

И.М. БЕККЕРМАН

**НЕВИДИМОЕ
ОСТАВЛЯЕТ
СЛЕД**

АТОМИЗДАТ · 1964

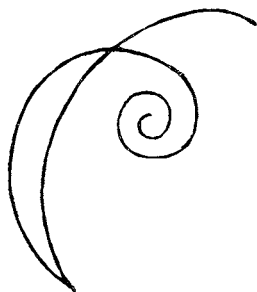




Чарлз Томас Рис ВИЛЬСОН
(1869—1959)

И.М. БЕККЕРМАН

**НЕВИДИМОЕ
ОСТАВЛЯЕТ
СЛЕД**



**АТОМИЗДАТ
Москва 1964**

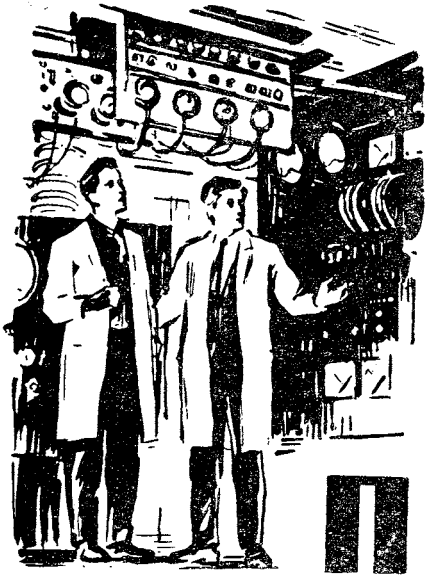
Книга, написанная в форме живого рассказа, повествует об истории создания, принципах действия, конструкции и результатах применения «трековых приборов» — камер Вильсона и пузырьковых камер.

Камера Вильсона, которую Резерфорд назвал «самым оригинальным и удивительным инструментом в истории науки», позволила «увидеть» ядерные частицы, их взаимодействия и превращения. Она сыграла неоценимую роль в физике атомного ядра, космических лучей и элементарных частиц; в частности, с ее помощью были открыты мезоны и первая античастица — позитрон. Пузырьковая камера стала незаменимым прибором при исследовании процессов, происходящих с частицами сверхвысоких энергий. Так как вся история ядерной физики неотделима от трековых приборов, то в книге рассказывается, по существу, о всех важнейших событиях, которыми столь богата эта наука.

В книге нарисован образ замечательного человека и талантливого ученого Ч. Т. Р. Вильсона, давшего возможность людям заглянуть в микромир, увидеть невидимое. Заключительные главы вводят читателя в современную физическую лабораторию, знакомят его с новейшей исследовательской аппаратурой, с методами работы ученых.

Книга рассчитана на широкие круги читателей, интересующихся физикой, в том числе на студентов и учащихся старших классов.

ПЕРВОЕ ЗНАКОМСТВО (Вместо введения)



ПРОШЛО уже почти де-
сять лет с того памят-

ного дня, а впечатления живы до сих пор...

...Пожилой охранник придирчиво сверил листочек разового пропуска с моим новеньким, всего несколько месяцев назад полученным паспортом, сторвал корешок и протянул мне пропуск и паспорт:

— Налево вниз, третий ярус. Не забудьте отметить пропуск на выход.

Он произнес это бесстрастно, сухо, как водитель автобуса объявляет остановку, а для меня его слова прозвучали, как музыка. Еще бы — сегодня я впервые побываю в настоящей физической лаборатории, в лаборатории космических лучей!

Я давно уже приставал к Олегу с просьбой показать мне лабораторию. Олег, мой сосед по квартире, — физик, он окончил университет и сейчас получил даже самостоятельную тему. Казалось бы, что может быть общего у него со мной — школьником, пусть даже десятиклассником, но мы, скажу не преувеличивая, дружим. Во всяком случае, провели вместе немало вечеров, собирая радиоприемники по новейшей схеме, монтируя портативный магнитофон, изобретая автоматический будильник и другие не менее занятные вещи. Но это все не то —

я мечтал заглянуть хотя бы одним глазом в настоящую научную лабораторию.

Долгое время это не удавалось: то у Олега работы сверх головы («Понимаешь, новый эксперимент ставим!»), то разлаживается установка («Не до экскурсий тут!»), то мне к контрольной готовиться надо... Но сегодня как будто все в порядке, и вот я на пути к цели.

Когда Олег объяснял мне, как найти его в институте, я высказал недоумение: почему лаборатория космических лучей находится в подвале? По простоте душевной я думал, что кому-кому, а «космикам» надо быть поближе к космосу. Но Олег ответил, что он изучает «проникающую компоненту», а для этого необходимо отсечь «мягкую компоненту» толщиной земли и железобетона.

— И это не помогает. Приходится свинцом защищаться, — закончил он.

Что такое «проникающая» и «мягкая» компоненты — я спросить не решился: еще, чего доброго, подумает, что я не дорос до настоящей физики, и не пустит в лабораторию. Нет, в школе меня не считали профаном в физике, скорее наоборот. Но ведь в школьном курсе в те годы мало что говорилось об атомном ядре, космических лучах, элементарных частицах, хотя даже страницы газет пестрили сообщениями о новейших открытиях и исследованиях в этих областях.

Чтобы получить хоть какие-то, пусть примитивные знания по современной физике, я как-то обратился за помощью к Олегу. Тот дал с десятков книг, но я сник на первой же, самой тоненькой. Ну, а к толстым и подступиться страшно. Тогда и родилась мечта заглянуть в лабораторию, что называется, пощупать руками эту современную физику. И вот иду щупать...

Все-таки как глубоко расположился этот третий ярус! Просто метро, только, к сожалению, без эскалатора. Лестница крутая, с частыми поворотами. Правда, я еще наверху заметил дверцу лифта, но мне не захотелось воспользоваться им. Миновал площадку второго яруса, от нее в обе стороны расходятся тускло освещенные коридоры, в полумраке кажущиеся бесконечно длинными. Наконец, третий ярус. Такие же коридоры, по стенам тянутся провода, трубы, шланги. Ну, настоящее метро, даже рельсы проложены.

Мне направо, комната 3/9 (минус три дробь девять, как сказал накануне Олег). Вот и она. Массивная дверь вопреки ожиданиям легко откатывается, и я в лаборатории. Первое впечатление — совершеннейший хаос. Такое же чувство, помню, охватило меня, когда я впервые попал в горы, — не столько восхищение, сколько растерянность. Даже в мебельном магазине просторнее, чем в этой лаборатории. Десятки, сотни, кажется, даже тысячи приборов. Приборы-шкафы, упирающиеся в потолок, приборы-тележки, настольные приборы, металлические стеллажи, какие-то плоские коробки, подвешенные к потолку, паутина проводов. И все это светится зелеными и красными глазками, мигает желтыми лампочками. Одно я понял: идет эксперимент! Это подтверждалось и тем, что два молодых лаборанта, которые не могли не заметить, что открылась дверь и в комнату вошел посторонний, даже не взглянули в мою сторону. Один смотрел на быстро мигающий многочисленными лампочками прибор и время от времени что-то записывал в толстую книгу, второй сосредоточенно уставился на круглый экран, на котором извивались изумрудные змейки и вспыхивали яркие точки, похожие на следы трассирующих пуль.

Я так и стоял у двери, не решаясь углубиться в комнату, чтобы не зацепиться за какой-нибудь провод и не «повиснуть на высоком напряжении», как выразился однажды Олег, демонстрируя следы ожога на своей руке. Не хотелось мне отрываться от работы и лаборантов (позднее, познакомившись с ними, я узнал, что это студенты-дипломники). Но вот, наконец, появился Олег, простите... Олег Владимирович (он строго-настрого приказал величать его в лаборатории только по имени-отчеству, чтобы не подрывать авторитет перед студентами-практикантами). Как он спокойно чувствует себя в этом первозданном хаосе! Уверенно щелкает выключателями (тумблерами) приборов, заглядывает в записи студента. Мне даже кажется, что он немного рисуется передо мной этим своим спокойствием. Но это уже лишнее: я и без того ошеломлен, подавлен, восхищен...

Лавируя между приборами, мы пробрались к письменному столу, заваленному графиками, таблицами, просто листами бумаги, испещренными формулами и

цифрами, — я не заметил на них ни одного нормального человеческого слова.

— Вот мое рабочее место, — сказал Олег.

Этого можно было и не говорить: по тому, как он опустился в кресло, как откинулся на невысокую спинку, как положил руки на жесткие подлокотники, нетрудно было понять, что этот письменный стол и Олег — давние и добрые друзья.

— Ну, как тебе понравилась моя берлога? — И этот вопрос был лишним; впрочем, мой приятель и не ждал ответа на него. — Сегодня все идет отлично, так что у меня уйма времени. С чего начнем?

И он начал посвящать меня в тайны своей, как он выразился, «кухни». Многого из его рассказа, хотя он сопровождался демонстрацией приборов, наглядными — с его точки зрения! — графиками, а иногда и вульгарными аналогиями (Олег даже морщился, приводя их, как от фальшивой ноты), я тогда не понял. Тем более, что рассказ Олега был недолгим. В лаборатории никогда не бывает, чтобы «все шло отлично». Олега вызвали в соседнюю комнату. И вовремя, потому что у меня с языка чуть не сорвался вопрос, похожий — это я уже понял после — на тот, который был задан Эдисону одной дамой, прослушавшей его рассказ об устройстве системы телеграфной связи между Америкой и Европой посредством подводного кабеля. «Вы замечательно все объяснили, мистер Эдисон, — заявила эта дама. — Для меня неясен только один вопрос: как все-таки телеграммы приходят сухими?» Но вопрос остался при мне.

— Я, вероятно, ненадолго, — сказал Олег. — А ты пока походи по лаборатории. Не бойся, здесь все заэкранировано. И предусмотрена защита от дурака.

Заметив, что я обиделся, он добавил с улыбкой:

— Так называют устройство, автоматически отключающее прибор или отдельный блок, если кто-либо случайно или по неграмотности нажмет не ту кнопку, включает не тот тумблер и т. д. Но ты все-таки постарайся ничего не трогать: идет эксперимент!

Ну что ж, походим, посмотрим . . .

Я уже смелее пробирался между приборными стойками, под подвешенными к потолку колыбелями — блоками счетчиков Гейгера — и представлял себе, как все это пронизывают потоки частиц, блуждавших миллиар-

ды лет в необозримых просторах Космоса и проникших в эту подземную лабораторию, чтобы рассказать кое-что о Вселенной. Тишина в лаборатории не была абсолютной, стерильной: постукивали часы на панелях, иногда раздавался щелчок, а затем жужжание и шорох — это, как я уже знал, включался автоматический фоторегистратор, фиксирующий показания приборов.

В углу лаборатории я обнаружил какое-то громоздкое, массивное сооружение. Оно напоминало большой станок и довольно странно выглядело в этой комнате, набитой в основном радиотехнической аппаратурой. Сходство с заводским цехом усугублял свисавший с потолка крюк подъемного крана, не такого мощного, как в заводских цехах, но все же довольно солидного. Я обошел вокруг сооружения, пытаюсь если не постичь смысл его, — на это я, понятно, не рассчитывал, — то хотя бы повнимательнее рассмотреть установку.

И вдруг раздался страшный, оглушительный удар, даже не удар, а скорее орудийный выстрел, взрыв бомбы!.. Сверкнула ослепительная молния. Я отшатнулся, зажмурился, в глазах поплыли фиолетовые круги. Взрыв?! Что делать?..

Мои панические мысли были прерваны радостным возгласом Олега:

— Ага, поймала-таки ливень!

Этот возглас вернул меня к действительности, я открыл глаза, увидел, что сооружение стоит целехонько, только в нем что-то щелкает, урчит, шипит, гудит — в общем слышалась целая гамма звуков добросовестно работающего механизма. Выражение моего лица было, вероятно, отнюдь не восторженным, потому что подошедший в этот момент Олег расхохотался, но затем, поняв, видимо, мое состояние, заговорил даже немного виноватым тоном:

— Прости, я не предупредил тебя. Не думал, что ливень сейчас пройдет. Это сработала камера Вильсона, сфотографировавшая космические частицы.

...Так и состоялось мое первое — не совсем приятное — знакомство с камерой Вильсона.

Теперь я и сам стал физиком. Повидал самые различные приборы и установки — от простейших счетчиков частиц до ядерных реакторов и гигантских ускорителей, — не просто повидал, но и имел дело с ними. Все

это исключительно интересные, умные устройства, и нельзя не преклоняться перед гением ученых, создавших их. Но по-прежнему особое восхищение вызывает у меня камера Вильсона, которую Э. Резерфорд, один из величайших физиков XX века, назвал «самым оригинальным и удивительным инструментом в истории науки».

За эти десять лет родился и проник во все ядерные лаборатории мира еще один замечательный прибор — пузырьковая камера, которую можно назвать дочерью камеры Вильсона.

Вот об этих двух приборах — истории их создания, принципе работы, полученных с их помощью результатах — и будет рассказано в книге.

ГЛАВА 1
УПОРСТВО
ПОБЕЖДАЕТ



На вершине
Бен-Невис

К

ЕЛЬТЫ, древние обитатели Британских островов, назвали эту гору Бен-Невис, что значит Снежная гора. Ни летом, ни тем более зимой ее вершина, высочайшая не только в Шотландии, а и на всех Британских островах, не освобождается от снежного покрова. Но даже старожилы обсерватории, расположенной на Бен-Невис, не помнят таких снегопадов, какие им пришлось пережить прошлой зимой. Вот и сейчас, в сентябре, многометровые толщи прошлогоднего снега покрывают скалы, и только узенькая тропинка позволяет добраться до вершины. Чуть свернешь с нее на этот искрящийся на солнце, манящий своей первозданной чистотой пласт — и он предательски расступится, открывая пасть расщелины или пропасти.

Нелегко карабкаться по тропинке, но Чарлз Вильсон — истинный шотландец, привыкший к горам. Да и некогда отдыхать — скоро начнет смеркаться, а до вершины еще довольно далеко. Надо было бы переждать внизу, у подножья, и начать подъем завтра утром, но не терпится поскорее оказаться в обсерватории. Ведь ему предстоит прожить там всего каких-нибудь две недели, и поэтому дорог каждый день. Счастье еще, что его согласились взять на эти две недели, и, вероятно, не потому, что в обсерватории так уж нуждаются в его

услугах, — просто там работают милые люди, готовые помочь студенту, дать ему пристанище и работу на время каникул.

Впрочем, нет. Вильсон уже не студент—у него диплом физика. Но разве стало ему легче по окончании университета? Наоборот. Раньше перед ним стояла одна задача — учиться, а теперь он должен выбирать между призванием и долгом. Выбирать?.. Поздно, жребий брошен. Через две недели он займет пост помощника учителя в Брэдфордской школе, это даст ему возможность хоть немного помогать семье, которой сейчас, после смерти брата, приходится совсем худо. Он задумался, перебирая год за годом все перипетии своей 25-летней жизни...

Нелегкое детство выпало на его долю. В 1873 году, когда Чарлзу исполнилось всего четыре года, умер отец, шотландский фермер-овцевод, оставив семью почти без средств к существованию. А семья была немалой: у Чарлза семь братьев и сестер, из них двое родных и пятеро сводных. Старшего, Уильяма, Чарлз почти не помнил — он жил в далекой Индии, — но именно ему-то суждено было сыграть важную роль в судьбе Чарлза.

Многочисленному семейству Вильсонов пришлось покинуть родную ферму и перебраться в Манчестер. Здесь жили родные покойного отца, здесь старшим детям легче было найти работу, которая позволила бы им содержать малышей.

Девяти лет Чарлз поступил в школу. Учеба давалась ему легко, он одинаково хорошо успевал по всем предметам, но предпочтение отдавал биологии. Вместе со своим братом Джорджем он целые вечера мог проводить за составлением коллекций бабочек, жучков и прочих насекомых, а истинным праздником был для него день 13-летия, когда ему подарили настоящий микроскоп. Перед Чарлзом открылся новый, неведомый мир, в котором было столько увлекательного! Он быстро освоил тонкую технику приготовления объектов исследования — микросрезов и часами просиживал за микроскопом, изучая строение клеток, стремясь познать самые основы живой природы.

Неизгладимое впечатление произвело на Чарлза его первое настоящее путешествие — на остров Арран, в Шотландские горы. Ему уже исполнилось пятнадцать,

он окончил школу, а вел себя, как мальчишка. Вместе с Джорджем он карабкался на скалы, рискуя сорваться в пропасть, плескался в ледяной воде горных рек, извлекал из расщелин ящериц... И только по вечерам, глядя на нежные переливы бирюзовых гор, слушая звенящий плеск ручейков, которым вторят колокольчики пасущихся на горных склонах стад, Чарлз вновь становился самим собой — задумчивым, сосредоточенным. Именно в это лето он по-настоящему полюбил природу своей родной Шотландии, но не просто полюбил, а захотел до конца постигнуть ее, раскрыть ее увлекательные тайны.

Ни сам Чарлз, ни его родные и друзья не сомневались, что он станет биологом, если... если он вообще сумеет получить высшее образование. Окончив школу, он, судя по всему, должен был бы взяться за работу, чтобы снять бремя заботы о себе. Но пришла неожиданная помощь: брат Уильям наконец-то получил сносную должность в Калькутте и обещал регулярно присылать деньги, чтобы Джордж и Чарлз смогли получить университетское образование, которого были лишены старшие братья.

Чарлз поступил на медицинский факультет Оуэнс-колледжа, готовя себя к врачебной деятельности, но по-прежнему мечтая о научной, исследовательской работе. Поэтому-то, проучившись три года в Манчестере, он решает перебраться в настоящий научный и университетский центр — Кембридж.

В 1888 году, девятнадцатилетним юношей, он блестяще сдает экзамены в одно из лучших высших учебных заведений — Сидней Суссекс-колледж и получает не только право на обучение в нем, но и — пусть более чем скромную — стипендию.

Бедно обставленная каморка в мрачном, сыром корпuse студенческого общежития. Она напоминает монашескую келью. Да и обитатель ее похож скорее на молодого монаха, нежели на кембриджского студента — он не состоит ни в одной из корпораций, не принимает участия в вечеринках и прочих забавах, и если попадает в шумную компанию, то садится где-нибудь в уголке и старается не привлекать к себе внимания. Нет, Вильсон не стыдится своего скромного костюма — он просто стесняется, робеет среди этих веселых, умных, острых на язык однокурсников.

Утром на лекциях, вечером в лаборатории или в библиотеке — так день за днем, месяц за месяцем. Все шире раскрываются перед Вильсоном горизонты науки, но... отнюдь не биологии. Он изучает физику! Думал ли Вильсон, что в судьбе его произойдет такой резкий поворот? А все Кембридж. Здесь, кажется, даже воздух насыщен физическими идеями и каждый камень помнит великих физиков прошлого — Ньютона, Фарадея, Кавендиша, Максвелла. Да и сейчас Кембриджу есть кем гордиться. Достаточно назвать хотя бы Дж. Дж. Томсона, известного во всем мире под именем Джи-Джи. Да что там говорить, ведь именно физика позволяет заглянуть в самые глубины мироздания, и Вильсон счастлив, что сможет участвовать в разрешении загадок природы, которых еще неисчислимо множество!

Весна 1892 года. Через три-четыре месяца Чарлз окончит колледж и сможет начать работать в одной из кембриджских лабораторий. Ему надо очень многое узнать, многому научиться — университет дает лишь минимально необходимые основы, не больше, а остальное нужно набирать самому.

И вдруг он получает письмо из дому, которое рушит все его планы, все надежды. Старший брат Чарлза, 35-летний Уильям, приезда которого из Индии с таким нетерпением ждала вся семья, умер в пути, так и не повидав своей родины. Он никому не сообщал, что давно уже болен туберкулезом и возвращался в Англию потому, что не мог оставаться в колониях.

Неожиданная смерть брата потрясла Чарлза. Даже теперь, по прошествии двух с лишним лет, стоит ему подумать об Уильяме, отдавшем жизнь ради того, чтобы помочь семье, чтобы позволить ему, Чарлзу, получить университетское образование, как к горлу подкатывает комок и глаза наполняются слезами. Подвиг Уильяма — Чарлз не любит громких слов, но он не может по-иному назвать жизнь старшего брата — всегда будет служить примером и для него. Вот и это решение — стать рядовым учителем — Чарлз принял потому, что именно так поступил бы на его месте Уильям: надо пожертвовать своими мечтами ради благополучия ближних.

Ведь прошедшие после окончания университета два года явно показали: оставаясь в Кембридже, он едва-едва способен прокормить себя, а о том, чтобы помогать

матери, не может быть и речи. Небольшого оклада демонстратора по физике и химии с трудом хватало на оплату квартиры, скудное питание и более или менее приличную одежду (ведь ему приходилось выступать перед студентами!), частные уроки тоже мало что давали и лишь отвлекали от работы в лаборатории, а ради нее только и стоило оставаться в Кембридже. Правда, ему удалось поставить два интересных эксперимента, но ведь отчеты о них не пошлешь матери — на эти бумаги ничего не купишь. Оставалось одно — уехать. Работая помощником учителя, а потом, вероятно, и учителем, он будет находиться на полном пансионате, а зарплату сможет регулярно посылать домой. Вечерами он будет свободен и попытается посвятить их научным занятиям. В общем, все не так уж плохо, — утешает себя Вильсон. Однако на душе у него тяжело — свидетельством тому этот подъем на Бен-Невис. Хоть две недели, последние две недели пожить среди приборов, вновь дышать воздухом научных идей, участвовать в раскрытии секретов природы.

...За этими размышлениями Вильсон не заметил, как стемнело и уже с трудом можно различать тропинку. Но подъем становится все более пологим, а к чистому горному воздуху примешивается запах дыма — аромат человеческого жилья. И вот заблестели огни обсерватории — небольшого одноэтажного домика, вокруг которого разбросаны метеобудки, торчат шесты с флюгерами.

Встретили Вильсона тепло. Здесь всегда рады новому человеку, Вильсон же был не просто туристом, а коллегой, приехавшим к тому же из Кембриджа — земли обетованной для каждого настоящего ученого. Как ни пытался Чарлз разузнать что-нибудь о своих будущих обязанностях в обсерватории, пока что ему пришлось отвечать на многочисленные вопросы хозяев — о жизни в Кембридже, о знакомых профессорах, новостях науки.

Легли за полночь, а когда Вильсон проснулся — он привык вставать ровно в шесть — соседние койки были уже пусты. Наблюдения в обсерватории начинались рано, а эти сентябрьские дни были вообще насыщены до предела: надвигалась зима, и к обычным, повседневным обязанностям прибавились сезонные — утепление жилищ, установка зимнего оборудования, заготовка продуктов и топлива, которые ежедневно доставляла снизу

бойкая обсерваторская лошадка, прозванная Альпинистом.

Жизнь на Бен-Невис была лишена не только комфорта, но и самых элементарных удобств. Особенно трудно приходилось с водой. Источником ее служил снег, который нужно было таскать со склонов горы (на самой вершине он был слежавшимся и грязным) и рас-

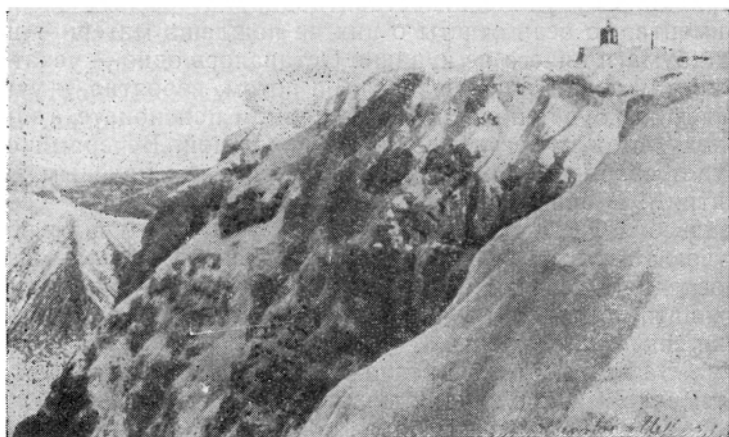


Рис. 1. Обсерватория на вершине Бен-Невис. Отсюда начал свой путь в науку Ч. Т. Р. Вильсон.

тапливать в котле. Вообще говоря, заготовка воды входила в функции повара, но одному ему справиться с этим было не под силу, и каждый из немногочисленных сотрудников обсерватории время от времени становился снегоносом. Вот и Вильсон начал свою трудовую жизнь в обсерватории с того, что взял два ведра и вместе с поваром отправился за снегом. Повар много лет плавал коком, и, судя по его словам, условия на Бен-Невис сильно напоминают те, к которым он привык на корабле. Однако у Вильсона создалось впечатление, что корабельный быт казался коку куда более легким и приятным...

Что такое две недели в жизни человека? Обычно они пролетают незаметно, почти бесследно, но, вероятно, память каждого из нас хранит такие недели, а то и дни, которые определили весь наш дальнейший жизненный

путь, все наше будущее. Именно такими явились для Вильсона две недели, проведенные в обсерватории. Много лет спустя он в беседах с друзьями, в статьях и лекциях, в частности при вручении ему Нобелевской премии, тепло вспоминал Бен-Невис, считая, что отсюда началась его дорога в науку.

... Вильсону повезло с погодой. Иногда, правда, атмосфера была до предела насыщена влагой и вершина погружалась в марево тумана, точнее — обволакивающего ее облака. Но в основном дни стояли сухие, воздух был по-осеннему прозрачным, звенящим, а однажды прекрасное зрение Чарлза позволило ему разглядеть острова, находящиеся на расстоянии более 100 миль.

Ежечасные наблюдения начинаются в пять часов, и Вильсон имеет возможность каждое утро приветствовать восход солнца. Это восхитительное, ни с чем не сравнимое зрелище! Внизу расстилается сплошное — до самого горизонта — море облаков, на котором, как на стоящие острова, возвышаются темные, почти черные вершины. Солнце подсвечивает это море снизу, и застывшие волны оживают, переливаясь нежнейшими красками — от бледно-розовой до пурпурно-красной. Невозможно оторваться от этой картины!

И все же Вильсон отрывается — для того, чтобы насладиться еще более потрясающим видом, открывающимся с запада. Тень, отбрасываемая вершиной Бен-Невис на поверхность облачного моря, сначала доходит до западной кромки горизонта, а затем, по мере подъема солнца, постепенно укорачивается. При этом вокруг тени возникает ореол, нимб — слабые, расплывчатые разноцветные кольца, которые постепенно меняют свою окраску, бледнеют и в конце концов совсем исчезают, когда солнце прорывает облачную завесу и заливают все вокруг своим сиянием.

Но и днем можно наблюдать подобное явление, особенно когда стоишь на краю впадины, опоясывающей гору, и твоя тень падает на клочок облака, застрявший в расщелине. Вокруг тени, всего в нескольких метрах от тебя, возникает совершенно четкий, яркий нимб, как на изображениях святых, только не золотой, а разноцветный. Не случайно это чудесное явление носит название броккеновского спектра, в честь легендарной горы Броккен в Германском Гарце, на которой, по преданию,

происходили шабаши ведьм и другие события, связанные с нечистой силой.

Красота оптических эффектов потрясла молодого Вильсона, но ведь он был не просто юношей, любующимся природой, а физиком, которому интересно понять причины того или иного явления, его физические основы. К сожалению, книги не могли удовлетворить его любопытство: хотя броккеновский спектр был известен давно, сущность его, как и многих других оптических явлений в атмосфере, не была раскрыта. Значит, остается выяснить это самому,—решает Вильсон. Так родилось его стремление заняться изучением физических процессов, происходящих в атмосфере, в частности оптических явлений в облаках.

Яркими осенними красками встретила Вильсона долина, когда он спустя две недели возвращался из обсерватории. Но ему некогда было уже наслаждаться природой — его ждала школа, новая работа...

Немного времени потребовалось Чарзлу, чтобы убедиться, что педагогика отнюдь не его призвание. Он тушевался перед учениками, пожалуй, не в меньшей степени, чем перед своими более опытными коллегами, хотя те встретили молодого учителя весьма приветливо и с готовностью приходили ему на помощь. Вильсону, как он ни пытался анализировать каждый шаг своей педагогической деятельности, вначале не удавалось понять, почему на одном уроке --- ему поручили вести курс геологии — его сорванцы сидели спокойно и внимали каждому слову учителя, а на другом буквально ходили на головах. Правда, последних уроков день ото дня становилось все меньше, но Вильсон не ставил это себе в заслугу: просто он, сам того не замечая, отвлекался от канонов программы и превращал урок геологии в урок природоведения — рассказывал детям о горах и долинах родной Шотландии, о диковинных зверях и насекомых (здесь пригодилась сохранившаяся с детства страсть к коллекционированию), о замечательных сияниях и свечениях, наблюдавшихся на Бен-Невис.

О эти сияния! Если бы не они, Вильсон, может быть, и примирился бы со своей участью, со временем превратился бы в заурядного провинциального учителя, не помышляющего о большем. Но они стояли перед его взором и днем и особенно ночью, требуя разгадки. Виль-

сон знал, что не успокоится, пока не постигнет причин бруккеновского спектра и других эффектов, но для этого бесполезно было размышлять или даже опять подниматься в предстоящие каникулы на Бен-Невис. Надо экспериментировать, воссоздавать аналогичные явления в лаборатории. Но как? Где?

Вопреки надеждам, времени для самостоятельных занятий почти не оставалось. Помимо уроков, к которым Вильсон, исключительно добросовестный и аккуратный человек, тщательно готовился, нужно было дежурить в школе и в дортуарах, ходить с детьми на экскурсии, принимать родителей, участвовать в заседаниях совета — в общем, тысячи мелочей, которые трудно учесть, но которые съедают все так называемое свободное время педагога. Кроме того, не было и подходящего оборудования. Наконец, не доставало духа лаборатории, той творческой атмосферы, которая совершенно необходима для научного роста исследователя. Ведь давно прошли времена ученых-отшельников, ученых-одиночек — теперь, на рубеже XIX и XX столетий, наука все больше превращалась в результат коллективных усилий многих людей, и ни одно мало-мальски серьезное достижение невозможно было осуществить без творческого контакта со своими коллегами.

Все отчетливее сознавал это Вильсон, и разлад между его работой и его устремлениями нарастал с катастрофической силой.

Вильсон ни с кем не делился своими переживаниями, поэтому для руководства школы и его коллег-педагогов было неожиданным, когда он весной следующего, 1895 года, не выдержав полугодовой внутренней борьбы, подал прошение об отставке. Он без особой горечи покидал Брэдфорд, разве что жаль было расставаться с питомцами, к которым он все же привязался и которые тоже полюбили своего задумчивого, но такого искреннего — дети ценят это больше всего — и знающего учителя. Впереди ждал Кембридж...

Облака в лаборатории

Это был первый и, пожалуй, единственный опрометчивый поступок в жизни Вильсона. В марте 1895 года он возвращается в Кембридж без каких-либо реальных

перспектив, со слабой надеждой «как-нибудь устроиться». Ему повезло — подвернулась работа демонстратора в медицинском колледже, обеспечивавшая средства к существованию и, главное, связь с знаменитой Кавендишской лабораторией, которой в течение уже десяти лет руководит Дж. Дж. Томсон.

Снова жизнь в мрачной камерке, скудное питание, более чем скромный, хотя всегда безупречно опрятный

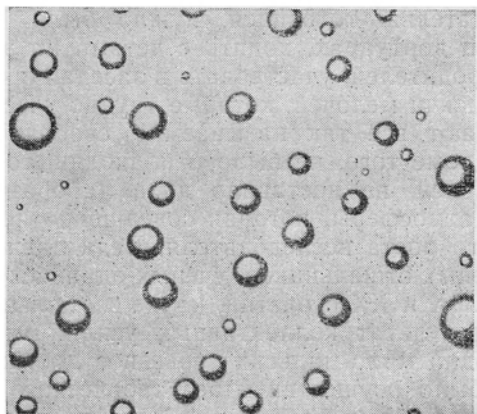


Рис. 2. Так выглядят под микроскопом капельки, из которых состоит облако.

костюм. Но разве бытовые неурядицы могут омрачить его радость? Он ведет настоящую исследовательскую работу, он пытается воспроизвести в лаборатории так поразившие его оптические явления в атмосфере!

Вильсон собирает прибор, в котором можно искусственно создавать облака, — так называемую «облачную», или «туманную», камеру, устанавливает возле нее источник вольтовой дуги и экспериментирует, экспериментирует...

Но что такое? Чем больше Вильсон работает, тем яснее сознает, что неизвестно главное — как возникают облака. Почему при одних и тех же, казалось бы, условиях в камере то образуется густой туман, то его никакими силами не удастся вызвать? Вот чем следует вначале заняться, решает Вильсон, и всю свою энергию

направляет на выяснение исходной проблемы, проблемы формирования облаков.

Изучением облаков занимались и до Вильсона. И немало уже было известно. Например, что облака, как и туман, состоят из мельчайших капелек воды размером от нескольких микрон* до сотни микрон. Увидеть отдельные такие капли невооруженным глазом очень трудно, а самые мелкие из них — просто невозможно, но под микроскопом они отчетливо видны как шарики, напоминающие мыльные пузыри (рис. 2).

Как и отчего возникают облака в природе? В воздухе всегда есть влага, водяные пары. На берегу моря этих паров много, а в раскаленной атмосфере Сахары — чуть-чуть, но все же они есть и там. В дождливый день воздух до предела насыщен парами, его влажность составляет 100%. В любой другой день *относительная влажность*** меньше.

Насыщение — это предел, порог для влажности воздуха. Как только количество паров начинает переступать через этот порог, молекулам пара становится невыносимо тесно. Если до сих пор они свободно носились и чувствовали себя на равных правах с молекулами воздуха, то теперь вынуждены собираться в группы, образуя маленькие капли воды. Происходит конденсация. Каждая капелька в отдельности не видна, но в массе они и составляют те облака, причудливыми очертаниями которых мы так часто любуемся.

Количество водяных паров (как и других газов) в воздухе обычно выражают через их давление или упругость. Каждый знает, что в жаркий день лужи высыхают гораздо быстрее, чем в прохладный. Это происходит потому, что чем выше температура воздуха, тем больше водяных паров он может содержать в себе, то есть тем выше *упругость насыщающих паров*. Наоборот, чем ниже температура, тем меньше упругость этих паров. Так, при 25° С в одном кубическом метре воздуха может находиться до 50 граммов пара, а при 10° С — меньше 20 граммов. Следовательно, при охлаждении от 25 до 10° С должны выделиться лишние 30 граммов.

* Микрон (*мк*) — тысячная доля миллиметра.

** Относительная влажность — это отношение количества паров, действительно находящихся в воздухе, к максимальному количеству их, которое может содержаться в нем при данной температуре.

Приятно в жаркий день выпить стакан ледяной, только что из колодца, воды. Но замечали ли вы при этом, что снаружи стакан бывает мокрым? Стакан запотел. Отчего же? Да оттого, что окружающий воздух охладился и количество паров в нем превысило насыщающий предел. Вот лишние пары и конденсируются на стенке стакана.

Но за счет чего происходит охлаждение, а следовательно, и конденсация водяных паров в природе, почему образуются облака и застилают землю туманы? Оказывается, охлаждение вызывается *адиабатическим расширением*. Этим сложным термином называют довольно простое явление. Вообще адиабатическим считается такой процесс, который происходит без притока тепла и без отдачи его наружу. Чтобы в какой-либо системе осуществить адиабатический процесс, надо на эту систему надеть идеальную «шубу», совершенно не пропускающую тепла. В природе, правда, таких идеальных «шуб» нет. Даже современные изумительные теплоизолирующие материалы, скажем, пенопласт, пусть слабо, но все же пропускают тепло. В реальной же атмосфере тем более не предусмотрено ничего похожего на пенопластовую «шубу».

Но, во-первых, совершенно необязательно иметь абсолютно адиабатический процесс — достаточно *почти* адиабатического, который наблюдается при неполной тепловой изоляции. (Заметим, что в реальной действительности никогда не встречаются идеальные, абсолютные условия — это абстракция, необходимая, чтобы создать теорию, и очень удобная для расчетов.) А во-вторых, если процесс идет настолько быстро, что система не успевает обменяться теплом с окружающей средой, то его тоже можно считать адиабатическим.

Именно так обстоит дело в атмосфере. Здесь главную роль играет не теплоизоляция (ее, в сущности, нет), а быстрое движение воздуха. Когда, например, массы воздуха поднимаются вверх, они переходят из области сравнительно высокого давления в область более низкого. При этом воздух, естественно, стремится занять больший объем, расширяться. Но в природе ничего не делается даром, и чтобы занять дополнительное «жизненное пространство», нужно затратить некоторое усилие. Приходится поступиться частью внутренней энер-

гии, частью своего тепла. Вот и происходит охлаждение. Так, вертикальное перемещение воздуха на 100 метров понижает температуру его примерно на 1°C .

Если воздух был раньше, до расширения, насыщен парами воды — а таким он непременно бывает близ морей, рек, озер, прудов, болот, — то теперь, при более низкой температуре, он становится *пересыщенным*. Ему необходимо освободиться от лишних паров, выделить их в виде капель, сконденсировать. Вот и образуются облака.

Физики во все времена любили воссоздавать происходящие в природе явления в своих лабораториях. Только тогда их можно «пощупать», досконально изучить, а затем — в этом ведь и состоит конечная цель всякого познания — приручить, использовать. Попытались они получить и искусственные облака.

Вообще говоря, это не так уж сложно и доступно даже школьнику. Вот перед нами стеклянный сосуд, в котором перемещается поршень, плотно прилегающий к стенкам (рис. 3). Это напоминает обычный медицинский шприц. На дно сосуда налита вода, так что воздух в нем насыщен парами. Резко передвинем поршень из положения *а* в положение *б*. Отношение конечного объема к первоначальному называется коэффициентом расширения k . Это очень важная характеристика, она определяет физические процессы, происходящие в газе. При расширении воздух должен будет занять больший объем, затратив на это часть своей внутренней энергии (ведь процесс быстрый, а значит, адиабатический).

А дальше все происходит в точности, как в атмосфере: воздух охлаждается, из насыщенного становится пересыщенным и лишние водяные пары выделяются в виде капель тумана. Его можно осветить и при желании даже сфотографировать. Таков принцип действия знаменитой облачной, или туманной, камеры, впервые предложенной еще в 1870 году Айткенем.

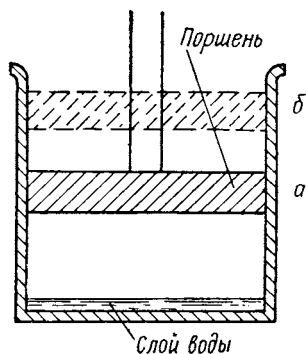


Рис. 3. Сосуд для адиабатического расширения.

Три физика — француз Кулье, немец Кисслинг и англичанин Айткен — многое сделали для выяснения условий формирования облаков. Они, в частности, обнаружили, что туман, который образуется при малом адиабатическом расширении, совершенно исчезает, если воздух предварительно очистить от пыли. Значит, молекулы водяного пара не могут сами собой слипаться в капли, им нужно сначала за что-то зацепиться, на чем-то расти. Роль таких центров — *ядер конденсации* — и выполняют частицы пыли или, скажем, мельчайшие крупинки морской соли, которые всегда имеются в избытке над поверхностью моря.

Но что же произойдет, если из воздуха удалить все посторонние частицы? И в этом случае адиабатическое расширение вызовет охлаждение, а следовательно, насыщение. И все. На этом процесс оборвется. Возникающие ассоциации, скопления молекул водяного пара слишком малы (их радиус порядка миллионной доли миллиметра) и не вырастают до размеров капель, а наоборот, тотчас же испаряются.

Теоретическое объяснение этого факта дал знаменитый английский физик лорд Кельвин. Грубо говоря, дело обстоит так. Известно, что капля жидкости принимает шарообразную форму благодаря поверхностному натяжению. Поверхностный слой стягивает эту каплю, как футбольная крышка камеру, и чем меньше ее радиус, тем сильнее давит этот слой. В маленькой капле, насчитывающей всего несколько десятков молекул, они настолько стеснены, что стремятся вырваться из плена. И вырываются. В то же время поверхностное натяжение не позволяет посторонним молекулам, которые сталкиваются с каплей, проникать внутрь нее. В итоге капля все больше и больше сжимается и в конце концов полностью исчезает.

Первое открытие

Но вернемся к Вильсону. Он построил свою туманную камеру и вместо изучения свечения и сияний вел тщательные исследования условий образования тумана в очищенном от пыли воздухе. Прежде всего надо было выяснить границы конденсации, измерить величину критического коэффициента расширения k . Вильсон устано-

вил, что при κ , меньшем 1,252, в воздухе, из которого удалены частицы пыли, крупинки соли и другие центры конденсации (так называемые ядра Айткена), туман не образуется.

Для экспериментальных работ Вильсона весьма характерна та исключительная аккуратность, с которой определена эта величина: 1,252! Поскольку его первая туманная камера была объемом всего в 200 см³, то, следовательно, ему приходилось измерять объемы с точностью до десятых долей кубического сантиметра!

При $\kappa > 1,252$ возникают редкие крупные капли тумана, которые, как дождь или, скорее, крупа, падают на дно камеры. Вильсон назвал этот процесс дождевидной конденсацией и долго бился над выяснением ее причины. Ведь из воздуха удалены все обычные ядра конденсации, а капельки, пусть редкие, все же образуются. Значит, существуют какие-то другие, помимо ядер Айткена, центры, а может быть, даже другой механизм конденсации? На первых порах Вильсон, как ни старался, не смог ответить на этот вопрос и отложил его решение на будущее. А пока что надо было выяснить, что же происходит при дальнейшем повышении коэффициента κ .

Медленное, постепенное увеличение расширения. Коэффициент 1,26 ... 1,27 ... 1,30 ... 1,35. Ничего нового — редкие, крупные капли. Все та же дождевидная конденсация. И вдруг при $\kappa = 1,37$, когда пересыщение достигает 800% (иначе говоря, в воздухе находится в восемь раз больше влаги, чем допустимо), густой, плотный туман заволакивает внутренность камеры. Группы, ассоциации молекул, которые раньше распадались, едва успев сформироваться, теперь вырастают до размеров капель. Этот процесс невозможно предотвратить — он развивается, как лавина.

Молодой ученый послал небольшую заметку с отчетом о полученных результатах в «Груды Кембриджского философского общества» и продолжал вести тщательные исследования возникновения облаков в самых различных условиях, надеясь в конце концов перейти и к изучению оптических и электрических явлений в атмосфере.

Интерес Вильсона к последним возбудила его новая поездка летом того же 1895 года, во время студенческих

каникул, в Шотландские горы. Однажды — это было 19 июня — он поднялся на гору Карн-Бор-Дирг и оттуда рассматривал находившийся невдалеке, всего в полутора километрах, Бен-Невис. Его вершина была окутана темно-серым туманом, который разрывали частые вспышки молний — там бушевала гроза. Одна из молний ударила прямо в здание обсерватории, и на следующий день, когда Вильсон по узкому хребту, соединявшему две вершины, поднялся на Бен-Невис, его старые друзья показали ему оплавленный стальной ключ телеграфного аппарата. Гроза доставила немало неприятностей обсерватории, но, к счастью, никто из сотрудников не пострадал.

Через неделю Вильсон и на себе испытал, что такое гроза в горах. Он опять, находясь на вершине Карн-Бор-Дирг, наблюдал, как Бен-Невис постепенно заволакивает дымка и оттуда начинает доноситься слабое ворчанье грома. И вдруг почувствовал, как волосы на его голове стали дыбом. Не фигурально, а буквально. Электрическое поле было настолько мощным, что волосы вытянулись вдоль силовых линий. Не дожидаясь дальнейшего развития событий, Вильсон стремглав припустился вниз по склону. И вовремя: едва он успел сбегать с вершины, как в нее вонзились острия молний, а пока он мчался по тропинке, разбрасывая камни, над его головой гремели оглушительные раскаты, усиленные стократным эхом, а потом обрушились потоки воды.

Забившись в щель под выступом скалы, Вильсон, промокнувший до нитки, стал размышлять над величиной электрических полей в грозовых облаках, над их внезапными изменениями, над мощностью электрических разрядов — молний. И эти явления надо попробовать воспроизвести в лаборатории, — решает он. Так родилось второе направление исследований Вильсона: изучение атмосферного электричества. Правда, он пока еще плохо представлял себе, как подступиться к экспериментам, но пришла неожиданная помощь.

Осенью 1895 года мир был потрясен сенсацией: немецкий физик Вильгельм Конрад Рентген открыл лучи, способные проникать не то что через бумагу или дерево, но даже через слой металла. Физики всего мира ринулись изучать эти необычайные лучи, которые Рентген

назвал икс-лучами, а мы теперь называем рентгеновскими.

Были изготовлены рентгеновские трубки и в Кавендишской лаборатории. Естественно, что Вильсона заинтересовал вопрос: как влияют рентгеновские лучи на образование тумана? И уже в феврале 1896 года он проделал очень простой и вполне естественный опыт: установил возле своей туманной камеры примитивную рентгеновскую трубку и произвел серию расширений. Но что такое? В камере, очищенной от пыли, образуется густой туман даже при коэффициенте расширения, меньшем 1,37.

Молодой ученый не спешит делиться своей новостью. Проверить еще раз, десять, сто раз. Только тогда можно утверждать, что это результат действия икс-лучей. Он выключает трубку. Туман, хотя и более слабый, все же образуется. Выждать, очистить камеру, дать осесть каплям. Снова расширение. Если не считать обычных дождевидных капель, тумана нет. Включает рентгеновскую трубку — густой туман! Эффект несомненен. Теперь надо доискаться причины. Ведь не наполняют же рентгеновские лучи камеру пылью! Значит, существует какой-то другой источник конденсации, какие-то другие ядра. Но какие?

Примерно в то же время различные ученые в Англии, Франции и Италии обнаружили, что под действием рентгеновских лучей воздух становится проводящим, то есть нейтральные молекулы газа расщепляются на положительные и отрицательные ионы. Не они ли и служат ядрами конденсации? Надо проверить. Легко сказать — проверить! А как? Дж. Дж. Томсон, заинтересовавшись опытами Вильсона, предложил остроумное решение: создать в камере электрическое поле, которое притягивало бы ионы, рассасывало их, очищая камеру. Если конденсация происходит действительно на этих ионах, то при включенном поле (его так и называли — очищающим) туман возникать не должен. И туман исчез!

Это было первое, но исключительно важное открытие 27-летнего Вильсона: ядрами конденсации являются не только частицы пыли, но и заряженные ионы!

На рис. 4 изображена одна из первых камер, построенных Вильсоном. Стекланный цилиндр 1 диаметром 18,5 см и высотой около 6 см накрыт крышкой — толстым латуниным диском 2. Они скреплены сургучом, не

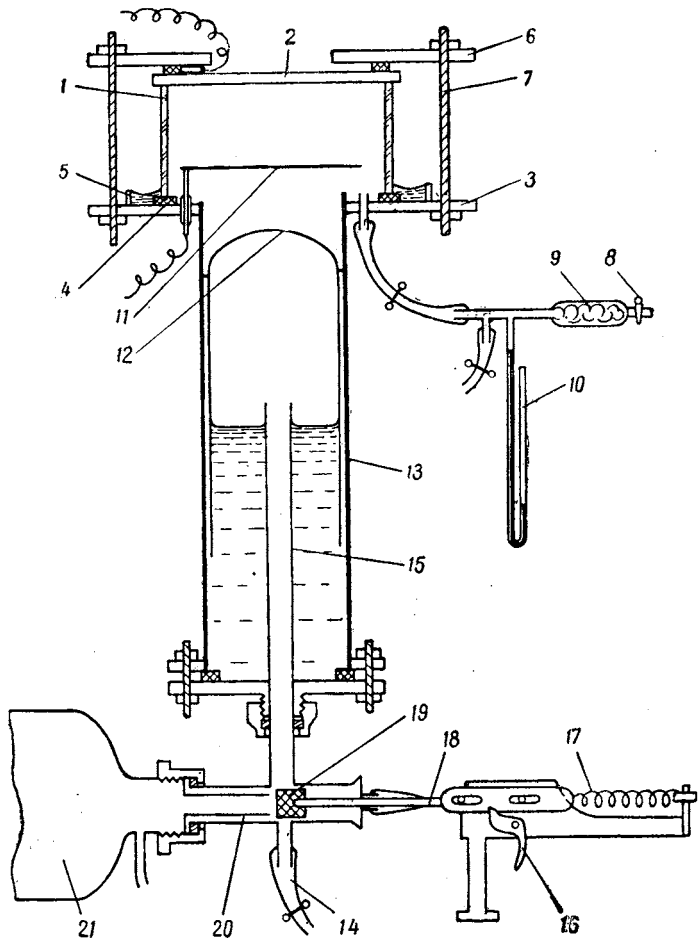


Рис. 4. Схема одной из первых туманных камер Вильсона.

пропускающим воздуха. Снизу цилиндр покоится на довольно массивной латунной плите 3. Так как резиновая прокладка 4 может оказаться не вполне надежной в отношении герметизации, то создана еще водяная защита; слой воды здесь удерживается бортиком 5. Две латунные плиты стянуты металлическим кольцом 6 и шестью болтами 7. Таким образом скомплектован рабочий объем камеры. Открыв кран 8, можно через фильтр 9 наполнить камеру воздухом или любым другим газом. Обычный ртутный манометр 10 позволяет в любой момент измерить давление в рабочем объеме. Очищающее электрическое поле подается на металлический диск 11 через специальный изолированный ввод. Вторым электродом служит латунный диск 2.

Самое сложное в камере — механизм расширения. Ведь надо сделать так, чтобы поршень перемещался, не нарушая герметичности рабочего объема. Вильсон решил сделать поршень как бы плавающим в воде. Поршень 12 ходит в цилиндре 13, припаянном к плите 3. В цилиндр налита вода. Через ввод 14 и трубку 15 в подпоршневой объем поступает сжатый воздух, который заставляет поршень подняться до определенного уровня. Затем трубка пережимается.

Камера «заряжена». Теперь можно производить «выстрел» — расширение. Как и у настоящего ружья, для этой цели имеется курок 16. Стоит его нажать, как натянутая пружина 17 мгновенно сжимается и тянет за собой шток 18 с пробкой 19. Открывается отверстие в трубке 20, и воздух из подпоршневого объема устремляется в резервуар 21. Поршень резко опускается вниз — происходит адиабатическое расширение в рабочем объеме камеры.

Как видите, камера очень проста и... неудобна. Во-первых, она обладает одним принципиальным недостатком. Коэффициент (или, как его часто называют, степень) расширения k , т. е. отношение величины рабочего объема после расширения V_2 к величине его до расширения V_1 определяется, естественно, начальным и конечным положениями поршня. А положение поршня зависит от давления в рабочем и подпоршневом объемах до и после расширения. Следовательно, для обеспечения заданного значения k нужно точно поддерживать требуемые давления во всех участках камеры. Но это труд-

ная задача даже при современном состоянии манометрической техники. Что же говорить о технике 60—70-летней давности!

Сейчас любой школьник, взглянув на изображенную здесь схему камеры Вильсона, усмехнется: до чего же примитивна ее конструкция! Никакой автоматизации: для расширения надо нажать курок (не пусковую кнопку, а именно допотопный курок), а после расширения — натягивать пружину, разжимать и пережимать многочисленные резиновые трубки (далеко не все они изображены на схеме), включать и выключать насосы и т. д., и т. п. Скудное, утомительное занятие...

Но что поделаешь: в те времена еще не было электроники, и физику-экспериментатору приходилось выполнять подчас самую черновую, неблагодарную работу.

Примерно в те же годы англичанин Крукс создал свой прибор для наблюдения ядерных излучений — «спинтарископ». Как показали позднее Резерфорд и Гейгер, он действительно позволяет регистрировать отдельные α -частицы, но какой ценой! Для этого надо было в полной темноте наблюдать через линзу слабенькие, едва заметные вспышки, которые вызывали α -частицы, выбрасываемые радиоактивным элементом, на экране из сернистого цинка. Уже через 20—30 минут напряженного внимания перед глазами начинали бешеную пляску тысячи искр. А ведь, чтобы зарегистрировать достаточное количество вспышек или, как говорят физики, набрать статистику, наблюдения приходилось вести не один час и не один день. Зато именно такие опыты позволили Резерфорду в 1919 году совершить истинный переворот в науке — открыть ядерные реакции, превращение одних элементов в другие. Фантазия алхимиков стала реальностью!

Метод регистрации вспышек используется и в современных лабораториях, но теперь функции человеческого глаза выполняет прибор — фотоэлектронный умножитель, сокращенно ФЭУ. И справляется, надо признать, несравненно лучше, чем глаз. Так-то теперь...

Как мы увидим дальше, современная камера Вильсона тоже напоминает первый вильсоновский прибор не больше, чем мощный магистральный локомотив — знаменитую «Ракету» Стефенсона, хотя принципы действия у них сохранились прежние.

Одержимый идеей

Работы Вильсона, а особенно открытие им конденсации на ионах, показали, что это талантливый, многообещающий ученый. По рекомендации Дж. Дж. Томсона Вильсону назначают стипендию им. Максвелла, а это позволяет ему отбросить мысли о зарплате и по крайней мере на три года полностью отдаться исследовательской работе. И Вильсон вновь ставит эксперименты, ведет тщательные, кропотливые измерения, улучшает методику, совершенствует конструкцию камеры.

Экспериментальное мастерство Вильсона характеризует такой пример. Он решил измерить размеры отдельных капель, из которых состоит «молоко», образующееся при большом расширении ($\kappa > 1,37$). При помощи исключительно тонких опытов по рассеянию света он установил, что эти капли должны быть несколько меньше длины волны видимого света, и определил их диаметр, который оказался равным одной двадцатитысячной доли сантиметра ($5 \cdot 10^{-5}$ см). Воспользовавшись тем, что капли тумана в результате конденсации превращаются в воду, а объем воды можно измерить, Вильсон определил и число капель в единице объема. В кубическом сантиметре густого тумана содержится колоссальное число — сто миллионов (10^8) таких капель!

Разработав весьма остроумную методику, Вильсон измерил также электрический заряд отдельных капель, а затем разницу в конденсации на положительных и отрицательных ионах.

Результаты своих исследований он изложил в пяти больших статьях, опубликованных в 1897—1899 годах:

«Конденсация водяного пара в воздухе, очищенном от пыли, и в других газах»;

«Влияние излучения урана на конденсацию водяных паров»;

«Возникновение тумана при действии ультрафиолетового света на влажный воздух»;

«Центры конденсации, возникающие в газах под действием рентгеновских лучей, излучения урана, ультрафиолетового света и других агентов»;

«Сравнительная эффективность положительных и отрицательных ионов как центров конденсации».

Обратите внимание: как только Анри Беккерель открыл явление радиоактивности урана (это произошло в 1896 году), Вильсон сразу же испытывает действие новых лучей на своей туманной камере, убеждаясь, что и эти лучи, подобно рентгеновским, вызывают образование капель. Но если большинство физиков переключается на изучение радиоактивности, этого замечательного явления, открытие которого знаменовало собой рождение новой, ядерной эры в науке, то Вильсон остается верным своему первому увлечению — исследованию физических процессов, происходящих в воздухе. Он был поистине однолюбом в науке.

Надо было обладать исключительной целеустремленностью, невероятным трудолюбием, бесконечным терпением, чтобы вести титаническую работу по намеченной программе. Вильсону были присущи все эти качества, которые к тому же сочетались в нем с истинным талантом механика. Все детали своих приборов, самую тонкую, ювелирную работу он делал собственными руками, постоянно внося какие-либо усовершенствования в конструкцию.

Как-то на обеде по случаю своего возвращения из Австралии Эрнст Резерфорд, любивший шутку, сказал: «Перед отъездом из Кембриджа я зашел попрощаться с моим старым другом Си-Ти-Аром. Он у себя в лаборатории методично шлифовал вручную большую глыбу стекла. За этим занятием я и оставил его... Первый, кого я увидел, вернувшись после нескольких месяцев отсутствия, был мой старый друг Си-Ти-Ар, который все еще шлифовал большую глыбу стекла».

«Си-Ти-Ар» — так произносятся по-английски инициалы Ч. Т. Р. Вильсона и так его звали друзья и коллеги. К нему относились с большой теплотой. Да и какое другое чувство, кроме симпатии, мог вызывать этот скромный до застенчивости человек, увлеченный, чтобы не сказать — одержимый, своей идеей!

От этой идеи Вильсона не могли отвлечь никакие новые, сенсационные открытия, никакие новые теории. Некоторые сотрудники Кавендишской лаборатории считали, что он в своих исследованиях топчется на месте и уж во всяком случае находится где-то в стороне от главного направления развития науки. На первый взгляд это было действительно так.

Ведь начало нашего века совпало с рождением ядерной физики. Ученые Англии, Франции, России, Германии, Японии и других стран стремились постичь природу радиоактивных излучений, изучить свойства электронов и α -частиц, выяснить структуру атома, а Вильсон продолжал возиться со своей камерой, единственным, казалось бы, полезным назначением которой было определение ионизации воздуха. В 1901 году он опубликовал статью, которая так и называлась: «Конденсационный метод демонстрирования ионизации воздуха».

Зато уж в вопросах электрических свойств воздуха и формирования облаков Вильсон был признанным авторитетом. Не случайно уже в 1900 году он был избран членом Королевского общества, т. е., по нашим понятиям, академиком. Академик в 31 год! Это было тем более поразительно, что Вильсон даже не был профессором. Только спустя год его назначили лектором и старшим демонстратором по физике, а звание профессора он получил лишь через 25 лет. И хотя Вильсону пришлось читать курс физики, он так и не стал хорошим лектором. На кафедре им овладевала совершенно непонятная, болезненная робость, и вместо заранее подготовленной лекции получался до обидного бесцветный, с трудом воспринимаемый рассказ.

Один из замечательных английских физиков П. Блэккет вспоминает:

«Впервые мне довелось увидеть Вильсона сразу же после первой мировой войны, когда я слушал у него курс оптики. За его речью трудно было следить, его записи на доске трудно было читать, но как-то раз я заставил себя аккуратно конспектировать лекции Вильсона, и впоследствии оказалось, что это были чуть ли не единственные записи моих студенческих лет, к которым я потом неоднократно обращался. Вильсон сумел глубоко и вместе с тем очень просто подойти к волновым явлениям, в частности, к интерференции и дифракции, поясняя их изящными амплитудно-фазовыми диаграммами. Это позволило Вильсону выразить физическую сущность теории формирования изображения Аббе и тесно связанного с нею соотношения между фурье-разложением света от периодического объекта и интенсивностью результирующего спектра. Возможно, именно лекции Си-Ти-Ара позволили У. Л. Брэггу выполнить

позднее совместно со своим отцом, У. Брэггом, изумительную работу по применению анализа Фурье для обнаружения с помощью рентгеновских лучей сложной структуры кристаллов»*.

Зато в лаборатории Вильсон преображался. Три дня в неделю, с десяти утра до пяти вечера, он наблюдал за практическими занятиями студентов-старшекурсников. Очень мягкий, безукоризненно вежливый, он вместе с тем не терпел небрежности в экспериментальной работе. Если у студента получался результат, расходившийся с общепризнанным, он заставлял вновь и вновь переделывать работу, а нередко сам шаг за шагом проверял все детали эксперимента, чтобы доискаться причин ошибки или расхождения.

Единственное, что могло вывести из себя Вильсона — это научная недобросовестность. В 1903 году он опубликовал в журнале «Нэйчер» («Природа») рецензию на книгу Баруса о явлении конденсации. Очень обстоятельно, как все, что он делал, Вильсон разбирая книгу и доказывал несостоятельность ряда концепций автора. В одном из ближайших номеров журнала появилось письмо Баруса, который в раздраженном тоне полемизировал с рецензентом, хотя был явно неправ. Вильсон ответил на письмо едкими, саркастическими комментариями, причем друзья Вильсона, знавшие его много лет, никак не ожидали, что он способен на столь резкий тон.

Еще более придирчивым был Си-Ти-Ар к собственным исследованиям. Застенчивость мешала ему делиться с коллегами своими планами, обсуждать еще не полностью сформировавшиеся идеи, и он поверял их записным книжкам.

Недавно вдова Ч. Т. Р. Вильсона передала в дар библиотеке Королевского общества 52 лабораторных журнала и записных книжек своего мужа. Он вел записи в течение 45 лет начиная с марта 1895 года, причем вел их исключительно аккуратно и систематически. Здесь не только материалы наблюдений, расчеты, наметки опытов, но и изложение аргументов, логические построения.

* Речь идет о знаменитом законе Брэгга — Вульфа о дифракции рентгеновских лучей на кристалле; этот закон лежит в основе современного рентгеноструктурного анализа.

ния теорий и выводов. Эти 52 томика раскрывают перед нами внутренний мир Вильсона-ученого, строй его научного мышления, постепенное развитие его идей, синтезировавших результаты экспериментальных исследований с теоретическими концепциями.

Записи Вильсона лишней раз свидетельствуют о том, какая это была цельная натура. Он отнюдь не был кабинетным ученым. Наоборот, отчеты о лабораторных исследованиях перемежаются с данными экспериментов по изучению атмосферного электричества в естественных условиях. Вильсон сконструировал множество электрометров для измерения плотности заряда и электрического поля Земли, разместил их в горах близ Бен-Невис и, не считаясь с опасностью, снимал показания этих приборов непосредственно во время грозы.

Частицы можно видеть!

В первое десятилетие нового, XX века Ч. Т. Р. Вильсон — теперь уже не просто лаборант, а член Королевского общества — продолжал изучать главным образом электрические свойства воздуха. Он, в частности, доказал, что воздух, даже если его тщательно защитить от ионизирующих излучений, все же обладает некоторой, хотя и очень слабой, электропроводностью. Иначе говоря, в нем образуются ионы. Как мы увидим дальше, эти опыты Вильсона сыграли важную роль в открытии космических лучей.

Вильсон в эти годы почти не занимался проблемой конденсации, но тем не менее постоянно возвращался к своей туманной камере, инстинктивно чувствуя, что эта Золушка способна на нечто большее, чем простое демонстрирование ионизации воздуха. Кропотливо и настойчиво, как педагог, верящий в своего ученика, он развивал и «воспитывал» ее, стремясь выявить все тающиеся в ней возможности.

И вот пришла победа! Грандиозная, потрясающая! Камера Вильсона позволила людям заглянуть в неведомый мир — мир элементарных частиц. Она показала настоящие, «живые» ядерные частицы, сделала видимым невидимое. Золушка превратилась в принцессу!

Многим такое превращение казалось не только необычным, но и неожиданным. Оно и было неожиданным,

но только не для Вильсона и не для тех, кто знал его самого и следил за его работами.

История физики знает немало случаев, когда важные открытия делались, по существу, совершенно случайно. В этом отношении особенно интересно открытие радиоактивности. Как это случилось? Французский физик Анри Беккерель пытался установить какую-либо связь между рентгеновскими лучами и люминесценцией. Напомним, что люминесценция — это свойство вещества испускать излучение одной длины волны при освещении его лучами с другой длиной волны. В распоряжении Беккереля оказалась двойная сернистая соль урана и калия. Он выставил на солнечный свет тонкий слой кристалла соли, а затем положил его на фотографическую пластинку, завернутую в черную бумагу. После проявления пластинки Беккерель обнаружил, что она почернела. Значит, соль испускала лучи, проникающие сквозь бумагу и даже, как он потом установил, сквозь тонкие слои алюминия и меди.

Беккерель считал, что эти лучи возникают в результате освещения соли солнечным светом. Но однажды в пасмурный день он не мог проводить подготовленный опыт и положил пластинки, завернутые в бумагу, и кристаллы урановой соли обратно в темный ящик. Через два дня Беккерель на всякий случай проявил пластинки и с удивлением увидел четкое изображение кусочков соли. Было ясно, что уран испускает лучи без всякого облучения его солнечным светом. Контрольные эксперименты подтвердили, что речь идет о совершенно новом явлении, которое Мария Кюри позднее назвала радиоактивностью.

Как видите, чистая случайность. Но умаляет ли это заслугу Беккереля? Вовсе нет. Важно, что он обратил внимание на эту «случайность», заинтересовался ею, исследовал и доказал, что за «случайностью» кроется закономерность.

Вильсон пришел к своему замечательному достижению совершенно иным путем. Его успех явился результатом многолетних целеустремленных исследований.

Дж. Дж. Томсон, ученый, «открывший дверь в физику элементарных частиц», досконально изучивший свойства электрона, страстно мечтал каким-нибудь образом увидеть этот электрон. Но как увидеть частицу,

которая в миллион миллионов раз меньше миллиметра? Даже α -частицу, гиганта по сравнению с электроном, нельзя разглядеть в самый мощный современный электронный микроскоп, увеличивающий в сотни тысяч раз.

А увидеть хотелось. Не из простого любопытства, хотя и оно вполне правомерно в науке, а для изучения свойств, для проверки теорий и гипотез. В это первое десятилетие нашего века шла борьба двух точек зрения на строение атома. Дж. Дж. Томсон, например, считал, что атом похож на пудинг с изюмом: это положительно заряженный кусочек вещества, в который вкраплены отрицательные электроны. Э. Резерфорд же отстаивал планетарную модель: атом — это некоторое подобие солнечной системы, в центре его находится маленькое положительно заряженное ядро, а вокруг вращаются все те же электроны. Чья модель верна?

Опыты по рассеянию α -частиц, правда, подтвердили справедливость ядерной модели Резерфорда, но во всех этих опытах приходилось иметь дело с большим количеством частиц и атомов и увидеть сами взаимодействия, взаимодействия, так сказать, в чистом виде, невозможно. Но вряд ли кто мог тогда всерьез говорить о том, чтобы увидеть ядерный процесс.

И лишь один человек верил в такую возможность — это был Вильсон. Он не решался высказывать свою «еретическую» мысль вслух, но из его заметок, сделанных в записных книжках, из всего хода его исследований видно, как он упорно шел к своей цели.

Мы сказали: Вильсон инстинктивно чувствовал перспективность туманной камеры. Это не совсем верно. Нет, он не чувствовал — он знал! В его дневниках есть запись, датированная 24 декабря 1910 года и озаглавленная «Современное состояние работ в области расширительных камер». Вильсон дает здесь детальный обзор этого экспериментального метода, а затем высказывает ряд соображений о конструкции будущих камер, способах их освещения и фотографирования. В этой-то записи Вильсон впервые четко сформулировал давно вынашиваемую им идею. Он писал:

«Если предположить, что удастся преодолеть трудности фотографирования, то можно будет увидеть след α -частиц, который должен включать в себя центральный стержень из капель, образовавшихся на положительно

заряженных ионах, и окружающее этот стержень более рассеянное облачко из капель, образовавшихся на отрицательных ионах».

Видите, как осторожен Вильсон? «Если предположить, что удастся...» Он уже убежден, что идея верна, — поручкой тому 15-летние исследования. Однако он прекрасно знает, что от теоретической идеи до ее практической реализации надо пройти немалое расстояние, и здесь могут встретиться подчас просто непреодолимые трудности. Но Вильсон не из тех, кто ограничивается общими рассуждениями. Раз задача ясна, надо ее решить или — и такое в науке не редкость — показать невозможность ее решения.

Вновь Вильсон устанавливает возле своей камеры, правда, уже значительно модернизированной по сравнению с первыми камерами 10—15-летней давности, рентгеновскую трубку, мощную осветительную систему, фотоаппарат и начинает новую серию экспериментов. Его уже не интересуют общие условия образования облаков — это пройденный этап, теперь важно выяснить их структуру.

И вот 18 марта 1911 года в дневнике появляется запись: «Облака прерывистые, состоящие из множества отдельных клубков». И далее опять очень осторожный вывод, даже не вывод, а вопрос, поставленный самому себе: «Не являются ли эти клубки следами лучей?» Эта запись (рис. 5) — первое сообщение о гениальном открытии Вильсона: ядерные частицы можно видеть! Ведь клубки и нити могли быть только следами электронов, возникающих в камере под действием рентгеновских лучей.

Через два дня он пишет: «...Лучи можно различить значительно яснее. Они стали исключительно отчетливыми... Смотрел сверху. Наблюдаются отдельные лучи, во многих случаях в виде чрезвычайно тонких линий, особенно четких там, где они расходятся от места расположения источника». В тот же день были получены первые фотографии.

От опытов с рентгеновской трубкой Вильсон перешел к экспериментам с радиоактивным источником — ураном, испускающим α -частицы, и сразу же получил отчетливые снимки.

Итак, мечта многих ученых стала реальностью.

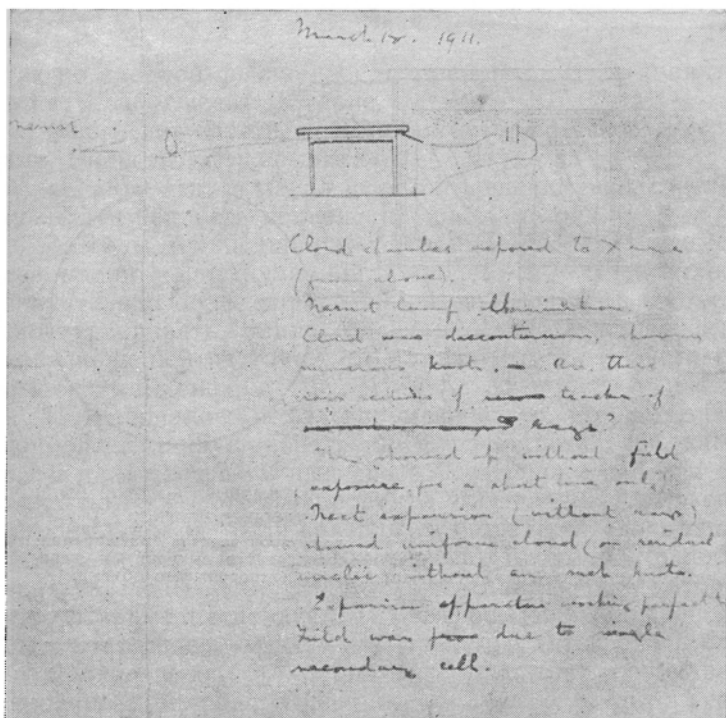


Рис. 5. Первая запись Вильсона о наблюдении следов ядерных частиц.

И когда в апреле 1911 г. в «Трудах Королевского общества» появилась небольшая, всего в три страницы, заметка Вильсона, озаглавленная «Метод, позволяющий сделать видимыми траектории ионизирующих частиц в газе», она произвела настоящий фурор. Трудно было поверить в это чудо, но две фотографии, на одной из которых видны беспорядочные капельки тумана, образованного в камере рентгеновскими лучами, а на другой — тонкие стрелки, следы пролета α -частиц, доказали его реальность. Невидимые частицы можно видеть!

Через год в том же журнале была напечатана статья Вильсона, в которой во всех деталях рассказывалось о методике получения следов частиц, конструкции камеры и т. д. Но самым убедительным здесь были 19 снимков α -частиц в различных ракурсах. Приведенный в этой статье схематический чертеж камеры (рис. 6) теперь воспроизводится почти во всех учебниках и кни-

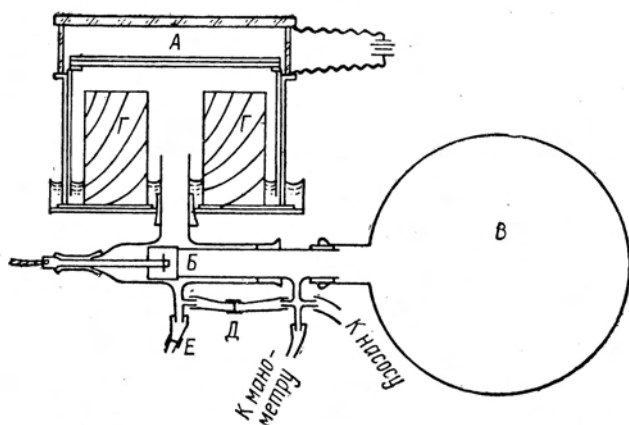


Рис. 6. Схема камеры Вильсона, с помощью которой были впервые получены следы ядерных частиц:

A — рабочий объем; *B* — клапан для производства расширения;
B — вакуумный сосуд, в который производится выхлоп; *Г* — деревянный брусок, заполняющий часть подпоршневой объема;
Д, Е — зажимы.

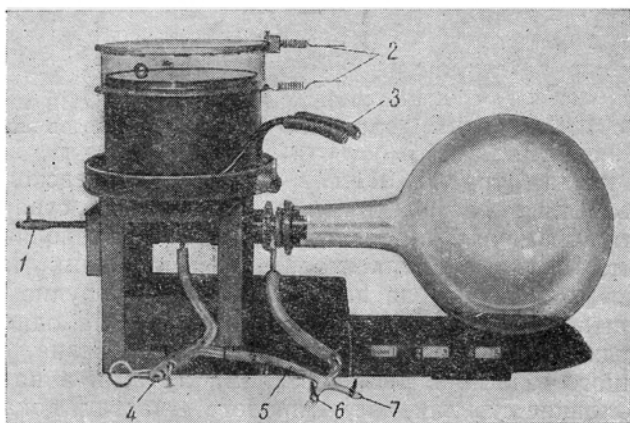


Рис. 7. Фотография камеры Вильсона, с помощью которой были впервые получены следы ядерных частиц:

1 — к клапану, производящему расширение; *2* — к источнику очищающего поля; *3* — к охлаждающей воде; *4* — впуск воздуха для подъема поршня; *5* — регулировка начального объема; *6* — к манометру; *7* — к насосу.

гах по ядерной физике, а сам прибор (рис. 7) хранится в научном музее в Лондоне.

Много лет спустя, вспоминая историю своего открытия, Вильсон рассказывал:

«К 1910 году я начал ставить эксперименты с целью повысить ценность конденсационного метода.

За годы, прошедшие после моих первых экспериментов, идея о корпускулярной природе α - и β -лучей * стала значительно более определенной, и я подумал, что если сконденсировать капли воды на ионах, образуемых ионизирующей частицей, то можно увидеть и сфотографировать ее след...

Потребовалось немало времени на то, чтобы создать наиболее удачную конструкцию расширительной камеры и найти эффективный способ освещения капелек тумана для их фотографирования. Весной 1911 г. эксперименты еще не были завершены, но мне хотелось получить хотя бы какое-нибудь подтверждение возможности увидеть следы даже с той грубой аппаратурой, которой я в то время располагал. Первые опыты были проведены с рентгеновскими лучами, причем я питал очень слабую надежду на успех. Произведя соответствующее расширение, я пришел в неопишуемый восторг, когда увидел, как камера наполнилась маленькими клубками и нитями тумана — следами электронов, образованных рентгеновскими лучами. Затем я ввел внутрь камеры металлическую иглу (из спинтарископа), на кончике которой было немного радия, и сразу же возникло восхитительное зрелище — туман, сконденсированный вдоль следов α -частиц. Если же вблизи камеры размещался подходящий источник, то в ней можно было видеть длинные нитевидные следы быстрых β -частиц».

На рис. 8 и 9 показаны фотографии треков α -частиц и электронов. Эти превосходные снимки получены, правда, при помощи значительно более совершенной камеры, чем первый прибор Вильсона.

Давайте же разберемся, как удалось Вильсону сделать электроны и α -частицы видимыми. Впрочем, чтобы быть совсем точным, следует говорить не о самих ча-

* То есть о том, что α - и β -лучи представляют собой поток частиц (корпускул).

стицах, а об оставляемых ими следах. Но так ли уж важна эта разница?

Вероятно, каждому доводилось видеть, как высоко в синем небе движется самолет, оставляя за собой тонкий белый шлейф. Вот самолет начинает вырисовывать причудливый орнамент. Сам самолет не виден, хотя, быть может, нам и хотелось бы рассмотреть его получше, узнать тип, марку, но это не мешает следить за его полетом и даже при желании измерить скорость. А специалисты, кстати, сумеют, не видя самолета, только по оставляемому им следу, определить его тип.

Или возьмем другой пример. Вряд ли кому-нибудь придет в голову желание увидеть летящую в воздухе пулю. Это просто неосуществимо: она так быстро промелькнет, что глаз не успеет зафиксировать ее. Но следить за ведением огня, особенно в темноте, позволяют трассирующие пули. Опять-таки мы видим не сами пули, а оставляемый ими светящийся след. И этого вполне достаточно.

Аналогичным образом обстоит дело и с ядерными частицами, если не считать того, что их, в отличие от самолета или пули, принципиально невозможно увидеть. Но частицы оставляют следы (или, как их часто называют, *треки*), которые позволяют определять все свойства частицы — массу, заряд, скорость, время жизни, характер взаимодействия и т. д.

Итак, что же происходит в камере Вильсона? За 15 лет, прошедших с момента первых работ Вильсона по воспроизведению тумана и до получения им треков α -частиц, прибор не претерпел сколько-нибудь существенных изменений. Он, правда, стал проще в конструктивном отношении (см. рис. 6 и 7) и надежнее в работе. Главное отличие этого прибора от камеры, показанной на рис. 4, состоит в том, что металлический диск заменен теперь стеклянным, через который производится фотографирование.

Рабочий объем камеры наполняется чистым влажным воздухом. Туда же вводится игла, на кончике которой имеется немного радиоактивного вещества, испускающего, скажем, α -частицы. Они летят с колоссальной скоростью, и горе тому атому, который окажется на их пути. Весь путь α -частиц усеян жертвами таких столкновений. Атом разрушается: из него вырывается элек-

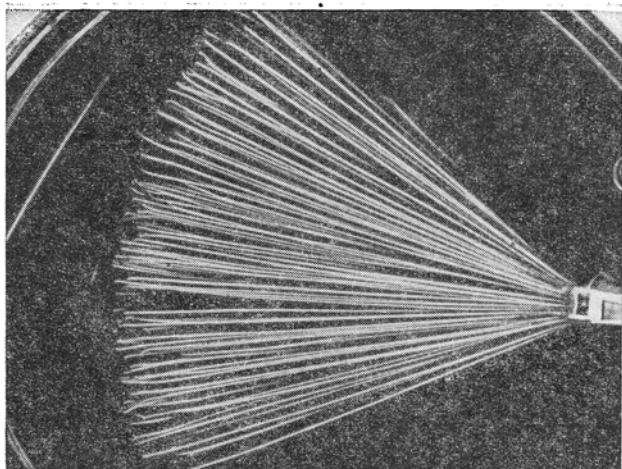


Рис. 8. Треки α -частиц в камере Вильсона (снимок получен Бёггильдом).

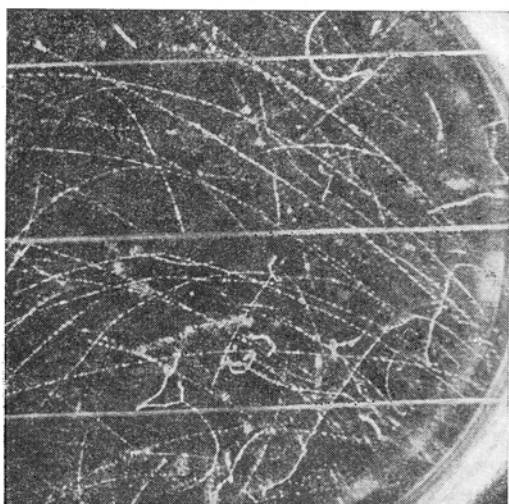


Рис. 9. Треки электронов в камере Вильсона (снимок получен Диттбернером и Майер-Лейбницем).

трон, и перед тем полноценный, нейтральный атом превращается в инвалида — заряженный ион. Альфа-частицы естественных радиоактивных элементов пролетают в воздухе при нормальном давлении от 3 до 8 см и на каждом сантиметре пути оставляют пятьдесят—сто тысяч ионов и столько же одиноких, незащищенных электронов. Образуется как бы заряженная тропинка.

Если теперь произвести адиабатическое расширение, то ионы начнут обволакиваться капельками воды. Спустя некоторое время (порядка сотых долей секунды) капельки вырастут до видимых размеров и возникнет четко различимый на темном фоне белый след. Включается яркая лампа (или вольтова дуга), и через верхнее стекло производится фотографирование. Обычно для этой цели используются два фотоаппарата или же один стереофотоаппарат, чтобы можно было получить пространственную, а не плоскую картину расположения трека. Но об этом будет подробнее рассказано ниже.

Аналогичным образом получают и фотографии β -частиц (электронов), правда, последние имеют пробег, примерно в 100 раз больший, чем α -частицы, да значительно меньшую плотность ионизации, а значит, и менее четкие следы (ср. рис. 8 и 9).

Красоту и остроумие этого метода трудно переоценить. Раньше поведение материи можно было наблюдать лишь в значительных массах. Камера же Вильсона позволяет изучать поведение индивидуальных частиц, из которых состоит эта материя, фотографировать их пути в газах, а затем по фотоснимкам изучать сложные взаимодействия между атомами, ядрами и заряженными частицами.

Выдающееся открытие Вильсона повсеместно имело большой успех. Э. Резерфорд позднее вспоминал:

«Это было замечательное достижение, позволившее увидеть во всех деталях то, что происходит с частицами, когда они пролетают через газ. Каждый, кто обладает хоть каким-то воображением, при виде стереофотографий треков быстрых α -частиц, протонов или электронов не может не восхищаться совершенством, с которым зарегистрированы все подробности их коротких, но полных драматических событий жизни. Камера Вильсона стала бесценным помощником в самых разнообразных исследованиях. Этот прибор является в некотором роде выс-

шим кассационным судом, которому экспериментатор может полностью довериться. Ни один человек, наделенный самым ярким талантом научного предвидения, не смог бы предсказать всех способностей этого прибора, обладающего столь исключительным могуществом и неисчерпаемыми возможностями».

* * *

Декабрь 1927 года. Королевский дворец в Стокгольме. В зале шведский король и королева, члены королевской фамилии, министры шведского правительства, известные ученые... Среди них и Ч. Т. Р. Вильсон. Как неуютно чувствует он себя в этом блестящем обществе! Но уйти нельзя — он один из виновников сегодняшнего торжества, один из именинников.

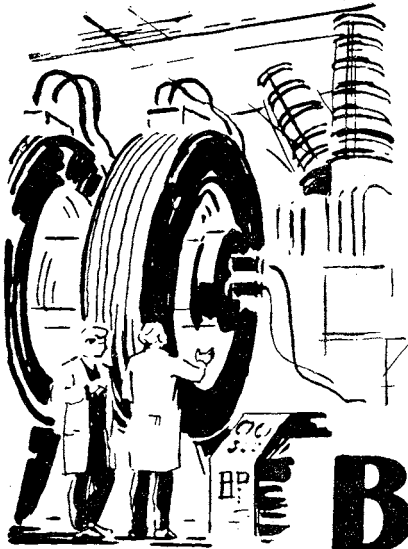
На кафедру поднимается видный шведский физик профессор К. Зигбан и сообщает: «Нобелевский комитет Шведской академии наук на своем заседании 10 ноября 1927 года постановил присудить Нобелевскую премию по физике Артуру Х. Комптону за открытие эффекта, носящего его имя, и Ч. Т. Р. Вильсону за открытие метода, позволяющего посредством конденсации паров видеть траектории полета заряженных частиц».

Итак, Вильсон — нобелевский лауреат. Это высокое признание достижений ученого мировой наукой.

Вильсону даже как-то неловко от сознания, что его имя поставлено в один ряд с именами таких корифеев науки, как Вильгельм Рентген и Гендрик Лоренц, Пьер Кюри и Мария Складовская-Кюри, Эрнст Резерфорд и Альберт Эйнштейн.

Робея и стесняясь, больше обычного сутуля свои худые плечи, Вильсон принимает диплом, выслушивает поздравления и невнятно бормочет в ответ слова благодарности. Что же поделаешь, он никогда не был светским человеком, его стихия — лаборатория...

ГЛАВА 2
ТРИУМФАЛЬНОЕ
ЩЕЩВНИЕ



Камера Вильсона
вступает в строй

ВИЛЬСОНОВСКИЕ снимки (или *вильсонограммы*, как их теперь часто называют) сразу же привлекли внимание физиков. Но, странное дело, прошло целое десятилетие, прежде чем они всерьез занялись этим открытием.

Лишь сам Вильсон продолжал настойчиво совершенствовать свою камеру. И вот в 1923 году он опубликовал две статьи, снабженные столь высококачественными и красивыми фотографиями электронных треков, что камера вновь громко заявила о себе. Те физики, которые вначале смотрели на нее лишь как на забавную и даже, пожалуй, бесполезную игрушку, но не больше, теперь почувствовали в ней силу исследовательского прибора.

В лабораториях всего мира стали лихорадочно строить и испытывать камеры, улучшать их конструкции, подбирать наилучшие режимы работы, разрабатывать вспомогательное оборудование, а главное — исследовать с их помощью разнообразные ядерные процессы. П. Блэккет и П. Л. Капица в Кембридже, И. Кюри и П. Оже в Париже, В. Боте и Л. Мейтнер в Берлине, Д. В. Скобельцын в Ленинграде, М. Кикучи в Токио — все они за несколько лет получили поразительные результаты, работая с камерами Вильсона.

Собственно, теперь только и занял этот прибор место в строю мощных экспериментальных средств ядерной физики и судьба его стала неотделимой от истории развития этой науки. В настоящей книге, конечно, нет возможности даже вкратце рассказать о всех тех успехах в физике атомного ядра, космических лучей и элементарных частиц, которые принесла с собой камера Вильсона. Поэтому мы остановимся только на некоторых из этих достижений с тем, чтобы, с одной стороны, проследить за основными этапами совершенствования прибора, а с другой — проиллюстрировать его возможности.

Пожалуй, первым «потребителем» камеры Вильсона стал известный английский физик П. Блэккет. Он использовал ее не просто для демонстрации событий, происходящих в микромире, а для изучения и количественной оценки их.

Блэккет получил и проанализировал десятки тысяч снимков α -частиц. Его интересовали случаи резкого искривления треков в конце полета, а также раздвоений, образования «вилки». Очевидно, такие искривления и «вилки» могут быть вызваны только столкновением α -частиц с атомами газа. Тщательное изучение фотографий показало, что частицы сталкиваются и разлетаются в точности так же, как бильярдные шары, а это позволило Блэккету вычислить массы атомов, участвующих в соударении.

На некоторых фотографиях Блэккет обнаружил, что в конце трека α -частицы возникает новый трек, более длинный и менее плотный, чем первый. Он не похож на трек электрона и мог принадлежать только протону. Повидимому, α -частица захватывается ядром азота и выбивает оттуда протон. (В то время считалось, что ядро состоит из положительных частиц — протонов и отрицательных — электронов.) Именно эту ядерную реакцию наблюдал впервые Резерфорд в 1919 г. с помощью спинарискоса (см. стр. 30).

Терпение плюс изобретательность

Но ядерные реакции происходят исключительно редко. Блэккет получил и обработал 23 000 вильсонограмм, на каждой из них было в среднем 18 треков, всего,

значит, более 400 000 треков, и лишь на восьми снимках был зафиксирован след протона.

Давайте проведем несложный расчет. Предположим, что камера Вильсона выдает снимок каждые 3 минуты (в действительности, первые камеры с ручным управлением были значительно более медлительными). За час можно нащелкать 20 фотографий, за 8-часовой рабочий день — 160, а для получения 23 000 снимков потребовалось бы около 150 дней. И это при условии, что камера работает бесперебойно, чего на самом деле никогда не бывает. Итак, по крайней мере полгода однообразной, до одури утомительной работы: нажимать курок, включать дуговую лампу, щелкать фотоаппаратом, открывать и перекрывать вентили воздушных коммуникаций, а потом вновь нажимать курок и т. д. И все это фактически ради каких-то восьми снимков. Кстати, и эти восемь надо отобрать, тщательно изучив все 23 000 фотографий и проанализировав имеющиеся на них четыреста с лишним тысяч треков.

Поистине прав был талантливый американский физик, «маг и волшебник» Роберт Вуд, когда сказал, что главная черта, которой должен обладать экспериментатор, — терпение.

Зато эта кропотливая, подчас изнурительная работа приносит замечательные плоды — познание тайн мироздания. Что там восемь фотографий — мы увидим дальше, как иногда один вильсоновский снимок совершает переворот в науке!

Однако терпение, очевидно, отнюдь не единственное качество хорошего физика. Не менее важна изобретательность, которой, кстати, в избытке обладал тот же Роберт Вуд. Да и не только он.

Тому, кто имел в те годы дело с камерой Вильсона, было совершенно ясно, что при всех достоинствах прибора он еще далек от совершенства. Первое, чего нужно было добиться от него, — это автоматической работы. Функции физика должны сводиться к тому, чтобы подготовить и запустить камеру, а затем лишь время от времени проверять, все ли в порядке. Тогда можно сосредоточиться на главном — изучении вильсонограмм.

Поэтому-то Блэккет, познавший все неудобства камеры Вильсона с ручным управлением, всерьез взялся за ее автоматизацию. Еще до него японский физик

Т. Шимизу сконструировал камеру, в которой поршень совершает плавное возвратно-поступательное движение, попросту говоря, колеблется вверх и вниз. Камера работала автоматически, но при этом значительно ухудшилось качество снимков: треки стали расплывчатыми. Для получения четких треков необходимо, чтобы расширение происходило быстро, рывком — только в этом случае процесс приближается к адиабатическому.

Блэккет пошел дальше Шимизу: он заменил плавное движение поршня скачкообразным и ввел ряд дополнительных улучшений в конструкцию. Это позволило производить фотографирование каждые 10—15 секунд! Именно с такой камерой и была получена основная масса из тех 23 000 снимков, на которых удалось обнаружить случаи ядерной реакции: захват ядром азота α -частицы и выбрасывание протона.

Частица движется по кривой

Сорок лет назад в «Трудах Кембриджского философского общества» появилась небольшая заметка, автором которой был тогда еще совсем молодой советский физик П. Л. Капица. В 20-е годы Петр Леонидович работал в той же Кавендишской лаборатории, где родилась камера Вильсона, и занимался, конечно, исследованием ядерных процессов. У него возникла идея — поместить камеру Вильсона в магнитное поле.

Что это даст? О, очень многое! Обычно заряженные частицы движутся по прямой. Магнитное же поле заставляет их искривить свой путь, причем чем быстрее движется частица, тем труднее сбить ее с прямолинейного движения, тем, значит, меньше изогнется ее траектория.

Следовательно, измеряя радиус кривизны трека на вильсоновском снимке, можно определить скорость*, а отсюда (если известна ее масса) и энергию частицы.

Однако простой расчет показал, что для заметного искривления траектории α -частицы требуются колоссальные поля — десятки тысяч эрстед. Чтобы создать такое поле даже в небольшом объеме диаметром всего

* Точнее, измеряется импульс частицы, то есть произведение ее массы на скорость.

2—2,5 см, нужно затратить мощность в несколько тысяч киловатт. Целая электростанция! Главное, такой мощности не выдержит ни одна намагничивающая катушка, она просто-напросто расплавится, и никакое охлаждение ей не поможет.

Тогда П. Л. Капица решил создавать магнитное поле на очень короткое время — всего на две тысячные доли секунды. Этого более чем достаточно: ведь α -частица проходит свой путь в камере за одну десятиллионную долю секунды, и поле, конечно, успеет искривить ее путь.

Была использована мощная батарея, которая разряжалась почти накоротко; импульс тока в катушке составлял огромную величину — 8000 ампер, а напряженность поля — 75 000 эрстед (э) в диаметре 2,2 см.

Убедившись, что требуемое поле получено, Капица приступил к конструированию специальной камеры Вильсона. Ее нужно было сделать, во-первых, очень маленькой, чтобы втиснуть в катушку, и, во-вторых, без единой металлической детали — иначе при нарастании поля возникнет такой сильный удар, что камера разлетится вдребезги. Была изготовлена стеклянная камера диаметром 2,5 см с эбонитовым поршнем. Чтобы в камере получались острые, резкие треки, источник α -частиц открывался только в момент включения поля, на одну-две тысячные секунды. Уже одно это устройство требовало от создателя камеры исключительной изобретательности.

Но игра, как говорится, стоила свеч. В 1923 году впервые были получены снимки, на которых видны изогнутые треки α -частиц, и простые измерения с циркулем и линейкой позволили определить по ним энергию этих частиц.

Спустя год появилась вторая статья П. Л. Капицы, в которой подробно рассказывалось о работе камеры несколько большего диаметра (4,3 см) в импульсном магнитном поле. Правда, напряженность его пришлось снизить примерно до 40 000 эрстед, но и этого было достаточно для искривления траекторий α -частиц.

Каждое включение магнитного поля, даже столь кратковременное (0,002 секунды), все-таки вызывало нагрев катушки на 20—25° С, и после расширений приходилось выжидать более получаса, чтобы она охлади-

лась. Поэтому удавалось за день получать всего 8—10 снимков, причем в среднем только один из них оказывался достаточно четким для измерения кривизны. На рис. 10 воспроизведена такая фотография.

Метод работы с импульсным магнитным полем, помимо крайне низкой производительности, имеет еще один существенный недостаток. Так как поле очень быстро нарастает и столь же быстро спадает, нельзя



Рис. 10. Треки α -частиц полония, искривленные магнитным полем напряженностью 43 000 эрстед (снимок получен П. Л. Капицей в 1924 году).

точно знать его величину в момент пролета сфотографированной частицы, а поэтому измерения ее скорости (или энергии) оказываются приближенными.

Надо поместить камеру Вильсона в более или менее постоянное поле. Но ни один магнит не позволял в те времена получать поля в десятки тысяч эрстед. Да и сейчас, как будет показано в дальнейшем (см. стр. 127), это остается очень сложной проблемой. Ну что ж, решили ученые, придется пока ограничиться доступными полями, тем более что имеются легкие частицы — электроны, для искривления путей которых достаточны напряженности в сотни, в крайнем случае в ты-

сячи эрстед. А такие поля сравнительно легко достижимы.

Первым поместил камеру Вильсона в постоянное магнитное поле другой выдающийся советский физик — Дмитрий Владимирович Скобельцын. С помощью такой камеры Скобельцын создал целую методику количественных исследований свойств радиоактивных излучений. Но мировую известность принесли ему не только и не столько эти работы, хотя и они достаточно знаменательны, а исследования космических лучей. Не случайно физики считают академика Д. В. Скобельцына патриархом науки о космических лучах.

Космические лучи

Еще в конце прошлого века ученые обратили внимание на тот факт, что заряженный электроскоп, оставленный на открытом воздухе, постепенно теряет свой заряд. Очевидно, воздух хотя и слабо, но проводит электричество, то есть он ионизирован.

В изучении этого явления самое непосредственное участие принимал Вильсон. Как мы уже говорили, он еще в 1900 г. обнаружил, что сухой воздух, заключенный в закрытый сосуд, не является идеальным изолятором, а обладает слабой, но все же заметной электропроводностью.

Приходится восхищаться блестящей интуицией Вильсона, позволившей ему в 1901 году написать следующие строки:

«Эксперименты, которые будут поставлены в будущем, возможно, покажут, что образование ионов в воздухе, лишенном каких-либо загрязнений, вызывается излучением, возникающим вне нашей атмосферы и аналогичным рентгеновским или катодным лучам, но обладающим значительно большей проникающей способностью».

Это гениальное предвидение в те годы было не больше чем гипотезой, которую необходимо доказать. Нет нужды подробно рассказывать о том, как шаг за шагом эта гипотеза обрастала плотью экспериментальных фактов, постепенно превращаясь в теорию. Решающую роль здесь сыграли опыты, в которых было обнаружено, что с высотой интенсивность излучения резко возрастает.

Казалось бы, все стало ясно. Нет, наоборот. Именно теперь и возникли недоуменные вопросы: что это за лучи? Каков их состав? Какова интенсивность и отчего она зависит? И т. д., и т. п. Но ответить на них физики были не в силах — никому не удавалось «поймать» таинственные лучи.

Первым «пощупал» и даже «увидел» их Д. В. Скобельцын. Собственно, это произошло почти случайно. В 1927 году Дмитрий Владимирович ставил эксперименты по рассеянию γ -лучей радия в газе. Он сконструировал камеру Вильсона и поместил ее в постоянное магнитное поле напряженностью 1500 эрстед. По его расчетам, γ -лучи должны выбивать из атомов газа β -частицы (комптоновские электроны) с энергией менее трех миллионов электронвольт*, и приложенное поле должно без труда искривлять их траектории. Д. В. Скобельцын предполагал в этих экспериментах тщательно исследовать распределение электронов по углам вылета и энергиям. Каково же было его удивление, когда он обнаружил на некоторых вильсоновских снимках, помимо изогнутых следов комптоновских электронов, совершенно прямые треки. Судя по удельной ионизации, которая определяется по числу капель на сантиметре пути, эти треки тоже принадлежали β -частицам, но обладавшим колоссальной энергией, во всяком случае не менее 15 Мэв. Скобельцын назвал их «ультра- β -частицами».

Удаление из камеры Вильсона и вообще из помещения радиоактивного источника, конечно, привело к исчезновению комптоновских электронов, но ничуть не сказалося на «ультра- β -частицах». Их треки продолжали появляться с завидным постоянством. Ряд контрольных опытов полностью доказал, что эти частицы образуются вне Земли и обладают столь большой энергией, что проходят через толщу атмосферы, крышу и перекрытия здания, стенки камеры и уходят дальше в глубь Земли. Так были обнаружены космические лучи.

Известный советский физик В. И. Векслер в своей статье, посвященной 70-летию Д. В. Скобельцына, кото-

* Электронвольт (эв) — энергия, которую приобретает заряженная частица (электрон, протон), проходя разность потенциалов в 1 вольт. В ядерной физике, помимо электронвольта, используются также единицы: килоэлектронвольт (1 кэв = 1 000 эв), мегаэлектронвольт (1 Мэв = 1 000 000 эв) и т. д.

рое отмечалось в конце 1962 года, говорит: «Открытие Д. В. Скобельцына явилось переломным моментом в развитии этой области физики. По существу, настоящие физические исследования по космическим лучам и начались лишь после того, как в его опытах было показано наличие в космических лучах заряженных частиц высокой энергии».

Как видите, решающую роль в этом опять-таки сыграла камера Вильсона. Она стала основной силой и во всех последующих работах по изучению свойств, состава, энергетического распределения и других характеристик космических лучей. С ее помощью были открыты в космических лучах новые элементарные частицы, те кирпичики, из которых построена материя.

Лаборатория на электростанции

Работы Д. В. Скобельцына 1927—1929 гг. вызвали буквально цепную реакцию исследований в области космических лучей. Этому способствовало, кстати, и дальнейшее усовершенствование камеры Вильсона.

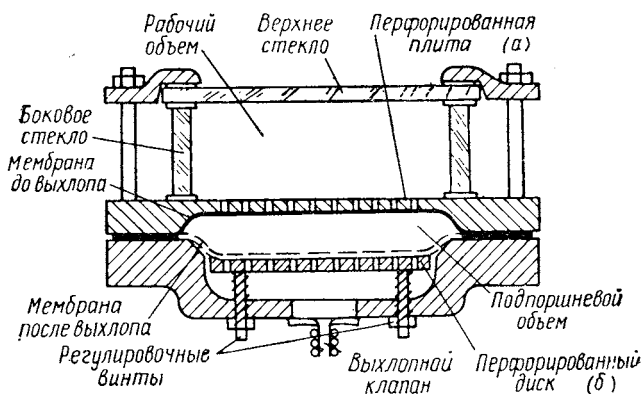


Рис. 11. Камера Вильсона с резиновой мембраной.

Существенные изменения в ее конструкцию внес сам Вильсон. Он заменил довольно тяжелый поршень легкой резиновой диафрагмой, или мембраной (рис. 11), которая до расширения поджимается сжатым воздухом к перфорированной (дырчатой) плите а, а после выхло-

па воздуха из подпоршневого объема отбрасывается к перфорированному диску *б*. Коэффициент расширения можно регулировать, перемещая диск *б* с помощью специальных винтов.

Такая конструкция обладает множеством преимуществ. Отметим, пожалуй, наиболее важное. Камера этого типа может работать в любом положении — горизонтальном, вертикальном и даже, если понадобится, «вверх ногами». Поршневая камера, особенно с водяной или масляной герметизацией, таких вольностей в обработке с собой не допускала.

Нетрудно сообразить, что для исследования космических лучей, движущихся в основном сверху вниз, удобнее всего ставить камеру вертикально; это увеличивает длину пролета частиц в ее рабочем объеме. Физики так и поступили.

Далее они попытались все-таки измерить энергию «ультра- β -частиц», а для этого искривить их траектории, поместив камеру Вильсона в очень сильное магнитное поле. Импульсное поле, использованное П. Л. Капицей, для этой цели не годится. Космические частицы приходят сравнительно редко — через горизонтальную площадку в 1 см^2 пролетает в среднем за минуту около двух частиц. Почти невероятно, чтобы частица прошла через камеру именно в тот момент, когда включено поле (оно ведь включается всего на 0,002 секунды).

Проблему решили в начале 30-х годов американский физик К. Андерсон и немецкий физик П. Кунце. Оценивая их работы, Д. В. Скобельцын писал: «Исследования такого рода требуют высокого экспериментального искусства и исключительных технических средств».

Андерсон сконструировал камеру Вильсона, работающую внутри электромагнита с железным ярмом. Кунце же соорудил огромный соленоид без железного сердечника и получил совершенно однородное поле напряженностью 18 000 эрстед. Этот соленоид, весивший более тонны, потреблял мощность целой электростанции — 500 киловатт (ток 1000 ампер при напряжении 500 вольт). Он даже установлен был в самом здании электростанции в Ростове и работал в утренние часы, когда обычно потребление энергии в сети минимально.

Но стоило включить соленоид, как в зале, где он стоял, да и во всем здании, творилось что-то невообра-

зимое. Молотки, ключи, отвертки, гайки, просто куски железа — все это срывалось со своих мест и летело по направлению к магниту. И плохо пришлось бы тому, кто оказался бы на их пути! Пришлось тщательно очистить помещение электростанции от всех деталей, содержащих железо, и, что совсем уж неприятно, от инструмента. Попробуй поработай без молотка или кусачек! Но другого выхода не было.

Хотя для каждого расширения камеры соленоид включался всего на 3 секунды, он успевал нагреваться за это время на 3 градуса. Поэтому удавалось получить за день не более 18 фотографий, а затем соленоид остывал в течение суток.

Как ни были значительны магнитные поля в экспериментах Андерсона и Кунце, они лишь едва заметно искривляли пути космических частиц. Все же удалось оценить радиус кривизны их треков, а отсюда определить и энергию частиц, которая оказалась поистине колоссальной — до миллиарда электронвольт (10^9 эв), а в отдельных случаях еще выше — до 10^{10} эв.

Камера Вильсона заглядывает в антимир

На снимках космических частиц одна половина траекторий искривлена в одну сторону, вторая половина — в другую. Это значит, что одни частицы имеют отрицательный заряд, другие положительный. Первые — явно электроны, а вторые? Ученым удалось выяснить, чем является вторая группа частиц. Но ответ на этот вопрос заставил по-новому взглянуть на мир.

В 1928 году 26-летний английский физик-теоретик Поль Андриен Морис Дирак получил квантовое уравнение движения электрона, удовлетворяющее требованиям специальной теории относительности Эйнштейна. До сих пор эти направления физики — квантовая механика и теория относительности — развивались как бы независимо, и никому не удавалось синтеризовать их в одной теории. Но — странное дело — из уравнения Дирака получалось, что должны существовать электроны с отрицательной энергией, какие-то мистические «антиэлектроны», частицы с той же массой, как и у электрона, но с положительным зарядом. Что это — ошибка теории или ее указание на неизвестные явде-

ния? И даже не на явления, а на совершенно новые закономерности! П. Дирак был уверен в последнем, но его уверенность немногочисленна стоила без доказательств.

И вдруг К. Андерсон действительно обнаруживает на вильсонограммах космических лучей положительные электроны. На рис. 12 воспроизведен один из первых снимков Андерсона, полученный в 1932 году.

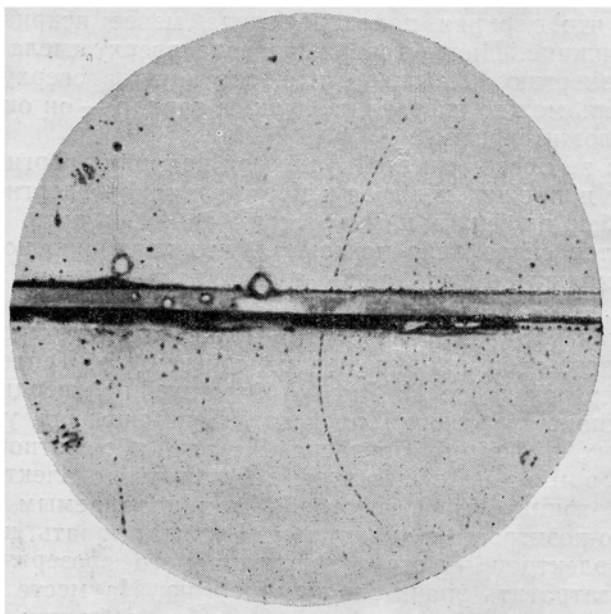


Рис. 12. Трек первой античастицы — позитрона в камере Вильсона (снимок получен К. Андерсоном в 1932 году).

Трек частицы явно искривлен, значит она заряжена. (Впрочем, незаряженные, нейтральные частицы, очевидно, не способны вызвать ионизацию и, следовательно, не могут быть сфотографированы в камере Вильсона.) Но каков заряд — положительный или отрицательный? Если известно направление магнитного поля и направление движения частицы, то нетрудно по отклонению частицы определить знак ее заряда. Направление поля установить легко, а вот направление частицы гораздо

сложнее. Откуда она прилетела: сверху или снизу? Ведь она свободно проникает сквозь стенки камеры, не стучится и не просит открыть ей дверь.

Чтобы установить, откуда пришла частица, Андерсон воспользовался простым и вместе с тем весьма остроумным приемом. Он перегородил камеру свинцовой пластинкой. Проходя через нее, частица теряет часть своей энергии. На снимке можно отчетливо видеть, что верхняя половина следа менее искривлена, чем нижняя. Иначе говоря, частица вверху имела большую энергию, чем внизу, т. е. она пришла сверху. Ну, а теперь можно определить знак ее заряда — он оказался положительным.

Но не протон ли это? Андерсон измерил энергию частицы и пришел к выводу: протон с такой энергией не способен пройти в камере столь длинный путь. Да и характер следа явно показывал, что подобную ионизацию может вызвать лишь легкая частица, типа электрона.

Итак, это был положительный «антиэлектрон» — *позитрон*, первый пришелец из «антимира». Теоретическое предсказание П. Дирака блестяще подтвердилось.

Однако его теория предсказывала еще ряд удивительных эффектов. Согласно Дираку, абсолютной пустоты в мире не существует: все заполнено электронами с отрицательной энергией — так называемым электронно-позитронным вакуумом. Чтобы вырвать какой-либо электрон из этого неисчерпаемого «резервуара», надо затратить значительную энергию. На месте электрона остается «дырка», которая ведет себя как положительный электрон, то есть позитрон.

В результате возникает пара частиц: электрон и позитрон. Источником энергии для рождения пары может служить γ -квант — определенная порция γ -излучения, не менее $1,02$ Мэв. При этом сам γ -квант должен исчезнуть.

Встала задача: проверить и этот совершенно фантастический, но непреложный вывод теории. И опять обратились за помощью к камере Вильсона. Три группы ученых, работавших независимо в Англии, Франции и Германии, установили, что если бомбардировать элемент бериллий α -частицами, а затем направить возникающее в бериллии новое излучение на свинцовую

пластинку, то образуются электронно-позитронные пары. Известные французские физики супруги Ирен и Фредерик Жолио-Кюри, принимавшие участие в этих

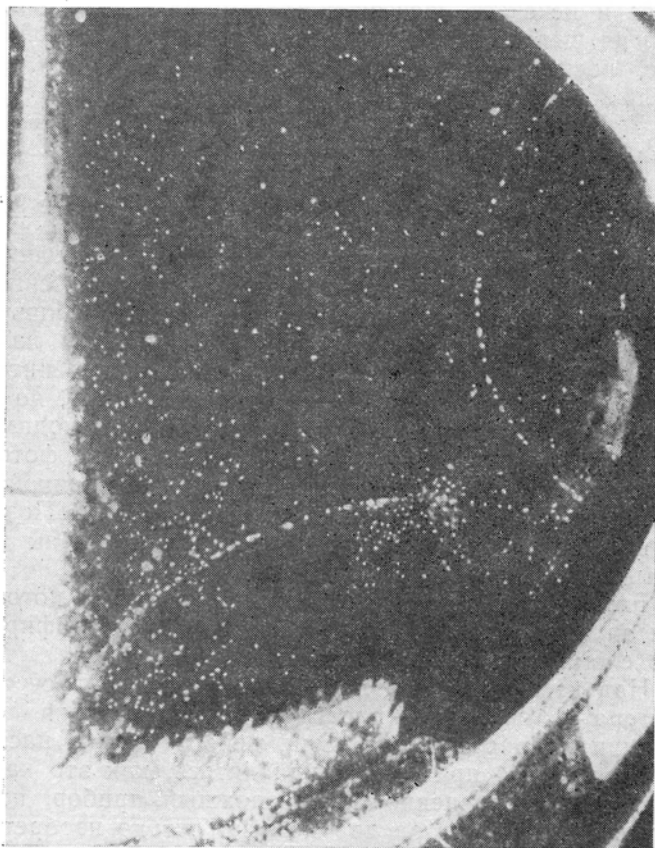


Рис. 13. Рождение двух частиц: электрона и позитрона.

исследованиях, высказали предположение, что в бериллии возникают γ -лучи, которые и вызывают рождение пар. Справедливость этой идеи подтвердил Андерсон, получивший вильсоновский снимок электронно-позитронной пары (рис. 13): она создана γ -лучами боль-

шой энергии, испускаемыми радиоактивным элементом торием С".

Очевидно, должен существовать и обратный процесс: электрон, встретив на своем пути «дырку», падает в нее и исчезает. Исчезает и «дырка» — позитрон. Их энергия выделяется в виде двух γ -квантов. Такой процесс, носящий название *аннигиляции*, тоже удалось наблюдать в камере Вильсона.

Частица сама себя фотографирует

В ходе всех этих исследований продолжалось совершенствование самой конструкции камеры. Мы уже говорили об автоматизации ее работы, позволившей, например, Блэккету получить десятки тысяч снимков α -частиц. Но такая автоматизация хороша лишь при работе с достаточно интенсивным источником излучения. Когда же выяснилось, что исключительно интересные события происходят в космических лучах, но происходят сравнительно редко, возникла необходимость в улучшении принципа работы камеры. Ведь фотографирование в ней производится наудачу, без всякой уверенности, что в камере имеется след частицы. Поэтому большинство снимков оказывается пустым. Как избежать этой ненужной работы?

Блэккет придумал устройство, при помощи которого, как он выразился, «частица сама себя фотографирует». Его схема чрезвычайно остроумна (рис. 14).

Над камерой и под ней Блэккет поместил счетчики Гейгера — Мюллера — простые устройства для регистрации ядерных частиц. Они, действительно, настолько просты, что приходится удивляться, как это камера Вильсона, несравненно более сложный прибор, появилась на свет почти за два десятка лет до изобретения счетчика.

Несколько слов о принципе работы счетчика Гейгера — Мюллера (рис. 15). Это цилиндрическая трубка (металлическая или металлизированная), по оси которой натянута нить — тонкая проволочка. Трубка наполнена подходящей смесью газов и паров и герметически закупорена. На цилиндр (катод) подается отрицательный потенциал, на нить — положительный. Когда через счетчик пролетает быстрая частица, она разбивает мо-

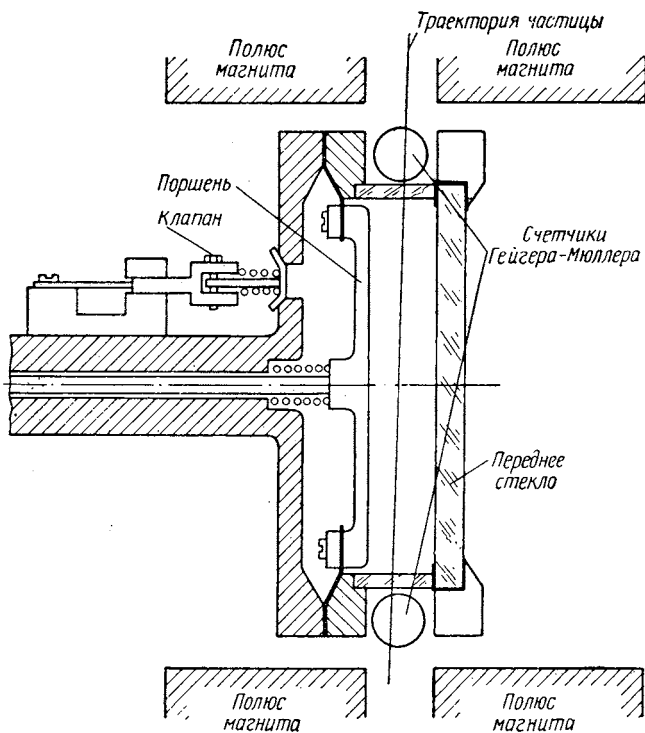


Рис. 14. Управляемая камера П. Блэккета, в которой «частица сама себя фотографирует».

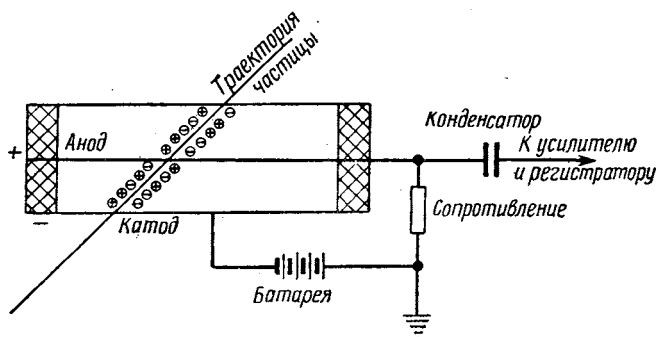


Рис. 15. Счетчик Гейгера — Мюллера.

лекулы газа на электроны и положительно заряженные ионы, иначе говоря, производит точно такую же ионизацию, как и в камере Вильсона.

Но в отличие от последней здесь приложено очень сильное электрическое поле, которое заставляет электроны мчаться к аноду, а ионы к катоду. Легкие электроны несутся настолько быстро, что, сталкиваясь с молекулами газа, разбивают их на электроны и ионы. Эти электроны в свою очередь устремляются к аноду и вызывают дальнейшую ионизацию. В результате возникает цепная реакция, или, как говорят электрики, разряд. Мгновенно падает напряжение, и на сопротивлении возникает импульс тока, которой можно усилить и использовать по назначению. Чрезвычайно важно, что разряд происходит очень быстро — за одну десятитысячную долю секунды после пролета частицы.

Этим-то свойством быстродействия и воспользовался Блэккет. Космическая частица пролетает через оба счетчика и камеру Вильсона, вызывая в них ионизацию. В счетчиках возникают сигналы, которые усиливаются и поступают в схему совпадений. Здесь вырабатывается сигнал для запуска камеры. Открывается клапан, включается осветительная лампа, щелкает затвор фотоаппарата и т. д.

Схема совпадений выдает пусковой сигнал только в том случае, если в нее поступили импульсы от обоих счетчиков. Это означает, что частица наверняка прошла через камеру и оставила в ней след. За время срабатывания счетчиков и формирования сигнала ионы в камере Вильсона не успевают «расползтись», и на 75% снимков Блэккет получил хорошие резкие треки.

Так тридцать лет назад была создана первая управляемая камера Вильсона, широко распространенная и в современных лабораториях.

Ливни

Управляемая камера оказалась особенно полезной при исследовании *ливней* в космических лучах.

Уже в своих первых опытах с космическими лучами Д. В. Скобельцын обратил внимание на то, что на некоторых вильсоновских снимках виден не один, а несколько треков, почти параллельных. Именно — почти. Тща-

тельные измерения показали, что эти треки всегда исходят из одной точки, причем суммарная энергия образовавших их частиц никогда не превышает максимальной энергии одиночных частиц, зафиксированных каме-

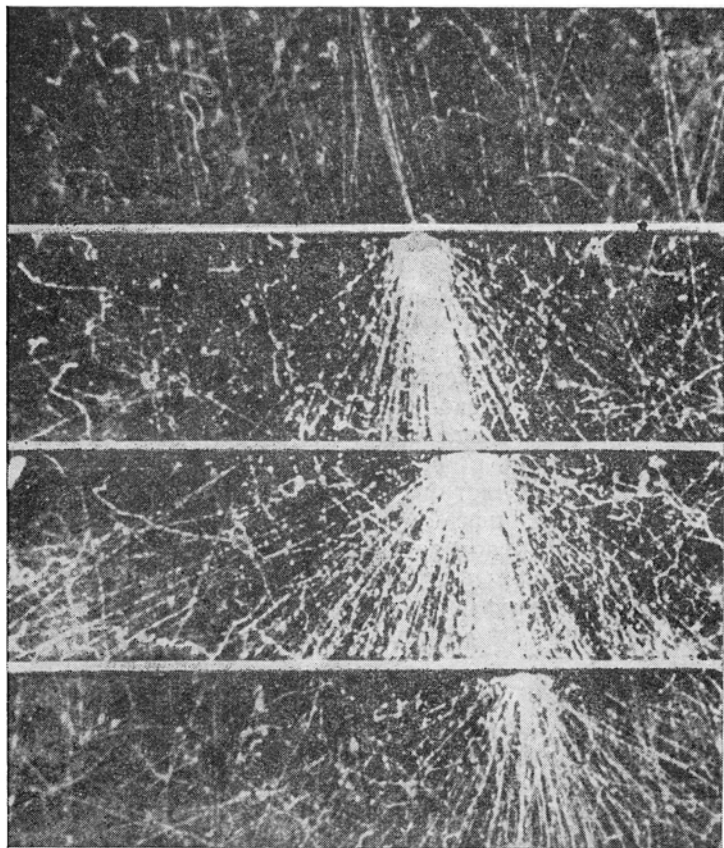


Рис. 16. Ливень космических лучей, возникающий в самой камере Вильсона (снимок получен Л. Фасселом и Дж. Стритом).

рой. Скобельцын высказал идею, что группы частиц — ливни — возникают в результате столкновения первичной космической частицы с атомами атмосферы или вещества, окружающего камеру.

Ливни привлекли к себе внимание многих физиков. Особенно много труда в их изучении вложили, помимо самого Скобельцына, П. Блэккет и Дж. Оккиалини в Англии, П. Оже и П. Эренфест во Франции.

Справедливость предположения Д. В. Скобельцына удалось подтвердить непосредственными опытами. В камере Вильсона поместили свинцовые пластинки, и ливни стали возникать в самой камере (рис. 16). На некоторых снимках, полученных Оже и Эренфестом, имеется до 300 треков.

Когда ученые подсчитали энергии, которыми должны обладать космические частицы, создающие ливни, полученные цифры оказались ошеломляющими.

Выступая в 1934 году с лекцией в Коллеж-де-Франс в Париже, П. Блэккет говорил: «Частицы, которые непрерывно пронизывают мировое пространство и бомбардируют земную атмосферу, обладают энергией, превышающей десятков и, возможно, достигающей сотни миллиардов (10^{11}) электронвольт».

Но уже через несколько лет Пьер Оже открыл так называемые *широкие атмосферные ливни*, распространяющиеся на площадь в несколько квадратных километров. Вызывающие их частицы имеют энергию 10^{15} — 10^{17} эв. Таким образом, цифры, названные Блэккетом и казавшиеся почти фантастическими, превзойдены в миллион раз. Более того, в настоящее время в ускорителях искусственно получают частицы с энергиями, близкими к той величине, о которой столь осторожно говорил Блэккет.

Впрочем, для исследования широких атмосферных ливней используются уже совсем иные экспериментальные методы, в которых камера Вильсона играет вспомогательную роль; поэтому мы не будем подробно говорить о них.

О пионах, которые не вырастишь в саду

Триумфальное шествие камеры Вильсона привело к еще одному исключительно важному открытию. Точнее, это целая серия открытий.

Летом 1935 года американский физик К. Андерсон — тот, что открыл позитрон, — вел совместно с С. Неддермейером наблюдения над космическими лучами на горе

Пайкс Пик в штате Колорадо. Просматривая вильсоновские снимки, они обнаружили на нескольких из них странные треки, возникавшие в свинцовой пластинке. Короткие, толстые, искривленные в магнитном поле, они не могли принадлежать ни протонам, ни позитронам. По отклонению в магнитном поле можно было твердо сказать, что эти следы образованы положительно заряженными частицами. Но они не были ни легкими, как электроны, ни тяжелыми, как, скажем, протон или α -частица.

Примерно в то же время два других американских ученых — Стрит и Стивенсон — получили такой снимок: неизвестная частица прошла через 11-сантиметровую свинцовую пластинку и остановилась у стенки камеры. По удельной ионизации, длине и кривизне трека Стрит и Стивенсон установили, что это след отрицательно заряженной частицы с массой, примерно в 130 раз превышающей массу электрона. (Напомним, что протон тяжелее электрона в 1836 раз.)

Очевидно, в обоих случаях были открыты какие-то новые частицы с промежуточной массой. Но самое интересное, что эти частицы не свалились как снег на голову — их уже ждали. Несколькими месяцами раньше крупный японский теоретик Х. Юкава пришел к выводу, что должны существовать частицы с массой порядка $200m_e$ (m_e — масса электрона), обеспечивающая связь ядерных частиц. Без них атомные ядра разваливались бы, а, скажем, протоны и нейтроны не взаимодействовали бы друг с другом. Как и в случае с позитроном, путеводной нитью для открытия служило теоретическое предвидение.

Любопытно, что на одном из снимков, опубликованных еще в 1933 г. П. Кунце имеется трек, похожий на тот, которым позднее заинтересовался Андерсон; но на него тогда не обратили внимания — сочли, что это простая случайность. И только теория Юкавы заставила заняться поисками новой частицы.

В следующие два-три года появились дополнительные подтверждения открытия. Удалось более точно измерить массу новой частицы. Она оказалась равной приблизительно $200m_e$, что соответствовало предсказанию Юкавы.

Но коль скоро она была открыта, надо как-то назвать ее. Пожалуй, ни у одной другой частицы не было

такого количества «крестных». Одни из них предлагали назвать ее «тяжелым электроном», другие — «баритроном» (по гречески «барис» значит «тяжелый»), третьи — «юконом» в честь Юкавы и т. д. Андерсон и Неддермейер придумали для нее имя «мезотрон» (от греческой приставки «мезо» — «промежуточный»). Довольно долго она и фигурировала под этим именем. Но в 1947 году, спустя 12 лет после открытия, Комиссия по космическим лучам при Международном союзе физиков наконец-то дала окончательное имя частице — *мезон*.

Между прочим, очень хорошо, что новая частица не была названа «юконом». Чем больше физики изучали свойства мезона, тем все более убеждались, что это вовсе не та частица, о которой говорил Юкава. Она очень слабо взаимодействует с другими элементарными частицами, а потому не может быть основой ядерных сил. Стало ясно: надо ловить другую частицу.

В 1947 году была поймана и она.

Англичане С. Пауэлл и Дж. Оккиалини с группой своих сотрудников исследовали космические лучи высоко в горах, в Боливийских Андах. Они пользовались для этой цели фотопластинками. Да, обыкновенными фотопластинками, только с очень толстым слоем эмульсии*. Такие пластинки складывают в стопки, заворачивают в светонепроницаемую бумагу и некоторое время выдерживают на воздухе. Космические частицы, пролетая через эмульсию, вызывают выделение зерен серебра вдоль своего пути. Затем пластинки проявляют и просматривают под микроскопом. По характеру следа можно определить массу, скорость и другие свойства частицы.

Ядерные фотоэмульсии в некоторых отношениях близки к камерам Вильсона — в тех и других частицы оставляют свой след. Но, конечно, имеются и существенные различия. Во-первых, эмульсия постоянно чувствительна, то есть всегда готова к приему частиц. Во-вторых, она обладает гораздо большей плотностью, чем газ в камере Вильсона, а значит, частицы проходят

* В последнее время созданы специальные сорта ядерной эмульсии, более подходящей для регистрации частиц. Часто они используются без стеклянной основы.

в ней несравненно меньший путь. Это особенно важно для частиц, обладающих большой энергией: в эмульсии их легче остановить, чем в камере Вильсона.

Так вот, Пауэлл и Оккиалини обнаружили на некоторых фотопластинках следы, которые могли принадлежать только частицам с массой около 300 электронных масс. Это настоящие мотыльки среди элементарных частиц — они живут всего несколько стомиллионных долей секунды, а затем распадаются, превращаясь в уже известные нам мезоны, открытые Андерсоном и Неддермейером. Новые частицы тоже относятся к категории мезонов. Чтобы различать два типа мезонов, более тяжелый из них называли π -мезоном (пи-мезоном), или, для краткости, *пионом*, более легкий — μ -мезоном (мю-мезоном), или *мюоном*. Так появились в ядерной физике две новые частицы с нежными «цветочными» названиями.

Фотоэмульсии — конечно, очень удобное, иногда даже незаменимое средство для изучения частиц, но по своим возможностям и, главное, наглядности они сильно уступают камерам Вильсона. Не будь этих приборов, физикам вряд ли удалось бы столь досконально выяснить все свойства мезонов. Даже мизерное время жизни пиона здесь не помеха. Если учесть, что космические частицы летят почти со скоростью света, а она составляет триста тысяч километров в секунду ($3 \cdot 10^{10}$ см/сек), то за время своей жизни — три стомиллионные доли секунды ($3 \cdot 10^{-8}$ сек) — пион может пройти расстояние в 1 метр. На самом деле из-за эффектов теории относительности он пролетает значительно большее расстояние, но и метрового пути вполне достаточно, чтобы определить массу, заряд, скорость, тип распада и другие его характеристики.

Пионы бывают трех видов: положительные, отрицательные и нейтральные. Первые два из них имеют массу $273 m_e$, третий — $264 m_e$. Пионы сильно взаимодействуют с ядрами и, судя по всему, являются теми самыми частицами, о которых говорил в свое время Юкава.

Мюоны бывают только заряженными — либо положительно, либо отрицательно. Их масса равна $207 m_e$. Они считаются очень живучими: их «век» длится две миллионные доли секунды ($2 \cdot 10^6$ сек), а это в сто раз больше, чем время жизни пионов.

Вслед за пионами была открыта целая плеяда новых частиц, среди них *K*-мезоны, которые примерно в 1000 раз тяжелее электрона (почти вдвое легче протона), и *гипероны* — частицы немного тяжелее протона. Вначале «поставщиками» их были все те же космические лучи. Но за последние годы созданы мощные установки — ускорители, создающие искусственные «космические» частицы, которые ничуть не хуже пришельцев из мировых глубин. Наоборот, они даже лучше. Их можно создавать по желанию и в любых количествах. Правда, физики еще не научились получать частицы с такими энергиями, какими обладают первичные космические частицы. Но и то, что сделано, открывает широкое поле деятельности для изучения свойств материи. И здесь во многом могут помочь камеры Вильсона, без которых сейчас нельзя представить себе ни одну лабораторию ядерной физики и космических лучей.

О современных камерах и будет рассказано в следующей главе.



Б

БЕЗНАДЕЖНО пытаться описать все существующие типы камер Вильсона. Их великое множество. Есть камеры-лилипутьки размером с небольшую столовую масленку и есть камеры-гиганты, для размещения которых, вместе с их вспомогательным оборудованием, требуются огромные залы. Камеры различаются и по назначению: одни из них служат учебным целям, другие призваны решать сложные и разнообразные научные проблемы, от которых зависит выбор газа для наполнения и его давление, режим работы камеры.

Но у всех современных камер сохранилась общая основа, заложенная их создателем. Как и в первых, примитивных камерах Вильсона, у них имеются рабочий и подпоршневой объемы, система расширения с более или менее сложной пневматикой, осветительный и фотографирующий блоки и некоторые другие узлы. Но наш век — это век электроники и автоматики, и они, конечно же, проникли в экспериментальную ядерную физику. Собственно, даже не проникли, а стали ее необходимой, неотъемлемой частью. Естественно, что и камеры Вильсона стали работать автоматически, почти без вмешательства человека. Научный сотрудник или лаборант

налаживает, настраивает камеру, включает ее и уходит — а дальше все совершается само собой. Камера работает, как робот.

Демонстрационная камера

Впрочем, по сей день сохранили право на существование и камеры простой конструкции. Зачем, скажем, сложная автоматика для камеры, единственное назначение которой — демонстрировать учащимся пролет ядерных частиц? Ведь никакие измерения здесь не производятся, а значит, не нужна точность, столь важная в ядерных исследованиях.

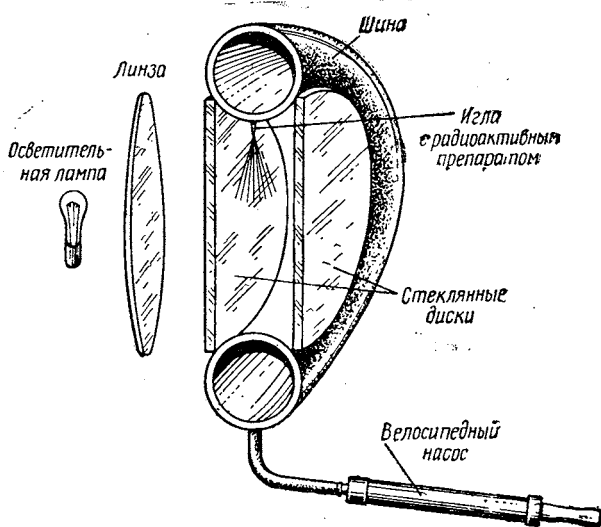


Рис. 17. Камера с велосипедным насосом.

Демонстрационные камеры бывают нередко примитивными. Один преподаватель, например, сконструировал камеру, похожую на небольшое автомобильное колесо с шиной и прозрачными боковыми стенками (рис. 17). Сходство довершает велосипедный насос, с помощью которого накачивают воздух в шину. При этом шина сжимает центральную часть — рабочий объем камеры, наполненный очищенным от пыли воздухом и па-

рами водно-спиртовой смеси. Если теперь резко рвануть поршень насоса и выпустить часть воздуха из шины, произойдет адиабатическое расширение рабочего объема и возникнет пересыщение.

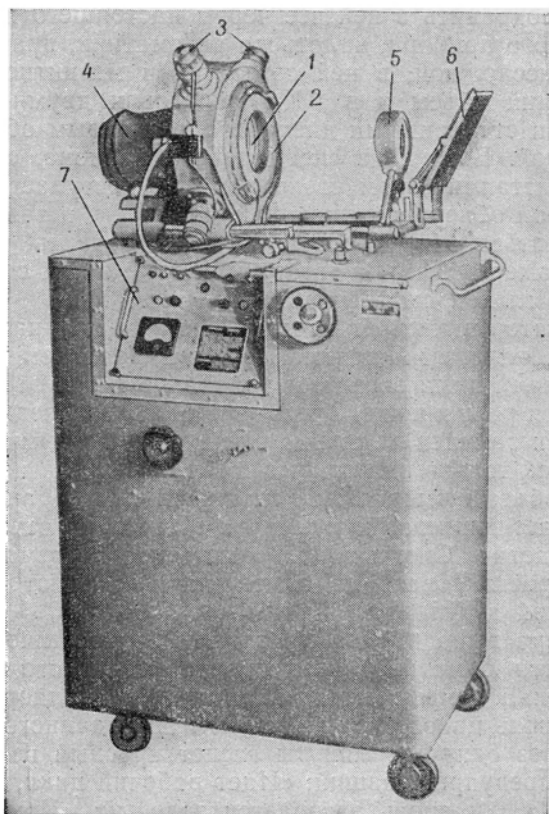


Рис. 18. Демонстрационная камера типа ДК-1:
1 — рабочий объем; 2 — катушка магнита; 3 — электро-
магнитные клапаны; 4 — осветитель; 5 — проекционная
линза; 6 — зеркало; 7 — пульт управления.

Внутри камеры укреплена игла, кончик которой обмазан радиоактивным веществом, испускающим α -частицы. В момент расширения образуется характерный веер белых треков. Такую камеру можно изготовить собственными силами в любой школьной лаборатории.

На рис. 18 показана демонстрационная камера аналогичного типа, но уже значительно сложнее по конструкции. Эта камера, названная ДК-1, разработана и изготовлена на заводе и, как нетрудно убедиться, имеет вполне солидный вид. Действительно, ее создатели стремились сохранить в ней все черты настоящего исследовательского прибора, вплоть до автоматики, правда, довольно несложной; в ней создается и магнитное поле.

Рабочий объем и в ДК-1 образован двумя параллельными стеклянными дисками и резиновым ободом — мембраной. Воздух из специального баллона, спрятанного в металлическом столе камеры, поступает в подпоршневой объем, окружающий мембрану, и заставляет ее прижаться к внутренней сетке и сдвинуть рабочий объем камеры. Камера готова к работе, о чем сообщает зеленый глазок сигнальной лампочки.

Оператор нажимает кнопку «пуск», и начинается рабочий цикл: включается магнитное поле, затем вспыхивает яркая лампа осветителя и только после этого производится расширение. Здесь уже нет велосипедного насоса — он заменен четырьмя электромагнитными клапанами. Как только они открываются, воздух из подпоршневого объема выбрасывается наружу, мембрана мгновенно растягивается и в камере возникают отчетливые следы частиц. Специальная оптическая система позволяет спроектировать их на экран и демонстрировать в большой аудитории.

Камера выполнила свою задачу. Автоматически выключаются обмотки для создания магнитного поля и осветитель, закрываются клапаны, и подпоршневой объем вновь наполняется воздухом до заданного давления. Через одну-две минуты гаснет красный глазок на пульте, предупреждавший: «Идет рабочий цикл, не вмешивайся!», и вновь загорается зеленый: «Камера готова!»

Универсальная камера

А вот пример исследовательского прибора — универсальной управляемой камеры (УУК); эксплуатируемой в нескольких советских лабораториях. Универсальность этой камеры состоит в том, что она способна работать в самых различных режимах: при пониженном и повы-

шенном давлении, со счетчиками совпадений и с ускорителем, одиночными циклами или периодически. Все зависит от конкретной научной задачи, которую предстоит решить.

Камера (рис. 19) состоит из двух основных узлов: рабочего стола и пульта управления. В собранном и за-

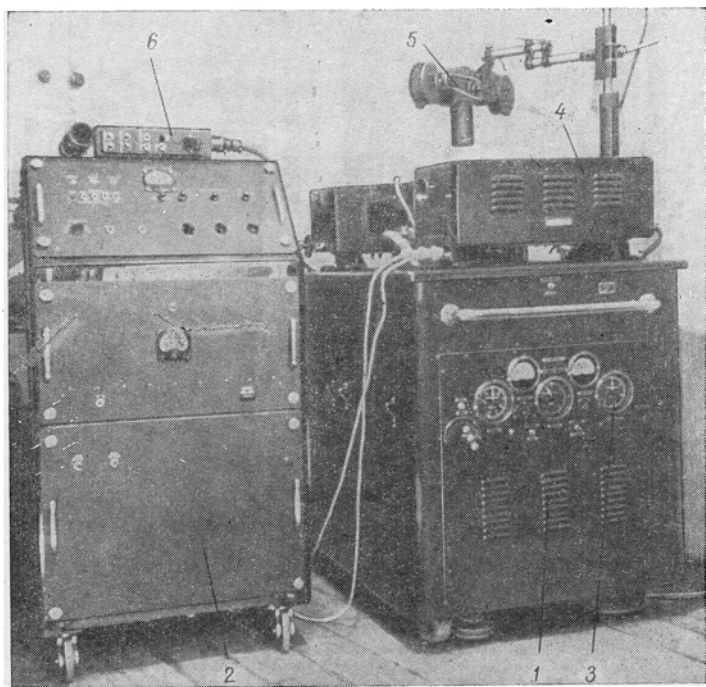


Рис. 19. Универсальная управляемая камера типа УУК:
1 — рабочий стол; 2 — пульт управления; 3 — панель регулировки давления; 4 — осветитель; 5 — стереофотоаппарат; 6 — блок дистанционного управления.

крытом виде эти два узла выглядят довольно просто. Но если бы вы попытались открыть дверцы и заглянуть внутрь, у вас голова закружилась бы от одного вида их «начинки» (рис. 20). Чего только там нет! Насосы и компрессоры, трансформаторы и выключатели, сотни радиоламп самых невероятных типов и размеров — от миниатюрных «желудей» до мощных генераторных

ламп — и неисчислимое множество конденсаторов, сопротивлений и других «мелочей». И все это оплетено, как лианами, толстыми резиновыми трубками и разноцветными проводами. Самое удивительное, что такое сложное хозяйство обслуживает скромный рабочий блок

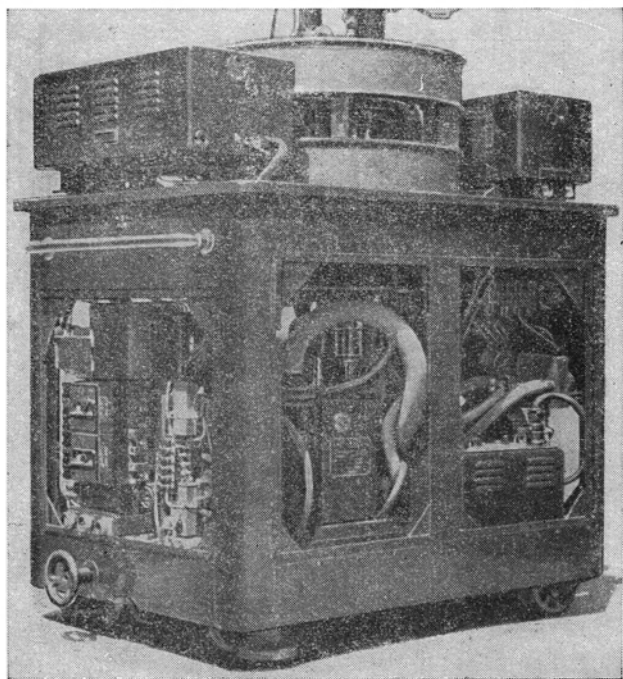


Рис. 20. «Начинка» рабочего стола прибора УУК.

(рис. 21). Он устанавливается на столе, и его цилиндрическая стеклянная стенка находится как раз в зазоре между двумя внушительными катушками, создающими магнитное поле (они видны на рис. 20). Каждая из них весит добрую сотню килограммов.

Рабочий блок в принципе мало отличается от первой мембранной (не поршневой!) камеры, созданной еще Вильсоном и схематически изображенной на рис. 11.

Рабочий объем ее, то есть пространство, где формируются треки, ограничен стеклянным кольцом высотой

около 10 см и диаметром 30 см, верхним стеклянным диском и резиновой мембраной (диафрагмой). Под ней находится подпоршневой объем. Его правильнее было бы называть подмембранным, но такова уж сила традиций: поршень исчез, а память о нем осталась.

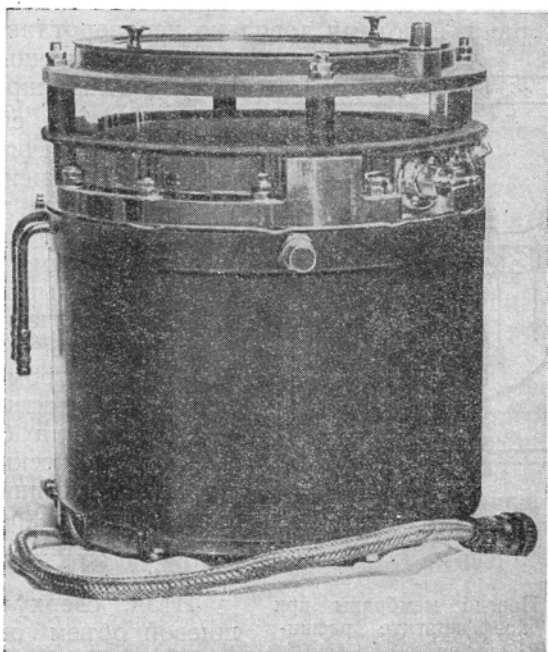


Рис. 21. Рабочий блок прибора УУК.

Впрочем, и сейчас иногда не обойтись без настоящего поршня. Дело в том, что коэффициент расширения k , требующийся для образования треков, сильно зависит от давления в камере. Чем ниже рабочее давление, тем больше коэффициент расширения. Например, если камера наполнена воздухом под давлением 200 миллиметров ртутного столба (напомним, что атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.), то $k \approx 1,8$. Значит, при расширении нужно чуть ли не вдвое увеличить первоначальный объем. Конечно, существуют сорта очень гибкой, эластичной резины, которая вполне обеспечила бы такое

расширение, но мембрана прогнулась бы неравномерно: в середине больше, по краям меньше (рис. 22). А очень важно обеспечить равномерное вертикальное перемещение воздуха во время расширения — иначе возникают завихрения, так называемая турбулентность, и треки получаются искаженными. Поршень же позволяет избавиться от этого недостатка. Он, правда, не такой легкий, как мембрана, и потому довольно неповоротлив, но ничего не поделаешь, приходится с этим мириться.

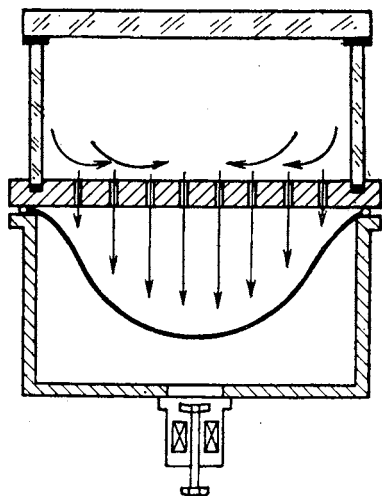


Рис. 22. Прогиб мембраны при большом коэффициенте расширения.

прикреплены быстродействующие электромагнитные клапаны. Их целых три — чтобы как можно быстрее выбросить воздух из подпоршневого объема. Вообще говоря, физики не любят ставить на камере несколько клапанов, так как их надо тщательно регулировать, добиваясь исключительной синхронности (одновременности) срабатывания. Иначе если один из клапанов открывается раньше других, то воздух через него выходит быстрее и происходит перекося мембраны, а это опять вызывает турбулентность в камере.

Процесс открывания нескольких клапанов похож на своего рода спринтерское состязание. Только здесь ди-

Кстати, все с той же целью — обеспечить равномерное движение воздуха — мембрана делается не чисто резиновой. Обычно между двумя слоями резины вкладывают тонкий неметаллический диск. Металлический не годится — при быстром перемещении в магнитном поле в нем возникли бы вредные электрические токи. По краям резина склеивается и закрепляется между деталями корпуса камеры.

Итак, сверху подпоршневой объем ограничен мембраной, а снизу — дном камеры, к которому

станции измеряются миллиметрами, самое большое — сантиметрами, а время — миллисекундами (тысячными долями секунды). Даже при соревновании бегунов подчас трудно определить, кто из них первым коснулся финишной ленточки. Судьи внимательно смотрят на циферблаты своих секундомеров, придирчиво сличают их показания. А ведь там расхождение может составлять «огромную» величину — десятую долю секунды. Что бы они делали, если бы пришлось определять время бегунов с точностью до десяти тысячных долей секунды? А именно так обстоит дело в состязании клапанов.

На помощь пришел миллисекундомер — замечательный электронный прибор, способный измерять интервалы от нескольких секунд до десяти тысячных долей секунды.

Отладка клапанов УУК — довольно занятное зрелище. Правда, если смотреть на него со стороны. Представьте себе такую картину. На столе в ряд стоят три миллисекундомера, похожих на небольшие домики с круглыми окнами на передней стенке. Пять этажей по десять окошек в каждом. Нажимаем кнопку, и окошки начинают светиться и мигать красновато-желтым светом. Окошки нижних двух этажей, на первый взгляд, совсем не гаснут. Но это обман зрения. Если всмотреться повнимательнее, то можно заметить, что во втором этаже свет непрерывно дрожит — лампочки мигают. Такое же мигание, только еще более частое, происходит и в первом этаже, но интервал между вспышками столь мал — всего одна десяти тысячная доля секунды, — что человеческий глаз воспринимает их как постоянное свечение. Зато в верхних этажах можно отчетливо видеть, как последовательно, одна за другой, загораются лампочки, и чуть только заполнится весь этаж, начинают вспыхивать окошки следующего.

Если теперь нажатием второй кнопки остановить прибор, то на его фасаде будет точно записано время, прошедшее с момента включения. Каждая светящаяся лампочка нижнего этажа означает десяти тысячную долю секунды, следующего — тысячную, третьего — сотую и т. д. Как косточки на счетах.

Так вот, три миллисекундомера подсоединены к трем клапанам камеры УУК. Нажимается кнопка. Резкий, оглушительный удар. Открываются и почти мгновенно захлопываются клапаны. Это-то «почти» и фиксируют

миллисекундомеры: светящиеся лампочки точно показывают, сколько времени открывался каждый из клапанов, велика ли их разница. Расхождение в миллисекунду считается уже совершенно недопустимым. Начинаются кропотливые поиски причин задержки: то ли пылинка попала, то ли смазка недостаточна, то ли ничтожный перекося. Клапаны перебираются, регулируются, подыскивается наилучший режим работы. Часы и дни утомительной однообразной работы.

Как видите, несмотря на весь прогресс техники, в этом отношении мало что изменилось со времен Вильсона, да, впрочем, и со времен Ньютона и Фарадея. Работа экспериментатора требует все той же аккуратности, педантичности, если хотите — дотошности.

Мы умышленно не касались здесь ни принципа действия, ни конструкции клапанов УУК. Вся история развития клапанов настолько поучительна, что этому вопросу будет отведен специальный раздел главы.

Итак, клапаны должны как можно быстрее открыться и выпустить воздух из подпоршневого объема. Куда? Естественно, наружу — скажете вы. Да, иногда наружу, в атмосферу, но далеко не всегда. Ведь после выхлопа давление в подпоршневом объеме должно быть ниже, чем в рабочем: этот перепад давлений должен резко отбросить мембрану вниз и прижать ее к основанию, регулирующему коэффициент расширения.

Предположим, что камера функционирует при давлении ниже атмосферного, скажем при 500 мм рт. ст. Перед расширением давление в подпоршневом объеме должно быть близким к атмосферному (760 мм рт. ст.): перепад в 260 мм более чем достаточен, чтобы прижать мембрану к верхней плите. Но выхлоп в атмосферу произойти уже не может — клапаны откроются, а воздух из подпоршневого объема не выйдет. Его надо выпустить в какой-то специальный резервуар, из которого предварительно полностью или почти полностью откачан воздух. Тогда после выхлопа в подпоршневом объеме установится давление, несколько меньшее, чем в рабочем объеме камеры, и образовавшийся перепад отбросит мембрану вниз и прижмет к основанию. Этот резервуар носит название выхлопного объема; он и составляет основную часть нижней (черной) половины рабочего блока на рис. 21.

На одной из стенок стола камеры можно видеть панель с несколькими манометрами, выключателями, регулировочными рукоятками. Это внешний фасад пневматической системы. Сама система настолько сложна и громоздка, что мы не решаемся даже приблизительно описывать ее. Перечислим лишь основные функции, которые ей приходится выполнять.

В первую очередь нужно установить и постоянно поддерживать заданное давление или разрежение в подпоршневом и выхлопном объемах (о рабочем объеме особый разговор). Впрочем, это сравнительно просто: есть компрессор, насос, автоматические регуляторы, манометры. А вот после выхлопа для пневматической системы начинается по-настоящему горячее время. Нужно как можно быстрее подготовить камеру к следующему рабочему циклу. И для этого недостаточно просто восстановить исходные давления в различных ее отсеках — пройдет еще немало времени, прежде чем установится нужная температура, успокоится газ, исчезнут посторонние капельки, создающие вредный фон. Все это время камера неспособна работать. Не зря его называют «мертвым временем». Оно особенно велико у камер, рассчитанных на высокие давления, а таких за последние годы становилось все больше и больше.

Как снизить мертвое время камеры, свести до минимума вынужденные простои? Много было предложено различных решений, но наиболее действенными оказались методы дополнительного поджатия («перекомпрессии») и очищающих расширений. Иногда они используются совместно.

При перекомпрессии камера после фотографирования подвергается дополнительному быстрому сжатию: ее рабочий объем уменьшается на ту же величину, на которую он увеличивался при расширении. А затем поршень или мембрана медленно возвращается в свое первоначальное положение. Поскольку процесс сжатия является обратным процессу расширения, то он вызывает нагрев воздуха камеры и испарение небольших остаточных капель. Крупные же капли при обратном медленном движении мембраны падают на дно. В некоторых небольших камерах перекомпрессия позволяет снизить мертвое время до *2,5 сек.*

В камере УУК перекомпрессия не применяется, но зато производится несколько очищающих расширений: быстрое движение мембраны вверх и медленное — вниз. По заранее заданной программе пневматическая система осуществляет эти расширения и подготавливает камеру к следующему циклу.

По бокам рабочего стола расположены две продолговатые черные коробки — это осветители. Казалось бы, чего проще — осветить внутреннюю полость камеры. Но в действительности это довольно деликатное дело, потребовавшее создания новой аппаратуры и исключительной точности. Даже разработана специальная теория наиболее выгодного освещения камеры. Ниже мы особо остановимся на этом.

Над рабочим блоком укреплен на специальной стойке стереофотоаппарат. Мы уже как-то говорили, что экспериментатора не может удовлетворить плоский вильсоновский снимок. На нем нельзя даже правильно определить радиус кривизны траектории, а значит, и импульс частицы. Ведь частица может пролетать не строго перпендикулярно к магнитному полю, а под некоторым углом, и поле будет закручивать ее не по окружности, а по довольно сложной спирали. Что же говорить об изучении взаимодействия частиц! Здесь необходимо измерять именно *пространственные* координаты и углы, и без стереоскопической картины никак не обойтись. Вот почему приходится пользоваться стереофотоаппаратом, причем довольно сложным и умным: он не только фотографирует события, происходящие в камере, но и регистрирует показания некоторых приборов, печатает номер опыта и кадра, сам перематывает пленку и даже сигнализирует об окончании или внезапном обрыве пленки.

Исключительно важную роль в камере играет пульт управления. Если пневматику можно образно назвать сердцем и легкими камеры, то пульт — это ее мозг. Именно он-то и позволяет камере работать без вмешательства человека. Главное, что требуется от системы управления, это следить за правильной последовательностью всех операций, а также фиксировать любые отклонения от нормальной работы — всякого рода «заболевания» и сигнализировать о них человеку, чтобы он мог принять необходимые меры. В пульте управления,

кроме собственно элементов управления, находятся еще источники питания катушек для создания магнитного поля, лампы осветителя, очищающего поля и т. д. Поэтому-то он довольно громоздок — целый шкаф на колесах.

Какие же операции производит пульт или, точнее, расположенная в нем система управления? Рассмотрим для конкретности пример, когда камера работает в управляемом режиме. В данном случае рабочий объем охраняется счетчиками Гейгера—Мюллера. Это система оповещения, выполняющая ту же задачу, что и радиолокаторы в линии противовоздушной обороны. Обнаружив, что в камеру проник «нарушитель» — заряженная частица, — они подают сигнал тревоги в пульт управления, и вот вступает в действие весь арсенал боевых средств камеры.

Прежде всего немедленно убирается очищающее поле. Ведь оно нужно только для того, чтобы рассасывать ионы, непрерывно возникающие в камере при проникновении в нее посторонних частиц. Эти ионы создают вредный фон, затемняющий снимок. Раньше такое поле создавалось между корпусом камеры и нитями, натянутыми вдоль верхнего плоского стекла, но в последние годы научились наносить на само стекло тонкий проводящий слой, почти не ухудшающий светопропускания стекла. Напряженность поля в камере, работающей при давлении, близком к атмосферному, составляет приблизительно 10 вольт на 1 сантиметр ее глубины. Но чем выше давление, тем труднее растаскивать ионы и, следовательно, тем сильнее должно быть очищающее поле. Если хотя бы немного, на сотую долю секунды, запоздать со снятием поля, оно успеет растянуть ионы и трек на фотографии будет толстым, а то и вовсе раздвоенным: одна цепочка капель образуется на положительных ионах, другая — на электронах. Кстати, этот метод используется для изучения процесса формирования капель на различных видах зарядов.

Одновременно со снятием очищающего поля подается импульс на клапаны. И здесь промедление смерти подобно. Ведь ионы, оставшиеся в кильватере пролетевшей частицы, стараются из-за обычной диффузии расползтись в стороны от места своего возникновения. В результате трек будет толстым, расплывчатым и малопри-

годным для обработки. Блэккет установил, что за 14 миллисекунд после пролета частицы толщина трека становится 1 мм. Значит, примерно в такое время и должен завершиться весь процесс расширения — не только открыться клапаны, но и опуститься мембрана. Тогда ионы обрастут капельками и потеряют подвижность, как бы прилипнут к своим местам.

А теперь прикинем силу удара, возникающего в нашей камере. Если внутренний диаметр ее 30 см, то площадь мембраны будет более 700 см². Предположим, что после открывания клапанов возникает перепад давлений всего в пол-атмосферы, т. е. 0,5 кг/см². Следовательно, на мембрану давит сила в $0,5 \times 700 = 350$ кг, под действием которой она за сотые доли секунды отбрасывается на нижнюю, подвижную плиту. Возникает огромной силы удар, превосходящий по своей мощности удар пресса или парового молота. Нетрудно себе представить, насколько возрастает ударная сила в камерах большого размера, где площадь мембраны достигает половины квадратного метра (5000 см²), или в камерах высокого давления, где перепад может составлять несколько атмосфер. Поэтому при конструировании камеры приходится обращать особое внимание на прочность всех ее деталей, особенно, конечно, стеклянных.

Но вернемся к схеме управления. Итак, открылись клапаны и произошло расширение. Теперь надо выждать некоторое время, порядка 0,1 сек, чтобы капельки вокруг ионов успели вырасти до видимых размеров. А затем подается поджигающий импульс на лампы, те освещают яркой вспышкой трек и происходит фотографирование.

Фотоаппарат, как правило, работает без затвора, так как обычный затвор вряд ли успел бы открыться в нужное время. Чтобы пленка не засветилась до вспышки, приходится зашторивать камеру, защищая ее от постороннего света. После фотографирования включаются моторчики перемотки пленки и механического счетчика, регистрирующего номер кадра.

Затем вступает в действие пневматическая система: происходит несколько очищающих расширений, компрессоры и насосы восстанавливают первоначальные условия во всех отсеках. Камера вновь приходит в состояние готовности.

Как вы, должно быть, заметили, в только что описанном рабочем цикле камеры не принимало никакого участия магнитное поле. Оно и не используется в управляемом режиме. Ведь катушки, создающие это поле, можно питать током всего несколько секунд — иначе они сильно разогреются, нагреют камеру и выведут ее из нормальных условий: камера исключительно чувствительна к колебаниям внешней температуры. И дело не только в том, что от температуры зависит коэффициент расширения, хотя и это само по себе важно, но имеются более существенные факторы, нарушающие работу. В частности, при повышении окружающей температуры находящиеся в камере пары стремятся сконденсироваться на переднем стекле и оно запотеваает. На первый взгляд, это явление совершенно парадоксально: казалось бы, стекло должно запотевать, наоборот, при охлаждении наружного воздуха, а не при его нагреве. Но только на первый взгляд. В действительности все очень просто: при возрастании внешней температуры металлические детали камеры, обладающие высокой теплопроводностью, прогреваются довольно быстро и нагревают газ в камере, а массивное переднее стекло, плохо проводящее тепло, остается сравнительно холодным, и пары конденсируются на нем. Образующаяся пленка жидкости не позволяет фотографировать треки. Кроме того, и само тепловое движение газа в камере, смещая ионы и капли, вызывает искажение треков.

Поэтому в современных камерах Вильсона используются различные способы стабилизации температуры: термостатирование (рабочий блок как бы закутывают в теплоизолирующую шубу); экраны, отражающие тепловой поток от магнита; наконец, циркуляция дистиллированной воды, температура которой поддерживается постоянной в пределах $0,02^{\circ}\text{C}$.

Но в последнее время пришли к выводу, что лучше не поддерживать во всем объеме камеры постоянную температуру, а искусственно создавать небольшой перепад температур по вертикали, вызывая слабый ток воздуха. Дело в том, что в первом случае газ находится в состоянии так называемого безразличного равновесия и малейшие колебания температуры выводят его из этого равновесия. Когда же газ в камере хотя бы слабо, но постоянно движется в одном направле-

нии, он становится менее восприимчивым к температурным колебаниям. Более того, это позволяет быстрее приводить камеру в готовность после очередного адиабатического расширения.

Но мы отвлеклись от нашего разговора о магнитном поле. Оно, конечно, используется в камере УУК, но в так называемом *неуправляемом* режиме, когда камера работает либо с постоянным источником ионизирующих частиц, либо синхронно с ускорителем. В последнем случае цикл начинается именно с включения магнитного поля. Спустя некоторое время, необходимое для нарастания тока в обмотках, камера подает сигнал готовности на пульт управления ускорителя. Там включается выводное устройство, и пучок частиц направляется в камеру. Соответствующий сигнал запускает остальные элементы камеры: снимается очищающее поле, открываются клапаны, вспыхивает лампа и т. д.,— словом, все идет, как и в управляемом режиме. Только после фотографирования отключаются катушки.

Но может случиться, что магнитное поле включили, а ускоритель по какой-то причине не выдал пучка частиц. Не перегреваются ли катушки? Нет, на этот случай предусмотрена специальная защита: в обмотку вмонтированы термоэлементы, разрывающие цепь питания, если температура превысит допустимый предел.

Наконец, чтобы закончить разговор о приборе УУК, расскажем в нескольких словах о блоке дистанционного управления (см. рис. 19). Его назначение — включать и останавливать камеру, а также следить за ее нормальной работой издали, когда оператор находится на большом расстоянии от нее. Ведь камера часто работает в зоне повышенной активности, и чтобы защитить от облучения обслуживающий персонал, приходится управлять ею из другого помещения.

* * *

Мы столь подробно остановились на камере УУК по той причине, что в этом приборе благодаря его универсальности сосредоточены все основные элементы современных камер Вильсона. Правда, в других камерах

эти элементы могут выглядеть совсем по-иному, но функции их остаются теми же.

О двух из этих элементов — клапанах и осветительных лампах — хотелось бы рассказать подробнее. Особенно о клапанах. Их эволюция — это история непрерывных творческих исканий физиков, свидетельство неутомимого совершенствования экспериментальных средств, отражение коллективного труда ученых.

Борьба за миллисекунды

С чего начинается история клапанов, вы уже знаете из описания первой камеры Вильсона. Защелка на пружине с пробкой и курком — вот и весь механизм. Но это же было на заре «вильсоностроения». Вскоре родился первый электромагнитный клапан, сохранивший, кстати, свои основные черты и по сей день. Но кое в чем, и весьма существенном, он изменился.

Принцип работы клапана несложен. Клапан (рис. 23,а) состоит из цилиндрического электромагнита (железное ярмо и катушка возбуждения), алюминиевого штока с такой же тарелкой и железным якорем, корпуса, кольцевой резиновой прокладки и некоторых вспомогательных деталей. Когда в обмотку подается ток, в ярме возникает магнитное поле, которое притягивает якорь. Он перекрывает зазор между краями ярма (точки *A* и *B*) и тем самым замыкает магнитопровод. Шток опускается, и его тарелка ложится на резиновое кольцо — прокладку. Поскольку внутри камеры поддерживается давление выше, чем снаружи, оно прижимает прокладку к острым бортикам тарелки и сам газ как бы закрывает себе выход из камеры.

Но стоит отключить ток, питающий обмотку, как магнитное поле начинает спадать и уже не в силах противостоять давлению газа. Оно, это давление, отбросит тарелку вместе со штоком и якорем вверх, и воздух вырвется наружу (рис. 23,б). Как только давление в камере упадет, пружина заставит шток вернуться в исходное положение, а включенное магнитное поле вновь прихватит якорь. Можно опять заполнять подпоршневой объем.

Все это хорошо. Клапан прост, надежен в работе, но... тихходен. Конечно, относительно: время его сра-

батывания измеряется сотыми долями секунды. Слишком много! Надо усовершенствовать клапан, выжать из него все возможное. Медленно, шаг за шагом решали конструкторы камер эту задачу. Интересно проследить путь их исканий.

В первом варианте клапана слабым местом был якорь — железный диск, составляющий часть магнито-

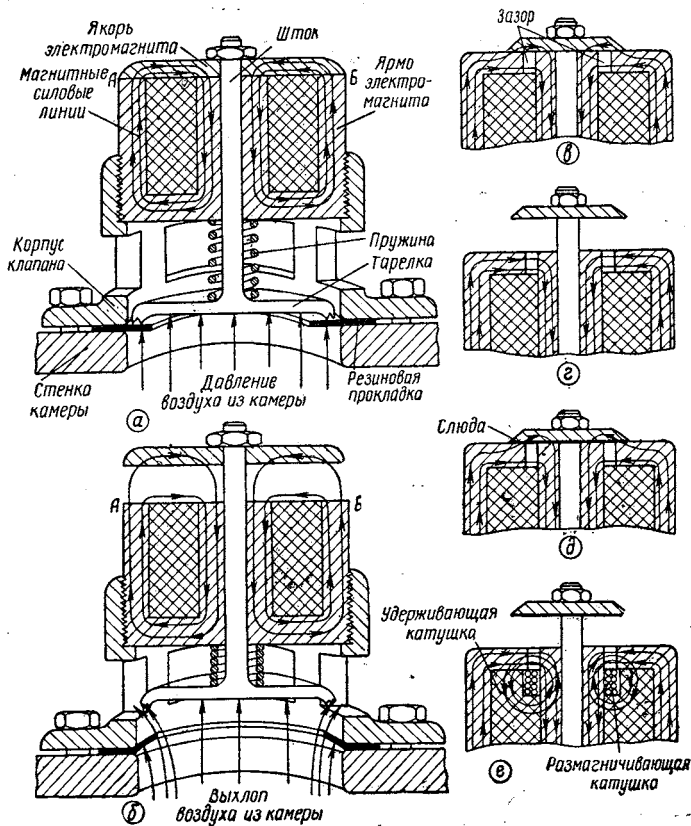


Рис. 23. Эволюция электромагнитного клапана:

а — клапан закрыт. Все силовые линии замыкаются через якорь; *б* — клапан открыт. Часть силовых линий замыкается через якорь и тормозит движение штока; *в* — клапан закрыт. Часть силовых линий замыкается через зазор и не участвует в притяжении якоря; *г* — клапан открыт. Все силовые линии замыкаются через зазор и не препятствуют движению штока; *д* — слюдяная прокладка предохраняет от прилипания якоря; *е* — в зазоре силовые линии размагничивающей и удерживающей катушек взаимно компенсируются.

провода. Он выгоден в магнитном отношении, так как хорошо замыкает силовые линии, но очень неудачен с точки зрения динамики открывания клапана. Во-первых, большой диаметр, нужный, чтобы перекрыть зазор между *A* и *B*, делает его довольно тяжелым, а во-вторых, даже на значительном расстоянии от ярма он еще подвержен действию магнитного поля. На рис. 23,б видно, что часть силовых линий все еще проходит через якорь, притормаживая его движение. Было предложено несколько изменить конструкцию ярма и уменьшить диаметр якоря с тем, чтобы он перекрывал очень небольшой зазор (рис. 23,в). При этом, правда, часть силовых линий проходит через зазор, минуя якорь, что заставляет увеличивать мощность (точнее, число ампер-витков) катушки, но тут уж ничего не поделаешь: всегда, выигрывая в одном, проигрываешь в чем-то другом. Зато, как только якорь чуть-чуть отойдет от ярма, он выходит из поля действия магнита — все силовые линии замыкаются через зазор (рис. 23,г). В результате клапан стал срабатывать в два-три раза быстрее.

Далее было внесено еще одно, на первый взгляд незначительное, а на самом деле очень важное, усовершенствование. Сущий пустяк — на якорь наклеили тонкий листик слюды, но и эта «мелочь» дала выигрыш в несколько миллисекунд. Дело в том, что после отключения тока шток начинает двигаться не сразу: якорь «прилипает» к ярму. Слюда же создает постоянный зазор между ними и устраняет опасность «прилипания». Заметим, что опять приходится идти на дополнительный бесполезный расход мощности в катушке. Собственно, мощности здесь незначительные — ватты, в крайнем случае десятки ватт, — и пугает не расход электроэнергии, а возможный нагрев клапана и, следовательно, самой камеры. Что ж, надо искать наиболее выгодные условия, оптимум, как говорят специалисты.

Но борьба за миллисекунды еще не кончилась. Даже и в таком виде клапан никак не мог взять барьер: сотую долю секунды. В чем же дело? Имеется один эффект, неотделимый от самого принципа действия электромагнитного клапана и потому, казалось бы, непреодолимый. После отключения источника питания электрический ток в обмотке спадает очень медленно,

как бы нехотя. И столь же медленно исчезает магнитное поле в ярме и якоре. А мы еще ухудшили положение, увеличив число ампер-витков (рис. 23,в и д).

Но изобретательность пришла на выручку и здесь. На рис. 23,е показан клапан, в котором имеются две катушки. Первая из них — *удерживающая* — выполняет те же функции, что и раньше. Она состоит из тысяч витков тонкого провода и питается очень слабым током, всего в миллиамперы. Вторая же катушка имеет всего несколько витков толстого провода. Когда нужно открыть клапан, через эту катушку (она носит название *размагничивающей*) пропускается кратковременный импульс тока большой величины — в десятки ампер — в направлении, противоположном току в удерживающей катушке. На небольшом участке около зазора возникает на какие-нибудь микросекунды* магнитное поле, компенсирующее первоначальное. Они взаимно уничтожают друг друга. А газу в камере этого только и надо; он давит на тарелку и заставляет шток начать движение. И хотя импульс кончился и восстановилось магнитное поле первой катушки (ее ведь так и не отключали), но оно уже ничего не может сделать: шток продолжает свое неуправляемое, стремительное движение.

Размагничивающая катушка позволила клапану сделать качественный скачок — он стал открываться за тысячные доли секунды. Это была настоящая победа!

Теперь, кажется, из электромагнитного клапана выжато все, что он мог дать. Что ж, на этом можно успокоиться? Нет, физики не такой народ, чтобы удовлетвориться достигнутым. Борьбу нужно продолжать. Ведь каждая сэкономленная миллисекунда — это более высокая точность исследований, новые результаты... Если исчерпаны все резервы электромагнитного клапана, следует искать новые пути.

И вот в 1952 году сотрудники Института им. Макса Планка (ФРГ) Б. Мейер и В. Стодик создали клапан совершенно нового типа, еще более быстродействующий и простой по конструкции (рис. 24). Их большой клапан, с площадью выходного отверстия $s=86 \text{ см}^2$ (а это

* Микросекунда (мксек) — миллионная доля секунды.

важная характеристика!), открывался за три миллисекунды, а маленький ($s=5 \text{ см}^2$)— за доли миллисекунды!

Принцип действия нового клапана, пожалуй, даже проще, чем электромагнитного. В нем всего три основ-

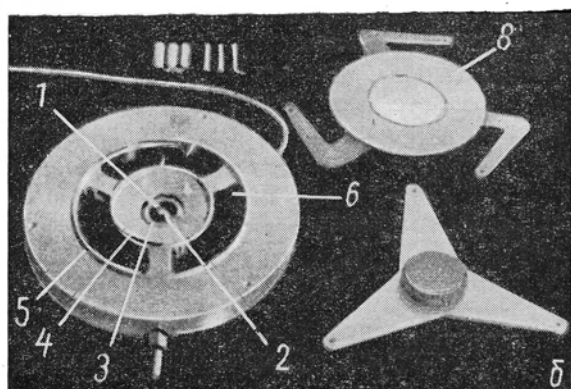
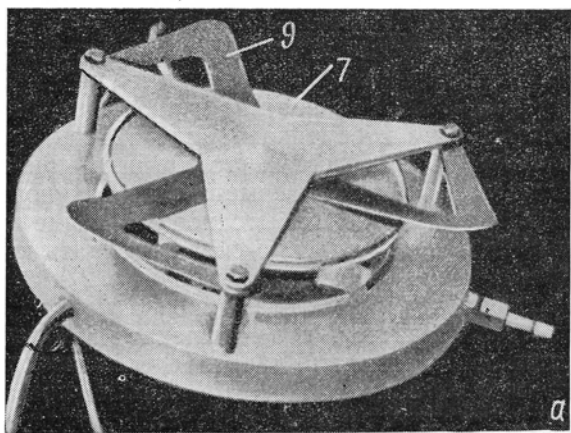


Рис. 24. Искровой клапан:
а — общий вид; б — основные детали.

ные детали. Главное—это корпус, изготавливаемый обычно из оргстекла или другого легко обрабатываемого изолирующего материала. Центральная часть 1

его имеет коническую форму и с помощью отверстия в одной из трех спиц сообщается с насосом. Здесь же имеются два электрода — центральный 2 и кольцевой 3. У корпуса сделаны два концентрических бортика 4 и 5, окружающих выходное отверстие 6. Клапан крепится к стенке подпоршневого объема камеры.

На корпус клапана накладывается крышка — легкий металлический диск 7 с наклеенным на него резиновым кольцом 8. Специальная пружина типа «паука» 9 прижимает крышку к бортикам. Если теперь откачать из конического объема воздух, то крышка прижмется, «присосется» к бортикам и герметически закупорит выходное отверстие. Даже избыточное давление в подпоршневом объеме камеры не в силах оторвать крышку.

В нужный момент между электродами 2 и 3 пропускается искровой разряд. Оставшийся в конусе воздух мгновенно разогревается, его давление возрастает и уже не может сдерживать давление, действующее из подпоршневого объема. Оно отбрасывает крышку, и воздух вырывается наружу. Происходит расширение.

Быстродействие такого — *искрового* — клапана объясняется тем, что искра проскакивает практически мгновенно — за стотысячные доли секунды, а подвижная система почти безынерционна.

Искровые клапаны, как и электромагнитные, подверглись за истекшее десятилетие существенной модернизации и стали уже стандартными узлами современных камер Вильсона.

Солнце в лаборатории

Трек заряженной частицы — это цепочка отдельных маленьких капель размером всего в сотые доли миллиметра. Как их сфотографировать, и не просто сфотографировать, а получить четкий, контрастный снимок, пригодный для тщательного изучения? Ясно, что на них надо направить яркий пучок света — только тогда удастся что-либо рассмотреть. Но трудно даже представить себе, насколько он должен быть ярким.

Обычно камера освещается перпендикулярно к направлению фотографирования. Так вот, мало того, что капельки тумана, из которых складывается след, вообще слабо рассеивают свет, они лишь мизерную долю

его — менее одного процента — рассеивают под углом 90° . Большая часть светового потока тратится впустую. Этим и объясняется необходимость исключительно сильных источников света.

Вильсон в начале своих экспериментов с туманной камерой применял обычную вольтовую дугу, а затем ртутную лампу. Но ни тот, ни другие источники света нельзя признать достаточно удачными. Главное, они довольно долго разгораются и не позволяют использовать камеру в управляемом режиме: пока лампа засветится, следа, что называется, и след простыл.

В последнее десятилетие получили широкое распространение импульсные газоразрядные лампы. Вы их, конечно, видели: это те самые лампы-вспышки, которые обычно крепятся к фотоаппаратам и заставляют вас зажмуриваться во время фотографирования. Правда, это только одна разновидность таких ламп и одна, притом не самая главная, область их применения.

Уже первые образцы импульсных ламп были испытаны в камерах Вильсона и вскоре оказались совершенно незаменимыми для этих целей. Сейчас даже невозможно представить себе, что бы делали физики без этих источников света. Обычно для камер Вильсона используются прямые, реже кольцевые и точечные, лампы.

По своей конструкции импульсная лампа очень проста: запаянная кварцевая трубка, наполненная ксеноном под давлением $60\text{--}250$ мм рт. ст. С каждой стороны в трубку введено по электроду, и один электрод — поджигающий — имеется снаружи либо в виде нескольких витков никелевой спирали, либо в виде металлической шины, идущей вдоль трубки. Схема включения лампы тоже простая (рис. 25). С помощью выключателя заряжается от батареи B конденсатор C_1 . На электродах лампы L появляется разность потенциалов (обычно несколько тысяч вольт), однако она еще недостаточна, чтобы преодолеть сопротивление лампы и вызвать в ней ток. Но стоит нажать кнопку K , как конденсатор C_2 разрядится через обмотку импульсного трансформатора T и возникнет высокочастотный импульс во вторичной обмотке. Оттуда через поджигающий электрод \mathcal{E} импульс попадет в лампу (для высоких частот ее кварцевая стенка — не помеха) и вы-

зовет хаотическое движение атомов газа, частичную ионизацию. Теперь-то приложенное к электродам напряжение достаточно для пробоя. Конденсатор C_1 разрядится через лампу, и она вспыхнет ослепительным светом.

Выпускаемые серийно советские лампы рассчитаны на энергию вспышки от 5 до 80 000 джоулей (дж.). Рассмотрим две прямые лампы: ИФП-200 и ИФП-15000, применяемые в камерах Вильсона (цифры означают энергию

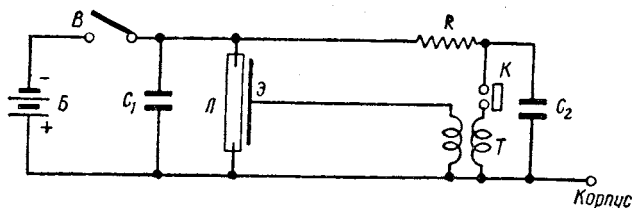


Рис. 25. Схема включения импульсной газоразрядной лампы.

вспышки). Первая из них имеет диаметр 6 мм, длину 20 см, вторая — диаметр 9 мм, длину 60 см, т. е. пригодна для очень больших прямоугольных камер. Длительность вспышки первой лампы равна 1,6 мсек. Это значит, что ее средняя электрическая мощность составляет

$$\frac{200 \text{ дж}}{1,6 \cdot 10^{-3} \text{ сек}} = 125\,000 \text{ вт.}$$

Колоссальная величина! Но она меркнет перед мощностью второй лампы. Поскольку у нее вспышка продолжается 4,5 мсек, средняя мощность будет равна

$$\frac{15 \cdot 10^3 \text{ дж}}{4,5 \cdot 10^{-3} \text{ сек}} = 3,3 \cdot 10^6 \text{ вт.}$$

Более трех миллионов ватт — это трудно себе вообразить! Как будто одновременно вспыхивают 3300 тысячечваттных ламп. Солнце в лаборатории! Правда, вспышка кратковременна, как молния, но ее вполне достаточно, чтобы ослепить человека.

Итак, источником света ученые располагают. Надо теперь направить его в рабочий объем камеры. Это тоже непростая проблема: пучок должен быть однород-

ным, параллельным, даже чуть-чуть сходящимся, чтобы не засветить ни дна камеры, ни верхнего стекла и не вызвать тем самым бликов. Кстати, дно камеры для создания наилучшей контрастности покрывают черным вельветом.

Сейчас используются две основные оптические схемы осветителей: с параболическим отражателем и, чаще, с системой линз и зеркал. Изготовление отражателей и цилиндрических линз, особенно для больших камер, и последующая наладка оптической системы — дело чрезвычайно сложное и деликатное.

Чтобы избавиться от этой утомительной работы, физики решили приспособить для своих целей уже готовые вещи. Чем, например, плох обычный прожектор? Он ведь дает строго параллельный пучок, и если в фокусе его поместить точечную импульсную лампу (а такие, конечно, имеются), то получится как раз то, что нужно: готовый мощный осветитель. Как видите, можно найти более подходящее применение для военной техники!

Правда, наладка и других узлов камеры — не менее кропотливое занятие. Вот, к примеру, как происходит сборка рабочего объема камеры. Все детали тщательно обезжириваются, моются горячей водой с мылом и протираются спиртом. Причем для этого используется замша или другой подобный материал, но никоим образом не вата и не обычная ткань, так как на стенках могут остаться слабые ворсинки, что совершенно недопустимо. Стекланные детали, особенно переднее стекло, приходится мыть несколько раз, чтобы на них не осталось подтеков. Стекло должно быть идеально прозрачным. Черный вельвет проваривается, сушится и натягивается на раму.

Дальше начинается настоящее священнодействие. Сборка производится в специально оборудованном помещении, увлажненном и, насколько возможно, очищенном от пыли. Лаборанты работают в белых халатах и передниках, в резиновых перчатках, пользуются стерильным инструментом. В общем, это больше напоминает хирургический кабинет, чем физическую лабораторию.

Собранная камера наполняется воздухом, аргоном или другим рабочим газом через фильтр, устраняющий

опасность попадания посторонних примесей. Затем — и это довершает сходство с хирургическим кабинетом — лаборант берет обычный медицинский шприц, делает прокол в резиновой пробке, вмонтированной в стенку камеры, и впрыскивает в нее конденсирующуюся жидкость (обычно смесь спирта и дистиллированной воды), после чего, не нарушая герметичности камеры, извлекает иглу. Камера готова к работе.

При сборке других узлов установки, в частности оптической системы, конечно, нет необходимости в такой хирургической чистоте, но требование аккуратности и точности остается непреложным.

На двух полюсах

Очень коротко расскажем о некоторых других разновидностях камер Вильсона.

Мы уже говорили в гл. 2, что для исследования космических лучей и других частиц, обладающих высокими энергиями, требуются значительные магнитные поля. Здесь уже не обойтись соленоидными катушками, как в камере УУК,— нужен мощный электромагнит. В зазор между его полюсами и вставляется рабочий блок камеры. В таком случае он должен быть сильно сплюснутым по глубине, но зато может иметь достаточно большой внешний диаметр. Очевидно, теперь клапаны удобно располагать не у дна подпоршневой камеры, а в радиальном направлении, причем их нужно защитить, заэкранировать от магнитного поля, иначе оно будет мешать их нормальной работе. По-иному будет выглядеть и стереофотоаппарат. Ведь его придется разместить прямо в теле магнитного полюса. Одно это требует от конструктора и экспериментатора не просто изобретательности, а поистине виртуозной изворотливости.

А вот другой пример. На рис. 26 изображена в разрезе типичная прямоугольная камера, предназначенная для исследования взаимодействия космических лучей с веществом. С этой целью в рабочий объем вставлено несколько свинцовых и графитовых пластин, укрепленных в прозрачном пластмассовом держателе. Чтобы они по возможности меньше затемняли фотографируемое поле, их пришлось расположить под различными

углами к оси. Камеры, внутри которых имеются посторонние предметы, особенно капризны. Но что поделаешь — до последнего времени это был чуть ли не единственный и уж во всяком случае самый наглядный способ изучения частиц высоких энергий.

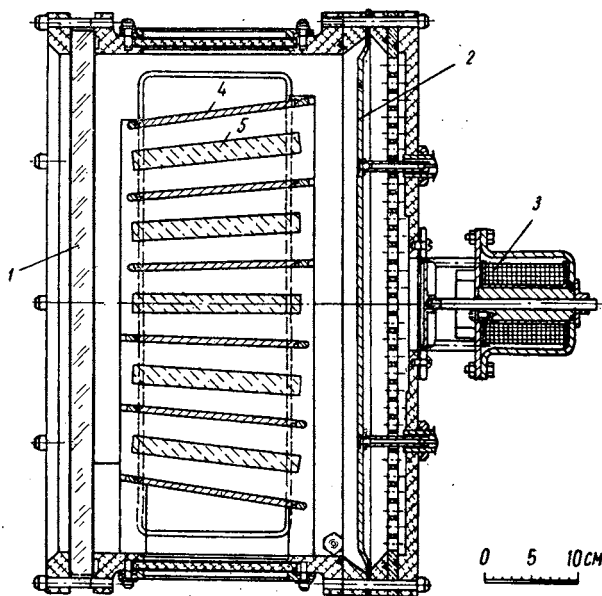


Рис. 26. Прямоугольная камера, предназначенная для исследования космических лучей:

1 — переднее стекло; 2 — поршень; 3 — клапан; 4 — свинцовая пластина; 5 — графитовая пластина.

Можно, правда, идти и другим путем — повышать давление в рабочем объеме камеры, увеличивая тем самым вероятность того, что частица столкнется с каким-нибудь атомом газа. Ведь чем больше давление, тем выше и плотность газа, или, иначе говоря, число атомов в единице объема.

И, действительно, уже в 1934 г. появилась первая камера, рассчитанная на 15 атм, а сейчас в лабораториях можно встретить камеры, работающие при колоссальных давлениях — до 200 и даже 300 атм. Это сложный и опасный агрегат, способный в случае аварии вызвать значительные разрушения. На рис. 27 показана

одна из таких камер, рассчитанная на давление до 100 атм.

Обычно рабочий объем такой камеры помещают в массивный стальной сосуд с весьма характерным наз-

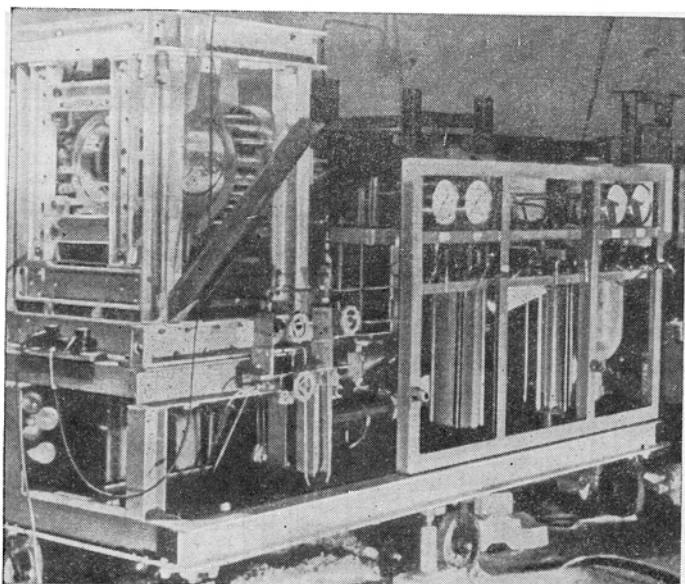


Рис. 27. Камера высокого давления.

ванием «бомба». Его заполняют маслом, глицерином или другой прозрачной жидкостью тоже под высоким давлением, но несколько меньшим, чем в камере (жидкость под давлением, в отличие от газа, неопасна). Это позволяет разгрузить стенки камеры, в частности переднее стекло, через которое производится фотографирование, и окна, служащие для освещения. Но все равно этим деталям приходится нелегко, особенно в моменты расширения, когда резко изменяется давление и происходит весьма ощутимый удар.

У камер высокого давления есть, помимо громоздкости и взрывоопасности, еще два существенных недостатка. Во-первых, чтобы очистить рабочий объем от посторонних ионов, приходится прикладывать сильные

очищающие поля. Если при атмосферном давлении требуется напряженность порядка 10 в/см , то при 200 атм и глубине 10 см нужно приложить напряжение около $20\,000 \text{ в}$. Это уже не шутка! Во-вторых, высокое давление газа препятствует теплообмену и поэтому очень долго восстанавливается тепловое равновесие. Так, например, в упомянутой камере на 200 атм мертвое время составляет 15 мин . Четверть часа простоя после каждого расширения!

На другом полюсе находятся камеры низкого давления. Они нужны для изучения частиц малой энергии, которые при обычных условиях способны пролететь не более нескольких миллиметров. В разреженной же атмосфере путь этих частиц растягивается, и можно без особого труда определять их энергии и другие свойства, наблюдать процессы взаимодействия и т. д.

Первая камера низкого давления родилась одновременно со своим антиподом — в 1934 г. Ее создателем был замечательный французский физик Фредерик Жолио-Кюри, изучавший в такой камере осколки деления ядер урана. Эти его работы стали важным этапом на пути осуществления цепной реакции и использования ядерной энергии.

За последние годы в технике конструирования подобных камер достигнуты поразительные результаты. Группа французских ученых, создала, например, камеру, в которой можно устанавливать любое давление от 10 до 760 мм рт. ст. Она пригодна для работы как в управляемом режиме — от счетчика, так и совместно с ускорителем, тем более, что мертвое время у нее составляет всего 40 сек .

И уж совсем удивительной кажется камера, сконструированная группой югославских физиков. Эта камера наполняется воздухом и парами какой-либо жидкости (вода, амиловый спирт и т. д.) под общим давлением $2\text{—}3 \text{ мм рт. ст.}$ Это значит, что частицы будут пролетать в ней расстояние, в $200\text{—}300$ раз большее, чем в обычном воздухе.

Камерой низкого давления невозможно управлять с помощью расположенного вне ее счетчика Гейгера — Мюллера. Если частица настолько слаба, что пролетает всего несколько миллиметров в воздухе, то она, конечно, неспособна пройти через стенки счетчика и камеры.

Поэтому обычно источник частиц малой энергии (точнее — малопробежных частиц) помещают внутри камеры. Но как же все-таки сделать камеру управляемой, чтобы не фотографировать вхолостую? Нашелся выход и из этой ситуации: стали помещать тонкостенные счетчики внутри рабочего объема камеры.

Более того, физики дошли до такого «нахальства», что заставляют камеру Вильсона выполнять одновременно и обязанности счетчика. С этой целью ее наполняют такой смесью (скажем, аргоном со спиртом), которая обычно содержится и в счетчиках, натягивают нити, подают на них нужное напряжение, и часть объема камеры становится счетчиком, только без стенок. Это даже лучше: частицам не нужно преодолевать никакого препятствия, чтобы сфотографироваться. Однако камера разборчива. Она снимает не все частицы, а лишь те, которые чем-то интересны — либо обладают определенной энергией, либо вызывают какие-то особые события и т. д.

Камера, работающая без отдыха

Всем хороша камера Вильсона, но уж больно ленива. Камера — ленива?! Эта замечательная труженица, позволившая ученым сделать величайшие, поистине исторические открытия, научившаяся работать самостоятельно и освободившая физиков от изнурительного, однообразного труда — и вдруг ленива?! Не слишком ли необоснованное обвинение? Впрочем, судите сами.

Обычная камера имеет чувствительное время, то есть время, когда она способна реагировать на прохождение частиц, порядка 0,01 секунды. А затем примерно полминуты набирается сил для следующего цикла. Значит, она отдыхает в 3000 раз больше, чем работает. Бывает еще хуже. У описанной выше камеры высокого давления (на 200 атм) чувствительное время составляет около 0,1 секунды, а мертвое — 15 минут, то есть в 10 000 раз больше. Вот вам и «неутомимая труженица»!

Физиков давно уже беспокоит этот недостаток камер, и они непрерывно ведут с ним борьбу. Решение, естественно, можно искать по двум путям: во-первых,

увеличивать чувствительное время и, во-вторых, сокращать мертвое.

Еще в 1935 г. Дж. Бирден создал камеру диаметром 20 см и глубиной 4 см, которая обладала рекордным чувствительным временем — две секунды! Это позволило регистрировать на каждом снимке в среднем четыре космические частицы. Как добился Бирден столь поразительного результата? В общем его идея довольно проста: после быстрого адиабатического расширения некоторое время продолжается медленное расширение, так что в камере сравнительно долго поддерживаются условия пересыщения.

Немало было сделано и для сокращения мертвого времени. Мы уже касались этого вопроса, когда говорили о перекомпрессии. В литературе описана небольшая камера, в которой циклы повторяются каждые 2,5 секунды. Но, к сожалению, совместить в камере Вильсона это быстродействие с длительной чувствительностью невозможно. Одно мешает другому.

А как хотелось бы! И не просто хотелось — это совершенно необходимо. Ведь камеры широко используются совместно с ускорителями, которые выдают по крайней мере один раз в несколько секунд пучки частиц, причем длительность их импульса обычно значительно превышает чувствительное время камеры. Следовательно, большая часть этих частиц не изучается — ускоритель работает вхолостую. Совершенно недопустимое расточительство!

Но где же выход? Его попытался найти А. Лангсдорф. В 1936 году он разработал теорию и поставил эксперименты, стремясь получить пересыщение не в результате мгновенного расширения, а за счет непрерывной диффузии теплых насыщенных паров в холодную область. Эксперименты оказались удачными, и в 1939 г. он построил первую непрерывно чувствительную камеру Вильсона — так называемую *диффузионную камеру*. Она была довольно сложной и в общем не привлекла к себе особого внимания физиков. С ней повторилась та же история, что и с первой камерой Вильсона, — в течение десяти лет этой идеей почти никто, кроме самого Лангсдорфа, не интересовался. Очевидно, для ее реализации еще не пришло время.

И вдруг в начале 50-х годов появилась целая серия статей с описанием конструкций диффузионных камер и полученных с их помощью результатов. Оказалось что камера, в сущности, невероятно проста и весьма устойчива в работе. Ее можно изготовить не только в любой исследовательской, но и учебной лаборатории. Посмотрите на рис. 28. Здесь показан схематический разрез диффузионной камеры, но реальная камера лишь немногим сложнее этой схемы.

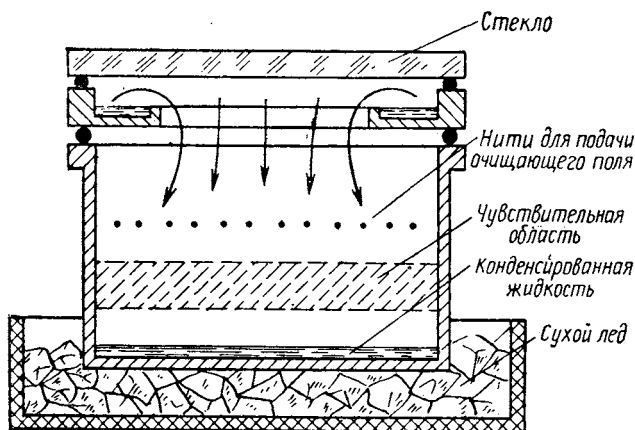


Рис. 28. Схема диффузионной камеры.

Камера состоит из стеклянного сосуда, металлического лотка и стеклянной крышки. Места стыков герметизированы резиновыми прокладками. В лоток налит метиловый спирт. По металлическим трубкам вокруг лотка циркулирует горячая вода; она нагревает лоток, заставляя спирт испаряться и диффундировать вниз. Чтобы увеличить разность температур и усилить тем самым диффузию, дно цилиндра погружают в ванну с сухим льдом — твердой углекислотой. Вот, собственно, и все, если не считать нитей для подачи очищающего поля.

Вверху, у крышки камеры, газ насыщен парами спирта. Диффундируя вниз, эти пары попадают в более холодную область и создают пересыщение. Но конденсация пара еще не происходит — нет центров, ядер кон-

денсации. Как и в обычной, *расширительной*, камере Вильсона, такими центрами могут служить ионы, образованные на пути заряженной частицы. Вот и формируется трек.

Если в камеру ввести слабый α -активный источник, то можно увидеть, как возникают легкие белые палочки треков, потом они медленно падают вниз и рассыпаются на отдельные крупинки, а их место занимают новые воздушные треки. Это, поистине, восхитительное зрелище! Вы видите вылет α -частиц, можете проследить за направлением их полета, посчитать их, а если посчастливится, то наблюдать ядерную реакцию—взаимодействие α -частицы с ядром газа.

В действительности чувствительным к излучению является, конечно, не весь объем камеры, а сравнительно тонкий, 5—10-сантиметровый слой. Между нитями, натянутыми непосредственно над чувствительной областью, и лотком, создается очищающее поле, своего рода дворник, убирающий мусор — посторонние ионы, чтобы они не загрязняли чувствительную область. Правда, перед фотографированием это поле приходится убирать — иначе оно исказит треки.

Диффузионные камеры не очень подходят для исследования отдельных космических частиц, но они удобны для регистрации широких атмосферных ливней (см. стр. 64). Можно расположить на большом расстоянии несколько таких камер и фотографировать следы по сигналу о прохождении ливня. Это позволяет сразу «поймать» множество частиц, выяснить их характер, определить плотность ливня (количество частиц, проходящих через единицу площади) и т. д.

Однако главное назначение диффузионных камер — изучение пучков заряженных частиц от ускорителя. С этой целью созданы камеры большого размера (диаметром до 1 м) и работающие при высоких давлениях — до 25—30 атм. Они, конечно, посложнее, чем первая камера Лангсдорфа.

Преимущества диффузионной камеры по сравнению с расширительной можно видеть на таком примере. Если расширительная камера диаметром 50 см, наполненная тяжелым газом при атмосферном давлении, способна срабатывать лишь с интервалами в 1—2 минуты, то аналогичная диффузионная камера позволяет полу-

чать снимки каждые 5—10 секунд. По крайней мере, 6-кратный выигрыш! При высоких же давлениях выигрыш становится 15—20-кратным. В результате быстрее набирается «статистика» при изучении интересующего физиков события, а следовательно, экономится время работы ускорителя.

На рис. 29 показана фотография пучка протонов с энергией 150 Мэв от циклотрона. Она получена в Ха-

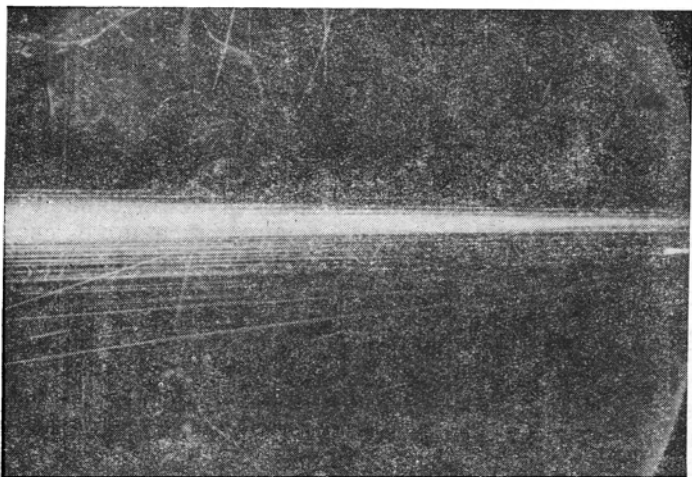


Рис. 29. Снимок пучка протонов с энергией 150 Мэв, полученный в диффузионной камере.

руэлле (Англия) с помощью диффузионной камеры, наполненной водородом под давлением 20 атм.

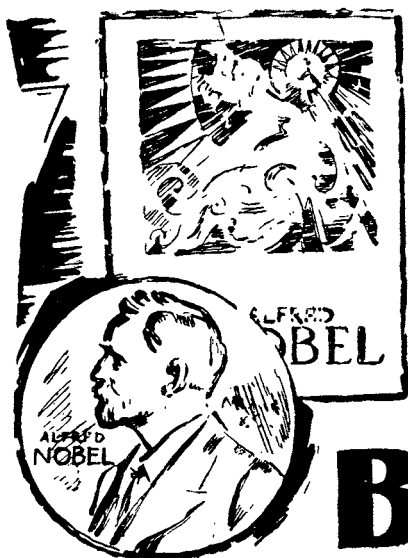
Итак, достоинства диффузионной камеры очевидны. Но столь же очевидны и ее недостатки. Из-за непрерывной чувствительности в ней остается много старых треков, которые создают постоянный фон и затемняют снимок. В этом легко убедиться, если поместить вблизи камеры радиоактивный источник. Сначала образуются четкие, резкие треки, а затем все более размытые. Потом они рассыпаются на отдельные капли, падающие в виде дождя. Скорее это даже похоже на снежную крупу. Когда же источник убирается, камера постепенно очищается и вновь треки становятся четкими.

Значит, существует предельная загрузка, которую допускает диффузионная камера. Она зависит от газа, наполняющего камеру, температурных условий, очищающего поля и некоторых других факторов.

Диффузионные камеры не вытеснили и не способны вытеснить обычные расширительные камеры Вильсона. Главным образом из-за качества снимков. Во всех случаях, когда требуются сверхточные, прецизионные измерения, физики пользуются услугами камеры Вильсона. Точнее, пользовались. В последние годы она все-таки вынуждена была уступить место новому экспериментальному прибору, о котором рассказывается в следующей главе.

ГЛАВА 4
„АНТИКАМЕРА
ВИЛЬСОНА“

Ширится
мир частиц



В

КОНЦЕ 40-х годов

физики вновь столкнулись с серьезными трудностями. Неожиданно были обнаружены новые элементарные частицы с какими-то очень странными свойствами. Их так и называли — «странными» частицами. Они не укладывались ни в какие схемы, не подчинялись никакой систематизации. Впрочем, они не поддавались и изучению: те редкие снимки, на которых удалось зарегистрировать новые частицы, мало что говорили об их свойствах. А между тем совершенно необходимо было разорвать скрывавшую их завесу. Может быть, именно они помогут найти ответ на вопрос вопросов: из чего же состоит материя?

До открытия мезонов все, казалось, было ясно: атомы состоят из электронов, протонов и нейтронов. Существуют еще фотоны — порции электромагнитного излучения, которые «здравый смысл» никак не хочет признавать частицами. Потом появился позитрон, первый пришелец из антимира, и стало ясно, что должны существовать антиподы и других частиц. Когда возник вопрос о ядерных силах, на арену вышли мезоны. Оказалось, что бывают мезоны двух типов, и это внесло некоторую сумятицу, но все же физики не теряли надежды найти и тем и другим место в системе частиц. Наконец, чтобы предотвратить крушение законов сохранения

энергии и импульса при β -распаде ядер и некоторых других процессах, пришлось предположительно ввести еще одну частицу — нейтрино. Она почти неуловима, и физики в те годы могли только мечтать о том, чтобы как-то зарегистрировать ее. Но в ее существовании никто не сомневался.

Ну, вот и весь мир элементарных частиц, известных 13—15 лет назад. Были сравнительно хорошо изучены их свойства, было установлено, как одни из них превращаются в другие, и вот-вот ожидалось создание теории и систематики этих частиц.

И вдруг все рушится — в космических лучах обнаружены новые частицы. Одна, две, три, десять... Они живут недолго — значительно меньше миллиардной доли секунды, но ведь живут, существуют... Надо выяснить их свойства, законы распада, взаимопревращения. Словом, физика элементарных частиц вернулась к исходному рубежу.

К несчастью, «странные» частицы появляются в космических лучах исключительно редко. Если полагаться на природу, то пройдут годы, а то и десятилетия, прежде чем удастся накопить достаточный экспериментальный материал. Выход один — надо создавать их искусственно, с помощью ускорителей. Однако здесь уже не годятся ускорители на мегаэлектронвольты и даже на десятки мегаэлектронвольт, нужно перешагнуть новый рубеж, в десятки, сотни раз поднять уровень энергий. Это не просто количественный, а качественный скачок, прыжок в неизведанную область — физику высоких энергий.

В начале 50-х годов в Советском Союзе, США, в некоторых странах Западной Европы стали один за другим вступать в строй гигантские ускорители. Они выдавали мощные пучки самых различных частиц: протонов, дейтронов, мезонов, электронов. Вот где наверняка можно получить много загадочных «странных» частиц! Да, наверное... Но как, на чем их изучать?

— То есть, что значит «на чем»? — скажете вы. — А для чего камеры Вильсона, диффузионные камеры?

В том-то и загвоздка: они не годятся для этих целей. Частица высокой энергии пронизывает камеру, почти не замечая молекул газа, влетает и вылетает, так и не вызвав ядерной реакции. Разве что выбьет из некоторых молекул электроны и оставит за собой редкую це-

почку ионов, из которых сложится едва различимый след. А ведь нужно совсем иное. Необходимо, чтобы частица встретила на своем пути плотную завесу ядер и вынуждена была «продираться» сквозь них, растратив свою энергию и вызывая какие-то процессы. Именно они, эти процессы, и интересуют физиков.

Даже камеры высоких давлений оказываются малоэффективными для этой цели. Вот, скажем, описанная выше камера Вильсона на 200 атм, наполненная аргоном, эквивалентна по своей тормозной способности примерно 60 метрам воздуха при атмосферном давлении. А частицы, выдаваемые современными ускорителями, способны пролетать в воздухе сотни метров. Кроме того, как мы уже отмечали, эти камеры слишком медлительны: они срабатывают один раз в 15 минут, а то и еще реже. Ускоритель же выдает импульсы частиц через несколько секунд. Что ж он будет делать все остальное время, пока камера «отдыхает»?

Можно, правда, прибегнуть к помощи ядерных фотоэмульсий. Они обладают достаточной плотностью и, следовательно, тормозной способностью (она в 1800 раз выше, чем у воздуха), так что если сложить 40—50 слоев эмульсии, то удастся затормозить даже самую энергичную частицу. Но попробуй потом разберись в образовавшихся следах! Ведь каждый слой надо просматривать под микроскопом отдельно, регистрировать в нем все следы, затем сравнивать со следами во всех других (а не только соседних) слоях. Титанический, а при интенсивном пучке просто бесполезный труд.

Нужно что-то другое. Новая область физики требует и новых экспериментальных средств.

Эврика!

Какими средствами исследовать новые явления — над этой проблемой задумывались, конечно, многие ученые. Среди них и молодой американский физик Дональд Глезер. Он как раз заканчивал работу над своей докторской диссертацией по космическим лучам, которую выполнял под руководством лауреата Нобелевской премии проф. К. Д. Андерсона, когда появились первые сообщения об открытии «странных» частиц. Эти исследования всерьез заинтересовали Глезера. Он чувство-

вал, что на этом пути могут родиться новые и глубокие идеи о законах, управляющих природой в самой ее основе, на субмикроскопическом уровне. Совершенно необходимо было собрать обширную экспериментальную информацию о рождении, распаде и взаимодействии «странных» частиц.

Глезер стал перебирать существовавшие методы обнаружения и регистрации частиц. Ни один из них не удовлетворял новым требованиям, но они могли подсказать ученому идею, натолкнуть на правильное решение. Ведь в основе действия всех без исключения детекторов ядерного излучения лежит нечто общее. Действительно, во-первых, все они в ожидании прихода частицы находятся в неустойчивом равновесии, как спортсмен на трамплине, приготовившийся к прыжку в воду. В камере Вильсона неустойчивость связана с перенасыщенным паром, в фотоэмульсии — с зернами бромистого серебра, в счетчике Гейгера — с высоким напряжением. И приход частицы выводит их из этой неустойчивости. Во-вторых, все они многократно усиливают слабый эффект, вызываемый прохождением частицы: в камере Вильсона ионизация приводит к конденсации паров, в фотоэмульсии — к распаду химического соединения, в счетчике Гейгера — к электрическому пробою. Очевидно, решил Глезер, на тех же принципах должен базироваться и новый детектор. Но, помимо всего прочего, он должен быть плотным — твердым или жидким, — чтобы задерживать сверхбыстрые частицы.

Надо найти какой-то подходящий вид неустойчивости в жидкости или твердом теле. Но какой? Интересно, например, процесс полимеризации мономеров, когда сравнительно небольшие молекулы простого органического вещества, скажем этилена, под действием излучения соединяются в цепочки, образуя уже сложное вещество — полиэтилен. На пути пролета заряженной частицы в жидком мономере обязательно останется след. Метод, вообще говоря, заманчив, но страдает одним недостатком: очень трудно перевести полимер обратно в состояние мономера, а это значит, что детектор не сможет обеспечить высокую цикличность. Ускорители же требовали, чтобы детектор был готов к приему новой порции частиц каждые несколько секунд, а то и через долю секунды.

Итак, химический метод не годится. По той же причине Глезер отказался и от применения какого-нибудь твердого материала: в твердых телах переходы из одного состояния в другое и обратно совершаются с трудом.

Остались жидкие вещества. Глезер сразу же подумал о двух видах неустойчивого равновесия: либо переохлажденная, либо перегретая жидкость. В первом случае вода или какая-либо другая жидкость охлаждается до температуры ниже точки замерзания, но остается еще некоторое время жидкой. И лишь заряженная частица заставит на своем пути выпасть кристаллики льда. Во втором случае жидкость, наоборот, нагревается до температуры выше точки кипения и при пролете частицы начинает закипать. Глезер решил теоретически исследовать второй процесс, чтобы выяснить, насколько он пригоден для регистрации частиц.

В 1950—1951 годах Глезер разработал электростатическую теорию роста пузырьков. В чистой перегретой жидкости, если ее не тревожить, существует так называемое динамическое равновесие: сколько пузырьков образуется, столько и разрушается. Ни один из них не вырастает до достаточно больших размеров, чтобы всплыть на поверхность. Если же направить в жидкость поток быстрых заряженных частиц, ситуация в корне изменится. Эти частицы будут разрушать нейтральные молекулы на положительные ионы и отрицательные электроны, вокруг которых начнут формироваться пузырьки пара. Когда в одной точке сосредоточено несколько таких ионов, электрический заряд распределится по сфере пузырька и сила электростатического отталкивания будет стремиться раздуть его. Вот и весь механизм роста пузырьков.

Поставленные Глезером эксперименты как будто бы свидетельствовали в пользу этого механизма. Но выполненные затем более тщательные исследования показали, что дело, видимо, совсем в ином. Глезеру пришлось отказаться от электростатической теории и выдвинуть в 1956 году новую, тепловую, теорию формирования пузырьков. По этой теории, при образовании заряженных ионов выделяется тепло, которое вызывает дополнительный местный перегрев и, следовательно, вскипание.

Но, еще веря в свою электростатическую теорию, Глезер начал скрупулезно изучать одну за другой различные жидкости, чтобы выяснить, можно ли осуществить на практике свою идею. Естественно, что он не в силах был сам исследовать их свойства. Да в этом и не было необходимости. Ни одна научная идея, как бы она ни была оригинальна и даже неожиданна, не рождается «из ничего» — она всегда базируется на накопленном человечеством знаниях. Очевидно, и перегретыми жидкостями ученые уже давно занимались, хотя преследовали при этом иные цели, и Глезер, просмотрев огромное количество книг и особенно журнальных статей, нашел богатый материал, который мог оказать ему неоценимую помощь.

Среди различных жидкостей особое внимание Глезера привлек диэтиловый эфир. Расчеты показали, что ионизирующее излучение должно вызвать в нем вскипание при температуре около 140°C . Да, но нормальная точка кипения диэтилового эфира всего $34,6^{\circ}\text{C}$. Выдержит ли он более чем стоградусный перегрев?

Глезеру попала на глаза работа группы ученых — Ф. Кенрика, К. Гильберта и К. Визмера, выполненная еще в 1924 г. Они обнаружили, что при температуре ниже 130°C диэтиловый эфир можно спокойно оставлять на несколько часов — он не закипит, зато при последующем быстром нагреве до 140°C он бурно вскипает. Но жидкость ведет себя весьма странно. То она вскипает немедленно, то через некоторое время, причем невозможно заранее предугадать, когда это произойдет. Чтобы продемонстрировать «капризность» этой жидкости, авторы привели в своей работе времена запаздывания вскипания, полученные в 30 экспериментах. Все они оказались разными, но подчиняющимися закону случайных событий («распределение Пуассона»).

И Глезера осенила догадка: диэтиловый эфир, вероятно, вскипает под действием космических лучей! Узнав из работы Кенрика, Гильберта и Визмера размеры их колбы, Глезер вычислил частоту попадания в нее космических частиц и установил, что эта частота в точности совпадает с частотой вскипания жидкости.

Но не случайное ли это совпадение? Надо поставить контрольные эксперименты, и, конечно, не с космическими лучами, которыми невозможно управлять,

а с обычным радиоактивным источником. И предположение блестяще подтвердилось. Стоило поднести к колбе с диэтиловым эфиром, нагретым до 140°C , γ -активный препарат, как спокойная жидкость начинала мгновенно бурлить. Сомнений не оставалось: перегретая жидкость может служить детектором излучения!

Ну хорошо, к большому числу детекторов прибавился еще один. Но тот ли он, которого ждут физики? Способен ли он регистрировать сверхбыстрые частицы, про-

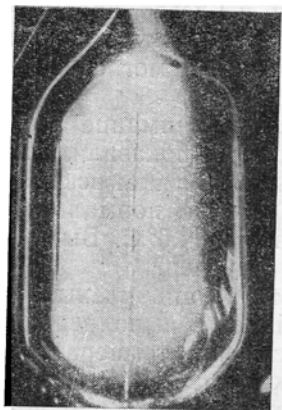


Рис. 30. Трек μ -мезона в первой пузырьковой камере Д. Глезера.

изводящие минимальную ионизацию? А кроме того, происходит ли вскипание сначала по следу, оставляемому частицей, и можно ли сфотографировать пузырьки на ранней стадии, пока еще не забурлила вся жидкость? Только положительные ответы на эти вопросы могли подтвердить право на существование нового детектора. Иначе какой в нем прок?

Началась новая серия экспериментов. Глезер сконструировал свою первую камеру. Это была небольшая стеклянная колбочка цилиндрической формы (длиной 3 см и внутренним диаметром 1 см) с прямой тонкой трубкой. Колбочка наполнена диэтиловым эфиром и опущена в сосуд с го-

рячим маслом. Чтобы эфир раньше времени не закипел, на него давит небольшой поршень, герметически перемещающийся в трубке. Ведь чем выше внешнее давление, тем выше температура кипения, и наоборот. (Всем, вероятно, известна шутка о том, как один незадачливый турист в горах никак не мог сварить яйца, хотя кипятил их целых полчаса. Ему было невдомек, что из-за более низкого давления вода кипела не при 100°C , а при гораздо более низкой температуре.)

Итак, поршень предохраняет эфир от кипения. Но стоит его отодвинуть, как давление в колбе резко упадет и эфир сможет закипеть. Это напоминает бутылку минеральной воды. В закупоренном виде вода спокойна, но как только снимается пробка, начинается бурное

выделение пузырьков, причем (обратите внимание: это очень важно!) они образуются не по всему объему, а в каких-то отдельных точках у дна бутылки.

Правда, эфир закипает только в том случае, если в него попадает ионизирующая частица. Чтобы изучить процесс формирования пузырьков, Глезер использовал скоростной киноаппарат, позволявший получать 3000 кадров в секунду. Он установил, что на снимках,

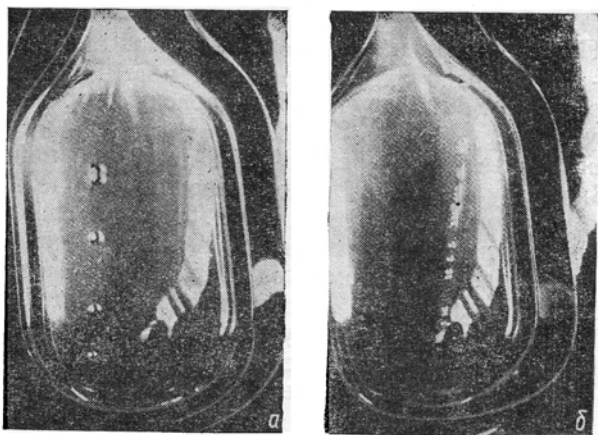


Рис. 31. Развитие пузырьков в камере Глезера:
а — снимок получен при длительности вспышки 60 мксек;
б — снимок получен с задержкой 10 мксек и с вспышкой длительностью 20 мксек.

сделанных через несколько микросекунд (то есть миллионных долей секунды) после прохождения частиц, обычно видны превосходные следы их. На рис. 30 воспроизведена одна из первых фотографий трека μ -мезона, полученная Глезером в 1953 г. Эта фотография была опубликована в журнале «Физикал ревю» в качестве иллюстрации к знаменитой статье Глезера.

Два следующих снимка (рис. 31) демонстрируют развитие пузырьков в камере. Один из них (а) получен с импульсной лампой, вспышка которой длится 60 микросекунд. За это время пузырьки успевают вырасти до значительных размеров. Второй снимок (б) получен спустя 10 микросекунд после пролета частицы, причем длительность вспышки составляла 20 микросекунд.

Всем стало ясно: новый детектор не только имеет право на существование — это именно то, что совершенно необходимо физикам, без чего они не могут вести исследования элементарных частиц, это настоящий спасательный круг. Глезеровский прибор — он получил название *пузырьковой камеры* — нашел свое место в лаборатории.

Снова в Стокгольме

— Пузырьковая камера — это «антикамера Вильсона», — так образно охарактеризовал новый прибор профессор К. Зигбан, вручая Нобелевскую премию Дональду Глезеру.

Декабрь 1960 г. Через 33 года после вручения премии Вильсону мы снова в королевском дворце в Стокгольме, и снова все тот же проф. Зигбан, ставший за эти годы одним из крупнейших в мире специалистов в области строения атомного ядра, зачитывает постановление Нобелевского комитета о присуждении премии Д. Глезеру. Нужно ли удивляться, что свою речь Д. Зигбан начал с рассказа о событиях 50-летней давности — об изобретении камеры Вильсона.

— Она, — заявил оратор, — несомненно, сыграла исключительно важную роль, особенно в 30-е годы, которые мы называем золотым веком ядерной физики. Именно камера Вильсона сделала возможными величайшие открытия этого десятилетия. Она была в тот период идеальным исследовательским прибором...

Но почему же пузырьковая камера — «антикамера Вильсона»? Да просто потому, что она является как бы зеркальным отражением последней: если в камере Вильсона след частицы состоит из капелек жидкости, парящих в газе, то в камере Глезера, наоборот, след состоит из пузырьков газа, плавающих в жидкости.

Обычно каждая новая теория, каждое открытие, изобретение требуют некоторого времени для своего признания и распространения. Ведь даже такой изумительный прибор, как камера Вильсона, лишь через десять лет после своего рождения начала триумфальное шествие по лабораториям мира, и прошло целых 16 лет, прежде чем ее изобретателю была присуждена Нобелевская премия.



Дональд А. ГЛЕЗЕР

Пузырьковая же камера не ждала буквально ни одного дня. Как в ядерном реакторе возникновение одного-единственного нейтрона порождает цепную реакцию, так и появление первого глезеровского прибора вызвало лавину новых пузырьковых камер самых различных типов, размеров, конструкций. Сейчас, конечно, нет ни одной лаборатории высоких энергий, где не работало бы несколько таких камер. Ежемесячно в физических журналах всех стран публикуются сотни, если не тысячи, статей с описаниями конструкций камер или отдельных их узлов, методики работы на них, полученных результатов и т. д. За несколько лет с помощью пузырьковых камер было открыто много новых элементарных частиц, выполнены исключительно важные исследования. Вот почему Д. Глезер и удостоился высшей научной награды — Нобелевской премии, причем это произошло вдвое быстрее, чем присуждение такой же премии Ч. Т. Р. Вильсону.

Между прочим, Нобелевские премии за какие-то изобретения, за разработку принципиально новых экспериментальных методов присуждаются довольно редко и уж во всяком случае после того, как практически доказана их плодотворность. Напомним, что Вильсон разделил премию с А. Комптоном, открывшим свой замечательный эффект при помощи именно камеры Вильсона. А за год до Глезера, в 1959 г., Нобелевскую премию получили Э. Сегре и О. Чемберлен за открытие антипротона, в изучении свойств которого пузырьковая камера приняла самое непосредственное участие.

Но хотя сама пузырьковая камера немедленно после своего рождения начала победное шествие по лабораториям мира, потребовалось некоторое время (ни много ни мало — восемь лет), прежде чем Нобелевский комитет признал, что она доказала свою экспериментальную мощь, и счел возможным присудить ее создателю премию.

„Чистые“ и „грязные“

Давайте рассмотрим несколько наиболее распространенных типов современных пузырьковых камер.

Вначале камеры, как, например, и первый глезеровский прибор, изготавливались только из стекла, без ис-

пользования каких-либо других материалов. Поэтому то они и получили название «чистых» камер. Это цилиндрический или прямоугольный сосуд со стеклянной трубкой, в которой перемещается поршень (рис. 32). Очень важно, чтобы стеклянная колба была идеально гладкой, без острых углов и резких переходов; в противном случае пузырьки возникают в первую очередь не на ионах, а у стенок, как в бутылке с минеральной водой.

В качестве рабочей жидкости на смену диэтиловому эфиму вскоре пришли более подходящие органические вещества: пентан, пропан и др.

Вообще говоря, для пузырьков камер пригодны в той или иной степени многие жидкости при одном непременном условии: они должны содержать минимальное количество радиоактивных изотопов, иначе будут возникать треки на продуктах распада этих изотопов еще до прихода интересующих нас частиц. Нельзя, например, наполнять камеру органическими веществами (спиртом, эфиром и т. д.), полученными в результате переработки картофеля. Дело в том, что картофель, как и всякое другое растение, усваивает углекислый газ из воздуха, содержащий сравнительно большой процент радиоактивного углерода C^{14} (один атом C^{14} на 10^{12} атомов обычного углерода C^{12}), и β -частицы, испускаемые им, создают вредный фон. Наиболее подходят вещества, приготовленные из нефти, но взятой не в любых, а в древнейших по своему возрасту месторождениях. В такой нефти большая часть радиоуглерода успела уже распасться.

Чтобы отделить рабочую жидкость от расширительной системы, часто используются различные несмешивающиеся жидкости, в частности глицерин или этиленгликоль. Во многих «чистых» камерах расширительный механизм—будь то поршень или резиновая диафрагма—

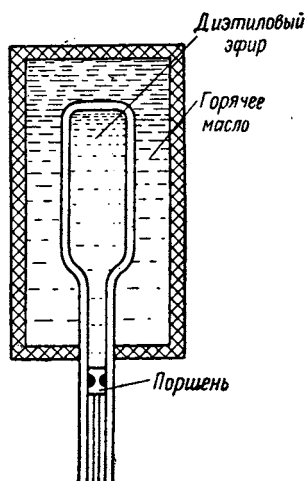


Рис. 32. Схема «чистой» пузырьков камер.

размещается в специальной металлической трубке, которая соединяется со стеклянной при помощи резиновых прокладок. Тогда можно сделать так, чтобы жидкость в металлической части была несколько холоднее, чем в колбе, и здесь не будет выделяться большого количества пара, который обычно повышает давление в системе и мешает процессу расширения.

«Чистые» камеры обладают одним ценным преимуществом: в них с трудом происходит «самовскипание», поэтому они могут очень долго — несколько секунд — ждать прихода ионизирующих частиц. Но это преимущество сводится на нет ее недостатками. Невозможно изготовить чисто стеклянную камеру большого размера. То есть, вообще говоря, можно, но она будет иметь цилиндрическую или шарообразную форму, и при фотографировании через ее изогнутые стенки изображение треков на снимках получится искаженным. Изготовление же стеклянного сосуда с идеально плоскими стенками — практически неосуществимая задача.

За истекшее десятилетие, правда, удалось далеко уйти от первой камеры Глезера, которая, напомним, была объемом всего 3 см^3 , но все же и современные «чистые» камеры не слишком велики. Максимальная из них имеет объем 450 см^3 , меньше половины литра. Ну, разве может такая малютка удовлетворить растущие аппетиты физиков?

Сам Глезер сразу же понял, что на стеклянных камерах далеко не уедешь. Однако возможность создания металлических камер со стеклянными окнами, подобных камерам Вильсона, казалась весьма сомнительной. Ведь места соединений металла со стеклом, острые углы, резиновые прокладки — все это явится центрами кипения, причем пузырьки здесь, по всей видимости, будут возникать раньше, чем на ионах.

А впрочем, почему не попробовать? И Глезер изготовил новую камеру — из металла и стекла (рис. 33). Такая камера получила название «грязной». Чтобы предупредить возможное вскипание, Глезер тщательно отполировал внутреннюю поверхность ее, по возможности сгладил острые углы и принял другие необходимые меры предосторожности. И получилось! В камере удалось сфотографировать превосходные треки! Правда, вскипание в стыках, особенно вблизи резиновых прокладок,

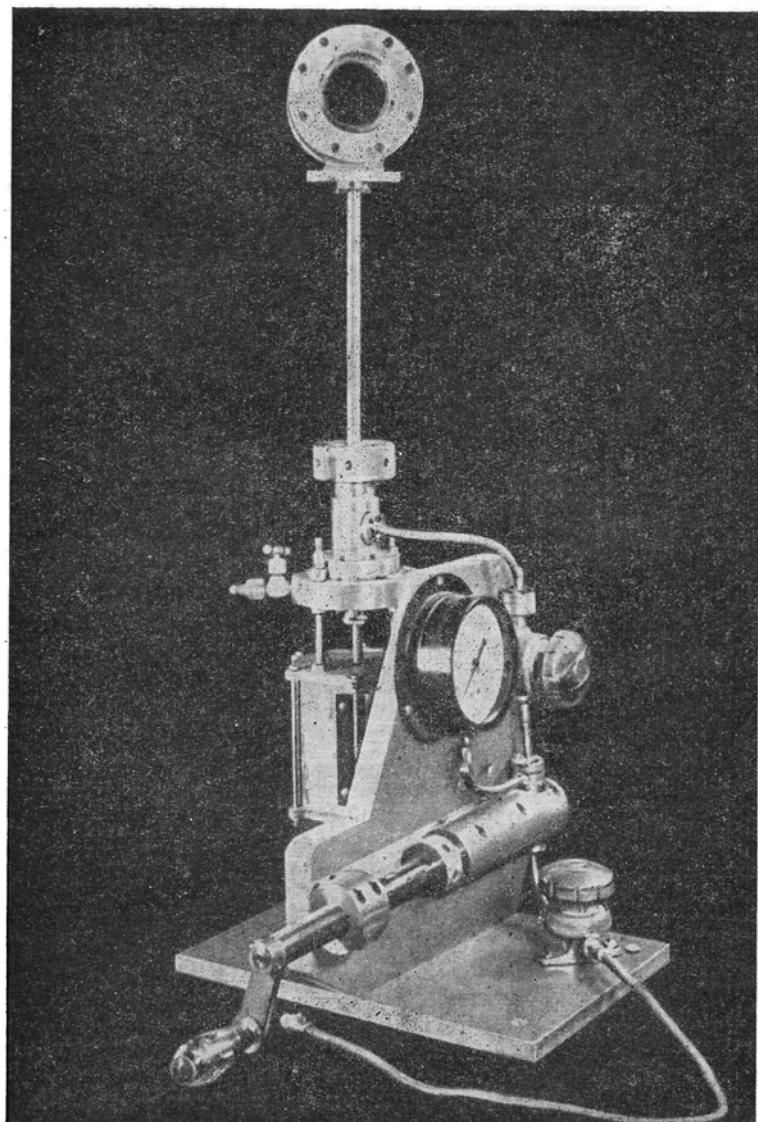


Рис. 33. Первая «грязная» пузырьковая камера Д. Глезера.

заставляет работать при значительно большем перегреве, что резко снижает время чувствительности «грязной» камеры, но это уже мелочь. Главное — такая камера работает, и работает надежно!

Сейчас подавляющее большинство пузырьковых камер сооружается именно из металла, и даже как-то обидно, что их по-прежнему именуют «грязными» камерами (правда, лишь в книгах, а не в разговоре между физиками). Будем надеяться, что, когда «чистые» камеры станут достоянием истории — а так, видимо, и будет, — вообще отпадет необходимость в термине «грязная» камера; останется просто название «пузырьковая камера», и этим все будет сказано. Но пока приходится пользоваться официальной систематикой.

В «грязной» камере вскипание в углах все-таки происходит. Поэтому мало произвести быстрое расширение, сбросив тем самым давление с жидкости, — надо еще обеспечить непрерывное увеличение объема для выделяющегося в результате кипения пара. Очевидно, чем меньше мест, где может возникнуть кипение, тем меньше должен быть коэффициент расширения. Обычно он составляет около 5%.

Чтобы расширение протекало быстро, беспрепятственно, в «грязной» камере уже нельзя соединять расширительную систему с рабочим объемом тонкой трубкой. Чаще всего диафрагма или поршень служат одной из стенок пузырьковой камеры, как это было и в камере Вильсона, или на худой конец соединены с рабочим объемом короткой трубкой большого диаметра. Но в таком случае расширительное устройство находится при той же температуре, что и рабочая жидкость, а это несколько усложняет его работу. Ничего не поделаешь: опять, как и во многих уже описанных случаях, приходится выбирать из двух зол меньшее.

После быстрого расширения и некоторой выдержки, необходимой для образования и роста пузырьков, производят такое же быстрое сжатие. Это нужно, чтобы вновь превратить пар в жидкость и, кроме того, вернуть жидкости тепло, затраченное ею на парообразование. При очень быстром сжатии удастся «втиснуть» в жидкость это тепло именно в том месте, где оно затрачено. В результате уменьшается время, необходимое для теплообмена, и ускоряется цикл. Обычно пузырько-

вые камеры способны срабатывать раз в несколько секунд, а лучшие из них делают несколько циклов в секунду. Какой это колоссальный скачок от камер Вильсона высокого давления, у которых «мертвое время» составляет — стыдно сказать — 15, а то и все 30 минут!

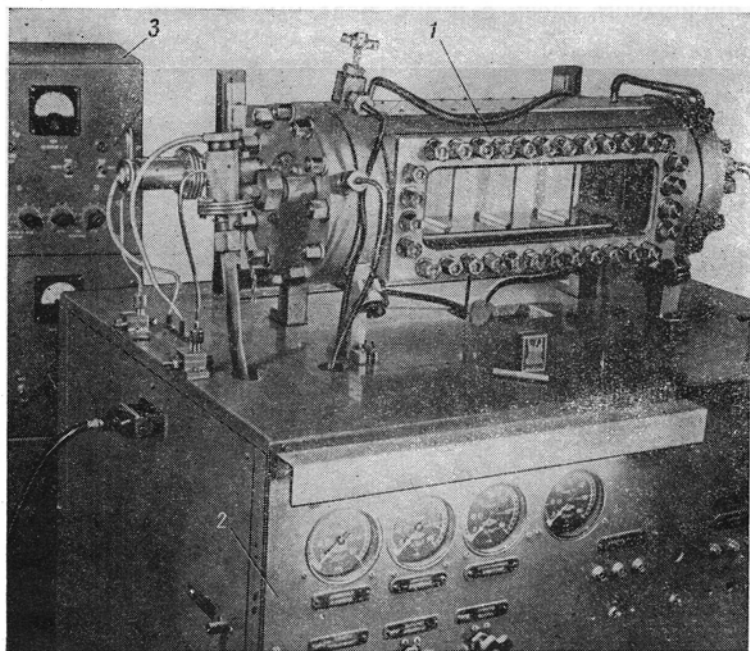


Рис. 34. Четырехлитровая пропановая камера, созданная в Физическом институте Академии наук СССР:

1 — рабочий блок камеры; 2 — панель регулировки режима давления; 3 — пульт управления.

«Грязные» камеры сразу же позволили увеличить объем рабочего пространства. На рис. 34 показана одна из первых пропановых камер, созданная в Физическом институте Академии наук СССР в 1956 г. и использованная для изучения рассеяния μ - и π -мезонов. Полезный объем ее составляет целых четыре литра.

Это уже довольно сложное сооружение, но и оно кажется игрушкой в сравнении с камерой, изображен-

ной на рис. 35. Это одна из крупнейших в мире фреоновая камера объемом 570 литров, также построенная в Физическом институте АН СССР в 1959 году. Представляет себе: более половины кубометра! Какое обширное поле деятельности для элементарных частиц! Сколько интересных, поистине захватывающих событий происходит здесь с ними: и взаимодействие, и распад,

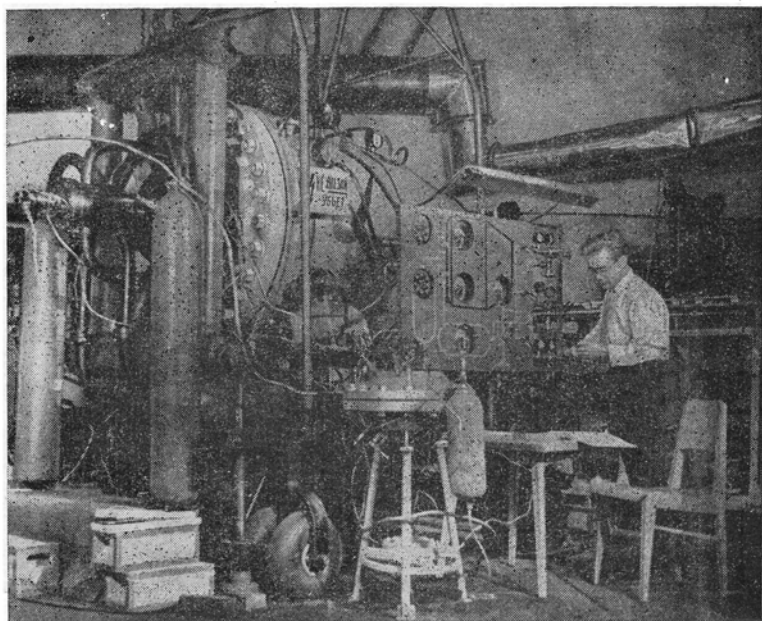


Рис. 35. Фреоновая камера объемом 570 л, созданная в Физическом институте Академии наук СССР.

и аннигиляция, и рождение новых, иногда неизвестных доселе частиц! Эта камера работает совместно со знаменитым синхрофазотроном на 10 миллиардов электрон-вольт в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне, и с ее помощью получены интересные результаты. На рис. 36 воспроизведен один из снимков, на котором видны треки частиц от синхрофазотрона.

Несведущему человеку очень трудно разобраться в нагромождении баллонов, труб, проводов на фотогра-

фии камеры. Ясно лишь одно, что конструкция тяжелая (об этом говорят авиационные шасси и цепи подъемного крана) и опасная («Не влезай — убьет!»). Попробуем все же понять, что к чему.

Корпус камеры представляет собой стальной сосуд, напоминающий по внешнему виду паровой котел; толщина его стенок 22 мм. Здесь и находится рабочий объ-

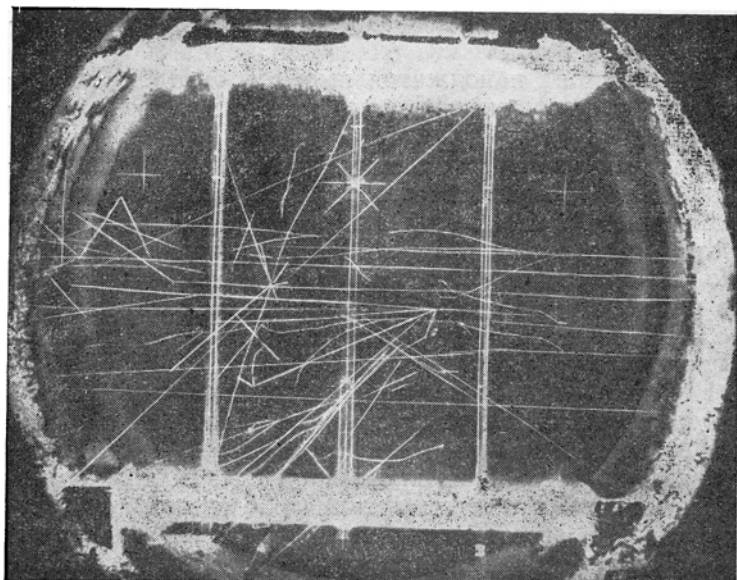


Рис. 36. Треки заряженных частиц в фреоновой камере.

ем камеры — цилиндр диаметром 90 см и такой же длины. С одной стороны камера закрыта массивной стальной крышкой, которая крепится несколькими десятками болтов, хорошо видных на фото. Крышка отделена от рабочего объема резиновой мембраной. В крышке имеются отверстия для подачи сжатого воздуха при поджатии мембраны и для его выхлопа во время расширения. Исходное давление в камере 26 атм. Источником сжатого воздуха служат четыре баллона — два вертикальных (на фото слева) и два лежащих под корпусом камеры; выхлоп происходит в раму из полых цилинд-

ров, составляющих вместе нечто вроде квадрата. Это так называемый глушитель, откуда затем воздух медленно выпускается в атмосферу. Как-то в лаборатории, где была установлена камера, произошел страшный, оглушительный выстрел. Ударная волна разбросала инструмент, детали, зазвенели осколки выбитых стекол. Первое впечатление — взорвалась камера! Но, как оказалось, ничего опасного не случилось: просто выхлоп был случайно произведен без глушителя, прямо в атмосферу.

Для выхлопа и поджатия имеются быстродействующие электромагнитные клапаны, укрепленные на крышке камеры.

С противоположной стороны находится стереофотоаппарат с тремя объективами. Для освещения используются две мощные импульсные лампы, которые вставляются через специальные отверстия прямо внутрь рабочего объема. Один из вводов лампы можно видеть как раз над табличкой «Не влезай — убьет!». Собственно, эта табличка и установлена из-за высокого напряжения, подаваемого на осветительные лампы.

Нет нужды описывать системы расширения, теплоотвода, термостатирования и другие устройства камеры, последовательность ее заполнения, порядок работы — это заняло бы слишком много времени и только утомило бы читателя. Отметим лишь, что для создания такого сложного агрегата требуются глубокие знания не только физики, но и теплотехники, радиотехники, автоматики и т. д.

Опасный агрегат

Физики давно уже подбираются к так называемым элементарным актам, когда взаимодействуют две определенные элементарные частицы и ничто другое им не мешает. В камере, наполненной пропаном, фреоном или какой-либо иной органической жидкостью, этого не получается. Ведь в состав любого органического вещества непременно входит углерод, а его ядра — довольно сложные образования: в них имеются и протоны и нейтроны. Поэтому, когда быстрая частица попадает в пузырьковую камеру и сталкивается, например, с ядром углерода, трудно определить, с чем же она взаимодей-

ствовала: с протоном, нейтроном или какой-нибудь их комбинацией? Хотелось бы иметь в качестве «мишеней» чистые элементарные частицы. Но разве можно наполнить камеру одними электронами, протонами или нейтронами? Разумеется, нет. И тем не менее выход есть. Почему бы не воспользоваться жидким водородом? Как известно, атом водорода состоит из протона (это ядро) и вращающегося вокруг него единственного электрона. Их относительные размеры можно проиллюстрировать с помощью такой несколько вульгарной, но зато очень ясной аналогии. Если увеличить атом до размеров стадиона (иначе говоря, в миллион миллионов раз), то ядро будет похоже на футбольный мяч, а электрон — на муху, летающую над стадионом. Вряд ли у кого возникнет сомнение в том, что футболисту легче ударить по мячу, чем попасть в муху, даже если она окажется на уровне земли. Так и для налетающей частицы вероятность столкновения с электроном исключительно мала, и можно считать жидкий водород скоплением одних только протонов, то есть превосходной протонной мишенью.

Физиков не смутило, что для сжижения водород нужно охладить до температуры 27° абсолютной шкалы* (или -246°C) и сжать давлением в несколько атмосфер. Техника низких температур уже хорошо освоена, и ученые умеют переводить любые газообразные вещества не только в жидкое, но даже в твердое состояние.

Уже в 1953 году, спустя несколько месяцев после рождения глезеровского прибора, появляется первая «чистая» пузырьковая камера, наполненная жидким водородом. Она была объемом всего 3 см^3 . Через год появляется и «грязная» жидководородная камера. Хотя она была тоже невелика — размером всего-навсего со стакан, но сам факт создания такой камеры оказался весьма знаменательным: он означал, что удалось решить проблему уплотнения стекла с металлом при сверхнизких температурах. А проблема, действительно, исключительно сложна. Ведь резина и обычные пластмассы для этой цели не подходят — при столь низких

* Абсолютная температурная шкала, или шкала Кельвина, — такая, в которой за нуль (0°K) принята температура, равная -273°C .

температурах они становятся жесткими и хрупкими и не способны герметизировать объем. Сейчас для уплотнения жидководородных камер применяют, как правило, прокладки из специальных сортов свинца и меди или же из особых хладостойких пластиков.

Но уплотнения — отнюдь не единственная трудность, с которой приходится сталкиваться при конструировании и эксплуатации жидководородных (или просто «водородных», как их часто называют) камер. Вот как, например, создается и поддерживается низкая температура. Вначале камера охлаждается до 20°K (-253°C) с помощью жидкого водорода, наливаемого в окружающую ванну, затем постепенно заполняется и рабочий объем камеры, причем эта операция требует особой осторожности: малейшая оплошность может привести к неожиданному нагреву водорода, мгновенному расширению и в результате — к взрыву. Опасны также резкие изменения температуры и для стекол — они могут потрескаться и дать течь. Поэтому заполнение производится медленно, иногда, в больших камерах, — целые сутки.

Впрочем, водородная камера опасна не только в период заполнения, но и во все время своей работы. Даже небольшая утечка водорода в атмосферу или, наоборот, проникновение воздуха в камеру может привести к образованию гремучего газа и опять-таки к взрыву. Чтобы устранить такую опасность, камеру оборудуют многочисленными предохранительными клапанами, аварийными устройствами, измерительными приборами и системой сигнализации. Отработанный водород выводится из здания наружу по специальным трубам, которые снабжены пламягасителями и возвышаются над коньком крыши здания. Только при выполнении всех этих требований органы технического надзора разрешают эксплуатировать камеру.

В рабочем объеме, как уже было сказано, водород должен находиться при 27°K и под давлением приблизительно 5 атм. Но такую температуру довольно трудно сохранять в течение длительного времени. Приходится помещать камеру в специальный бак, залитый жидким азотом, а чтобы азот не слишком быстро испарялся, бак дополнительно окружают экраном, отражающим тепло. Однако и это мало помогает: азот все равно испаряется, и нужно постоянно подливать его в бак. Сейчас стара-

ются при каждой большой камере иметь свои установки для сжижения водорода и азота.

В общем, современная водородная камера — это громоздкое, сложное сооружение. Даже в сравнительно небольшой камере, объемом всего восемь литров, построенной в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне, насчитывается 61 вентиль, 14 баллонов, около

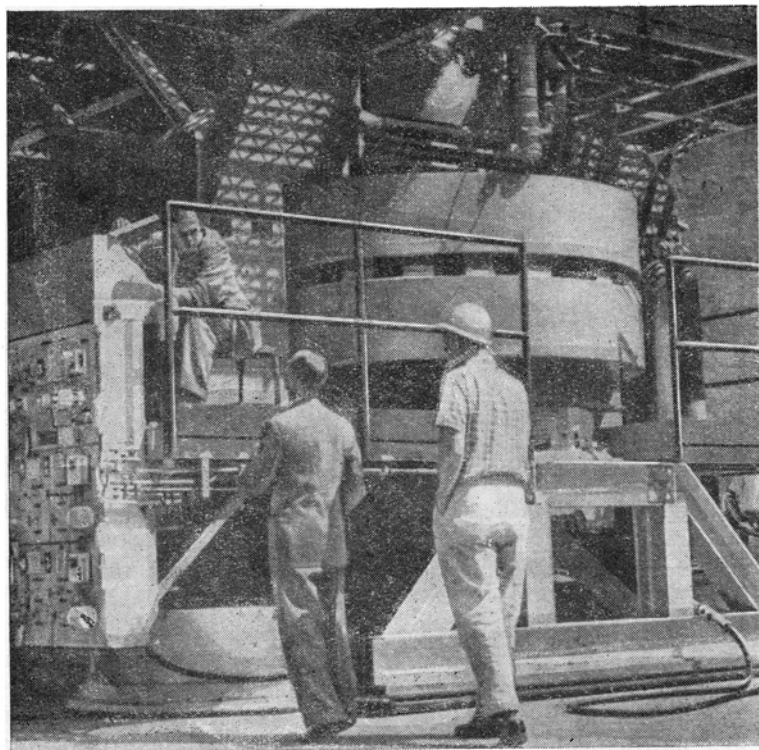


Рис. 37. Жидководородная пузырьковая камера объемом 600 л (Беркли, США).

40 манометров, десятки сложнейших клапанов, насосов, расходомеров, уровнемеров, километры труб. А ведь и у нас в СССР и в зарубежных лабораториях существуют и успешно работают водородные камеры с полезным объемом в сотни литров!

Взгляните на эти две фотографии (рис. 37 и 38). На первой из них изображена жидководородная камера объемом около 600 л, построенная в Радиационной лаборатории Калифорнийского университета (Беркли, США), а на второй — ее пульт управления. Трудно поверить, что это множество самых разнообразных приборов

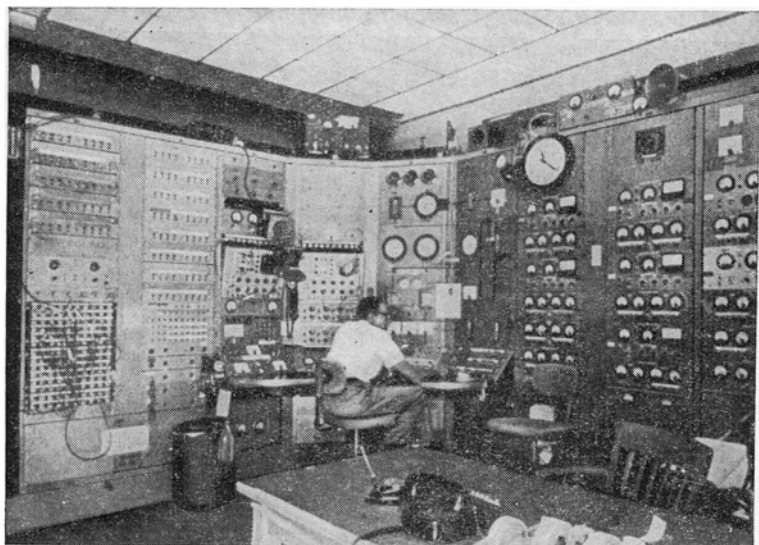


Рис. 38. Пульт управления жидководородной пузырьковой камеры (Беркли, США).

обслуживает не мощную гидроэлектростанцию или автоматический завод, а «всего лишь» прибор для исследования элементарных частиц. Достаточно сравнить эти фотографии со снимком первой камеры Вильсона (см. рис. 7), чтобы почувствовать, какой колоссальный скачок сделала наука за истекшие полвека.

Долой электрическое сопротивление!

Давайте немного отвлечемся от рассказа о пузырьковых камерах и обратимся к вопросу, казалось бы, весьма далекому от темы этой книги.

Более 50 лет назад, как раз в тот год, когда Вильсон получил первые фотографии ядерных частиц, датский физик Г. Камерлинг-Оннес открыл изумительное явление: некоторые металлы, охлажденные до температуры, близкой к абсолютному нулю (-273°C), теряют свое электрическое сопротивление.

Известно, что для того, чтобы по проводу проходил электрический ток, надо затратить некоторое усилие на преодоление сопротивления металла, то есть сопротивления его атомов движению электронов — носителей тока. Очевидно, чем ниже температура, тем слабее колеблются атомы в металле и тем, следовательно, легче пробираться сквозь них электронам. Значит, при охлаждении металла сопротивление его должно уменьшаться. Но до определенного предела.

В том-то и дело, что, как установил Камерлинг-Оннес, при некоторой *критической температуре* сопротивление неожиданно исчезает полностью, до нуля. Его просто невозможно обнаружить. Однажды в свинцовом кольце, погруженном в жидкий гелий, возбудили ток в несколько ампер, а затем источник тока — батарею отключили. Трудно поверить, но этот ток продолжал циркулировать по кольцу в течение года и без заметного ослабления. Почти «перпетуум мобиле» — вечный двигатель!

Полстолетия после открытия Камерлинга-Оннеса ученые тщательно изучали это явление, названное *сверхпроводимостью*, а недавно группой американских физиков — Бардиным, Купером, Шриффером и независимо от них советским физиком академиком Н. Н. Боголюбовым создана его теория.

Совершенно естественно, что сразу же возникла идея использовать явление сверхпроводимости для получения мощных магнитных полей. Гораздо проще и дешевле поставить холодильную установку, чем создавать громоздкие и дорогостоящие источники тока или сооружать постоянные магниты, которые, кстати, и поля дают не столь уже сильные. Скажем, постоянные магниты из специальных магнитных сплавов (альнико, магнико, пермаллой и т. д.) обеспечивают напряженности всего до 25 000 э, а электромагниты хотя и позволяют получить поля в два-три раза большие, но ценой значительных усилий и колоссального расхода мощности. Рекордным является, пожалуй, электромагнит, изготовленный в ла-

бораториях американской компании «Белл Телефон». Он создает в объеме около 10 дм^3 поле порядка 88 000 э. При этом расходуется мощность 1 600 кВт (целый завод мог бы работать!), а чтобы магнит не расплавился, он снабжен специальной охлаждающей системой: насосы прогоняют по трубам 4000 л воды каждую минуту.

Но попытки создать сверхпроводниковые магниты долгое время были бесплодными. Дело в том, что простые металлы (свинец, олово, ртуть) теряют свойство сверхпроводимости при слишком сильных токах и магнитных полях (несколько тысяч эрстед) — они возвращаются в свое обычное, естественное состояние.

Тогда физики перешли от экспериментов с чистыми металлами к их сплавам и соединениям. Уже в 30-е годы голландцы де Гааз и Фогд установили, что некоторые сплавы свинца и висмута остаются сверхпроводящими в полях до 20 000 э. Затем год от года величина этого критического поля все более повышалась, и вот в начале 1961 г. появилось сообщение, что у соединения ниобия и олова Nb_3Sn оно достигло 88 000 э и может быть доведено даже до 100 000 э. Совершенно фантастические цифры! Сейчас создано немало сверхпроводниковых магнитов, в частности из ниобий-циркониевых сплавов, обеспечивающих поля в 80—100 тысяч эрстед, и физики приступили к изучению явлений, происходящих при столь сильных полях. Надо надеяться, что здесь будут получены исключительно важные результаты. Но нас интересует другое — какое применение найдут сверхпроводниковые магниты в технике пузырьковых камер?

Но разве это не ясно? Мы уже говорили, что для определения импульса частиц их надо «закручивать» магнитным полем и затем измерять радиус кривизны трека на фотографии. Причем для столь быстрых частиц, которые исследуются в пузырьковых камерах, требуются поля в десятки тысяч эрстед.

Вот, к примеру, для фреоновой камеры диаметром 115 см и глубиной 50 см сооружен магнит, создающий поле 26 500 э. Он весит 72 т (его не перевезти даже на четырехосной железнодорожной платформе!) и потребляет мощность около 4000 кВт.

Взгляните еще раз на рис. 37. Два кольца, окружающие камеру, — это катушки магнита. Из-за них-то в ос-

новном камера и становится такой громоздкой. Нельзя ли от них избавиться? Конечно, можно: надо лишь заменить обычную медь сверхпроводящим сплавом, а для охлаждения его уже имеется необходимая низкая температура — жидкий азот и водород.

Так и получилось, что сверхпроводниковые магниты нашли свое первое серьезное практическое применение именно в пузырьковых камерах.

Мы рассказали все это, чтобы наглядно продемонстрировать, как достижения в одной области науки или техники находят применение в другой, как они взаимно дополняют и обогащают друг друга.

До финиша еще далеко

Ну, кажется, физики могут на время успокоиться: водородная камера, да еще со сверхпроводниковым магнитом, превзошла все их самые смелые мечты, она позволяет производить тончайшие исследования, проникать в святая святых материи. Но это только кажется... Ученых ничто и никогда не может полностью удовлетворить. Да и на самом деле: удовлетвориться значит остановиться, а остановка — это смерть в науке.

Жидководородная, как, впрочем, и пропановая камера, — вещь, конечно, уникальная, но и она имеет свои недостатки. Прежде всего она слабо задерживает частицы. Вы, конечно, пожмете плечами и, может быть, даже возмутитесь: опять им, физикам, мало. Ведь у жидководородной пузырьковой камеры тормозная способность в 250 раз выше, чем у камеры Вильсона, наполненной газообразным водородом, а у пропановой камеры — даже в 2300 раз выше. Да, это, конечно, хорошо, но все в мире относительно: ядерные эмульсии обладают десятикратной тормозной способностью по сравнению с пропаном. Что же, снова возвращаться к эмульсиям? Нет, зачем же. Лучше поискать систему, сочетающую достоинства пузырьковой камеры и ядерной эмульсии.

Оказалось, дело не столь уж сложно — надо лишь наполнить пузырьковую камеру очень тяжелой жидкостью, например ксеноном. Он в 45 раз плотнее жидкого водорода и всего только в 1,7 раза уступает в этом отношении эмульсии. Правда, ксенон является

сцинтиллятором, то есть под действием ионизирующего излучения в нем возникают вспышки видимого света, а это может служить причиной беспорядочного образования пузырьков и вредного фона. Но добавка в ксенон небольшого количества этилена позволила погасить сцинтилляции. Впрочем, позднее удалось «приручить» сцинтилляции, сделать их полезными: они сигнализируют о прохождении ионизирующих частиц через камеру и включают в нужный момент лампу-вспышку.

Камеры, наполненные тяжелыми жидкостями, предназначены для изучения γ -лучей и незаряженных частиц, в частности, нейтральных π -мезонов. Известно, что, поскольку и те и другие не несут заряда, они не производят на своем пути ионизации и, следовательно, не оставляют в камере следов. Как же их обнаружить? По образуемым ими вторичным частицам: комптоновским электронам, электронно-позиционным парам (см. стр. 58) и т. д. Но вероятность этих эффектов сильно возрастает с увеличением плотности и атомного номера вещества— вот и приходится наполнять камеру ксеноном и другими тяжелыми жидкостями.

Интересна еще пузырьковая камера с жидким гелием, созданная впервые в 1955 году Э. Хартом и его сотрудниками. Гелий труднее всех других газов превращается в жидкость: температура его кипения около -269°C , всего на $4,2^{\circ}$ выше абсолютного нуля — точки, когда атомы совершенно «замерзают» и перестают двигаться. Но зато гелий обладает одним физическим свойством, очень важным для определения характеристик ряда странных частиц, сталкивающихся с гелием, и изучения их взаимодействий. Кроме того, в отличие от водорода, он совершенно безопасен.

Эти два преимущества и заставили физиков строить гелиевые камеры, для чего пришлось проникнуть в область еще более низких температур. Но это тоже хорошо освоенная область, главным образом благодаря усилиям советских физиков во главе с академиком П. Л. Капицей. Учеными разработана методика получения совершенно невообразимого холода, всего на сотые доли градуса отличающегося от абсолютного нуля, создана нужная аппаратура, выяснено, как ведут себя различные материалы при столь сильном охлажде-

нии. В общем, почти всем необходимым для строительства гелиевых камер физики уже располагали, и вполне естественно, что первая такая камера появилась меньше чем через два года после глезеровской «малютки», а сейчас работает уже немалое количество гелиевых камер и с их помощью получены замечательные результаты.

И все-таки физики продолжают выражать недовольство: пузырьковые камеры, видите ли, слишком много «отдыхают». Не столько, конечно, как камеры Вильсона, но все же недопустимо много.

Судите сами. Скажем, первые пропановые камеры имели чувствительное время порядка миллисекунды, а интервал между циклами — несколько секунд. Значит, рабочее время камеры, т. е. период, когда она способна регистрировать частицы, в тысячу раз меньше, чем время отдыха.

Положение еще осложняется тем, что пузырьковая камера органически неспособна работать в управляемом режиме. Вспомните, как обстояло дело в камере Вильсона: заряженная частица, входя в камеру Вильсона, задевала по дороге счетчик Гейгера или сцинтилляционный счетчик, и те уже снимали очищающее поле, открывали клапан, включали лампу. Ионы, образованные частицей, там живут долго, капли растут медленно, неторопливо, и на все хватает времени, даже специальную задержку приходится вводить, чтобы лампа не вспыхивала раньше, чем капли вырастут до нужных размеров.

В пузырьковой же камере ионы, не защищенные пузырьками, живут меньше десятитысячной доли секунды, и если даже пролетающая частица заденет счетчик и тот попытается открыть клапан, будет слишком поздно: пока произойдет расширение, пузырькам уже не на чем будет расти — ионы исчезнут, рекомбинируют.

Поэтому когда срабатывает пузырьковая камера, нет никакой уверенности, что в ней в этот момент имеется хотя бы одна частица. Просто подошло время, и происходит расширение. Правда, чтобы не тратить зря фотопленку, вспышкой лампы все-таки управляют обычно счетчики — иначе большинство снимков были бы пустыми. Но это не выход. Надо заставить пузырьковые камеры работать более интенсивно, чаще производить расширения и дольше сохранять чувствительность.

С «чистыми» камерами этого добиться нетрудно: они способны расширяться и поджиматься до 50 раз в секунду. Беда только, что «чистые» камеры почти уже никому не нужны. А вот с «грязными» камерами дело обстоит посложнее, хотя и здесь теперь получены неплохие результаты. Повышая начальное давление и температуру, в одной пропановой камере удалось довести чувствительное время до 40 мсек, а используя дополнительное быстрое поджатие, заставили ее совершать 10 циклов в секунду. В итоге рабочее время в такой камере составляет 40% — превосходный коэффициент полезного действия!

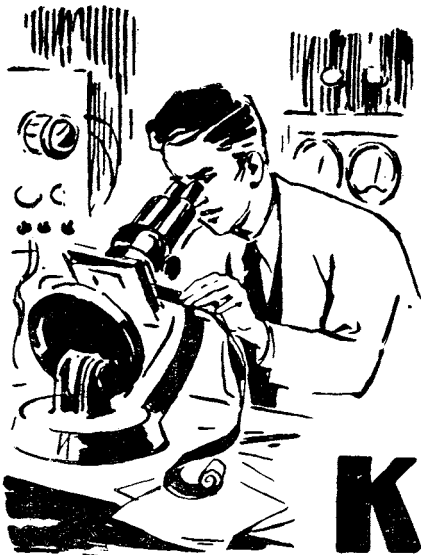
Есть еще один способ повышения чувствительного времени. В пузырьковую камеру нагнетается под давлением какой-либо газ, например углекислый, который растворяется в рабочей жидкости. Получается нечто вроде газированной воды или шампанского. Пока камера закупорена, газ не выделяется, но как только резко сбрасывается давление, на ионах, образовавшихся при пролете заряженной частицы, возникают пузырьки, которые растут уже не за счет молекул самой жидкости, а за счет растворенного в ней газа. Но молекулы газа с большим трудом пробираются сквозь заслон жидкости, поэтому пузырьки растут довольно медленно, и чувствительное время камеры возрастает.

К сожалению, пузырьки столь же медленно рассасываются при поджатии, так как у газа нет особого желания вновь раствориться в массе жидкости, хотя на него и действует давление до 50 атм. В результате слишком затягивается время восстановления и удлиняются циклы. Впрочем, все возможности «газированных» камер еще не исчерпаны, и с ними ведутся дальнейшие исследования.

В частности, создано несколько *непрерывно чувствительных* «газированных» камер, аналогичных диффузионным камерам (см. стр. 99). Первую попытку в этом направлении предпринял в 1957 г. американский ученый Р. Гуд. Его камера была весьма проста: стеклянный цилиндр объемом 600 см³, через который медленно циркулирует рабочая жидкость (изоамилацетат) с растворенным в ней углекислым газом. Дно цилиндра погружено в сосуд с сухим льдом, а крышка нагревается спиралью, так что в цилиндре создается перепад тем-

ператур. Если жидкость вблизи дна насыщена газом, то на некотором участке цилиндра (где температура выше) возникает пересыщение, и здесь жидкость чувствительна к излучению: пролетит частица, оставит на своем пути цепочку ионов, и на них вырастут пузырьки — вот и сформировался трек.

Впрочем, пузырьковые камеры в основной своей массе не нуждаются в очень уж большом чувствительном времени. Ведь они используются, как правило, для экспериментов с ускорителями, и первое требование, предъявляемое к ним, — принять и зарегистрировать весь импульс частиц, а он длится, как правило, всего несколько тысячных долей секунды. Второе, не менее важное требование — обеспечить достаточную частоту циклов, чтобы ускоритель не работал вхолостую. Сейчас можно сказать, что современные пузырьковые камеры почти полностью отвечают обоим этим требованиям и неутомимо трудятся во всех лабораториях высоких энергий, ежедневно выдавая тысячи фотографий, на которых зарегистрированы элементарные частицы и вызываемые ими процессы.



К

АЖДЫЙ нобелевский лауреат должен выступить в Стокгольме с традиционной лекцией. Прочитал такую лекцию и Дональд Глезер. В конце ее он подчеркнул, что физики, имеющие дело с пузырьковыми камерами, встали сейчас перед новой серьезной проблемой. В любой активно работающей лаборатории получают теперь ежегодно миллионы снимков; их надо аккуратно, квалифицированно просмотреть, отбирая те, на которых изображены интересные или подозрительные события, а затем тщательно проанализировать отобранные снимки, измеряя каждый трек с точностью порядка одного микрона.

«Мы можем позволить себе роскошь, — сказал Глезер, — иметь 50 сотрудников, выполняющих эту работу для одной большой пузырьковой камеры, но в действительности задача не под силу 500 или даже 5000 сотрудников».

Действительно, предположим, что камера выдает снимок (точнее, стереопару, состоящую из двух снимков) каждые три секунды. За 7-часовой рабочий день будет получено 8400 снимков. Даже самый квалифицированный лаборант тратит на обработку одного трека по крайней мере 15 минут (о таких сотрудниках мечтают многие лаборатории!). Значит, за напряженный рабочий

день он способен обработать 28 треков, то есть не более одной фотосафии, так как если камера работает синхронно с ускорителем, то на каждом снимке обычно имеется несколько десятков треков.

Представляете, какой страшный, катастрофический разрыв: 8400 и 1! Что же делать? Или посадить 8400 лаборантов на просмотр рулонов пленки, или... Вот именно, остается второе «или». Вы уже, конечно, догадались, что альтернативой может быть одно — применение автоматического устройства, просматривающего и обрабатывающего снимки. Физики и пошли по этому второму пути. Впрочем, пока еще только ступили на него и сделали лишь первые шаги. Уж больно сложен этот путь!

Что и как искать?

Но прежде чем говорить об автоматике, надо сначала уяснить себе, что же ищут физики на снимках, что они измеряют?

Посмотрите на любой снимок, полученный в вильсоновской или пузырьковой камере, — их немало на страницах этой книги. Тонкие, нитевидные следы частиц, светлые на темном поле, скрещиваются, пересекаются под разными углами, иногда раздвигаются, иногда исчезают, а то вдруг из одной точки расходится несколько лучей — это так называемая звезда. И вот нужно ответить на многочисленные вопросы: Какой частице принадлежит тот или иной след? Каковы ее заряд, масса, энергия, «четность», «странность» (все это характеристики элементарных частиц)? С чем она столкнулась и что при этом произошло? Если частица исчезла, то во что превратилась?

Дело осложняется двумя обстоятельствами. Во-первых, события происходят не в плоскости, а в пространстве. Нередко бывает так, что на одном из снимков, составляющих стереопару, два следа кажутся расходящимися из одной точки, а на самом деле это две точки, лежащие друг под другом. Или следы выглядят параллельными, тогда как в пространстве они идут под углом один к другому. Значит, надо как-то совместить два кадра, изучать их в совокупности.

Во-вторых, большую сумятицу вносят нейтральные частицы. Они ведь, как мы уже говорили, не производят

ионизации и не оставляют следа в камере. Но в точке распада такой нейтральной частицы или при ее столкновении с другой, заряженной частицей может возникнуть трек, и очень важно по нему определить характеристики «невидимки». Иногда в камере происходит цепочка последовательных событий — рождений, соударений, распадов, — в которых участвуют как заряженные, так и нейтральные частицы, и надо восстановить недостающие звенья, ибо только тогда можно понять весь процесс. Это исключительно сложная работа, посильная только опытному экспериментатору.

Но — по порядку. Вот камера отсняла пленку, ее вынули из кассеты, проявили, высушили и принесли в лабораторию. Прежде всего надо бегло, на глазок просмотреть все кадры и выбрать из них те, которые по каким-либо причинам заинтересовали экспериментатора и будут подвергнуты тщательному анализу. Такой предварительный просмотр обычно производят сами исследователи: здесь нужен наметанный глаз, знание цели, большой опыт и, конечно же, интуиция. Она вообще играет особую роль во всей работе ученого.

Иногда просмотр пленки ведется невооруженным глазом, чаще — на стереоскопе, приборе, позволяющем по двум стереоснимкам воспроизвести пространственную картину. Это очень любопытное зрелище, когда плоская картинка вдруг приобретает объемность, треки раздвигаются, наклоняются друг относительно друга, и наглядно видишь, как и откуда частицы пришли и что с ними стало.

Итак, часть кадров отбрасывается, а часть поступает в дальнейшую обработку. Вот здесь и начинается тяжелый, утомительный труд.

Что же нужно измерять на фотографии? Прежде всего удельную ионизацию — число ионов, образуемых частицей на сантиметре своего пути. Удельная ионизация позволяет судить о заряде и скорости частицы: она прямо пропорциональна квадрату заряда и обратно пропорциональна квадрату скорости. Значит, если в камеру попадают одинаковые частицы, то те из них, которые движутся быстрее, оставляют значительно менее четкий след, чем медленные.

Чтобы определить удельную ионизацию, надо просто-напросто сосчитать число капель (или соответственно

пузырьков) на каком-то участке трека. Это не всегда легко сделать. Но тут приходит на помощь процесс вторичной ионизации. Быстро летящая частица с такой силой разбивает встречающиеся на ее пути молекулы газа, что возникающие в результате ионизации электроны отлетают в сторону с довольно значительной скоростью. Наталкиваясь на соседние молекулы, они в свою очередь выбивают из них электроны — их называют вторичными. При расширении в камере вторичные электроны тоже служат центрами конденсации (или формирования пузырьков), и вокруг них образуются своеобразные «бусинки», как бы нанизанные на тонкую нить следа. Сосчитав «бусинки», нетрудно определить ионизацию, производимую частицей, а отсюда и ее скорость.

Сравнительно несложно определить и пробег частицы, т. е. проходимый ею путь. Правда, тут нужно вносить поправки на давление, температуру и другие отклонения от нормальных условий, но это уже мелочь. Зато, зная пробег, можно сразу сделать заключение о природе частицы (скажем, тяжелая она или легкая) и оценить ее энергию, так как для каждого сорта частиц имеются графики, выражающие зависимость пробега от энергии.

Если камера работает в магнитном поле, то важно, конечно, определить кривизну трека и, следовательно, импульс частицы. Измерение кривизны — задача уже чрезвычайно сложная. Если бы частица двигалась в плоскости, перпендикулярной к магнитному полю, да к тому же само поле было бы однородным, одинаковым во всем объеме камеры, то задача была бы элементарной: увеличь снимок и замеряй радиус, поскольку частица движется по примитивной кривой — окружности. Но ведь на самом деле все по-иному: и частица летит под углом к направлению магнитного поля, и поле неоднородно, особенно в очень больших камерах. Поэтому надо в первую очередь по двум стереоснимкам восстановить пространственную картину и уж на ней от точки к точке измерять радиус кривизны.

Пленку вновь вставляют в стереофотоаппарат, точнее — в антифотоаппарат, потому что он выполняет обратную функцию: по снимкам воссоздает объект. Сзади пленка подсвечивается, и объективы проектируют на матовый экран изображение трека. Перемещая экран в трех направлениях и наклоняя его в любую сторону,

можно получить на нем довольно четкое пространственное изображение трека в точности таким, каким он и сформировался в камере. А затем уже легко измерить его кривизну. Впрочем, не совсем легко. Если след принадлежит быстрой частице, то он изогнут очень слабо, и нужны особые методы для измерения радиуса, тем более, что всегда существуют всякого рода паразитные искажения, связанные с перемещениями газа (или жидкости) в камере в процессе расширения, с дефектами оптической системы и т. д.

Примерно такие же трудности возникают при определении пространственных углов между следами различных частиц, а эти углы — одна из важнейших характеристик процесса. Точное знание углов особенно необходимо, когда нужно восстановить всю цепь последовательных событий, в которой имеются пропуски — невидимые нейтральные частицы.

Только комплекс всех этих измерений может дать сведения о событии, разыгравшемся в камере, о всех его участниках. Физик здесь напоминает следопыта, который, читая едва заметные следы, узнает, кому они принадлежат, и восстанавливает картину происшедших событий. Или его можно еще сравнить с криминалистом, расследующим обстоятельства преступления и устанавливающим личность преступников.

Но если в криминалистике на помощь лупе, которой пользовался Шерлок Холмс, пришли десятки современных приборов и методов — химических, спектроскопических, акустических и прочих, — то уж физикам совсем не к лицу «вручную» обрабатывать результаты своих измерений. Правда, в 30—40-е годы был создан ряд приборов и сравнительно несложных приспособлений для изучения вильсонограмм, но ни один из них не давал радикального решения проблемы.

Со всем этим еще можно было как-то мириться, пока имелись лишь тихходные камеры Вильсона, но когда лаборатории оказались буквально заваленными лентами с миллионами кадров, полученных на пузырьковых камерах, положение стало невыносимым. Надо было срочно искать выход — иначе пузырьковые камеры теряли всю свою эффективность, весь смысл. Выход один — автоматика! Смешно и обидно в наш век электроники и вычислительной техники людям, которые всегда занима-

ли передовые рубежи в науке и технике, точнее — создавали эти передовые рубежи, заниматься теперь такой трудоемкой, сугубо механической работой, как анализ снимков. Неужели ее нельзя поручить автоматам?

В погоне за новой частицей

Чтобы проиллюстрировать всю сложность обработки снимков, приведем такой пример. В начале 1962 г. в результате коллективных усилий большой группы физиков из Брукхейвенской национальной лаборатории и Йельского университета (США), Европейского центра ядерных исследований, Французского национального центра в Сакле и Политехнической школы Парижского университета была открыта самая тяжелая античастица — анти-кси-минус-гиперон. Она живет всего одну десятиллиардную долю секунды (10^{-10} сек) и поэтому почти неуловима. И тем не менее ее удалось поймать в пузырьковой камере; правда, гораздо труднее было разглядеть ее на снимке.

На рис. 39 справа воспроизведен этот знаменательный снимок. Всмотритесь в него: разве может непосвященный разобраться в этом переплетении тонких нитей? Впрочем, даже специалисту трудно выявить здесь все связи, распознать, или, как говорят физики, идентифицировать, все события. Поэтому-то и требовалось такое большое количество открывателей новой частицы.

На том же рисунке слева показана схематически цепочка событий, в которой участвует, правда, кратковременно — возникает и исчезает, — анти-кси-минус-частица. Цепочка складывается из следующих этапов. В камеру поступает антипротон \bar{p} (черточка над символом всегда обозначает античастицу). То, что это не протон, а именно антипротон, установлено по отклонению частицы в магнитном поле: трек 1, хотя и очень слабо, почти незаметно, но все же искривлен, причем направление изгиба говорит об отрицательном знаке частицы (антипротон, в отличие от протона, имеет отрицательный заряд).

В точке А (попробуйте-ка найти ее на фотографии!) антипротон столкнулся с протоном, и оба они превратились в две новые частицы. Трек 2, как удалось установить тщательными измерениями, принадлежит известной уже к тому времени кси-минус-частице (Ξ^-), или, как ее

иногда называют, отрицательному каскадному гиперону. Сопряженной ей может быть только анти-кси-минус-частица ($\bar{\Xi}^-$), которая и оставила едва заметный, очень короткий трек 3, что свидетельствует об исключительно малой длительности жизни. Эта частица положительно заряжена, поскольку суммарный заряд Ξ^- - и $\bar{\Xi}^-$ -частиц должен быть равен нулю, как и суммарный заряд протона и антипротона, из которых они возникли.

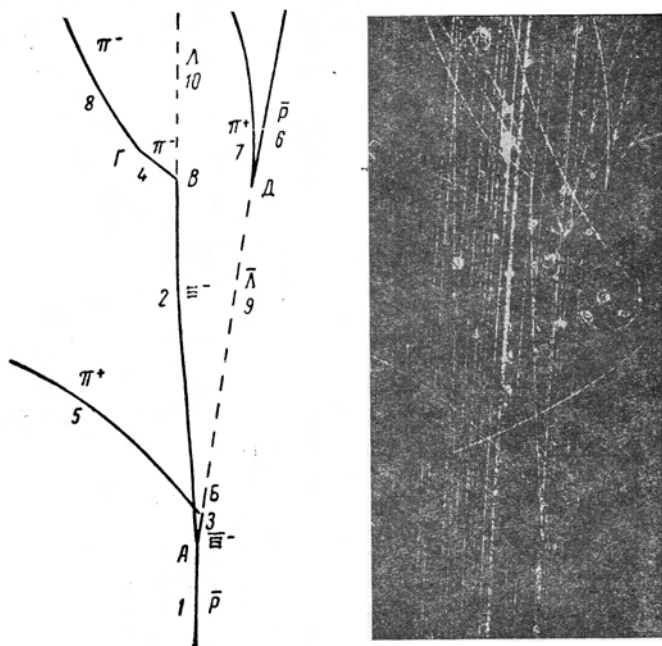


Рис. 39. Снимок, на котором впервые обнаружен след анти-кси-минус-гиперона. Слева — схема процесса.

В точке *Б* начинается отчетливый, явно изогнутый трек 5, принадлежащий хорошо изученному π^+ -мезону. То, что этот мезон положительный, лишний раз подтверждает и положительный заряд предыдущей частицы. По треку 5 нетрудно определить импульс и энергию π^+ -мезона. Оказывается, эта энергия значительно меньше, чем энергия $\bar{\Xi}^-$ -гиперона. Очевидно, при распаде по-

следнего возникает еще одна частица, частица-невидимка, не оставившая следа в камере. Она-то и уносит остальную часть энергии и импульса, причем для выполнения закона сохранения заряда необходимо, чтобы эта частица была нейтральной.

Как же ее обнаружить? Взгляните в правый верхний угол фотографии. Там хорошо видна пара треков, выходящих из одной точки и изогнутых в противоположные стороны, а значит, имеющих разные заряды. Левый трек — на схеме он обозначен цифрой 7 — сильно похож на трек 5; он и действительно принадлежит π^+ -мезону, а правый 6 — антипротону. Итак, π^+ -мезон и антипротон родились будто бы из ничего. Но физики не верят в мистику. Очевидно, эти частицы — результат распада какой-то нейтральной частицы. Ранними исследованиями уже было установлено, что именно таким образом распадается нейтральный анти-лямбда-гиперон ($\bar{\Lambda}$); вероятно, и здесь произошло то же самое.

Но откуда взялся здесь $\bar{\Lambda}$ -гиперон? Не в результате ли распада Ξ^- -гиперона? Теперь начинается, по всей видимости, самая трудоемкая часть всего процесса обработки снимка. Надо доказать, что суммарные энергии, а также импульсы этих π^+ -мезона и антипротона в точности равны энергии и импульсу гипотетической нейтральной частицы, образующейся при распаде Ξ^- -гиперона в точке *Б*. И тщательные измерения подтвердили это предположение. Итак, точки *Б* и *Д* можно соединить пунктиром и считать, что это след 9 нейтрального Λ -гиперона.

Как же ведет себя дальше Ξ^- -гиперон? В точке *В* он тоже распадается на отрицательный π^- -мезон (трек 4) и нейтральную частицу, которой может быть только Λ -гиперон (пунктирный трек 10). Трек π^- -мезона имеет излом в точке *Г*, но здесь не произошло никакого сложного процесса: просто мезон встретил на своем пути протон, столкнулся с ним и отклонился в сторону (трек 8) — испытал, по выражению физиков, упругое рассеяние, как при соударении бильярдных шаров.

Вот так и была поймана давно разыскиваемая частица с длинным названием: анти-кси-минус-гиперон. Описание процесса расшифровки снимка заняло у нас всего две страницы текста, а чтобы получить фотогра-

фию новой частицы, отыскать ее среди сотен тысяч других и затем расшифровать — потребовались месяцы упорной, кропотливой работы большой группы физиков. И так бывает всякий раз при открытии и исследовании свойств каждой новой частицы. Природа с большим трудом раскрывает перед учеными свои тайны.

Первые автоматы

Давайте же посмотрим, что можно доверить автомату. Обработка снимков складывается из четырех этапов:

1. Предварительный их просмотр с целью отбора событий, похожих на исследуемые.

2. Восстановление по двум стереопроекциям пространственной картины, на которой можно определять кривизны треков и углы разлета частиц.

3. Измерение углов разлета, импульсов и вычисление соответствующих погрешностей.

4. Выяснение характера изучаемого события, для чего составляется его схема и сравнивается с различными предположениями, гипотезами.

Предварительный просмотр трудно автоматизировать, да и опасно: автомат, так же как и не слишком квалифицированный работник, может не заметить интересного, редкого события, если ему не поручено обращать на него внимание. Что ж поделать, автомату не положено обладать интуицией, на то он и автомат. Впрочем, этот этап наименее трудоемкий, и хороший научный сотрудник способен быстро просмотреть пленку и пометить те кадры, которые требуют дальнейшего изучения.

Вряд ли пригодны для автоматизации и следующие два этапа. Если бы и удалось сконструировать автомат, который восстанавливал бы по двум стереоснимкам положение треков в пространстве, то измерение с достаточной точностью их координат и углов — дело исключительно трудное. Кроме того, следы в пузырьковой камере образуются в среде с коэффициентом преломления, отличным от 1, репроекция же может быть произведена лишь в воздухе (его коэффициент преломления 1), а значит, следы получатся искаженными.

Что же остается для автомата? Четвертый этап? Но он повисает в воздухе, если не автоматизированы два

предыдущих. Следовательно, надо искать какой-то новый подход к решению проблемы. Новая техника обязательно заставляет менять и методику.

А нельзя ли обойтись без восстановления пространственной картины? Пусть это делает автомат внутри себя, как бы «в уме», а нам выдает лишь конечные результаты. Это очень заманчивая перспектива и, кстати сказать, единственно реальный путь. Итак, какое-то устройство должно определять координаты отдельных точек следа на фотографии, зашифровывать эти координаты по специальному коду и посылать в электронно-вычислительную машину (ЭВМ), которая обучена обработке этих данных. В нее заранее заложена программа: как по точкам двух стереопроекций определять пространственные координаты следа, углы разлета частиц, радиусы кривизны и т. д. Конечно, физикам и особенно математикам пришлось немало потрудиться, чтобы составить для машины такую программу, но ведь это нужно сделать только один-единственный раз, а потом машина работает самостоятельно — только успевай принимать результаты.

Первый автомат был построен несколько лет назад Дж. Франком из Радиационной лаборатории Калифорнийского университета (США) и получил название «франкенштейна» — по имени изобретателя. Устроен он следующим образом.

Пленка вставляется в специальный держатель, подсвечивается, и изображение проектируется в увеличенном виде на прозрачный экран. В центре экрана имеется черный крест; надо, перемещая пленку, совместить перекрестье с точкой следа и записать ее координаты. Перемещение пленки в двух взаимно перпендикулярных направлениях производится автоматически с помощью небольших моторчиков; специальный фотоумножитель следит за тем, чтобы перекрестье совпало с точкой следа, и командует: «чуть-чуть направо ... немножко вверх...» и т. д., а моторчики исполняют команду.

Как только центр перекрестья попадет на след, оператор вручную поворачивает крестовину таким образом, чтобы одна из ее осей была направлена вдоль следа (или по касательной к нему), и, нажимая соответствующую кнопку, заставляет пленку перемещаться. Фотоум-

ножитель следит, чтобы след не сползал в сторону, а все время проходил через центр перекрестья. Оператор же с помощью ножной педали регулирует скорость перемещения пленки (совсем как водитель автомашины, выжимающий газ посредством акселератора).

Время от времени автоматически регистрируются координаты измеряемой точки трека, записываются на магнитную ленту и направляются в электронно-вычислительную машину.

Франкенштейн позволяет измерять положение точек следа с точностью до одного микрона, когда пленка неподвижна, и до трех-пяти микрон, когда она движется. Обычно на каждом треке измеряется 15—20 точек, и если исследуется событие, содержащее пять следов, то на обе проекции тратится пять-семь минут. Это в 40—50 раз быстрее, чем при обработке «вручную».

С такой же скоростью действует и автомат, созданный в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН) в Женеве. Но если в франкенштейне пленка перемещается относительно объектива, то здесь, наоборот, объектив движется относительно пленки. Это позволило уменьшить вес столика и внести другие улучшения.

Советскими учеными также сконструировано несколько систем для изучения следов частиц, в том числе полностью автоматизированный прибор, который в отличие, например, от франкенштейна почти не требует участия оператора. Это прибор АОС («автомат для обработки снимков»), созданный и успешно функционирующий в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне.

На рис. 40 показана упрощенная схема прибора АОС-1. Снимок 1 установлен на измерительном столике 2, взятом от микроскопа. Этот столик может перемещаться в двух направлениях с помощью сервомоторов 3 и 4. (Сервомотором называют такой моторчик, который способен вращаться по или против часовой стрелки в зависимости от поступающего на него сигнала; такие моторчики обычно используются в следящих системах автоматических устройств.)

На пленку падает плоский пучок света от осветителя 5. Пройдя через объектив 6, полупрозрачное зеркало 7, систему призм 9, изображение фокусируется на фотодатчике 10. Это, пожалуй, главный и наиболее дели-

катный узел всего прибора. Он управляет перемещением измерительного столика с пленкой в нужном направлении.

Фотодатчик имеет четыре чувствительных участка (рис. 40, а б), каждый из которых связан со своим фотомножителем (ФЭУ). Если все четыре участка имеют

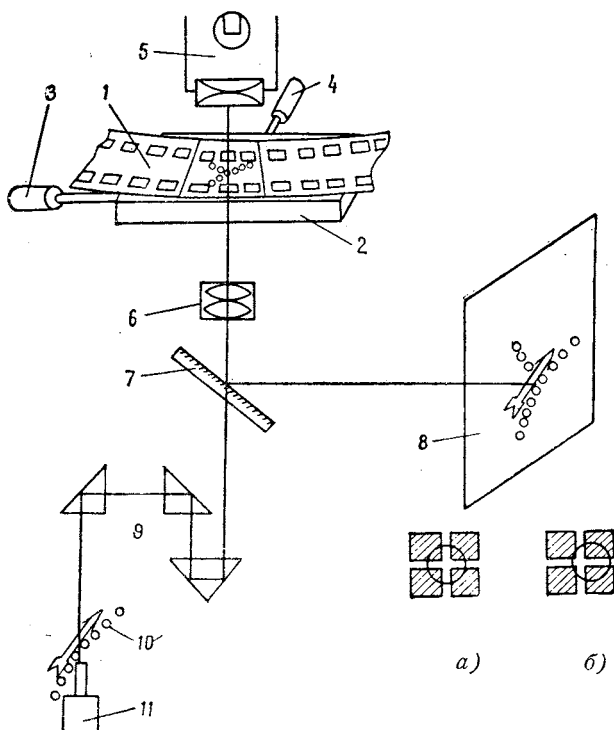


Рис. 40. Схема автомата для обработки снимков (АСО-1), созданного в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна).

одинаковую освещенность, то сигналы на ФЭУ взаимно компенсируют друг друга и никакого результирующего сигнала не возникает. Именно так обстоит дело в случае а, когда круглое световое пятно находится в точности посередине квадрата, образованного четырьмя участками. Если же кружочек несколько сместился (слу-

чай б), то, очевидно, одни участки датчика оказываются освещенными лучше, чем другие, а значит на фотоумножителях возникают различные сигналы. Вырабатывается разностный сигнал, который подает команду сервомоторам 3 и 4 несколько подрегулировать положение пленки. На фотодатчике имеется стрелка, центр которой совпадает с измеряемой точкой, и те же четыре ФЭУ

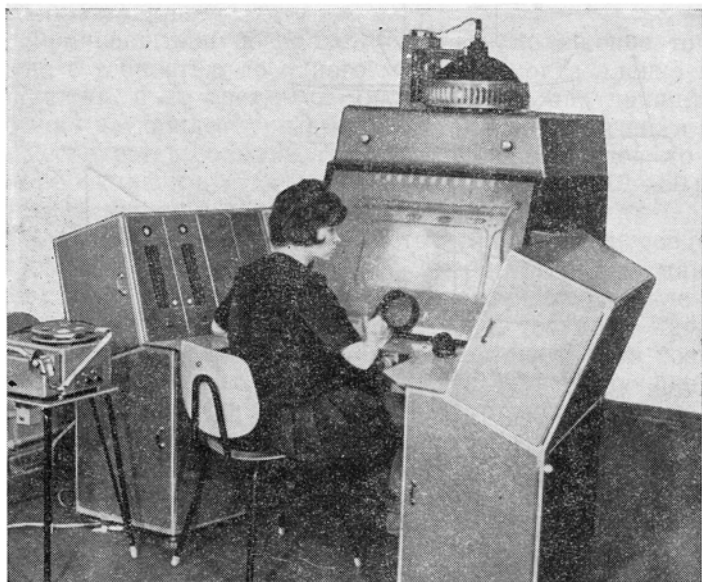


Рис. 41. Автомат для обработки снимков АОС-2.

управляют моторчиком 11, поворачивающим стрелку, чтобы она была направлена вдоль трека. Так и прощупывается весь трек.

Одновременно изображение трека отражается от зеркала 7 и проектируется с десятикратным увеличением на большой матовый экран 8 (размером 60×85 см). Туда же специальная оптическая система проектирует и стрелку, так что оператор, сидящий за пультом, может видеть, какой участок трека в настоящий момент исследуется, и, если понадобится, может вмешаться в работу прибора.

Стрелка ползет по следу со скоростью 3 мм в секунду, и при этом записываются координаты отдельных точек его с точностью до 2,5 мк. Так как отсчитывать столь малые перемещения (тысячные доли миллиметра!) непосредственно по шкале измерительного столика 2 практически невозможно, это делается при помощи двух дифракционных решеток, создающих так называемый эффект муаровых полос. Чтобы не вдаваться в детали физической оптики, мы не будем описывать этот узел прибора, как, впрочем, и ряд других, не менее интересных, но непринципиальных элементов его. Важно лишь, что четыре фотодатчика регистрируют положение столика, а значит, и координаты измеряемой точки; вырабатываемые ими импульсы наносятся на перфоленту (бумажная лента, на которой пробиваются отверстия по определенному шифру) одновременно с другими служебными данными (номер трека, номер кадра и т. д.), и вся эта информация вводится в электронно-вычислительную машину.

На рис. 41 изображена последняя модель автомата для обработки снимков (АОС-2), созданная в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, в группе С. М. Коренченко. Очень ценно, что эта установка целиком построена на полупроводниковых приборах; она, кроме того, весьма надежна и удобна в работе.

Чтобы обработать информацию, выдаваемую прибором АОС, требуются весьма быстродействующие машины, производящие несколько тысяч операций в секунду. Такие машины, конечно, существуют, и пока что они справляются с заданиями приборов для автоматической обработки снимков. Беда в другом — эти приборы еще сами отстают от потребностей лабораторий, и отстают значительно.

Автоматы недалекого будущего

О каких же автоматах мечтают физики? В первую очередь — о быстродействующих. Ну, что это за прибор, который тратит целых 10, а то и 15 минут на обработку четырехлучевой звезды! И разве может утешать сознание того, что при обработке вручную при помощи микроскопа для этого требуется целый рабочий день? Так пассажира поезда, целую неделю «ползущего» из Моск-

вы до Хабаровска, вряд ли может успокоить сравнение с почтовыми каретами столетней давности — ведь ТУ-114 проделывает тот же путь за каких-нибудь восемь с половиной часов.

Производительность нынешних автоматов слишком низка — они не способны угнаться за пузырьковыми камерами, и если не сделать нового качественного скачка в принципах действия и конструкциях автоматов, то этот разрыв будет нарастать и лаборатории окажутся заваленными рулонами отснятой пленки.

Физики предъявляют к существующим приборам еще одну, и тоже вполне справедливую, претензию: эти приборы способны определять лишь координаты треков, углы между ними и радиусы кривизны. А кто же будет измерять удельную ионизацию, эффекты многократного рассеяния и другие характеристики, столь важные для изучения свойств частиц? Опять это делать вручную? Даже на заводах существуют универсальные станки-автоматы и целые автоматические линии, позволяющие не только полностью обрабатывать детали, но и собирать узлы и агрегаты без вмешательства человека. Так неужели нельзя добиться той же гармонической законченности в исследовательском автомате? Можно и нужно! И ученые продолжают упорно работать над решением этой проблемы.

В первую очередь надо справиться с задачей быстродействия. Необходимо заменить стрелку или крестовину — эту улитку, едва ползущую по следу — чем-то принципиально новым. И вот Мак-Кормик из Радиационной лаборатории Калифорнийского университета предложил метод, позволяющий сократить время обмера одного события до нескольких секунд. Представляете, какой прогресс: сначала часы, затем минуты, а теперь секунды! Поистине это переход от дилижанса к поезду, а от поезда к реактивному самолету.

Как же добывается Мак-Кормик такого эффекта? Он придумал очень остроумное устройство. Пленка вставляется в держатель и освещается сзади, так что изображение треков проектируется на непрозрачный диск, причем центр изучаемого события, например распада одной частицы на две другие, совмещается с центром диска. В диске по его радиусам вырезаны 15 узких щелей шириной всего в одну треть среднего диаметра пузырьков

и различной длины — от 6 до 16 диаметров пузырьков. Диск вращается со скоростью 1700 оборотов в минуту. Он, таким образом, оказывается разделенным на кольцевые зоны, вычерчиваемые щелями при вращении диска; каждая зона при помощи специальной оптической системы соединена с фотоэлектронным умножителем. Когда диск вращается и щели оказываются напротив отдельных пузырьков (напомним, что пузырьки—это светлые точки на темном фоне пленки), в ФЭУ возникают импульсы, которые наносятся в определенном шифре на магнитную ленту и далее направляются либо в предварительное вычислительное устройство, либо непосредственно в быстродействующую вычислительную машину. Такая операция прodelьвается сначала с одним, а затем с другим кадром стереопары.

Как мы уже говорили, на снимке, сделанном в пузырьковой камере, имеется обычно несколько десятков различных треков, из них надо отобрать только те, которые относятся к изучаемому событию, то есть сходятся в одной точке—центре диска. Такую операцию («фильтрацию») и производит в первую очередь вычислительная машина, причем на нее тратится всего одна секунда. Ведь за это время диск сделает почти 30 оборотов и от каждого освещаемого участка трека возникнет почти 30 импульсов; отобрать из них нужные — дело для машины сравнительно простое.

Следующим этапом для машины является восстановление по двум стереопроекциям пространственной картины. На каждый трек здесь тратится около 1,3 секунды рабочего времени машины. В результате получается, что обработка всего события будет выполнена за каких-нибудь несколько секунд. Мечта, а не автомат! Сейчас создана действующая модель этого прибора и строится первый рабочий образец.

Заманчива идея «сканирования» всего кадра пленки. Это значит, что кадр разбивается на горизонтальные полосы (шириной в диаметр пузырька) и узкий луч света должен пробежать последовательно по всем этим полосам. (На таком принципе работает съемочная телевизионная камера, только в ней световой луч заменен электронным.) Когда луч попадает на светлую, прозрачную точку, он проходит сквозь пленку и вызывает импульс в находящемся за ней ФЭУ или другом приемнике све-

та, а этот импульс направляется в блок памяти вычислительной машины. После того как координаты всех светлых точек, имеющих на кадре, будут записаны, начинается их расшифровка, т. е. распределение их по трекам, а затем восстановление пространственной картины и отбор интересных событий. Это, собственно, и есть та работа, которую выполняет экспериментатор при предварительном просмотре пленки, но только расчлененная на мельчайшие операции.

Пока что, правда, идею «сканирования» трудно реализовать. Во-первых, возникают большие сложности при «обучении» машины правильному отбору событий — необходимо разработать исключительно тонкую программу, предусматривающую все возможные и даже неожиданные ситуации на пленке. Во-вторых, требуется машина с огромной емкостью памяти и очень быстродействующая.

Но в том, что такая задача по силам современной науке и технике,—сомневаться не приходится. И она, конечно, будет решена. А тогда физики полностью избавятся от кропотливой механической работы по анализу снимков и смогут сосредоточить свои усилия на разрешении принципиальных проблем.

ЭПИЛОГ
ЧЕЛОВЕЧЕСТВО
ЕГО НЕ ЗАБУДЕТ



В ОТ и заканчивается наш рассказ. Перед нами прошла 50-летняя история камеры Вильсона и ее дочери и антипода — пузырьковой камеры. Это были замечательные полвека, принесшие человечеству огромные научные достижения, значение которых невозможно переоценить. Ученые не только проникли внутрь атома и атомного ядра, но и сумели извлечь энергию, заложенную в ядре, создав тем самым неисчерпаемые энергетические резервы.

Эти успехи ядерной физики были бы, конечно, невозможны без мощных экспериментальных средств: ускорителей частиц, ядерных реакторов, различного рода регистрирующих устройств, в первую очередь камер Вильсона и пузырьковых камер. Именно им обязаны мы важнейшими открытиями в области физики ядра и элементарных частиц.

Истинное счастье для ученого — видеть плоды своих трудов. Это счастье в полной мере вкусил Вильсон. Он прожил долгую жизнь и был свидетелем — нет, не простым свидетелем, а участником — грандиозных свершений в физике XX века. На его глазах и при его помощи камера Вильсона завоевала лаборатории мира и стала авторитетным исследовательским прибором. Вильсону было 83 года, когда родилась первая пузырьковая ка-

мера, и он по достоинству оценил этот экспериментальный метод, соответствовавший новому этапу развития физики.

Хотелось бы рассказать о последних годах жизни Вильсона. В 1934 г., когда ему исполнилось 65 лет, Вильсон ушел в отставку с поста профессора, вскоре покинул Кембридж и вернулся в столь милую его сердцу Шотландию. Он поселился сначала в Эдинбурге, а затем, уже 80-летним стариком, переехал с семьей в деревню Карлопс, неподалеку от фермы, на которой он родился и провел раннее детство.

Но уйдя «на покой», ученый не погряз в кругу мелких забот и интересов. Он продолжал поддерживать теплые, дружеские отношения со своими коллегами, живо интересовался всеми новостями в научном мире, продолжал активно сотрудничать в Королевском обществе, будучи одним из старейших его членов. (Кстати, в 1928—1929 годах Вильсон занимал пост вице-президента Королевского общества.)

Раз в неделю он садился в автобус и приезжал из своей деревни в Эдинбург, чтобы посидеть часок-другой со своими друзьями, многие из которых были по меньшей мере вдвое моложе его, в переполненном ресторане, поболтать за чашкой чая о разных разностях. А в остальные дни он совершал прогулки по окрестностям и поднимался в горы, не уступая в этом многим молодым.

В ноябре 1956 г. состоялся торжественный пуск нового ядерного реактора в Английском атомном центре в Харуэлле. На торжество было приглашено много ученых, среди них и 87-летний Вильсон. Разве мог он упустить такую возможность! В этот день он поднялся в половине шестого утра и уже в начале восьмого был в Эдинбурге, а оттуда самолетом вылетел в Лондон. К началу церемонии он уже успел осмотреть многочисленные лаборатории Харуэлла, лазил по лестницам, заглядывал во все отверстия. В неопишуемый восторг привела его большая диффузионная камера высокого давления, на которой исследовался пучок частиц от мощного ускорителя.

День был до предела насыщен. Полный впечатлений, Вильсон в 11 часов вечера вернулся домой. Единственное, что омрачило его радость, это был перелет на воз-

душном лайнере в Лондон и обратно, в Эдинбург. Слишком быстро и буднично. Ему больше по душе старенький «Ансон», на котором еще и теперь, пользуясь привилегиями члена метеорологической группы Эдинбургского университета, он совершал полеты вместе со студентами. Вот это действительно здорово: в любую погоду или, вернее, в любую непогоду подниматься в воздух и оттуда, сверху рассматривать горы и долины родной Шотландии.

Д-р Джеймс Патон, сопровождавший Вильсона во всех его полетах на «Ансоне», вспоминает:

«Рано утром наш новый «студент» приезжал автобусом на аэродром, чтобы лететь к западному побережью. Карманы его штормовки были набиты картами и сэндвичами.

Во время полета он непрерывно перебегал от одного борта к другому, распознавая мелькавшие внизу горы и озера и наблюдая за облаками. Однажды нам пришлось пробиваться сквозь грозу и мы очень волновались за нашего престарелого «студента»: как-то перенесет он этот неприятный момент? Но наши волнения оказались напрасными! Натянув на себя спасательный пояс и внимательно всматриваясь в молнии, вспыхивавшие вокруг нас, он, казалось, вовсе не замечал резких бросков и качки самолета. Он наслаждался этой впервые открывшейся перед ним возможностью увидеть — и «пощупать» — грозу в непосредственной близости от себя, после того как он потратил целую жизнь на изучение ее с земли. Явное удовольствие, которое доставляли ему эти «прогулки», неподдельный интерес, который он проявлял, — все это не переставало удивлять летчиков и штурманов. Он был для них постоянным источником восхищения, с самого первого его полета, когда он заметил летчику: «А знаете, я ведь сегодня впервые за все мои 86 лет поднялся в воздух!»

Но его полеты — не простые прогулки, они служат сбору новой информации о природе. Да, Вильсон и в отставке продолжает трудиться. У него накопилась масса материала — опубликованного и главным образом неопубликованного — по возникновению атмосферного электричества во время грозы и давно вынашивается идея теоретического обобщения всего этого богатства. В 1956 году он закончил работу, суммировав-

шую итоги его более чем 60-летних научных исследований, и 27 апреля отправил рукопись в Королевское общество. В августе она уже появилась в печати—20 страниц четко аргументированных выводов, без сомнения, работа сегодняшнего, а отнюдь не вчерашнего дня науки. Она и по сей день остается классическим трудом по теории электричества грозных облаков.

Это была последняя статья Вильсона. Их у него вообще очень немного, всего сорок шесть; он не печатал работу до тех пор, пока не завершал всесторонних испытаний, пока не убеждался в правильности заключений. Но зато опубликованные работы могут служить образцом ясности изложения, четкости формулировок, законченности выводов. Вильсон не создал своей научной школы, лишь четверо-пятеро ученых работали под его непосредственным руководством, но зато очень многие испытали на себе обаяние его личности, восхищались его исключительным трудолюбием, учились у него добросовестности и аккуратности, без которых немислимо истинное исследование.

До самого конца Вильсон сохранил острый взгляд, ясный ум, быструю походку, юное сердце, спокойный характер и редкую скромность. Когда на его 90-летие—это было в феврале 1959 года, за несколько месяцев до кончины Вильсона—в Карлопс съехались ученые из различных стран, это явилось полной неожиданностью для местных жителей. Они и не подозревали, что рядом с ними живет человек, имя которого известно во всем мире, имя которого навечно записано на скрижалях истории науки.

Вильсон умер 15 ноября 1959 года после непродолжительной болезни, единственной серьезной болезни за всю его жизнь. Человечество будет всегда помнить об этом замечательном ученом, талантливом экспериментаторе, создавшем прибор, который по праву называют «высшим кассационным судом в физике».

«Из всех великих ученых нашего века он был, пожалуй, самым мягким и спокойным, самым равнодушным к почестям и славе. Свою беспредельную увлеченность наукой он черпал в исключительной любви к миру природы, в преклонении перед его красотой». Эти слова, сказанные П. Блэккетом, — лучшая оценка Ч. Т. Р. Вильсона.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Первое знакомство (Вместо введения)	5
Глава 1. Упорство побеждает	11
На вершине Бен-Невис	—
Облака в лаборатории	19
Первое открытие	24
Одержимый идеей	31
Частицы можно видеть!	35
Глава 2. Триумфальное шествие	46
Камера Вильсона вступает в строй	—
Терпение плюс изобретательность	47
Частица движется по кривой	49
Космические лучи	52
Лаборатория на электростанции	54
Камера Вильсона заглядывает в антимиры	56
Частица сама себя фотографирует	60
Ливни	62
О пионах, которые не вырастишь в саду	64
Глава 3. Путь к совершенству	69
Демонстрационная камера	70
Универсальная камера	72
Борьба за миллисекунды	85
Солнце в лаборатории	90
На двух полюсах	94
Камера, работающая без отдыха	98
Глава 4. „Антикамера Вильсона“	104
Ширится мир частиц	—
Эврика!	106
Снова в Стокгольме	112
„Чистые“ и „грязные“	114
Опасный агрегат	122
Долой электрическое сопротивление!	126
До финиша еще далеко	129
Глава 5. Автомат-следопыт	134
Что и как искать?	135
В погоне за новой частицей	139
Первые автоматы	142
Автоматы недалекого будущего	147
Эпilog. Человечество его не забудет	151

Иосиф Матвеевич Беккерман
Невидимое оставляет след

Тем. план 1964 г., № 76

Редактор А. Ф. Алябьев]
Художник П. Г. Абелин
Художественный редактор А. С. Александров
Техн. редактор С. М. Попова
Корректор Н. А. Светлова

Сдано в набор 16/1 1964 г.
Подписано в печать 23/11 1964 г.
Бумага 84×108^{1/32}. Физич. печ. л. 4,87.
Привед. п. л. 8,14.

Уч.-изд. л. 7,91. Заказ изд. 803

Тираж 20 000 экз. Т-04526.

Цена 24 коп. Заказ тип. 1028
Атомиздат. Москва, Центр, ул. Кирова, 18

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Государственного комитета
Совета Министров СССР по печати
Шлюзовая яаб., 10.

24 коп.

