

БОРИС ЛЯПУНОВ

Тысягами
органов
чувств

2

Х СЕРИЯ · МОЛОДЕЖНАЯ · 1962

Борис ЛЯПУНОВ

ТЫСЯЧАМИ ОРГАНОВ ЧУВСТВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Всесоюзного общества
по распространению политических и научных знаний

Москва

1962

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

| | |
|------------------------------------|----|
| Необычайный мир | 4 |
| С одного языка на другой | 6 |
| В глубь микромира | 9 |
| Всевидающие лучи | 12 |
| Ловушка для мельчайших | 13 |
| Фотография служит ученым | 16 |
| Остановись, мгновение! | 20 |
| Термометр-кошка | 23 |
| На грани невесомого | 25 |
| Сверхточные часы | 27 |
| В миллиард раз | 29 |

Автор
Борис Валерианович Ляпунов

Редактор Л. И. Ланина
Техн. редактор И. Т. Ракитин
Корректор А. М. Рудная
Обложка художника В. Селиванова

Сдано в набор 15/XII 1961 г. Подписано к печати 16/I 1962 г. Изд. № 6.
Формат бум. 60×92¹/₁₆ Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,86
A02109 Цена 6 коп. Тираж 50700. Заказ 3890.

Типография изд-ва «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д 3/4.

Мы живем в удивительное время, когда наука и техника достигли невиданного расцвета. Штурм Космоса и покорение атома, успехи реактивной авиации и кибернетики, автоматизации и телемеханики—лишь некоторые из достижений последних лет. Они не исчерпывают всех направлений научно-технического прогресса. Программа построения коммунизма, принятая XXII съездом, предусматривает всестороннее и гармоничное развитие народного хозяйства. И одной из важнейших отраслей техники, призванных сыграть огромную роль в научных исследованиях, техническом прогрессе и дальнейшем подъеме производства, является приборостроение.

Без приборов остались бы неосуществленными многие наши мечты. Только благодаря им мы смогли узнать о соседях по небу — звездах, от которых нас отделяют миллионы световых лет. Мы проникли взглядом в микромир, увидели в сверхмикроскопе молекулу и даже отдельный атом. Для нас становится известным то, что происходит в тысячные, миллионные или миллиардные доли секунды: раскрываются тайны полета пули, вспышки молнии, мгновенно происходящей химической реакции и многих других явлений.

Приборы замечают, казалось бы, неуловимое — следы частиц, которые бессилён заметить глаз. Они позволяют измерить время с точностью до мельчайших долей секунды. Они сигнализируют о присутствии вещества в таком количестве, которое трудно себе представить.

На первый взгляд, это представляется научным фокусом, лишь искусством тончайшего эксперимента. Однако это не так. Современная техника и в значительной мере современное производство требуют повышенной точности измерений. От них зависит успех исследований и зачастую производственного процесса. От них зависят — без всякого преувеличения — новые шаги на пути овладения еще нераскрытыми тайнами природы. Так, точное измерение времени дало возможность

создать радиолокацию. Она помогает ныне разгадывать загадки Луны и планет, водить морские и воздушные корабли, следить за полетом космических ракет. Приборы, отмечающие следы мельчайших частиц, незаменимы в ядерной физике, а она — основа атомной энергетики, все более широко входящей в жизнь нашего века. Приборы — помощники ученых-химиков и производственников, создающих все огромное многообразие синтетических материалов. Сверхскоростная фото- и киносъемка — замечательное орудие в руках исследователя быстротекущих процессов, скоростных машин, электрических разрядов, взрывов и др.

По образному выражению, приборы — глаза науки, изучающей мир. Они словно обостряют человеческие чувства. О том, как расширяются наши возможности благодаря приборам, какое практическое применение это находит, рассказывает наша брошюра. В ней, конечно, невозможно было описать весь современный «приборный арсенал». Но на ряде интересных примеров мы стремимся показать, какие уже получены поразительные результаты, какие созданы новые средства для того, чтобы раскрывать тайны природы в интересах науки, практики, на благо человека.

НЕОБЫЧАЙНЫЙ МИР

Тысячелетиями не перестают воспевать поэты красоту окружающего нас мира. Каждый человек — где бы он ни родился, где бы ни жил, чем бы ни занимался — по-своему восхищается тем, что видит и слышит вокруг.

Мы любимся бесконечным разнообразием красок в палитре великого художника — природы. Не надо даже совершать далекие путешествия, чтобы увидеть красоту мира — стоит только посмотреть и послушать, что творится вокруг.

Послушать пение птиц, шум деревьев, стрекотание кузнечиков — голоса полей, лугов, лесов. Почувствовать нежный аромат цветов, запах свежескошенного сена, влажную свежесть от реки... Жизнь всюду. И всюду, куда ни проникал человек, можно увидеть неповторимые, по-своему прекрасные творения природы.

Однако наше зрение и слух, все наши чувства существуют не только для любования природой или произведениями человеческих рук. Не видеть, не слышать, не чувствовать — значит не жить, не работать, не существовать. Пять органов чувств делают неизмеримо много: без них человек не был бы тем, что он есть — открывателем тайн природы, работником, творцом в ее мастерской.

Но, оказывается, мир, в котором мы живем, далеко не весь открыт для нас. По существу мы живем в мире, лишь ничтожнейшая доля которого доступна нашим органам чувств.

А за этими пределами свои законы, свои меры: не секунда, а ее тысячная и даже миллионная доля, не сантиметр или миллиметр, а микроны и доли микрона, не граммы, а миллиграммы, не километры и метры, а световые годы — расстояния, которые отказывается представить себе наше воображение. Это мир бесконечно малого и бесконечно большого, мир невидимых лучей и неслышимых звуков, неосязаемых температур и сверхвысоких скоростей.

Где же этот поистине изумительный мир? Он — не выдумка, он существует, и мы проникли в него, хотя он закрыт для наших органов чувств. Мы заглянули внутрь человеческого тела и в толщу металла, уловили слабые излучения природных радиостанций — планет и далеких звезд. Мы сумели ускорить время, и увидеть, как на наших глазах распускается цветок, мы сумели остановить его — и заметили, как летит пуля. Мы проникли в глубь атома, и знакомимся с семейством мельчайших частиц, кирпичиками материи. Мы научились измерять кратчайшие промежутки времени, ничтожнейшие доли грамма, сантиметра, градуса, атмосферы. Мы проникаем все глубже в мир, казалось бы, недоступный нам, охотимся за, казалось бы, неуловимым.

Путешествие в этот мир началось уже давно. История микроскопа насчитывает множество лет. Рентгеновы лучи были открыты еще в конце прошлого века, фотография и кино тоже детища XIX столетия. Но как непохожи современные точные приборы на своих предков! Микроскоп без стекол, дающий увеличение в двести тысяч раз... Часы без маятников и пружинок, измеряющие тысячные и миллионные доли секунды... Термометр, который «замечает» изменение температуры в миллионную долю градуса...

Стремясь получить наибольшую точность и чувствительность, приборостроители искали неизведанные пути. Им на помощь пришла электроника — одна из самых замечательных ветвей новой техники. Потоки электронов, которые стали подвластны человеку, заменили световые лучи в микроскопе. Электронные преобразователи сделали видимым невидимое и слышимым неслышимое. Электроника дала нам сверхточные часы, сверхчувствительный фотоэлемент, сверхскоростную рентгеновскую фотографию.

Погоня за неуловимым — не рекордсменство, не бесполезные ухищрения изобретательской мысли. Точности и чувствительности требует от приборов современная наука. Новые средства — новые результаты. Успехи приборостроения последних десятилетий дали возможность проникнуть еще глубже в мир, не доступный человеческим чувствам¹.

¹ Об истории развития приборостроения рассказано в книгах, список которых приведен в конце брошюры.

С ОДНОГО ЯЗЫКА НА ДРУГОЙ

Как сделать невидимое видимым, неслышимое — слышимым, недоступное — доступным? Надо обратиться к приборам, которые переведут с языка незнакомого на язык всем знакомый и понятный.

Переводчики в технике не редкость. Вот примеры всем известных «переводов». Телефон: звук — колебания тока в микрофоне — снова колебания тока и опять звук. Радио: звук — электромагнитные волны — звук. Телевидение: свет — радиоволны — свет. Сейчас создан беспроводный телефон — звук управляет прохождением пучка инфракрасных лучей, вызывающих переменный ток. Связь осуществляется не по проводам, не по радио, а с помощью тепловых лучей-невидимок.

В различных приборах часто приходится встречаться с преобразованием одних явлений в другие, не доступных нам в доступные, которые человек легко может заметить.

Погас свет, и глаза постепенно привыкают к темноте. Сначала ничего не видно, потом смутно вырисовываются очертания каких-то предметов. И вдруг возникает нежное свечение разных цветов. Пробирки, стоявшие на столе, ожили, засияли радугой красок. Вот розовый столбик, голубой, желтоватый... Стекла и подставки незаметны, кажется, будто разноцветные пятнышки сами собой горят в темноте.

И дело не в одной красоте этого зрелища. Вещества, которые были в пробирках, светятся под действием невидимых ультрафиолетовых лучей, они служат переводчиками невидимого на понятный для нас «световой язык». Во многих приборах без них нельзя обойтись. Есть вещества, светящиеся не только под действием ультрафиолетовых, но и инфракрасных, рентгеновых, гамма-лучей, потоков электронов.

Электронный луч чертит на экране кривую: это значит, что какие-то явления рассказывают о себе электрическим языком, а невидимки-электроны в свою очередь переводят их рассказ в световую картину. Рентгеновы лучи дали увеличенное в миллионы раз изображение атомов кристалла, в строгом порядке размещенных внутри него, — и мы увидели расположение атомов в кристалле на светящемся экране.

В приборе, который позволяет видеть в темноте, тоже не обошлось без переводчика. Его так и назвали — электронно-оптический преобразователь. В нем есть тончайший слой вещества, из которого невидимые инфракрасные лучи вырывают электроны, рисуя невидимое же электронное изображение. Облучая предметы, как это делает локатор, можно поймать и отраженное излучение ночью, сквозь туман, в непогоду. Затем электроны переведут увиденную лучом картину на световой «язык». Правда, картина выйдет одноцветной, больше

того — похожей на фотографический негатив. Беловатые деревья, дома и трава... Подобные снимки удается делать с расстояния даже в несколько сотен километров. Более того: не светящиеся, «холодные», остывшие звезды посылают не световые, а тепловые лучи, и можно их обнаружить, сфотографировав с помощью того же прибора.

Неслышимый звук — ультразвук — не слушают, а видят. Совершенно неожиданный перевод! Как связать друг с другом звук и свет?

Если направить ультразвук на поверхность жидкости, то на ней появляется рябь, хорошо видная при косом освещении. Эта рябь — видимая картина ультразвукового поля. Ультразвук распространяется подобно свету — узкими пучками, так же, как свет, преломляется и отражается. С помощью источника звука и звуковой линзы — алюминиевой «чечевицы» — можно получить изображение.

Ультразвуковое изображение можно увидеть и с помощью электрического тока. Для этого на пути звука ставят кварцевую пластинку, в которой под действием колебаний давления (а всякий звук — и слышимый, и не слышимый — есть такое колебание) возникает электрический ток. Теперь получить видимую картину уже несложно, воспользовавшись электронно-лучевой трубкой.

В стеклянном сосуде, напоминающем колбу, создан вакуум. Раскаленная нить — катод и система анодов создают в ней поток электронов, который с огромной скоростью несется к экрану. Экран же этот — дно стеклянной трубки-колбы, покрытое слоем особого вещества. Удары электронов заставляют его светиться. Там, где невидимки-электроны закончили свой путь, возникает светящееся пятно. Поток электронов необычайно чувствителен к переменам электрического тока, который поступает на отклоняющие пластины. Путь электронного луча искривляется, пятнышко обегает экран и чертит на нем замысловатую кривую.

Такая кривая может о многом рассказать: о работе человеческого сердца и о работе мотора, о полете космической ракеты и ударе молнии. Ведь на электрический язык можно перевести множество самых разных явлений. Поток электронов отзывчив к тому, для чего само понятие «видеть», казалось бы, лишено всякого смысла. Можно ли видеть температуру? Электрические или магнитные поля? Да. И притом увидеть на расстоянии — не даром электронная трубка служит основой телевизора.

Совсем недавно возникло новое слово, новое направление в науке — интроскопия. Обозначает оно «внутреннее видение». Интроскопия сделала для нас весь окружающий мир прозрачным. Теперь мы можем увидеть внутреннее строение

кристаллов, дефекты структуры металлов, заглянуть в расплавленный металл. Это новое зрение дают нам невидимые лучи — инфракрасные, рентгеновы, гамма-лучи и ультразвук.

Оно стало возможным благодаря появлению высокочувствительных «переводчиков» — электронно-оптических и электронно-акустических преобразователей. Они-то и делают видимым невидимое и даже неслышимое, превращают излучения и ультразвук в потоки электронов, которые создают светящееся изображение на флуоресцирующем экране.

Особое значение имеет интроскопия для современного автоматического непрерывного производства, позволяя контролировать качество заготовок, металла, сварных швов, следить за ходом химических реакций. Контроль может быть непрерывным, а не выборочным и не требует остановок, перерывов в работе. Большое будущее имеет интроскопия и в медицине, где, вероятно, благодаря ей хирург сможет проводить операцию не вслепую, а видя внутреннее строение оперируемых органов и тканей на экране.

Где-то есть источник опасных для организма радиоактивных или рентгеновых излучений, где-то происходит нагрев, где-то находится сильное электрическое или магнитное поле. А в лаборатории, на экране прибора видна вся картина действия вызванных человеком или рожденных природой сил.

Однако прежде чем прочесть запись на электрическом языке, нужно уловить то, что нас интересует, то, за чем мы охотимся.

В приборах имеется чувствительный элемент. Его называют датчиком. Он первый подает сигнал о ничтожных, незаметных для нас переменах. И какой бы сложный прибор мы ни взяли, в нем непременно отыщется орган «осознания» — датчик.

Ток идет в электронной лампе и счетчике излучений, фотоэлементе и трансформаторе, реостате и термисторе. И все их можно сделать датчиками. Все они могут помочь измерять множество неэлектрических величин, переведя их на язык электротехники.

Датчик не есть что-то таинственное и сложное. Среди датчиков, несомненно, найдутся наши старые знакомые. Например, датчиком может служить даже простая проволочка, соединенная с точным электроизмерительным прибором.

Меняется температура. Отчего? От нагрева или охлаждения, оттого, что откуда-то пришли невидимые тепловые лучи, или теплота выделилась при каких-то физико-химических процессах? Мы хотим измерить ее. Пусть незначительны все эти перемены, но датчик-проволочка отзовется на них. Изменится его сопротивление, и этим он ответит, насколько стало теплее или холоднее.

Датчиком может служить фотоэлемент. Будет меняться световой поток, попадающий на фотоэлемент, изменится и сила тока, идущего в нем, — прибор скажет, сколько вещества в растворе, какова толщина нити, ленты, пластины, насколько чисто обработан материал.

Есть и другие датчики. Между пластинами конденсатора движется лента переменной толщины, обтачивается вал на станке, и конденсатор откликается на это, потому что изменяется его емкость, — измеритель толщин, диаметров, уровней уже получился. Изменится напряженность магнитного поля, если сильно сжать магнит, — так можно измерять усилия.

В числе датчиков — электронная лампа с подвижным электродом. Электронная лампа измеряет ничтожно малые перемещения с такой высокой точностью, которая недоступна никакому другому прибору.

Если, например, изменить расстояние между анодом и катодом, сразу же это отзовется на токе, и притом довольно заметно. Остается лишь придумать, как сделать в лампе подвижный электрод. Справиться с этим поможет... противогаз. Его резиновая трубка состоит как будто из множества соединенных вместе колец. Ее легко растянуть или сжать. Вот такую «гармошку», но металлическую, конечно, надо впаять в лампу, соединить ее с электродом, а кончик вывести наружу. Тогда обеспечена подвижность и сохранится вакуум.

Каким бы малым ни был сдвиг, лампа его почувствует. Если даже он в десятки раз меньше диаметра атомов — все равно ток в лампе изменится. Пусть едва заметно сожмется и растянется под нагрузкой металл, будет колебаться какая-нибудь деталь. Все это поможет заметить и измерить радиолампа.

Человек исследует природу тысячами органов чувств, как сказал однажды академик А. Н. Несмеянов. В этом нет преувеличения. Мы расскажем лишь о нескольких помощниках ученых, которые дают возможность охотиться за неуловимым.

В ГЛУБЬ МИКРОМИРА

Два века назад увеличительное стекло впервые открыло невидимый мир. В капле воды человек увидел множество мельчайших живых существ. С тех пор вместо одного стекла появилась целая система стекол, родился оптический микроскоп, дающий увеличение до трех тысяч раз!

Ученые работают над его совершенствованием. Помещая вращающееся матовое стекло на пути лучей в микроскопе, оптики Германской Демократической Республики добились увеличения в 10 тысяч раз.

В Ленинграде была создана установка для проектирования получаемого в микроскопе изображения на экран телевизора.

Это очень облегчает наблюдения и делает их доступными для многих людей одновременно. На экране удавалось получать четкие изображения с увеличением в 8 тысяч раз.

Делаются многочисленные попытки получить стереоскопическое изображение в микроскопе. Ведь мир мельчайшего, открываемый нам микроскопом, плоский. Есть несколько конструкций стереомикроскопов — с двумя объективами и с двумя окулярами. Они могут дать лишь небольшое увеличение — до 120 раз. 600-кратного увеличения добились советские изобретатели с помощью двух маленьких зеркалец, создающих пару изображений, видимых глазом стереоскопически, как одно объемное.

Английские ученые предложили прикрепить стекло с прозрачным препаратом и экран к двум синхронно колеблющимся камертонам. Число колебаний камертонов 50 раз в секунду. При этом за каждую сотую долю секунды все слои препарата успевают побывать в плоскости ясного видения. Перед глазом множество раз, как в кино, проходит их четкое изображение, и они сливаются в одно объемное изображение.

Между тем, путешествие в мир невидимого по существу только началось. Корабль лишь отошел от берега. Уже, правда, встретилось много нового и интересного в этом мире, где острова и новые земли еще не нанесены на карту. Однако сколько же должно быть их впереди! И жаль, что корабль не приспособлен для слишком дальних переходов. Ему страшны океанские штормы. Волей-неволей приходится возвращаться и строить другие суда. Так и в разведке микромира: был достигнут предел, и предел поставила сама природа. Дальше не помогут ни стекла, ни искусство оптики.

Свет ведь — волны. На воде волна, разбиваясь о большой камень, незаметно обходит маленький камешек: он ей не мешает, она проходит мимо, не замечая такого незначительного препятствия на своем пути. Чтобы можно было увидеть предмет, свет должен отразиться от него, путь его должен измениться, как путь волны при встрече с камнем. Но слишком маленький предмет световая волна не заметит.

Тем не менее оказалось, что природу можно перехитрить.

Не попробовать ли пропустить через линзы микроскопа невидимые ультрафиолетовые лучи — такие же электромагнитные волны, только меньшей длины, чем видимый свет? Быть может, тогда станут заметны «камешки» поменьше тех, что обнаруживает обычный микроскоп?

Воспользуемся ультрафиолетовыми лучами и веществами, которые светятся под их действием. Спроектируем изображение на покрытый таким веществом экран — и перед нами возникнет яркая картина.

Пройден еще один участок за пределами зрения... и снова остановка. Лучи-невидимки отказываются дальше помогать.

Микроскоп больше уже не годится. Можно спросить: кроме ультрафиолетовых есть и другие лучи, еще короче — рентгеновые и гамма-лучи, почему бы не обратиться к ним? К сожалению, эти волны не преломляются, проходя сквозь вещества. Иначе говоря, для них нельзя создать свою «оптику», собрать их и направить, как свет через обычные линзы.

Свойства, подобные световым лучам, есть у лучей электронных. Они также могут, проходя через прозрачную для них среду, по-разному поглощаться, в зависимости от толщины и плотности предметов. Сейчас электронный микроскоп в лаборатории ученого столь же привычен, как недавно оптический. Электронная оптика дает увеличение в 100, 150, 200 тысяч раз.

Советский электронный микроскоп УЭМВ-100, привлекавший внимание посетителей на многих международных выставках, дает увеличение до двухсот тысяч раз. А если полученное в нем изображение рассматривать в обычный оптический микроскоп, то мы увидим предметы увеличенными в 1 200 тысяч раз!

Чтобы изображение в электронном микроскопе было четким, его нужно ярко осветить. Но при этом объект очень сильно нагревается — на несколько сот градусов. Чтобы избежать этого, в микроскопе УЭМВ-100 освещается только та небольшая часть объекта, которая изучается. Изображение может быть сделано стереоскопическим — с помощью специальной приставки.

Внутри электронного микроскопа — вакуум. Иначе он не будет работать: молекулы воздуха преградят путь электронам. Но в вакууме гибнет все живое, и поэтому до сих пор электронный микроскоп мог служить лишь для изучения мертвых бактерий и вирусов. Теперь в электронный микроскоп помещают прочную маленькую камеру (чтобы не взорвалась в вакууме!), наполненную воздухом. В ней созданы условия, необходимые для жизнедеятельности бактерий. Стенки камеры или окошечки в них делают из материала, прозрачного для электронов. Тогда можно наблюдать, как питаются, размножаются, двигаются живые микроорганизмы. В эту же микрокамеру можно вводить газ и наблюдать за ходом химических реакций, изменением структуры металла под влиянием газовых молекул, образованием новых химических соединений.

Мы проникли при помощи электронной оптики в микромир, увидели крупные молекулы. А мелкие молекулы и атомы? Или перед ними бессилён даже электронный микроскоп?

Снимки бактерий, вирусов, структуры металла при громадных увеличениях, наконец, отдельных молекул — уже не новинка. Недавно получена замечательная фотография: какие-то смутные пятна на светлом фоне, какая-то черно-белая мозаика видны на ней,—это снимок уже не крупных, а мел-

ких молекул, состоящих из нескольких атомов. Недавно за рубежом появилось сообщение, что удалось увидеть даже отдельный атом. Размер же атома — десятибиллионная доля сантиметра! Представить себе эту величину поможет такое сравнение: она на столько меньше сантиметра, на сколько диаметр гривенника меньше расстояния от Москвы до Ростова-Дону.

Как же удалось этого добиться? Линз в новом сверхмикроскопе нет. В пустой колбе с раскаленного острия металлической иглы срываются электроны и с огромной скоростью устремляются к дну-экрану. На нем возникает изображение острия, увеличенное в миллион раз. Когда же в колбу попадает немного молекул газа, часть из них оседает на игле. Молекула крайне мала, но ее «электронная» тень видна на экране.

Построено уже несколько образцов подобных проекторов, в которых работают мельчайшие частички — электроны, ионы, протоны. Вместо сотен тысяч заговорили об увеличениях в миллионы раз. Протонный микроскоп различает предметы в одну десятитысячную долю микрона. Но остановка ли это? Атом неисчерпаем. Вероятно, и другие его частицы смогут служить в микроскопах. И тогда на экранах будущих оптических приборов увидят таких представителей микромира, которые до сих пор оставались за пределами нашего зрения, вооруженного сверхмикроскопами сегодняшнего дня.

ВСЕВИДЯЩИЕ ЛУЧИ

В полумраке лаборатории светится голубоватым светом экран. Против него трубка, через которую идет ток. Ученый протягивает перед ней руку, и видит на экране кости скелета. Отчетливо очерчены каждая косточка, каждый сустав. Человек заглянул внутрь самого себя! Сейчас это никому не в диковинку, и имя Рентгена, открывшего таинственные, всевидящие, всепроникающие лучи, известно всем. Рентгеновский кабинет есть в любой поликлинике, и современная медицина не может обойтись без рентгеновых лучей.

Рентгеновы лучи создаются при торможении потока электронов. Электроны вылетают с огромной скоростью из катода рентгеновской трубки и ударяются об анод. Анод от этих ударов раскаляется и даже плавится. Его охлаждают водой или устраивают подвижным, чтобы пучок не попадал все время в одно место, не так сильно нагревал бы металл. Построены разные конструкции рентгеновских трубок, но идея в основе у них одна: разогнать и внезапно остановить частицы.

На снимках, полученных с помощью рентгеновых лучей, видны кости скелета и внутренние пороки металла, скрытые корпусом детали машин и непроваренные места сварного шва.

А вот и другие снимки. На пленке разбросаны всюду пят-

на. О чем же рассказывают эти пятнышки, которые усеивают снимок? Или иной снимок, на котором пятна — и побольше, и поменьше — выстроились цепочками, словно запись по азбуке Морзе? Это — «скелет» кристалла, его портрет в невидимых лучах. В кристалле ведь царит строгий порядок, атомы размещены на точно установленных местах. Как именно — и говорит рентгенограмма. Больше того. Все, что происходит с кристаллом, немедленно отразится на снимке. Самые незначительные смещения атомов сразу обнаруживают себя. Поэтому и можно измерять то, что не под силу другим приборам.

Так, например, в установке сверхвысоких давлений сжали образец. Нет еще манометра, измеряющего давление в десятки тысяч атмосфер. Выручают рентгеновы лучи. Рентгенограмма отметит, насколько сместились атомы в сжатых кристаллах. Расчет покажет, какая для этого нужна сила. Такой путь — пока единственный для измерения столь высоких давлений.

Есть трубки, позволяющие производить снимки с выдержкой всего в миллиардные доли секунды. Такие трубки запечатлевают на снимках то, что происходит в ничтожно малое время. Конденсатор, включенный в цепь, вызывает мгновенный разряд, импульс тока. Сильный ток создает мощный поток лучей, успевающий подействовать на пленку. Но так как он возникает лишь на ничтожно малое время, то аноду не грозит разрушение.

Советскими изобретателями создана импульсная рентгеновская установка, с помощью которой можно получать снимки с выдержкой в три десятиллионные доли секунды. Эти снимки позволяют проникнуть в глубь стали на 100 миллиметров.

Интересно, что в одной из моделей импульсных трубок устроили жидкий, ртутный, анод. Узкий луч обрушивался на маленькое озерко ртути. Она вскипала, испарялась, пары на миллионную долю секунды нагревались до 100 тысяч градусов. Работе трубки это не мешало.

Импульсная рентгеновская трубка становится новым могучим средством изучения мира больших скоростей. Сверхскоростная фотография во всевидящих лучах — новое зрение в этом мире, не подвластном нашим органам чувств.

ЛОВУШКА ДЛЯ МЕЛЬЧАЙШИХ

Этот небольшой прибор — счетчик заряженных частиц — выдающийся путешественник.

Ему пришлось побывать на высоких горах и на дне глубоких озер, на крайнем Севере и в далекой Антарктиде. Для него почти не осталось белых пятен на географических картах. Он отправлялся в полет на маленьком воздушном шаре с па-

лубы теплохода, плывущего в тропических морях, стартовал на ракете с ракетодомов в разных местах планеты. Его опускали в глубины моря на подводной лодке и в аппарате для глубоководных спусков — батисфере. Его прятали за толстой стальной твердой брони, и в глубоких шахтах, под толщей земных пород.

А затем он начал новые удивительные путешествия — вокруг света на искусственных спутниках Земли и космических ракетах.

В последние годы много прибавилось мест, куда попадает этот прибор.

Металлургический завод и опытное поле, испытательная станция и химическая лаборатория, — пожалуй, легче перечислить те места, где его не бывает, их гораздо меньше.

Почему же приходится ему столько путешествовать? Заряженные частички, различные представители мира мельчайших непрерывно бомбардируют Землю, проникая не только через толщу атмосферы, но и глубоко в земные недра. От них не спасает даже многометровая толща воды, даже толстые броневые плиты. Частички несутся из мирового пространства, они приходят и из земных глубин. Они — неизбежный спутник самой крохотной крупинки любого радиоактивного вещества, пусть то ничтожная примесь к светящейся краске на циферблате ваших часов или еле заметная ампулка с радием в кабинете врача.

Множество новых источников таких быстрых частиц появилось за последние годы. Электростанции, в которых работает покоренный атом; лаборатории, где совершается «чудо» средневековых алхимиков — превращения элементов; заводы атомной промышленности; наконец экспериментальные взрывы при испытаниях ядерного оружия, — все это рождает излучения, производит частицы — и за ними надо следить. Следить, потому что в большой дозе они опасны для человека и всего живого на земле. Следить, так как они — вестники из микромира и самые искусные, тонкие разведчики, какими только располагает человек.

Вездесущий прибор! И очень простой по устройству: трубка, из которой выкачан воздух, с двумя электродами внутри. Таков счетчик Гейгера.

Почти все элементарные частицы обладают электрическим зарядом. Он настолько мал, что ускользнул бы от любого, самого высокочувствительного прибора, если бы не одно «но». Двигаясь чрезвычайно быстро, заряженная частичка, как снаряд, пронесется сквозь несметные полчища атомов. В ядро ей не попасть — оно тоже заряжено и оттолкнет ее от себя, зато электроны она может потревожить и выбить из атома. Тогда этот рядовой, ничем не примечательный атом, становится от-

личным от своих собратьев. У него даже название теперь другое — ион, что в переводе значит «заряженный».

Путь нашей частички буквально усеян ионами, они возникают сотнями тысяч. Дело ведь в том, что наша частичка породила ион, который, в свою очередь, сам может ионизировать газ. Пусть между электродами создано электрическое поле, разгоняющее частички. Поток их нарастает, как лавина. Если напряжение велико, разряд будет столь силен, что разрушит прибор, и потому присоединяют сопротивление, берущее часть тока на себя.

Итак, достаточно всего одной частицы, чтобы в счетчике возникли сотни тысяч частиц. Одна — и сотни тысяч! Это уже вполне ощутимо для прибора. Потому-то он и откликается даже на единственную частичку — след, который она оставляет, легко заметить.

Поток ионов, или иначе — электрический ток, если необходимо, можно усилить, чтобы включить прибор и зарегистрировать попадание частички в западню.

С одной стороны, чувствительность его такова, что не замеченной не пройдет ни одна частица. С другой, если частиц очень много, он успевает их сосчитать: надо только обратиться к электронным приборам. Тысячи отсчетов в минуту электронный счетчик сделает очень легко.

Частичка обнаруживает себя рожденным ею током. Не оставляет ли она еще какого-нибудь следа? Оказывается, да, и им можно воспользоваться, чтобы проследить за ней. Но ловушку придется сделать иначе, и призвать на помощь не электричество, а... туман. Частица влетает в закрытую со всех сторон камеру, наполненную паром. Не надо думать, что там белые клубы: воздух насыщен влагой, однако капельки слишком мелкие и пока не видимы. Появилась частица. Капельки мгновенно оседают на нее. И если раньше путь ее был усеян ионами, то теперь его обозначит отчетливо заметная дорожка. На снимке видно, как двигалась попавшая в ловушку частица. Так устроена камера Вильсона.

Снимок может быть сделан автоматически, как раз тогда, когда частичка попала в ловушку. Она сама включает фотоаппарат. Для этого по бокам «камеры туманов» ставят два счетчика Гейгера. Как только частица пройдет через них (а следовательно, и через камеру), появляется ток. Он усиливается и затем включает всю съемочную аппаратуру.

Сквозь толстое стекло лупы видно, как загораются и гаснут искорки. Одна, другая, третья... Если присмотреться повнимательней, можно сосчитать, сколько их вспыхивает в миниатюрном фейерверке. Иными словами, легко узнать, сколько частиц появилось на наших глазах. Ведь каждая из них, ударяясь об экран, дает мгновенную вспышку: экран покрыт слоем одного из тех замечательных веществ, которые светятся

под действием излучений. Недавно у нас построена такая камера, где можно сфотографировать на пленку след-вспышку от каждого отдельного электрона. Вспышки может считать машина. А для этого счетчик соединяют с фотоумножителем — о нем мы расскажем дальше. Вспышки света рожают в фотоумножителе ток. Многократно усиленный он приводит в действие счетные устройства.

Есть еще один регистратор частиц — пузырьковая камера. Он применяется теперь во всех ускорителях заряженных частиц. Пузырьковая камера — закрытый сосуд с прозрачной жидкостью. Одна из его стенок — эластичная мембрана, соединенная с другим сосудом, в котором находится под большим давлением газ. Температура жидкости такова, что не будь повышенного давления, жидкость закипела бы.

Заряженная частица, попавшая в камеру, ионизирует атомы жидкости. Путь ее, как и в камере Вильсона, отмечается видимой дорожкой, но не капелек, а пузырьков.

Пузырьки эти очень малы. Чтобы их сфотографировать, нужно понизить давление — открыть клапан в сосуде с газом и выпустить часть его наружу. Давление жидкости падает, и пузырьки увеличиваются, становятся видимыми.

Но тогда скоро вскипает вся жидкость. Чтобы камера снова была готова к работе, нужно восстановить давление.

Пузырьковые камеры наполняют самыми разнообразными жидкостями, в том числе и сжиженными газами.

В семействе мельчайших есть, однако, и частички, у которых нет заряда, нейтроны. Как их обнаружить? Когда нужно поймать нейтроны на пути в ядерный реактор, пользуются каким-либо веществом, которое их жадно поглощает и становится радиоактивным — выбрасывает заряженные частицы. Если наполнить счетчик газообразным поглотителем нейтронов, удастся ловить в западню и этих членов семьи мельчайших. Ловушки для всех них действуют безотказно!

ФОТОГРАФИЯ СЛУЖИТ УЧЕНЫМ

На выставках художественной фотографии, на страницах книг и журналов можно увидеть красивейшие и оригинальные снимки.

Но вряд ли они могут сравниться по своему значению с другими снимками, которые украшают лишь страницы специальных журналов и научных трудов. Часть их хранится в «стеклянных библиотеках» — хранилищах фотопластинок. Они запечатлели далекие солнца — звезды, удаленные от нас на миллионы световых лет. На других снимках какие-то искорки разлетелись в стороны, как будто столкнулись и рассыпались две звезды. Однако не столкновение звезд, а встреча крошеч-

ных, ничтожно малых частичек из микромира зафиксирована на пластинке. Большое выходит малым, малое — большим.

Фотоаппарат заснял Землю в Космосе и обратную сторону Луны.

Только благодаря фотографии открыты многие Галактики, о которых раньше мы не знали. И только фотография раздвинула границы познанного нами звездного мира до фантастических расстояний — до миллионов световых лет. На Земле еще не было человека, когда свет начал путь от столь далеких звездных миров.

«Светопись», запись светом на пленку или пластинку, сопровождает работу с телескопом и микроскопом, с рентгеновским аппаратом и камерой Вильсона и с другими приборами. Фотоснимок — точный и беспристрастный регистратор любых событий, любых объектов везде и всюду.

«Диапазон зрения» фотографии необычайно широк: фотопластинки могут замечать не только световые, но и недоступные человеческому глазу ультрафиолетовые и инфракрасные, рентгеновы и гамма-лучи. Для фотографии, если ей помогает электроника, не существуют туман и ночь, — в темноте и в непогоду снимок выходит не хуже, чем в ясный день. Фотография может сделать снимок объемным, цветным, может, как и сверхскоростная кинокамера, поймать происходящее в ничтожную часть секунды. Можно фотографировать без фотоаппарата и даже без фотопленки...

Фотопленка, как приемник световых излучений обладает замечательным свойством, которого нет даже у нашего глаза: она накапливает свет. Глаз устает смотреть, а пластинка со временем видит лучше: больше выдержка, и более слабые звезды появляются на ней.

В тонкой желатиновой пленке рассеяны мельчайшие кристаллики бромистого серебра. На них попал свет — и это не прошло для кристаллов бесследно. Правда, фотопластинка осталась такой же, какой была, и никакого изображения на ней не увидишь, как бы мы ни силились его рассмотреть. Однако оно есть — скрытое, запрытанное в бромистом серебре. Свет ионизировал кристаллики, оставив тем самым свой след, и действовал местами сильнее, местами слабее. Он создал невидимую пока картину. Теперь дело за проявителем: он восстанавливает из соли чистое, металлическое серебро — и негатив готов — можно печатать с него сколько угодно снимков.

Что ж, во всем этом ничего особенного нет. Для фотолюбителей это азбука, так же как и цветная печать, и стереоснимок, и многие другие виды съемок, которые доступны сейчас тем, кто имеет аппарат. Но вот что должно привлечь наше внимание. Превращения в бромистом серебре возникают благодаря ионизации. А ионизировать — свойство, присущее не только свету. Им обладают все заряженные частицы, Попад в

светочувствительный слой, они действуют подобно свету и оставляют свой автограф, путь их на снимке становится видимым. Вот и фотография без фотоаппарата! По этим снимкам можно определить заряд, массу, скорость частиц.

Правда, обычно слой на пластинке бывает толщиной всего в десяток-другой микрон. Тут частице не удастся пройти заметный путь. Поэтому применяют особо приготовленные, толстослойные пластинки, где слой имеет толщину в сотни микрон и обладает высокой чувствительностью. Именно на них и засняты интереснейшие события, разыгравшиеся в микромире, например, столкновение космической частицы с ядром атома серебра. Следы, как лучи, расходятся в стороны от их столкновения. Глядя на такую «документальную» фотографию, донесшую до нас свидетельство событий в недрах вещества, можно судить, каковы были их виновники, сами частицы.

Одна на миллиард частей — столько вещества может быть в растворе. Но и этого достаточно, чтобы примесь была обнаружена спектральным анализом. Как? Лишь с помощью фотопластинки: на ней можно уловить и рассмотреть ту линию в спектре, которую дает крупинка, затерявшаяся среди миллиарда других.

Десятимиллиардная доля процента — таково содержание радиоактивного вещества, которое введено в растение. Если мы хотим проследить, куда попали эти меченые атомы — в корни, стебель или листья — нас выручит радиоснимок. Атомы сами себя отметят на нем. Недаром этот способ называли автордиографией. Излучение может быть столь слабо, что заставит почернеть пластинку лишь после выдержки в несколько месяцев! И все же заставит. Снимок ответит на заданный вопрос.

Автордиографию дают не только радиоактивные атомы. Срезы растительных и животных тканей оставляют свой «портрет» на фотопленке без всяких оптических устройств — достаточно положить в темноте кусочек ткани на фотопленку, закрыть стеклом и поместить в светонепроницаемую коробку. Через сорок минут пленку можно проявлять (промыть предварительно холодной водой в темноте) и снимок готов. Снимки получаются очень четкие, видны детали строения тканей, болезненные изменения в них. Почему возникает автордиография? Возможно, ткани животных испускают какие-то лучи, возможно, тканевая жидкость обладает свойством засвечивать пленку. Пока на этот вопрос ученые не могут ответить.

Как велики бактерия, вирус, молекула, — эти малые представители живой и неживой природы? Сколько их умещается в поле зрения электронного микроскопа? Снять и определить по снимку — единственный путь. Снимок дает возможность сказать, как расположены атомы в кристалле, а ведь рассто-

яния между ними не превышают нескольких стомиллионных долей сантиметра. Следы на толстослойных пластинках — не просто эффектная картина, а материал для измерений и расчетов, позволяющих «опознать» микрочастицы, познакомиться с ними поближе.

Теперь — о фотографии «микрочастиц времени». 10 миллионов снимков в секунду — рекорд частоты. Всего несколько метров пленки помещается тогда в съемочный аппарат. Тут не годятся обычные затворы, лампы-вспышки и прочая простейшая техника. Быстродействующий затвор дает выдержку в миллиардную долю секунды. Испытанное средство получения сверхвысоких скоростей — электроника, вероятно, позволит еще уменьшить и этот крайне малый промежуток. Такие затворы уже создаются. Один из них дал возможность получить два с половиной миллиарда снимков в секунду!

Освещение объекта производится искрой. Кстати, снимая в темноте, можно обойтись и без затвора. Вспышка длится десятиллионную долю секунды, выдержка получается сама собой, на чрезвычайно короткое время возникает изображение, которое успевает запечатлеть фотопластинка. Вот и весь «механизм» — без всяких подвижных частей!

Есть лампы-вспышки, дающие свет ярче Солнца, не уступающий атомному взрыву.

Советские установки, дающие до 33 миллионов снимков в секунду, «останавливают» время с помощью вращающихся зеркал.

Между объективом и пленкой помещены зеркала, вращаемые в разные стороны турбиной или электромотором. Скорость вращения — сотни оборотов в минуту. Зеркала отображают изображение на систему небольших линз, и оно перемещается вдоль пленки так, что на какое-то мгновение остается неподвижным. Каждая линза дает отдельный снимок происходящего в данное мгновение. Пленка остается неподвижной. Интересно отметить, что изображение движется вдоль пленки с огромной скоростью, в несколько километров в секунду.

Снимки эти могут быть сделаны стереоскопическими — с помощью приставки, имеющей два отверстия. Получается два ряда изображений, но на пленку они попадают одновременно, а потому и достигается эффект объемности. Частота фотосъемки со стереоприставкой — до полутора миллионов в секунду. Просматривая снимки через обычный кинопроектор, дающий 24 кадра в секунду, мы получим замедление в 60 тысяч раз.

100 миллионов снимков в секунду дает растровая съемка. Изображение, как в типографском клише, разбивается на точки микроскопическими линзами. На одном квадратном сантиметре умещается 2 тысячи таких линз. Точечное изображение

развертывается зеркалом. Получается ряд полос. Когда они начинают накладываться друг на друга, специальный шаблон помогает рассмотреть цельное изображение.

Скоростная фотосъемка применяется в научных исследованиях, для изучения явлений, происходящих при высоких скоростях и температурах. Она используется в заводских лабораториях ряда отраслей — котлостроении, резании металлов, горном деле, высоковольтной технике и других.

А возможна ли фотография без фотопленки? Возможна, но пока ею пользуются для вспомогательных целей. Например, нужно быстро и дешево размножить фотографии, записать изображение на экране электронно-лучевой трубки, снять копию с микрофильма, отпечатать четкий рентгеновский снимок. На помощь приходит электрография — электро, не фото! Свет попадает на тонкий заряженный слой полупроводника. Заряды перемещаются, и возникает скрытое изображение, «нарисованное» электричеством. Затем пластинку покрывают порошком, который прилипает в местах скопления зарядов. Остается приложить бумагу, проделать еще несколько несложных операций — и отпечаток готов.

Фотография — это своеобразная летопись науки, хранящая для истории документы многих замечательных открытий, это — и новое средство исследований, дающее ученому власть над временем.

ОСТАНОВИСЬ, МГНОВЕНИЕ!

Власть над временем дает и кинокамера. Она позволяет видеть убыстренным во много раз то, что на самом деле происходит крайне медленно и, наоборот, замедлять быстро идущие процессы. Можно даже совсем остановить время!

Конечно, мимо такой возможности пройти нельзя: наука широко пользуется ею. Сравнительно просто показать на экране, как в несколько секунд распускается цветок: сначала снимать его, день за днем, кадр за кадром, от бутона до раскинувшей лепестки розы, потом пустить ленту с обычной скоростью — и все произойдет на наших глазах. Но ученым нужно и другое: «лупа времени» — камера, ведущая сверхскоростную съемку. Ведь только тогда удастся поймать мгновение, увидеть то, что происходит неуловимо быстро. Название «лупа», пожалуй, неточно: нет, не лупа, а микроскоп! Итак, задача ясна. А как ее выполнить?

Сразу же встает трудно одолимое препятствие. Пленку в аппарате надо продергивать перед объективом. По существу кино — это движущаяся фотография, кинофильм — серия идущих друг за другом снимков. И снимают обычно фильм чисто фотографическим способом. Надо дать каждому снимку-

кадрику определенную выдержку, иначе свет не успеет оставить скрытое изображение на пленке. Пусть эта выдержка очень мала, но без нее не обойтись.

Пленка движется прерывисто, скачками: для этого есть специальный механизм. Но не надо нажимать на затвор. Он сам выполнит свою роль: перекроет окошечко, когда пленка движется, и откроет, когда та остановится. Диск с вырезом, который вращается строго согласованно с движением пленки — вот и все его устройство. Остановка — окошко открыто, снимок сделан, и кадр двинулся дальше, уступая место следующему. Пока лента идет, диск закрывает ее от света. А дальше все повторяется сначала.

Начнем продергивать пленку быстрее — учащим съемку. Заставить протяжной механизм и диск-затвор работать быстрее нетрудно. Так можно снимать не 24, а 240 кадров в секунду. Значит, потом время на экране потечет медленнее в 10 раз! Для съемки не слишком быстрых движений этой скорости достаточно. Но если бы мы захотели пойти дальше, ничего не выйдет: механизм не выдерживает, рвет пленку.

Естественно, придется отказаться от передвижения пленки скачками: когда перерывов не будет, перед объективом успеет пройти гораздо больше кадров. Путь простой и удобный, но не легко выполнимый. Мы же забыли о выдержке! Получается неразрешимая трудность.

Но нельзя ли остановить не сам предмет, а его изображение? Разве зря существует оптика? На пути луча света, между предметом и пленкой надо поставить зеркальный многогранный отражатель-барабан и заставить его быстро вращаться. Тогда он остановит изображение в окошечке съемочной камеры. Ведь если пленку и зеркало двигать не как попало, а согласованно, зеркала, вращаясь, будут словно следить за предметом, все время сохраняя изображение неподвижным для движущейся пленки. То же и здесь. Зеркала — а их у барабана можно сделать много — станут ловить изображение, и оно последует за пленкой. Пусть она движется о любой скоростью: барабаны от нее не отстанут. Выход найден!

Теперь успех зависит лишь от того, как быстро мы сумеем протаскивать пленку через аппарат. 2 тысячи кадров в секунду — такова скорость в «лупе времени». Это — 144 километра в час, скорость учебного самолета! Кинотехники ухищряются частоту съемки увеличить еще вчетверо довольно простым приемом: измельчением кадра. Пленку берут поуже, а каждый кадр делают поменьше — тогда их размещается значительно больше на той же длине. Дальше такое хитрое умение перестает помогать: на сцену выступает совсем другое препятствие, которое не позволяет просто от «лупы» перейти к «микроскопу». С ним нельзя не считаться: опять речь идет

о разрушении пленки, только на этот раз не от чересчур частых рывков, а уже от трения. Оно возрастает настолько, что начинает истирать ленту. 8 тысяч кадров в секунду — предел, и его не превзойти до тех пор, пока не найдут более прочной пленки. Дело уже не за техникой, — за фотохимией.

Но раз нельзя быстрее двигать пленку, то, быть может, удастся перемещать изображение вдоль неподвижной пленки? Но то же самое сделано в сверхскоростной фотокамере с вращающимися зеркалами. Если вместо того, чтобы делать отпечатки с отдельных кадров, просмотреть всю пленку с помощью кинопроектора, мы и получим «лупу времени», замедленное изображение сверхскоростного процесса. Только кадров надо сделать побольше — в скоростных фотокамерах их бывает иногда всего восемь. А в сверхскоростной киноустановке советского изобретателя Самурова можно получить 416 кадров. Частота съемки 5 миллионов кадров в секунду. Четкость же изображения, необходимая для киносъемки, достигается применением новых электронных ламп-вспышек.

Показывается фильм об артиллерийской стрельбе. Передана команда на батарею: огонь! Снаряд входит в кадр... Двигается не быстрее бегущего человека... ударяется о землю, отскакивает и также плавно уходит вверх... Этак барону Мюнхаузену и впрямь было бы легко полететь на снаряде!

Теперь — другой фильм. На экране — тигель с толстыми стенками, но тем не менее мы отчетливо видим, что происходит внутри него. Там какая-то жидкость, в нее вливается вторая, они перемешиваются... закипают... раскаленная масса устремляется наружу... Прошло 15 секунд. В действительности же это продолжалось в лаборатории химика всего одну секунду. Заглянуть сквозь металл, увидеть, как происходит бурная вспышка, помогла сверхскоростная киносъемка в рентгеновых лучах. Там, где обычная киносъемка затруднена, например, из-за слишком сильного света, рентгенокинематография незаменима.

Рентгенокинематография обещает в будущем возможность создания удивительных фильмов — о движениях и работе внутренних органов человека и животных, о работе двигателей, о плавке стали или сварке металла. Уже сделаны первые попытки применить киносъемку в рентгеновых лучах для диагностики заболеваний желудка, бронхов, кишечника и других.

Можно снимать также и в других невидимых лучах, снимать за пределами обычного зрения, под микроскопом, снимать через телескоп.

Новые возможности для научных исследований открыла комбинация микроскопа с кинокамерой. В Институте кристаллографии Академии наук СССР микрокиносъемка помогает исследовать рост кристаллов. Чтобы рассмотреть полет

пули, нужно его замедлить. Здесь же, наоборот, ход процесса приходится при просмотре пленки ускорять. Съемки роста кристаллов продолжаются двое суток, а на экране мы наблюдаем все происходящее в течение минуты и отчетливо представляем, как идет кристаллизация.

Методом микросъемки были проведены наблюдения за развитием микроорганизмов. Засняты также фильмы, показывающие динамику процессов резания металла и дерева. Снят фильм о кипении воды. На нем видно, как образуются мельчайшие пузырьки пара, увеличиваются в объеме, движутся.

Скоростная киносъемка — средство изучения развития ядерных и термоядерных реакций, истечения газов из ракетных двигателей.

Кинокамера может быть соединена и с телескопом. В Крымской астрофизической лаборатории засняты взрывы, происходившие на Солнце, изучалось движение серебристых облаков, плавающих на высоте 100 километров.

Автоматическая кинокамера запечатлела поведение животных в космическом полете. С ее помощью засняты телевизионные фильмы во время путешествия кораблей-спутников «Восток-1» и «Восток-2», на них можно проследить за состоянием космонавта.

Успехи кинематографа неоспоримы. «Великий немой» заговорил, он получил цвет, он вышел на широкий экран, он все более и более естественно, точно, выразительно передает изображение и звук. Представим себе на минутку, что и сверхскоростная съемка стала объемной, цветной, да и немного выросла ее скорость. Тогда мы увидим на экране поразительные вещи. Пойманное мгновение станет «рельефным», мир сверхвысоких скоростей предстанет перед нами еще лучше, чем сейчас. А если оптика снова придет здесь на помощь, быть может, мы увидим когда-нибудь на экране и то, что совершается неуловимо быстро и в неуловимо малом. Быть может, воочию увидим «танец» молекул и многое другое, происходящее в недрах вещества. Кино, незаменимый помощник ученых, сделает это.

ТЕРМОМЕТР-КРОШКА

Можно ли заметить тепловые лучи, приходящие от далекой звезды? Ведь они столь слабы, что воду в наперстке нагрели бы на один градус за два года. Можно ли заметить тепло, отраженное от Луны — ведь до нее почти 400 тысяч километров? Соединенными усилиями оптики и электроники удастся успешно охотиться за такими ничтожно малыми количествами тепла.

Зеркало соберет лучи и направит их на тоненькую зачерненную металлическую полосу. Полоска нагреется хотя бы

всего на миллионные доли градуса. Никакой обычный термометр не в состоянии уловить такую температуру. А этот тотчас же отзовется. Приемник-полоска один ничего не сделал бы, но он существует не сам по себе. Он включен в электрическую цепь и служит частью электроизмерительного прибора. Стоит металлу нагреться — немедленно изменится его сопротивление току. Мы перешли на универсальный язык приборов — электрический язык и на нем получим ответ. Можно шкалу сразу разметить не в омах, а в градусах, и термометр готов. Термометр необычайно чувствительный, сверхточный измеритель, своего рода «микроскоп» для малых температур.

Поймать слабое излучение можно и иначе, выбрав не электричество, а иной переводчик. На наш вопрос, сколько градусов (вернее, сколько тысячных или миллионных долей его), ответят газовые молекулы.

Вот одна из них столкнулась с маленькой тоненькой пластинкой, подвешенной на тонюсенькой кварцевой нити, и отлетела, как бильярдный шар от борта. Вторая в то же время ударилась о другую ее сторону, тоже отскочила и полетела прочь. Конечно, подобная игра в бильярд одиночек-молекул ни к чему не приведет. А когда их много, они могут кое-что сделать. С обеих сторон сыплются на пластинку грады ударов, и в среднем с одинаковой силой. Пока силы равны, она не тронется с места. Однако, как раз тут и вмешивается виновник всей затеи.

Разница в миллионную долю градуса на одной и другой стороне пластинки — и атакующие молекулы отскакивают по-разному, с разной скоростью: тепло словно подстегивает их, заставляет двигаться быстрее. Равновесия уже нет, пластинка не может больше оставаться в покое. Она дрогнет, сдвинется чуть-чуть и, разумеется, тем больше, чем сильнее нагрев. А соединенное с ней крохотное зеркальце переместит свой «зайчик», и светлое пятнышко поползет вдоль шкалы.

Теперь мы уже можем конструировать термометр для сверхмалых температур. Поместим под стекло приемник и зеркальце с подвеской, откачаем воздух — хватит и тех толкачей-молекул, которые останутся после откачки. Направим в приемник пучок лучей, отградуируем шкалу, и прибор готов к работе.

Позвольте, скажете вы, а при чем же здесь крошка, — о которой написано в заголовке? Это ведь все очень сложные и довольно громоздкие приборы. О какой же малютке идет речь? А вот она, посмотрите. Вот-вот, сюда, где сейчас появится точка в конце фразы. Такая точка и станет предметом нашего разговора. Глядя на нее, можно представить себе, как выглядит новейший термометр, ибо по размерам он не больше, а даже меньше типографской точки. Прибор, который надо рассматривать чуть ли не под микроскопом и, во всяком

случае, с его помощью собирать. Его имя — термистор, что в переводе с английского значит: термочувствительное сопротивление, иначе говоря, сопротивление, «чувствующее» тепло. Название это дано не зря. И не зря сказано о термисторе «чудесный».

Термистор — полупроводник, а полупроводники таят поразительные возможности. Никакой металл не в состоянии так чутко отзываться на перемену температуры, на нагрев. Достаточно доли градуса, чтобы сопротивление полупроводника изменилось, да еще как! Такова уж природа материалов, стоящих между изоляторами и проводниками. В чистом виде они плохо проводят ток. Но стоит добавить примесь, один, всего один! — чужеродный атом на сто миллионов «своих», — и их электрические свойства меняются резким скачком. Стоит температуре повыситься, и немедленно полупроводник превращается в отличный проводник. Вовсе не обязательно при этом приемник тепла устраивать большим. Он прекрасно работает, даже если поверхность его — всего квадратные миллиметры, а толщина иной раз всего микроны.

Бусинку помещают в миниатюрный стеклянный баллончик, в который впаяны провода. Это главная часть прибора. Ее подключают к батарее и гальванометру, разметив на шкале температуру. Не нужны никакие усилители: сразу можно брать отсчет. А так как бусинка очень мала, ей нетрудно залезть куда угодно, в любое место, недоступное для измерений. Термистор стал отныне незаменим всюду, где надо измерять и регулировать температуру, — внутри человеческого тела и в трюмах судов, в зернохранилище и мартеновской печи. Он всюду, где требуется издали обнаружить тепло от летящего самолета или плывущего корабля, либо от звезд, невообразимо далеких от Земли.

Сейчас изготавливаются приборы, которые реагируют на одну миллионную долю градуса! И это вовсе не считается чем-то исключительным, необыкновенным — подобные термометры выпускаются у нас серийно.

Сверхчувствительный термометр-крошка пополнил собой арсенал новых приборов, необходимых теперь и ученому, и инженеру.

НА ГРАНИ НЕВЕСОМОГО

Ученым часто приходится иметь дело с ничтожными долями грамма, которые нельзя взвесить на обычных наших весах. И не только им необходимы бывают сверхчувствительные весы. С миром «почти невесомого» сталкиваются теперь металлурги: примеси в металлах, совершенно неуловимые, играют, оказывается, большую роль.

Меченые атомы дали ученым новое средство для взвешивания ничтожно малых количеств вещества, благодаря им продвинулась далеко вперед и техника измерений. Появились необычайные, сверхточные весы. Стало возможным не только заметить, но и взвесить столь малые доли грамма, что назвать этот прибор приходится не просто микро-, но сверхчувствительными микровесами.

Микровесы и так уже точнейший прибор. Сейчас понадобилось повысить точность его еще в десятки раз. Детали прибора микроскопических размеров, их надо изготовить, собрать и наладить. Движение воздуха, столь слабое, что человек его не ощущает, немедленно отразится на показаниях сверхвесов. Они должны быть прежде всего изолированы, чтобы им не мешал самый легчайший ветерок (впрочем, так поступали и раньше).

На тонкой кварцевой нити подвесим чашечку диаметром в несколько миллиметров и весом в четыре стотысячных грамма (ее надо рассматривать в микроскоп!). Когда груз положат на чашечку, нить отклонится. Напрасно было бы пытаться уловить отклонение глазом — речь идет самое большее о двух микронах! Лишь микроскопу под силу измерить ничтожное смещение нити, а значит взвесить ничтожный груз.

Остается сказать, как нагрузить подобные весы. Опять встретимся со словом «микро»: микропипеткой с микрошприцем берется микрокапелька и подается на чашку весов. Проведя все эти манипуляции, на микроустановке удастся взвесить груз с точностью до стомиллионных долей грамма. Именно так исследовались новые радиоактивные вещества, новые члены периодической системы элементов.

С помощью меченых атомов удалось еще больше увеличить чувствительность микровесов. Укрепим на коромысле излучатель — радиоактивную фольгу. Рядом поставим счетчик заряженных частиц. Чашечка, а с ней коромысло отклонились, но так мало, что это не заметно даже в сильный микроскоп. Однако ток в счетчике изменится и покажет, какой взвешен груз. Точность весов тогда повышается в 100 раз.

Не случайно возникла микрохимия. Чуть ли не каждый элемент в природе имеет неразлучных спутников, близнецов, похожих на него, — нет, тут не скажешь, как две капли воды! Из-за них и вода бывает разная. Есть, кроме привычной, еще и тяжелая вода, потому что в ней «другой» водород, даже имя носящий другое — дейтерий. Этих близнецов называют изотопами, что значит «стоящие на том же месте», в той же клеточке периодической системы. От обычных атомов они лишь незначительно отличаются атомным весом. У большинства элементов существуют изотопы. Разделить близнецов трудно. Иногда один из них встречается в ничтожных количествах. Но химики научились это делать и узнали свойства

всех изотопов. Интересно, что и здесь им на помощь пришла электроника.

Поток электронов ионизирует газ. Если поднести магнит, он изменит пути частиц — ведь они заряжены, и тем сильнее, чем легче ион. Ионный пучок разобьется на струйки, молекулы как бы выстроятся по своим весам: вот и разделили изотопы! Конечно, речь идет об очень малых количествах вещества. Миллиграмм — тут самая обычная мерка. И столь же обычным ныне становится для химиков другое: исследовать миллимикrogramмы и микромикrogramмы вещества. Спектрограф и весы — сверхточные, сверхчувствительные — неременная принадлежность современной химической лаборатории.

СВЕРХТОЧНЫЕ ЧАСЫ

Секунда — много это или мало? Такую «единичку» времени человек еще в состоянии заметить. Здесь ему помогают самые обыкновенные часы. А если речь пойдет о долях секунды — сотых, тысячных, даже миллионных? Как измерить их? Для этого используют электронно-лучевую трубку, в которой пучок электронов играет роль часовой стрелки.

На пластины трубки, установленные по пути электронного пучка, поступает электрический сигнал, и луч, начавший двигаться вдоль экрана, отклоняется. Второй сигнал возвращает его обратно. Вверх, вниз, снова вверх и снова вниз... Стоит только взглянуть, велики ли на экране эти взлеты и спады, сравнить с «калибровочной» кривой, играющей роль циферблата, и вы узнаете сколько прошло долей секунды. Правда, лучу приходится мчаться столь быстро, что кривая мелькает и не дает себя рассмотреть. Чтобы она была четкой, электроны разгоняют сильнее, чем обычно — до 100 тысяч километров в секунду! Тогда, ударяясь об экран, они заставляют его светиться ослепительно ярко. Так ловят сверхмгновения времени, вплоть до миллимикросекунд, и, вероятно, достигнутое сегодня — далеко не предел. Скоро об измерении биллионной доли секунды заговорят как о свершившемся факте.

Электронно-лучевая трубка — не единственный измеритель времени в микромире. Устроены они по-разному, но общее у них одно: они используют такое свойство электрона, как подвижность.

Электронный луч, как и в трубке, скользит вдоль экрана либо обходит его кругом — это тоже нетрудно устроить, если вращать управляющее им магнитное поле. По дороге лучу попадаются приемные электроды. Как только он коснется одного из них, в трубке протягивается незримая электрическая нить. Электроны замыкают собой цепь, а в нее включен конденсатор — накопитель зарядов. Конденсатор же связан с от-

клоняющимися пластинами трубки. Когда он наполняется электричеством, заряды переливаются на пластины, заряжают их и перегоняют луч дальше.

Остановка! Но подоспевший со стороны сигнал, принятый трубкой, подбавляет зарядов, и луч доходит до очередного электрода. Так он и скачет, пока не обойдет все электроды один за другим и не вернется к тому, с которого начал. Тогда автоматически выключается конденсатор. Можно применить систему из десяти электродов. Десятый же подключить ко второй точно такой же трубке и передать сигнал на нее, ко второй добавить третью, четвертую... Теперь у нас есть электрические «счеты».

Поступил короткий сигнал — импульс тока, за ним последовали другие. Они заставляют луч бежать десять электродов и передать ток на следующую трубку, где уже ее собственный луч скакнет и сделает первую остановку. Тотчас вспыхнет над этим электродом светящаяся единичка. Короче: как на счетах, каждый десяток дальше означает уже единицу.

Пусть за время, которое мы измеряем, прошло множество импульсов. На экранах возникает число. Мы знаем, что вторая трубка замечает каждый десятый импульс, третья — сотый, четвертая — тысячный и так далее. Смотрите, где и какая цифра зажглась, и вы легко определите, сколько успело сигналов прийти. Известна и частота колебаний, посылаемых генератором в цепь. Теперь остается разделить количество импульсов на число колебаний в секунду, а оно постоянно и строго определено, — и нужное время измерено. Такое счетное устройство довольно сложно, но с его помощью ловят даже тысячные доли микросекунды.

Перейдем от малых величин к большим. Мы умеем охотиться за неуловимым, а добиться точности обычных часов тоже важная задача. Сначала необходимо обратиться к астрономам, хранителям точного времени. В их распоряжении находятся точнейшие часы — сама наша планета. Год, сутки, часы, минуты и секунды — это ведь оборот и части оборота Земли вокруг Солнца!

В глубоких подвалах, под стеклянным колпаком, защищенные от малейшей тряски и от холода и тепла, стоят эти сложнейшие механизмы. В последнее время в них роль маятника начали играть электромагнитные волны. Колебательный контур высокой частоты — вот чем можно заменить маятник. Надо лишь следить за постоянством колебаний (это делает кварцевая пластинка) и понизить затем частоту, чтобы двигатель мог вращать стрелки часов (это делает специальное устройство). Переход к электронике всегда обещает повышенную точность. Так и здесь: кварцевые часы ошибаются в сутки всего на две-три десятитысячные доли секунды.

Но и они не устраивают ученых. Их сверяют с природны-

ми, а те, оказывается... неточны. Земля, как ныне узнали, не вращается совершенно равномерно. Выходит, любые часы, связанные с ней, будут грешить против истины. В поисках точности мы должны покинуть Землю-планету и вновь обратиться к малому — в мир атомов и молекул, где можно найти настоящую неизменность. Молекулы и атомы колеблются всегда и везде одинаково — в любом месте Земли, солнечной системы или даже где-нибудь среди других звезд. Вот к этому идеальному маятнику и необходимо обратиться.

Атомы и молекулы могут служить излучателями электромагнитных волн. «Каждый атом, — говорит академик Л. Арцимович, — представляет собой малюсенькую радиостанцию, весь механизм которой спрятан в его внешней электронной оболочке».

Молекулярные часы — генератор радиоволн. В длинной трубке, из которой откачан воздух, летящие молекулы аммиака излучают волны.

Неоднородное поле выделяет из пучка молекул наиболее активные, имеющие наибольшую энергию. Они попадают в радиочастотный резонатор и становятся источниками электромагнитных волн — излучают радиоволны. Частота их неизменна, а потому часы могут ошибиться за 300 лет работы всего на 1 секунду. Созданы такие часы лауреатами Ленинской премии Н. Басовым и А. Прохоровым.

Чтобы измерить время, достаточно измерить частоту колебаний. Делает это пересчетная схема, преобразующая высокочастотные колебания молекулярного генератора в колебания низкой частоты. Ими уже можно воспользоваться для того, чтобы приводить в движение часовой механизм.

Молекулярные часы — не только эталон времени. Они будут применяться в радиолокации и навигации. С их помощью можно измерить неравномерность вращения Земли и проверить «парадокс времени» (одно из положений теории относительности), установленный пока теоретически.

И все же молекулярные часы оказались тоже не безупречными... В них есть электронные лампы, а в лампах происходят изменения, нарушающие абсолютную точность хода.

Идеальные и вечные часы едва ли возможны. Но и приближение к идеалу, которое достигнуто теперь, — выдающийся успех науки.

В МИЛЛИАРД РАЗ

Электронный микроскоп открыл целый мир, находящийся далеко за пределами нашего зрения. Есть и другой прибор, который тоже открыл неведомые раньше миры — в буквальном смысле слова. Все, что нам известно о Вселенной, принесено светом. И сверхчувствительный прибор — фотоумножитель позволил открыть новые звездные миры. Он помог и в

изучении микромира, с его помощью созданы счетчики всевозможных излучений и частиц, сигнализирующих о себе слабой вспышкой при ударе об экран. Даже самый слабенький сигнал частиц перестал быть неуловимым. Умножитель отодвинул пределы, до которых смог дойти его родственник, младший брат — фотоэлемент, и довел усиление слабого светового потока до миллиарда раз!

В фотоэлементе ток рождается светом. Чтобы поток усилился во много раз, электроны заставляют «размножаться»: на их пути ставят металлические пластинки, из которых электронный поток выбивает электроны. «Вторичных» частичек получается больше, чем первичных, и поток разрастается, как снежная лавина с гор. Повторяя «умножение», можно добиться очень большого усиления тока — до одного миллиарда раз! Быть может, когда удастся еще увеличить это усиление, откроются новые звезды, взгляд человека проникнет гораздо дальше — и во Вселенную и в недра вещества.

Но возможно ли отодвинуть предел чувствительности прибора, устранить помехи, мешающие фотоэлементу ловить все более слабый свет? Помехи — бич многих приборов.

У фотоэлемента источник электронов дает ненужный, мешающий «темновой» ток. С ним борются, но одержать окончательную победу не удастся, потому что электроны и беспорядочное тепловое движение неотделимы. И так всюду, где действует покоренный электрон.

Электроника подходит к порогу чувствительности своих приборов. Что же, так и остановиться? А ведь пойти дальше — значит: фотоэлементу — острее видеть, приемнику — лучше вести радиоприем, машине-математику — быстрее считать. Стоит повоевать с природой! Частички двигаются из-за тепла — надо замедлить их, насколько возможно, и глубокое охлаждение должно нам в этом помочь.

Молекулы всякого вещества находятся в постоянном движении. Спускаясь по шкале температур, мы заметим, что молекулы становятся все менее подвижными, пока у абсолютного нуля тепловое движение не замирает вовсе.

Значит, если катушку радиоприемника или электронный умножитель охладить жидким гелием, то порог останется позади. Можно будет усиливать еще более слабые световые сигналы, ловить еще более слабый ток. «Шумовое сопровождение» уже не будет столь сильно мешать. Окна в мир раздвигаются шире!

* *
*

Познание безгранично. Каждый новый шаг, сделанный человеком по дороге открытий, обогащает сокровищницу наших знаний. «Органы чувств» науки становятся все острее и

острее, и мы сегодня даже не в состоянии предвидеть, какие грандиозные успехи принесет нам Завтра.

Но безусловно можно утверждать одно. От достижений советского приборостроения и развития новейших методов научных исследований во многом зависят успехи ведущих отраслей естествознания. А это, как подчеркивает Программа КПСС, прежде всего определяет в настоящий период дальнейшие перспективы прогресса науки и техники. Вот почему совершенствование старых, создание новых приборов — одна из важнейших задач, стоящих перед нашими учеными и инженерами.

ЛИТЕРАТУРА

- Александров А. В. Счетчики невидимых частиц и излучений. М., Гостехиздат, 1958, 96 стр. (Научно-популярная библиотека).
- Бойков М. А. Электронно-лучевая трубка. М., Воениздат, 1960, 122 стр.
- Домбровский К. И. Внимание... съемка! М., Детгиз, 1959, 176 стр.
- Жаботинский М. А., Радунская М. Л. Радио наших дней. М., АН СССР, 1959 (Научно-популярная серия). О молекулярных часах, стр. 156—165.
- Завельский Ф. С. Время и его измерение. От биллионных долей секунды до миллиардов лет. Изд. 2-е доп. М., Физматгиз, 1961. 218 стр. с илл.
- Зисман Г. А. Работающие электроны. М., Воениздат, 1956. Фото-электронный умножитель — стр. 110—111. Электронно-лучевая трубка и ее применение, стр. 112—141. Термисторы — стр. 154—155. Видение в темноте — стр. 217—222. Скоростная фотосъемка — стр. 223—224.
- Иоффе А. Ф. Полупроводники и их применение. М., «Знание», 1956, 64 стр.
- Кельман В. М. Электронная оптика. М., АН СССР, 1955, 166 стр. (Научно-популярная серия).
- Кудрявцев Б. Б. Неслышимые звуки. «Молодая гвардия», 1957. Как увидежь ультразвук — стр. 46—50. Ультразвуковой микроскоп — стр. 139—150.
- Морозов С. А. Человек увидел все. М., «Молодая гвардия», 1959. Фотография в науке — стр. 143—169. Скоростная фотосъемка — стр. 170—204.
- Плонский А. Ф. Измерения и меры. М., Гостехиздат, 1956, 64 стр. (Научно-популярная библиотека).
- Сухоруких В. С. Вооруженный глаз (Оптические приборы). М., Воениздат, 1950, 96 стр. (Научно-популярная библиотека).
- Успенский Н. Е. Импульсный (сверхскоростной) метод в рентгенологии. М., «Правда», 1949, 24 стр.

Журнальные статьи

- Дорохов А. А что внутри? «Юный техник», 1960, № 10, стр. 26—29 (об интроскопии).
- Дун Ц., Лушников Г., Якобсон А. Интроскопия. «Знание—сила», 1960, № 11, стр. 38—40.
- Мешковский А. Зеркало микромира. «Знание—сила», 1960, № 5, стр. 1—4 (о пузырьковых камерах).
- Радунская И. Молекула — прибор современной электроники. «Техника — молодежи», 1958, № 5, стр. 5—8 (о молекулярных часах).
- Смагин Б. В погоне за невидимкой. «Техника-молодежи», 1957, № 4, стр. 14—16 и 1958, № 6, стр. 8—11 (о счетчиках электронных частиц).

6 коп.