диаметр Солнца равен $31'37'' = 1897$ сек., то отсюда следовало, что диаметр Солнца приблизительно в 113 раз больше диаметра Земли, а объем Солнца в 1 400 000 больше объема Земли. Величина большой полуоси оказалась равной 20 682 000 географических миль. Впоследствии (1822 г.) Энке (Encke) опубликовал новое тщательно произведенное измерение параллакса Солнца на основании данных наблюдений 1761 г. Он нашел, что величина параллакса равна 8,53 сек.

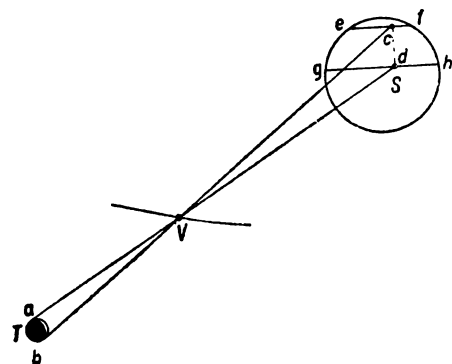


Рис. 124. Определение Галлеем параллакса Солнца.

Если известны абсолютные размеры солнечной системы, то путем рассуждений, аналогичных тем, с помощью которых Ньютон открыл законы тяготения³, можно определить силу, с которой притягивается тело у поверхности Солнца. Делаланд нашел, что эта сила в 29 раз больше притяжения Земли, так что на Солнце свободно падающее тело проходит в первую секунду $29 \times 15,09 = 434$ парижских фута. Согласно новейшим определениям, солнечный параллакс равняется $8,88''$, и, значит, расстояние Земли от Солнца равняется в круглых цифрах 20 000 000 географических миль (148,6 млн. км); соответствующим образом изменяются и другие величины, характеризующие Солнце и планеты.

¹ Joh. Mullers Lehrbuch der Kosmischen Physik, 5 Aufl., Braunschweig 1894, фиг. 97.

² Так как расстояния Земли и Венеры от Солнца относятся между собой, как 1 : 0,723, то мы имеем пропорцию: $cd : ab = 0,723 : (1 - 0,723)$, откуда следует, что отрезок $cd = 2,6 ab$.

³ См. стр. 231 настоящего тома.

Огромное значение имело наблюдение Галлея, что неподвижные звезды изменяют свое взаимное положение. Он установил это для Альдебарана, Арктура и Сириуса, у которых, по его определениям, это перемещение, называемое собственным движением звезд, достигло со времен Птолемея довольно значительной величины почти в полградуса¹.

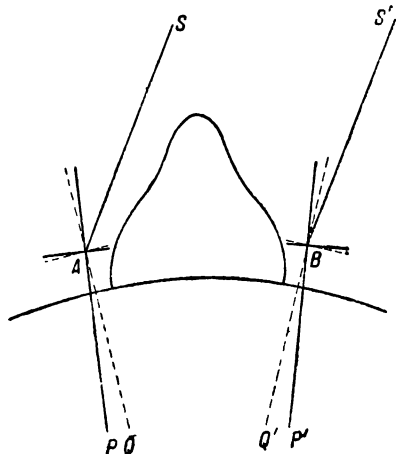


Рис. 125. Мескеляйн и Геттон (Hut-ton) определяют плотность Земли.

Расстояние между параллельными кругами, проходящими через точки A и B, равнялось 4364,4 фута. В соответствии с этим отвесы AP и AP' должны были бы, если бы между ними не были горы, образовать угол в 42,2 сек., равный разности высот полюса в обеих точках. Согласно же астрономическим наблюдениям эта разница высот полюса оказалась равной 54,6 сек. Разница в 11,6 сек. вызвана была уменьшением высоты полюса в точке A на угол PBQ и увеличением его в точке B на P'BQ'. $PAQ + P'BQ' =$ двойному отклонению маятника $= 11,6$ сек.

имевшую правильную форму гранитную гору. На основании многих, взятых из различных мест горы проб было установлено, что плотность этой горы равняется 2,5. Зная эту величину и объем горы, можно было вычислить действующую на маятник массу. Отклонения маятника от вертикали определялись при помощи измерений высоты полюса к северу и к югу от горы (рис. 125). В результате вычислений, произведенных на основании этих данных, оказалось, что средняя

Ньютон определил теоретическим путем не только сжатие Земли, но и ее плотность. Связанный с вопросом о размерах сжатия Земли спор повлек за собой снаряжение научных экспедиций в Лапландию и в Квито. В Квито Буге² сделал одно открытие, давшее возможность проверить ньютоново определение плотности Земли. Он нашел именно, что под влиянием притяжения горы Чимборасо свинцовый отвес отклонялся от вертикали на 7—8". Это наблюдение побудило англичанина Мескеляйна (1732—1811) произвести аналогичные наблюдения над горой, объем и плотность которой известны, для того чтобы из величины этого отклонения и вызывающей его массы вывести на основании ньютонова закона тяготения известную массу Земли³.

Для своих производившихся в 1774 г. измерений Мескеляйн выбрал в Шотландии одну крутую,

¹ Philosophical Transactions, 1718.

² См. стр. 344 настоящего тома.

³ Maskelyne, An account of observations made on the mountain Shehallien for finding its attraction, „Philosophical Transactions“ for the year 1795 (Vol. LXV), стр. 500.

Невиль Мескеляйн родился в 1732 г. в Лондоне и умер в 1811 г. в Гринвиче в звании астронома тамошней обсерватории. В 1761 г. он наблюдал на острове Святой Елены прохождение Венеры. Далее он был экспертом при обсуждении притязаний Гаррисона и Майера на большую премию, назначенную английским правительством за решение проблемы долготы (см. стр. 331).

плотность Земли равняется 4,71. Таким образом плотность Земли приблизительно в два раза больше плотности гранита, к которой приближается плотность большинства веществ, составляющих твердую кору Земли.

Благодаря решению подобных задач астрономия все теснее связывалась с физикой Земли. Но и чистая физика тоже существенно подвинулась вперед благодаря решению одной астрономической проблемы. В XVII в. Ремер установил астрономическим путем величину одной физической постоянной, именно скорости распространения света. Теперь представился другой случай определить эту самую величину и достигнуть таким образом, благодаря согласию между полученными различным путем результатами, большей уверенности в правильности найденной величины.

С тех пор, как появилась система Коперника, перед приверженцами ее стала задача доказать обращение Земли вокруг Солнца пу-

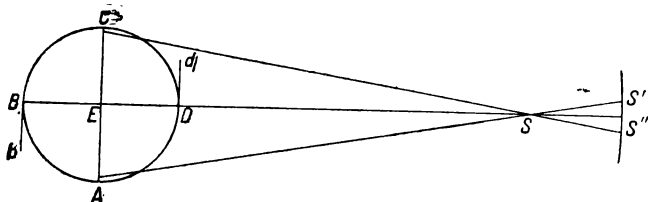


Рис. 126. Брайль открывает аберрацию света.

тем обнаружения соответствующего кажущегося годичного движения неподвижных звезд. Пусть на рис. 126 $ABCD$ означает орбиту Земли, а S — звезду, находящуюся в плоскости эклиптики. Если отношение диаметра CA земной орбиты к расстоянию ES звезды от Земли не очень мало, то в течение года неподвижная звезда совершит на небе видимое перемещение $S'S''S'$. Если звезда находится вне плоскости эклиптики, то кажущейся орбитой ее будет кривая, по своему виду в точности соответствующая орбите Земли, как она представляется со звезды¹. Угол CSE , под которым виден со звезды радиус земной орбиты, называется годичным параллаксом звезды.

Тихо, превосходивший точностью измерений всех своих предшественников, тщетно пытался установить годичный параллакс для полярной звезды; это и было главной причиной его отрицательного отношения к системе Коперника. Тем не менее последняя победила, хотя приверженцам ее все еще не удалось дать требуемого прямого доказательства обращения Земли вокруг Солнца.

Так как со времен Тихо точность астрономических наблюдений увеличилась во много раз², то Гук и Кассини снова занялись старой проблемой. Первый производил свои измерения над находящейся недалеко от северного полюса эклиптики звездой γ Дракона

¹ D a n n e m a n n, Aus der Werkstatt grosser Forscher, стр. 354.

² Точность астрономических инструментов доходила в это время уже до секунд, между тем как во времена Тихоона доходила лишь до минут.

и показал, что светило это действительно изменяет свое положение в течение четверти года на 25 сек.

С той же целью Джемс Брайлей (Bradley) (1692—1763), назначенный после смерти Галлея¹ директором Гринвичской обсерватории, производил в течение 1725—1728 гг. многочисленные наблюдения. Но, кроме γ Дракона, он исследовал также другие звезды, расположенные либо в плоскости эклиптики, либо между нею и ее полюсом. На основании своих наблюдений он установил наличие видимых движений, которые могли служить доказательством обращения Земли вокруг Солнца, хотя и не являлись парallaxическими смещениями. Действительно, в то время как γ Дракона описывала в течение года приблизительно круговую орбиту в 40" диаметром,

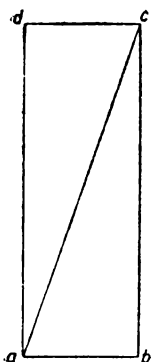


Рис. 127.
Брайлей
объясняет
абerrацию
света.

расположенные в плоскости эклиптики звезды пробегали в тот же промежуток времени дважды линию, занимавшую на небе дугу в те же 40". Наконец, звезды, находившиеся между плоскостью эклиптики и полюсами ее, описывали эллипсы, большие оси которых были параллельны плоскости эклиптики и равнялись опять-таки 40", между тем как величина малых осей колебалась между 0" и 40" в зависимости от того, была ли наблюдаемая звезда ближе к эклиптике или к одному из ее полюсов². Чтобы признать эти видимые движения за парallaxические смещения, надо было прежде всего допустить, что все неподвижные звезды находятся на одинаковом расстоянии от Земли, так как во всех наблюдавшихся случаях встречалась одна и та же величина в 40". Допущение это было само по себе невероятно, но ему противоречил еще тот факт, что из точек *B* и *D* (см. рис. 126) звезда не наблюдается на одном и том же месте, как бы это должно было быть в случае парallaxического перемещения. Брайлей нашел, что если Земля

находится в *D* и движется в направлении *Dd*, то звезда кажется сместившейся в *S'*. Если же Земля находится в *B*, где движение ее совершается в противоположном направлении, то звезда смещается в *S''*. В обоих случаях величина этого смещения равняется 20", в то время как в *C* и *A*, где направление движения Земли совпадает с направлением приходящего от звезды света, звезда, расположенная в плоскости эклиптики, видна на своем истинном месте.

Рассказывают, что на объяснение этого поразительного явления Брайлея натолкнуло одно обыденное наблюдение. Катаясь на лодке, он заметил, что флаг указывал правильно направление ветра лишь тогда, когда направление движения лодки совпадало с направлением ветра. Если же изменяли курс лодки, то положение флага зависело от направлений и скоростей ветра и лодки. Точно так же, стал рассуждать Брайлей, если свет распространяется с конечной скоростью,

¹ Галлей умер в 1742 г.

² Bradley, Account of a new discovered motion of the fixed stars („Phil. Transact.“, 1728).

то последняя должна складываться со скоростью движения Земли. На рис. 127 дан параллелограм сложения этих скоростей.

В тот момент, когда Земля находится в точках *B* или *D* (рис. 126), скорость ее, изображенная отрезком *ab* (рис. 127), равна, как и повсюду на ее орбите, около 4 миль в секунду. Угол абберрации, представленный углом *acb*, достигает тогда своего наибольшего значения, равняясь 20". В этом случае *bc* относится к *ab*, как скорость света относится к скорости Земли. Если известна одна из этих величин, то нетрудно найти другую¹. Этим способом Брайлей нашел для скорости распространения света, почти в полном согласии с Ремером, величину в 40 000 миль. В середине XIX в. оба эти, полученные астрономическим путем результаты были подтверждены земными, основывающимися на чисто физических методах измерениями.

ДАЛЬНЕЙШИЕ УСПЕХИ АСТРОНОМИИ

У Ньютона и у астрономов, преемников его, все внимание было направлено на планетную систему, представлявшую на первых порах для механики тяготения обильный ряд проблем, требовавших разрешения. Хотя Ньютон в своих «Началах» занимался вопросом об орбитах комет, но методы его для решения этого вопроса были еще крайне несовершенны. Дальнейшие исследования в этой области производились Эйлером и в особенности Ламбертом. Кеплер предполагал еще, что кометы движутся прямолинейным образом; Ньютон доказал, что и их орбиты представляют собой конические сечения. Он показал далее, как можно путем геометрического построения получить из трех положений кометы параболическую орбиту; этим методом с особым успехом пользовался Галлей.

Ламберту, с биографией и заслугами которого в деле развития физики мы уже познакомились в предыдущей главе, принадлежат основополагающие, классические работы по вопросу об определении орбит комет². Задача Ламберта, как он указывает в предисловии к своим исследованиям, заключалась в том, чтобы, исходя из свойств конических сечений, определить полностью орбиту кометы на основании трех наблюдений ее. Особенное значение имеет теорема Ламберта³, согласно которой можно определить время, требуемое кометой для прохождения дуги конического сечения, зная стягивающую эту дугу хорду и оба радиуса-вектора конечных точек ее. Для случая параболы уже Эйлер установил эту теорему⁴, но он не понял всего значения ее и не использовал ее в своих работах по определению орбит комет, между тем как Ламберт распространил ее на случай гиперболических орбит.

¹ $\frac{bc}{ab} = \text{ctg } 20''$; $bc = ab \cdot \text{ctg } 20''$.

² Ламбертовы „Abhandlungen zur Bahnbestimmung der Kometen“ („Исследования по определению орбит комет“) появились в 1761, 1771 и 1772 гг. Недавно они были переизданы Баушингером (J. Bauschinger) в виде 138-го томика оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1902.

³ Ostwalds Klassiker, № 133, стр. 36.

⁴ Miscell. Berol., т. 7, стр. 20.

Рассмотрев вопрос о движении комет в общем виде, Ламберт переходит к установлению метода определения, на основании наблюдений параболической орбиты комет. Поставленная им себе задача гласит в более точной формулировке следующее¹. Даны три геоцентрических положения движущейся по параболе кометы; требуется определить положение и величину орбиты кометы. Решение этой задачи привело его к уравнению шестой степени. Если ввести в формулы Ламберта некоторые поправки и развить их, то метод его оказывается практически пригодным².

Далее Ламберт, независимо от Канта, развил гипотезу о строении вселенной, оказавшуюся в согласии с результатами новейших исследований. Гипотеза эта была выдвинута им в его появившемся в 1761 г. произведении «*Kosmologische Briefe über die Einrichtung der Weltbaus*» («Космологические письма об устройстве мироздания»). В этой книге Ламберт различает мировые системы первого, второго и третьего порядка. Систему первого порядка образуют Солнце и всякая неподвижная звезда, так как все неподвижные звезды являются центрами особых планет и комет.

Солнечная система вместе с многочисленными соседними солнечными системами вращается вокруг их общего центра тяжести. Эту совокупность Ламберт считает системой второго порядка. Наконец, из таких систем второго порядка складывается Млечный Путь, представляющий собой диск, диаметр которого во много тысяч раз больше расстояния Сириуса от Земли. Возможно, говорит Ламберт, что существуют еще более объемлющие системы, но рассмотрение этого вопроса превосходит силы нашего разума.

Открытое Бадлеем лет за 30 (1728 г.) до появления «Космологических писем» собственное движение звезд должно, в соответствии с этими рассуждениями Ламберта, складываться из двух движений: движения самих звезд и предполагавшегося уже Ламбертом движения нашей солнечной системы. «Возможно, — говорит Ламберт, — что впоследствии удастся отделить друг от друга обе эти слагающие и указать направление, в котором движется наше Солнце». Это предсказание оправдалось, как мы увидим в одной из дальнейших глав, уже через несколько десятков лет (1781 г.) благодаря исследованиям Гершеля.

АСТРОНОМИЯ И КАРТОГРАФИЯ

Совсем исключительные заслуги принадлежат Ламберту в одной побочной области астрономии, в области картографии. Для последней вместе с появлением работы Ламберта о земных и небесных картах началась новая эпоха. Сочинение это, опубликованное впервые в 1772 г., вышло недавно в новом, снабженном примечаниями издании³.

¹ Ostwalds Klassiker, № 133, стр. 65.

² Ostwalds Klassiker, № 133, стр. 141.

³ J. H. Lambert, Anmerkungen und Zusätze zur Entwerfung der Land- und Himmelskarten. Изданы Вангерином в качестве 54-го томика оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1894.

Расцвет во второй половине XVIII в. картографии был тесно связан с предпринимавшимися тогда научно обставленными путешествиями (Кук) и с более точными топографическими съемками разных стран. Так, Кассини была изготовлена на основании грандиозной точной съемки Франции (1750—1793 гг.) геометрическая карта Франции (*Carte géométrique de la France*). Изготовленная в масштабе 1 : 86 400, она состояла из 184 листов и послужила образцом для карт других стран¹. Такое же огромное значение имело для картографии упомянутое сочинение Ламберта.

Хотя до Ламберта было немало исследований об отдельных видах проекций, но он первый установил общие принципы картографической проекции и первый указал те требования, которым должны удовлетворять карты. Работая над этой проблемой, Ламберт нашел несколько новых видов проекции, употребляемых еще и в настоящее время. К ним относятся прежде всего конические проекции, при которых сохраняется равенство углов и равенство площадей².

Тем же самым вопросом стал заниматься несколько лет спустя также Леонард Эйлер, которому и сферическая тригонометрия обязана рядом достижений, оказавшихся чрезвычайно полезными для астрономии. Работы Эйлера о картографических проекциях³ далеко превосходят труды по тому же самому вопросу Ламберта и приводят, с другой стороны, к исследованиям Лагранжа, а впоследствии Гаусса⁴ о конформном отображении поверхностей на других поверхностях.

В первой работе Эйлера рассматривается вопрос об отображении сферической поверхности на плоскости. При этом Эйлер не ограничивается только прежними видами проекции, при которых отдельные виды шаровой поверхности проецируются по законам перспективы на плоскость так, как они кажутся наблюдателю из какой-нибудь определенной точки. Он рассматривает свою задачу в общем виде и показывает, как точки шаровой поверхности могут быть изображены на плоскости по любому закону.

Между прочим, Эйлер анализирует проекцию Меркатора и показывает, что в этом случае бесконечно малые части шаровой поверхности подобны своим отображениям на плоскости, т. е. что соблюдается принцип конформности или равенства углов. Эйлер показал далее, что главное преимущество подобного рода карт для моряков заключается в том, что локсодромические линии, т. е. кривые, пересекающие все меридианы под одним и тем же углом, являются прямыми линиями. Действительно, так как при проекции Меркатора

¹ Аналогичную роль сыграла для Центральной Европы карта Реймана (Reymann). В 1806 г. вышли первые шесть частей ее, а в 1874 г. она состояла уже из 405 листов (1 : 200 000). Затем она перешла в собственность прусского генерального штаба, доведшего ее до 796 листов.

² Подробнее см. об этом в т. 54-м оствальдовской серии, стр. 24 и 67.

³ Они появились в 1777 г. в „Трудах Петербургской академии наук“ и вышли недавно в немецком переводе Вангерина в виде 93-го томика оствальдовской серии, Лейпциг 1898.

⁴ Über Kartenprojektion. Abhandlungen von Lagrange (1779) und Gauss (1822) Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, т. 55, Leipzig, W. Engelmann, 1894.

все меридианы параллельны друг другу, то всякая прямая линия пересекает их все под одним и тем же углом.

Эйлер вывел также из своих общих уравнений известное отображение земных полушарий внутри кругов, в центре которых находится полюс, между тем как меридианы и параллели пересекаются под прямым углом; он показал, что для этого вида проекции бесконечно малые фигуры на шаровой поверхности отображаются подобными им фигурами на плоскости.

Во второй работе рассматривается в общем виде один весьма часто употребляющийся вид проекции, при котором сохраняется равенство площадей; в этом случае меридианы и параллели передаются на карте в виде кругов.

Наконец, в последней работе рассматривается тот способ проекции, которым пользовался де-Лиль (De Lisle) при составлении карты российского государства¹. Здесь показывается, как можно довести до минимума ошибки составленной по методу де-Лилиа карты. Проекция де-Лилиа коническая: при ней часть шаровой поверхности отображается на конусе таким образом, что меридианам соответствуют на поверхности конуса прямые линии, а параллелям — параллельные же круги.

Не менее велики заслуги Эйлера в важнейшей вспомогательной науке астрономии, тригонометрии. В своей первой работе по этому вопросу (1753 г.) он поставил себе задачу вывести некоторые важные теоремы сферической тригонометрии по методу наибольших и наименьших значений².

Эйлер начинает с устранения некоторых сомнений, высказывавшихся против вывода теорем сферической тригонометрии при помощи методов исчисления бесконечно малых. Всегда полезно, говорит он, приходить к одним и тем же истинам различными путями, потому что благодаря этому получают обыкновенно новые точки зрения на рассматриваемый вопрос; но в данном случае, — как, впрочем, и во всех иных случаях решения проблем в общем виде, — применение нового метода стало просто необходимым. Обычно ограничивались до сих пор только прямолинейными и сферическими треугольниками. Когда же захотели изучить треугольники, возникающие на любой (например коноидальной или сфероидальной) поверхности при соединении между собой трех точек ее тремя кратчайшими линиями, лежащими на этой поверхности, то для решения этой задачи пришлось прибегнуть к средствам высшего анализа. Несколько важен такой общий подход к вопросам обоснования тригонометрии, видно из того, что геодезические измерения, как указывает Эйлер, производятся не на шаровой поверхности, а на сфероидальной. Если употребляемые при триангуляционных съемках треугольники будут достаточно велики, то придется считаться с этим обстоятельством.

¹ Автором этого вида проекции является не де-Лиль, а Меркатор, который пользовался ею уже в 1585 г.

² L. Euler, Grundlage der sphärischen Trigonometrie. Этот, сделанный Гаммером, перевод на немецкий язык труда Эйлера помещен в 73-м томе оствальдовской серии классиков точного знания, Лейпциг 1896.

В вышеназванной работе Эйлер выводит с помощью исчисления бесконечно малых формулы только для шаровой поверхности. Для других поверхностей, как, например, поверхность сфероида (эллипсоида вращения), эта тригонометрия кратчайших линий (ведь название сферической тригонометрии годится только для шаровой поверхности) рассматривается в другой, позднейшей работе Эйлера¹. Эйлер указал также на то, что формулы прямолинейной тригонометрии получаются из формул сферической тригонометрии, если принять радиус шаровой поверхности бесконечно большим². Весьма удачна была мысль Эйлера обозначать стороны треугольника через a, b, c , а противолежащие им углы через A, B, C . Благодаря этому нововведению тригонометрические формулы приняли гораздо более наглядный вид, и стало гораздо легче открывать новые соотношения между элементами треугольника³. Пользуясь своим способом обозначения, Эйлер представил особенно ясно, а отчасти впервые вывел⁴ все употребляемые теперь тригонометрические формулы, за исключением формул Гаусса⁵.

¹ Elemente der sphäroidischen Trigonometrie. Abhandlungen d. Berliner Akademie 1753, IX, 258—293.

² T r o p f k e, Geschichte der Elementarmathematik, II, стр. 295.

³ Для сравнения приведем формулировку теоремы Пифагора для любого прямолинейного треугольника по обозначению Эйлера и по употреблявшемуся до него способу

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A,$$

$$BC^2 = AB^2 + AC^2 - 2AB \times AC \times \cos BAC$$

⁴ L. Euler, Allgemeine sphärische Trigonometrie in kurzer und durchsichtiger Entwicklung von den einfachsten Voraussetzungen ausgehend. Этот сделанный Гаммером перевод на немецкий язык труда Эйлера помещен в 73-м томе оствальдовской серии.

⁵ Последние были опубликованы в 1807 и 1808 гг. Мольвейде (Mollweide) и Деламбром (Delambre).





XX

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОЛОГИЯ В XVIII СТОЛЕТИИ

В XVIII в. на основе, созданной в предыдущую эпоху главным образом работами Стено, стали развиваться, в тесной связи с успехами физики и химии, минералогия и геология.

Основанное Агриколой учение о внешних признаках составляло еще у Линнея ядро минералогии. Но мы не должны забывать, что в этой области Линней не был самостоятельным исследователем, а пытался только ввести минералы в свою всеобъемлющую систему природы. Его дифиниции были немногим лучше, чем определения Агриколы; они были даже менее понятны, ибо Линней не иллюстрировал их примерами, как это делал Агрикола¹.

Линней обращал внимание на внешнюю фигуру (кубическая форма, колоннообразная, пирамидальная), на поверхность (шероховатая, гладкая), на твердость (дает искры от удара о сталь, режется, пишется) и, наконец, на оптические свойства (прозрачность, цвет и т. д.). В то время еще мало обращали внимания на кристаллическую форму. Линней пытался свести формы минералов к формам некоторых известных солей (поваренная соль, селитра, квасцы, купорос). Это была безнадежная затея, тем более, что Линней руководствовался странной идеей, будто та соль, с формой которой сходна кристаллическая форма минерала, является также причиной формы минерала.

ОСНОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНОЙ ХИМИИ

Лишь в XVIII в. исследователи стали понимать, что минералы являются не простыми телами, а соединениями, и начали классифицировать их по их составу. Однако вследствие незрелого состояния химии в XVIII в. систематика минералов не могла быть проведена с этой точки зрения. Но зато благодаря параллельному развитию минералогии и химии в XVIII в. были заложены основы минеральной химии. Величайшие заслуги в деле этого принадлежат шведским исследователям Кронштедту (Cronstedt) (1722—1765) и Бергману (1735—1784).

Уже в XVII в. отдельные исследователи пользуются важнейшим инструментом для химического изучения минералов — паяльной

¹ Carolia Linné, Systema naturae 1768, т. 3, стр. 29 и сл.

трубкой. Но планомерным ее применением и разработкой многочисленных приемов для пользования ею мы обязаны лишь Кронштедту. Он показал, как можно, пользуясь кусочком угля, подвергнуть небольшую пробу исследуемого минерала, путем раздувания пламени и применения флюсов, всем тем химическим процессам, которым подвергается в заводском деле руда в плавильной печи при помощи мехов. И при этом анализ небольшой пробы дает нам больше сведений о составе минерала, чем заводские процессы, гораздо менее доступные прямому наблюдению. Мышьяк и сера распознаются при помощи паяльной трубки по запаху возникающих при сгорании окисей, сурьма — по получающемуся при этом налету. В пламени паяльной трубки выделяются свинец, серебро, медь, железо и т. д.¹. Кронштедт обращал особенное внимание на окраску флюсов, которые он прибавлял к пробе до начала плавления. В качестве флюсов он пользовался бурой, которая окрашивается, например, кобальтом в голубой цвет, медью в зеленый цвет, а перекисью марганца в фиолетовый цвет, в других случаях вместо буры он брал соду и фосфорную соль². Расплавленную массу восстанавливали на угле, восстановление на платиновой проволоке стали применять лишь впоследствии, когда распространилось употребление платины³. Если паяльную трубку нельзя было использовать для количественного анализа минералов, то все же в руках Кронштедта она стала могучим орудием, оказавшим минеральной химии такие же ценные услуги, какие оказало кристаллографии применение гониометра.

Для того чтобы проникнуть глубже в химическую природу минералов, надо было дополнить метод паяльной трубки или исследование сухим путем анализом растворов минералов. Только таким способом можно было получить более точные сведения о них. Методом этим мы обязаны главным образом шведскому химику Бергману. Заслуги его в деле развития качественного и количественного анализа будут рассмотрены нами в другом месте. Здесь же мы остановимся только на применении Бергманом этого метода к минералам. Измельчив сперва исследуемый минерал — а в случае необходимости расплавив его в соединении с поташом, — он растворял его в кислоте, после чего начиналось качественное исследование путем реактивов, употребляемых большей частью еще и в наше время. За этим следовал количественный анализ, но результаты его были далеко не точны по двум причинам. Во-первых, методы количественного анализа были еще весьма несовершенны; во-вторых, еще не все составные части исследовавшихся Бергманом минералов были известны. Так, например, он считал рубин, представляющий только окись алюминия (Al_2O_3), соединением этой окиси с окисью кремния. Наоборот, гиацитинт, представляющий собой соединение окиси кремния и цир-

¹ Природа этого процесса была объяснена лишь впоследствии антифлогистонной теорией.

² Тетрагидрат вторичной натриево-аммониевой соли ортофосфорной кислоты, который получали тогда из мочи.

³ В виде листового металла и проволоки платина появилась в торговле лишь в 1772 г.

кона, он считал соединением окиси кремния с окисями алюминия и кальция, ибо он не знал еще, что циркон представляет собой самостоятельное вещество. Это установил только Клапрот (Klaproth) (1789), который особенно старался развивать минеральную химию дальше в духе Бергмана. Благодаря работам Шеле, Бергмана, Клапрота и других химиков XVIII в., стремившихся соединить свою науку с минералогией, Вернер — сам, правда, не бывший химиком, но понимавший важность вопроса о составе минералов, — сумел еще до конца XVIII в. построить минералогическую систему на основании химических признаков.

УСТАНОВЛЕНИЕ СИСТЕМЫ МИНЕРАЛОВ

Еще до Вернера некоторые исследователи¹ пытались классифицировать минералы по «внутренним признакам». Но, разумеется, до тех пор, пока анализ минералов не расчистил дорогу систематике и пока не научились проводить различие между минералами, горными породами и окаменелостями, успех такого начинания не мог быть велик. Краткий обзор системы Вернера даст нам лучше всего представление о том, чего достигла минералогическая систематика к концу XVIII в.

В первый класс Вернер зачислил нерастворимые в воде окиси неметаллов и силикаты легких металлов, которые сами еще не были открыты к тому времени. Так в этой группе — к которой, между прочим, отнесен и анализ — мы встречаем группу кремния, охватывающую кварц (SiO_2) и многие другие силикаты. К ней примыкают группа алюминия с корундом (Al_2O_3), полевым шпатом, слюдой (последние два содержат в себе окись алюминия) и некоторые, на первый взгляд однородные и поэтому считавшиеся еще минералами горные породы, как базальт и глинистый сланец.

Ко второму классу, классу солей, отнесены растворимые в воде и сходные с поваренной солью минералы, как квасцы, селитра и нашатырь. К третьему классу отнесены горючие минералы (сера, янтарь, каменный уголь и т. д.).

Лучше всего определен последний, четвертый класс, содержащий в себе тяжелые металлы и их соединения. Он делится на руды, содержащие серебро (группа серебра), содержащие медь, содержащие свинец и т. д. При этом делении не обращается никакого внимания на элементы, с которыми соединены тяжелые металлы. Так, например, группа железа содержит в себе следующие виды минералов:

- | | |
|---|---|
| 1. Самородное железо Fe . | 4. Железный блеск Fe_2O_3 . |
| 2. Серный колчедан FeS_2 . | 5. Железный шпат FeCO_3 . |
| 3. Магнитный железняк Fe_3O_4 . | и т. д. |

Аналогичная минералогическая система была около 1800 г. установлена и во Франции². Однако по мере того, как стали лучше

¹ Валлерий (Wallerius), 1768.

² Гаюи (Hauy), 1801.

знакомить с химическим составом минералов, системы эти оказались недостаточными. Так, например, несмотря на то, что серный колчедан, железный блеск и железный шпат содержат в себе все три железа, в химическом отношении они должны быть отнесены к трем различным группам. Далее начали понимать, что во многих случаях химический состав имеет решающее значение для кристаллической формы. Таким образом были установлены важнейшие идеи, в соответствии с которыми развивалась, как мы увидим впоследствии, систематика в XIX в.

Из потребности определять минералы без помощи тщательного химического анализа возникло учение опризнаках, основывавшееся главным образом на применении введенной Кронштедтом в 1758 г. паяльной трубки. Бура, фосфорная соль и другие применяемые еще и ныне для быстрого определения минералов реактивы входят с этого времени во всеобщее употребление. В качестве важных признаков пользуются также цветом и спайностью минералов.

Точно так же обращают внимание на удельный вес, хотя на первых порах довольствуются только грубым определением его. Более точное определение этой физической постоянной стало возможным лишь тогда, когда в ареометре Никольсона (Nicholson)¹ было найдено удобное средство для быстрого определения удельного веса. С тех пор как Стено указал на постоянство углов у минералов, стали с усиленным интересом изучать наблюдаемое у них богатство форм. Французскому исследователю де-Лиллю² удалось доказать во всей его всеобщности правило, установленное Стено лишь для некоторых минералов. В качестве инструмента для измерения он пользовался при этом изобретенным его помощником³ прикладным гониометром (рис. 128)⁴.

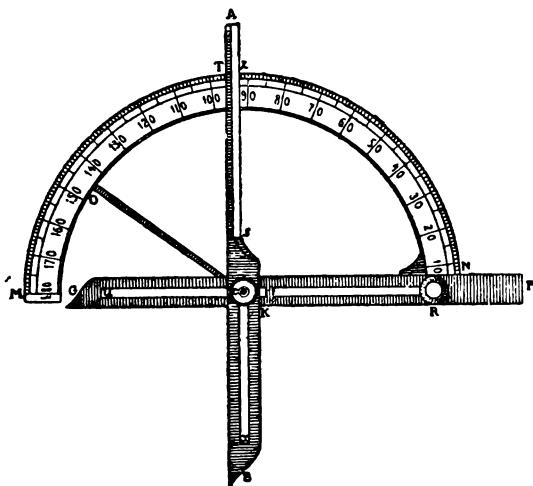


Рис. 128. Прикладной гониометр Роме де-Лилия.

GF и AB представляют две линейки, части GC и BC которых могут быть удлинены или укорочены в зависимости от величины измеряемого объекта. MTN представляет собой транспортир. AB может вращаться вокруг C. OC служит подпоркой для транспортира. Линейку AB вращают до тех пор, пока части BC и CG не станут в точности прилегать к граням кристалла. Тогда транспортир показывает величину двугранного угла.

¹ W. Nicholson (1753—1815), Description of a new instrument of measuring the specific gravities of bodies. (Mem. Manchest. Soc. II, 1787.)

² Romé de L'Isle (1736—1790), Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral. Paris 1783.

³ Haüy, Traité de Minéralogie. 1801, т. 5, ч. VIII, фиг. 77.

⁴ По имени Каранжо (Carangeot).

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

В своей «Первобытной истории» Лейбниц подчеркивал то обстоятельство, что предварительным условием для дальнейшего развития геологии является тщательное изучение состава и чередования земных пластов. Решением этой задачи занимались в XVIII в. ученые всех стран, причем крупное участие в этом деле принимали немецкие исследователи. Интерес к объяснению геологических процессов усилился в эту эпоху благодаря двум совершенно исключительным стихийным явлениям, именно возникновению одного вулканического острова (Санторина) посреди Эгейского моря и страшному лиссабонскому землетрясению. Лиссабонское землетрясение, в частности, породило целую литературу¹. Объяснением этого события занимался среди прочих исследователей и Эммануил Кант².

С возникновением Санторина и образованием у Поццуоли Monte Nuovo итальянский исследователь Моро (Моро)³ связал свою теорию о происхождении Земли. Моро отличал первозданные породы от вторичных, осадочных; по его мнению, все острова, материки и горы возникли благодаря вулканическим процессам. Соотечественник Моро, Валиснери (Vallisneri)⁴ пытался тоже объяснить геологические явления чисто естественными причинами. Он изучил морские отложения⁵, встречающиеся на обоих склонах Аппенинских гор, и показал, что и в других европейских странах распространены подобные отложения. Его исследования привели его к убеждению, что теперешние материки были некогда дном моря и что пласты, содержащие в себе окаменелости, образовались путем постепенного осаждения, похоронив в себе наши теперешние ископаемые — остатки вымерших организмов.

Первоначально обозначали названием «ископаемые» все неорганические тела, встречающиеся в недрах Земли; но в течение XVIII в. научились уже отличать окаменелости и горные породы от минералов в тесном смысле слова. С этих пор появляются в качестве самостоятельных научных дисциплин, наряду с минералогией, учение об окаменелостях и геогнозия. Во всех культурных странах обратились с большим рвением к исследованию этих новых отраслей знания и стали тщательно изучать тела неорганической природы, которым до сих пор уделяли, по сравнению с животными и растительным мирами, лишь ничтожное внимание. В университетах были учреждены новые кафедры. Подобно ботаникам и зоологам, геологи стали предпринимать теперь путешествия для исследования чужих стран. Были основаны специальные школы; так, Фрейбергская горная академия и Парижская Ecole des Mines обязаны своим происхождением вышеописанному движению. Первое из названных учреждений скоро стало известным

¹ Zittel, Geschichte der Geologie und der Paläontologie, стр. 64.

² Kant, Geschichte der Naturbeschreibung des Erdbebens vom Jahre 1755
Это небольшое произведение появилось в 1756 г.

³ Л. Моро (Lazzaro Moro), 1687—1740).

⁴ Антонио Валиснери (1661—1730) был профессором в Падуе.

⁵ A. Vallisneri, Del corpi marini che sui monti si trovano. Venezia 1721.

во всей Европе благодаря одному ученому, деятельностью которого мы скоро займемся. Мы имеем в виду немецкого исследователя Вернера (Werner), которому принадлежат выдающиеся заслуги в учении об определении минералов и геогнозии. Но прежде чем обратиться к нему, мы должны остановиться на двух других немецких геологах, которые устранили из геологии всякого рода спекулятивные исследования и предприняли основательное, критическое исследование земных пластов, заложив тем основу для научной деятельности Вернера. Этими исследователями были Леман (Lehmann) и Фюксель (Füchsel).

Леман¹, преподававший минералогию и химию сперва в Берлине, а впоследствии в Петербурге, опубликовал после многочисленных предварительных работ и наблюдений первое точное исследование состава и расположения осадочных горных пород². Он отличает их как «флецовые породы» от «жилых пород», возникших раньше и «продолжающихся в вечную бездну». Характерно, что по взглядам первых немецких геологов, не ограничивающихся одними только теоретическими спекуляциями, а тщательно изучивших фактический материал, вся масса земной коры, включая граниты и базальты, возникла из воды, между тем как итальянские ученые под непосредственным впечатлением деятельности вулканов приписывали все вулканической силе и считали даже (как, например, Моро) осадочные породы продуктами извержений.

Работа Лемана, как и рассуждения Лейбница и тщательные исследования Фюкселя, основываются главным образом на изучении геологической природы Мансфельдской области, в которой уже с древних времен производились горные работы. Леман различает 30 разных пластов, пользуясь при этом употребляемыми отчасти еще ныне обозначениями, как, например, цехштейн, медистый сланец и т. д.

Другому предшественнику Вернера, врачу Фюкселю, принадлежит создание первой точной терминологии. Особенно важное значение имело введение им понятия «формация». «Каждое отдельное отложение, — говорит Фюксель, — образует особый земной пласт или банку. Но существуют известные череды пластов, образовавшихся непосредственно друг за другом при одинаковых условиях; вместе взятые, такие ряды образуют то, что мы называем формацией, и каждая подобная формация соответствует некоторой эпохе в истории Земли». Отдельные формации Фюксель характеризовал собственными им окаменелостями, так называемыми путеводными ископаемыми.

Г.-Х. Фюксель родился в 1722 г. в Ильменау и был врачом в Рудольштадте, где он умер в 1773 г. Результаты своих геологических работ он изложил в своей «*Historia terrae et maris ex historia Thuringiae per montium descriptionem erecta*, 1768».

¹ И.-Г. Леманн был профессором химии и минералогии в Берлине. Умер в 1767 г.

² J. G. Lehmann, Versuch einer Geschichte der Flözgebirge, Berlin 1756.

Он отличал для Тюрингии следующие девять формаций:

1. Раковистый известняк, как верхние известковые породы.
2. Песчаниковые породы (пестрый песчаник).
3. Современный мелкозернистый доломит.
4. Медистый сланец.
5. Белый лежень.
6. Красные породы.
7. Аспидные породы.
8. Каменноугольные породы, выступающие местами в Тюрингии.
9. Первоначальные породы.

Фюксель первый в Германии составил геологическую карту исследованной им области. Он иллюстрировал также свои описания удачными чертежами геологических профилей. Хотя его работы были мало известны публике, но на них главным образом опирался Вернер, этот Линней геологии.

В XVIII в. во Франции мы наблюдаем те же тенденции, что и в Германии. Во Франции Геттар (Guettard), исследовав Парижский бассейн, пришел к тому выводу, что он некогда был покрыт водой и заполнился отвердевшими с течением времени отложениями впадавших некогда в тамошнее море рек. В горах Оверни (как *Puy du Dôme* и *Mont Doré*) Геттар распознал потухшие вулканы.

Сочинение Геттара¹ об овернских вулканах имело огромное значение для развития геологии, так как оно обратило внимание геологов от спорадической активности еще действующих вулканов на колоссальную роль вулканизма в прошлой истории земли². Геттар на основании лавообразных пород и масс пемзы, встречающихся в конусообразных горах Оверни, пришел к убеждению, что последние были некогда действующими вулканами. Что касается базальта, то вследствие его кажущейся кристаллической правильности Геттар отвергал вулканическое происхождение его, считая его скорее продуктом кристаллизации из водного раствора. Лишь один младший современник и соотечественник Геттара — Демарэ³ (Desmarest) — понял истинную природу базальта. Он показал, что базальт часто покоится на вулканическом пепле, что иногда он бывает покрыт этим пеплом или переходит постепенно в лаву. В других местах базальт, как он показал, представляет собой застывшие потоки, так что невозможно было сомневаться в его первоначальном огненножидком происхождении. Демарэ доказал, что, вероятно, таково же происхождение более древних горных пород (гранита и порфира).

В 1746 г. Геттар издал геогностическую карту Франции, Англии и части Центральной Европы. На этой карте не только были ука-

¹ Жан-Этьен Геттар родился в 1715 г. Он был заведующим естественно-научной коллекцией. Он совершил много путешествий и умер в 1786 г. в Париже.

² *Mem. Acad. roy. des Sciences pour 1752*, стр. 27. *Sur quelques montagnes de la France qui ont été Volcans.*

³ Николай Демаре родился в 1725 г. и умер в 1815 г. директором Севрского фарфорового завода. Он путешествовал в течение многих лет, чтобы изучить в геологическом отношении Францию и Италию.

заны месторождения минералов и горных пород, но нанесены были также важнейшие рудники и минеральные источники, а кроме того местонахождения ископаемых, так что ею можно пользоваться еще и в настоящее время¹.

Впоследствии Геттар сообща с Лавуазье работал над изданием минералогически-геогностического атласа Франции. Предприятие это осталось незаконченным, хотя вышло довольно много листов атласа.

УСТАНОВЛЕНИЕ ЭПОХ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

Особенное место в истории геологии занимает Бюффон (Buffon), самый остроумный естествоиспытатель XVIII в. Бюффон² (1707—1788), с биографией и ходом развития которого мы познакомимся в другом месте, обогатил геологию не столько новыми наблюдениями, сколько новыми идеями и синтетически-обобщающим подходом к известным уже фактам. С несравненным мастерством изложения он представил геологию как длительный процесс истории нашей планеты. Согласно Бюффону планеты возникли из Солнца; исходя из ошибочной гипотезы, он утверждал, будто под влиянием столкновения Солнца с кометой планеты отделились от центрального светила.

Чтобы составить себе представление о продолжительности истории Земли, Бюффон произвел многочисленные опыты над охлаждением раскаленных шаров различного диаметра. На основании этих опытов он высчитал, что охлаждение Земли от ее первоначальной температуры до ее теперешнего состояния произошло приблизительно в 75 000 лет. Отсюда для отдельных эпох истории Земли получились периоды времени³, представляющиеся теперь слишком ничтожными. В первую эпоху, насчитывавшую по Бюрфорду 35 000 лет, материка под влиянием неравномерного сжатия земной коры отделились от морских бассейнов. Под влиянием той же температуры и образования газов внутри земного шара возникли первобытные горы. По мере охлаждения температуры Земли парообразная оболочка, окружавшая первоначально последнюю, сгустилась в воду. Третья эпоха начинается поэтому с образования первобытного моря, из которого выдавались только вершины первобытных гор. Горячая вода первобытного моря обладала в высокой степени способностью разлагать и растворять твердые составные части земной поверхности. Эти составные части постепенно снова выделились из указанного раствора в виде глины, сланца и песка, расположившись параллельными слоями над первобытными горами. Под конец, под влиянием дальнейшего охлаждения, море населилось живыми существами, скорлупы которых тоже содействовали образованию пластов. Благодаря непрерывному изменению окружающей среды органический мир также непрерывно изменял свой характер путем вымирания одних видов и возникновения новых видов. Из остатков сложных растений образовались в эту эпоху и пласты, заключающие в себе каменный уголь.

¹ Zittel, Geschichte der Geologie, стр. 56.

² George Louis Le clerc de Buffon.

³ Buffon, Epoques de la Nature, 1778.

В течение ближайшей (четвертой) эпохи развилась, благодаря проникновению в раскаленную внутренность Земли огромных масс воды, колоссальная вулканическая деятельность, нарушившая существовавшее равновесие земной коры и коренным образом изменившая взаимное расположение пластов. Современные извержения и землетрясения являются, по Бюффону, лишь сравнительно слабыми отзвуками могучей борьбы стихий в ту эпоху.

В следующую эпоху обстановка жизни на Земле приблизилась к современным условиям. Так как в жарком экваториальном поясе условия жизни были еще неблагоприятны, то огромные сухопутные млекопитающие возникли в приполярных странах. Лишь постепенно флора и фауна спустились из полярных областей к экваториальным широтам, между тем как в распределении воды и суши произошли лишь ничтожные изменения. Например, в эпоху, в конце которой появляется человек, произошло отделение Великобритании от Франции. Тогда же возникло Балтийское море. Аналогичные изменения произошли и в других частях земного шара; к ним Бюффон относит возникновение Зундских и Антильских островов из частей соседних материков.

В бюффоновском описании эпох природы мы встречаем обилие новых мыслей, все значение которых было оценено лишь позднейшими поколениями.

ДАЛЬНЕЙШИЕ УСПЕХИ ГЕОЛОГИИ

Если Бюффон больше всех других исследователей XVIII в. старался представить геологию в ее систематическом целом, то другие ученые пытались укрепить основы этой науки тщательным исследованием и изучением отдельных фактов. Среди них мы должны назвать Палласа (Pallas) как исследователя внеевропейских стран, Соссюра (Saussure) как основателя научного альпинизма и Вернера, продолжавшего начатое Леманом и Фюкселем дело точного исследования отдельных формаций.

Паллас¹ родился в 1714 г. в Берлине. Он изучал медицину и естественные науки. Еще в молодые годы он был приглашен в Петербургскую академию наук. Екатерина Вторая поручила ему руководство научной экспедицией в Сибирь (1768—1774 гг.). По своем возвращении он опубликовал отчет о путешествии в Северную Азию, превосходивший работы всех прежних путешественников богатством новых наблюдений. Паллас умер в 1811 г. в Берлине.

Главным результатом его исследований было установление того факта, что почва Сибири в ее верхних, состоящих из глины, мергеля и остатков растений частях буквально заполнена костями сухопутных млекопитающих. Данное Палласом объяснение этого факта было мало состоятельным. Тем не менее оно вскоре легло в основу фантастической теории катастроф Кювье. Исходя из вулканического характера Тихого океана, который, по его мнению, как бы «покоился на одном вулканическом своде», и из свойств сибирской равнины, Паллас пришел к тому выводу, что под влиянием вулканической силы

¹ Simon Peter Pallas.

воды Великого океана устремились к полюсам, унося с собой бесчисленные растения и животных тропических стран и похоронив их в обломках горных пород.

Работы Палласа имели значение главным образом для зоологии, ботаники и этнографии. Но ему принадлежат также многие ценные наблюдения и замечания и в области геологии. Паллас отверг взгляд Бюффона, будто первобытное море достигало почти вершин древнейших гор. По его мнению, осадочные породы были подняты высоко над уровнем моря действием вулканических сил. На основании нарушения взаимного расположения пластов Паллас делал правильные выводы о возрасте гор: так, например, он доказывал, что Альпы обязаны своим происхождением сравнительно недавнему горообразовательному процессу.

Орас-Бенедикт де-Соссюр посвятил себя почти исключительно делу исследования Альп, которому он отдал многие годы тяжелого труда. Соссюр родился в 1740 г. в Женеве, где был впоследствии профессором. В 1787 г. он совершил с научной целью¹ первое восхождение на Монблан. Он умер в 1799 г. В обширном произведении он собрал результаты своих исследований Альп с геологической, биологической, метеорологической и физической точек зрения².

Соссюр установил, что ядро Альп состоит из первозданных пород (в особенности гранита), на которые налагают осадочные, сперва еще лишенные окаменелостей породы. Надо заметить, что, хотя Соссюр начал научное изучение глетчеров, однако он не понял еще истинной природы эрратических валунов и других ледниковых образований, принимая их, в духе катастрофических теорий, за признаки внезапной бурной деятельности стихий (например обвала горных масс). Но зато большое значение имело доказательство того, что Западные Альпы не являются продуктом вулканической деятельности, так как нигде не встречаются следы последней. Однако он не дал собственного объяснения горообразовательных процессов.

Упомянем еще, что геологические работы Соссюра были связаны с исследованиями о снеговой линии, об увеличении температуры по мере углубления внутрь Земли и о распределении флоры в зависимости от высоты. В последнем отношении он является предшественником Гумбольдта в его ботанико-климатологических изысканиях на острове Tenerife и в Южной Америке.

ВЕРНЕРОВА СИСТЕМА МИНЕРАЛОВ И ГОРНЫХ ПОРОД

По мере того, как росло знакомство с горными породами, рос и хаос в деле классификации и наименования их. Этому состоянию положил конец Вернер своим первым систематическим учебником геогнозии. Учебник этот появился в 1787 г. под названием «Краткая классификация и описание различных горных пород».

¹ De Saussure, *Rélation d'un voyage à la cime du Montblanc en août, 1787*. Он определил высоту Монблана в 2426 футов, Экспедиция Соссюра стала возможной благодаря тому, что предварительно один проводник поднялся на Монблан.

² *Voyage dans les Alpes, 1779—1796, 411.*

Абраам-Готтлиб Вернер родился 25 сентября 1750 г. в одном маленьком местечке Верхней Лузации. Отец его был директором железнодорожного завода и обладал коллекцией минералов, необычайно интересовавшей мальчика. С 1775 г. Вернер стал преподавать в Фрейбергской горной академии¹.

В исследуемых им областях знания Вернер занял вскоре такое же место, какое занимал в эту же пору Линней среди ботаников и зоологов. Оба ученых замечательны в истории науки главным образом как преподаватели и систематики. Они обладали талантом привлекать к своей науке новых приверженцев; результаты же их собственного творчества были сравнительно скромными. Далее у Вернера, как и у Линнея, развилась известная односторонность, что при огромном авторитете обоих ученых действовало подчас неблагоприятно на дальнейшее развитие науки.

Так как книга Вернера об ископаемых² особенно пригодна для ознакомления с состоянием минералогии в XVIII в. и так как она оказала исключительное влияние на развитие этой науки, то мы здесь приведем кое-какие данные из нее.

Под наукой об ископаемых Вернер понимает то, что мы называем теперь минералогией. Она, по его словам, важна не только благодаря приносимой ею пользе, но и потому, что на нее опираются «учение о горных породах» (петрография) и «минералогическая география» (геология).

Мы знаем уже, что основателем современной минералогии был немец Агрикола (Бауэр)³. В следующие за эпохой Агриколы два века успехи этой науки были ничтожны. Новый расцвет ее начался около 1730 г., т. е. лет за сорок до имевшего такое огромное значение выступления Вернера. Между минералогами XVIII в. намечилось несколько течений. Одни строили свою науку исключительно на внешних признаках минералов, между тем как другие видели важнейшую задачу ее в разложении минералов на их составные части. Промежуточное положение занимали ученые, желавшие образовать различные группы минералов в зависимости от их химического состава, причем решающее значение для определения места отдельных минералов внутри этих групп должны были иметь внешние признаки⁴. Вернер, наоборот, думал, что самое естественное — это классифицировать минералы исключительно по их химическому составу, так как на этом основываются самые существенные различия между минералами. Но если книга его, несмотря на это, трактует в первую голову о признаках, то в этом нет никакого противоречия, ибо, как говорит Вернер, «две совершенно различные вещи — классифицировать минералы и искать средства для быстрого и надежного распознавания отдельных видов минералов». К тому же химия была еще недостаточно раз-

¹ За год до того появилась его первая книга „О внешних признаках ископаемых“.

² Werner, Von den äusserlichen Kennzeichen des Fossilien.

³ Georgius Agricola, De natura fossilium, Basileae 1546.

⁴ Wallerius, De systematibus mineralogicis et systemate mineralogico rite condendo, 1768.

вита, чтобы дать необходимую основу для системы, к которой стремился Вернер. Поэтому оставалось прежде всего усовершенствовать, путем тщательного изучения и точного определения понятий, учение о внешних признаках минералов. В этом и заключалось главным образом реформаторское дело Вернера. Он очень удачно замечает, что предпочитает плохо классифицировать и хорошо описать минералы, чем хорошо классифицировать и плохо описать.

Вернер отличает внешние, внутренние и физические признаки. Хотя, по его мнению, самые важные признаки — это внутренние или химические, но они неудобны по ряду причин. Для установления их требуется множество приспособлений; кроме того, в этом случае необходимо, чтобы минералог был в то же время и искусным химиком. Далее при химическом исследовании пропадает подвергающееся разложению вещество. Под физическими признаками Вернер понимает свойства, обнаруживаемые минералами под влиянием других тел, в частности их магнитные и электрические свойства. Так как эти последние не играют значительной роли, то в качестве важнейших признаков остаются внешние, воспринимаемые нашими чувствами признаки.

Особенно подробно Вернер рассматривает цвета минералов. Их одних, конечно, недостаточно для различения между собой минералов, но это замечание относится и ко всем другим свойствам, порознь взятым. Только сумма всех свойств дает понятие о минерале¹. Вернер различает восемь главных цветов: белый, серый, черный, голубой, зеленый, желтый, красный, коричневый. Внутри каждого главного цвета он различает ряд оттенков, приводя в качестве образцов последних какие-нибудь типические минералы. Так, например, для желтого цвета мы имеем:

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. Серно-желтый (сера). | 3. Винно-желтый (топаз). |
| 2. Бронзовый (серный колчедан). | 4. Желтый, как золото (золото и т. д.). |

Каждый из этих оттенков не только иллюстрируется одним или несколькими примерами, но еще, кроме того, точно описывается. Желтый, как золото, — говорит, например, Вернер, — это металлический, резкий, желтый цвет, в котором не замечается примеси никакого другого цвета.

Вернер создал, кроме того, употребляемые еще и ныне обозначения для внешнего вида (*Habitus*) минералов; он столь точно описал такие выражения, как «плотный, вкрапленный, дымчато-нежный, переплетенный, дендритический» и т. д., что они стали пригодны для научной терминологии.

Вернер уделяет уже значительное внимание форме кристаллов, но он еще далек от научной кристаллографии. Вернер различает ряд основных форм, например: колонна, пирамида, восьмигранник, и описывает, как они изменяются благодаря скашиванию и заострению. Скошенным он называет, например, кристалл, у которого как бы срезаны «некоторые или все» углы и ребра. Вернер лишь мимоходом упоминает о том², что свинцовый блеск и известковый шпат представ-

¹ Вернер, цит. соч., стр. 89.

² Werner, Von den äusseren Kennzeichen der Mineralien, стр. 197.

ляют огромное богатство кристаллических форм. Из описаний Вернера ясно также, что он, подобно своим предшественникам, мало занимался исследованием таких характеристических форм, как представляемый серным колчеданом додекаэдр¹.

О том, как слабо чувствовалась еще в области описания природы потребность в научной точности, свидетельствует подход Вернера к признаку «тяжести», столь важному и представляющему такую массу различий. О такой простой вещи, как определение удельного веса при помощи гидростатических весов, мы читаем у него следующее²: «Этот метод неприменим в минералогии. Действительно, возможно ли иметь всегда под рукой необходимые для этого инструменты, и в каком кабинете позволят минералогу производить подобные испытания с образцами руды? Здесь мы должны пользоваться своими собственными органами, держа минерал на весу. Наше чувство должно сказать нам, как велика относительная тяжесть минерала, принимая в расчет занимаемый и определяемый нами на-глаз объем». В соответствии с таким совершенно ненаучным методом, Вернер и пользуется при своих описаниях терминами: легкий, не особенно тяжелый, тяжелый и необычайно тяжелый.

Лишь мимоходом рассматриваются Вернером и химические свойства веществ. Так, например, он рекомендует пользоваться аммиаком для доказательства наличия меди (голубая окраска раствора), обрызгиванием кислотой для установления наличия углекислых солей и т. д.

В заключение, чтобы показать способ изложения Вернером минералогии, мы приведем его описание кристаллического гипса:

Он яркого белого цвета;
плотный;
шероховатый;
снаружи едва мерцает;
изнутри сильно блестит;
состоит из больших плоских листов;
распадается на ромбовидные куски;
прозрачен;
очень мягок;
в тонких пластинках слегка упруго-гибок;
немного звучит;
тощ;
несколько холоден на-ощупь;
не особенно тяжел.

Если в настоящее время положительные результаты творчества Вернера кажутся нам не особенно великими, то все же его реформа имела блестящий успех и содействовала тому, что уже при его учениках (Брейтгаупт, Вайс и др.) минералогия заняла подобающее место.

Геогнозисей Вернер называет «науку, которая знакомит нас вообще с твердыми составными частями земного шара и дает нам све-

¹ V. Kobell, Geschichte der Mineralogie, стр. 93.

² Вернер, цит. соч., стр. 274.

дения о различных местоположениях ископаемых, образующих Землю, а также об их происхождении и отношении друг к другу». Хотя путем различных комбинаций минералов, которых уже Вернер знал более 200 видов, могло бы получиться неограниченное множество смешанных пород, но в действительности оказалось, что разнообразие горных пород далеко не безгранично и что большинство из них имеет очень характерные особенности и легко распознаваемо. «Весьма вероятно, — говорит Вернер, — что мы уже знакомы с большей частью горных пород, так как все встречающиеся в отдаленнейших странах породы сходны с известными уже нам видами»¹. Затем все виды горных пород делятся Вернером на пять групп, которые он различает между собой как породы первичные, переходные, флещовые, наносные и вулканические.

К первой группе Вернер причисляет гранит, гнейс и слюдяной сланец. Он называет эти породы «первозданными», потому что они составляют как бы ядро гор и простираются внутрь Земли. Для этих пород в его глазах характерно также отсутствие окаменелостей. Первые окаменелости мы встречаем лишь в переходных породах, состоящих главным образом из глинистого сланца и серой вакки.

Флещовыми породами Вернер называет известняк, песчаник красный, лежень, базальт, каменный уголь, каменную соль и гипс. По его мнению, весьма вероятно, что эти породы возникли из пород первой группы, образовавшейся, со своей стороны, путем кристаллизации из водного раствора. Для флещовых пород, по его мнению, характерно наличие многочисленных окаменелостей, а также то обстоятельство, что обыкновенно пласты их чередуются внутри одного и того же горного массива, между тем как первичная порода образует всю массу или значительную часть построенного из нее горного хребта. Наконец, продукты выветривания этих пород называются наносными породами; последние либо заполняют долины в виде россыпей из гальки и песка, либо же составляют верхний покров низменностей.

НЕПТУНИЗМ И ВУЛКАНИЗМ

Прогресс геологии нанес смертельный удар взглядам Вернера на природу и происхождение вулканических пород. Вернер считал последние наиболее поздними продуктами, возникшими путем расплавления осадочных пород под действием пожара угольных пластов. О базальте, огненножидкое происхождение которого было окончательно установлено исследованиями французских ученых, Вернер утверждал, что он является осадочной породой; базальт представлял собой некогда широко распространенные пласты, которые по большей части были разрушены, оставив после себя разбросанные базальтовые своды.

Один из учеников Вернера² ополчился на это учение, и вскоре в Германии загорелся ожесточенный спор между сторонниками Вер-

¹ Вернер, цит. соч., предисловие.

² Он назывался К. В. Фойгтом (K. W. Voigt) и собрал в Рене (Rhön) массу фактов, говоривших самым недвусмысленным образом против нептунического происхождения базальта.

нера, «нептунистами», и их противниками, «вулканистами». Из разных мест произведений Гёте известно, что и он принимал деятельное участие в этом споре.

Вернер боролся также с новым, защищавшимся Палласом и Сосюрром, учением, что горы и значительная часть земной поверхности были подняты вверх. По мнению Вернера, изменился уровень всемирного океана; огромные массы воды, стекая с материков, создали своей эрозионной деятельностью неровности земной поверхности. Это ошибочное утверждение было опровергнуто опять-таки учеником Вернера, выдающимся геологом фон-Бухом (Buch).

Указанные односторонности и ошибки объясняются главным образом тем обстоятельством, что теории Вернера были построены на наблюдениях, произведенных им в Рудных горах и соседних частях Богемии и Саксонии. Французские же геологи и воспитанное Вернером молодое поколение немецких ученых исследовали с геологической стороны прежде всего Италию, а вскоре также всю остальную Европу и внеевропейские страны и пришли благодаря расширению своего умственного кругозора к более правильным взглядам. Тем не менее заслуга Вернера была не мала. Для геологии и минералогии она состоит в том, что он «ввел твердую терминологию и создал таким образом возможность ясного изложения наблюдаемых фактов»¹.

Прежде чем обратиться к младшему поколению геологов, мы должны остановиться на деятельности человека, больше всего способствовавшего крушению односторонне «нептунистического» учения Вернера. Мы имеем в виду Джемса Геттона (Hutton). Он родился в 1726 г. в Эдинбурге, учился в своем родном городе и в Париже, провел свою жизнь в качестве частного ученого и умер в 1797 г. Геттон был несравненным наблюдателем и трезвым, тонким мыслителем. Свои, полученные строго индуктивным путем геологические теории он развил в первый раз в 1785 г. Подробно он изложил их в появившейся в 1795 г. «Теории земли»².

Геттон производил свои наблюдения в Англии, во Франции и главным образом в Шотландии. В Грампианских горах последней он исследовал границу между гранитом и смежными горными породами. При этом он сделал важное открытие, что из гранитного массива выходят иногда жилы, пронизывающие смежные породы и часто существенным образом изменяющие их в местах соприкосновения с гранитом. Геттон вывел отсюда, что гранит и похожий на него порфир — вулканического происхождения и моложе пронизываемых ими пластов. Он сделал далее то наблюдение, что породы, признававшиеся им первобытно огненножидкими, местами разлились между пластами осадочных пород и поэтому ошибочно признавались за флещообразные породы.

Оставалось объяснить еще различие между гранитом, порфиром и базальтом, с одной стороны, и пористыми, не обнаруживающими

¹ Zittel, Geschichte der Geologie, стр. 90.

² J. Hutton, Theory of the Earth, Edinburg 1795, 2 тома. Извлечение из этой работы на немецком языке появилось в 6-м томе фойгтовского „Magasin der Physik“.

большей частью ясного кристаллического строения лавами еще действующих вулканов — с другой. С этой трудностью удалось справиться благодаря возникшей к этому времени экспериментальной геологии, принесшей доказательства правильности учения Геттона. Джеймс Галль (Hall), соотечественник Геттона и основатель эксперимента в геологии, показал, что если расплавить лавы Везувия и дать им медленно охлаждаться, то получаются кристаллические массы, строение которых зависит от условий эксперимента. Таким образом была доказана ошибочность утверждения непутистов, будто кристаллическое строение всегда свидетельствует о процессе выделения из водного раствора. Далее Галль доказал экспериментальным путем правильность взгляда Геттона, утверждавшего, что особенности строения некоторых горных пород объясняются высоким давлением; под которым они образуются внутри Земли. Галль расплавлял, например, мел в закрытых сосудах, благодаря чему он не распадался на известь и углекислый газ. И в этом случае продукт охлаждения имел зернисто-кристаллическое строение и был вполне тождественен с мрамором¹. С тех пор древнейшие породы, образовавшиеся под высоким давлением из расплавленной массы путем медленного охлаждения, стали называться плутоническими породами.

В своем общем геологическом мировоззрении Геттон значительно опередил своих современников, придерживавшихся учения о катастрофах. Он исходил из двух основных идей, ставших лишь со времени Ляйелля (Lyell) общим достоянием геологов². Именно Геттон решительно высказался против взгляда, будто в истории Земли имели место катастрофы или действия каких-то сверхъестественных сил, и пытался объяснить все факты на основании известных, действующих еще и в настоящее время сил. Но так как результаты последних в течение краткого, доступного наблюдению времени могут быть лишь незначительными, то Геттон принимал еще гипотезу об огромных периодах, в течение которых должно сказаться действие геологических сил.

Относительно осадочных пород Геттон развивал взгляды, в существенном тоже совпадающие с современными геологическими воззрениями. Он принимал, что эти породы двойкого происхождения. Они возникли на дне морей в виде песчаниковых или глинистых пластов из материалов, образовавшихся путем разрушения материков. Пласты эти чередуются с известковыми породами, образовавшимися со своей стороны из скорлуп морских животных. Осадочные породы поднимались на поверхность не благодаря опусканию уровня моря, как это допускали многие прежние геологи, но под влиянием вулканических сил. Под влиянием же вулканического жара отложения эти

¹ Приборы Галля, а также полученные с их помощью в 1787—1805 гг. геологические препараты хранятся в музее Геологического общества. Среди них фарфоровые трубки, в которых расплавлялся под большим давлением мел, а также пробы базальта и лавы, расплавлявшиеся и охлаждавшиеся при различных условиях, и т. д.

² Обе эти идеи встречаются уже у Аристотеля, следовавшего в этом отношении примеру Демокрита. См. том 1.

приняли твердый вид. Современная геология не разделяет, впрочем, целиком этого взгляда. Школа Геттона учла также надлежащим образом эрозионную деятельность воды, обратив впервые внимание на роль ледникового льда, формирующего горные породы и уносящего с собой обломки их¹.

ОСНОВАНИЕ ПАЛЕОНТОЛОГИИ

По мере того как изучение горных пород пролиvalo свет на историю развития Земли, внимание ученых стало все больше обращаться к окаменелостям, заключенным в этих породах. Распространенное раньше мнение, будто окаменелости представляют собой игру природы или остатки жертв потопа, уступило постепенно место убеждению, что окаменелости представляют собой остатки прошлой фауны и флоры. Так возникла палеонтология, ставшая в союзе с развившейся в XVIII же веке геогнозией — основой геологической науки XIX в. Появились произведения об ископаемых растениях, как, например, книга Шейхцера (Scheuchzer)². А в 1755 г. в Германии вышло обширное систематическое произведение по палеонтологии, которое можно поставить рядом с крупными естественно-историческими произведениями ботаников и зоологов этой эпохи, а также и предшествовавшего периода³.

Швейцарец Шейхцер (1672—1733) был главным представителем «допотопников», считавших все окаменелости свидетелями потопа. Один найденный в известковом сланце Эннингена отпечаток, который Кювье впоследствии приписал гигантской саламандре (Andrias Scheuchzeri), Шейхцер считал за homo diluvii testis, за отпечаток скелета нечестивого человека, из-за грехов которого обрушилась на мир катастрофа.

Автором вышеупомянутого большого произведения по палеонтологии был нюрнбергский коллекционер и художник Кнорр⁴. Вместе с иенским профессором Вальхом (Walch) Кнорр издал снабженную многочисленными гравюрами книгу, имевшую основоположное значение для науки об окаменелостях. Пояснения к гравюрам принадлежат Вальху и считаются образцом основательной эрудиции; многочисленные же гравюры будут всегда признаваться свидетельством поразительного трудолюбия. Мы здесь можем лишь вкратце отметить богатое содержание книги: в ней говорится об ископаемых рыбах, раках, морских лилиях, аммонитах, наутилицах, моллюсках, улитках, брахиоподах, губках, кораллах, белемнитах и т. д. Особенно удачна глава о характерной для силурийской формации группе ракообразных, трилобитах. Из растительного царства описываются ископаемые

¹ Ученик Геттона, Джон Плейфер (John Playfair) (1748—1819), *Illustration of the Huttonian Theory*, 1802.

² Scheuchzer, *Herbarium diluvianum*, 1721.

³ Мы имеем в виду снабженную 300 превосходными гравюрами книгу Кнорра (Knorr, вышедшую в 1775 г. в Нюрнберге под названием: „Sammlung von Merkwürdigkeiten der Natur und Altertümern des Erdbodens“.

⁴ Georg Wolfgang Knorr (1705—1761).

деревья и встречающиеся в каменноугольных пластах окаменелые растения. Ценность книги увеличивается еще благодаря тому, что она содержит в себе весьма полные и надежные указания на всю предыдущую литературу.

Интерес Вернера и его учеников был направлен в первую голову на состав и взаимное расположение горных пород. Окаменелостям они уделяли лишь ничтожное внимание. Книга Кнорра и Вальха, с другой стороны, ограничивалась только точным описанием ископаемых. Лишь с конца XVIII в. стали рассматривать окаменелости как исторические документы и начали понимать их отношение к органической жизни нашего времени. Так, например, прежде геологи приписывали отпечатки листьев в угленосных пластах тропическим растениям. И казалось почти дерзостью, когда в 1784 г. один геолог¹ заявил, что эти отпечатки не имеют ничего общего с современными растениями и являются остатками совершенно вымерших видов.

Аналогичным образом изменились и взгляды на окаменелости животного происхождения. Уже в древности находили в разных местах ископаемые кости огромных млекопитающих. Подобные находки упоминаются, например, у Плиния, а впоследствии у Афанасия Кирхера. Но научный интерес они вызвали лишь в XVIII в., когда число их умножилось и когда перестали довольствоваться басней, будто это остатки живших некогда пород великанов. В 1700 г. около Каннштатта открыли ископаемые кости, среди которых оказались многочисленные слоновые клыки, а приблизительно через сто лет Blumenbach мог указать в Германии несколько сот мест, в которых встречаются остатки допотопного слона, названного Blumenbachом *Elephas primigenius* (мамонтом) в отличие от еще живущих видов этого рода. Первые сведения об остатках мамонта в Сибири относятся к 1725 г., а к концу XVIII в. Паллас² показал, что почва Северной Азии буквально усеяна остатками мамонта.

Аналогичным образом изменились и взгляды на окаменелости в XVIII в. в Америке. При помощи открытых в северной части материка остатков удалось восстановить скелет мастодонта; в 1789 г. в Европу прибыл полный, найденный в почве пампасов скелет гигантского ископаемого, которое было названо мегатерием (гигантским ленивцем). Около этого же времени в парижском гипсе были впервые найдены кости ископаемых птиц.

Кювье, тесно связав палеонтологию с зоологией и сравнительной анатомией, вдохнул в первую совершенно новую жизнь. Впоследствии мы расскажем, как благодаря этому учение об окаменелостях превратилось из голого описания достопримечательностей природы в современную индуктивную науку.

¹ Г. А. Сукков (G. A. Suckow), подробнее см. *Geschichte der Geologie*, стр. 214.

² См. стр. 376 настоящего тома.



ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И ЭПОХА ПРОСВЕЩЕНИЯ

Новейшая философия и новейшее естествознание оказали огромное влияние на мышление европейского общества, породив к началу XVIII в. систему взглядов, оказавшую с своей стороны сильное воздействие на дух и методы науки. Корни этой, известной под названием «просвещения», системы взглядов надо искать в Англии. Из Англии она проникла во Францию, а под конец в Германию и другие европейские страны. Задача, которую ставило себе просвещение, заключалась в освобождении общества от церковных догматов и других предрассудков, перед которыми должны были склониться еще Галилей, Декарт и Гюйгенс. С начала XVIII в. философия и наука вступают по всему фронту в более или менее открытую борьбу с господствующим церковным учением. Ученый мир и образованное общество не могли примириться с тем, что церковь не желает приспособиться к духу нового времени, ставя ему даже по возможности всякого рода препятствия. В Англии эта духовная революция была связана главным образом с учением Локка. Ее вождем был ирландец Джон Толанд (Toland, 1670—1722). Сочинения Толанда и его сторонников оказали большое влияние на Гольбаха и Дидро, постаравшихся перевести их на французский язык, а также на других французских просветителей. Пропагандистом их был Вольтер, шедший по стопам Толанда и его учеников и, подобно им, боровшийся с устарелыми взглядами и обычаями всеми оружиями духа. Влияние Толанда было так велико, что мы должны считать его даже отцом современного монизма¹. Уже первое произведение его, вышедшее в 1696 г. анонимным образом, вызвало огромную сенсацию. «Только тот, кто сам пережил появление в свет «Жизни Иисуса» Штрауса, может составить себе об этом приблизительное представление»². Толанд старался доказать, что если правильно истолковать учение Евангелия, то в нем нет ничего противоречащего разуму. Книга Толанда («Christianity not mysterious») еще в настоящее время является основой «деизма». Согласно ей бог проявляется не в чудесах, а действует исключительно в рамках законов природы. Сторонники

¹ Dr. G. Berthold, John Toland und der Monismus der Gegenwart, Heidelberg 1876, Carl Winner.

² Цит. соч., стр. 5.

этого взгляда называли себя свободомыслящими (free-thinker). Это слово сохранило свое значение еще и в настоящее время.

Отношение церкви к Толанду было точно таким же, каким оно было за сто лет до того к Галилею. Она добилась от ирландского парламента постановления о публичном сожжении книги Толанда. Было внесено даже предложение сжечь не только книгу, но и автора ее. Толанд спасся бегством от своих преследователей. Позднее, по приглашению королевы Софьи-Шарлотты, он отправился в Берлин, где вращался в кругу ученых, которых собрала вокруг себя королева и к которому принадлежал также Лейбниц. Написанные Толандом впоследствии к королеве письма вышли под названием: «*Letters to Serena*» (London 1704). В этих письмах Толанд пытался доказать, что духовные явления представляют лишь формы деятельности материи. Может ли материя мыслить? Как движется материя? — Вот важнейшие вопросы, занимавшие Толанда. По Декарту, общей причиной движения является бог, создавший материю одновременно с движением. В центре натурфилософских исследований того времени стоял вопрос об отношении между материей и движением, подобно тому как в наше время главное внимание привлекает к себе вопрос об отношении между материей и энергией. Покой Толанд считал лишь предельным случаем, при котором два одинаковых, но противоположно направленных движения уничтожают друг друга. Согласно взглядам Толанда, непроницаемость, протяжение и действие (активность) не представляют собой трех различных вещей, а являются лишь тремя различными способами рассмотрения одной и той же вещи. Декарт видел сущность материи в протяжении; Гюйгенс прибавил к этому еще непроницаемость. Наконец, действие в том смысле, в каком его понимает Толанд, является, может быть предвосхищением того, что современная физика называет сохранением силы. Если истолковать взгляды Толанда в духе современного естествознания, то их можно формулировать таким образом, что не существует в отдельности ни силы, ни материи; сила и материя представляют собой лишь абстракции вещей, рассматриваемых с двух различных точек зрения.

Принцип сохранения силы Толанд формулирует, рассматривая его с философской стороны, в следующих выражениях: «Подобно тому, как отдельные тела представляют лишь различные модификации материи и содержатся все в ней, так и все отдельные движения материи являются лишь различными проявлениями всеобщего действия, которое, как и материя, не может быть ни увеличено, ни уменьшено»¹.

Таким образом принцип сохранения силы можно проследить через Толанда, Лейбница, Декарта, Гассенди вплоть до древности, где мы встречаем его уже у Эпикура. Декарт формулировал его таким образом, что бог сохраняет постоянным не только количество материи, но и сумму всего наличного во вселенной движения, причем Декарт принимал за меру силы произведение из массы на скорость².

¹ См. примечание в „Дополнениях“.

² *Principia philosophiae*, 1677, гл. II, § 36. Таким образом Декарт ошибочным образом считает постоянным количество движения.

Во Франции самыми яркими представителями эпохи просвещения являются Даламбер, Гольбах и Вольтер. Самым крупным естествоиспытателем среди них был Даламбер. Многосторонне одаренный человек, он был средоточием группы лиц, которая впоследствии расширилась и превратилась в знаменитый гольбаховский кружок. Подобно большинству французских ученых того времени, Даламбер наряду с научной работой особенно высоко ставил остроумную беседу, культивировавшуюся в салонах знатных дам и при дворе. Ни в одной стране, кроме Франции, женщина не оказала такого сильного влияния на политику, искусство и науку. И можно утверждать, что это женское влияние нисколько не повредило науке, побудив зато французов выработать ясный, легко доступный способ изложения своих мыслей.

Вместе с Дидро Даламбер издавал знаменитую «Энциклопедию», по которой они оба, а также их работавшие на пользу просвещения сторонники получили прозвище энциклопедистов. Даламбер редактировал математическую часть этого огромного словаря, в котором собраны были в алфавитном порядке все накопленные человечеством к середине XVIII в. знания. Главное место в нем было отведено математике и естествознанию; древним же языкам и науке о древности уделялось мало внимания. Если творцы «Энциклопедии» и перенесли несколько палку в другую сторону, то все же в этом сказалась здоровая реакция против господствовавшей тогда переоценки гуманитарных наук как необходимых элементов общего образования, — переоценки, встречающейся очень часто еще и в наше время. Односторонность Даламбера сказывалась здесь особенно в том, что он не оценил по достоинству заслуг древних в деле развития математики и естествознания.

Наряду с Дидро и Даламбером надо назвать в особенности Гольбаха, Ламеттри¹ (Lamettrie) и Гельвеция (Helvetius). Гольбах родился в 1723 г. в Пфальце и умер в 1789 г. в Париже. Он был также сотрудником «Энциклопедии» и прославился главным образом своей «Системой природы»². Это сочинение, а также книга Гельвеция (1715—1771) о «Духе» представляют собой вершины материалистического мировоззрения и оказали величайшее влияние на духовную жизнь эпохи просвещения.

В «Системе природы» все явления природы сводятся к материи и движению. И в психической области повсюду на место телеологического объяснения ставится чисто механическое действие. Душевная жизнь выводится из инстинкта, подлежащего физическому объяснению.

Об отношении человека к природе Гольбах выражается следующим образом: «Люди никогда не достигнут истины, если они станут жертвовать опытом для сочиненных ими систем. Человек — продукт природы; в природе — корни его, он подчинен ее законам; он не может уйти от нее; даже в мысли он не может вырваться из круга ее. Для созданного природой и детерминированного ею существа нет ничего

¹ Правильное написание будет: La Méthérie.

² *Système de la nature ou des lois du monde physique et morale*, 1770.

по ту сторону великого целого, под влиянием которого оно находится. Сверхъестественные, потусторонние существа являются лишь продуктом нашей фантазии.

«Поэтому пусть человек перестанет искать сверхъестественных существ и ждать от них того блаженства, в котором ему отказывает природа. Пусть лучше он изучает самое эту природу и ее законы, применяя затем плоды своих исследований к собственному счастью, покорно подчиняясь законам, от действия которых он не может уйти.

«Неверно приписывать человеку наряду с физическим бытием еще и какое-то духовное существование. Человек — чисто физическое существо, и его духовное бытие есть лишь особая сторона его физического существования. Его проявляющиеся во вне поступки, а также внутренние душевные движения представляют собой естественные следствия его специфического механизма и получаемых им от окружающего мира впечатлений».

Уже Вольтер указал на философскую несостоятельность этих теорий. Наиболее откровенное выражение дал им Ламеттри в своей книге «Человек-машина»¹.

Этим мы заканчиваем свой обзор естественнонаучных завоеваний эпохи, простирающейся от возрождения наук до наступившего к концу XVIII в. переворота. Мы отметили также духовные течения, которые шли параллельно описанному нами развитию точного знания, обуславливали его и с своей стороны были обуславливаемы им. В третьем и в четвертом, заключительном, томах будет описан расцвет естествознания в период, начинающийся с указанного переворота и простирающийся до наших дней.

¹ См. также E. du Bois-Reymond, *Lametrie*, Berlin 1875 г. Verlag von A. Hirschwald. Немецкое издание „Системы природы“ вышло в 1841 г. в Лейпциге.



ДОПОЛНЕНИЯ, ПРИБАВЛЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ¹

К стр. 80 прим. 1. Ср. K. Meyer, Die Entwicklung des Temperaturbegriffs im Laufe der Zeiten. № 48 серии „Die Wissenschaft“, изд. Фивег (Vieweg), Брауншвейг.

К стр. 103. Э. Видеманн делает следующее замечание по поводу рассказа Кеплера о строившихся им гипотезах: „Фарадей сказал однажды моему отцу, что если бы люди знали, каких только опытов он ни делал, то они сочли бы его сумасшедшим“.

К стр. 105. В почетном зале немецкого музея в Мюнхене имеется реконструкция „Ураниенборга“, а также инструментов, которыми пользовался Тихо, в масштабе 1:10.

К стр. 110. Среди противников веры в ведьм следует назвать также иезуита Шпе (Speer, 1591—1635), который снискал себе литературное имя своими духовными песнями (Вю).

Э. Видеманн замечает по этому поводу: „Не станем ли мы благодаря телепатии вскоре свидетелями процессов о колдовстве? Мы решительно на пути к этому! Раз допускают телепатию, то существуют и ведьмы“!

К стр. 119. Объяснение того, как получается круглое изображение солнца, было дано уже Камаль-аль-Дином (Kamâl al Dîn) (Ви).

К стр. 121. Альхазену было уже известно, что отношение между углом падения и углом преломления непостоянно (Ви).

К стр. 123. Альхазен был тоже знаком с явлением аберрации у сферических зеркал (Ви).

К стр. 123 внизу. С идеей придать чечевицам гиперболическую форму мы встречаемся, согласно новейшим исследованиям, установившим великие заслуги арабов в деле развития оптики, уже у Камаль-аль-Дина (Ви).

К стр. 127. примеч. 2. См. также S. Günther, Vergleichende Mond- und Erdkunde (Vieweg, Die Wissenschaft) (Вю).

К стр. 166. Превосходный масляный портрет Отто фон-Герике находится в почетном зале немецкого музея в Мюнхене.

К стр. 171. В зале для механики немецкого музея в Мюнхене находятся, кроме оригинального воздушного насоса Герике, также копии бароскопа (рис. 63, внизу, см. стр. 171).

К стр. 215. Согласно Э. Видеманну, уже у Камаль-аль-Дина встречаются правильные представления о происхождении радуги.

К стр. 228. К абзацу следует заметить, что эта позиция Ньютона характерна для всего его мышления (Ви).

К стр. 271. Господину проф. д-ру Плассману (Plassmann) (Мюнстер в Вестфалии) автор обязан следующим сообщением об открытии спутников Сатурна:

В новейшее время фотографическим путем были открыты еще два спутника. Если расположить по порядку все десять спутников в зависимости от их рассто-

¹ Большой частью их автор обязан Э. Видеманну (Ви) и И. Вюршмидту (Вю). Все замечания Э. фон-Липпманна нашли место в тексте.

ний от Сатурна (причем расстояния эти измеряются от центра планеты и выражаются в частях ее экваториального радиуса), то получится следующая таблица:

Название спутника	Кто и когда открыл	Расстояние
Мямас	В. Гершель, 1789	3,1
Энцелад	" 1789	3,9
Фетида	Д. Кассини, 1684	4,9
Диона	" 1684	6,2
Рея	" 1672	8,7
Титан	Х. Гюйгенс, 1655	20,2
Фемида	В. Пиккеринг, 1904	24,2
Гиперион	В. Бонд, 1848	24,5
Япет	Д. Кассини, 1671	58,9
Феба	В. Пиккеринг, 1898	214,4

К стр. 343. Физиологической оптикой занимались уже Птолемей и в особенности Ибн-аль-Хайтам (Ibn al Haytam) (Ви). См. том I настоящего произведения.

К стр. 387. И в данном случае, как и в ранее приведенных, современные воззрения не совпадают целиком с прежними взглядами. Принцип сохранения силы (правильнее энергии) мог быть установлен только в связи с понятием работы. (На основании одного замечания Э. Видеманна.)

ПРИМЕЧАНИЯ РЕДАКТОРА ¹

К стр. 14. Выражение «имматериальный закон природы» показывает, что Даниелман не свободен от философии идеализма, которую он сам в ряде мест резко критикует. Неверной также исторически является указанная характеристика Бэкона и Галилея, которые, напротив, имматериальным субстанциональным формам схоластики противопоставили, хотя и не последовательно, материалистически понимаемые законы природы.

К стр. 18. Систематическое учение о «границах человеческой познавательной способности» впервые сформулировали идеалистические философы Юм (1711—1776) и Кант (1724—1804). Блестящую диалектико-идеалистическую критику этого учения дал Гегель, см. «Наука логики». Диалектико-материалистическую критику дали Маркс, Энгельс, Лафарг, Плеханов и Ленин, см., в частности, В. И. Ленин, «Конспект „Науки логики“ Гегеля» (Ленинский сборник IX) и «Материализм и эмпириокритицизм». С точки зрения диалектического материализма человеческое познание ограничено лишь условиями исторической эпохи и лишь в этом смысле относительно.

К стр. 72. Характеристика, даваемая Даниелманом методу Галилея, не соответствует исторической действительности. «Самоограничение» Галилея имело совсем не тот смысл и значение, которые придает ему Даниелман, сближающий Галилея с Юмом и Кантом. Внешне напоминающая иногда юмизм и кантианство установка Галилея была на самом деле редакцией против схоластической метафизики и богословия в условиях восходящей линии буржуазного развития. Юмизм же и кантианство — это буржуазная реакция против материализма и науки в защиту религии.

К стр. 74. Оценку значения индуктивного метода см. Энгельс, «Анти-Дюринг» и «Диалектика природы». Энгельс указывает, что индуктивный метод имел свое историческое оправдание, но в дальнейшем стал препятствием для развития естествознания, превратившись в эмпирическую метафизику и даже мистицизм (см. Энгельс, «Естествознание в мире духов»).

Преувеличенное значение, которое придает Даниелман индуктивному методу, является типичным для буржуазных историков, не знающих диалектической логики.

К стр. 96. Бэконовская критика учения Коперника отчасти имела своим основанием религиозно-политические соображения, отчасти же была направлена против тенденции превратить коперниковскую концепцию в чисто математическую гипотезу. Бэкон требовал «физической астрономии».

К стр. 146. Содержание настоящего раздела является весьма спорным и неправильным. Для философской позиции автора очень характерно его отношение к философии Гегеля, на которую он намекает ниже, говоря об отрицательной роли «господствовавшей в первой половине XIX в. натурфилософии». Если сопо-

¹ Примечания составлены З. А. Цейтлиним.

ставить это отношение Даннемана к Гегелю с отношением Маркса, Энгельса и Ленина, станет очевидным, что Даннеман, вследствие незнания диалектики и алектической оценки как идеализма, так и материализма, не в состоянии как следует установить взаимоотношение между философией и естествознанием.

К стр. 148. Декарт, в отличие от Демокрита, рассматривал частицы материи как вихревые образования в основной наполняющей пространство первоначальной субстанции (*materia prima*), которую физики называют мировым эфиром.

К стр. 149. Это широко распространенное среди историков мнение не соответствует действительности. Отличие метода Декарта от метода эмпириков заключается в том, что метод этот, по характеристике Маркса и Энгельса, см. «Святое семейство», «Анти-Дюринг» и «Диалектика природы», был для своего времени «образцом блестящей диалектики».

К стр. 153. Даннеман дает здесь неправильную характеристику философии Спинозы, как системы психофизического параллелизма. Ошибка Даннемана заключается в том, что он спинозовское мнение мышления как атрибута субстанции смешивает с психическим, которое рассматривалось Спинозой лишь в качестве модуса, разумея, как это делает Даннеман, под психическим свойство, присущее лишь высокоорганизованной материи. Такого рода экстраполяция понятия человеческого духа на всю природу была совершенно чужда философии Спинозы и является характерным признаком идеализма.

К стр. 153. Это положение послужило основанием для чрезвычайно резкой («индуктивный осел») характеристики, которую дает Энгельс Ньютону в «Диалектике природы». Энгельс подчеркивает, что гипотеза является основной формой развития естествознания. Изречение «не делай гипотез», сделавшееся потом главным лозунгом эмпирической школы Маха-Авенариуса, отсутствует в первом издании «Начал» 1687 г.

К стр. 227. Автор тенденциозным образом интерпретирует здесь метод Ньютона и Галилея. Последние совершенно правильно подчеркивали, что прежде чем переходить к исследованию истинных причин явлений природы необходимо как следует изучить форму и закон этих явлений. Точка зрения Ньютона и Галилея были совершенно естественной реакцией против фантастических измышлений схоластической и натурфилософской физики о причинах явлений природы. Но то, что для Ньютона и Галилея было лишь путем и средством к познанию объективного материального мира, следовательно, правильной постановкой задачи, превратилось у идеалистических философов в цель и окончательное решение проблемы познания.

К стр. 228. Здесь Даннеман дает неправильный перевод ньютонова текста, который гласит: «теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире (*spiritus*'), проникающем все сплошные тела и в них содержащемся, коего силой и действием частицы тел на весьма малых расстояниях взаимно притягиваются». отождествление ньютонова «*spiritus*'a» с «духовной субстанцией» в современном смысле слова является ошибкой *Spiritus* Ньютона — это полудуховная, полуматериальная субстанция, наполняющая пространство, которое Ньютон называл поэтому «чувствиалищем бога», за что был обвинен Лейбницем в атеизме. Воззрения Ньютона примыкали к неоплатоновскому пантеизму его университетских современников Кэджорта и Мора.

К стр. 259. По поводу вышеприведенного мнения Даннемана о значении спора между Декартом и Лейбницем необходимо отметить, что Даннеман, как впрочем и многие другие, подходит к вопросу весьма поверхностно. В известной статье «О двух мерах движения», см. «Диалектика природы», Энгельс подробно показывает, что спор отнюдь не был пустой метафизической дискуссией и не сводился к спору о словах.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абель 132
 Абендрот, В. 209
 Август Сильный 274
 Агрикола (Бауэр) 16, 181, 277, 368, 378
 Альбери (Alberi) 31, 73
 Альберт Великий 183
 Альдрованди (Aldrovandi) 189, 196
 Альхазен (Alhasen) 119, 390
 Анаксагор 114, 222
 Андинг (Anding) 343
 Апиан 330
 Аполлоний 11, 29, 268
 Араго 84
 Арауци (Arauzi) 124
 Аристарх 186, 262, 358
 Аристотель 28, 30, 35, 36, 38, 45,
 47, 48, 95, 97, 98, 104, 114, 130,
 146, 147, 150, 192, 196, 212, 219,
 214, 227, 243, 274, 275, 293, 306,
 318, 383
 Арктур 360
 Ахард (Achard) 287, 289
 Ахимед 11, 29, 44, 45, 60, 66, 132,
 139, 140, 141, 146, 173, 324
 Базедов (Bazedov) 276
 Бартолин, Эразм 216, 239, 240, 284,
 285, 286
 Баушингер (Bauschinger) 363
 Беллини, Лоренцо (Bellini) 296
 Бенедетти (Benedetti) 60
 Бенедикт XIV 336
 Бентай 154
 Benzenberg 82
 фон-Бер (Baer) 306
 Бергман (Bergmann) 288, 363—370
 Бернеггер (Bernegger) 73
 Бернулли (Bernoulli) Даниил 151,
 155, 161, 260, 261, 262, 265, 274,
 322, 325, 326, 327, 328, 348
 — Иоганн 59, 138, 155, 176, 251,
 258, 260, 261, 322, 324, 325, 326,
 327, 328
 — Яков 138, 139, 274, 322, 323,
 324, 325, 326, 327
 Берти (Berti) 174
 Бертолле 351
 Бессель (Bessel) 107, 108, 356, 358
 Беттгер (Böttger) 272, 274
 Бехер (Becher) 286, 287
 Бидерманн, Р. 20
 Binz 110
 Био (Biot) 349
 Birsch, Th. 156
 Bloch, E. 185, 281
 Блауменбах 385
 Боген, Каспар (Bauhin) 190, 191,
 193, 195
 Бойль, Роберт (R. Boyle) 7, 149, 151,
 154, 174—177, 185, 186, 200, 243,
 262, 267, 285, 286
 Бок 189
 Бонд, В. 271, 391
 Бонне (Bonnet) 309
 Борелли, Джованни-Альфонсо (Bo-
 relli) 74, 77, 149, 150, 197, 295,
 296, 304, 315
 Борель 20
 Борд 355—357
 Брайлей, Джемс (Bradley) 362, 363,
 364
 Бранд (Brand) 178, 286
 Брейтгаупт 380
 Breitschwerdt 100
 Бруно, Джордано (Bruno) 29, 42, 94,
 213
 Bruns, M. 104
 Брунфельс 189
 Брюкке (Brücke) 85
 Брюстер (Brewster) 206
 дю-Буа-Реймон, Поль (du Bois-Rey-
 mond) 324, 389
 Буге, Пьер (Bouguer, Pierre) 268,
 344, 345, 352, 360
 Бургав, Герман (Boerhaave) 183, 298,
 299, 300
 фон-Бух (Buch) 382
 Бэкон, Р. 19, 20, 119, 123
 Бэкон, Френсис 14, 86, 93—96, 147,
 149, 150, 200, 211
 Бюрги (Bürgi) 111
 Бюффон (Buffon) 375, 376, 377
 Вайс 380
 Валленштейн 101, 117, 118
 Валлерий (Wallerius) 370, 378

- Валис, Джон (Wallis) 144, 207, 256, 323, 324
 Валиснери, Антонио (Vallisneri) 372
 Вальх (Walch) 384, 385
 Вальхендорп (Walchendorp) 108
 Вангерин 343, 364, 365
 Варениус, Бернгард (Varenius) 128
 Василий Валентин 180
 Ватт (Watt) 247
 Вебер, братья 296
 Вебер, Г. 339
 Везалий 189, 290, 291
 Weyer, Johann 110
 Weld 200
 Вельзер, Марк 32
 Вернер, Абраам-Готтлиб (Werner) 8, 370, 373, 374, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 385
 West 291
 Вивiani, Винченцо (Viviani Vincenzo) 27, 28, 30, 48, 55, 72, 74, 160, 161, 244
 Видеманн, Э. 5, 73, 390, 391
 Види (Vidi) 176
 Видманн, Иоганн (Widmann, Johannes) 130
 Виета, Франциск (Vieta) 130, 131, 133, 328
 Вилейтнер (Wieleitner, H.) 122
 Вильде (Wilde) 20, 119, 120, 123, 125, 207, 213, 243, 267
 Winer, Carl 386
 да-Винчи, Леонардо 27, 45, 47, 60, 76, 124, 193
 Vitelli, Hieronymus 48
 Вителло (Vitello) 119, 125
 Вольвиль, Эмиль (Wohlwill, Emil) 27, 28, 30, 42, 48, 57, 79, 193
 Вольтер (Voltaire) 228, 229, 259, 352, 386, 388, 389
 Вольф, Христиан 204, 221, 266, 276
 Вольферс 222, 223, 254
 Воттон (Wotton) 189
 Врен, Христофор (Wren) 200, 256, 257, 263
 Вюльнер (Wüllner) 207, 235
 Вюршмидт, И. 5, 390
 Гадлей, Джон (Hadley) 209
 Гален 177, 290, 291, 293, 296
 Галилей, Винченцо 28
 Галилей, Галилео 2, 6, 14, 15, 16, 17, 21, 22, 24, 27—75, 78, 79, 81, 82, 87, 90—94, 96—99, 101, 103, 113, 118, 120, 129, 134, 139, 142, 149, 157, 160, 161, 164—167, 177, 197, 198, 201, 206, 207, 223, 224, 227, 231, 232, 243, 244, 246, 247, 249, 252, 255, 259, 265, 271, 291, 295, 315, 322, 326, 329, 330, 348, 386, 387
 Галлей, Эдмунд (Halley) 7, 100, 122, 126, 265—270, 358—360, 362, 363
 Галль (Hall) 383
 Гам, Людвиг (Ham) 310
 Гамер 367
 Гамильтон (Hamilton) 342
 Ган (Gahn) 179
 Hankel, H. 118, 328
 Ганшманн, А. (Hanschmann) 31, 95
 Гарвей, Вильям 200, 290—293, 302, 310
 Harnack 205, 238
 Гарриот (Harriot) 119
 Гаррисон, Джон 331, 360
 Гассенди, Пьер (Gassendi) 148, 150, 152, 227, 264, 387
 Гаузофер, Феликс (Haushofer, Felix) 252, 257
 Гаусс (Gauss) 118, 132, 139, 342, 354, 365, 367
 Гауснер, К. (Haussner, K.) 322
 Гауф (Hauff) 108
 Гаюи (Hauy) 240, 370
 Геблер (Gebler) 42
 Гевелий, Иоганн (Hevelius, Hewelke) 43, 118, 126, 127, 128, 231, 273
 Haeser 292
 Гекшер, А. 243
 Heller 20, 44, 270
 Гельвеций (Helvetius) 388
 Гельман, Г. (Hellmann, G.) 88, 162, 163
 Гельмгольц (Helmholz) 262, 332, 342
 ван-Гельмонт, Иоанн-Баптист (van Helmont) 177, 178, 180
 Немто, Е. 339
 Генлейн, Петр (Hehlein) 246
 Генрих IV 130
 George, Louis 375
 Герардини, Николай (Gherardini, Nicolo) 27
 Gerhard 144, 258, 324
 Гердер (Herder) 276
 фон-Герике, Отто (Guericke) 16, 18, 47, 78, 92, 93, 108, 126, 162, 165, 166—174, 272, 273, 275, 390.
 Герланд, Е. (Herland) 20, 55, 68, 80, 81, 247, 273
 Герон Александрийский (Heron) 12, 67, 68, 136, 146
 Гершель, Вильям-Виндгем (Herschel) 213, 232, 271, 334, 344, 364, 391
 Геснер (Gessner) 189, 196
 Гете 321, 382
 Геттар, Жан-Этьен (Guettard) 374, 375
 Геттон, Джеймс (Hutton, J.) 360, 382—384
 Гильберт, Вильям (Gilbert) 71, 86, 87—94, 113, 120, 150, 291

- Гини, Лука 192
 Гинцель, К. Ф. (Ginzel) 12
 Гиппарх 97
 Hirsch, A. 298, 306, 309, 310
 Hirschberg 125
 Hirschwald 389
 Глаубер, Иоганн-Рудольф (Glauber) 181—185
 Гмелин, И. Г. (Gmelin, J. G.) 320
 Гоббс, Томас (Hobbes) 7, 152, 153
 Goldberg, B. M. 206
 Норре, Е. 229
 Норре, М. L. 91, 93
 ван-Горн (van Hoorne, Jan) 298
 Hofmann, F. W. 99
 с'Гравсенд (s'Gravessande) 233, 351
 Гретам (Graham) 270, 331
 Грегори 207
 Григорий XIII 97
 Гримальди, Франческо-Мария (Grimaldi) 82—86, 216, 219, 231, 243
 Грин (Green) 342, 354
 Грю, Неемия 8, 16, 311, 313, 314, 315, 318
 Гудсон (Hudson) 90
 Гук, Роберт (Hooke, Robert) 85, 149, 150—152, 156, 185, 187, 207, 216, 217—219, 223, 232, 283, 284, 294, 295, 310, 312, 313, 361
 Гульден, Павел (Guldin) 6, 143, 144
 Гумбольдт, Александр (Humboldt) 24, 128, 280, 377
 Guhrauer 202
 Густав-Адольф 30
 Гюйгенс, Христиан (Huygens, Christian) 5, 7, 19, 51, 53—56, 59, 67, 80, 129, 133, 149—152, 155, 156, 197, 213, 216, 217, 221, 229, 231, 232—258, 260, 265, 271, 272, 276, 285, 294, 325, 329, 333, 344, 346, 352, 353, 355, 386, 387, 391
 Günther, L. 99, 100, 117, 244, 390
 Даламбер (d'Alembert) 118, 259, 335—338, 341, 342, 348, 354, 357, 388
 Даннеман, Фридрих (Dannemann) 5, 100, 107, 168, 175, 217, 233, 320, 334, 361
 Данте 27
 Деагюлье (Desaguliers) 351
 Декарт, Рене (Descartes) 7, 16, 61, 80, 91, 122, 125, 126, 129, 132—135, 144, 147, 148—152, 155, 156, 162, 186, 197, 198, 206, 207, 215, 227, 228, 229, 232, 233, 238, 243, 248, 249, 255, 256, 258, 264, 272, 275, 281, 282, 292, 332, 386, 387
 Деламбр (Delambre) 355
 Делюк (Deluc) 262
 Демарэ, Николай (Desmarest) 374
 Демокрит 114, 148, 193, 383
 Джауль (Joule) 262
 Дидро 261, 386, 388
 Diogenis Laertii 152
 Диоскорид 190
 Диргартс (Diergarts) 274
 Daubrée, G. 282
 Доллонд (Dollond) 335
 де-Доминис (de Dominis) 212, 215
 Дреббель, Корнелий (Drebbel) 78, 79
 Дрейер, И. (Dreyer, J.) 104
 Дроер 96
 Дюрем, П. (Duhem, P.) 28
 Dühring 137, 259, 336
 Евклид 11, 29, 119, 121, 134, 140, 141, 206, 324
 Екатерина II 118, 327, 336, 376
 Engelmann, Wilhelm 20, 23, 45, 107, 109, 119, 120, 138, 186, 224, 243, 252, 288, 313, 315, 322, 323, 325, 336, 365
 Елизавета 86
 Жирап (Girard) 131, 132, 159
 Sachs 191, 314
 Зюсмильх (Süssmilch) 269
 Ибн-аль-Хайтам (Ibn al Haytam) 391
 Иннокентий VIII 111
 Иннокентий XII 304
 Иоаким Бранденбургский 111
 Кавальери, Бонавентура (Cavalieri) 6, 135, 139, 140, 142, 143, 144, 207, 256, 267, 271
 Caverni, Rafaelo 48
 Кастано 179
 Кальвин 290
 Камаль-аль-Дин (Kamâl-al-Din), 390
 Камерарий (Camerarius) 315, 319, 320, 321
 Кант, Эммануил 228, 261, 265, 344, 364, 372
 Кантор (Cantor) 130, 131, 134, 144, 159, 207, 244, 268, 269, 328, 353
 Каранжо (Carangeot) 371
 Кардано 27, 132
 Карл Великий 114, 116
 Карл I 291
 Карл II 201
 Карно (Carnot) 145
 Каррьер, Мориц (Carriere) 33
 Сарус 299
 Кассини, Джованни-Доминик (Cassini) 7, 74, 232, 254, 271, 272, 355, 361, 365, 391

- Кассини, Жак (Cassini) 272
 Кассини де Тюри, Жак-Доминик 272
 Кассини де Тюри, Цезарь-Франсуа 272
 Кастелли (Castelli) 160
 Катер (Kater) 356
 Кельрейтер (Koelreuter) 320, 321
 Кеплер, Иоганн 6, 13, 15, 16, 17, 22—25, 29—31, 34, 73, 90, 91, 97, 100, 101—104, 109—126, 129, 135, 139—144, 150, 166, 198, 201, 207, 209, 212, 226, 229, 267, 291, 343, 344, 347, 363, 390
 Кеплер, Людвиг (Kepler, Ludwig) 117, 118
 Kästner 99, 113
 Кирхер, Афанасий (Kircher, Athanasius) 79, 91, 281, 385
 Kirchmann, J. H. 93
 Kistner, A. 55
 Клапрот (Klaprott) 370
 Кларк 219, 258
 Клемент (Clement) 246
 Клеро, Алексис-Клод (Clairaut) 77, 134, 342, 353, 354
 Klapp 179
 Клуз, Р. 140
 Ключий, Карл (Klusius) 189, 190
 Кнорр (Knorr, Georg-Wolfgang) 384, 385
 V. Kobell 380
 Ковалевский, Г. (Kowalewski G.) 322—325, 340
 Колумб 89
 Кольбер 17, 201, 232, 271
 Комениский, Амос (Comenius) 96, 97
 Кондамин, Шарль-Мари (Condamine) 268, 352, 353
 Коперник, Николай 11, 15, 16, 29—31, 33—35, 38—42, 44, 57, 71, 96, 97, 99, 102, 107, 109, 111, 186, 206, 263, 266
 Копп (Kopp) 275
 Корн, А 336
 Котс, Роджер (Cotes) 154, 229
 Корф, Н. 178
 Коши (Cauchy) 145, 340
 Крамер, П. (Kramer, P.) 122
 Кронштедт (Cronstedt) 368, 369, 371
 Кук 365
 Кункель (Kunkel) 179, 286
 Кювье 376, 384, 385

 Лавуазье 185, 186, 287, 375
 Лагранж, Иосиф-Луи 60, 138, 140, 205, 324, 327, 335—344, 348, 354, 355, 365
 Лаланд (Lalande) 44, 359
 Ламберт, Иоганн-Генрих (Lambert) 205, 343—347, 363—365
 Ламеттри (Lametrie) 388, 389

 Ланге 148
 Лангмантель (Langmantel) 284
 Лаплас 108, 129, 139, 199, 227, 228, 329, 340, 342, 345, 351, 354, 355
 Lassuritz, K. 292
 ван-Левенгук, Антон (Leewenhoek) 16, 200, 285, 292, 293, 308, 309, 310, 311, 313
 Леверрье 265
 Ledermuller 308
 Лежандр (Legandre) 341
 Лейбниц, Готфрид-Вильгельм (Leibnitz) 7, 15, 97, 118, 129, 136, 137, 139, 144, 145, 149, 155, 156, 165, 176, 178, 179, 195, 198, 199, 202, 203, 204, 205, 207, 229, 250, 251, 256, 258, 259, 260, 273—275, 281—283, 322, 324, 325, 329, 344, 372, 373, 387
 Леманн, И. Г. (Lehmann, J. G.) 373, 376
 Лемери, Н. (Lemery, N.) 284
 Ле-Саж 229
 Лессинг (Lessing) 276
 Либавий, Андрей (Libavius) 177, 180, 181
 Либих (Liebig) 96
 Либри (Libri) 27
 де-Лиль, Роме (de l'Isle, Romé) 278, 366, 371
 Лин (Linum) 175
 Линней (Linné, Carolia) 191, 192—196, 321, 368, 374, 378
 Липперсгей, Франц (Lippershey) 20, 21
 фон-Липпманн, Э. (v. Lippmann) 5, 14, 35, 80, 96, 150, 178, 186, 213, 288, 390
 Liesegang, F. P. 19
 Лихтенберг 350
 Лобелий (Lobelius) 190, 191
 Локк, Джон (Locke) 150, 151, 152, 198, 386
 Лоттнер, Э. (Lottner) 260
 Лукреций Кар (Lucretii Cari) 152, 258
 Людовик XIV 199, 271, 276
 Ляйелль (Layell) 383

 Мавролик 119, 123, 124
 Майер, Р. (Mayer R.) 262
 Майер, Тобиас (Mayer) 331, 360
 Майов, Джон (Mayow) 186, 187, 188
 Мальпиги, Марчелло (Malpighi, Marcellus) 200, 292, 293, 295, 296—297, 304—307, 311, 313—319
 Малюс (Malus) 220, 242
 Маргграф, Андрей-Сигизмунд (Margraf) 205, 287, 288, 289

- Мариотт (Mariotte) 7, 175, 176, 235, 262, 263—265, 267
 Маскеяйн, Невиль (Maskelyne) 209, 360
 Маттиоли (Mattioli) 190
 Мах, Э. (Mach, E.) 48, 61, 62, 136, 253, 331, 337, 341, 342, 353
 Möbius, M. 315—320
 Медичи 28, 30, 72, 277
 Мейер, К. 390
 Меркатор, Николай 324, 365, 366
 Мерсенн (Mersenne) 68, 69, 135, 149, 150, 162, 167, 199, 201, 249, 250, 292, 332
 Местлин (Mästlin) 99—101
 Мешен (Méchain) 355
 Микель-Анджело 27
 Молевейде (Mollweide) 367
 Монж 355
 Монтень (Montaigne) 97
 де-Мопертюи, Пьер (Maupertuis) 138, 204, 229, 287, 327, 352, 353
 Морисон, Роберт (Morison) 198, 194
 Моро (Moro) 372, 373
 Муавр (Moivre) 269
 Mouton, Gabriel 355
 Мушенброк (Mouschenbroeck) 75, 76, 79, 80, 351
 Müller, Ioh 359
 Наполеон 289, 339, 351
 Напир, Непер (Napier, Neper) 111
 Нейман, Каспар (Neumann) 287
 Nelli 67, 68
 Никольсон (Nicholson) 371
 Нобль (Noble) 332
 Ньютон, Исаак (Newton) 5, 7, 14, 17, 40, 41, 57, 59, 67, 85, 112, 128, 129, 189, 144, 145, 153—156, 185, 197, 198, 201, 202, 204, 206, 207—231, 243, 244, 252, 254, 255, 256, 259, 260, 263, 265, 266, 271, 272, 276, 322—326, 330, 331, 333, 334, 339, 341, 342, 344, 346, 348, 352, 353, 354, 358, 359, 360, 363, 390.
 Олива, Анатолий (Oliva Antonio) 75
 Ольденбург, Генрих 200
 Оресм (Oresme) 49
 Orchal, J. C. 179
 Ostwald 5, 22, 23, 24, 45, 46, 47, 51, 54, 56, 58, 59, 62, 69, 85, 119, 120, 124, 126, 138, 140, 161, 168, 172, 173, 174, 186, 209, 215, 216, 220, 237, 238, 241, 243, 252, 253, 288, 315, 316, 320, 322—325, 330, 335, 336, 337, 339, 340, 341, 343, 345, 346, 347, 353, 357, 363—367.
 Палисси (Palissy, Bernhard) 31, 95
 Паллас (Pallas, Simon-Peter) 376, 377, 382, 385
 Папин 258
 Папп (Pappus) 133, 134, 136, 143, 324
 Парацельс 13, 177, 180
 Паскаль (Pascal, Blaise) 7, 66, 77, 138, 139, 162—165, 174
 Пеке, Жан (Pecquet, Jean) 293
 Pergens, E. 124
 Переприн, Петр (Peregrinus) 88
 Pertz-Gérhardt 258
 Перье (Périer) 163
 Peters, H. 179, 274
 Петр Великий 276
 Петрарка 27
 Petri 19
 Пито (Pigot) 332
 Пикар, Жан (Picard) 207, 221
 Пиккеринг, В. 391
 Плаасман (Plassmann) 390
 Платон 13, 35, 146
 Плейфер, Джон (Playfair, John) 384
 Плен, Ф. (Plehn, F.) 23, 119, 120
 Плиний 186, 190, 298, 385
 Poggendorf 120, 128, 221, 262
 Понселе (Ponsetlet) 139
 Порта 19, 20, 74, 79, 86, 87, 91, 124
 Poske, F. 169
 Потно (Pothénot) 220.
 Потт, Иоганн-Генрих (Pott) 204, 287
 Прево (Prévost) 229
 Прейер (Preyer) 302
 Пристли 287, 349
 Птолемей 11, 12, 36, 41, 97, 101, 360, 391
 Пуассон (Poisson) 342
 Пфаф 340
 v. Ranke, L. 86, 95, 200
 Рафаэль 27
 Региомонтан 135
 Реди (Redi, Francesco) 74, 302, 303, 404
 Рей (Rey) 186, 193, 194, 196, 197
 Рейман (Reymann) 365
 Рекнагель, Г. (Recknagels, G.) 345
 Ремер, Олаф (Römer) 233, 234, 271, 272, 361, 363
 Renaldini 80
 Реньо (Regnault) 349
 Ривин (Бахманн) (Rivinus) (Bachmann) 194
 Ризе, Адам (Riese, Adam) 130
 Риснер (Risner) 119
 Риччи (Ricci) 162
 Риччиоли, Джованни-Батиста (Riccioli) 42, 81, 82, 83

- Рише, Жан (Richer) 254, 255
 Роберваль (Roberval) 150, 154, 162
 Робинс (Robins, Benjamin) 59, 326, 327
 Rosenberger, Ferd. 57, 86, 157, 221, 223, 229
 Росс 213
 Ротман (Rothmann) 106
 Rugler 12
 Рудбек, Олаф (Rudbeck) 293
 Рудольф II 101, 109, 110, 111, 119
 Rühlmann, M. 64
 Salomon 329
 Санкторий (Sanktorius) 68
 Сваммердам, Ян (Swammerdam) 298—304, 311, 321
 Сегнер, А. (Segner) 335
 Сенека (Seneca) 226
 Серве (Servet) 290, 291—293
 Servus 19
 Сильвий 292
 Snell 206
 Снеллус, Виллеброрд (Snellius) 122, 209, 213, 215, 221, 222, 240
 Совер (Sauveur) 331, 332, 333
 де-Соссюр, Орас-Бенедикт (Saussure) 376, 377, 382
 София-Шарлотта 203, 276, 387
 Спиноза 7, 153, 273
 Стевин (Стевенс), Симон (Stevin) 66, 129, 130, 157—160, 164
 Стено (Стеион), Николай (Steno) 7, 74, 277—281, 284, 286, 299, 311, 368, 371
 Сукков, Г. А. (Suckow, G. A.) 385
 Сутер 132
 Tannery, P. 57, 199
 Тартаалья (Tartaglia) 60, 132, 135
 Телезио (Telesio) 94, 95
 Тельде (Thölde) 180
 Теофраст 318, 319
 Тихо Браге (Tycho Brage) 16, 38, 99, 101, 104, 105—111, 114, 115, 361, 390
 Толанд, Джон (Toland) 386, 387
 Торичелли, Эванджелиста (Torricelli Evangelista) 74, 81, 160, 161, 162, 165, 265
 Трамблей (Trembley) 191
 Traummüller 20, 55, 68
 Tropfke 132, 323, 328, 367
 Турнефор (Tournefort) 194, 195
 Урбан VIII 34, 41
 Фабриций, Давид 115, 116
 Фабриций, Иоганн (Fabricius) 24, 30, 31, 32, 98, 115
 Фабрицио (Fabricio) 290, 291, 292, 306
 Фаброни (Fabroni) 30
 Фаваро (Favaro) 73
 Фалес 146, 180
 Фарадей 229, 390
 Фасио де-Дюлье (Fatio de Duiller) 145
 Фасьо, Николай (Fatio, N.) 272
 Фельдгауз (Feldhaus, F. M.) 86
 Ферма, Пьер (Fermat) 134, 139, 144, 339, 340
 Фердинанд II 103, 117
 Феррари, Луиджи 132
 Даль-Ферро, Сципионе 132
 Физо (Fiseau) 71
 Филопон Александрийский 48
 Fischer, I. C. 150
 Флемстид (Flamsteed) 270
 Фойгт, К. В. (Voigt, K. W.) 381
 Фраунгофер, Иосиф (Fraunhofer) 335
 Фридрих II Великий 104, 199, 204, 276, 287, 327, 336, 337, 338, 352
 Фридрих-Вильгельм I 204, 336
 Фридрих III, курфюрст 203
 Фридрих I Прусский 179, 276
 Фризийс, Гемма (Frisius, Gemma) 330
 Фриш, Хр. (Frisch, Ch.) 73, 118
 Frischauf, Johannes 109
 Фуггеры 189
 Fuss, P. H. 155
 Фуксаль, Г. Х. (Fuchsel) 373, 374, 376
 Hemmeter, John 291
 Хладни, Эрнст-Флоренс-Фридрих (Chladni) 267, 330, 348, 351
 Хорсли (Horsley) 154
 Христина 147
 Цезальпин, Андрей (Caesalpinus) 192, 192, 202, 319
 Zölner 345
 Zittel 372, 375, 382
 Zeuthen 140
 Цукки (Zucchi, Nikolai) 207
 Чильдрей (Childrey) 282
 Чирнгаузен, Эренфрид-Вальтер (Tschirnhausen) 205, 273, 274, 325
 Швентер (Schwenter) 69, 91
 Шеле (Scheele) 182, 185, 287, 370
 Шейнер (Scheiner) 22, 24, 25, 26, 31, 32, 41, 98, 124, 343
 Шейхцер (Scheuchzer) 384
 Шлезингер 133
 Шмидт, В. (Schmidt, W.) 246
 Шотт, Каспар (Schott) 167, 174, 199
 Шпе (Spee) 390

- Шпренгель (Sprengel) 186, 190, 195
 Stadler, A. 261
 Шталь, Георг-Эрнст (Stahl) 204
 286, 287
 Stein, Ludwig 198
 Штейнер 139
 Штекель, П. (Stäckel, P.) 328, 340, 341
 Stolz O. 132
 Штраус (Strauss, Emil) 35, 39, 40,
 71, 386
 Эбштейн (Ebstein, J.) 351
 Эйлер, Леонард (Euler, Leonard) 8,
 118, 138, 151, 155, 204, 213,
 217, 221, 227, 251, 265, 322,
 324, 326—331, 333—345, 348,
 354, 363, 365, 366, 367
 Энгельгардт, К. А. 272, 274
 Энке (Enke) 359
 Эпикур 148, 152, 258, 259, 387
 Эпинус (Aepinus) 93
 Erdmann 156
 Эттинген, А. Ф. 243, 339
 Юнгий, Иоахим (Jungius) 192, 193
 194, 202
 Jungmann, Karl 198
 Ягеманн, К. (Jagemann, C. J.) 30,
 43
 Якоби (Jacobi) 260, 341
 Яков I 79, 245
 Янсен, Захарий (Jansen) 20

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аберация 8, 123, 207, 213, 214, 294, 334, 335, 361, 363
 Абсолютные размеры солнечной системы 359
 Агрикультура 201
 Азимут 107
 Азимутальный квадрант 106, 107
 Азотная кислота 181, 183, 184, 187, 188, 285, 288
 Академия опыта (Accademia del Cimento) 74—80, 82, 162, 199, 200, 295, 303, 315
 Академии 199—204
 Аккомодация 25, 125
 Acta eruditorum 17, 205
 Акустика 8, 68, 69, 322, 330, 343, 347, 351
 Алгебра 11, 130—133, 328
 Алгоритм 139, 145
 Альпинизм 377
 Ахимия 7, 95, 104, 110, 177—180, 183, 185, 272, 274, 275, 286
 Аммиак 182, 380
 Анализ 369, 370, 371
 — воздуха 188
 — звука 331
 — количественный 288
 Аналитическая геометрия 6, 58, 133—135, 139, 143, 198, 228, 328
 Аналитическая механика 8, 335, 338, 341, 342
 Аналитическая химия 186, 287
 Аналогия между растениями и животными 321
 Анатомия 7, 8, 189, 201, 277, 290, 295—299, 304, 310, 313—318
 — животных 296, 298, 304
 — растений 8, 290, 304, 312—318
 Анкерный спуск 246, 247
 Антифлогистонные учения 186
 Антропоцентризм 37
 Астрономия 6, 8, 11, 12, 18, 39, 44, 81, 83, 99, 100, 101, 104, 105, 109, 115—118, 126, 128, 139, 146, 186, 201, 204, 214, 224, 228, 229, 231, 244, 267, 270, 272, 293, 311, 322, 328, 342, 349, 344, 352, 358, 361, 363—366
 Астрономическая труба 21, 22, 23
 Ареометр 75, 371
 Арифметика 6, 129, 130, 131, 207
 — бесконечного 144
 Артерии 290, 291, 292
 Астероиды 267
 Астрология 100, 101, 104, 111, 115
 Астролябия 246
 Астрофотометрия 347
 Атмосферное давление 17, 18, 46, 78, 79, 162—165, 172, 174—176, 263
 Атомистика 149, 193, 264
 Атомы 7, 148, 150, 152, 264
 Аэромеханика 175, 262
 Балансир 247
 Баллистическая проблема 326, 327
 Барометр 75, 76, 162, 164, 165, 175
 — водяной 7, 18, 169, 170, 171, 174
 — ртутный 7, 18, 161, 176, 267, 268
 Барометрическая формула 267
 Бациллы 309
 «Беседы» Галилея 45
 Бесконечно малые см. Исчисление
 Бесконечные ряды 324
 Биения 332
 Бинарная номенклатура 190, 191
 Бином Ньютона 207, 324
 Биология 11, 197, 290
 Биомеханика 197
 Близорукость 125
 Ботаника 7, 182, 189, 190, 192—197, 201, 318, 377
 Ботанические сады 189, 319
 Буквенное исчисление 131
 Брожение 178
 Вакуум 91
 Вариационное исчисление 138, 324, 325, 328, 340
 Венера 30, 31, 102, 105, 110, 208, 271, 335, 352, 358—360
 Венозные клапаны 290
 Венчик 319

- Вероятность см. Исчисление
 Вес воздуха 47, 173
 Весы 52, 61, 63, 92
 — гидростатические 380
 Вивисекция 291
 Виртуальных перемещений принцип 60, 67, 165
 Висмут 181
 Вихревое движение 151, 152, 154
 Вода 47, 52, 62—64, 66, 70, 75, 80, 84, 88, 89, 92, 95, 122, 159, 161, 162, 164, 165, 168—175, 179, 180, 183, 185, 188, 215, 227, 248, 249, 253, 254, 263—265, 270, 279—283, 285, 288, 298, 309, 334, 335, 370, 373—376, 382, 384
 Водород 179, 349
 Водяная турбина 335
 Водяное колесо Сегнера 335
 Воздух 6, 7, 17, 18, 39, 44, 46—49, 51—53, 59, 63, 67, 68, 70, 75, 76, 78, 79, 81, 82, 85, 89, 90, 93, 96, 100, 121, 122, 165, 168—170, 172—176, 178, 185—188, 217, 219, 234, 235, 240, 250, 253, 264, 267, 268, 270, 291, 292, 298, 301, 304, 305, 310, 326, 333, 349
 Воздушный шар 328
 Волновая (эмиссионная) теория света 7, 84, 216, 217, 220, 232—238, 240, 241, 243, 333, 334
 Вселенная 364
 Всеобщая география 128
 Вулканические явления 280—282, 284, 372—374, 376, 377
 Вулканизма гипотеза 381—383
 Высшая математика 144, 322, 328
 Высший анализ 142, 322, 325, 328, 330, 331, 354
 Газы 6, 12, 66, 156, 157, 164, 165, 167, 175, 178, 188, 326, 327, 349, 375
 Геогнозия 372—375, 377, 380, 384
 География 128, 201, 358
 Геология 7, 8, 74, 95, 177, 277, 278, 282, 284, 299, 368, 372, 374—377, 381—383, 384
 Геометрия 99, 130, 133, 134, 139, 162, 206, 220, 243, 270
 Гелиоскоп Шейнера 24
 Гелиостат 295
 Гелиоцентризм 11, 34, 99
 Геоцентризм 39, 41, 107, 111
 Гербарий 189
 Гибридизация 320
 Гигрометр 75
 Гидравлическая машина 67, 335
 Гидравлический пресс 159
 Гидродинамика 7, 67, 160, 262, 326, 351
 Гидромеханика 66
 Гидростатика 7, 66, 158, 164, 165, 262, 351, 353, 354
 Гидростатический безмен 67
 Гипотезы 153, 227
 Глаз 98, 124, 126, 263, 301, 306, 310
 Глауберова печь 183
 — соль 181
 Глобус небесный 106, 246
 Гониометр 369, 371
 Гониометрия 131
 Горение 186—188, 287
 Горные породы 8, 372—374, 377, 378, 381—385
 Гравитационная механика 223
 Градусное измерение 356—358
 Григорианский календарь 97
 Грудная клетка 296
 Гюльдена правило 143
 Грудобрюшная преграда 296
 Давление 62, 63, 66, 159, 164, 165, 173—176, 243, 252, 262, 268, 353, 383
 Дальность 125
 Дальнодействие 154, 229
 Движение тел 6, 47—53, 55—60, 62, 67, 71, 75, 77, 89, 103, 113, 156, 160, 222—227, 233, 235, 236, 243, 247—249, 252, 256—260, 262, 265, 326—328, 336, 337, 387
 Двойное преломление 239
 Двуполые растения 321
 Двусемянодные 194
 Декартова теория цветов 243
 «Декартов лист» 134
 Деклинация, см. Склонение
 Десятичная система 129
 «Диалог» Галилея 35
 Динамика 44, 45, 48, 60, 157, 160, 161, 225, 259, 260, 261, 311, 336, 337, 341
 Диоптр 105, 126
 Диоптрика 21, 121, 267
 Диссонанс 70
 Дифференциал 144
 Дифференциальное исчисление 6, 135, 143, 144, 276, 325, 328, 339, 340, 354
 Дифракция 83, 85, 216, 217, 220, 343
 Длина секундного маятника 356
 Докимассия 181
 Долгота географическая 43, 44, 89, 330, 331, 343
 Дроби 129, 130
 Дыхание 187, 188, 200, 287, 296, 300, 301

- Естественное родство 190, 191
 Естественные группы растительного царства 194
- Железные ткани 296
 Железы 296, 300, 304
 Желудок 292, 300, 301
 Желчь* 301
 Живая сила 7, 258
 Животные 8, 64, 92, 117, 124, 173, 178, 187, 192, 196, 263, 278, 280, 283, 290—293, 295, 296, 298—304, 306, 307, 309—311, 313, 315—318, 326—327, 333, 337, 353, 354
- Жидкие тела 6, 7, 46, 52, 64, 66, 67, 68, 70, 76—79, 84, 90, 91, 156—158, 160, 161, 164, 165, 167, 172, 173, 175, 188, 263, 265, 270, 278, 279, 299, 300, 304, 308, 314, 318, 326, 327, 333, 337, 353, 354
- Завязь 320
 Задача о брахистохроне 325, 340
 Задача о квадрате круга 140
 Задачи на максимум и минимум 6, 135, 138, 142, 324, 340
 Зажигательное зеркало 264
 Закон Бойля-Мариотта 174, 175, 176
 — больших чисел 323
 — инерции 49
 — независимости действия сил 57
 — об убывающей интенсивности света 119
 — отражения 121, 136, 221
 — параллелограмма сил 57, 61
 — преломления 122, 238, 239
 — сохранения силы или энергии 7, 52, 53, 156, 251, 258
 — тяготения 7, 8, 40, 113, 221, 222, 223, 226—229, 235, 249
 Законы движения 57, 154, 387, 388
 — Кеплера 109, 112, 117
 Зародыш 306, 310, 317
 Затмения 12, 43, 44, 104, 117, 126, 233, 330
 «Звездный вестник» Галилея 31
 Звездное небо 12
 Звездный каталог 266
 Звезды 13, 30, 31, 35, 36, 40, 100, 105, 106, 115, 116, 151, 174, 330, 360, 361, 362, 364
 — неподвижные 3—30, 31, 36—39, 104, 106, 107, 116, 236, 365, 362, 364
 Звук 68, 69, 70, 75, 81, 85, 162, 173, 174, 212, 220, 232, 234, 235, 329, 331, 333, 334, 348—351
 Землеведение физическое 269
 Землеτρение 282, 283
- Земля 7, 30, 34, 36—38, 43, 57, 82, 87, 90, 93, 102—112, 114, 117, 126, 151, 207, 221, 222, 224, 226, 227, 233, 234, 236, 248, 249, 254, 255, 271, 281, 330, 352, 359, 364, 372—376, 381, 382
 — движение 7, 33, 34, 39, 40, 42, 71, 90, 101, 106, 107, 223, 361, 363
 — история 8, 375, 383, 384
 — плотность 8, 358, 361
 — строение 281, 283, 375, 383
 — фигура 8, 343, 347, 353, 354, 357, 358, 360
 — центр 17, 46, 59, 61, 91
 Земная кора 277, 280, 281, 282, 375, 376
 Земной магнетизм 90
 Земноводные 299
 Земной шар 12, 89
 Земные пласты 372, 373, 375—377
- Зодиак 246
 Зодиаковый свет 272
 Золото 177, 178, 179, 181, 275
 Зоология 7, 182, 189, 196, 197, 201, 296, 298, 377, 385
 Зоотомия 300
 Зоофиты 191, 194
 Зрачок 126, 263
 Зрительный нерв 263
- Иатрохимия 7, 177, 180
 Измерение 55, 76, 244, 343, 355, 357, 371
 Изогоны 270
 Изопериметрические задачи 142, 324, 325, 328, 340
 Изохронность 54, 246
 Инерция 39, 50, 56, 57, 113, 251, 257
 Иннервация сердца 293
 Интеграл 145
 Интегральное исчисление 6, 143, 145, 325, 328, 339, 340
 Интегрирование 139, 323
 Интерференция 216, 217, 218, 220
 Инфузории 308, 309
 Инъекция 292, 299, 304
 Иррадиация 38
 Исчисление бесконечно малых 6, 134, 139—145, 198, 207, 256, 322, 323, 325, 353, 366, 367
 Исчисление вероятностей 322, 323
 Исчисление флюксий 225
- Календарь 97, 98, 100, 101
 Камера-обскура 25, 124
 Капиллярность 76, 77, 235
 Капиллярные сосуды 292, 293

- Капрификация 318
 Картезианцы 155
 Картография 8, 343, 364, 365, 366
 Катакаустика 273
 Катоптрика 120, 121
 Квадрант 105, 106, 107
 Квадратуры 140
 Керамика 95
 Кинетика 238
 Кислород 186, 187, 188, 284, 349
 Кислоты 178, 184, 186, 299, 369, 380
 Кишечник 292, 293, 300, 316
 Клависцилиндр 348, 351
 Клетки, «клеточное строение организмов» 295, 297, 309, 312—314, 316
 Книгопечатание 14, 16
 Кожа 297, 310
 Колебания тел 329—338, 348—351, 356
 Колыца Ньютона 319
 Комбинаторика 138, 139, 322
 Кометы 100, 114, 115, 116, 128, 151, 222, 230, 266, 363, 364, 375
 Компас 27, 89, 94, 269
 Компенсационный маятник 331
 Кондуктор 92
 Конические сечения 11, 162, 363
 Консонанс 70, 331
 Королевское общество (в Лондоне) 7, 199, 200, 201, 208, 209, 217, 256, 263, 266, 270, 308, 311, 313, 314, 316
 Корпускулы, корпускулярная теория 7, 14, 150, 153, 238
 Космические процессы 100
 Коэффициент преломления 123, 335
 — расширения 231
 Кристаллизация 278, 279, 286, 374
 Кристаллография 277, 284, 285, 369, 370
 Кровеносная система 292, 293
 Кровообращение 7, 188, 200, 290, 293, 308
 Кровь 187, 188, 291, 292, 293, 309, 318
 Кровяные тельца 309
 Круговой маятник 246
 Кубатуры 140
 Кульминации звезд 105
 Кульминация Луны 330
 Легкие 187, 291, 292, 293, 296, 279, 304
 Лепестки 317, 318, 319
 Либрация Луны 43, 338
 Лимфатические сосуды 292, 293
 Листья 89, 316, 317
 Логарифмы 111, 129, 268
 Локсодромические линии 365
 Луна 30, 31, 35—38, 40, 71, 90, 105, 113, 116, 117, 127, 128, 207, 209, 222, 226, 227, 228, 233, 263, 264, 273, 330, 331, 347, 354
 Магдебургские полушария 18, 93, 167, 169
 Магнит 71, 86—89, 91, 92, 113, 150, 174, 220, 250, 286
 Магнетизм 6, 7, 12, 71, 75, 86—92, 113, 150, 220, 236, 265, 267, 269—270, 279
 Мальпигиевые сосуды 297, 300
 Мамонт 385
 Марс 36, 102, 109, 110, 115, 271
 Мастоdont 385
 Математика 5—8, 11, 14, 19, 24, 28, 49, 83, 96, 99, 100, 110, 111, 118, 129, 130, 132, 134, 135, 138, 139, 146—148, 162, 166, 167, 198, 199, 201, 202, 205, 206, 209—230, 265, 268, 269, 272, 274, 276, 284, 295, 322, 323, 324, 326—330, 337—340, 344, 353
 Математическая гидростатика 353
 Математический анализ 55, 59
 Материя 7, 35, 91, 147—155, 220, 224, 227—229, 235, 236, 238, 243, 248, 249, 258, 261, 281, 283, 287, 288, 387, 388
 Материализм французский 389
 Матка 318
 Маятник 6, 7, 28, 29, 45, 52—56, 62, 69, 75, 81, 82, 105, 243—247, 249—255, 276, 326, 331, 336, 337, 355, 356, 360
 Мегатерий 385
 Медвяная роса 310
 Медицина 5, 28, 177, 180—182, 184, 201, 202, 277, 284, 291, 298, 314, 315, 336, 376
 Меридиан 87, 89, 106, 268, 343, 355, 358, 365, 366
 Меркурий 102, 110, 114, 358
 Метеорологические явления 172
 Метеорология 265
 Метеоры 80, 266, 351
 Метод исчерпывания 139, 140
 Метод флюксий 6, 145
 — центральной проекции 139
 Механика 6, 7, 11, 44, 49, 57, 60, 61, 65—67, 71, 74, 75, 81, 96, 120, 138, 146, 155, 160, 165—167, 174, 198, 201, 221, 223—225, 231, 232, 243, 249, 250, 256, 258, 261, 263, 272, 276, 281, 286, 290, 295, 321, 325, 326, 335—338, 341—343, 351, 390
 Механистическая концепция 150, 152, 153, 155, 156, 186, 197, 198, 220, 226, 228, 229, 233, 248, 249, 275, 290, 388

- Механическая теория теплоты 151
 Механические смеси 185
 Механический эквивалент теплоты 261
 Млекопитающие 385
 Млечный путь 364
 — сок 292, 293
 Микроорганизмы 8, 197, 294, 308, 309
 Микроскоп 6, 16, 18, 19, 20, 81, 197, 218, 288, 290, 293, 294, 295, 298, 304, 306, 308, 310, 312, 314, 318
 Минералы 7, 184, 277—280, 284, 285, 316, 368—371, 373, 374, 378—381
 Минералогия 201, 239, 277, 284, 288, 368, 370, 372, 373, 378, 380, 382
 Минеральная химия 8, 287, 369
 Модуль битровой системы логарифмов 268
 Мозг 125, 228, 301, 305, 306
 — большой 300
 — спинной 300, 306
 Мозжечек 300
 Молекулы 156, 229
 Молярное и молекулярное движения 261
 Молекулярное строение тел 85
 Монады 155
 Монохорд 332
 Морфология 193
 Морфология растений 7, 192, 194, 317
 Моча 178, 182, 297, 300, 369
 Мочевой пузырь 297
 Мочеполовые органы 299
 Мускулы 228
 Муссоны 270
 Мышь 181, 182
 Мякотелые 299
 Наклонная плоскость 61
 Насекомые 8, 85, 196, 298, 300, 302—305, 310, 316, 318
 Насос 46, 47, 75, 161, 168, 176
 — воздушный 7, 17, 18, 48, 49, 76, 92, 93, 165—170, 173, 174
 «Начала» Ньютона 224
 Нашатырь 182
 Небесная механика 198
 Небесные полюса 37, 88
 Небесные светила 11, 12, 20, 30, 34—38, 40, 90, 91, 114, 154, 221, 223, 228, 232, 252, 266, 333, 342, 358
 Небо, небесная сфера 36, 100, 104, 114, 266, 362
 Неподвижные Кавальери 142
 Неорганический мир 148, 192, 197, 290, 317, 372
 Непроницаемость 151
 Нептун 266
 Нептунизм 8, 381, 382, 383
 Нервная система 293, 304, 306
 Нервные волокна 310
 Нервный узел 305
 Нервы 228, 296, 300, 308, 310
 Новые звезды 35, 38, 104, 115
 Ньютоновы кольца 219
 Обертон 331, 332
 Обсерватория 17, 104, 111, 118, 126, 128, 204, 233, 255, 270—272, 360, 362
 Огнестрельное оружие 94
 Односемядольные 194
 Окаменелости 280, 283, 370, 372, 373, 377, 381, 384, 385
 Океанография 270
 Окислы, окисление 185, 187, 287
 Октава 332
 Октант зеркальный 209
 Окулировка 319
 Оплодотворение 315, 317, 319—321
 Оптика 6, 7, 8, 12, 24, 25, 83, 91, 95, 111, 118—120, 123, 126, 138, 207, 209, 212, 213, 214, 222, 231, 232, 243, 262, 263, 267, 272, 273, 286, 343, 346, 348, 391
 Опыление 318, 320
 Орбиты, см. Земля, Кометы, Планеты
 Органический мир 138, 148, 290, 316, 317, 372, 375
 Отливы 40, 90
 Охлаждающие смеси 80
 Падение тел 6, 28, 29, 38, 39, 45, 47—49, 51, 54, 81—83, 103, 107, 112, 154, 222, 227, 243, 246, 247, 249, 251, 259, 325, 326
 Палеонтология 7, 8, 282, 384, 385
 Параллакс звезд 107, 361
 — Солнца 3, 352, 358, 359
 Параллактические смещения 39, 362
 Параллели 343, 366
 Паровая машина 247
 Пассаты 270
 Патология 309
 Периоды геологические 375
 Перистальтическое движение кишечника 316
 Перпетуум мобиле 79, 250, 326
 Пестик 315, 321
 Петрография 378
 Печень 292, 293, 296, 300
 Питание (растений) 316
 Пифагорейцы 101, 112
 Пищевод 300
 Плавиальные печи 369
 Планеты 6, 30, 31, 36, 37, 39, 44, 102—104, 107, 109, 111—117, 151, 223—226, 228, 230, 231, 243, 246, 266, 271, 281, 282, 331, 342, 347, 358, 359, 364, 375, 391

- Планетные сферы Кеплера 102
 Плоды 314, 318, 319
 Плотность Земли 360
 Пневма 291
 Поваренная соль 80
 Подзорная труба 20, 21, 23, 24, 30,
 31, 32, 38, 44, 70, 81, 115, 118,
 120, 126, 209
 Позвоночные животные 306, 307
 Полиспаст 60, 61
 Половые органы 310, 320, 321
 Пол (у растений) 8, 315, 318, 319,
 320
 Поляризация 7, 220, 238, 241, 242,
 285
 Породы горные 378
 Порох 14, 82
 Почки растений 314, 319
 Правило Гульдена 143
 Превращение веществ 179
 Предел 145
 Преломление 7, 22, 25, 26, 118—121,
 123, 137, 209—211, 213—215,
 217—220, 228, 232, 237—242,
 264, 267, 274, 285, 334, 335
 Приливы 40, 79, 226, 227, 228,
 230, 330
 Принцип виртуальных перемещений
 или скоростей 6, 60, 61, 66,
 67, 157, 165, 336, 338, 341,
 342
 — Гюйгенса 237
 — Даламбера 336
 «Принципы» Декарта 148
 Принцип каналов (Клеро) 354
 — конформности 365
 — наименьшего действия 6, 136, 137,
 138
 — сохранения энергии 152, 156, 325,
 326, 387
 Проблема трех тел 342
 Проективная геометрия 139
 Просвещения эпоха 387, 389
 Пространство пустое 17, 46, 168,
 172—174, 229, 237, 257
 Проценты 130
 Процесс зрения 6, 25, 98, 125, 126
 Психология 306
 Птицы 85, 92, 196, 304, 385
 Пыльник 319, 320
 Пыльца 317, 319, 320
 Пыльцевые мешки 319
 Равновесие 60, 61, 63, 66, 67, 77,
 157, 158, 160, 165, 176, 342,
 353, 354
 Равномерно-ускоренное движение 50
 Радиусы-векторы 225, 226, 363
 Радуга 214, 215, 217, 228, 264
 Размножение 302, 305, 309, 317,
 319, 320
 Растения 64, 178, 180, 187, 190—194,
 280, 283, 289, 295, 298, 304, 312,
 314, 316—321, 372, 375, 377, 384,
 385
 Ресничные отростки 126
 Рефлектор 213, 214, 334, 335, 352
 Рефрактор 213, 231, 334, 335, 352
 Рефракция 118, 120
 Роговая оболочка 25, 310, 334
 Ртутная компенсация 331
 Ртутный столб 162, 163, 175
 Ртуть 75, 76, 161—164, 174—176,
 180—182, 185, 267, 268, 270,
 283, 334
 Руда 369
 Рыба 173, 196, 282, 283
 Рычаги 60, 61, 64, 65, 165, 169, 295,
 336, 337
 Ряды бесконечные 324
 Самопроизвольное зарождение 8, 74,
 192, 301—304
 Сатурн 30, 36, 37, 102, 106, 112,
 116, 226, 231, 232, 254, 255, 271,
 390, 391
 Свет 70, 71, 75, 81, 83—85, 32, 119,
 126, 136, 148, 151, 173, 181,
 210—213, 215—221, 229, 230,
 232—235, 237, 238, 240—243,
 248, 264, 273, 285, 333, 334,
 344—347, 361—363
 Секстант зеркальный 209
 Солеография 43, 127
 Селитра 80, 184, 186, 187, 368, 370
 Семенные нити 310
 Семя животных и растений 310, 311,
 314, 315, 317, 318, 320
 Семядоли 317
 Семязачки 321
 Сера 89, 92, 178, 180, 181, 185, 187
 Сердце 96, 290—293, 300, 306, 309,
 311
 Серная кислота 179, 181, 183, 186,
 288
 Сетчатка 25, 26, 124, 125, 165, 218,
 263, 310, 334
 Сила живая 257—261
 Сила тяжести 39, 52, 57, 112, 223,
 224, 227, 229, 237, 247, 248—250,
 253, 254, 260, 329
 Силикаты 370
 Синоптическая карта 269, 270
 Сириус 360, 364
 Система зоологическая 7, 196, 197,
 290, 303
 Система Коперника 6, 29, 30, 31, 33,
 36, 39, 41, 42, 44, 57, 71, 81, 83,
 90, 96, 97, 98, 100, 106, 107,
 111, 112, 116, 117, 361
 Система мер и весов 8, 129, 354,
 355, 357

- Система минералов 8, 368, 370, 371, 377, 378
 — растений 7, 189, 191, 192, 195, 197, 318, 321
 — Тихо 108
 Сифон Паскаля 164
 Скелет 278
 Склонение магнитное 89, 270
 Скорость звука и света 81, 233, 234
 Созвездия 31, 32, 104, 115
 Сом 66, 178, 180, 181, 182, 185, 186, 187, 278, 282, 283, 285, 368—370, 380
 Солнечная система 37, 38, 40, 107, 255, 266, 342, 359, 364
 Солнечные пятна 24, 31, 32, 35, 37, 38, 99, 113, 114, 115, 282
 Солнечный спектр 7, 83, 209—210, 214—218
 Солпечные часы 245
 Солнце 24, 31—34, 37, 40, 42, 44, 90, 99, 105—109, 111—114, 116, 151, 215, 216, 226, 228, 233—236, 245, 263, 264, 266, 272, 282, 333, 342, 347, 358, 359, 361, 362, 364, 375
 Соль поваренная 181, 183, 184, 288, 368, 370
 Соляная кислота 181, 182, 183, 186
 Сосудистая оболочка 263
 Сравнительная анатомия 385
 Статика 12, 57, 60—62, 66, 157, 158, 164, 251
 Ствол 316, 317
 Стебли 138
 Стекловидное тело 25, 125, 334
 Стигмы 305
 Стратиграфия 279
 Строение организмов 7, 290, 298, 299, 300, 304, 310, 311, 313—316
 Струн колебание 332
 Сурьма 180, 181, 182, 187
 Сфера неподвижных звезд 106, 107, 115
 Сферическая тригонометрия 365, 366, 367
 Сферические зеркала 123, 267, 273
 Схоластика 14, 29, 30, 33, 49, 80, 93, 98, 147, 148, 275
 Сцепление 44, 46
 Счетная машина 276
 Таблицы астрономические 111, 129
 — процентов 130
 Тайнобрачные 191, 194, 320
 Тела вращения 140, 141, 143
 Телеобъектив Кеплера 6, 23
 Телескоп 6, 16, 18, 19, 24, 31, 44, 81, 96, 106, 114, 121, 127, 207, 208, 213, 214, 218, 240, 293
 Теодолит 105, 107
 Теория вероятностей 138, 139
 — вихрей 91
 — зрения 120, 121, 124, 343
 — катастроф 376, 377, 383
 — удара 7, 62, 63, 255—259, 262, 263, 327
 — чисел Ферма 138, 139
 — эманация (истечения) 209, 216, 219—221, 243, 334
 Тепловое излучение 264
 Теплота 17, 68, 75, 95, 145, 148, 150, 151, 174, 181, 184, 255, 259, 263—265, 263, 283, 284, 351
 Термометр 17, 68, 75, 78, 79, 80
 Термоскоп 68, 78, 79
 Технологическая химия 289
 Топографические очерки 365
 Торичеллиева пустота 76, 161, 162, 163, 174, 176
 Травники 189, 191, 192
 Трахея 305
 Трение 53
 Трехмерное пространство 133
 Триангуляция 357, 366
 Тригонометрия 11, 122, 131, 222, 366
 Тройное правило 130
 Тычинка 315, 317, 319, 321
 Углекислый аммиак 182
 Углекислый газ 178, 349, 383
 Углерод 179, 180
 Угломер Тихо 107
 Удельный вес 66, 161, 175, 253, 286, 371, 380
 Уравнения 6, 130—134, 268
 Фарфор 274
 Фауна 196, 376, 384
 Фигуры Лихтенберга 349
 — Хладни 349—351
 Физиология 8, 74, 188, 290, 291, 293, 296, 297, 304, 306
 — растений 315, 318
 Физические явления, физика 7, 8, 11, 28, 47, 48, 49, 72, 75, 80, 85, 87, 94, 96, 128, 135, 139, 146, 150, 151, 153—156, 159, 157, 168, 173, 177, 199, 201, 204, 205, 221, 224, 228, 244, 261, 265, 272, 286, 311, 315, 324, 325, 327, 328, 329, 337, 341, 342, 344, 346, 351, 352, 361, 363, 368, 387
 Философия 387, 388, 389
 Философский камень 177, 178, 180, 250
 Флогистон 7, 185, 186, 187, 286, 287, 288
 Флюсы 369

- Фокальная линия 273
 Фокус 75, 122, 213, 267, 273
 Формация геологическая 373
 Фортификация 166
 Фосфор 178, 179, 286, 288
 Фотометр 8, 344, 347
 — Румфорда 347
 Фотометрия 343—347

 Химическое соединение 185, 227, 277, 289
 Химическое сродство 182, 183
 Химия 7, 11, 12, 156, 177, 178, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 201, 265, 277, 286, 287, 288, 315, 368, 373, 378
 Хлор 181, 182
 Хронометр 331
 Хрусталик 25, 26, 123—126, 310, 334
 Хрустальная жидкость 126

 Цвета, теории цветов 85, 119, 209, 211, 212, 213, 215—220, 230, 233, 242, 243, 270, 285, 334, 335, 347, 379
 Цветы 314—317, 319, 321
 Центральная сила 225, 226
 Центр качания 249, 250, 251
 Центробежная сила 7, 39, 154, 222, 224, 248, 252—255
 Центростремительная сила 222, 225
 Центрофуги 254
 Центр тяжести 143, 144, 160, 249, 250, 251, 256, 296, 364
 Циклоидальный маятник 246

 Часы 7, 28, 44, 55, 105, 174, 176, 206, 232, 243—264, 249, 252, 254, 276
 Чечевицы 19, 20, 23, 24, 122, 123, 126, 208, 211, 212, 213, 218, 219, 240, 264, 267, 273, 294, 308, 311, 335, 345

 Эвдиометр 188
 Эвфон 348
 Экватор 37, 39, 41, 43, 87, 254, 255, 352, 353
 Эклиптика 361, 362
 Экскременты 178
 Эксцентриситет планетных орбит 265
 Эксцентрические окружности 107
 Электрические явления 12, 18, 75, 86, 88—93, 120, 151, 174, 272, 349
 Эмбриология 8, 304, 306
 Энергия 51, 62, 259
 Энциклопедисты 388
 Эпидерма 296, 297
 Эпителиальный покров 310
 Эрратические валуны 377
 Эталоны 357
 Этнография 377
 Эфемериды 44
 Эфир 8, 114, 152, 154, 228, 235, 238, 249, 333, 334

 Юпитер 21, 30, 31, 36, 37, 38, 43, 44, 102, 104, 110, 115, 116, 208, 222, 226, 233, 234, 254, 255, 271, 330

 Явнобрачные 191

ВАЖНЕЙШИЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
7	8 снизу	волнообразной	волновой
392	21 сверху	редакцией	реакцией
393	15 "	мнение	определение
393	11 снизу	ошибкой	ошибкой.

