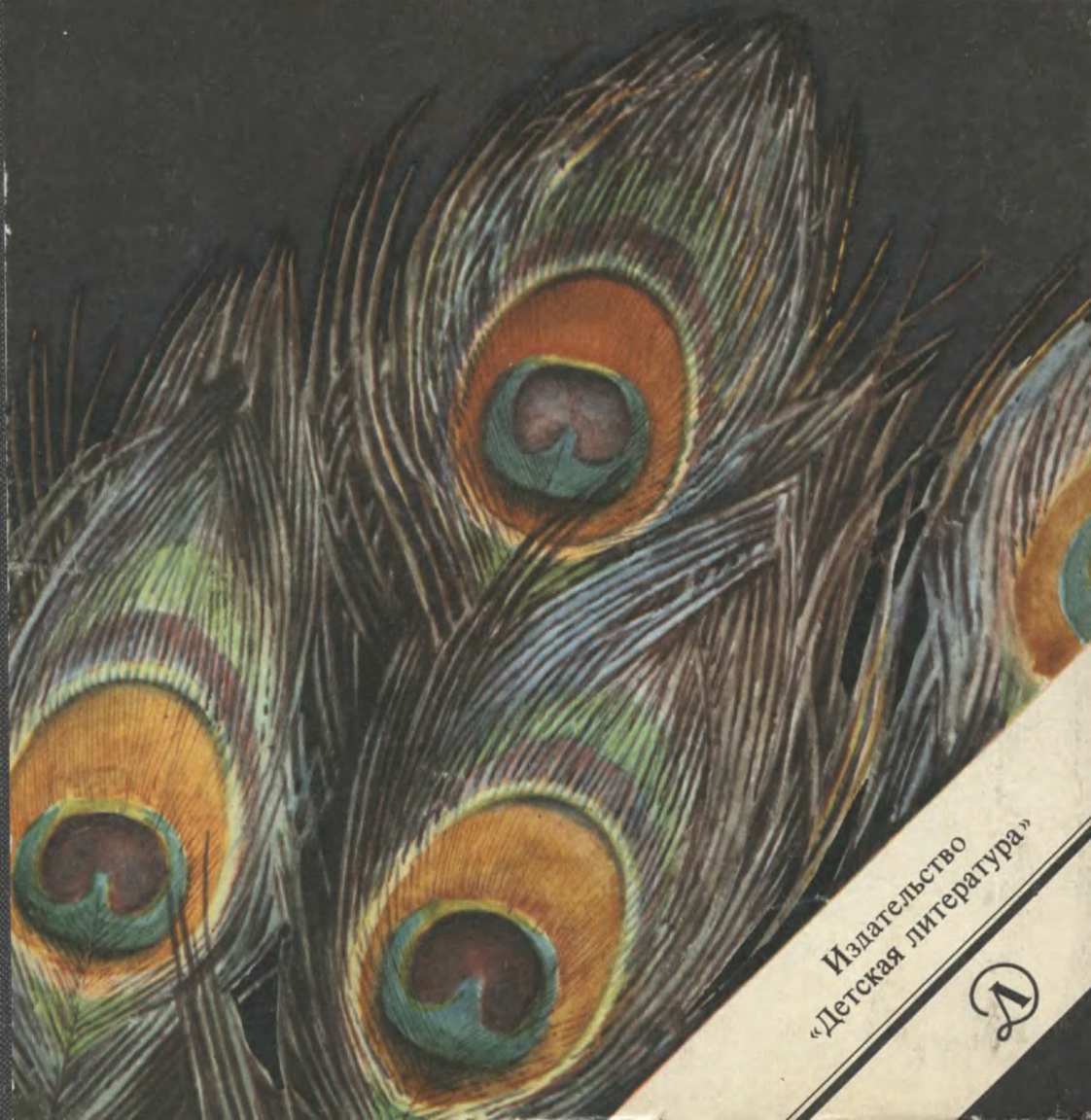


В. И. РЫДНИК

МНОГОЦВЕТЬЕ СПЕКТРОВ



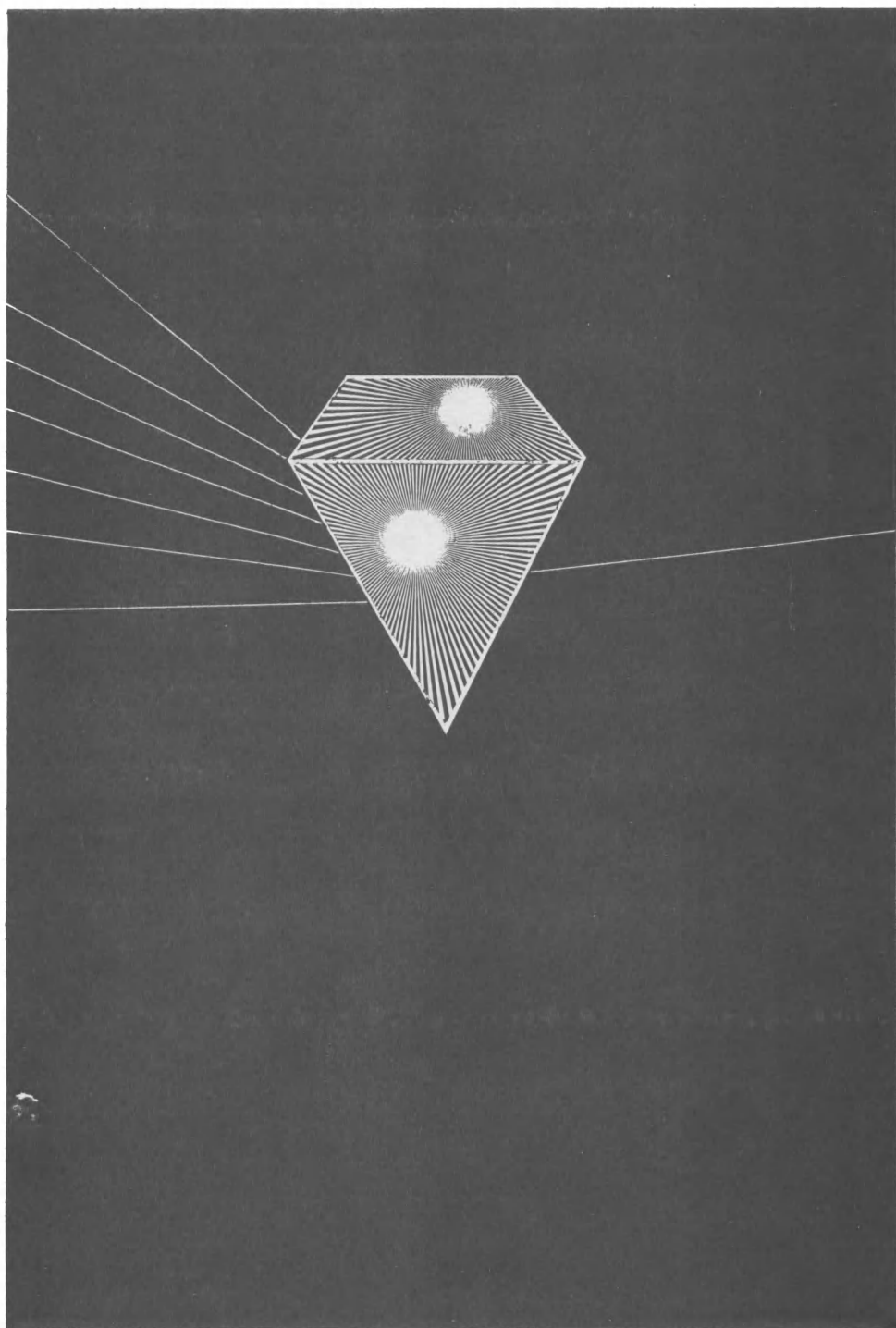
Издательство
«Детская литература»



ROTONDITE FAÏTE
DU VERRE







В. И. РЫДНИК

МНОГОЦВЕТЬЕ

СПЕКТРОВ



НАУЧНО-ХУДОЖЕСТВЕННАЯ ЛИТЕРАТУРА

МОСКВА «ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА» 1979

53ББК2234
Р93

Р и с у н к и
Н. ДРОНОВОЙ и Ю. УРМАНЧЕЕВА

Р 70803—342 424—78
М101(03)79

© ИЗДАТЕЛЬСТВО «ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА», 1979 г

ПРИГЛАШЕНИЕ К СПЕКТРАМ

Когда тебе, читатель, еще не исполнилось и года, ты получил в руки первые игрушки. Они гремели, свистели, пищали, и ты внимательно вслушивался в необычные звуки. Игрушки были еще и раскрашены в яркие цвета, ты тянулся к ним руками, глядел на них с удовольствием, хотя и не сознавал этого. Все живое тянется к цвету — так когда-то сказал немецкий поэт и ученый Иоганн Вольфганг Гете.

В первые годы своей жизни ты воспринимал краски мира как должное. Потом ты стал задавать вопросы: а почему солнце желтое, почему небо голубое, почему трава зеленая? Еще век назад на твои детские наивные вопросы не смогли бы ответить и самые знающие ученые. Сегодня ответы на эти и многие подобные вопросы уже известны.

Казалось бы, удивительно: человечество на протяжении всей своей истории каждый день соприкасается с цветом, ученые уже многие сотни лет исследуют цвет. Такое на вид простое и очевидное явление природы, а вот истинное понимание того, что представляет собой цвет, пришло к людям лишь недавно.

Однако это совсем не удивительно. Только в последние десятилетия люди по-настоящему осознали, что внешний облик окружающих предметов определяется строением невидимых глазу молекул и атомов. Проникать же в глубины незримого люди научились совсем недавно.

И началось это проникновение с изучения цвета.

Первой наукой, которая занялась выяснением сущности цвета, была физика. Оказалось, что цвет — не только сложное для нашего понимания явление, цвет сложен и по своему составу. Его можно разложить на составляющие цвета, а собрав их воедино, снова получить первоначальный цвет.

Это открытие сделал три века назад английский физик Исаак Ньютон, и с этого открытия началась наука о цвете. Совокупность составляющих цветов Ньютон назвал спектром, что в переводе с латыни означает «видимое».

Изучение видимых спектров дало физикам в руки ключ к познанию невидимых атомов, молекул, атомных ядер. С помощью спектров ученым удалось заглянуть и в глубины космоса — мира планет, звезд и огромных звездных систем — галактик.

Как изучение спектров открыло дорогу в неизведанные миры атомов и звезд, и расскажет вам эта книга. Но спектры используются не только в науке. Сегодня без них немыслимы многие отрасли техники. И об этом тоже мы будем вести разговор.

Мы пройдем по следам важнейших открытий, по следам поисков, успехов и разочарований ученых, по следам их споров, в которых медленно и трудно рождалась истина. Та самая истина, которая сегодня так спокойно и уверенно преподносится в школьных учебниках.

Часть 1. РОЖДЕНИЕ СПЕКТРОВ

КАК МЫ ВИДИМ?



Во дворе маленькие дети играют в прятки. Вот девочка забежала за дерево и зажмурила глаза. То, что она спряталась за дерево, понятно: она думает, что ее не видно. Но зачем она зажмурилась? Спросите ее, и вы получите неожиданный ответ. Оказывается, когда она зажмурилась да еще закрыла глаза руками,— она стала абсолютно невидимой!

В древности люди считали, что они видны потому, что их глаза испускают особые зрительные лучи. Да и сами они видят предметы вокруг себя потому, что освещают их своими зрительными лучами. Девочка, спрятавшаяся за дерево, еще не знает об этом. За нее говорит удивительный первобытный инстинкт. Да и люди постарше тоже порой зажмуривают глаза от страха!

А поэты даже написали такие строки, как «сверкают звезд золотые ресницы» (Фет), «звезды ночи, как обвинительные очи, за ним насмешливо глядят» (Пушкин). Вы скажете: поэтические вольности! Но еще и сегодня очень многие люди убеждены в том, что существует «дурной глаз», что можно «сглазить», что «глаза сияют», звезды «смотрят на нас».

И даже Солнце и Луну — дневное и ночное светила — когда-то тоже считали глазами, только не человеческими, а божественными. Ими смотрит Амон-Ра, как говорится в древнеегипетском гимне. У бога всевидящее око, исходящие из него лучи освещают и делают ему видимым весь мир. Изображение такого всевидящего ока, окруженного веером лучей, можно встретить во многих древних и даже не очень древних храмах. В городе Пушкине, под Ленинградом, где учился Пушкин, на передней стене лицейской церкви есть красивое скульптурное изображение такого всевидящего ока.

Лишь спустя многие века коллективный разум людей развился настолько, что люди поняли: они видят лишь освещенные Солнцем, Луной и другими источниками света предметы. И лучи исходят из этих источников, от освещаемых ими предметов, а вовсе не из глаз.

Правда, дорога к пониманию того, как работает глаз, была еще длинной. Еще предстояло понять, что же такое сам свет, как устроен глаз, как в нем образуются изображения предметов, как, наконец, эти изображения перерабатываются в мозгу, прежде чем мы сможем сказать, например, что трава зеленая. Надо было еще узнать, как человеческий глаз и мозг отличают, скажем, подорожник от лопуха, а подсолнух от гладиолуса.

Зрение и переработка изображений предметов в мозгу человека оказались необычайно сложным процессом. В этом нет ничего удивительного. Природа создала глаз многие сотни миллионов лет назад. У нее было достаточно времени усовершенствовать его настолько, чтобы он мог быстро и уверенно отличать, например, льва от жирафа. Это же буквально вопрос жизни или смерти животного! Выживали только такие организмы, которые могли это делать достаточно хорошо.

О природе цвета мы будем не раз говорить на страницах нашей книги. Понимание ее пришло не сразу. Уже Ньютон сделал свои первые открытия, уже англичанин Юнг и француз Френель создали основы современного представления о природе света, а многие ученые все еще разделяли древнейшее убеждение в том, что цвет образуется от смешения света с тьмою. Они полагали, что разные цвета — это смесь света и тьмы в разных пропорциях.

В основе такого заблуждения, наверное, тоже лежало что-то «очевидное». Синие и фиолетовые цвета действительно обычно кажутся нам менее яркими, более «холодными», чем «теплые» красные и желтые цвета. Первобытный человек разгонял фиолетовый сумрак вечера веселым оранжевым огнем костра. Для него тьма была населена чудовищами, которых отпугивал яркий свет костра и которые исчезали днем при свете Солнца.

Надвинулась черная туча, потемнело — и угасли богатые краски природы. Прошла туча, пролилась дождем — снова засияло Солнце, заиграли краски, а высоко в небе на черном фоне уходящей тучи встала семицветная радуга, словно знаменуя победу света над тьмой. Заискрились на омытых листьях капли дождя, вспыхивая всеми цветами радуги; появились красивые радужные пленки на лужах. Несчетное число раз видел эту нерукотворную радугу на небе и на земле человек, любовался ею, вдыхая аромат влажной листвы и испытывая блаженное чувство красоты и покоя.

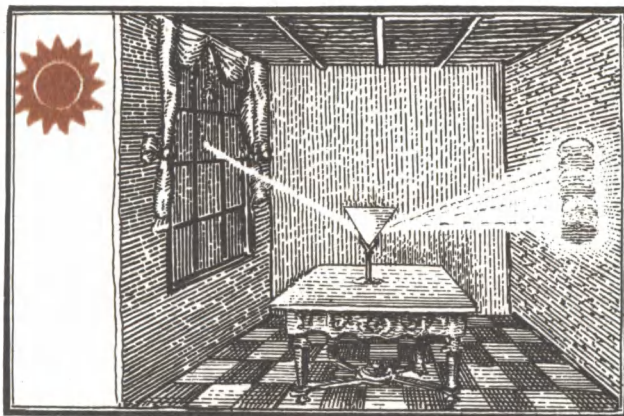
А потом человек сотворил радугу сам. Для этого ему понадобились луч солнечного света и трехгранная стеклянная призма. Случилось это событие в какой-то неизвестный день средневековья. Известно и то, кто первым сделал открытие. Шлифовкой стекол в те времена занимались многие искусные мастера. Появились уже первые стеклянные линзы, они были нужны для изобретенных только что очков. И вот неизвестный мастер, может быть, совершенно случайно поставил на пути солнечного луча, пробивавшегося сквозь ставень, стеклянную призму и на противоположной стене комнаты увидел яркую цветную полосу.

Цвета в этой полоске следовали в том же порядке, что и в радуге: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Эту последовательность цветов легко запомнить, выучив на память фразу, придуманную, наверное, веселым школяром-зубрилой: «Каждый Охотник Желает Знать Где Сидит Фазан». Первые буквы слов в этой фразе совпадают с первыми буквами в названиях семи цветов радуги.

Цвета в радуге плавно переходят один в другой. Глаз различает в ней

не только названные цвета, но и постепенные переходы между ними — оттенки. Ученые выяснили, что нормальный человеческий глаз, не пораженный цветовой слепотой, способен различать многие тысячи оттенков цвета. «Семь цветов радуги» — это лишь примерное, хотя и довольно удобное для описания, обозначение цветов.

РАДУГА В КОМНАТЕ



Что могло прийти в голову ученому, который увидел, как белый солнечный луч, пройдя сквозь стеклянную призму, превратился в радужную полосу? Возможно, очень простая и, конечно, правильная мысль: призма каким-то образом действует на солнечный луч.

Красные цвета располагаются там, где солнечный луч отклонился (физики говорят: преломился) в призме слабо, а фиолетовые — там, где он преломился сильнее. Значит, выходит, красные лучи прошли в призме самый маленький путь возле преломляющего угла призмы, а фиолетовые — самый большой путь возле ее основания, которое располагается против этого угла. Но чем больший путь проходит свет в стекле, тем, быть может, сильнее он ослабляется, тем менее ярким выходит луч света из стекла? Отсюда вытекает простое предположение. Красные цвета появляются там, где стеклянная призма добавила к солнечному лучу лишь немного темноты, а фиолетовые — там, где этой темноты добавилось к свету больше всего.

Так и объяснил появление цветов при прохождении солнечного луча через призму итальянский ученый, епископ Антонио де Доминис в 1611 году. Объяснение это было ошибочным, но одно он подметил верно: появление цветов связано с различным преломлением солнечного луча в призме.

Почему солнечный луч по-разному преломляется в призме? Спустя сорок лет после де Доминиса это пытался объяснить чешский ученый Маркус Марци де Кронланд. Он рассуждал так. Солнце имеет определенные размеры. Лучи, исходящие, например, от верхнего края солнечного диска, падают на призму под одним углом, а лучи от нижнего края — под другим. А поскольку угол преломления лучей зависит от угла их падения (это было известно еще древним ученым), то, возможно, возникновение цветов было связано с... большими размерами Солнца!

Медленно, трудно блуждает мысль в потемках, то невзначай заденет



краешек истины, то опять отойдет от нее! Очень сложно давалось ученым понимание таких простых для нас явлений. В самом деле, призма как-то действует на солнечный луч, превращает его в цветную полосу. Но как именно происходит само это превращение? Существуют только две возможности: призма либо сама окрашивает прошедший через нее белый свет, либо раскрывает, делает видимыми порознь цвета, уже содержащиеся в белом свете. Примеры первого объяснения мы только что привели. Гениальная мысль о том, что солнечный свет сам имеет сложное строение, впервые пришла в голову Ньютону.

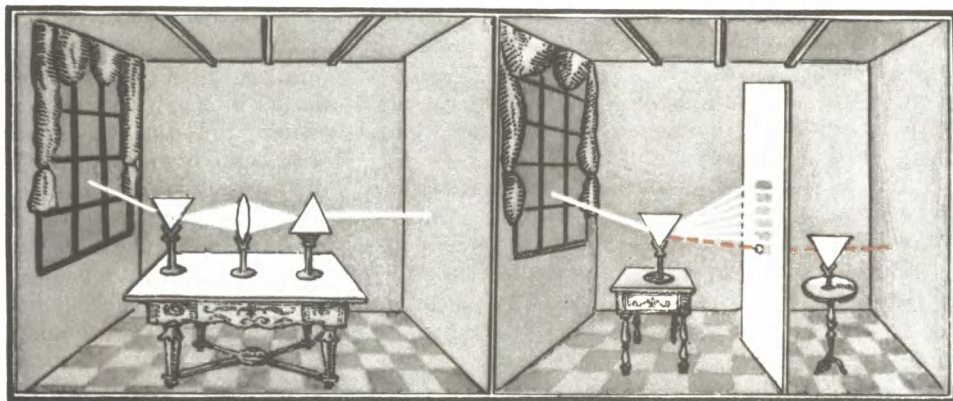
В 1664 году в Англии разразилась эпидемия чумы. Она косила людей десятками тысяч, и горожане, спасаясь от нее, бежали в деревни. Молодой начинающий ученый Ньютон нашел пристанище в Вулсторпе, деревушке, где прошли его детские годы и где он поставил первые свои физические опыты. Там Ньютон провел в одиночестве два года. Но это было в высшей степени благодетельное одиночество!

Не отвлекаемый суетными заботами повседневной университетской жизни, Ньютон смог сосредоточенно думать и работать. Именно здесь он сделал три великих открытия, обессмертивших его имя. Одно из них — открытие всемирного тяготения, второе — открытие исчисления бесконечно малых величин, из которого выросла современная математика, и третье — объяснение цветов. К теме нашего рассказа непосредственно относится последнее из них.

Ньютон начал с повторения известного уже до него. «В начале 1666 года (в это время я занимался шлифовкой стекол...) я достал треугольную стеклянную призму, чтобы с нею произвести опыты над знаменитым явлением цветов. Для этой цели, затемнив свою комнату и проделав небольшое отверстие в оконных ставнях для пропускания в нужном количестве солнечного света, я поместил призму там, где входил свет, так что он мог преломляться к противоположной стене. Зрелище живых и ярких красок, получавшихся при этом, доставляло мне приятное удовольствие».

Удовольствием дело, естественно, не ограничилось. Ньютона заинтриговала одна особенность радужной полоски: длина ее оказалась примерно впятеро больше ее ширины, хотя дырочка в ставне была круглой. «Диспропорция была так необычайна, что возбудила во мне более чем простое любопытство узнать, отчего это происходит. Едва ли можно было думать, что различная толщина стекла или граница с тенью и темнотою производят на свет такое влияние». Мы знаем, что именно так думали некоторые научные предшественники Ньютона.

И Ньютон начал свои знаменитые опыты, которые потом подробно описал в труде «Новая теория света и цветов». Прежде всего он точно выяснил, что лучам разного цвета отвечает разная степень преломляемости в стеклянной призме. Потому-то из тонкого «круглого» солнечного луча и возникала широкая радужная полоска. Это, впрочем, было известно и до



Ньютона. Именно таким путем французский философ и естествоиспытатель Рене Декарт объяснял происхождение «настоящей» радуги: солнечные лучи преломляются в дождевых каплях, как в призмах, и веер цветных лучей, расходясь, достигает глаза.

Затем Ньютон проделал еще два важных опыта. Рядом с первой призмой он поставил вторую. Сначала он расположил вторую призму так, что она была перевернута относительно первой. Лучи, пройдя первую призму, входили во вторую, — и радуга исчезала! Впрочем, в этом исчезновении радуги как будто не было ничего удивительного. Две таким образом сложенные призмы — неважно, расположены они вплотную или на некотором расстоянии друг от друга, — составляют кубик. Через кубик луч света может проходить не преломляясь, а значит, и не возникнет радужная полоска.

Но ведь, пройдя сквозь первую призму, солнечный луч успел разложиться на отдельные цвета! Вторая же призма, вместо того чтобы разлагать эти цвета дальше, напротив, собрала их снова вместе, и цвета при этом исчезли.

А всегда ли это бывает так? Ньютон поставил вторую призму за первой так, что теперь они по отношению к пучку света были расположены одинаково. Радужная полоска действительно расширилась, но больше ничего нового в ней не появилось. И тогда Ньютон повторил опыт, который провел еще до него Марци. Он раздвинул обе призмы и поставил между ними непрозрачный экран с прорезанными в нем щелями. Щели вырезали из радужной полоски отдельные узкие полоски красного, зеленого, синего и других цветов.

Эти «кусочки» спектра Ньютон и пропустил через вторую призму. Как и в предыдущем опыте — ничего нового. Красный луч, несмотря на преломление во второй призме, оставался красным, зеленый — зеленым, синий — синим. Получалось что-то странное: призма на цветные лучи не действовала!

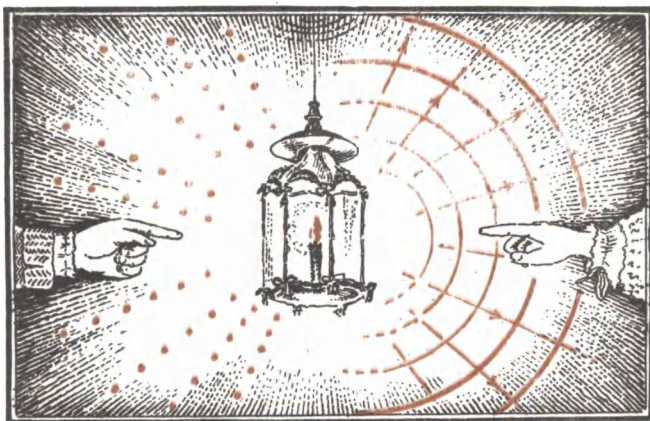
Впрочем, самому Ньютону такой результат опыта странным уже не показался. Этот опыт он поставил не вслепую, а результат его не был счастливой находкой. Уже после первого опыта со «сложением» цветов, когда радуга снова превращалась в белый свет, Ньютон догадался, в чем было дело. Дело было не в призме, а в самом солнечном луче.

Ньютон понял, что солнечный луч сложен — составлен из многих цветов. А призма лишь *разлагала* солнечный белый свет на его состав-

ные части. Увидеть эти части удалось потому, что разные цвета по-разному преломлялись в призме. Цветные лучи выходили из призмы в пространство по разным направлениям, а значит, освещали разные места на стене. Так и возникала радуга. Вторая же призма, перевернутая относительно первой, снова смешивала все цветные лучи, и в результате образовывался белый свет.

А целью второго опыта было: подтвердить, что отдельные цвета — это уже основные, первичные и более ни на что не разложимые составляющие белого света. Опыт прекрасно подтвердил это заключение Ньютона.

Так было развеяно заблуждение о том, что цвет — это смесь света и тьмы. Свет оказался смесью различных цветов. Ее Ньютон и назвал *спектром*.



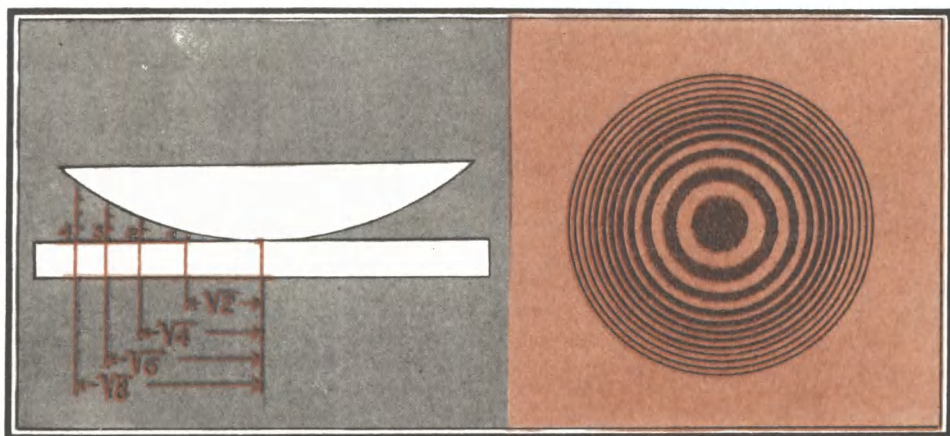
О ПРИРОДЕ СВЕТА

Как это всегда бывает в науке, решение одной загадки сразу ставит перед учеными новые, еще более трудные загадки. Белый свет состоит из лучей различных цветов. Что же в таком случае представляют собой сами эти лучи? Из чего они состоят? В популярных книгах о науке, да и не только в них, можно встретить такое историческое изложение.

Сам Ньютон предложил теорию света, согласно которой свет состоит из мельчайших частиц — корпускул; попав в глаз, они и вызывают ощущение света. Каждому цвету соответствуют свои корпускулы, и различаются они, скорее всего, тем, что имеют разные массы. Совместный поток разных корпускул и создает белый свет. Все частицы света летят с одинаковой скоростью от испустившего их источника и образуют световые лучи.

Современник Ньютона голландский физик Христиан Гюйгенс считал, что свет — это волны в особой невидимой среде, эфире, которые распространяются в ней при колебаниях в источнике света. Источник света колеблется как бы толчками, и такими же толчками, импульсами происходит испускание световых волн. Наподобие того, как бегут волны по воде, если периодически бросать в воду камешки.

Обеим этим теориям света предстояла в дальнейшем трудная и интересная судьба. Восемнадцатый век прошел под знаком торжества идей Ньютона, в девятнадцатом веке над ними восторжествовали волновые идеи Гюйгенса, а в нашем веке эти теории неожиданно слились в одну.



новых представлений о свете мы не раз будем обращаться на страницах нашей книги, а пока вернемся к Ньютону.

Нет, Ньютон не был таким последовательным приверженцем выдвинутой им корпускулярной теории, каким его рисуют во многих книгах, — он сам колебался между корпускулярными и волновыми представлениями о природе света!

Ньютон провел много исследований световых явлений; среди них есть знаменитый опыт с кольцами — позже их стали называть кольцами Ньютона. В этом опыте Ньютон клал стекло от очков (эта линза имеет очень небольшую выпуклость, что и определяет успех опыта) на плоскую стеклянную пластинку выпуклостью к пластинке. Освещая стекла сверху белым светом, Ньютон неожиданно обнаружил вокруг точки соприкосновения линзы и пластинки множество радужных окружностей. Каждая радуга отделялась от другой тонким черным кольцом.

Затем Ньютон осветил линзу и пластинку красным светом. Радуги исчезли, но кольца остались — теперь только чередующиеся красные и черные. Радиусы темных колец оказались в удивительном отношении — как корни квадратные из целых четных чисел: $\sqrt{2}$, $\sqrt{4}$, $\sqrt{6}$ и так далее.

Это открытие совершенно явно наводило на мысль о какой-то регулярности, периодичности в световых лучах. Периодичности, которую было трудно приписать частицам света — они же летели сплошным равномерным потоком по всем направлениям! — и которую очень естественно можно было объяснить представлением о волнах света. Описывая свой опыт с явлением колец, Ньютон, по существу, очень близко подошел к понятию длины световых волн, разных для различных цветов. Подошел очень близко — и остановился.

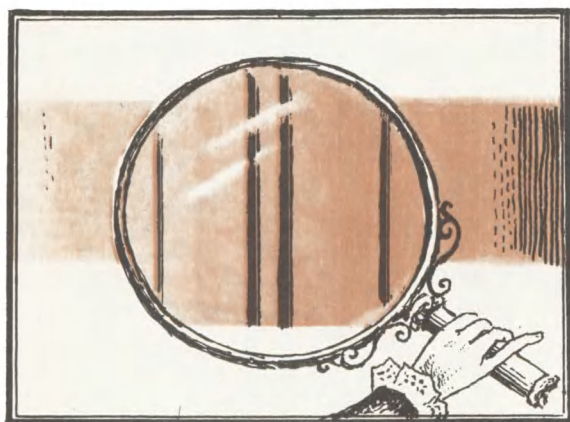
Не хватило проницательности или решительности? Нет, скорее всего, дело было в другом. Научный гений



Ньютона хорошо характеризует его собственное знаменитое высказывание: «Гипотез не измышляю!» Только это надо правильно понимать. Гипотезами Ньютон называл любые сомнительные, не доказанные строгим опытом или математическим расчетом утверждения. Ньютон считал, что такие утверждения может предлагать кто угодно. Но профессиональный ученый высказывать их не имеет права: они ставят под сомнение его научную репутацию. Право на жизнь имеют только строго доказанные утверждения, только их и следует обсуждать.

В вопросе о природе света Ньютон как раз не располагал такими строгими доказательствами, как в своей механике (знаменитые законы Ньютона, описывающие движения тел) и в теории тяготения (законы движения планет). Вот почему Ньютон и колебался между своей «гипотезой» и гипотезой Гюйгенса.

Впоследствии в книге «Оптика» Ньютон поставил знаменитые 33 вопроса. Эта книга подводила итог его исследованиям света, а заодно и всей оптике семнадцатого столетия. Среди вопросов было немало пророческих, предвидевших развитие физики вплоть до нашего времени, были и вопросы, оказавшиеся не очень существенными. Но главный вопрос: что же такое свет — частицы или волны?



ТЕМНОТА В РАДУГЕ

И частицы, и волны! — отвечает современная физика. Но до этого ответа должны были пройти еще два века развития физики. Один из них — восемнадцатый — можно со спокойной совестью пропустить. Это век механики, теплоты, электричества, — но не оптики. Открытие Ньютоном спектров, конечно, забыто не было. Но к этому открытию ученые восемнадцатого века ничего по существу не добавили.

Деятнадцатый век сразу начался с замечательного открытия в области спектров. В 1802 году английский ученый Волластон обнаружил, что радужную полосу солнечного спектра пересекают без определенного порядка несколько узких темных линий. Может быть, из-за качества материала или шлифовки призмы, может быть, по каким-то неизвестным, но несущественным причинам? Во всяком случае, Волластон не придал своему открытию никакого значения.

Сколько раз такое было — и будет! Многие ученые проходят мимо важнейшего явления, которое «нашептывает», а порой и кричит им о себе. Пожимая плечами, они уходят от его объяснения, считают явление

какой-то неважной и даже неприятной, мешающей случайностью. А потом, наконец, один из ученых обращает на явление пристальное внимание. Этот ученый своим характером, своей научной деятельностью наиболее подготовлен к открытию того, что видели, но не замечали другие.

Сколько физиков, изучавших в конце прошлого столетия электрический разряд в газах, досадовало на то, что фотопластинки, лежавшие по соседству в непроницаемых для света конвертах, оказывались засвеченными! Одни высказывали упрек фирмам, поставившим «недоброкачественные» фотопластинки. Другие делали из этого факта правильный, хотя и необъяснимый вывод: фотопластинки надо убрать подальше. Изучая свечение в темноте минералов, содержавших в своем составе уран, некоторые исследователи также замечали, что фотопластинки засвечиваются, и делали точно такой же «правильный» вывод!

А потом появились два физика, которые словно в мгновенном озарении поняли, что из этой досадной «грязи» опытов сияет золото крупнейших открытий. И сделали свои поразительные открытия почти одновременно. В 1895 году Вильгельм Рентген открыл возникавшие при электрическом разряде в газоразрядной трубке лучи, названные впоследствии его именем. А в следующем, 1896 году Анри Беккерель обнаружил излучение, получившее потом название радиоактивного.

Так случилось и с открытием темных линий в солнечном спектре. Явление, мимо которого спокойно прошел Волластон, заново обнаружил и на этот раз чрезвычайно детально исследовал австриец Фраунгофер спустя десятилетие. Теперь открытие попало в нужные руки. Ведь Волластон по преимуществу занимался медициной и химией и сделал свое открытие походя. А Фраунгофер был оптиком, мастером по оптическим приборам.

Может показаться парадоксом, что он пришел к своему открытию, стараясь... изгнать цвет из оптических приборов. Точнее говоря, не цвет, присущий наблюдаемым через эти приборы предметам, а радужные кольца, которые возникали из-за преломления белого света в линзах и портили изображения предметов. (Ведь линзы, если вдуматься, — те же призмы, только с искривленными гранями.)

Для этого Фраунгоферу потребовалось тщательно изучить преломление света в призмах, изготовленных из стекла различных сортов. Одни стекла давали узкую полоску солнечного спектра, другие — более широкую. Желая увеличить изображение спектра, Фраунгофер поступил так, как делают, чтобы разглядеть в подробностях удаленные предметы. Он с помощью линзы превратил расходящийся пучок солнечных лучей от маленькой щели в параллельный пучок и стал разглядывать выходящий из призмы солнечный спектр через зрительную трубу.

Теперь он без труда обнаружил темные линии, которые словно разрезали солнечный спектр на отдель-



ные участки. Причем Фраунгофер нашел не несколько линий, как Волластон, а почти семьсот. (Сегодня ученые насчитывают их десятками тысяч.) Самым тщательным образом он промерил положения почти половины найденных им линий, обозначил их и изобразил на рисунке место каждой в спектре Солнца.

За Волластоном осталось признание первенства открытия, но линии стали называть фраунгоферовыми.

О причине их возникновения Фраунгофер не гадал, полагая, что они -- необходимая принадлежность солнечного света. Он попытался обнаружить эти линии, пропуская через призму свет от искусственных источников -- спиртового пламени и других пламен. Однако теперь в спектрах не оказалось и малейшего намека на линии. Фраунгофер нашел их снова, изучая спектры других небесных светил -- планеты Венеры, звезды Сириус и других. Но там они занимали другие положения, нежели в спектре Солнца.

Сколько труда надо было положить, чтобы многократно убедиться в том, что темные линии не меняют своего положения в солнечном спектре, никогда ни на йоту не сдвигаются ни все вместе, ни друг относительно друга! Чтобы многократно и точно измерить их взаимные положения, чтобы, наконец, зарисовать их от руки на фоне радуги, где цвета плавно, без четких границ переходят друг в друга! Эту тщательность трудно объяснить лишь усидчивостью и прилежанием, присущими профессии шлифовальщика стекол. Видимо, Фраунгофер смутно догадывался о значении своего открытия -- об истинном значении, которое стало проявляться только через полвека и стало совсем ясным спустя ровно век.

Фраунгофер впервые исследовал спектр, состоящий из отдельных темных линий, -- *линейчатый спектр* -- через полтора столетия после Ньютона, исследовавшего *сплошной спектр* Солнца. Придет время, и сплошной спектр станет ключом к открытию квантов, а линейчатый спектр позволит разгадать строение атомов!

Сам Фраунгофер был чрезвычайно доволен своим открытием. Вместо «семи цветов радуги» -- весьма неопределенных границ в солнечном спектре, найденных Ньютоном, -- он расставил отчетливые вехи на этом поле плавно сменяющих друг друга цветов. По существу, Фраунгофер построил из узеньких темных линий шкалу, на которой располагался солнечный спектр. Оставалось только поставить цифры против темных линий -- «делений» на этой шкале.

Свое открытие Фраунгофер сделал вполне своевременно. В годы, разделившие наблюдения Волластона и исследования Фраунгофера, возникла и быстро развилась волновая теория света. Именно она позволила объяснить явление цветов и приписать каждому цвету точную физическую характеристику.

ЦВЕТ И ДЛИНА ВОЛН



Почему же волновая теория света не получила развития еще в те годы, когда ее выдвинул Гюйгенс? Отчасти этому мешал громадный авторитет Ньютона в научном мире, затмевавший даже правильные воззрения его научных противников. Ньютон колебался между корпускулярными и волновыми воззрениями на природу света, но все же больше склонялся к корпускулярным представлениям. Этого было достаточно, чтобы подавляющее большинство ученых того времени уверовало в то, что свет — это потоки корпускул, световых частиц.

Однако уже тогда было известно явление, которое нельзя было объяснить с помощью корпускулярной теории. Это явление обнаружил в середине семнадцатого века итальянец Гримальди, оно получило название дифракции света. Гримальди обладал исключительно острым зрением и смог увидеть то, что ускользало от взгляда других исследователей световых явлений. А именно: нерезкие контуры предметов при их освещении источниками света небольшого размера.

Более того, эти контуры были не просто несколько размыты, а еще как бы повторялись в пространстве, причем такие «ложные» контуры располагались очень близко друг от друга и быстро слабели по мере удаления от «истинного» контура предмета. Человек с нормальным зрением такую картину заметит вряд ли: слишком близко ложные контуры располагаются возле настоящего, слишком мало размытие контуров.

В обычных условиях мы редко наблюдаем абсолютно резкие контуры предметов. Наряду с главным источником света, например Солнцем, предмет освещают и другие источники отраженным солнечным светом, в воздухе есть дымка, да и само небо светится, рассеивая солнечные лучи. Поэтому предмет при освещении его сзади всегда отбрасывает вместе с сильной тенью множество более слабых теней, и его контуры окружены полутенью. Для наблюдения резкой тени нужны особые условия: затемненная комната со стенами, выкрашенными черной краской, маленький (чтобы его полностью закрывал предмет) источник света. Но даже и тогда увидеть дифракцию под силу лишь человеку с очень острым зрением.

Так или иначе, дифракция света была обнаружена, и возникновение нерезкой тени от освещаемых предметов надо было объяснить. Ньютонские световые корпускулы, как и полагалось частицам, могли двигаться только по прямым линиям, а значит, и тень, отбрасываемая предметами, должна была всегда быть абсолютно резкой. Другое дело, если



свет — это волны. Понаблюдайте, как волны набегают на какое-либо препятствие на поверхности воды, например на борт лодки. У противоположного борта вода неподвижна, но немного дальше волны, обогнув лодку с двух сторон, смыкаются. Это и есть дифракция — огибание волнами препятствия на их пути.

Разумеется, Ньютон прекрасно знал о таком загибании фронта волн на воде, — но не световых же волн! Очень интересно, что и Гюйгенс, хотя стоял на правильных позициях, не смог объяснить явления дифракции. Вот как он рассуждал.

Световые волны распространяются в особой среде — эфире. Каждая частичка среды, до которой доходит фронт световой волны, начинает колебаться и сама становится источником вторичной волны, словно упавший в воду камешек. В эфире по соседству друг с другом находится очень много таких частичек, и все они, «задетые» пришедшей к ним волной, одновременно испускают свои небольшие «волночки».

Каждая из этих «волночек» невидима, утверждал Гюйгенс. Виден только результат их сложения — волновой фронт, распространяющийся дальше. Этот фронт есть просто линия, огибающая фронты «волночек» от каждой частички эфира. А если по каким-либо причинам «волночки» не могут сложиться, не создают огибающей их фронтов, то волна не образуется, свет в том направлении не будет распространяться.

На границах непрозрачных для света тел частички эфира тоже начинают колебаться, когда до них доходит световая волна. Но при этом отдельные «волночки» умирают в том месте, где зародились: непрозрачное тело, в котором нет эфирных частичек, не дает им распространяться дальше.

По краям непрозрачных тел «волночки» могут распространяться только вбок от тел. Сложиться так, чтобы их движение было направлено в ту же сторону, что и движение пришедшей волны, они не могут. И Гюйгенс сделал поразительный вывод: дифракция света невозможна!

Возможно, что именно авторитет Ньютона и ошибочный вывод Гюйгенса затормозили на целое столетие развитие волновой теории света.

18 Но, возможно, была еще одна существенная причина — малость, почти не-

заметность явления дифракции света. Нужно было найти какое-то другое явление, легче поддающееся наблюдению, чтобы заставить ученых поверить в волновую природу света. И такое явление открыл английский физик Томас Юнг на заре девятнадцатого века. Называется оно интерференцией света.

Опыт Юнга широко известен, и его сегодня можно провести в любой школьной физической лаборатории. Для этого нужно взять непрозрачный экран, например лист картона, и бритвой прорезать в нем на небольшом расстоянии друг от друга две параллельные узкие щели. За картонным листом устанавливается небольшой, но достаточно яркий источник света, например лампочка от карманного фонарика. По другую сторону от картона располагается экран для наблюдений — большой лист белой бумаги; таким экраном может быть просто белая стена. Свет в комнате гасится, включается лампочка (чтобы не освещать стену, лампочку лучше заключить в светонепроницаемую коробку, оставив в ней маленькую дырочку для выхода света), и... на экране возникает неожиданная картина. Вместо двух четких изображений двух щелей в картоне — длинная полоса из регулярно чередующихся светлых и темных линий, постепенно ослабевающая от середины к краям экрана!

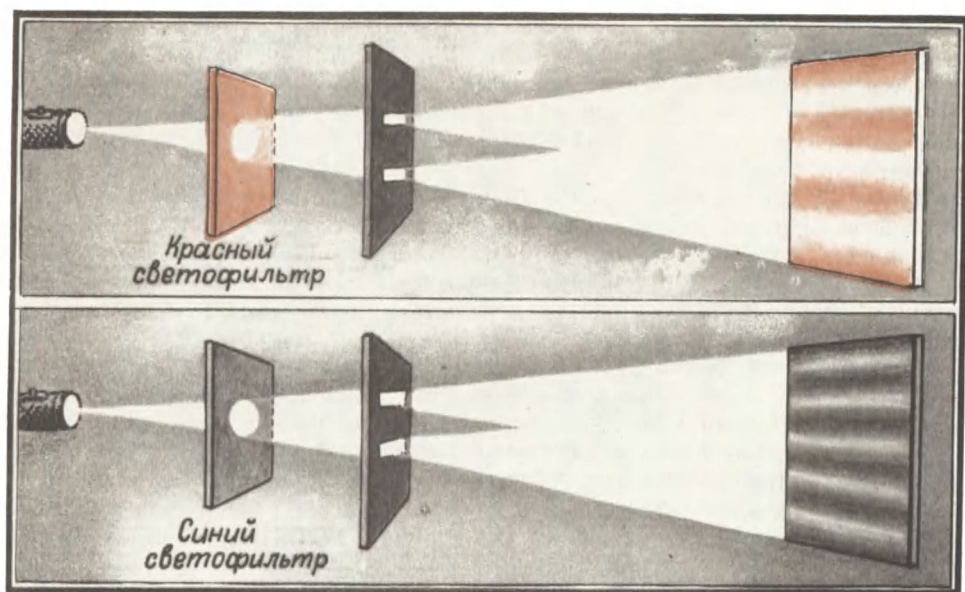
Это и есть картина интерференции световых волн, явления сложения световых волн друг с другом. Именно волн, потому что с позиции корпускулярной теории оно совершенно необъяснимо. Частицы света должны были бы, распространяясь по прямым линиям от источника, образовывать на экране два резких изображения щелей. Или, в крайнем случае, если щели расположены близко друг к другу, изображения щелей могли бы частично перекрываться, и тогда контуры обращенных друг к другу сторон щелей были бы несколько размыты полутенью. Но на самом деле вместо двух щелей мы видим множество светлых и темных полос. О чем говорит эта сложная картина?

Прежде всего — о дифракции света. На экране оказываются освещенными и те участки, на которые должна была приходиться тень от картонного листа. Значит, свет явно заходит в область тени за препятствием на пути его распространения. Но, может быть, и это покажется неубедительным доказательством того, что свет состоит из волн?

Потоки световых частиц от двух щелей могут складываться друг с другом; тогда отдельные участки изображения на экране будут освещены сильнее, чем одним потоком. Однако никогда эти потоки не могли бы *вычитаться* друг из друга, приводя к появлению совершенно темных участков изображения.

Но это невозможно для потоков частиц, оказывается вполне возможным для волн. Любые волны имеют горбы и впадины. (Напомним, что расстояние между двумя соседними горбами или двумя соседними впадинами называется *длиной волны*.) И если в каком-то месте горб одной волны совмещается с впадиной другой (так будет, когда одна волна сдвинута относительно другой на половину длины волны), то волны погасят друг друга. Такое гашение волн на воде вы могли наблюдать много раз: взволнованная поверхность воды остается в этих местах спокойной. В случае световых волн на таких участках должна быть полная темнота.

Как же совместить горб одной волны с впадиной другой? А для этого и понадобились две щели в опыте Юнга. Через обе щели одновременно проходила одна и та же световая волна (для этого источник света надо расположить посередине между щелями). Эта волна создавала в результате дифракции на краях щелей вторичные волны, которые шли дальше



к экрану. Посмотрите на рисунок. Вы видите, что в пространстве за щелями можно найти особые направления. Распространяясь по ним, волна от одной щели придет к экрану, ровно на половину длины волны (или коротко — на полволны) опередив волну от другой щели.

Обе волны в этом направлении будут постоянно гасить друг друга, и на экране будет видна темная полоса. В других же направлениях такое гашение волн не будет полным, и там экран будет освещен. Найдутся и такие направления, в которых у двух волн горбы будут совпадать с горбами, а впадины — с впадинами (как говорят физики, такие волны находятся в одинаковой фазе). В соответствующем месте экран будет вдвое светлее, чем это было бы для одной волны.

Повторим снова опыт Юнга, но уже не с «белым» светом лампочки от фонарика, а с цветным светом. Для этого между лампочкой и картонным листом будем поочередно устанавливать светофильтры, окрашенные в различные цвета радуги. Мы увидим интересное явление. Темные полосы, разделяющие цветные участки интерференционной картины на экране, окажутся на синей картинке почти вдвое ближе друг к другу, чем на красной. О чем это говорит?

Мы уже знаем, что темная полоса возникает в направлении, по которому одна волна обгоняет другую на полволны. А соседняя темная полоса? Очевидно, там одна волна обгоняет другую уже на полторы длины волны. Третья полоса — на две с половиной длины волны и так далее. Светлые полосы отстоят на том же расстоянии друг от друга, что и темные, и тоже говорят об обгоне одной волны другой. Центральная светлая полоса образована волнами, пришедшими к экрану одновременно, в соседней светлой полосе одна волна обогнала другую на одну длину волны, в следующей — на две длины волны и так далее.

Промерим расстояние между соседними темными или светлыми полосами на экране и определим расстояние между щелями и угол, под которым шли к этим полосам волны, по отношению к направлению на центральную полосу. Тогда можно по простым формулам геометрии определить саму длину волны цветных лучей! И те же формулы говорят:

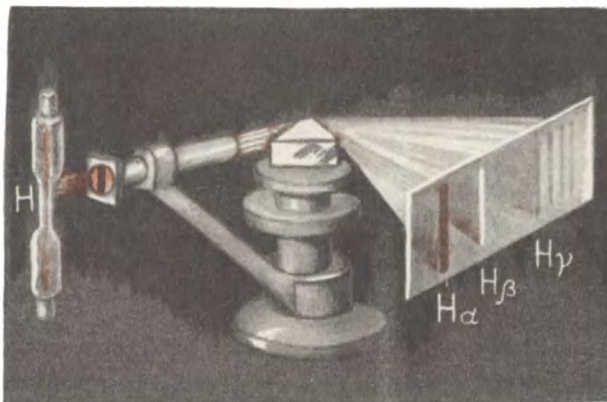
если расстояние между полосами на красной интерференционной картинке почти вдвое больше, чем на синей, то это означает, что длина красных световых волн почти вдвое больше, чем синих волн. Интерференция света дала в руки физикам замечательное средство количественной характеристики цвета и спектров!

Каковы же эти длины волн? О, они чрезвычайно малы — стотысячные доли сантиметра. Красный свет имеет длину волны около семи стотысячных долей сантиметра, а синий — около четырех.

Именно малость длин волн света и объясняет, почему трудно наблюдать дифракцию невооруженным глазом при обычных условиях освещения предметов. Ложные дифракционные контуры предметов отстоят друг от друга и от действительного контура на расстояниях примерно таких же, как длина световой волны. Глаз же в состоянии уверенно увидеть волос толщиной примерно в 500/100000 долей сантиметра и пасует уже при вдесятеро меньших по сравнению с ним размерах. Гримальди, который первым увидел дифракцию света, действительно должен был обладать фантастически острым зрением!

Так благодаря открытию интерференции света семь цветов радуги смогли получить в дополнение к своим названиям еще и точную количественную характеристику — длины световых волн, которым отвечают эти цвета.

РОЖДЕНИЕ СПЕКТРОСКОПА



Теперь мы можем посмотреть на опыты Ньютона с солнечным спектром иными глазами. Солнечный свет представляет собой смесь световых волн с разными длинами. Призма разделяет эти волны благодаря тому, что они по-разному преломляются в стекле. Иными словами, преломляющая способность стекла, из которого сделана призма, зависит от длины волны света. Она оказывается наибольшей для лучей с наиболее короткой длиной волны — фиолетовых и наименьшей для наиболее длинных световых волн — красных. Преломляющую способность стекла и других прозрачных веществ физики характеризуют специальной величиной — показателем преломления. Зависимость этой величины от длины волны называется *дисперсией* показателя преломления.

Чем больше дисперсия, тем больше удастся развести цветные лучи, тем более широким и удобным для подробного изучения оказывается спектр. К сожалению, у оптического стекла, например такого, каким пользовался Фраунгофер, дисперсия не очень велика, потому и спектр

получался не очень широким. Вместе с тем такие же радужные полосы — и не одна, а много! — получаются в опыте Юнга по интерференции, проведенном с белым светом.

Вскоре после первых интерференционных опытов Фраунгофер сделал второе свое великое открытие. Он выяснил, что радуги интерференции получаются значительно более широкими и вместе с тем яркими, если вместо двух щелей, как в опыте Юнга, в непрозрачном для света экране прорезать много узких и тесно расположенных щелей — чем уже и теснее, тем лучше. А можно сделать и наоборот — на прозрачную пластинку резцом нанести узкие линии, которые в этих местах делают стекло непрозрачным. Это понятно: через множество щелей проходит гораздо больше света, чем через две в опыте Юнга.

Сам Фраунгофер пользовался обоими способами: он по краям стеклянной пластинки делал надрезы и наматывал на них очень тонкую проволоку — целых триста витков на каждый сантиметр, — тогда щелями были участки стекла, не закрытые проволокой; либо же он наклеивал на стекло тонкую золотую фольгу и резцом проводил на ней тонкие штрихи, — теперь щелями служили участки стекла, не закрытые фольгой.

Чем же не удовлетворяла его стеклянная призма? Зачем понадобилось нарезать штрихи на стекле, проводить эту очень трудоемкую работу? Ведь нужно было, чтобы все штрихи отстояли друг от друга строго на одном и том же расстоянии, имели как можно более одинаковую форму и глубину. Разве нельзя было, отодвигая экран для наблюдений все дальше и дальше от призмы, получать все более широкий и удобный для изучения спектр? В том-то и дело, что нельзя. Спектр действительно получался все более широким (хотя, естественно, и менее ярким), но вот более мелких деталей он не обнаруживал. Это похоже на фотографию, снятую при плохой наводке фотоаппарата на резкость: сколько ее ни увеличивай, изображение лучше и резче не станет.

Пусть так. Но ведь можно было, если не хватало одной призмы для получения достаточно отчетливого спектра, ставить несколько призм одну за другой? Действительно, так и делали, и при этом удавалось *разрешить*, различить в спектре более мелкие детали. Как говорят физики, повышалась *разрешающая способность* установки для получения спектров. Но сама установка требовала уже нескольких тщательно отобранных и подогнанных друг к другу призм, а это всегда нелегко сделать.

А вот пластинка с нанесенной на нее чередой прозрачных и темных участков — она получила название *дифракционной решетки* — при такой же и даже более высокой разрешающей способности намного удобнее. Она позволяет повысить четкость изображения спектра простым увеличением числа штрихов на единицу длины пластинки.

Впрочем, дифракционной решетке предстояло еще долгие годы совершенствоваться, прежде чем она стала конкурентом призме и даже превзошла ее. Должны были еще появиться специальные делительные машины, способные автоматически нарезать на стекле и других твердых прозрачных материалах тончайшие, регулярно и тесно расположенные царапины в количестве многих тысяч на каждый сантиметр длины пластинок. Физикам надо было еще научиться отделять множество порой наползающих друг на друга одинаковых спектров — ведь дифракционная решетка, в отличие от призмы, дает не один, а множество спектров, — с тем чтобы изучать только один спектр.

Всего этого удалось достичь лишь в конце девятнадцатого века. И теперь в технике получения спектров мирно сосуществуют призмы и диф-

ракционные решетки. Что из них использовать — зависит от задач, которые ставят перед собой исследователи. Если не нужна очень высокая разрешающая способность, то хороши и призмы; если же спектры надо изучить как можно детальнее, лучше использовать дифракционные решетки. Есть и другие соображения, определяющие выбор призмы или решетки, о них мы здесь не будем говорить.

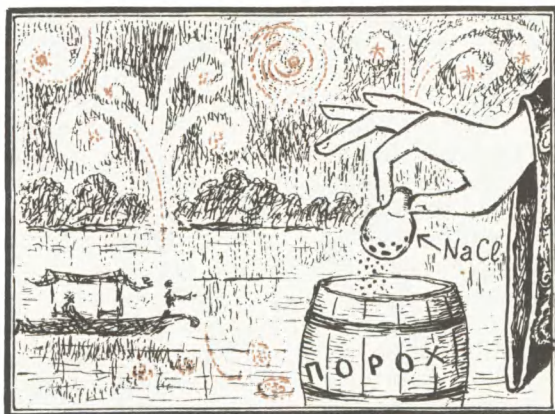
Источник света при изучении его спектра со времен Волластона и Фраунгофера формируется с помощью непрозрачного экрана так, что он имеет вид щели. Изображение этой щели после прохождения света от нее через призму или дифракционную решетку, как мы уже знаем, из-за преломления или дифракции принимает вид ряда светлых и темных полосок. Каждая длина волны, каждый цвет в спектре источника света создает изображение щели в виде узкой светящейся полоски — линии, располагающейся в определенном месте спектра. Такие линии и называются *спектральными линиями*.

Наблюдать их можно невооруженным глазом. А можно для удобства рассматривать их через линзы зрительной трубы. В результате комбинации линз и призм появился прибор, называемый *спектроскопом*. Его конструкция без принципиальных изменений сохранилась и по сей день.

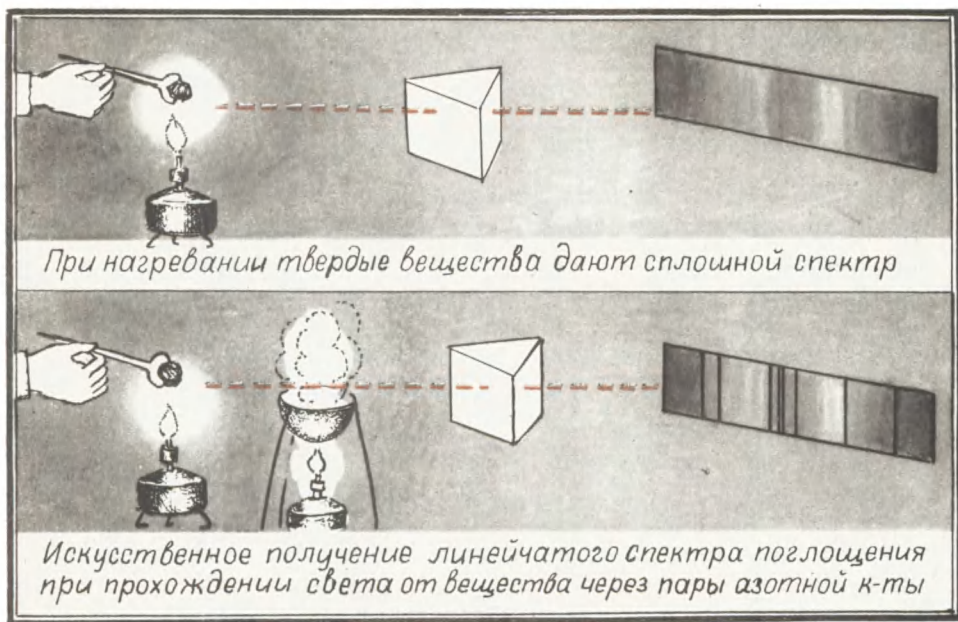
Спектры можно наблюдать не только глазом. Можно усовершенствовать спектроскоп, предусмотрев в нем регистрацию спектров с помощью фотографических пластинок либо с помощью чувствительных к свету фотоэлементов, в которых свет преобразуется в измеряемый электрический ток. Такие приборы называются спектрометрами.

Чтобы на пути между щелью и призмой или дифракционной решеткой к свету от источника не примешивался посторонний свет и со спектроскопом можно было работать не в темной комнате, а на свету, щель и линзу для собирания света от нее заключают в трубу. Второй трубой в спектроскопе служит зрительная труба. Иногда добавляют и третью трубу, в которой помещается нанесенная на стеклянную пластинку шкала, деления ее соответствуют длинам волн. Фотография такого трехтрубного спектроскопа показана на рисунке.

ПЕРВЫЕ ШАГИ СПЕКТРОСКОПИИ



Наука, занимающаяся изучением спектров, получила название *спектроскопии*. Что это действительно наука, а не свод случайных наблюдений, стало ясным после того, как Фраунгофер открыл темные ли-



нии в спектре Солнца, и особенно после того, как он измерил длины волн этих линий при помощи спектрометра с дифракционной решеткой, которую он сам сделал. Это означало, что качественные наблюдения уступили место количественным измерениям.

Эту работу Фраунгофер проводил уже в Мюнхене, куда он переехал из заштатного австрийского городка. В Мюнхене Фраунгофер, несмотря на свою молодость (тридцать два года!), уважаемый профессор, академик. Он полон новых идей и планов, увлечен измерениями в спектрах планет и звезд. А жить ему оставалось всего семь лет.

На его могиле признательные соотечественники воздвигли памятник с краткой, но выразительной надписью: «Приблизил звезды». Да, Фраунгофер действительно приблизил звезды, сделал их благодаря изучению спектров как бы понятнее.

Фраунгофер сделал еще одно замечательное открытие, которое ни он сам, ни его ученые коллеги в то время не поняли. В спектре Солнца там, где располагаются желтые цвета, среди прочих линий он обнаружил отчетливую темную линию, которую обозначил буквой *D*. (Вскоре обнаружилось, что это не одна, а две тесно расположенные темные узкие линии.) Еще раньше, проводя эксперименты с пламенем свечи, он нашел в спектре этого пламени в точности на том же месте, где находилась темная линия *D* в солнечном спектре, яркую двойную желтую линию.

Лишь спустя полвека физики поняли, что означает это странное совпадение. Тогда-то и родился спектральный анализ, который уже действительно приблизил к людям звезды. Сегодня люди о глубинах звезд знают даже больше, чем о глубинах их собственной планеты!

Но мы забежали вперед. Еще идет неспешная, небогатая сенсационными открытиями работа по накоплению данных о спектрах различных земных веществ. Спиртовка на столе экспериментатора становится обычным предметом, ее пламенем можно нагревать вещества до высокой температуры и исследовать спектры их свечения.

Выясняется, что твердые вещества при нагревании всегда дают сплошной спектр, вполне подобный спектру Солнца, только не испещренный никакими темными линиями. Впрочем, проходит десяток лет после работ Фраунгофера, и английский физик Брюстер устанавливает, что темные линии, оказывается, можно получать искусственно. Брюстер нагревал кусок твердого вещества на спиртовке, а рядом, на другой спиртовке, испарял азотную кислоту. Когда свет от твердого вещества проходил через пары азотной кислоты, в его спектре появились темные линии.

Брюстер мог бы из этого сделать заключение, что темные фразунгоферовы линии в спектре Солнца — это, вероятно, результат поглощения солнечного света какими-то парами в атмосфере Солнца, а может быть, и в атмосфере Земли. Пары азота словно «выедали» из сплошного солнечного спектра отдельные узкие участки, и на их месте возникали темные провалы. Фраунгофер видел не что иное, как первый линейчатый спектр поглощения! Но Брюстер не додумался до такого заключения.

Тем временем физики обратились к изучению самих пламен. Они вносили в пламя спиртовки соли различных металлов и наблюдали, как пламя меняло свою окраску, становясь из оранжевого то синим, то зеленым, то красным. Окрашивание пламен было давным-давно известно: еще в глубокой древности китайские мастера огненных забав — пиротехники, пускавшие в небо фейерверки в честь больших празднеств, — знали, как получать различные яркие и красивые цвета огней, подмешивая в порох щепотку той или иной соли. Только пиротехникам не приходило в голову рассматривать фейерверки через спектроскоп!

Теперь время для этого пришло. Английский физик и астроном Джон Гершель вносил в пламя спиртовки щепотки солей калия, стронция и других металлов. Спектр пламени при этом оказался совершенно непохожим на спектр раскаленных твердых тел. Вместо сплошной радуги цветов в нем был лишь частокол нескольких ярких линий, прорезавших черный фон!

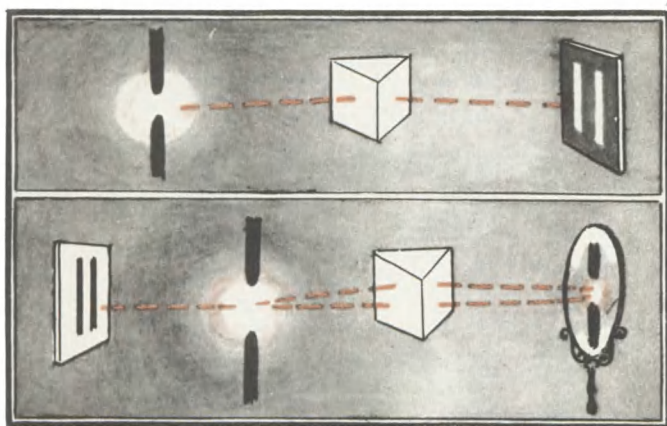
Интересным оказалось и само пламя спиртовки. Спектр его тоже выглядел не сплошным, хотя и не линейчатым. Он состоял из отдельных широких полос. Одна из наиболее ярких полос приходилась на синеголубую часть спектра и явно была связана с тем синеватым венчиком, который всегда окружает пламя спиртовки или газовой горелки.

Так за считанные годы в физику вошли еще две разновидности спектров: линейчатые и полосатые спектры испускания света. Эти спектры имели вид уже не темных провалов в радуге сплошного спектра, а, напротив, ярких линий и полос на темном фоне.

Сколько же надо было вносить солей в пламя спиртовки, чтобы в спектре пламени вспыхивали яркие их линии? Щепотка — это слишком грубое преувеличение. Для этого подчас было достаточно чуть ли не миллионных долей грамма, одной капли сильнейшим образом разбавленного раствора соли! И в 1834 году английский физик Тальбот написал такие знаменательные слова: «Я не колеблясь утверждаю, что один только взгляд на призматический спектр дает возможность указывать на присутствие в нем мельчайших количеств веществ, которые иначе потребовали бы для своего открытия трудоемкого химического анализа».

Тальбот высказал мысль о химическом анализе микроскопических количеств веществ по их видимым спектрам, или спектральном анализе, как его впоследствии называли. При помощи спектрального анализа было сделано много выдающихся открытий. Но тогда время этого замечательного метода исследования еще не наступило. Не было ясно, в

чем состоит связь между спектрами поглощения и спектрами испускания. Полной загадкой оставались причины возникновения сплошных, линейчатых и полосатых спектров. Оставались непонятными закономерности, которым следуют положения и яркости линий в спектрах.



ДВЕ D-ЛИНИИ

Первым увидел их, как мы уже говорили, Фраунгофер. Увидел в густом частоколе темных линий, пересекающем многоцветный солнечный спектр. Почему он вообще обратил на них внимание? Линии как линии, они решительно ничем не выделялись среди прочих.

Однако была тому причина. Фраунгофер сначала изучал не солнечный спектр, а пламя сальной свечи (стеариновых свечей тогда еще не существовало). И в этом пламени обнаружил две яркие желтые линии. Яркие, а не темные! И только затем, надеясь обнаружить их в солнечном спектре (Солнце, как и свечка, тоже горячий источник света), направил свой спектроскоп на Солнце. Но в солнечном спектре эти две линии неожиданно оказались темными.

Вот тут-то и сыграла свою роль та тщательность, с которой Фраунгофер зарисовывал темные линии и измерял их длины волн. Те две темные линии, которые он обозначил буквой *D*, находились на шкале длин волн точно там же, где и две яркие линии в пламени свечи. Эти яркие линии имели желтый свет, и точно в том же участке солнечного спектра, где располагаются желтые цвета, Фраунгофер нашел две темные линии.

Что же дальше? Да ничего. Мало ли какие совпадения бывают в природе? Фраунгофер не «измышлял» решительно никаких гипотез — ни по поводу желтых линий, ни по поводу других свих замечательных открытий. Он был невероятно усердным и тщательным экспериментатором. Время теоретиков еще не пришло.

Потом эти две яркие желтые линии видели почти все ученые, занимавшиеся исследованием спектров. Тальбот исследовал спектр пламени от смеси спирта и воды — в нем присутствовали эти линии. Затем он снял спектр горячей серы — и там увидел опять эти желтые линии-близнецы.

Выходило что-то очень странное. Спектр паров одних солей, сгорающих в спиртовом пламени, был непохож на спектр других. Например, как отмечал сам Тальбот, спектры паров стронция и калия, несмотря на то что оба пламени окрашены в красный цвет, все же при де-

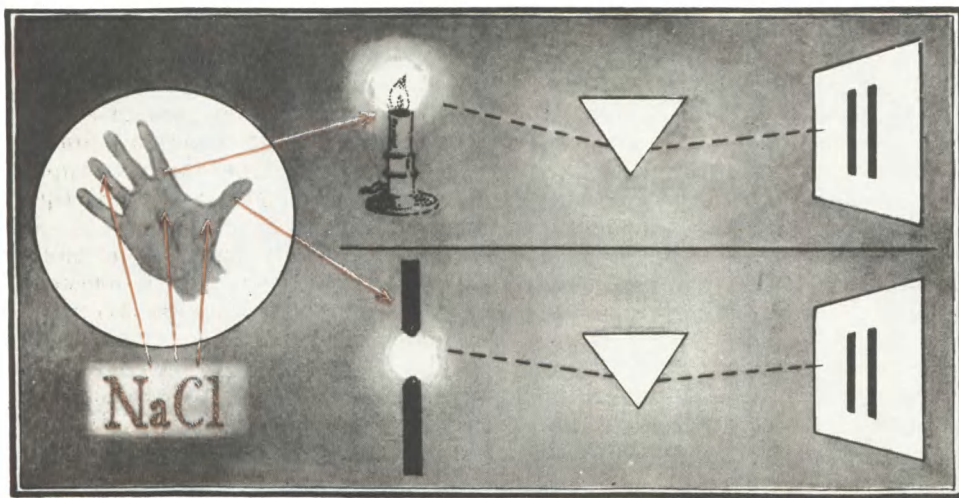
тальном рассмотрении отличались друг от друга, спектральные линии в них были расположены по-разному. А желтая пара линий-близнецов, вспыхивая то ярче, то слабее, появлялась почти всегда, в спектрах всех изучавшихся веществ.

Может быть, эти линии принадлежат самому пламени? Может быть, их испускает при своем сгорании вещество, из которого состоит свеча, — органическое соединение, содержащее в своем составе углерод и водород? Тогда было бы понятно, почему они не исчезают и при замене свечи спиртовкой, а потом уже и газовой горелкой. И спирт и газ в горелке тоже имеют в своем составе молекулы химических соединений, содержащих углерод и водород. Так чему же принадлежат линии — углероду или водороду?

Тем временем физики получили в свои руки еще один способ разогревать вещества до высокой температуры — вольтову дугу, электрический разряд между электродами. И что же? Желтые линии-близнецы то появлялись, то исчезали. Электроды сначала делали из углей, потом стали делать их из меди, железа и других металлов. Уголь — это чистый углерод. Как будто бы *D*-линии можно было приписать углероду, сгорающему в вольтовой дуге? Но *D*-линии появлялись не во всех опытах с угольными электродами. Более того, они порой вспыхивали в опытах, проводившихся с металлическими электродами. Может быть, на металл попали следы угля? Но тогда почему эти линии были не всегда видны в спектрах, получавшихся с угольными электродами?

Загадку появления *D*-линий решил только в 1856 году английский физик Сван. Он выяснил, что эти линии вызываются не углеродом, а... натрием. Натрий входит в состав поваренной соли, а соль эта поистине вездесуща. Она носится в воздухе, она всегда незаметно присутствует на руках исследователя, ставящего спектральный опыт. А с пальцев она без всяких затруднений переходит и на свечу, и на фитиль спиртовки, и на трубку горелки, и на электроды вольтовой дуги. Достаточно было совершенно ничтожных, буквально в миллионные доли грамма, следов поваренной соли, а значит, натрия, чтобы в спектре ярко вспыхнули *D*-линии.

Итак, интриговавшая спектроскопистов сорок лет загадка линий-



близнецов разрешилась, и, казалось бы, можно успокоиться. Но не тут-то было. Присутствовала в этих линиях еще одна тайна, завещанная Фраунгофером.

Почему эти линии в одних условиях оказывались светлыми, а в других — темными? Что это за линии-оборотни? Разные температуры пламени свечи и Солнца не давали ответа на этот вопрос: с повышением температуры пламени линии действительно становились ярче, но все равно всегда оставались светлыми. А между тем в спектре еще более горячего Солнца они с таким же постоянством оставались темными!

В 1849 году за разгадку *D*-линий принялся французский физик Леон Фуко. Он исследовал спектр вольтовой дуги, горевшей между угольными электродами, и легко обнаружил в спектре линии-близнецы. Повторив наблюдения Фраунгофера, он сравнил положение этих линий с темными *D*-линиями в солнечном спектре и, конечно, нашел, что положения их в спектре совпадают.

А что будет, если солнечный свет пропустить через пламя вольтовой дуги? Казалось бы, светлые линии от дуги займут положения темных линий солнечного спектра, и в этом месте станет светло. Правильно, но почему линии-близнецы от дуги при этом уменьшили свою яркость?

Ищущая мысль Фуко идет дальше. А что, если заменить само Солнце дугой и пропустить свет от дуги снова через нее же? Что произойдет при этом? Опыт ставится просто: Фуко берет маленькое зеркало и отражает свет от дуги так, что он сквозь пламя дуги проходит в спектроскоп. И — чудо: стоило только поставить зеркальце, и там, где только что сияли две яркие желтые линии, вдруг появились темные полоски! В самом деле, какие-то линии-оборотни. Это явление Фуко так и назвал *обращением* спектра.

Что же означало появление темных линий в спектре дуги? Да, по существу, то, что Фуко в лаборатории создал условия, похожие на те, которые существуют на Солнце, по крайней мере, в отношении спектра. Какой же вывод сделал из своих наблюдений Фуко? А такой: «Дуга представляет собой среду, которая сама создает лучи *D* и в то же время их поглощает, когда они приходят извне». Великолепно! И это все?

Нет, Фуко сделал еще одно наблюдение. Заменив угли металлическими электродами, он снова обнаружил желтые линии, хотя и сильно ослабленные. Они резко увеличивали свою яркость, если намеренно запачкать электроды «поташом, содой или одной из солей, образующих известь». Какой же отсюда вывод?

А такой: «Прежде чем делать какие-либо выводы о почти постоянном присутствии луча *D*, нужно, конечно, убедиться в том, не свидетельствует ли его появление всегда о присутствии одной и той же материи, растворенной во всех наших проводниках». Под проводниками Фуко подразумевал металлические или угольные электроды вольтовой дуги.

Похвальная осторожность ученого: все выяснить, прежде чем делать окончательные выводы и предавать их гласности. Но нам, следящим за шагами Фуко, как за шагами человека, который ходит с завязанными глазами по комнате и, растопырив руки, ловит другого — веселая игра! — нам так и хочется крикнуть ему: «Горячо, горячо!» Он же ходит совсем рядом с открытием! Ему надо сделать только один шаг и сказать: «Это натрий! Это он в вольтовой дуге испускает и поглощает *D*-линии!»

Но нет, Фуко не делает такого шага. Он еще не понимает главного: того, что каждый химический элемент имеет свой неповторимый спектр независимо от того, в какое соединение он входит. Он еще не догады-

вается, что спектр — это как бы паспорт с фотографией химического элемента.

Почему же он этого не понимает? Разве работы спектроскопистов, его предшественников, не доказали, что спектр одного химического элемента не похож на спектр другого? И да и нет. Вот почему он считает необходимым еще убедиться в «присутствии одной и той же материи, растворенной во всех проводниках» — излучателях спектра.

Не надо забывать, в какое время работали первые исследователи спектров. Это был период, когда основные интересы физики вовсе не были сосредоточены на изучении пламен. Ажиотаж царил в мире электрических и магнитных явлений, а спектроскопией, да и то между прочими делами, занимались лишь немногие ученые. Полный перечень работ по спектроскопии, сделанных за первую половину прошлого века, легко уместится на одной странице.

Энтузиасты-одиночки, они работают в разных странах, не связаны постоянно друг с другом, редко публикуют свои работы. Да и сами работы какие-то неопределенные, нерешительные в своих выводах. А четкие выводы делать действительно трудно.

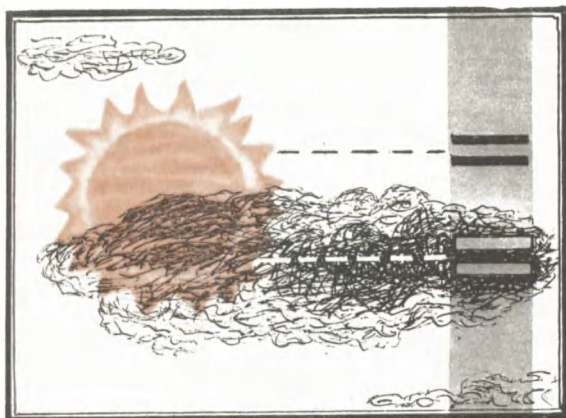
Скажем, изучается свечение какого-либо газа в пламени спиртовки. Пока это пламя не очень горячее; спектр имеет один вид, обычно полосатый. По мере того как пламя становится все горячее, полосы пропадают и на их месте появляются все более яркие линии. Это сегодня мы знаем, что пока газ холодный, свет испускают его молекулы, а когда он становится все горячее, молекулы во все большем числе распадаются на отдельные атомы, так что теперь свет испускают в основном уже атомы.

А тогда сами понятия о молекулах и атомах только нарождались в физике. А уж об испускании и поглощении ими света представления были самыми смутными. Вот и Фуко: догадался о том, что обращение светлых спектральных линий в темные как-то связано с поглощением света, но как именно связано, понять не мог. Догадывался он и о том, что «соли, образующие известь» могут нести ответственность за появление желтых линий-близнецов, но вот возложить эту ответственность именно на натрий, входящий в молекулы этих веществ, он не смог. Это удалось сделать лишь спустя семь лет Свану.

Итак, вслед за Фраунгофером сделаны два шага навстречу великому открытию. Первое. Фуко устанавливает, что спектральные линии могут обращаться: для *D*-линий он показывает, что из светлых их можно превратить искусственно в темные. Но раз это удалось сделать искусственно, то вполне возможно, что обращение линий может осуществить и сама природа. Второе. Сван выясняет, что пара вездесущих *D*-линий принадлежит спектру химического элемента натрия.

Остается сделать третий, последний шаг, связать эти два открытия в один общий вывод. Вывод универсальный, применимый не только к *D*-линиям, но и вообще к любым спектральным линиям, и не только к натрию, но и вообще ко всем химическим элементам. Этот шаг делает в 1859 году немецкий физик Густав Кирхгоф.

О ЧЕМ РАССКАЗАЛИ D-ЛИНИИ



В 1859 году Кирхгофу исполнилось тридцать пять лет. Уже почти десять лет он профессор — сначала в университете в Бреславле, а затем в знаменитом Гейдельбергском университете, куда увлек его профессор химии Роберт Бунзен, старший друг и советчик.

Трудно найти более удачное сочетание талантов. Кирхгоф занимается законами электрического тока, исследованием тепловых явлений (а разве свечение нагретых тел не имеет теплового происхождения?). Он скорее теоретик, чем экспериментатор. Бунзен, напротив, тяготеет к экспериментальной работе по анализу различных химических соединений. Для разложения этих веществ он изобретает газовую горелку, которая дает высокую температуру пламени. Ее сразу берут на вооружение химики-спектроскописты. А сегодня она используется в каждой газовой плите!

В конце пятидесятых годов Кирхгоф и Бунзен решают заняться изучением спектров. Но шлифовать хорошие стеклянные призмы ни тот ни другой не умеют. Не знает это дело ни один из мастеров в местном университете. Тогда Кирхгоф пишет в Мюнхен, и в 1857 году ему присылают призму, которую изготовил еще сам Фраунгофер.

Два года опытов проходят незаметно для Кирхгофа и Бунзена и — в какой-то степени — для физики. Наконец... Но предоставим слово самому Кирхгофу, лишь иногда прерывая его краткими комментариями.

«Фраунгофер заметил, что в спектре пламени свечи появляются две яркие линии, которые совпадают с двумя темными линиями *D* в солнечном свете. Те же яркие линии получаются легко с большей интенсивностью в спектре пламени, в которое введена поваренная соль...»

Да, Кирхгоф хорошо знает работы своих предшественников. С тех пор как Фуко и особенно Сван поняли происхождение этих ярких желтых линий, пламя горелки или дуги можно загрязнять искусственно, вводя в него поваренную соль или какие-либо другие известные химические соединения натрия — теперь уже специально для изучения натриевого спектра.

«...Я получал солнечный спектр, но заставлял солнечные лучи, прежде чем они падали на щель, проходить через сильное пламя поваренной соли. Если солнечный свет был достаточно ослаблен, то на месте обеих темных линий *D* появлялись две яркие линии. Но если интенсивность солнечного спектра превышала известную величину, то обе линии *D* появлялись со значительно большей отчетливостью, нежели в отсутствие пламени поваренной соли...»

Опять это обнаруженное впервые Фуко обращение спектральных линий! В облачный день, на фоне притушенного спектра Солнца, сияют яркие линии излучения натрия. Стоит солнцу выйти из облаков, как яркие линии превращаются в темные.

В чем же дело? И тут, возможно, Кирхгоф вспоминает то заключение, которое сделал Фуко из своих опытов: одна и та же среда может и испускать лучи, и поглощать те лучи, которые она испускает. Только теперь эта среда — не вольтова дуга, а пламя горелки с поваренной солью... Стоп! А почему на такое способно только натриевое пламя? Разве на пути солнечного луча, от раскаленной поверхности Солнца до щели спектроскопа, нет никаких других сред?

«Я заключаю из этих наблюдений, что окрашенные пламена, в спектрах которых наблюдаются яркие резкие линии, настолько ослабляют лучи, имеющие цвета этих линий, когда эти лучи проходят через окрашенные пламена, что вместо ярких линий появляются темные линии, коль скоро за пламенем установлен источник достаточной интенсивности, в спектре которого при других условиях эта линия отсутствует».

Эти наблюдения состояли в следующем. Кирхгоф брал чистую вольтовую дугу, с электродов которой были устранены все загрязнения и которая поэтому давала сплошной спектр без темных линий. Когда он пропускал свет этой дуги через пламя поваренной соли, в спектре дуги появлялись две темные линии — линии поглощения света дуги натрием. Но стоило уменьшить яркость дуги, и в спектре вместо темных вспыхивали яркие желтые линии самого пламени.

Значит, все дело — в яркостях, или, говоря другими словами, в температурах обоих источников света, излучающего и поглощающего, дуги и натриевого пламени! Если свет дуги ярче света натриевого пламени, то будут наблюдаться темные линии, если, наоборот, свет пламени ярче света дуги, то будут наблюдаться светлые линии. Но чем же спектр чистой дуги в принципе отличается от спектра раскаленной поверхности Солнца? И Кирхгоф делает последний шаг:

«...Я заключаю, далее, что темные линии солнечного спектра, которые не вызваны земной атмосферой, возникают благодаря присутствию в солнечной атмосфере тех веществ, которые в спектре пламени дают яркие линии на месте темных линий солнечного спектра. Следует допустить, что яркие линии спектра, совпадающие с *D*-линиями солнечного спектра, обусловлены присутствием натрия в пламени; темные *D*-линии солнечного спектра позволяют поэтому заключить, что натрий находится в солнечной атмосфере».

Этим, собственно, все сказано.

Каждое вещество поглощает те спектральные линии, которые оно само излучает. Будет преобладать поглощение или излучение, темные или, напротив, светлые линии появятся в спектре — это зависит от относительных температур обоих источников света, находящихся на разных расстояниях от щели спектроскопа.

Дальше. Натрий — и, по-видимому, любой другой химический элемент — имеет свои характерные спектральные линии, по которым его можно опознать. (Это, в общем, было известно и до Кирхгофа, но перейти от констатации самого факта характерного спектра к мысли об опознании по нему излучающего или поглощающего вещества смог, по существу, только Кирхгоф.)

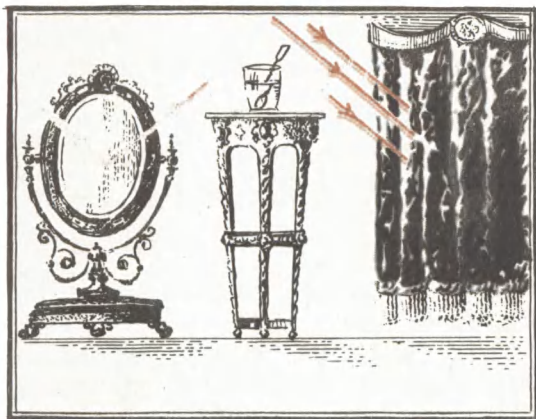
Следующее заключение. На Солнце есть натрий. Поглощать солнечные лучи может и земная атмосфера, но химики в ней натрия не обнаружили.

Значит, остается лишь солнечная атмосфера. Раз в спектре Солнца линия натрия является темной, значит, эта атмосфера расположена между поверхностью Солнца и Землей, причем она, ясно, имеет более низкую температуру, чем поверхность Солнца.

И все эти выводы, все эти открытия — в одной статье.

Что же это означает? Открытие *спектрального анализа* и немедленное же его применение к анализу состава и строения ближайшей к нам звезды — Солнца.

Вот к чему в умелых руках (и конечно же — в умнейшей голове) может привести простое наблюдение того, что две спектральные линии, светлые в облачный день, внезапно становятся темными, стоит только солнцу выйти из-за туч!



ОТРАЖЕНИЕ, ПРОПУСКАНИЕ, ПОГЛОЩЕНИЕ

Статья Кирхгофа увидела свет в октябре 1859 года. А спустя два месяца появилась вторая работа Кирхгофа, посвященная спектрам. В ней он решил вопрос о причинах обращения спектральных линий.

Для этого ему потребовалась термодинамика — раздел физики, изучающий, как следует из его названия, «движение тепла». На самом деле область применения термодинамики много шире, она не ограничивается одной теплотой. В середине прошлого века физики поняли, что теплота — это только одна из форм энергии, что она может превращаться в другие формы — энергию механического перемещения, энергию излучения нагретых тел, энергию химических реакций. Тогда и термодинамика стала наукой о движении энергии в самом широком смысле — не только о переходе энергии от одних тел к другим, но и из одной формы в другую.

Энергия — это очень общая, универсальная характеристика, применимая ко всем физическим явлениям. Поэтому и термодинамика оказалась поразительно широкой наукой, приложимой ко всему миру физики. Она при этом ничего не говорит о конкретном характере различных явлений, о конкретных формах превращения энергии. Это — дело специальных областей физики: механики, оптики, физики атомов и других. Во всех этих явлениях термодинамика адресуется только к их общей характеристике — энергии. Но при этом позволяет все же сказать о явлениях удивительно много.

Кирхгоф внимательно присмотрелся к излучению нагретых тел — оно так и было названо *тепловым излучением*. Что прежде всего можно ска-

зять о холодных телах, на которые падает поток излучения от раскаленных тел?

Они могут отражать это излучение: ведь все окружающие нас несамостоятельные тела мы видим только потому, что они отражают излучение Солнца, лампочки, свечи и любых других источников света. Они могут пропускать это излучение; тогда тела выглядят в той или иной мере прозрачными, как, например, стекло, вода, воздух. Наконец, они могут и поглощать излучение: мы знаем, что, проходя через кажущиеся совершенно прозрачными предметы, свет все же ослабляется. Тонкий слой воды кажется абсолютно прозрачным, а вот сквозь слой воды в несколько метров, например в море, увидеть лежащие на дне предметы уже трудно.

Но оставим в стороне прошедшее сквозь тело и отраженное им излучение. Эти излучения пришли и ушли, не изменив своей энергии и, значит, ничего не добавили и не убавили в энергии тела. Остается поглощенное излучение, оно вошло в тело и не вышло из него. Куда делась его энергия? Исчезла? Нет, это невозможно: самый первый, самый важный принцип термодинамики и вообще всей физики есть закон сохранения энергии. Энергия не берется из ничего и никуда бесследно не исчезает.

Если энергия излучения исчезла, поглотилась в освещаемом им теле, то это означает только одно: она перешла в другую форму. Какую же? Легко сообразить: когда вы стоите у открытой дверцы печки или греемся на Солнце, вам становится тепло. Это означает, что вы поглощаете энергию излучения, которая идет на нагрев, повышение температуры вашего тела.

Разные тела — разные доли отраженной, пропущенной и поглощенной энергии излучения. Блестящая полированная поверхность металла практически совершенно не пропускает видимое глазом излучение и лишь слабо поглощает его. Почти все это излучение она отражает обратно. Воздух, напротив, почти все это излучение пропускает и практически очень мало отражает и поглощает. А вот, скажем, сажа или черный бархат почти все излучение поглощают, почти ничего не пропускают и не отражая.

Чтобы учесть, какая доля энергии излучения, падающего на тело, превращается в нем в тепло, Кирхгоф придумал специальную характеристику — поглощательную способность тела. Естественно, ее величина больше всего у сажи и у черного бархата. Может ли быть еще более сильно поглощающее тело? Его следовало бы назвать *абсолютно черным*: оно поглощает все попавшее на него излучение и уже не выпускает его — ни вперед (поскольку тело не прозрачно), ни назад (поскольку тело ничего не отражает). Оно поэтому само по себе абсолютно невидимо, ни один луч света от него не попадает в глаз. Но зато если его нагревать излучением, то оно достигнет наиболее высокой температуры среди прочих тел, находящихся в таком же потоке излучения.

В природе, конечно, таких тел нет — это недостижимый идеал. Все тела, хотя бы и немножко, все же отражают и пропускают свет. Но к этому идеалу можно достаточно близко подойти: таковы сажа и бархат.

Итак, энергия излучения может, поглощаясь телами, превращаться в их тепловую энергию. Но вполне возможно и очень часто происходит обратное превращение: при нагревании тел переданная им тепловая энергия может превращаться в энергию их излучения. И здесь тоже можно учесть, какая доля энергии превращается в энергию излучения.

Для этого Кирхгоф ввел другую характеристику — излучательную способность тела.

До сих пор мы говорили «свет», «излучение», словно забыв, что они неоднородны, состоят из лучей с различной длиной волны, имеют спектр. Теперь об этом надо вспомнить. Ибо тот замечательный результат, который Кирхгоф получил в своей второй работе, используя законы термодинамики, гласит следующее: отношение поглощательной и излучательной способностей любых тел при какой-либо температуре и какой-либо длине волны излучения для всех них одинаково.

Неважно, воздух ли, бархат или металл, неважно, как тело пропускает или отражает излучение, является ли оно абсолютно прозрачным, абсолютно блестящим или даже абсолютно черным. Все равно! Но чем сильнее оно поглощает излучение с какой-либо длиной волны, тем ярче оно будет светиться на той же длине волны. Конечно, это отношение поглощения и испускания может и даже обязано меняться в зависимости от длины волны излучения и от температуры тела, но, повторяем, оно одинаково для всех тел при одинаковых условиях их теплового излучения.

Вот где проявляется мощь термодинамики! С ее помощью удалось получить совершенно всеобщий закон, наводящий стройный порядок в бесконечно разнообразном мире процессов теплового излучения. Как выглядит сама зависимость отношения поглощательной и излучательной способностей от длины волны и температуры — это для нас пока неважно. И сам Кирхгоф не знал, как она выглядит. Для ее вывода потребовалось сорок лет упорного труда ученых, и, когда она наконец была правильно выведена, этот вывод перевернул всю физику! Ибо именно этот вывод привел к возникновению квантовой механики.

Нам сейчас важнее другое. Каждое вещество тем сильнее испускает излучение какой-либо длины волны, чем сильнее оно поглощает это излучение. Натрий сильно поглощает лучи двух близких длин волн в желтой части спектра. Свидетельство тому — темные линии-близнецы в солнечном спектре. Но он же сильно излучает эти линии, если ввести поваренную соль в пламя газовой горелки. Так вот, в спектре эти линии будут темными, если поглощательная способность сильнее испускаемой, и светлыми — в обратном случае. Неважно, на Земле ли находится этот натрий или на Солнце: закон Кирхгофа универсален.

Важно, что испускательная способность «земного» натрия будет сильнее поглощательной способности «солнечного» натрия, если температура пламени горелки будет выше температуры солнечной атмосферы. Тогда в спектроскопе вспыхнут светлые линии натрия. Такое может быть, когда солнечное излучение, поглощаясь в облаках, слабеет, как если бы солнечная атмосфера имела более низкую температуру. На самом деле температура атмосферы Солнца очень высока, около 4000 градусов, и не газовой горелке с ней состязаться! Поэтому стоит только выйти Солнцу из облаков, как светлые линии обращаются в темные.

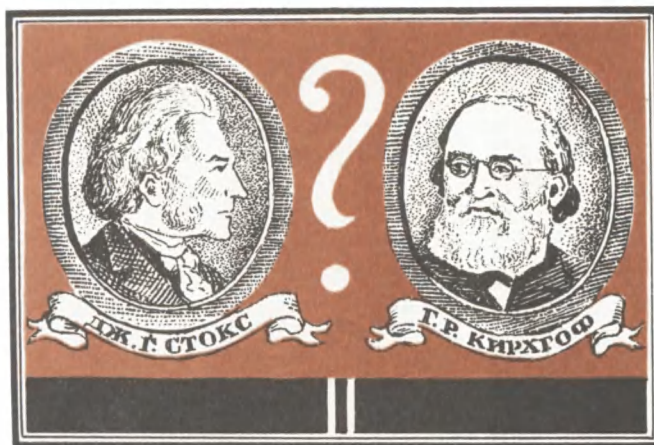
Все дело только в температурах источников излучения. Если наблюдать источник света с температурой в 3000 градусов сквозь источник света даже яркий сам по себе — с температурой в 2000 градусов, — то менее яркий источник вывяит на месте своих спектральных линий темные полосы. И только если дальний источник будет слабее ближнего, будет иметь меньшую температуру, тогда спектральные линии ближнего источника будут светлыми.

Нам это кажется удивительным потому, что мы не привыкли глядеть

на один источник света сквозь другой. Век назад к этому не привыкли еще и многие ученые. Когда спустя два года после открытия Кирхгофа его английский коллега Роско докладывал об этом на заседании Королевского научного общества в Лондоне, его объяснение обращения спектральных линий не понял почти никто, даже такой великолепный физик, как Майкл Фарадей.

Однако ученые того времени сразу поняли главное — то, что Кирхгоф открыл спектральный анализ. Этот анализ давал возможность определять химический состав и физические условия, существующие в различных источниках излучения света — от маленькой свечи и скромной спиртовки до огромного Солнца и других далеких звезд!

ВОКРУГ ОТКРЫТИЯ



Впечатление, которое произвели работы Кирхгофа на его ученых современников, было колоссальным. В считанные годы спектроскопия из скромной побочной области физики, которой занимались лишь отдельные энтузиасты, превратилась в центральное поле исследований.

И, как это часто бывает при действительно великом открытии, почти сразу же вспыхнул спор о том, кто первый открыл спектральный анализ. Кирхгоф был аккуратным и честным исследователем, он не считал, что открытие свалилось к нему «с потолка». Напротив, в своих работах он поименовал научных предшественников, воздал должное их трудам. Среди них были и Фраунгофер, и Фуко, и английские физики, в числе которых Кирхгоф назвал Тальбота, Свана, Гершеля.

Но все же нашлись люди, которые решили оспаривать у Кирхгофа первенство открытия. Причин тому всегда в подобных случаях можно найти много. Тут и соображения национального престижа: любое крупное научное открытие делает честь стране, в которой оно совершилось, поднимает уважение к нации и сообществу ее ученых. Тут и соображения научного честолюбия: настоящие ученые — люди обычно скромные, но среди них порой бывают равнодушные к славе.

К тому же последний, решающий шаг, который и приводит к подлинному открытию, современники первооткрывателя зачастую в должной мере не оценивают. Этот шаг может казаться им незначительным, мало добавляющим к тем шагам, которые были сделаны предшественниками. Истинное величие этого шага становится понятным лишь со временем.

Предшественники ведь тоже видели и описывали то, что видел и описал подлинный автор открытия. Пусть они не сказали последнего слова, но явление-то было известно. И чем ближе подошли эти ученые к его правильному объяснению, тем им обиднее. Обида застилает глаза, не позволяет правильно оценить и собственный труд, и труд автора открытия.

Справедливости ради надо сказать, что ни сам Кирхгоф, ни его непосредственные предшественники в этом споре о первенстве участия не принимали. За приоритет английских физиков выступил крупный ученый, который, однако, сам в работах по спектроскопии почти не участвовал, — Вильям Томсон.

Он написал письмо Кирхгофу, в котором указал, что он, Томсон, еще за добрых десять лет до того слышал от известного английского физика Габриэля Стокса, что профессор Миллер в Кембриджском университете провел якобы такой же опыт, какой поставил Кирхгоф. И что в этом опыте Миллер очень точно доказал совпадение темных D -линий солнечного спектра со светлыми спектральными линиями, которые появлялись, если внести поваренную соль в пламя спиртовки. И что Томсон потом неоднократно обсуждал со Стоксом физические причины этого совпадения. Стокс при этом высказал мнение (как впоследствии выяснилось, совершенно правильное, — более того, эту мысль не высказывал даже сам Кирхгоф), что темные D -линии возникают вследствие своеобразного резонанса между парами натрия в пламени спиртовки и солнечным излучением.

Об этом резонансе мы еще будем говорить подробно. Здесь же мы скажем только, что излучение света можно рассматривать как результат колебаний атомов, наподобие того, как колеблющаяся рояльная струна испускает звук. Если нажать одновременно много клавиш рояля, то получится некое подобие шума, «белого» звука, в котором присутствуют звуки с разными длинами волн. Если в комнате стоит второй рояль, то, приблизив ухо к его струнам, можно услышать, что они слабо звенят, причем — только такие, какие были нажаты в первом рояле. Эти струны *резонируют*. Точно так же они будут резонировать, если за окном проедет грузовик — еще лучший источник «белого» шума, из которого каждая струна выберет свою частоту.

Объяснение Стокса было, однако, правильным лишь в принципе. Световые волны — это не результат механических колебаний, как звук. Но в те годы, когда Стокс, возможно, обсуждал вопрос о D -линиях с Томсоном, истинная природа света еще известна не была, и физики удовлетворялись представлением о свете лишь как о волне вообще.

Важнее в этой истории другое. Ни Стокс, ни Томсон результаты своих бесед нигде не опубликовали. Другой английский физик, Тэт, рассказывал, что Томсон, читая лекции своим студентам, как будто бы говорил о таком объяснении темных D -линий в солнечном спектре. Говорил как о чем-то совершенно простом и очевидном и поэтому, может быть, никогда не связывал свое имя или имя Стокса с этим объяснением.

Может быть, и в самом деле ни Стокс, ни Томсон не видели в этом явлении чего-либо нового. Ну хорошо, известны две D -линии, их открыл еще за сорок лет до того Фраунгофер. Совпадают они со светлыми линиями в пламени спиртовки. Принадлежат эти линии натрию? Это еще толком никому не известно. Но что этот самый натрий находится на Солнце — этого-то никто из них не написал и не сказал ни разу! А в сущности, это и было одним из последних шагов к открытию спектрального анализа!

А вот что по этому поводу думал сам Стокс, на теоретическое объяснение которого ссылался Томсон. В письме, адресованном уже упоминавше-

муся Роско, Стокс на вопрос Роско о его отношении к спору по поводу первенства в открытии спектрального анализа отвечал так:

«Дорогой Роско!

Когда я думаю о моем участии в истории солнечной химии, то я должен сказать, что это участие равно нулю, так как я никогда ничего не опубликовал по этому предмету. Если же привлекать к истории того или иного открытия обсуждения, которые человек вел со своими друзьями, то тогда нельзя было бы никакое открытие связывать с именем одного человека.

Я попытаюсь, однако, восстановить в памяти, что именно Томсон и я обсуждали о спектральных линиях. Я напомнил ему, что Миллер в Кембридже повторял наблюдения Фраунгофера относительно совпадения темных *D*-линий солнечного спектра со светлыми линиями некоторых искусственных пламен, например пламени спиртовой горелки с фитилем, пропитанным солью. Миллер получил настолько большой спектр, что обе *D*-линии были широко расставлены и между ними помещалось еще шесть промежуточных линий; его наблюдения были сделаны с величайшей точностью, и все-таки совпадение оказалось безукоризненным. Томсон держался мнения, что такое совпадение не могло быть случайным, и спрашивал меня, что я по этому поводу думаю. Я иллюстрировал свое мнение сравнением из механики с колеблющейся струной, которое я недавно опубликовал в связи с опытами Фуко. Так как я знал, что светлая *D*-линия характерна для соды и уже ничтожного количества этого соединения достаточно для того, чтобы возбудить эту линию, — я связал появление этой линии с содой. Я сделал поэтому допущение, что в солнечной атмосфере должен содержаться натрий».

Сделал допущение? Но почему тогда он не опубликовал этой мысли?

Немецкий физик Цельнер, когда ему стало известно о выступлении Томсона, в котором тот отстаивал первенство Стокса в открытии спектрального анализа, иронически ответил ему: «Итак, единственное преимущество, которое, по мнению сэра В. Томсона, имеет Кирхгоф перед Стоксом, состоит собственно в *темпераменте и характере*. Если бы не эта непреодолимая флегматичность, которая помешала г-ну Стоксу посвятить несколько минут простому опыту для проверки его «великого обобщения», то он бы и стал творцом спектрального анализа! ...Стокс сделал открытие меньшей важности, однако нашел досуг и охоту разработать его самым исчерпывающим образом — работы его по флуоресценции занимают не одну сотню страниц!»

(Здесь уместно отметить, что явление флуоресценции — вторичного свечения тел под действием их освещения — имеет важное физическое значение и впоследствии широко использовалось для спектрального анализа и, в частности, для изучения закономерностей возникновения самих спектров. Но Цельнер, конечно, прав в том, что это явление представляет собой, так сказать, частный случай возникновения свечения, спектра.)

Стоило бы назвать еще одного предшественника Кирхгофа, оставившего свое имя в истории открытия спектрального анализа. Это — шведский ученый Ангстрем, проводивший свои исследования в начале пятидесятых годов прошлого столетия. Докладывая в 1855 году в Шведской Академии наук о своих работах, в которых он сравнивал спектр электрической искры между электродами, изготовленными из различных металлов, со спектром Солнца, Ангстрем пришел к такому знаменательному заключению: «Аналогия между обоими спектрами, за исключением некоторых деталей, может считаться более или менее полной. В целом эти спектры производят такое впечатление, словно один спектр является как бы обращением дру-

гого. Я убежден поэтому, что объяснение темных линий солнечного спектра в то же время содержит в себе и объяснение светлых линий в электрическом спектре...»

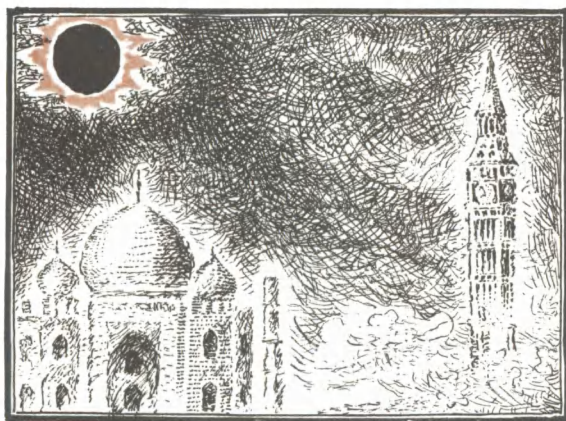
Так и хочется воскликнуть: «Горячо, горячо!» Но Ангстрем уходит в сторону от цели: «...Это объяснение, впрочем, следует искать либо в интерференции света, либо в способности воздуха воспринимать только определенные колебания».

Опять «холодно»!

Да, открытие спектрального анализа явно носилось в воздухе. То вместо соды появился наконец натрий. То даже этот натрий мельком «поместили» на Солнце. То мелькнула связь светлого земного с темным солнечным линейчатым спектром. То обращение линий спектра поставили в связь с резонансным поглощением света.

Но только Кирхгофу пришло в голову связать все эти разрозненные блестящие догадки единой и нерасторжимой логической цепью действительно блестящего открытия. Он и стал и навсегда останется единственным подлинным автором открытия спектрального анализа.

История не забыла и Ангстрема, который первым получил полосу солнечного спектра в несколько метров длиной и тщательнейшим образом исследовал связь темных линий в ней со светлыми линиями спектров металлических электродов вольтовой дуги. В его честь единица длины световых волн — она равна стомиллионной доле сантиметра — была названа ангстремом. И вплоть до сегодняшнего дня спектроскописты пользуются для обозначения длин волн в спектрах этой единицей.



СПЕКТРОСКОП НАЦЕЛИВАЕТСЯ В НЕБО

Через два года после опубликования первых своих работ по спектральному анализу Кирхгоф завершил главный труд по исследованию спектров.

В этой работе Кирхгоф тщательно изучил огромное количество (несколько тысяч!) фраунгоферовых линий в спектре Солнца. Чтобы как можно более растянуть полосу солнечного спектра, он использовал уже не одну, а четыре призмы и смог получить радужную полосу длиной почти в три метра. Надо было разобраться, какие фраунгоферовы линии принадлежат каким химическим элементам. Для этого Кирхгоф сопоставил темные и светлые спектральные линии.

Поле зрения в спектроскопе было разделено на две части — верхнюю и нижнюю. На верхнее поле проектировался солнечный спектр, на ниж-

нюю — спектр от вольтовой дуги, которая зажигалась между электродами из различных металлов. Кирхгоф использовал почти все доступные в то время чистые металлы — серебро, алюминий, золото, медь, железо и другие, общим числом двадцать два химических элемента. В окуляре спектроскопа рядом, одна над другой, были видны две полосы — яркая радужная полоса солнечного спектра, пересеченная темными фраунгоферовыми линиями, и полоса от вольтовой дуги, пересеченная узкими разноцветными линиями спектра химического элемента.

Оставалось установить, какие темные линии совпадают по своим положениям в спектре со светлыми линиями. Совпадение и означало, что данные темные линии в спектре Солнца принадлежат тому химическому элементу, из которого сделаны электроды вольтовой дуги. Такой прием анализа получил название отождествления спектральных линий.

Изучаемое вещество вносят в дугу, где возбуждается его спектр. Этот спектр снимают на фотографическую пластинку — получается так называемая спектрограмма. Чтобы определить, каким химическим элементам соответствуют линии в снятом спектре, пользуются *атласами спектральных линий*. Как в географическом атласе собраны «по кусочкам» картины расположения морей, рек, городов на поверхности земного шара, так и в спектральном атласе собраны «кусочки» картин расположения спектральных линий различных химических элементов в примыкающих друг к другу участках всего видимого интервала длин волн света.

Чтобы построить спектральные атласы, надо было измерить положения спектральных линий всех известных химических элементов, то есть определить длины волн этих линий. Такая работа, естественно, потребовала многих лет труда десятков ученых-спектроскопистов: надо было точно измерить сотни и тысячи спектральных линий почти сотни различных химических элементов.

Теперь, чтобы опознать какой-либо элемент в неизвестном веществе, берут спектрограмму этого вещества и под нею кладут ту или иную картинку из спектрального атласа. А затем смотрят, какие линии совпадают на спектрограмме и в атласе. (При этом, конечно, надо сначала убедиться, что спектрограмма и картинка из атласа не сдвинуты друг относительно друга, «привязаны» к одним и тем же делениям на шкале длин волн.)

Одной линии для отождествления элемента при этом, как правило, недостаточно. Линии различных элементов располагаются в видимом спектре порой настолько густо, что достаточно чуть-чуть неточно установить их положение в спектре неизвестного вещества — и при этом попасть на совершенно другой элемент. Исследователи страхуют себя, беря несколько линий, обычно наиболее ярких: теперь уже случайного совпадения быть не может. В том и состоит характеристность, неповторимость спектра каждого из элементов.

Такой анализ химического состава по спектрам позволяет делать только *качественные* выводы. С его помощью можно ответить на вопрос, присутствует ли данный химический элемент в изучаемом веществе. (Конечно, при условии, что чувствительность спектральной аппаратуры достаточна, чтобы вообще обнаружить этот элемент. При очень малых концентрациях элемента может получиться и так, что он никак не проявит себя в спектре.) Но в каком количестве присутствует обнаруженный элемент, сказать еще нельзя. Чтобы произвести *количественный* анализ, определить содержание химического элемента в веществе, в которое он входит, надо измерить вторую важнейшую характеристику спектра — *яркость* его спектральных линий.

Спектрометры вместо спектроскопов и потребовались для того, чтобы такие измерения можно было проводить. Определять яркость спектральных линий на глаз — способ, конечно, очень ненадежный. Глаз может определить, какая из двух соседних линий ярче, а какая слабее, но уже насколько ярче, он не увидит. А если две линии находятся в разных участках видимого спектра, — например, одна красная, а другая синяя? Глаз, как мы вскоре выясним, обладает совершенно различной чувствительностью к разным цветам спектра, и даже очень яркая синяя линия может показаться ему темнее, чем довольно тусклая зеленая линия.

Наконец, о том, какая из двух темных линий поглощения темнее и насколько, глаз вовсе ничего не сможет сказать. Значит, нужны уже не субъективные оценки, а объективные измерения яркости или, напротив, черноты линий с помощью приборов.

Но это — только полдела. Яркость спектральных линий зависит, к сожалению, не только от концентрации химического элемента в веществе, но и от множества других обстоятельств. Полностью учесть эти обстоятельства очень трудно. Вот почему количественный спектральный анализ намного сложнее качественного.

Кирхгоф осуществил качественный анализ состава солнечной атмосферы по фраунгоферовым линиям. Этот анализ показал, что в атмосфере Солнца присутствуют железо, натрий, калий, золото и другие химические элементы.

Люди подчас склонны пренебрежительно относиться к новому. Один практический приятель Кирхгофа как-то заметил ему: «Ну и что толку от вашего солнечного золота? Ведь его все равно не доставить на Землю!» Прошло несколько лет, и Кирхгоф получил золотую медаль за свои замечательные исследования солнечного спектра. Показывая эту медаль своему приятелю, Кирхгоф, улыбаясь, сказал: «Как видите, солнечный спектр все-таки дал мне немного золота!»

Практикам еще предстояло убедиться в колоссальной мощи спектрального анализа, без которого сегодня не обходится, пожалуй, ни одна отрасль химии, геологии, металлургии и других важнейших областей промышленности. Зато в научном мире открытие Кирхгофа вызвало сенсацию.

Еще бы! Лишь за несколько лет до этого открытия французский философ Огюст Конт, проповедник «положительного», то есть по существу лишь практически достоверного знания, ограниченного прямыми наблюдениями, заявлял, что люди могут сколько угодно наблюдать движения звезд, но из какого вещества состоят звезды и движутся ли они к нам или от нас, — об этом людям не дано узнать никогда. Какой быстрый крах потерпело это пророчество!

Спектроскоп с самого своего появления был нацелен на небо. Но теперь сквозь окуляр его зрительной трубы исследователи смогли увидеть и то, из чего состоят звезды, и то, как они движутся — к нам или от нас.

В августе 1868 года должно было произойти очередное солнечное затмение. Оно ожидалось полным в Индии, и Парижская Академия наук направила туда астрономическую экспедицию во главе с астрономом Жансеном. Впервые в арсенале инструментов астрономической экспедиции находился и спектроскоп.

Жансен не собирался изучать фраунгоферовы линии: при полном солнечном затмении они и не были бы видны. Он намеревался исследовать собственное излучение атмосферы Солнца — той самой короны, которая предстает в виде светящегося облака неправильной формы по краям солнечного диска, закрытого Луной. Если Кирхгоф прав, — а в этом астроно-

мы уже не сомневались, — то в момент затмения должно произойти обращение темных фраунгоферовых линий. В спектре светящейся короны на их месте должны вспыхнуть светлые линии элементов солнечной атмосферы.

Во время затмения по краю солнечного диска видны и гигантские выбросы солнечного вещества — протуберанцы, которые могут по нескольку часов висеть над поверхностью Солнца. Жансен спроектировал свет от такого протуберанца на щель спектроскопа и увидел три очень ярких линии. Он, конечно, сразу заключил, что протуберанец представляет собой массу раскаленного газа. Но этим Жансен не ограничился.

Если установить в спектроскопе одну за другой несколько призм, то они растянут сплошной солнечный спектр до такой степени, что яркость его в каждом участке спектра сильно снизится. Это понятно: если, скажем, лампочку поместить за матовое стекло, то каждый участок стекла размером с нить лампочки будет светиться менее ярко, чем сама нить. Но вот отдельные линии спектра настолько узки, что почти совершенно при этом не растянутся. А значит, если на сплошной спектр накладываются линии испускания, то на ослабленном его фоне они покажутся намного ярче, и их тогда легко обнаружить.

Такой прием и применил Жансен на следующий день после солнечного затмения. Протуберанец, который он выбрал для наблюдения, еще не исчез, и Жансен, не меняя положения спектроскопа, смог обнаружить в поле зрения спектроскопа те же три линии, что и накануне, но теперь уже на фоне сплошного спектра Солнца. Перемещая щель спектрометра вдоль изображения протуберанца и наблюдая за яркостью этих линий, он смог определить даже форму протуберанца: там, где линии исчезали в поле зрения, очевидно, проходила граница протуберанца.

Но самым неожиданным было не это. Жансен попытался отождествить три светлые линии. Две из них оказались линиями, которые наблюдал еще Фраунгофер и обозначил их буквами С и F. Третья линия находилась в желтой части спектра.

Натрий? Нет, эта линия была несколько в стороне от знаменитых D-линий и к тому же не была двойной. Жансен внимательно просмотрел все известные в то время желтые линии. Солнечная линия не совпадала ни с одной из них. Значит, она принадлежала элементу, не известному на Земле. Жансен в поисках наименования новому элементу решил назвать его просто «солнечным». «Солнце» по-гречески — «гелиос». Поэтому новый открытый на Солнце элемент был назван гелием.

В то же время, когда французская экспедиция наблюдала солнечное затмение в Индии, английский физик Локьер пытался определить спектр излучения протуберанцев вне всякого солнечного затмения. Он решил поступить уже известным нам способом — ослабить яркость сплошного солнечного спектра до такой степени, чтобы на его фоне стали видны линии излучения протуберанцев. Несколько лет Локьер пытался провести такое наблюдение. Но все призмы, которыми он пользовался, обладали недостаточной дисперсией, чтобы ослабить сплошной спектр до нужной степени. Наконец, в середине октября 1868 года он получил в свое распоряжение хорошую призму и уже спустя несколько дней смог увидеть отчетливый спектр протуберанцев.

О том, что Жансену удалось наблюдать линии излучения протуберанцев во время солнечного затмения, Локьер уже знал. Но он не знал, что Жансену удалось осуществить и то, что несколько лет пытался сделать сам Локьер, — значительно более трудное наблюдение линий про-

туберанцев на ярком фоне сплошного солнечного спектра. Письмо Жансена, в котором он сообщал об этом последнем наблюдении, шло из далекой Индии очень долго. Оно было послано 19 августа и пришло в Парижскую Академию наук только 24 октября. Письмо Локьера, посланное из Лондона в Париж 20 октября, пришло по тому же адресу тоже 24 октября, лишь несколькими часами раньше!

История науки и техники знает немало случаев, когда заявки на одни и те же изобретения и сообщения об одинаковых крупных открытиях поступали в патентные бюро, в академии и редакции научных журналов в течение нескольких дней и даже нескольких часов одно вслед за другим. Но изобретение признается только за тем, чья заявка поступила первой. Как бывает обидно, если судьбу первенства решает какой-нибудь почтовый чиновник! Но это обидно второму изобретателю, а не человечеству, которое колоссально выигрывает от каждого крупного открытия или изобретения. Оно не всегда поступает справедливо по отношению к первооткрывателям. Одного из них, счастливого волею случая, ждут слава, признание, порой и богатство, а менее удачливому его сопернику нередко достается лишь забвение.

Ученые, по крайней мере в моральном отношении, поступают с первооткрывателями, как правило, справедливее. Многие открытия и законы названы именами нескольких ученых, которые независимо друг от друга сделали открытия в один и тот же год, а то и с разницей в несколько лет.

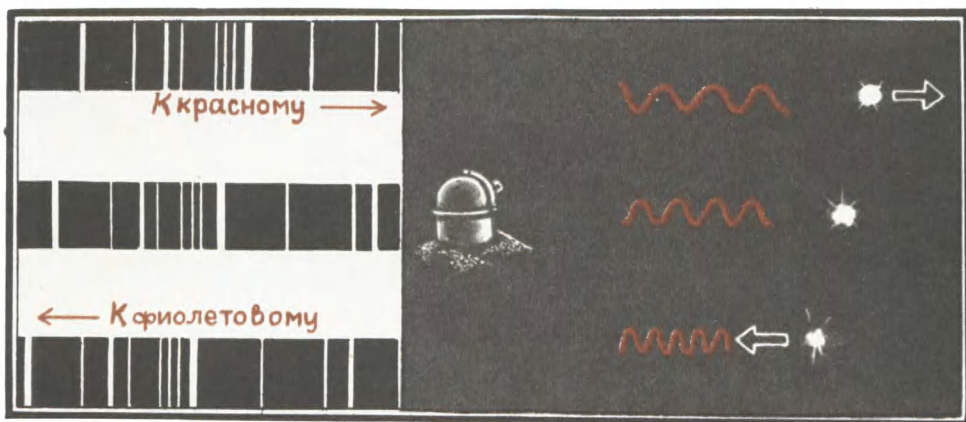
Парижская Академия наук в нашей истории тоже поступила по справедливости. Она воздала должное в равной мере и Жансену и Локьеру. Огромная важность их открытия, замечательное совпадение наблюдений обоих ученых были быстро и по достоинству оценены французскими учеными. В ознаменование этого события Парижская Академия наук распорядилась выбить специальную медаль с изображениями Локьера и Жансена.

А затем спектральные исследования звезд стали проводиться в широких масштабах. Десятки астрономов заказывали спектроскопы и приставляли их к своим телескопам. В считанные годы астроспектроскопы стали такой же обычной принадлежностью астрономических обсерваторий, как и сами телескопы.

И открытия посыпались, как из рога изобилия. Их поток не иссякает и по сей день, спустя сто лет после первых работ по спектральному анализу звезд. Из этих наблюдений родилась совершенно новая наука — астроспектроскопия. А полученные ею результаты определили очень многое из того, что мы знаем сегодня о бескрайней Вселенной, о физических условиях, существующих в звездах, в огромных скоплениях звезд — галактиках, в облаках материи, заполняющей космическое пространство между звездами и галактиками.

Пророчество Огюста Конта не сбылось и в другом отношении. Астрономы смогли не только определить химический состав звезд, но и то, как они движутся в пространстве — к нам или от нас. Судьба этого открытия началась за четверть века до описываемых событий, когда австрийский физик Христиан Доплер установил замечательный факт: длина волны, испускаемой любым источником волн и воспринимаемой наблюдателем этих волн, не постоянна, а зависит от скорости взаимного движения источника и наблюдателя — сближения или удаления.

Когда источник волн и их наблюдатель приближаются друг к другу, наблюдатель замечает, что волны приходят к нему чаще, их частота возрастает. Длина волны как бы становится меньше по сравнению с той, ког-



да источник и наблюдатель неподвижны друг относительно друга. Когда источник волн и наблюдатель удаляются друг от друга, волны приходят к наблюдателю реже, они словно растягиваются, их частота уменьшается.

Закономерность, установленная Доплером, оказалась одной и той же для всех видов волн — в том числе звуковых и световых волн. На звуковых волнах это явление вы могли наблюдать много раз. Локомотив, приближаясь к станции, дает долгий предупреждающий гудок. Тон гудка сначала повышается, а затем быстро понижается, когда поезд пронесется мимо вас. Басовитее становится гудение удаляющегося от вас самолета. А более низкий тон — это меньшая частота звука, большая длина его волны.

Для световых волн это означает, что все длины волн спектральных линий, испускаемых источником света, при движении его к наблюдателю должны уменьшаться. Положения этих линий должны сдвигаться к фиолетовому краю видимого спектра. И наоборот, когда источник света удаляется от нас, его спектральные линии должны смещаться к красному краю видимого спектра.

Сколько же велико может быть доплеровское смещение положений спектральных линий? Оно выражается очень простым отношением. Смещение длины волны линии относится к длине волны несмещенной линии (когда источник и приемник волн взаимно неподвижны), как скорость взаимного сближения или удаления источника и наблюдателя относится к скорости света.

Скорость света огромна: она составляет 300 тысяч километров в секунду. Но и звездные скорости не малы, они относительно Земли составляют по меньшей мере несколько километров в секунду. Это означает, что смещение спектральных линий может составлять стотысячные доли их длины волны. Но даже такое небольшое смещение спектральных линий можно зарегистрировать. При той дисперсии, которой обладали спектроскопы уже век назад, удавалось легко обнаруживать сдвиг спектральных линий. Этот сдвиг был отчетливо виден при сравнении с частоколом фраунгоферовых линий от Солнца (расстояние между Землей и Солнцем почти неизменно) или же при сравнении с линиями, которые давали элементы в вольтовой дуге.

А впоследствии, когда чувствительность телескопов и спектральных аппаратов возросла настолько, что они смогли улавливать и анализировать спектры очень слабого излучения от далеких галактик, выяснилось, что эти галактики удаляются от нас со скоростями в десятки тысяч и даже сот-

ни тысяч километров в секунду! Красное доплеровское смещение линий в спектрах таких галактик оказалось настолько большим, что, например, в красную часть спектра смогли попадать даже те линии, которые для неподвижных земных источников находились в фиолетовой части спектра. Если не была бы накоплена большая информация о взаимных положениях линий в спектре каждого элемента, то очень трудно было бы отождествить линии, сидящие совсем не на своих местах, и сделать заключение об огромных скоростях разбегания галактик.

Американский физик Роберт Вуд с веселой улыбкой рассказывал, как он избежал справедливого наказания за проезд на автомобиле на красный свет светофора. К нему грозно приблизился полисмен и потребовал ответа за нарушение самого важного правила дорожного движения. Вуд заявил ему, что поскольку он (наблюдатель) приближался к светофору (источнику света) с довольно приличной скоростью, то в результате доплеровского смещения он увидел зеленый свет вместо красного! Хорошо, что полисмен не знал физики: чтобы увидеть зеленый свет вместо красного, Вуд должен был бы ехать со скоростью, по крайней мере, сто тысяч километров в секунду!

Конечно, в этой шутке, как и в любой шутке, есть доля правды. Полностью эта правда раскрылась перед астрономами, вооруженными спектральными приборами. Стало возможным измерять не только скорости звезд, но и скорости движений раскаленных масс газа в звездах — солнечных пятен, протуберанцев, температуру поверхностных слоев звезд и даже расстояния до звезд. В полной мере возможности спектроскопических наблюдений звезд раскрыл русский астроном А. А. Белопольский в конце прошлого века. Ему астрономия обязана широким внедрением метода изучения доплеровского сдвига спектральных линий в спектроскопию звезд.

20 Ca КАЛЬЦИЙ 40,08	?	21 Ti ТИТАН
Zn 30 ЦИНК 65,38	31 ?	32 ?
38 Sr СТРОНЦИЙ 87,63	Y ИТТРИЙ 88,92	39 Zr ЦИРКОНИЙ 91,22

СПЕКТРОСКОП СМОТРИТ НА ЗЕМЛЮ

Что делается в лаборатории Кирхгофа на следующий день после великого открытия? Визиты восхищенных коллег, поздравительные телеграммы? Нет, лучи славы еще не проникли в помещение, затемненное для удобства наблюдения спектров. Все это будет потом. А пока продолжается повседневная работа. Пока только Кирхгоф и Бунзен знают, какой инструмент они получили в свои руки. Причем не только для обнаружения неизвестных элементов на Солнце, но и для открытия новых элементов на Земле.

До той поры открытие каждого нового элемента требовало чрезвычайно сложного химического анализа, изучения различных химических реакций его с другими элементами и соединениями, определения продуктов этих реакций — твердых, жидких, газообразных. Теперь достаточно было одного лишь взгляда через спектроскоп на пламя газовой горелки или спиртовки, в которое вносилось анализируемое вещество.

Но за этим одним взглядом скрывалась большая подготовительная работа. Берется, например, минеральная вода (в Южной Германии, богатой горами, источников такой воды очень много). В минеральной воде растворены различные соли и многие из них — в очень небольших концентрациях. Для получения сколько-нибудь достаточного для анализа количества соли, содержащей новый элемент, нужно выпарить очень много воды. Если бы это была соль известного элемента, то его давно уже до Кирхгофа и Бунзена открыли бы химическим путем!

Наши исследователи обращаются к минеральной воде из источника в Дюрхгейме. С огромным терпением они выпаривают более 40 тысяч литров этой воды. Осадок, оставшийся после выпаривания, вводится в пламя горелки. Пламя рассматривается через спектроскоп, спектр его сверяется с зарисовками спектров известных элементов. И вот в спектре проступают какие-то новые, ранее не виданные линии.

Их испускает раскаленная хлористая соль некоего нового элемента, полученная в количестве семи граммов. Семь граммов — и сорок тысяч килограммов выпаренной воды! Как тут не вспомнить слова Маяковского: «Поэзия — та же добыча радия: в грамм добыча — в год труды!»

Но и за полвека до открытия радия таким же огромным трудом добывали крохи новых элементов для их спектрального определения. А вот сам анализ — только уже не химический, а физический, по спектрам — действительно стал намного проще и быстрее.

Новый элемент Кирхгоф и Бунзен называют цезием. Первые же химические исследования показывают, что его свойства сходны с химическими свойствами известных и широко распространенных элементов, которые в больших количествах присутствуют в минеральной воде, — натрия и калия. Проходит какой-нибудь месяц, и наши исследователи в той же смеси солей открывают еще один новый химический элемент — рубидий. Его химические свойства очень сходны со свойствами цезия.

Начало положено. В 1861 году английский ученый Крукс, рассматривая через спектроскоп присланную ему из Германии селеновую руду, обнаружил в ее спектре, наряду с линиями элемента селена, линию великолепного изумрудного цвета. Если открытие новых элементов — истинная поэзия науки, то Крукс, несомненно, был поэтом: он присвоил открытому им элементу имя галлий, произведя это название от греческого слова «талос», что означает нежно-зеленую окраску молодой растительности.

В эстафету открытия новых химических элементов включались все новые ученые. В 1863 году два немецких химика Райх и Рихтер, работавшие в знаменитом Фрейбургском горном институте, исследовали распространенный минерал — цинковую обманку. Неожиданно они обнаружили в его спектре две голубые спектральные линии, которые не могли принадлежать ни цинку, ни сере, входившим в состав минерала. Так был открыт еще один элемент, названный индием.

История науки богата удивительными совпадениями. В начале шестидесятых годов прошлого века, когда спектральный анализ делал первые шаги, в Гейдельбергский университет на стажировку к Бунзену был послан молодой русский химик Дмитрий Иванович Менделеев. В эти годы он

начал задумываться над тем, существует ли какой-нибудь порядок в свойствах известных химических элементов? Подчиняются ли эти свойства какой-либо общей закономерности, которая позволила бы свести эти элементы в единую систему? С тем чтобы на основе такой системы открывать новые элементы, заранее предсказывая их свойства.

Попытки найти такой порядок, такую систему делались еще до Менделеева, но они не привели к успеху. Менделееву посчастливилось уловить главное — периодичность свойств химических элементов в зависимости от массы их атомов. И, основываясь на обнаруженной им закономерности, он смог не только свести в стройную периодическую таблицу известные уже элементы, но и с ее помощью предсказать, какие свойства должны иметь еще не открытые элементы, которым предстояло заполнить пустующие клеточки периодической таблицы. Открытие этих элементов становилось делом времени.

Менделееву у Бунзена не повезло. Он хотел вести экспериментальную работу, но вскоре убедился, что делать ему там нечего: «Ничего-то мне там необходимого нет в этой лаборатории, даже весы и те куда как плоховаты». Ах, если бы он только мог догадываться, что в том же 1859 году, когда он написал эти слова на родину, вот-вот родится спектральный анализ! Тот самый метод, который станет самым могучим средством открытия новых элементов, и что каждое такое открытие будет выливаться в новый триумф Периодической системы элементов.

Свою таблицу химических элементов Менделеев опубликовал в феврале 1869 года, после многолетних поисков. А в 1870 году вышла в свет его статья, носящая многозначительное название: «Естественная система элементов и применение ее к указанию свойств некоторых элементов». В этой статье Менделеев чрезвычайно конкретно указал некоторые свойства еще не открытых элементов. Вот что, например, он писал об элементах, которые, по его мнению, должны были занимать клеточки периодической таблицы под номерами 21 и 31.

«Элемент (№ 21) предлагаю предварительно назвать экабором, произведя это название от того, что он следует за бором, как первый элемент четных групп, а слог «эка» производится от санскритского слова, обозначающего «один». Атомный вес = 45. Экабор в отдельности должен представлять собой металл, имеющий объем атома 15; при этом удельный вес этого металла должен быть близок к 3,0.

Элемент (№ 31) мы назовем экаалюминием, атомный вес = 68, потому что он следует тотчас за алюминием в третьей группе... Объем его атома, судя по соображениям того же рода, какие приложены при определении свойства экабора, должен быть близок к 11,5, то есть удельный вес его в металлическом состоянии будет близок к 6,0. Свойства этого металла во всех отношениях должны представлять переход от свойств алюминия к свойствам индия, и очень вероятно, что этот металл будет обладать большей летучестью, чем алюминий, а потому можно надеяться, что он будет открыт спектральным исследованием...»

Эти поразительно подробные предсказания вскоре подтвердились. В 1875 году французский химик Лекок де Буабодран с помощью спектрального анализа, как того и ожидал Менделеев, открыл 31-й элемент, который он назвал галлием. Менделеев, получив сообщение об этом открытии, заявил в Парижскую Академию наук, что «способ открытия и выделения, а также немногие описанные свойства заставляют предполагать, что новый элемент не что иное, как экаалюминий».

Химики с величайшим интересом ждали результатов дальнейшего ис-

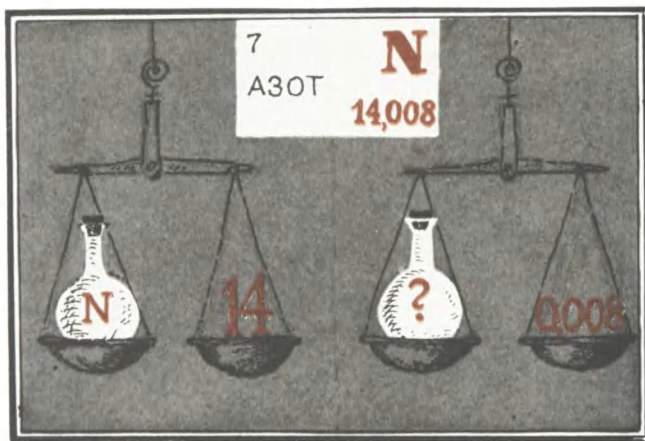
следования свойств нового элемента. Лекок де Буабодран сначала получил удельный вес галлия $4,7 \text{ г/см}^3$, но затем, после тщательной очистки, этот вес повысился до $5,96 \text{ г/см}^3$. Атомный вес галлия оказался равным 69,9, атомный объем 11,7. Эти цифры были столь поразительно близки к предсказанным Менделеевым, что Лекок де Буабодран сказал: «Я думаю, нет необходимости настаивать на огромном значении подтверждения теоретических выводов г. Менделеева».

Проходит четыре года — и новый триумф. В 1879 году шведский химик Нильсен открывает 21-й элемент, которому присваивает название скандия. И вновь свойства нового элемента оказываются в столь прекрасном согласии с предсказаниями Менделеева, что Нильсен пишет: «Не остается никакого сомнения, что в скандии открыт экабор... Так самым наглядным образом подтверждаются мысли русского химика, позволившие не только предвидеть существование названного простого вещества, но и наперед дать его важнейшие свойства».

Еще спустя семь лет профессор Фрейбургского горного института Винклер обнаруживает в малоизвестном минерале аргиродите третий элемент из предсказанных за 15 лет до того Менделеевым — 32-й. Менделеев предварительно называл его экасилицием (следующим за кремнием, или, как мы сегодня сказали бы, «под кремнием» в периодической таблице). Винклер присваивает ему название германия и в течение двух лет тщательно исследует его свойства. И снова поразительно близкое совпадение с предсказаниями Менделеева.

Но, пожалуй, самым великим триумфом, который спектроскопия принесла Периодической системе Менделеева, стало открытие в последние годы девятнадцатого века инертных элементов замечательным английским химиком Вильямом Рамзаем.

ПЕРВЫМ БЫЛ АРГОН...



В прошлом столетии жил в Германии математик Юлиус Плюккер. Он писал хорошие работы по геометрии, однако они встречали прохладное отношение со стороны его ученых коллег. Действительное их значение было оценено лишь много лет спустя. Возможно, по этой причине Плюккер решил прекратить занятия геометрией и обратился к физике. Его увлек электрический разряд в газах.

То, что газ при определенных условиях проводит электричество, было

известно уже давно. Еще за полвека до Плюккера русский физик Василий Петров проводил опыты с вольтовой дугой. Она возникала, когда на угольные или металлические электроды подавалось электрическое напряжение. Газ в промежутке между электродами разогревался до высокой температуры и начинал ярко светиться.

В сороковых годах, после того как Майкл Фарадей открыл электромагнитную индукцию, физики научились преобразовывать низкое напряжение в высокое. Одним из первых, кто решил выяснить, как происходит электрический разряд в газах при высоком напряжении, был Плюккер.

Он придумал специальные стеклянные трубки, в которые вставлялись металлические электроды и куда можно было под разными давлениями впускать исследуемые газы. У Плюккера работал лаборантом искусный стеклодув Генрих Гейслер. Он очень хорошо изготовлял такие трубки, и вскоре их стали называть гейслеровыми трубками.

Плюккер вскоре установил, что при понижении давления газа в трубках газ начинал светиться, сначала все ярче, а затем, при дальнейшем разрежении, все слабее, пока свечение не затухало вовсе. И что интересно, каждый газ светился своим характерным светом. Именно это открытие Плюккера было много лет спустя использовано для разноцветной световой рекламы.

По характерному цвету свечения газа в трубке можно было определять его состав. Этот вывод сделал сам Плюккер еще за год до открытия Кирхгофа и Бунзена, но, подобно другим их предшественникам, не дошел до мысли о спектральном анализе.

Гейслеровы трубки после открытия спектрального анализа быстро сделались повседневным орудием спектроскопистов. Вольтова дуга давала спектр газа, заполняющего пространство между электродами, но этот спектр был усложнен фоном сплошного излучения самой дуги и линиями материала ее электродов. Спектр в гейслеровых трубках был, напротив, «чистым»: газ при электрическом разряде в них не нагревался, оставался холодными и не испарялись электроды.

Почему светится холодный газ, оставалось в те годы совершенно непонятным. Но до поры до времени это не очень беспокоило физиков. Они знали, что в природе светятся не только раскаленные вещества, существует и холодное свечение — светлячков, гниющего дерева, некоторых морских организмов. (Иногда можно по ночам наблюдать поразительно красивое «светящееся море», словно переливающееся серебром.) Да и свечение минералов, предварительно облученных светом Солнца, тоже было холодным.

Свечение газа в гейслеровых трубках Рамзай и избрал орудием своего исследования. Поводом для исследования была установленная химиками в течение девятнадцатого века интересная особенность: атомные веса элементов не выражались целыми числами.

В 1816 году английский врач и химик Вильям Прут выдвинул гипотезу, согласно которой все химические элементы образовались при конденсации водорода — наиболее легкого из них. Но если эта гипотеза справедлива (а мы сегодня знаем, что в принципе в ней заключена большая доля истины), то из нее следовало, что атомы химических элементов «слеplены» из разных количеств водородных атомов. А значит, и веса этих атомов должны быть целыми кратными массе атома водорода.

Измерения атомных весов атомов показывали, однако, что это простое соотношение, как правило, не выполняется. Тому могли быть разные причины. Либо Прут неправ, и тогда надо искать объяснение нецелочи-

сленным атомным весам. Либо же эти нецелые числа объясняются ошибками измерения атомных весов. Либо же, наконец, в изученных элементах могли присутствовать новые, еще не открытые элементы, но в таких мизерных количествах, что они только незначительно отклоняли атомные веса от целых чисел.

Забегая вперед, скажем, что решение проблемы нецелых атомных весов было окончательно найдено только в начале нашего века. Оно оказалось связанным с открытием изотопов. Об этом в те годы, когда Рамзай начинал свои исследования, ученые, конечно, еще не догадывались.

Рамзай начал с газов, входящих в состав земной атмосферы. Эти газы — азот, кислород, водород, углекислый газ — были открыты еще в восемнадцатом веке. И с тех пор считалось, что они хорошо изучены и далее ими заниматься не стоит. Впрочем, были и неясности.

Английский ученый Кавендиш, который исследовал состав атмосферного воздуха, еще в 1785 году обратил внимание на один загадочный факт. Пропуская электрическую искру через смесь воздуха и кислорода в присутствии щелочи, поглощавшей продукты химической реакции, он обнаружил, что в сосуде после двух недель опыта все же оставался какой-то газ в количестве около 1 процента от первоначального объема воздуха.

Рамзай прочитал эту работу Кавендиша в начале восьмидесятых годов, сделал на полях ее пометку «разобраться повнимательнее» и поручил своему сотруднику повторить опыт Кавендиша. Наверное, опыт этот не получился, поскольку тогда дело на том и заглохло. Опыты вековой давности по определению плотности основных атмосферных газов, но с более высокой точностью решил повторить в 1889 году английский физик Рэлей. Спустя три года он опубликовал в журнале «Нейчур» («Природа») письмо, в котором обратил внимание на интригующую загадку. Плотность атмосферного азота и азота из смеси воздуха и аммиака после пропускания ее над раскаленной медной проволокой существенно различалась. Рэлей писал: «Я озадачен этими результатами и буду весьма признателен, если читатели предложат объяснение этого несоответствия. Разница составляет около $1/1000$ и сама по себе невелика, но выходит за пределы ошибок опыта».

Одним из «читателей» этого сообщения был Рамзай. Но то ли он не обратил должного внимания на сообщение, то ли был занят другими делами. Ведь вовсе не обязательно, чтобы ученые тут же спешили отвечать на недоуменные вопросы своих коллег. Научных проблем очень много, каждый ученый занят той проблемой, которую он считает самой важной. Так или иначе, нужно счастливое стечение обстоятельств, чтобы тут же встретились и тот, кто задал вопрос, и тот, кто готов немедленно искать ответ на него.

Разница всего лишь в $1/1000$ в плотностях азота не обещала на первый взгляд увлекательного исследования и крупного открытия. Рэлей и Рамзай встретились, чтобы обсудить этот вопрос, в апреле 1894 года. Обсуждение выявило разные точки зрения. Рамзай сначала считал, что в опытах Рэрея есть ошибки, потом убедился, что, во всяком случае, заметных ошибок нет. Тогда он решил, что причину надо искать в присутствии в атмосферном азоте некоей примеси более тяжелого газа. Рэлей же, напротив, полагал, что в азоте из аммиака содержится примесь более легкого газа. Это расхождение во мнениях не помешало, однако, им договориться о проведении совместной работы.

Рамзай приступил к исследованию в июле 1894 года. И уже спустя

четыре дня он писал своей жене, с которой делился всеми своими научными переживаниями: «Вполне вероятно, что в азоте содержится какой-либо инертный газ, который ускользнул от нашего внимания... Мы можем открыть новый элемент». В опыте новый газ выделялся сложным путем из азота, который пропускался над раскаленным магнием, поглощавшим азот. Наконец Рамзаю удалось собрать в колбу около 100 кубических сантиметров газа.

Колбу с величайшими предосторожностями направили Круксу, который на следующий день впустил газ в разрядную трубку и снял спектр его свечения. Спектр оказался непохожим на азотный. Новый газ в самом деле был так хорошо очищен от азота, что Крукс в спектре не обнаружил ни одной азотной линии! Опыт был закончен в начале августа 1894 года, а спустя неделю Рэлей и Рамзай сделали сообщение о его результатах на заседании Британской ассоциации содействия развитию науки.

Сообщение было встречено с большим удивлением: разве хорошо изученный воздух может содержать что-то новое? Физик Оливер Лодж даже пошутил: «А не открыли ли вы заодно и имя этого газа?» Журнал «Электрическое обозрение» организовал настоящую кампанию против «мифа нового газа» и предложил Рамзаю и Рэлею заново исследовать газ привычными и надежными методами химического анализа, а до тех пор не вводить ученых в заблуждение «только анализом спектра»!

Кампанию, однако, пришлось быстро свернуть. В течение нескольких месяцев Рамзай тщательно исследовал свойства нового газа. Он действительно оказался химически инертным, не вступающим в реакции. В связи с этим Рамзай предложил назвать его аргоном (в переводе с греческого «бездеятельный»). Первоначальное недоверие к открытию сменилось поздравлениями, и уже в конце ноября 1894 года Вильям Томсон в своем выступлении публично объявил о нем как о выдающемся научном событии года.

А затем настала очередь гелия. Мы помним, что его впервые обнаружили в спектре солнечных протуберанцев Жансен и Локьер. Примечательно, что Рамзай присутствовал на лекции Локьера в 1875 году, где тот рассказывал об этом замечательном событии. Но, конечно, оба они тогда и предполагать не могли, каким чудесным путем пересекутся их научные судьбы.

Гелий был солнечным элементом, и поэтому никому не приходило в голову искать его на Земле. Как это часто бывает, земной гелий попал в поле зрения ученых случайно.

В 1890 году американский исследователь Гиллебранд, изучая некоторые минералы, содержащие уран и торий, обнаружил, что при нагревании и обработке кислотами из них выделяется некий инертный газ. Азот ведет себя в химическом отношении довольно вяло, и Гиллебранд принял этот газ за азот. Потом он рассмотрел спектр этого газа и его охватили сомнения. В спектре действительно были видны линии, похожие на азотные, но вместе с ними присутствовали и какие-то неизвестные линии. Однако Гиллебранд на этом прекратил свои исследования. Коллеги из геологического института, где он работал, подтрунивали над его «новым газом», а он был слишком робок, чтобы отстаивать свое открытие.

Случаю было угодно, чтобы Гиллебранд встретился с Рамзаем вскоре после открытия аргона и рассказал ему о своих сомнениях и надеждах. Рамзай сразу заинтересовался этой историей и добыл тот самый минерал клевейт, который изучал Гиллебранд. В марте 1895 года он начал раз-

лагать минерал и сразу же в спектре выделяющегося из него газа обнаружил яркую желтую линию. Казалось бы, что может быть яснее! Но Рамзай засомневался: не натриевая ли это линия? Уж очень близко к натриевой желтой линии была она расположена. Позже Рамзай писал: «Я со стыдом должен сознаться, что я разобрал мой спектроскоп, так как предполагал скорее неправильное устройство его, чем присутствие нового газа». Лишь постепенно он пришел к убеждению, что у него в руках новый газ.

Рамзай не доверял себе до самого конца открытия. Собрав газ, он снова послал его на спектральный анализ Круксу. На следующий день от Крукса пришла телеграмма: «Криптон есть гелий, приходите и посмотрите».

С этим связано забавное недоразумение. Рамзай назвал новооткрытый газ сначала криптоном, что по-гречески означает «тайный, скрытый». Для этого были основания: подобно аргону этот газ в течение более чем ста лет исследований воздуха скрывался от химиков и физиков. Но не называть же двумя разными именами один и тот же газ, хотя он и был сначала обнаружен на Солнце, а лишь потом на Земле. И Рамзай со вздохом — но лишь до поры до времени! — отказался от своего названия.

Все открытие заняло полмесяца и вызвало подлинную научную сенсацию. Рамзай радовался как ребенок. Месяц спустя он еще переживал чисто эстетическое удовольствие от разглядывания гелия в спектроскоп. Земной гелий был «ближе» солнечного, светился ярче, он позволял получать намного более детальный спектр. В нем была уже не одна солнечная желтая линия, а целый набор разноцветных спектральных линий. Рамзай писал своему коллеге: «Я получил почти чистый гелий. Его спектр содержит все, что может быть красивым в спектрах. Вообразите себе литий, натрий, водород, таллий и цезий в одном и том же спектре, и вы получите наглядную картину спектра гелия».

После гелия пришел черед «настоящего» криптона. На этот раз Рамзай догадывался о возможном его существовании. Путеводной нитью ему служила Периодическая система элементов Д. И. Менделеева. Рамзай полагал, что инертные газы в этой таблице должны группироваться «тройками» наподобие того, как в ней группируются элементы восьмой группы — железо, кобальт, никель и более тяжелые рутений, родий, палладий. Еще до открытия аргона он писал Рэлею: «Не приходило ли вам в голову, что в периодической таблице имеется место для газообразных элементов?»

В августе 1897 года, выступая на заседании Британской ассоциации содействия развитию науки, Рамзай произнес речь под знаменательным названием «Неоткрытый газ». В этой речи он говорил: «Я позволю себе воспользоваться случаем впасть в опасную роскошь пророчеств... Предметом моего сегодняшнего сообщения является новый газ. Я опишу вам далее его интересные свойства, но было бы неблагоприятным скрыть сейчас от вас одно из самых замечательных его свойств — это то, что он еще не открыт. А так как он еще не родился, то он еще не окрещен никаким именем». Рамзай лукавил: для нового газа уже было припасено название, оставшееся свободным после открытия гелия. И, «впадая в опасную роскошь пророчеств», Рамзай ошибался лишь в одном. Он думал, что новый газ должен находиться в периодической таблице между гелием и аргоном, а газ оказался за аргоном. Между гелием и аргоном располагался еще один газ, но очередь до него еще не дошла.

Все эти три года, с 1895 по 1897 год, в лаборатории Рамзая шла

упорная работа. Новый газ искали везде — в минералах, в метеоритах, в природной воде, в газах из минеральных источников. А он все не показывался. В конце концов Рамзай решил вернуться к поискам его в воздухе.

К тому времени арсенал приборов для физических исследований пополнился еще одним мощным орудием — установками для получения глубокого холода. Холодильные машины, позволяющие получать температуры вплоть до — 200 градусов по Цельсию, появились еще в семидесятых годах. А в восьмидесятых годах удалось перевести в жидкое состояние два основных атмосферных газа — кислород и азот.

Теперь, используя разные температуры сжижения различных составных частей воздуха, можно было выделять их поодиночке. Этот способ был давно известен химикам, он называется фракционной перегонкой. Такой перегонкой сжиженного воздуха и занялись в лаборатории Рамзая. В конце концов удалось отобрать самую тяжелую фракцию воздуха, но Рамзай не торопился с ее очисткой и спектральным анализом. Он ведь искал новый газ «в другом месте» и ничего интересного от этой фракции не ожидал.

Очистку и анализ фракции провели только через неделю после ее получения. В этот день один сотрудник лаборатории шутливо спросил другого: «Ну что, получим сегодня новый газ?» — «Безусловно!» — в тон ему ответил тот. Спектральный анализ немедленно показал присутствие нового газа. В спектре его была видна яркая желтая линия, которая никак не могла принадлежать ни гелию — все-таки фракция была тяжелой, а гелий очень легкий газ, ни натрию — поскольку очистка газа была очень тщательной, натрия могли быть лишь совершенно ничтожные следы, а линия тем не менее была очень яркой. В спектре газа была еще ярко-зеленая линия, которая вместе с желтой никогда не встречалась в спектрах известных газов.

Лаборант немедленно отправился с известием в кабинет Рамзая, который в это время писал письмо жене. Рамзай торопливо закончил письмо словами: «Прерываю. Ура. Наконец открыт новый газ!»

Это произошло в мае 1898 года. Радость была какой-то смутной: искали легкий газ, а измерение плотности показало, что он тяжелее аргона! Недоумение длилось лишь неделю. В самом начале июля был открыт еще один газ, который при электрическом разряде светился ярко-красным светом, а при разглядывании в спектроскоп обнаружил множество красных спектральных линий.

В спектроскоп позволили заглянуть и маленькому сыну Рамзая. Он с неохотой оторвался от красивого зрелища и спросил: «Отец, а как называется этот красивый газ?» — «Это еще не решено», — ответил Рамзай. «Он что — новый?» — любопытствовал мальчик. «Новооткрытый», — возразил отец. «Почему бы в таком случае не назвать его «новум», отец?» — «Это не годится, потому что «новум» — не греческое слово, но мы назовем его неон, это и значит «новый» в переводе с греческого».

Неон и занял по праву то место между гелием и аргоном, которое первоначально предназначалось криптону. Но и на неоне история не закончилась. Фракционирование жидкого воздуха уже подарило два новых элемента, можно ждать дальнейших открытий. Каждый новый газ, если он был, должен был появляться, естественно, во все меньших количествах, его должны были быть лишь ничтожные следы.

52 Сотрудник Рамзая Траверс в середине июля, откачивая газ из колбы, что обычно делалось без удаления жидкого воздуха, додумался сначала

удалить воздух, а уж затем собрать то, что осталось в аппарате. Пока в колбе был воздух, любые примеси, нелетучие при этой температуре, могли быть лишь следами углекислого газа.

Рамзай ничего не ожидал от той «перемены слагаемых», которую придумал Траверс. Начали собирать газ и закончили сбор тяжелых фракций, вплоть до криптона, чуть ли не в полночь. В колбе остались только какие-то небольшие следы газа. Рамзай сказал: «Это — все. Остальное — только следы углекислого газа. Можно идти домой». Траверс заупрямился: «Подождем. Я хочу собрать и этот газ». Рамзай возразил: «Не стоит. Это только углекислый газ». Все-таки Траверс настоял на своем, и только после этого все разошлись. На следующее утро собранный газ поместили под спектроскоп. Спектр показал три ярко-красных и несколько голубых линий. Фракция была тяжелой, а спектр не походил на спектр криптона.

Рамзай сначала не очень поверил в то, что действительно удалось открыть еще один новый элемент. Он ждал, что атомный вес этого элемента окажется близок к аргону, а новый газ оказался тяжелее даже криптона. Но поверить пришлось: слишком неопровержимым доказательством был спектр нового элемента. Траверс хотел было дать газу название, которое отражало бы его удивительное голубое свечение, но Рамзай решил назвать «нежданный» газ ксеноном — в переводе с греческого это означает «незнакомец».

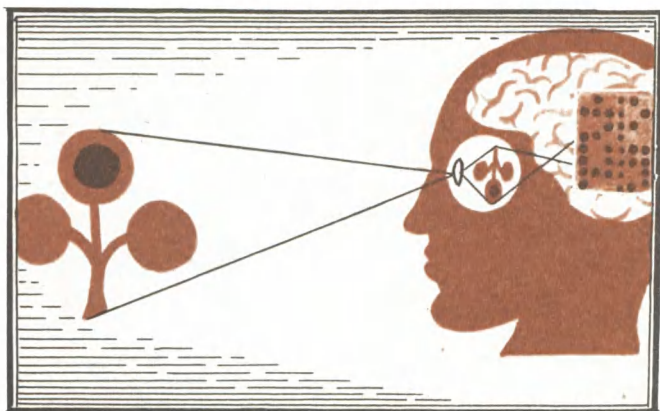
Вот и вся история открытия целых пяти элементов — инертных газов, — совершившаяся в течение каких-нибудь четырех лет! Последний, шестой элемент в этой нулевой группе периодической таблицы должен был вот-вот быть обнаружен: это был радиоактивный газ радон, выделявшийся из радия, только что открытого Пьером Кюри и Марией Склодовской, и газ этот тогда называли эманацией радия.

Рамзай тоже приложил руку к открытию радона. В 1903 году он с помощью газоразрядной трубки и спектроскопа доказал вместе с Фредериком Содди, что из эманации радия образуется гелий.

Мы не случайно уделили в нашем рассказе столько места открытию инертных газов. Это открытие стало подлинным триумфом спектрального анализа. Стало окончательно ясно, что спектральный анализ — обладающий поразительной мощностью и чувствительностью инструмент исследования химической природы вещества. И вместе с тем спектральный анализ сослужил огромную службу утверждению менделеевской Периодической системы элементов. Менделеев видел в Рамзае проводника своих идей и писал, что открытие инертных газов — одно из блистательнейших открытий девятнадцатого века. За свое открытие Рамзай был в 1904 году удостоен Нобелевской премии.

К этому можно добавить, что уже в нашем веке с помощью спектрального анализа было открыто много новых химических элементов. Без преувеличения, добрая половина всех клеточек периодической таблицы заполнена благодаря изучению спектров. Сегодня спектральный анализ стал повседневным и незаменимым помощником химиков. Нам еще предстоит возможность рассказать, как рука об руку работают физика и химия там, где необходимы анализы химического состава вещества.

А сейчас вернемся к тому, с чего вообще началось изучение спектров, — к вопросу о природе цвета.



Выйдем из затемненных лабораторий, в которых колдуют над своими спектральными аппаратами исследователи, на белый свет. Но все же будем время от времени возвращаться в эти лаборатории, чтобы количественно проверить те заключения, к которым приводят нас собственные глаза. Ибо глаза — инструмент познания хотя и совершенный, но все же не всемогущий.

Например, один лишь глаз без преломляющих «приставок», будь то стеклянная призма или поток капель дождя, никогда не рассказал бы нам о том, что белый свет имеет сложный состав, образован из всевозможных цветов. Теперь, когда мы знаем это, можно, говоря словами Сальери из драмы Пушкина, «поверить алгеброй гармонию». Причем в самом буквальном смысле: описать на строгом математическом языке физических законов многоцветную гармонию окружающего мира.

Для начала нам понадобится одно простое и вместе с тем важное понятие — *спектральная кривая*. Чтобы ее изобразить, возьмем лист бумаги и проведем на нем под прямым углом друг к другу две прямые — оси координат. На горизонтальной оси отложим деления от 3800 до 7700 ангстрем. В этом интервале длин волн сосредоточено все богатство цветов видимого глазом света. Нанесем для удобства дальнейшего разговора на этой оси еще несколько делений: 4390, 4590, 4920, 5320, 5710, 5960 и 6450 ангстрем. Эти цифры обозначают принятые условно границы тех цветных полос, которые видны в радуге. Между 3800 и 4390 ангстремами располагается фиолетовый цвет, между 4390 и 4590 — синий, между 4590 и 4920 — голубой, между 4920 и 5320 — голубовато-зеленый, между 5320 и 5710 — зеленый, между 5710 и 5960 — желтый, между 5960 и 6450 — оранжевый и, наконец, между 6450 и 7700 ангстремами — красный.

По вертикальной оси на графике мы будем откладывать разные величины, в зависимости от того, к чему относится график. Этими величинами будут и лучеиспускательная способность Солнца, и отражательная или поглощательная способность различных предметов, и, наконец, чувствительность нашего глаза к различным цветам. Все эти величины мы будем выражать в относительных единицах, то есть наибольшее значение какой-либо величины при некоторой длине волны мы примем за 100 процентов, или за единицу, а значения ее при других длинах волн будем выражать в процентах или в долях наибольшего ее значения.

Кривые, которые мы построим, называются спектральными кривыми. Изобразить на бумаге их нетрудно, а вот чтобы собрать данные, необ-

ходимые для их построения, потребовалась сотня лет трудоемкой и тщательной работы многих ученых. Эта работа продолжается и по сей день.

Начнем со спектральной кривой для солнечного излучения. По вертикальной оси при этом следует откладывать яркость, интенсивность или энергию солнечного спектра. (Эти величины имеют несколько различный физический смысл, но для нас это сейчас несущественно. В принципе они пропорциональны друг другу, а мы имеем дело с относительными единицами.) Спектральная кривая солнечного излучения была точно измерена в девятностые годы прошлого столетия, в основном в исследованиях француза Мутона, англичанина Лэнгли и немецких ученых Рубенса и Пашена. Действительная кривая имеет чрезвычайно зазубренный вид, напоминающий очертания горного хребта на фоне неба. Вершины перемежаются глубокими провалами: это не что иное, как темные фраунгоферовы линии поглощения элементов в солнечной атмосфере. Но линии поглощения узкие, в сумме они занимают очень маленькое место на широкой полосе сплошного солнечного спектра. Поэтому мы не будем их учитывать и построим сглаженную кривую. Вот она, приведена на рисунке.

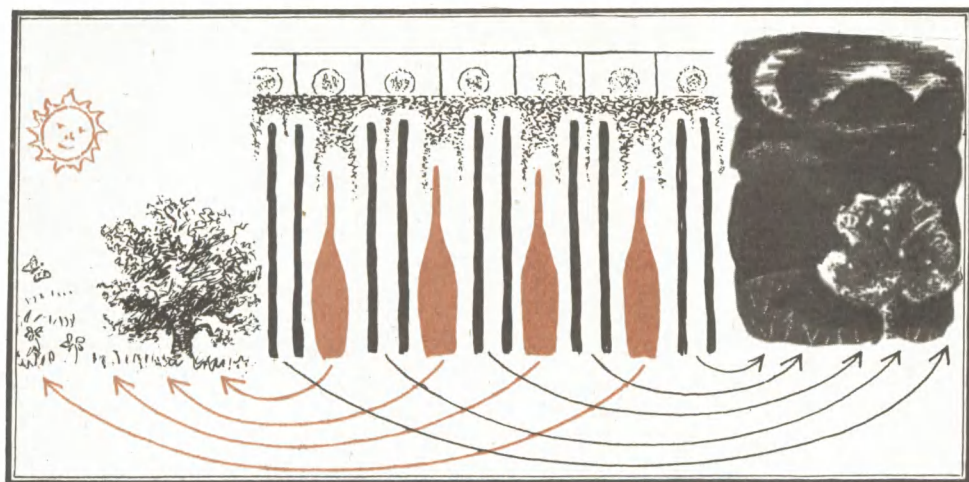
Присмотримся к ней. Кривая довольно круто поднимается вверх от фиолетового к зеленому цвету, достигает вершины в области зеленого цвета и затем полого опускается к красным цветам. Обратите внимание на то, что она не снижается до нуля даже на фиолетовом и красном краях. Возникает желание продолжить ее за эти края, посмотреть, что с нею происходит там. Подождите немного, и ваше любопытство будет удовлетворено. Одно лишь пока ясно: на этих краях солнечный спектр не кончается, он продолжается и в невидимые области — ультрафиолетовую (левее фиолетовой) и инфракрасную (правее красной).

Еще одна интересная особенность. Ученые измерили площадь под спектральной кривой излучения Солнца, включая и невидимые области. Тогда оказалось, что половина всей площади приходится на область между 3800 и 7700 ангстремами. Иными словами, половину всей энергии излучения Солнце испускает в диапазоне видимого света. Солнце словно работает на наш глаз.

А точнее говоря, глаз работает на Солнце. Изобразим на другом графике спектральную чувствительность нормального человеческого глаза. Она напоминает спектральную кривую излучения Солнца. Обратите внимание на то, что вершина кривой чувствительности глаза располагается недалеко от вершины кривой для солнечного излучения. Случайное совпадение? Ни в коей мере. В процессе длительной эволюции глаз человека приспособился к тому, чтобы в наибольшей степени различать самые распространенные цвета в окружающей природе.

Если рассмотреть спектральные кривые отражения солнечного света листьями растений и почвой, то окажется, что одна из них имеет вершину в зеленой, а другая — в желтой части спектра. Но растительность и почва — самое распространенное в природе окружение человека. Именно поэтому глаз, предназначенный для ориентировки в окружающем мире, обладает наивысшей чувствительностью в желто-зеленой области спектра.

Задняя стенка глаза выстлана сетчатой оболочкой — сетчаткой, которая и воспринимает свет. Она состоит из нескольких слоев. В самом наружном ее слое находятся светочувствительные элементы, крошечные тельца размером в тысячные доли миллиметра — колбочки и палочки. Эти тельца превращают падающий на них свет в импульсы электрического тока, которые затем по нервам поступают в мозг. Всего в сетчатке насчитывается примерно 120 миллионов палочек и 6 миллионов колбочек.



То, что в глазу есть два вида приемников света, очень важно. Палочки и колбочки осуществляют своеобразное разделение труда. Днем или при ярком искусственном свете работают в основном колбочки, ночью и вообще при слабом освещении — в основном палочки. Такое разделение труда легко понять, если рассмотреть кривые спектральной чувствительности колбочек и палочек порознь.

Видно, что обе кривые смещены друг относительно друга. Вершина кривой для колбочек приходится на дневные желто-зеленые цвета природы, освещенной прямым или же рассеянным облаками солнечным светом. Вершина же кривой для палочек приходится на сумеречные голубоватые цвета природы, освещаемой лишь светом зашедшего за горизонт Солнца, который рассеян небом и имеет голубую окраску.

Рассеянный свет к тому же намного слабее прямого света Солнца, так что для выработки достаточно сильного электрического сигнала нужно больше приемников, чем на ярком свету днем. Потому и палочек в 60 раз больше, чем колбочек. Так и хочется воскликнуть с восхищением: «Все продумано!» Но не забудем при этом, что миллиард лет — достаточно долгий срок, чтобы природа успела довести глаз до высокого совершенства.

Остается проникнуть в загадку того, как работают колбочки и палочки. Необходимо понять не только как они воспринимают свет, но и как они различают цвета. Ночью цвет неощутим, все словно окрашено одной серой краской. Недаром говорят, что ночью все кошки серы. Поэтому разумно предположить, что палочкам механизм, различающий цвета, не нужен. По-видимому, так оно и есть. Во всяком случае, опыты над животными, ведущими ночной образ жизни, показали, что их глаза, скорее всего, цветов не различают.

С колбочками дело обстоит сложнее. Все вещества в живых организмах образованы очень сложными по своему строению органическими молекулами. Исследования спектров поглощения таких молекул (а именно о спектрах поглощения мы сейчас ведем речь, потому что только поглощенная в глазу энергия может превратиться в импульсы тока, направляющиеся в мозг) показали, что они имеют линии и полосы поглощения. Но даже самые широкие полосы поглощения молекул занимают довольно неширокую область длин волн в сотни ангстрем. А кривая

чувствительности глаза охватывает интервал длин волн более чем в 3 тысячи ангстрем!

Чтобы понять, в чем тут дело, обратимся к явлению смешения цветов. Это явление уже очень давно используют художники при смешивании красок на палитрах, чтобы получить нужные оттенки цвета. А со времен Ньютона исследователи цвета смешивают уже не только цвета красок, но и цвета самих источников света. Легко увидеть различие между этими двумя видами смешения цветов.

Почему вообще холодные предметы имеют цвет? Сами они, не будучи нагреты, света не испускают. Значит, остаются две возможности: они либо пропускают, либо отражают свет. В наибольшей мере пропускают свет прозрачные вещества, в наибольшей мере отражают его непрозрачные блестящие вещества.

Пусть, скажем, белый холст освещен лучами Солнца. Он выглядит белым потому, что отражает все цвета, а они-то, как известно из опытов Ньютона, в совокупности образуют белый цвет. А теперь нанесем на холст слой краски, например красной. Очевидно, краска будет выглядеть так потому, что поглощает все цвета спектра, кроме красного, который ею и отражается. Что это за поглощенные цвета? Очевидно, они лежат в синей и зеленой частях спектра.

Ну что же, тогда наложим поверх красной синюю и зеленую краски. Что мы увидим? Черный цвет! Это понятно: все цвета поглощены этими красками, и они никакого цвета не отражают.

Посмотрим теперь сквозь цветное стекло. Возьмем опять для начала красное стекло. Оно поглощает все цвета спектра и пропускает только красный. Стекло выполняет теперь роль *светофильтра*, отфильтровывая из белого света только красный цвет. Возьмем затем второй источник света и зеленый светофильтр. Совместим цветовые пятна от наших двух источников — и мы увидим желтый цвет. Добавим к ним пятно от третьего источника света с синим светофильтром. И увидим... белый цвет!

Впрочем, ничего неожиданного не случилось. В общем цветовом пятне совместились, в сущности, все цвета спектра, а их совокупность и есть белый цвет. Но всегда ли так будет? Многочисленные опыты показали, что отнюдь нет. Получающийся из смешения красного, зеленого и голубого цветов суммарный цвет зависит от яркостей каждого из них. Если красный цвет ярче двух остальных (для этого в нашем опыте надо просто взять более яркий источник света перед красным светофильтром), то вместо белого получится цвет желтого оттенка. Если самый яркий цвет — голубой, то суммарный цвет будет иметь голубовато-зеленый оттенок. Самое интересное, что, комбинируя эти цвета в разных пропорциях, можно получить все цвета видимого спектра.

Можно для этой цели брать и другие исходные цвета, но тогда набор получающихся в сумме цветов будет беднее. Только красный, зеленый и синий цвета позволяют в сумме получать самый широкий набор цветов. Поэтому три этих цвета и называют *основными*, или *первичными*, цветами. Не менее интересно, что эффект сложения основных цветов довольно слабо зависит от ширины спектральных кривых прозрачности светофильтров, эта ширина может составлять и сотню, и десяток ангстрем.

Но если вдуматься, мы встречаемся здесь с поразительным обстоятельством. Желтый цвет, например, занимает довольно узкую полосу длин волн, всего лишь в каких-нибудь двести ангстрем. А вместе с тем его можно получить при сложении трех цветов, которые занимают всю полосу видимого спектра шириною в несколько тысяч ангстрем. И наоборот,

три узкие полосы, общей шириной всего в несколько десятков ангстрем, в красной, зеленой и синей частях спектра могут при сложении вызывать то же ощущение белого цвета, что и весь видимый солнечный спектр шириной в тысячи ангстрем.

О чем это говорит? Да о том, что ощущение какого-либо одного цвета способно вызываться излучениями с совершенно различным спектральным составом — и узкими спектральными линиями, и широкими полосами спектра. Ощущение цвета, то есть субъективное восприятие спектра, совершенно не совпадает с объективной картиной, то есть с распределением яркости или энергии в спектре излучения. Как же такое возможно? Выходит, что наш глаз — совершенно необъективный зрительный инструмент, что он дает нам ошибочные сведения о спектральном составе излучения?

Да, это действительно так. Вслушиваясь в аккорд, например составленный из трех звуков, мы в конце концов сможем определить, из каких звуков он состоит, проанализировать «спектральный состав» аккорда. Можно обойтись и без кавычек, если вспомнить, что звук — тоже волны и тоже имеет спектр частот. А вглядываясь, к примеру, в желтый цвет, мы никогда не увидим в нем смесь красного и зеленого цветов.

Физически желтый цвет и неотличимая от него по виду смесь красного и зеленого цветов — совершенно разные вещи. Значит, причину одинакового их восприятия глазом надо искать не в физике, а в физиологии — в механизме работы глаза или, точнее, колбочек. По-видимому, в них содержатся какие-то вещества, по-разному отзывающиеся на различные цвета. Смешивание красного, зеленого и синего позволяет получать все видимые цвета. Так нет ли и в глазу трех веществ, отзывающихся соответственно на эти три цвета, а затем складывающих свои отзывы так, что получается ощущение одного цвета?

Впервые такое смелое предположение высказал еще в 1807 году Юнг. Он полагал, что в колбочках могут находиться три окрашенных вещества, поглощающих соответственно красный, зеленый и синий цвета. Причем они должны реагировать не только на длины волн, но и на яркости отдельных цветов. Они должны превращать эти цвета в электрические сигналы, складывать сами сигналы, даже знать алгебру цветов, чтобы в итоге получался видимый глазом цвет. Не глаз, а быстродействующая вычислительная машина! Ведь мы оцениваем цвет разглядываемого предмета практически мгновенно.

Проведенные затем исследования показали, что мысль, высказанная Юнгом, содержит, по-видимому, большую долю истины. Удалось даже примерно оценить кривые спектральной чувствительности для каждого из трех окрашенных веществ — пигментов. Не было счастья, да несчастье помогло. Встречаются люди, пораженные цветовой слепотой: среди мужчин — в среднем каждый двенадцатый, среди женщин — каждая двухсотая. (Почему природа так безжалостно обделила в этом отношении мужчин, пока никто не знает.)

Цветовая слепота бывает различной. Хотя и очень редко, но все же встречается полная цветовая слепота, когда человек совершенно не различает цветов. Значительно чаще человек не различает какого-либо одного цвета, — например, красного, зеленого или синего, но два остальных цвета из тройки основных видит. Сравнивая кривые спектральной чувствительности дневного зрения у людей с каждым видом неполной цветовой слепоты, удалось «разложить» общую кривую спектральной чувствительности глаза на три отдельных кривых — для каждого из пигментов в колбочке.

Такие кривые мы приводим на графике. Прежде всего видно, что они довольно широки, хотя, естественно, ни одна из них не охватывает всего видимого спектра. Кроме того, все эти кривые пересекаются друг с другом.

А теперь уже можно понять, как в принципе происходит восприятие цвета. Окрашенный свет, отраженный от предмета или прошедший сквозь него, или, наконец, испущенный самим источником света, поглощается всеми пигментами в колбочке. Но чувствительность каждого из пигментов на длине волны, соответствующей этому цвету, разная, и поэтому разной оказывается сила сигнала от каждого из пигментов (это может быть сила электрического тока или, что вероятнее, частота электрических импульсов). Затем включается «вычислительная машина» мозга, которая складывает эти сигналы, подбивает итог, сверяет его со «словарем» сигналов, хранящимся в ее памяти, и выдает ответ: это желтый цвет или какой-либо иной.

Складывать ей приходится три слагаемых — относительные доли красного, зеленого и синего цветов. Такое сложение можно наглядно изобразить с помощью цветового графика, так сказать, переводя алгебру цветов на язык геометрии. Цветовой график представляет собой фигуру приблизительно треугольной формы, по вершинам которой и располагаются основные цвета. Проводя из этих вершин линии, длина которых пропорциональна яркости соответствующего основного цвета, мы получаем в точке их пересечения наблюдаемый цвет.

Но еще раз повторим: мы пока не знаем, как устроен сам механизм цветного зрения. Мы знаем его, в сущности, лишь в общих чертах, в принципе. Этот механизм, как видно даже из того немногого, о чем мы рассказали, чрезвычайно сложен и с физической (спектральной) и с физиологической стороны и даже со стороны «вычислительной». Связь работы глаза с «вычислительными» операциями мозга оказывается исключительно тесной. Даже трудно сказать, где эти «вычисления» производятся — в мозгу или в самом глазу.

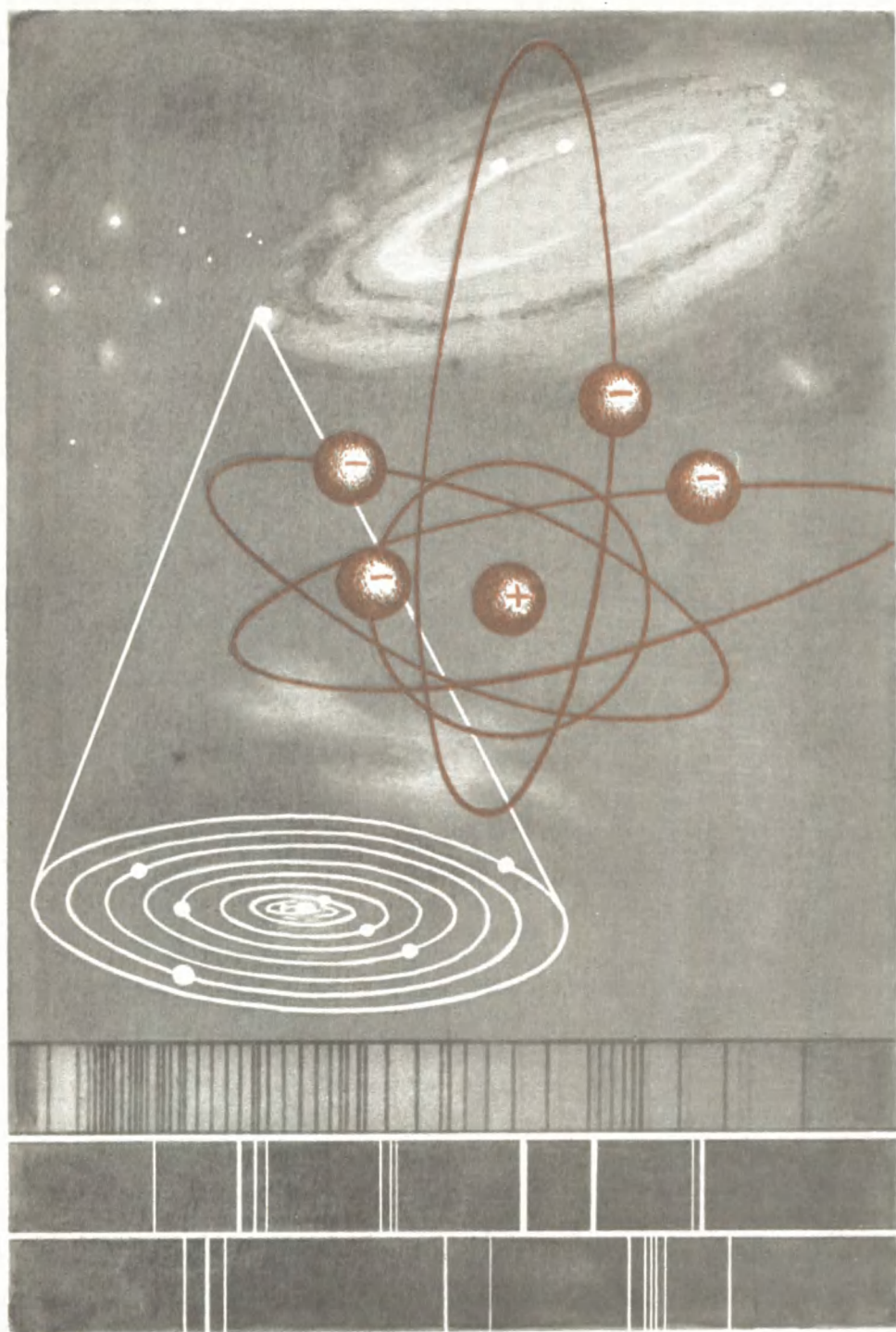
Из сказанного также легко понять, что глаз осуществляет не спектральный анализ, а, напротив, *спектральный синтез* цвета. Глаз как бы спектроскоп наоборот. Спектроскоп разделяет сложный цвет на простые, «чистые» спектральные цвета. Глаз же, напротив, как мы убедились, может составлять чистые цвета из сложных.

В этом нет ничего удивительного: ведь природа не предназначала глаз для спектрального анализа. А в спектральном анализе глаз, естественно, оказывается столь несовершенной приставкой к спектроскопу, что уже на первых порах спектрального анализа ученые почувствовали необходимость заменить его более объективными приборами — фотопластинками, термометрами, преобразователями света в электрический ток.

Глаз способен различать многие тысячи оттенков цвета, даже с очень близкими длинами волн, но все же этой способности есть предел. Спектроскопы давно превзошли в тысячи раз этот предел разрешающей способности глаза по отношению к цвету.

Глаз способен уверенно сравнивать яркости света, имеющего одинаковый или близкий цвет, но он не в состоянии определять количественно каждую из этих яркостей порознь, тем более если свет имеет разные цвета. Фотопластинки и другие виды преобразователей света позволяют это делать достаточно уверенно и точно.

Но чего бы стоило все бесконечное многоцветье мира без человеческого глаза!



Часть 2. ЖИЗНЬ СПЕКТРОВ

ПУТЬ К КВАНТУ



Световое излучение, световые волны празднуют в течение девятнадцатого века триумфальную победу над ньютоновскими корпускулами — частицами света. Но что скрывается в те годы за волновыми представлениями о свете? Да немногое.

Вслед за Гюйгенсом физики продолжали считать, что вещество — теперь уже атомы — в источниках света совершает колебания. Эти колебания бегут по невидимой и невесомой среде, заполняющей все пространство между телами, — по эфиру и приводят в колебания саму эту среду. Колебания эфира и есть световые волны. В конце концов эфир, прилегающий к глазу, передает в глаз свои колебания. Это и вызывает в глазу ощущение света.

Огюстен Френель еще в начале прошлого века выяснил, что световые волны поперечны, то есть частички эфира должны колебаться в этих волнах поперек направления, в котором распространяются волны. Но уже тогда было известно, что в газах поперечные волны распространяться не могут. При распространении звука частички газа совершают колебания в направлении, по которому движется звуковая волна. Поперечные волны могут распространяться только в твердых телах.

Значит, эфир должен быть одновременно и разреженным, до полной неощутимости во всех физических опытах, и вместе с тем твердым. И не просто твердым, а фантастически твердым, тверже любых веществ на свете. Скорость распространения волн в твердых веществах тем выше, чем больше их твердость. А скорость света — 300 000 километров в секунду — во многие тысячи раз превосходит скорость любых других известных волн.

Вот так светоносная среда! Как же в ней тысячелетиями без видимых помех могут перемещаться планеты — да и мы сами по Земле?! Загадочные, совершенно непонятные свойства эфира весь девятнадцатый век отравляли физикам радость от торжества волновых представлений о

свете. Отказаться от представления об эфире физика смогла только после появления теории относительности Эйнштейна.

Была и другая, не менее важная проблема: что же в действительности колеблется в самих источниках света; какой характер имеют эти колебания? Волновая теория света до поры до времени откладывала решение этих вопросов: просто не за что было зацепиться, чтобы получить на них ответ. Наиболее проницательные ученые, среди них Майкл Фарадей, смутно предчувствовали, что свет может быть как-то связан с электрическими и магнитными явлениями. Фарадей даже поставил опыт, пытаясь выяснить, не влияет ли магнетизм на свет, и некоторое довольно слабое влияние обнаружил.

В те же годы, когда рождался спектральный анализ, английский физик Джеймс Клерк Максвелл поставил перед собой дерзновенную цель — объяснить с единых теоретических позиций весь круг наблюдений электрических и магнитных явлений, всю совокупность экспериментальных сведений о них. Были среди этих наблюдений и два ключевых: открытое Эрстедом действие электрического тока на магнитную стрелку компаса и открытое Фарадеем действие магнитов на электрический ток. Ко времени Максвелла физики уже четко осознавали, что мир электричества и мир магнетизма тесно связаны друг с другом. Но каковы глубинные причины этой связи, никто из них не знал.

Максвелл выяснил эту связь: переменное магнитное поле порождает электрическое поле, а переменное электрическое поле в свою очередь — магнитное поле. Причем так, что эти порождающие друг друга поля распространяются в пространстве в виде единой *электромагнитной волны*. Когда Максвелл рассчитал скорость распространения этой волны, он получил удивительную цифру — около 300 000 километров в секунду. Конечно, Максвелл сразу догадался, что означает этот результат. Он понятен и нам: световая волна оказалась электромагнитной волной!

Но электромагнитную волну порождают движущиеся электрические заряды. Значит, именно они являются источниками световых волн. Где же в веществе находятся эти заряды? Очевидно, они располагаются в атомах и молекулах.

Это первоначальное предположение в дальнейшем было уточнено. Оказалось, что электромагнитные волны излучаются не самими атомами, которые в целом электрически нейтральны, а более мелкими частичками в составе атомов — электронами. Причем не при любом, а лишь при неравномерном, ускоренном их движении. Электромагнитная волна несет с собой энергию, которая не может возникнуть из ничего. Эта энергия должна отбираться у электронов, которые при этом тормозят свое движение, уменьшают свою кинетическую энергию.

Выяснились и другие интересные особенности излучения. Когда электрон замедляет свое свободное движение, он должен излучать волны со сплошным спектром их длин или же частот. Чем выше первоначальная энергия электрона, тем более широким получается этот спектр, тем на более высокой частоте, или меньшей длине, волны он начинается. Если же потоки электронов совершают регулярное колебательное движение, например в электрической цепи, состоящей из проволочной катушки и конденсатора, в которой происходит колебательный разряд, они излучают единственную спектральную «линию» — электромагнитную волну одной частоты.

Именно такие волны получил и изучил их свойства немецкий физик Генрих Герц в 1886—1889 годах. Это были ранее неизвестные физикам

радиоволны. Если до открытия Герца предсказания теории Максвелла встречали скептическое отношение большинства физиков, то теперь ученые перестали сомневаться в ее справедливости.

Тем временем здание теории излучения строилось и с другого конца. До поры до времени физикам не было особой необходимости точно знать, как излучают раскаленные вещества. Достаточно было знать, что излучение существует, что оно имеет волновой характер, а значит, возбуждается какими-то колебаниями. Кирхгоф, кроме того, открыл немаловажное обстоятельство: отношение излучательных и поглощательных свойств любых тел такое же, как и для абсолютно черного тела.

Это открытие сильно облегчило дальнейшую задачу физиков-теоретиков. В поисках ответа на вопрос, как распределяется энергия теплового излучения по спектру, теперь не надо было учитывать такие осложняющие обстоятельства, как отражение света или его прохождение через прозрачные тела. Достаточно было придумать какую-то модель для колебаний частичек только поглощающего или только излучающего вещества. С помощью такой модели можно было бы понять, как колеблющиеся частички — их называли *осцилляторами* — отзываются на приходящее к ним извне излучение или как они сами приходят в колебания при нагревании вещества.

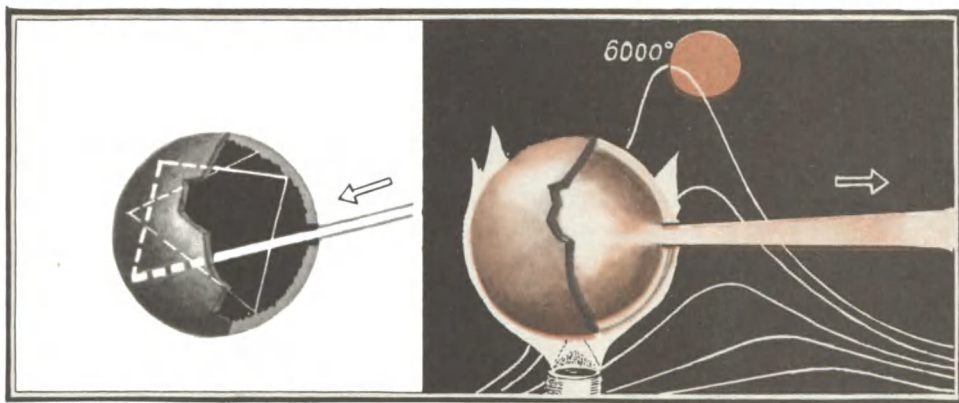
Что требовалось от таких частичек? Чтобы они поглощали *всю* приходящую к ним энергию излучения: ведь они входят в состав абсолютно черного тела, не отражающего и не пропускающего ни капли энергии. Но эта энергия приходит к частичкам не на одной частоте, а в виде целого спектра, например спектра Солнца, в котором присутствуют все частоты. Значит, нужно было придумать такой набор осцилляторов, который отзывался бы на все возможные частоты. А при нагревании сам излучал бы все эти частоты, причем так, чтобы распределение энергии излучения по частотам отвечало опыту.

Какому опыту? Спектральные кривые излучения различных природных веществ довольно сильно отличались друг от друга. Значит, надо было искусственно изготовить абсолютно черное тело, нагреть его до различных температур и измерить, какая энергия излучения приходится на каждую частоту или длину волны в спектре излучения.

Этот парадокс — свечение абсолютно черного тела — не должен вас смущать. Мы уже не раз говорили, что такое тело абсолютно черно только по отношению к падающему на него излучению, оно поглощает его целиком, а потому как бы невидимо. Но если это тело нагреть, оно будет само светиться, причем, если вспомнить соотношение Кирхгофа, оно при данной температуре будет светиться ярче, чем любое другое тело!

Абсолютно черное тело первыми изготовили немецкие физики Отто Луммер и Эрнст Прингсгейм. Оно представляло собой полый шар, внутренние стенки которого были сильно изрезаны и покрыты сажей. Излучение впускалось в этот шар через маленькую дырочку в стенке, а в полости шара оно многократно отражалось от его стенок и поглощалось сажей. Так что в конце концов излучение полностью уходило в стенки, и обратно через дырочку не выходил ни один луч света. Эта полость в шаре и была абсолютно черным телом.

Заставить полость излучать можно было, нагревая шар изнутри, так чтобы светились только его внутренние стенки. Печь с черными стенками и маленькой дверцей! На такой печи, поставив перед ее дверцей спектрометр, Луммер и Прингсгейм и определили спектр теплового излучения, который предстояло объяснить теоретикам. Мы на графике



изобразили, как выглядит распределение энергии по спектру для нескольких температур печи.

Можно легко заметить, что это распределение очень похоже на то, какое дает сглаженный (без линий поглощения) солнечный спектр. Солнце — почти абсолютно черное тело! Впрочем, смысл этой парадоксальной фразы вам должен быть понятен. Она означает лишь, что Солнце практически непрозрачно и не блестит, оно почти целиком поглощает падающее на него извне излучение. Вместе с тем, зная, как меняется спектр земной черной печи с изменением температуры ее стенок, удалось определить температуру поверхности Солнца. Она оказалась близкой к 6000 градусов.

Тем временем теоретики, проанализировав спектральные кривые теплового излучения, выяснили два важных факта. Прежде всего, количество энергии, сосредоточенной во всем спектре излучения, очень быстро возрастало с повышением нагрева стенок — пропорционально четвертой степени их абсолютной температуры. (Эта температура отсчитывается не от точки таяния льда, которую принимают за нуль на шкале Цельсия, а от абсолютного нуля, лежащего приблизительно на 273 градуса Цельсия ниже.) Если температура печки повышалась в три раза, то поток излучения от нее возрастал почти в сто раз! Такую закономерность установил в 1879 году австрийский физик Стефан. А спустя пять лет ее теоретически объяснил немецкий физик Людвиг Больцман, смело применив термодинамику к электромагнитной теории Максвелла,

Второй важный закон установил в 1893 году немецкий физик Вильгельм Вин. Он нашел, что положение максимума вершины кривой для теплового спектра сдвигается к меньшим длинам волн с ростом температуры стенок черной печи. Во сколько раз повышается абсолютная температура, во столько же раз уменьшается длина волны для максимума теплового спектра.

Вообще-то говоря, это видно из простого разглядывания спектральных кривых для разных температур. Заслуга Вина была в том, что он установил этот закон теоретически, пытаясь описать все эти кривые целиком. Самое интересное, что закон смещения вершины спектра оказался по данным опыта совершенно правильным, а вот теоретическая кривая укладывалась на экспериментальную неудовлетворительно. Обе кривые хорошо совпадали лишь там, где располагались фиолетовые и синие цвета спектра, но по мере перехода к желтым и красным цветам согласие между ними все более нарушалось.

Рассуждений Вина полностью мы здесь не будем приводить. Коротко говоря, суть их сводилась к следующему. Поскольку вещество состоит из атомов, значит, осцилляторами являются сами атомы. Но все атомы одного вещества, в том числе и вещества, из которого изготовлено абсолютно черное тело, совершенно одинаковы. Почему же в таком случае в спектре их излучения присутствует не одна частота, а целый набор частот?

Это может означать лишь, что атомы колеблются по-разному. Какие же законы регулируют частоту колебания каждого данного атома? Да просто законы случая!

Впервые эти законы открылись физикам при изучении газов. Газы состоят из множества молекул. Пусть в объеме, ограниченном стенками сосуда, присутствует только один газ, так что все молекулы одинаковы. Но означает ли это, что все молекулы газа в один и тот же момент имеют одинаковые скорости?

Никоим образом! Сталкиваясь друг с другом и со стенками сосуда совершенно случайно, они имеют широкий набор — спектр скоростей, практически сплошной спектр, от нулевой до любой сколь угодно большой скорости. Для того чтобы определить, как распределены скорости молекул, надо применить теорию вероятностей и использовать известные законы удара, по которым молекулы сталкиваются и движутся после столкновений.

Расчет такого распределения провел за двадцать лет до описываемых событий Максвелл. Но его работа дала много больше, чем просто решение одной, в общем-то довольно узкой физической задачи. Она означала, что в физику — впервые! — была введена теория вероятностей. Введена для описания явлений, в которых одновременно принимает участие множество частиц.

В применении к массовым событиям теория вероятностей называется статистикой. Максвелл был одним из создателей статистической физики.

Статистическую физику и использовал Вин для расчета распределения осцилляторов по частотам их излучения. В тепловом излучении одновременно участвует колоссальное количество атомов (потому и спектр этого излучения сплошной). Помимо теории вероятностей, надо было располагать и какими-то сведениями о самих осцилляторах-атомах. К сожалению, в то время о структуре атомов физики имели еще довольно смутные представления. Поэтому Вин вынужден был взять для атома механическую модель, нечто вроде шарика на пружинке, который начинает колебаться, если его толкнуть.

Эта неудачная модель осцилляторов в конечном итоге и стала причиной неудачи теории Вина. Спустя семь лет, используя иные соображения, чем Вин, но тоже статистические, уже знакомый нам физик Рэлей пришел к другой формуле, описывающей спектр теплового излучения. Теперь теоретическая кривая хорошо укладывалась на экспериментальную в области желтых и красных цветов, но зато кривые резко расходились в области синих и фиолетовых цветов.

Оставалось сделать последний шаг — сшить обе неправильные теоретические кривые в одну правильную. Причем сделать это так, чтобы эта правильная кривая переходила в виновскую кривую в области коротких длин волн и в рэлеевскую в области длинных волн. Правильную теоретическую формулу для излучения абсолютно черного тела угадал спустя несколько месяцев после выхода работы Рэрея немецкий физик Макс Планк. Сначала именно угадал, а не вывел строго. Сообщение о своей

догадке Планк сделал на заседании Берлинского физического общества 19 октября 1900 года. Экспериментаторы тут же проверили формулу Планка и нашли, что его кривая прекрасно совпадает с экспериментальной по всему спектру.

Теперь Планку предстояло самое трудное — обосновать догадку теорией. Планку потребовалось на это только два месяца! С новой теорией он выступил 14 декабря 1900 года, и спустя считанные годы эта теория произвела переворот во всей физике. Эта была *теория квантов*.

Ни Вин, ни Рэлей не догадывались, сколь глубок корень неудач их теорий теплового излучения нагретых тел. Дело было в том, как физика девятнадцатого века представляла себе сам процесс испускания теплового излучения.

Колеблется осциллятор, разбегаются от него световые волны, как от колеблющейся в воде палочки, и бесперебойно уносят с собою энергию. Энергия уходит от колеблющихся частичек *непрерывно*, наподобие того, как ровной струйкой вытекает вода из крана.

Но так кажется только при поверхностном взгляде на вещи. На самом деле вода состоит из молекул и вытекает из крана отдельными крошечными «порциями» — молекулами. Это уже хорошо представляли себе физики конца прошлого века.

О такой же дробимости энергии колебаний физики даже и не подозревали. Первым о делимости энергии волн, излучаемых осцилляторами, додумался Планк. Ему пришлось, причем с превеликой неохотой, предположить, что эта энергия тоже испускается не непрерывно, а крошечными порциями — квантами. «Квант» в переводе с латинского означает просто «количество».

Открытие Планка было для физики таким же революционным, как в свое время открытие молекул и атомов. И конечно же, как всякое фундаментальное открытие, оно вначале встретило непонимание со стороны его научных современников. И не только непонимание — даже неприятие.

Планк предложил кванты для решения, в сущности, довольно узкой, хотя и важной задачи — описания спектра теплового излучения нагретых тел. Он сам вначале считал, что квантовый характер имеет только излучение, испускаемое раскаленными стенками абсолютно черного тела и выходящее через маленькую дырочку в его стенке. Этому единственному факту противостояла огромная область физики волновых процессов. Область, чрезвычайно широко и детально разработанная к тому времени, в которой никто и никогда не замечал каких-либо прерывностей в испускании и поглощении волн, каких-то порций энергии. Должны были пройти годы, пока представление о кванте энергии преодолело сопротивление старой физики. Именно это представление легло в основу физики двадцатого столетия.

Сколь же велик квант — «атом энергии» Планка? Правильнее было бы спросить: «Сколь он мал?» Ибо он ускользал от наблюдателей прошлых времен именно потому, что был действительно очень малым. Формула Планка для энергии квантов имеет очень простой вид:

Энергия кванта = (постоянная Планка) \times (частота излучения).

Значение постоянной Планка примерно равно $7 \cdot 10^{-27}$ эргов на секунду.

Сделаем несложный подсчет. Частота света равна скорости света, деленной на его длину волны. Возьмем для определенности желтый свет,

с длиной волны около 6000 ангстрем. (Точные цифры нам сейчас не нужны, важно получить представление, как говорят, о порядке величины.) 6000 ангстрем — это $6 \cdot 10^{-5}$ сантиметра. Скорость света равна $3 \cdot 10^{10}$ сантиметров в секунду. Значит, частота желтого света составляет примерно $3 \cdot 10^{10} / 6 \cdot 10^{-5} = 5 \cdot 10^{14}$ колебаний в секунду. (Мы уже знаем — колебаний электромагнитного поля в световой волне.)

А теперь умножим эту частоту на постоянную Планка и узнаем энергию каждого кванта желтого света: $5 \cdot 10^{14} \times 7 \cdot 10^{-27} = 3 \cdot 10^{-12}$ эрга.

Эта цифра пока еще нам ничего не говорит. Что же, возьмем довольно слабый источник света, которым пользовались еще наши предки, — свечу. Она излучает во все стороны энергию в количестве 10^7 эргов в секунду, то есть имеет световую мощность примерно 1 ватт. (Поэтому, например, 100-ваттную лампочку мы по старинке называем «стосвечевой».) А теперь легко подсчитать, сколько квантов излучает свеча за секунду: $10^7 / 3 \cdot 10^{-12} = 3 \cdot 10^{18}$. Три миллиарда миллиардов квантов в секунду!

Вот когда мы получаем представление о фантастической малости порции энергии, заключенной в кванте! И вместе с тем начинаем понимать, почему отдельных квантов никто не видел. Даже в излучении слабых источников света они следуют один за другим столь быстро — миллиардами миллиардов в секунду, — что в обычных условиях глаз не может уловить их порознь.

Впрочем, оговоримся. В двадцатых годах нашего века были специально поставлены опыты с ничтожно слабыми источниками света. Тогда выяснилось, что глаз в особых условиях может все-таки считать кванты, — если и не поодиночке, то, по крайней мере, группами по несколько штук. Разумеется, эти опыты ставились не для проверки истинности гипотезы Планка. Она к тому времени в такой проверке уже не нуждалась. Слишком многие явления она позволила объяснить. Цель опытов состояла в изучении пороговой чувствительности глаза, того, сколь слабый свет он способен воспринимать.

Но в 1900 году планковский квант еще не имел прав гражданства в физике. Впервые он получил такие права в 1905 году. В этом году Альберт Эйнштейн доказал, что квантовый характер присущ не только тепловому излучению абсолютно черного тела, но и вообще любому свету, каков бы ни был его источник. И что эта порция энергии в некоторых отношениях ведет себя подобно частице: например, может выбивать электроны наружу из освещаемого металла.

Именно в явлении фотоэлектрического эффекта, открытом еще за двадцать лет до того Герцем и объясненным Эйнштейном, свет четко проявляет свою квантовую сущность. Каждый квант света выбивает из металла ровно один электрон!

Выходит, физика вернулась к ньютоновской частичке света — корпускуле, отвергнув при этом представление о свете как волне? Нет. Зачеркнуть все наследие волновой теории света невозможно — от него не отмахнуться. Ведь уже давно известны дифракция, интерференция и множество других явлений, которые с помощью частиц света никак не объяснить. Но вместе с тем уже известен и фотоэлектрический эффект, который не объяснить представлением о непрерывных световых волнах.

Остается только одно: как-то объединить волны с частицами. Признать, что есть один круг явлений, где свет проявляет волновые свойства, а есть и другой круг, в котором на первое место выходит корпускулярная сущность света. Такова двойственная природа излучения.

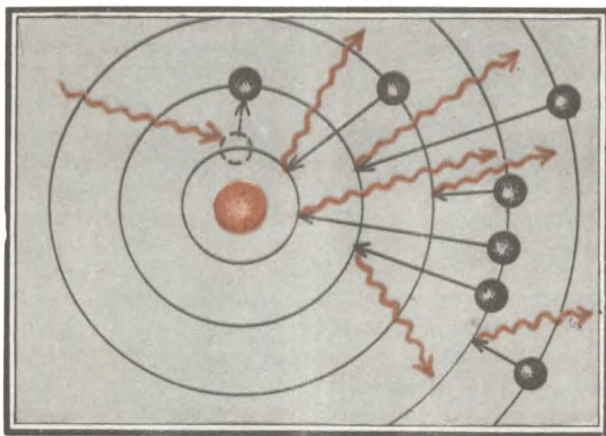
Очень трудно было физикам соединить два несоединимых дотоле представления в одно. Частица — это что-то твердое, неизменное, имеющее определенные размеры, ограниченное в пространстве. Волна — это нечто текучее, зыбкое, не имеющее четких границ.

Более или менее наглядно эти представления удалось соединить с помощью понятия о *волновом пакете*. Это нечто вроде «обрезанной» с обоих концов волны, вроде сгустка волн, путешествующего в пространстве как одно целое. Сгусток может сжиматься и растягиваться в зависимости от того, в какую среду он попадает. Он напоминает летящую пружину.

В одних явлениях как бы проявляются витки летящей пружины, их регулярность, периодичность, — и тогда наблюдается волновая картина. А в других явлениях пружина как бы работает целиком, — например, передает всю свою энергию электрону, выбрасывает его из металла.

Но это лишь попытка наглядного изображения волнового пакета. Физикам оказалось намного важнее знать не то, как он выглядит, а то, как он себя ведет. И все то, что они знают о его поведении, физики объединили в понятии «волны-частицы» света. В 1927 году американский физик Льюис предложил назвать ее *фотоном* (от греческого «фотос» — свет). Это название прижилось, и сейчас фотонами пользуются на равных правах с квантами.

Так удалось объяснить вид спектральных кривых теплового излучения нагретых тел. Оставалось объяснить характер и происхождение линейчатых спектров. Решение этой загадки пришло несколько лет спустя, и огромную роль в разгадке сыграл столь счастливо и своевременно открытый квант. Но история этой разгадки началась за пятнадцать лет до открытия кванта.



КВАНТЫ РОЖДАЮТСЯ В АТОМАХ

Прежде чем строить теорию, надо навести порядок в материале экспериментальных наблюдений. Сложность частотного ряда Fraunhofer's lines in the solar spectrum after the birth of spectral analysis ceased to frighten investigators. Spectral lines were gradually sorted out, assigned to individual chemical elements.

Это принесло облегчение теоретикам и помогло практикам. Неповторимость спектра каждого элемента позволяла везде узнавать его, где бы он ни присутствовал.

Впрочем, все это было не так легко и просто. Спектр излучения железа (в вольтовой дуге) или обратный ему спектр поглощения железа (в солнечной атмосфере), например, насчитывал в видимой области сотни линий. Спектр водорода при не очень высоких температурах был почему-то полосатым, а при высоких температурах полосы исчезали и появлялись узкие линии. В чем секрет такого поведения спектров, поняли только в конце прошлого века.

Дело в том, что молекулы состоят из атомов. Естественно предположить, что полосатый спектр водорода при невысоких температурах принадлежит молекулам водорода, а линейчатый спектр — атомам водорода, на которые водородная молекула развалилась при нагреве. Водород не был исключением. Так же вели себя и другие газы, и превращения в их спектрах получили такое же объяснение.

Линейчатые спектры не только выглядели подчас сложными при наблюдении в спектроскоп. Непонятно было и то, какому порядку следуют в них линии, почему этот порядок различен для атомов разных элементов. Вообще-то хорошо, что он различен, иначе был бы невозможен спектральный анализ. Но почему спектр каждого элемента имеет свое «лицо»?

Первым нащупал порядок в расположении спектральных линий скромный преподаватель физики в гимназии (впрочем, до того он был профессором университета) шестидесятилетний швейцарец Иоганн Бальмер. Анализируя измеренные Ангстремом с высокой точностью длины волн четырех линий в спектре атомов водорода, Бальмер неожиданно заметил, что они расположены не как попало, а образуют *серию*. Эту серию можно было описать общей довольно несложной формулой:

$$\text{Длина волны } (\lambda) = \text{постоянная } (b) \times \frac{\text{квадрат целого числа } (k^2)}{k^2 - 4}.$$

Целые числа k принимали для четырех линий последовательные значения 3, 4, 5, 6. Четверка в знаменателе, заметим, сама есть квадрат целого числа (2^2).

Эту формулу еще более упростил немецкий физик Карл Рунге через год после Бальмера. Если в ней вместо длины волны λ использовать частоту ν , то тогда формула примет вид:

$$\text{Частота } (\nu) = \frac{c}{b} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right),$$

где c есть скорость света, а n — то самое второе число, квадрат которого находится в знаменателе формулы Бальмера (там $n=2$). А еще четыре года спустя шведский спектроскопист Иоганн Ридберг предложил заменить постоянную Бальмера b обратной ей постоянной: $1/b = R$. Эта постоянная впоследствии в честь Ридберга была названа его именем.

В результате всех этих превращений формула Бальмера приобрела вид, в каком она используется и поныне:

$$\nu = \frac{cR}{n^2} - \frac{cR}{k^2} = T_n - T_k.$$

Она состоит из двух членов (*термов* по-латыни) T_n и T_k , где нижние значки около T (сокращение «терма») означают, что один из них относится к целому числу n , а другой — к целому числу k .

Пока что никаких преимуществ в другой записи формулы Бальмера и

в новых обозначениях не видно. Однако Бальмер пришел к своим целым числам не совсем случайно. Он разделял мысль древнегреческого философа и математика Пифагора, что гармонией мира правят целые числа. Науке нашего века еще предстояло наполнить новым глубоким смыслом эту замечательную идею.

В 1908 году талантливый, рано умерший соотечественник Бальмера физик Вальтер Ритц показал, что запись частот спектральных линий в виде двух термов дает весьма существенные преимущества. Она позволяла представить частоты любых спектральных линий любого элемента в виде *разностей* немногих известных термов. Это давало дальнейший выигрыш в простоте. Например, полсотни водородных линий, которые были известны к началу нашего века, удалось представить с помощью всего лишь десятка термов. Иными словами, *комбинируя* друг с другом несколько термов, можно было получить частоты всех линий спектра. Этот прием расчета частот линий и получил название *комбинационного принципа*.

На принципе, открытом Ритцем, спектроскопия временно остановилась. Термы были, несомненно, удобным средством для наведения порядка в известных спектрах и даже для предсказания еще не открытых спектральных линий. Но что стояло за самими термами?

Разгадка пришла с той стороны, откуда ее совершенно не ждали. Она оказалась необычайно простой. Столь же простой, как квант Планка, и столь же непонятной поначалу. Потому что она еще более резко, чем планковский квант, порывала с предшествующей физикой.

До 1897 года в вопросе о строении атома ясности не было. Атом участвовал в различных химических и физических явлениях, но физики не знали главного — из чего он состоит. В 1897 году английский физик Джозеф Джон Томсон открыл электрон. Теперь кое-что стало проясняться. Электроны находятся в атоме, они вылетают из атомов, имеют отрицательный электрический заряд. Атом же в целом электрически нейтрален. Это означает, что в атоме должен присутствовать положительный заряд, такой же по величине, как и заряд всех атомных электронов. В результате оба заряда нейтрализуют друг друга, и если взглянуть на атом извне, то он как бы не имеет зарядов.

Одно открытие влечет за собой новые вопросы. Если в атоме есть заряды, то как они в нем распределены? Томсон полагает, что атом напоминает по виду любимое английское блюдо — пудинг: в тесто положительного заряда вкраплены изюминки электронов. Что же, такая конструкция атома вполне возможна. Расчеты по электромагнитной теории Максвелла показывают, что она как будто вполне устойчива. Это важный момент: природа, создавая атомы, рассчитала их существование на долгий век!

Но это не единственная возможная конструкция. Другие ученые вслед за Томсоном предлагали иные конструкции атома. В начале нашего века по крайней мере трое из них высказали мысль, что атом может быть похож на Солнечную систему. В нем планеты-электроны могут вращаться вокруг своего солнца — некоего массивного сгустка вещества в центре атома. Но это была лишь *гипотеза*. Думать можно что угодно, а вот поди докажи, что это так на самом деле!

Доказал, что атом действительно не пудинг, а, скорее, Солнечная система, английский физик Эрнест Резерфорд в начале 1911 года. Впрочем, то, что он сделал, трудно назвать поиском доказательств. В то время он занимался явлением, имеющим на первый взгляд отдаленное

отношение к проблеме устройства атома. Резерфорд изучал незадолго до того открытые альфа-частицы, вылетающие из радиоактивных атомов радия. Его интересовало, как они рассеиваются, проходя через различные вещества.

Резерфорд и его сотрудники Гейгер и Марсден поставили на пути альфа-частиц из радиоактивного источника тонкую золотую фольгу, а за нею — флуоресцирующий экран. Этот экран вспыхивал каждый раз в той точке, куда попадала очередная альфа-частица. Долгими днями просиживали в темной комнате Гейгер и Марсден, считая вспышки на экране. А потом им понадобилось изучить, как происходит рассеивание альфа-частиц на большие углы, почти перпендикулярно их исходному направлению. Исследователи поставили экран сбоку от фольги, причем оказалось так, что часть экрана по отношению к источнику находилась перед фольгой.

И тут исследователи неожиданно обнаружили, что альфа-частицы попадают на экран не только за фольгой, но и перед нею! Может быть, они летели туда прямо из источника, минуя фольгу? Тщательная проверка показала, что это невозможно. Источник, закрытый толстой свинцовой защитой, излучать альфа-частицы вбок никак не мог.

Это была сенсация. Пудинговое тесто положительного заряда в атомной конструкции Томсона могло только пропускать энергичные альфа-частицы, но никак не отражать их обратно. Этот факт был так же невероятен, как отскок назад пули, ударившей в тонкий лист бумаги! Снова и снова тщательно проверялся опыт, и в конце концов сомнений уже не оставалось — альфа-частицы отражались атомами фольги назад.

Это явление можно было объяснить лишь тем, что положительный заряд атома не размазан по всему атому, а весь сосредоточен в крошечном объеме, занимающем лишь ничтожную часть атома, — в *атомном ядре*. Именно положительные ядра и отбрасывали назад налетающие на них положительные же альфа-частицы. Электронам оставалось вращаться по орбитам вокруг ядра наподобие того, как планеты вращаются по орбитам вокруг Солнца.

Замечательное открытие! Но почему после кратковременной радости на лицах у Резерфорда и его сотрудников написано еще более мучительное раздумье? Для этого есть веские основания. Электроны не имеют права вести себя подобно планетам по следующей причине.

Движение электрона вокруг ядра — ускоренное движение. А любой ускоренно движущийся заряд должен согласно теории Максвелла испускать сплошной спектр электромагнитного излучения. Даже неважно, какой вид имеет этот спектр. С излучением электрон теряет свою энергию. Причем теряет чрезвычайно быстро: уже спустя ничтожные доли секунды он должен потерять ее целиком и упасть на ядро. Падает один электрон,



ЭРНЕСТ РЕЗЕРФОРД



НИЛЬС БОР

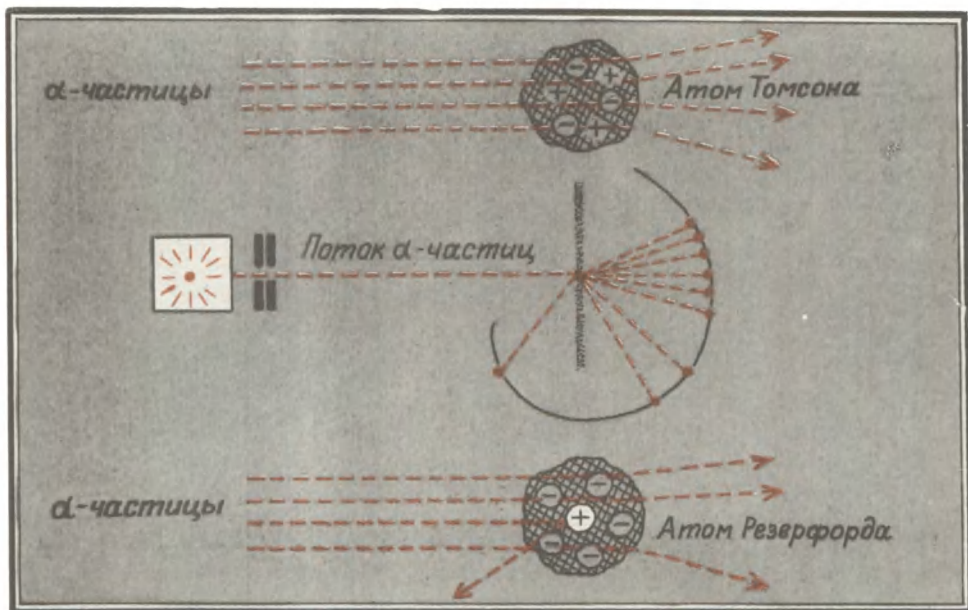
второй, третий... и атом как «конструкция» из ядер и электронов перестает существовать!

Но ведь никто никогда не видел, чтобы атомы погибали за ничтожные доли секунды, послав в пространство крик о гибели — прощальный всплеск электромагнитного излучения! Может быть, ошибочна теория Максвелла? Нет, такую мысль пришлось сразу же отбросить: уже в те годы теория была доказана твердо и неопровержимо.

Незадолго до открытия атомного ядра в лаборатории Резерфорда появился молодой физик-теоретик Нильс Бор, приехавший из Дании. Мучительные попытки Резерфорда спасти планетарную конструкцию атома не могли пройти мимо его внимания. Бор начал размышлять над этой загадкой.

Первый вывод, к которому он пришел: надо запретить излучать электромагнитные волны электрону, вращающемуся на своей орбите вокруг ядра. Но легко сказать — запретить! Конечно, атом тогда сразу станет устойчивым, он сможет существовать хоть вечность. Но как запретить то, чего действительно требует не раз уже полностью оправдавшая себя теория Максвелла?

А вместе с тем электроны в атомах все-таки должны излучать — вспомним линейчатые спектры. Спектры... Бору показалось, что нащупана какая-то дорожка от этих вращающихся электронов к атомным спек-



рам. Может быть, частота спектральных линий просто равна частоте обращения электронов вокруг ядра? Есть в спектре десять линий — значит, электроны как бы вращаются по десяти орбитам, каждый со своей частотой вращения.

Впрочем, эта очень изящная мысль принадлежала не Бору, а другому сотруднику Резерфорда — Никольсону. Бор внимательно проанализировал ее: что-то привлекало его в таком объяснении... Но потом очарование этой мысли пропало. Конечно же, она неверна: электроны непохожи на планеты и в другом отношении. Планеты могут вращаться по любым орбитам. Спектральные же линии как будто говорят, что электроны вращаются вокруг ядра не по любым, а только по таким орбитам, частота вращения на которых задается частотой самих линий. Ну и что из этого следует дальше?

Бор не знал. Орбиты с определенной или с любой частотой вращения — не все ли равно? Они ведь в равной мере неустойчивы, электрон и с тех и с других должен быстро сваливаться на ядро. Как же доказать, что электрон на орбите может не излучать?

В конце концов Бор махнул на доказательство рукой. Ему оставалось только объявить, что запрещение излучения есть бездоказательное утверждение — постулат. Единственное, в чем он был уверен: в атоме существуют такие определенные орбиты, на которых электрон не излучает. Впрочем, *рассчитать* такие орбиты Бор уже мог: достаточно было принять, что на них электрон не меняет своего движения, движется вечно.

Неизвестно, как повернулось бы дело дальше, если бы в начале февраля 1913 года к Бору не зашел его приятель по студенческим временам спектроскопист Хансен. Он внимательно выслушал сбивчивые мысли Бора, не очень-то хорошо понимая их (и сам Бор не слишком им доверял!). А потом задал вполне естественный для спектроскописта вопрос: «А как твоя теория объясняет спектральные формулы?» Спектральные формулы? Бор, конечно, имел представление о спектрах, но вот о спектральных формулах он решительно ничего не знал!

Через несколько дней Бор взял в библиотеке книгу немецкого физика Иоганна Штарка «Принципы атомной динамики», открыл ее, отыскал нужное место. На него смотрела формула Бальмера, перевернутая Рунге и Ридбергом. Как только Бор увидел эту формулу, все прояснилось в его голове, словно в мгновенном озарении!

Все слилось воедино. И раздумья об энергии электронов на атомных орбитах, которую, хотя ей и полагалось теряться, все же не теряли электроны. И давно знакомая формула Планка, связывающая частоту и энергию квантов. Бор, мысленно поставив постоянную Планка перед левой и перед правой частью ридберговой формулы, увидел вот что:

$$h\nu = \frac{hcR}{n^2} - \frac{hcR}{k^2}.$$

Но слева в формуле стоит не что иное, как энергия кванта излучения E (кванта) $= h\nu$. А справа? Справа стоит *разность двух энергий* электрона в атоме. На одной орбите и на другой орбите. *До прыжка и после прыжка с одной орбиты на другую*:

$$E(\text{кванта}) = E(\text{до прыжка}) - E(\text{после прыжка}).$$

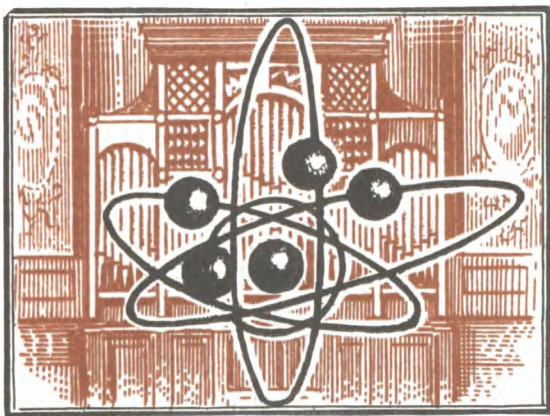
Квант света рождается в момент прыжка электрона между орбитами! Вот почему в формуле Ридберга стоит разность двух членов, двух термов. Рождение спектральной линии связано не с вращением электро-

на по орбите, а с его перескоком с одной орбиты на другую! И каждый терм отвечает энергии электрона на каждой из этих орбит.

Линейчатый спектр атома имеет квантовый характер! Один перескок электрона — и появляется один квант. И сплошной, и линейчатый спектр по своей сущности одинаковы — и там и здесь кванты. Любое излучение состоит из квантов. Вот когда Бор получил могучий толчок для дальнейшего продвижения в тайны спектров и строения атома!

Нет, свой постулат о запрещении излучать электрону на орбите он доказать так и не смог. Доказательство пришло только спустя десятилетие. Но он извлек из этого постулата все, что можно было. Исходя из квантового характера электронных орбит, он рассчитал набор таких *допустимых* орбит, на которых электрон может кружиться хоть вечно, не излучая электромагнитных волн. Выяснив, какие орбиты разрешены электрону, чтобы на них он не излучал, Бор вычислил значение постоянной Ридберга в формуле Бальмера — величины R . И результат вычисления оказался в полнейшем согласии с тем, что дали наблюдения линейчатых спектров. После этого сомнений в справедливости теории Бора не осталось.

«Огромное и непредвиденное расширение нашего понимания вещей» — так писал Бор в день своего озарения. Да, он понимал гигантскую значимость своего открытия — и для физики спектров, и для физики атома. Разрешенные энергии — *энергетические уровни* — электронов в атомах, *квантовые переходы* между этими уровнями, при которых рождаются *кванты излучения*, — эти представления совершили революцию в физике нашего столетия.



МУЗЫКА АТОМОВ

Впоследствии Эйнштейн назвал теорию Бора «высшей музыкальностью в области мысли». Как понимать эту загадочную фразу? Смысл ее довольно прост.

Жил в Древней Греции философ и математик Пифагор, который учил, что миром правят целые числа. Разгадка гармонии небесных сфер, упорядоченного движения планет, равно как и разгадка гармонии музыкальных звуков — музыки небесной и земной, — считал Пифагор, заключена в простых соотношениях целых чисел.

Небеса не дали строгого подтверждения мысли Пифагора. Хотя все же очень странно, что радиусы орбит планет Солнечной системы следуют

закономерности, в которой оставляют след целые числа. Эту закономерность обнаружил в конце восемнадцатого века немецкий ученый Даниэль Тициус, и до сих пор она остается непонятой. Орбиты планет в принципе могут быть любыми, небесная механика не накладывает на них никаких ограничений. Почему они оказались такими, а не иными, пока что толком неизвестно.

Но вот в музыке мысль Пифагора получила замечательное подтверждение. Во всех гармонично звучащих, благозвучных сочетаниях музыкальных тонов их частоты относятся друг к другу как небольшие целые числа: в октаве как 2:1, в квинте 3:2, в кварте 4:3, в большой терции 5:4, в малой терции 6:5.

Музыку и цвет уже давно пытались сопоставлять друг с другом. Семь нот музыкальной гаммы — и семь цветов радуги. Семь нот образуют октаву, в которой высота верхнего тона вдвое выше высоты нижнего тона. А высоты — это частоты. Но и видимый сплошной спектр занимает почти одну октаву: примерно от 3800 до 7700 ангстрем!

Аналогия, впрочем, на этом и кончается. Диапазон слышимых звуков составляет не одну, а несколько октав. Семь цветов имеют иное соотношение частот, чем в музыкальной гамме; квинт, кварт и терций из них не образовать: глаз работает совсем не так, как ухо.

Но теперь неожиданно оказалось, что мир линейчатых спектров тоже управляется целыми числами! Эти числа появились в формулах спектральных серий. Например, $k=3, 4, 5, 6$ и так далее в серии Бальмера — это ведь просто порядковые номера разрешенных орбит электрона в атоме. Пусть из орбит не удалось сделать звучащие струны спектроскопии. Пусть Бор во имя существования атома запретил электрону излучать на орбитах и разрешил им это делать только при переходах с орбиты на орбиту. Все равно музыка атома, хотя и намного более сложная, чем это казалось вначале, зазвучала в спектральных сериях.

Бальмер не дожил до того дня, когда выяснилось, что обнаруженная им серия в спектре атома водорода — не единственная в этом спектре. Американец Лайман в 1906 году открыл другую серию, для которой число n было равно единице. А спустя два года немецкий физик Пашен обнаружил еще одну серию с n , равным трем. Впоследствии были найдены и другие серии спектра водородного атома с более высокими числами n .

Теперь, после открытия Бора, в этих сериях удалось легко разобраться. Серия Лаймана рождалась при переходах электронов на самый низкий уровень энергии ($n=1$) со всех более высоких уровней энергии ($k=2, 3$ и так далее). Серии Бальмера соответствовали переходы электронов на второй уровень энергии ($n=2$), опять же со всех еще более высоких уровней ($k=3, 4$ и так далее). Наконец, серию Пашена атом водорода излучал при электронных переходах на третий уровень энергии ($n=3$) с уровней, занумерованных $k=4, 5$ и так далее.

Обратите внимание: здесь не существенно, какой вид имеет орбита электрона в атоме, как она пролегает относительно ядра. Сейчас важно лишь, какую *энергию* имеет электрон на орбите. Она не любая, а строго определенная, иначе вместо узких линий атом излучал бы сплошной спектр с бесконечным набором частот. Вместо рисунка электронных орбит в пространстве физики обратились к рисунку, на котором изображено расположение разрешенных электрону энергий в атоме. Именно в нем крылась разгадка спектров. И в свою очередь наблюдаемые линейчатые спектры стали ключом к определению уровней энергии электронов в атомах.

Эти уровни оказались не любыми, а *квантованными*. Если их расположить не один над другим, а рядышком, то уровни энергии выстроятся в лестницу. Действительно, лестница: повиснуть между ее ступеньками электрон при прыжках в атоме не может, как и пешеход на обычной лестнице.

Но, если приглядеться, видно, что эта лестница не совсем обычная. Ступеньки ее по мере подъема сближаются. Так обычно мы видим лестницу, когда стоим у ее подножия. Но здесь это обман зрения, вызванный перспективой, а в атоме ступеньки энергетической лестницы действительно сближаются, пока практически не сольются.

Обратим внимание еще вот на что. Лестница уровней энергии электрона в атоме не бесконечно высока, хотя самая последняя ступенька ее имеет номер n , равный бесконечности. При прыжке с нее на ступеньку с $n = 1$ должен возникать квант с самой большой энергией, самой большой частотой, а значит, самой короткой длиной волны. Это край спектра атома, точнее, край самой коротковолновой его серии — серии Лаймана для атома водорода. Такие же края имеют серии Бальмера и Пашена.

Что за этими краями? А ничего. Электрон за последней ступенькой лестницы энергий вырывается из плена атомного ядра и в излучении линейчатого спектра атома перестает участвовать. Покидая атом, электрон превращает его в положительно заряженный *ион*. Та минимальная энергия, которую надо сообщить электрону, чтобы он покинул атом, называется *энергией ионизации*.

Именно: «сообщить электрону». Электрон может занимать в принципе любую атомную орбиту. Но будет ли он находиться на ней в действительности — это другой вопрос. Электрон в атоме, как и все тела в мире, стремится занять такое положение, при котором его потенциальная энергия имеет наименьшее значение. Это положение — самое устойчивое.

Потенциальная энергия электрона в атоме минимальна, когда электрон находится на ближайшей к атомному ядру орбите. Вполне естественно, что электрон стремится оказаться поближе к ядру своего атома. Как же он тогда оказывается на более удаленных от ядра орбитах, где обладает большей потенциальной энергией?

А его туда забрасывают. Способов забрасывания может быть много, и мы уже знаем их. Прежде всего — нагревание вещества, например, в пламени газовой горелки. Другой способ — это электрический разряд в газе. Третий — это освещение вещества. Несмотря на большое различие всех этих способов, во всех них в конечном счете происходит одно и то же: электронам передается энергия, достаточная для их переброски на более высокие уровни. А оттуда они уже сами, повинувшись стремлению к более устойчивому положению, «спрыгивают» на орбиты с меньшей энергией. И при этом отдают излишек своей энергии в виде квантов. Тогда-то и возникают линейчатые спектры излучения.

А теперь возьмем какое-либо вещество и нагреем его до высокой температуры. Естественно, что в нем на уровнях с большой энергией окажется много электронов и соответственно излучение его атомов окажется сильным. Нагреем то же вещество до меньшей температуры — оно тоже будет испускать свет, но слабее.

Поставим более холодное вещество на пути излучения от более горячего. Кванты излучения, поглощаясь в более холодном веществе, будут тратить свою энергию на переброску электронов в его атомах на более высокие уровни. Но уходить с этих уровней электроны вовсе не обязаны

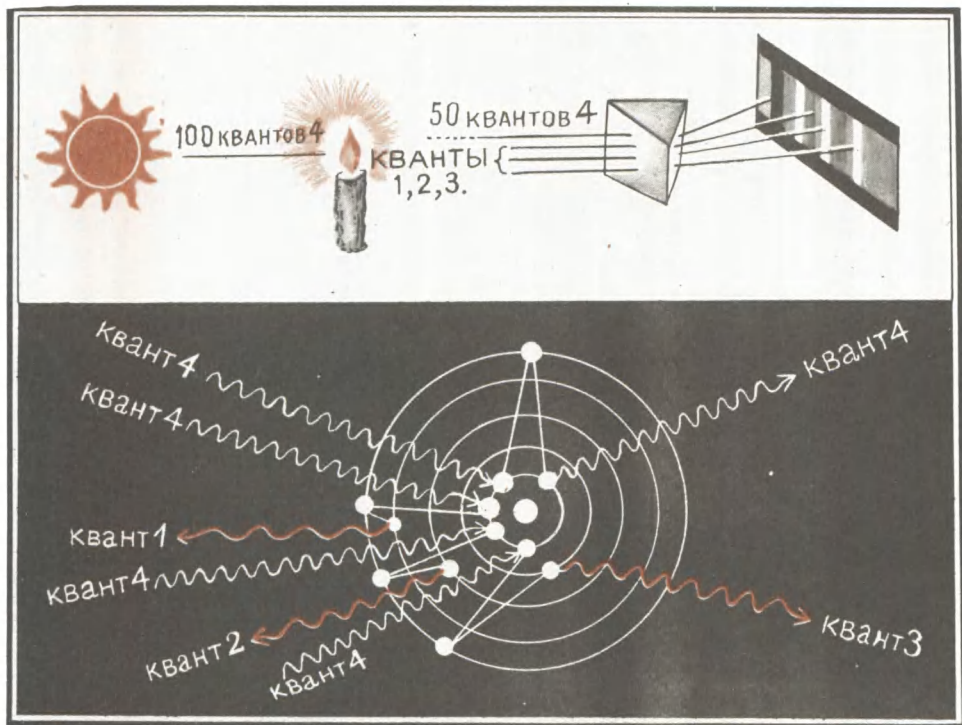
тем же путем, каким на них пришли. Пусть, например, электрон заброшен квантом с уровня $n=1$ на $k=5$, для чего понадобился, условно говоря, квант $k-n=4$. Уйти с уровня $k=5$ электрон может на уровни $n=4$, $n=3$ и $n=2$, а не только на $n=1$. Поэтому наряду с квантом 4 могут родиться также кванты 1, 2 и 3, энергии и частоты у которых будут меньше, чем у кванта 4.

В результате, скажем, на сотню упавших на более холодное вещество квантов 4 оно ответит *меньше* чем сотней излученных таких же квантов (остальные излученные кванты будут иметь меньшую энергию). Что это означает? А то, что в спектре более горячего вещества на месте частоты кванта 4 появится провал — темная линия поглощения.

Уберем более горячее вещество, и теперь будут видны только кванты от более холодного вещества, в том числе и кванты 4. Но теперь, естественно, на соответствующем месте в спектре будет светлая линия излучения.

Теория Бора, таким образом, описала не что иное, как обращение спектральных линий! Кирхгоф за полвека до Бора объяснил это обращение, используя только термодинамику, объяснил лишь *в принципе*. А теория Бора описала *конкретный механизм* этого явления, а заодно объяснила, почему линии поглощения расположены в спектре там же, где и линии испускания. Ведь не важно, где находится атом — в излучающем или поглощающем веществе. И там и здесь он один и тот же, одинаковы и его уровни энергии, а значит, одинаковы испускаемый и поглощаемый кванты.

В том же 1913 году универсальный квантовый характер происхождения спектров получил еще одно замечательное подтверждение. Интересно,



что авторы нового открытия — немецкие физики Джеймс Франк и Густав Герц — тогда ничего не знали о работе Бора. Явление, которое они исследовали, уже знакомо нам. Его давно использовали физики, возбуждая спектры газов электрическим разрядом. Но Франк и Герц не только исследовали спектр, они еще измеряли энергию электронов в разрядной трубке, в которой газ находился под низким давлением.

Оказалось, что это измерение энергии имеет большой смысл. Электроны, участвующие в разряде, сталкиваются с атомами газа в разрядной трубке. При этом происходят различные явления. При столкновениях из атомов газа могут вылетать электроны. Возникает ионизация атомов.

Но Франк и Герц обнаружили и другое, совершенно неожиданное явление. В спектре ртутных паров, с которыми они работали, была видна яркая линия с длиной волны около 2500 ангстрем. (Собственно говоря, слово «яркая» здесь использовано несколько условно: наблюдаемая линия лежала за пределами видимого спектра, она была ультрафиолетовой и регистрировалась на фотопластинке. Кстати, именно эта линия вызывает загар или убивает микробов при облучении кварцевой лампой.) И одновременно в газе появились электроны с меньшей энергией, чем им полагалось бы, судя по напряжению на электродах разрядной трубки.

Бралось, допустим, напряжение 20 вольт. Тогда электроны должны были бы иметь энергию 20 электрон-вольт. (Маленькое замечание. Энергия электрона равна произведению его заряда на разность потенциалов, которую он прошел. Для ее измерения в атомной физике используется специальная единица — электрон-вольт. Она очень маленькая — около триллионной части такой небольшой единицы, как эрг.) Между тем в газе наблюдалось много электронов с энергией около 15 электрон-вольт.

Франк и Герц решили, что эти электроны потеряли часть своей энергии на выбивание атомных электронов — на ионизацию атомов ртути. Но по расчетам Бора на ионизацию атомов ртути должно было идти не 5 электрон-вольт, а по крайней мере вдвое больше. До теории Бора над загадкой возникновения электронов, потерявших именно 5 электрон-вольт, можно было бы долго биться. Теперь же разгадка пришла быстро.

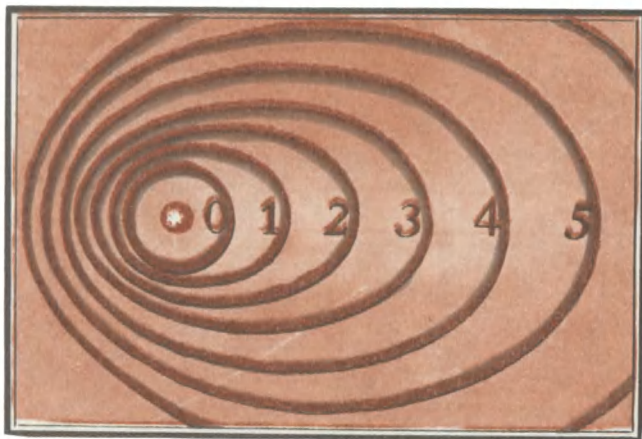
Бор догадался связать появление менее энергичных электронов в газе с излучением атомами газа ультрафиолетовой линии. Он пересчитал длину волны этой линии в частоту, частоту — в энергию, и тогда оказалось, что энергия отвечающих ей квантов как раз составляет 5 электрон-вольт.

Совпадение могло означать только одно. Электроны в атомах ртути при столкновении со свободно движущимися электронами, осуществляющими разряд в трубке, отбирают у них энергию 5 электрон-вольт, нужную не для ионизации, а для подъема на более высокий уровень энергии. А с этого уровня электроны уже сами переходят на исходный уровень, высвечивая в ультрафиолетовой спектральной линии заимствованную ими ранее энергию.

Теперь уже не могло быть никаких сомнений в универсальности квантовых переходов электронов в атомах. Прошло немного времени, и это было признано всеми учеными. Оставалось как будто немного: объяснить положения всех линий в спектрах и наблюдаемые их яркости.

Эта работа продолжается и по сей день. Но главное было сделано за первые 12 лет, прошедших после появления работы Бора.

АТОМ И ЦЕЛЫЕ ЧИСЛА



Открытия, сенсации... Их дух постоянно витает над наукой, — но только в глазах неискушенных ее любителей. Люди же, сделавшие науку своей профессией, знают, что основное время ученого занимает незамечная, кропотливая, трудоемкая работа по накоплению фактов, их описанию, упорядочению. Прежде чем появится теория, круто ломающая спокойное движение науки — а такое случается очень редко! — надо навести порядок в фактах, расставить их по полочкам.

Пожалуй, ни к одной области науки это не относится так, как к спектроскопии. Сотни различных атомов и ионов, тысячи разных молекул неживой (неорганической) и миллионы молекул живой (органической) природы. И все спектральные линии миллионов веществ нужно расставить по местам, объяснить их происхождение — иными словами, построить лестницы энергетических уровней, установить, как электроны располагаются на ступеньках этой лестницы.

Для этой цели физики создают *формальные модели* атомов и молекул. Почему их так называют? Прежде всего потому, что определять поведение атомов и молекул физикам легче, сводя многообразные проявления их жизни к нескольким довольно простым математическим правилам. За этими правилами стоят более глубокие и намного более трудные для восприятия законы.

В задачах физики атома вовсе не всегда нужно помнить, какие глубокие квантовые законы регулируют жизнь электронов в атомах. Часто можно ограничиться лишь несколькими числами и несложными правилами обращения с ними. Эти числа получили название *квантовых чисел*: после появления теории Бора стало ясно, что атом имеет квантовую сущность. Квантовые числа позволяют описывать энергетические уровни электронов в атомах и молекулах — от самых простых до самых сложных. Именно это нам сейчас нужно, так как положения уровней энергии и определяют положения линий в спектрах.

Формальная модель атома может показаться любителям научных сенсаций немножко скучной. Но что делать! Тут весьма кстати придется пословица: любишь кататься, люби и саночки возить. Тем более, что мы уже начали «возить саночки». Как знать, не открой Бальмер свою формулу для серии в спектре атома водорода, не попадись она на глаза Бору, сколько лет еще не было бы самого объяснения происхождения линейчатых спектров.

Число n (как и число k) в формуле Бальмера было первым квантовым числом, с которым мы познакомились. Оно, по предложению Бора, называется *главным* и соответствует движению электрона вокруг атомного ядра по окружности.

Но устойчивое движение одного тела вокруг другого возможно и по другим орбитам. Планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам. В планетарной модели атома Резерфорда электроны тоже могут двигаться вокруг ядра по эллипсам. Эти эллипсы могут быть разными, быть более или менее сплюснутыми или вытянутыми, но и эта форма, как оказалось, не любая, а тоже квантована.

Набор допустимых эллипсов для каждой окружности (каждого значения числа n) нашел через два года после работы Бора немецкий физик-теоретик Зоммерфельд. Степень их вытянутости он охарактеризовал *орбитальным* квантовым числом, которое обозначил буквой l . Это число может принимать целые значения от нуля до $n-1$. Значение l , равное нулю, соответствует окружности с данным n — той самой окружности, которую нашел Бор.

Отсюда видно, что, например, для $n=1$ может быть только одна орбита электрона — окружность с $n=0$. Для $n=2$, помимо окружности с $l=0$, может быть еще и эллиптическая орбита с $l=1$. Для $n=3$ возможны окружность с $l=0$, эллипс с $l=1$ и еще один, более вытянутый эллипс с $l=2$. И так далее.

Но разные орбиты — это разные энергии электрона в атоме. Оказалось, что по энергии электрона разные эллипсы, входящие в семейство для одной окружности (одно n , но разные l) различаются меньше, чем две соседние окружности с разными значениями n . Положение выглядит так, словно уровень энергии с данным значением n расщепился на $n-1$ *подуровней* с разными значениями l .

Пойдем дальше и учтем другие факты. В 1896 году голландский физик Зееман обнаружил явление, которое доставило бы радость Фарадею, доживи он до этого дня. Фарадей искал сильное действие магнитного поля на свет, Зееман же его обнаружил. Когда пламя с введенными в него веществами помещалось в магнитное поле, спектральные линии расщеплялись каждая на несколько линий.

С точки зрения физики движение электрона по орбите в атоме есть замкнутый электрический ток. Он в принципе ничем не отличается от тока в обмотке электромотора. Известно и то, что если в электромоторе создать магнитное поле (пропуская электрический ток через его неподвижную обмотку — статор), то подвижная обмотка — ротор — начнет вращаться.

Таким ротором и является электронная орбита в атоме. Однако, в отличие от настоящего ротора, ее движение опять же квантовано. По отношению к направлению приложенного извне магнитного поля орбита электрона может занимать только некоторые определенные положения. Эти положения таковы, что проекция диаметра орбиты на направление магнитного поля равна снова целому числу.

Такое число естественно назвать *магнитным* квантовым числом. Оно обозначается буквой m и принимает значения от нуля до l и от нуля до $-l$, всего $2l+1$ значение (включая нуль). Происхождение отрицательных значений m легко понять. Виток электронной орбиты может поворачиваться относительно магнитного поля как по часовой стрелке, так и против нее.

об обозначениях уровней. Первой в обозначении ставится цифра, равная значению n : 1, 2, 3 и так далее. После нее ставится латинская буква, обозначающая значение l . Числам $l=0, 1, 2, 3$ и так далее соответствуют буквы s, p, d, f и так далее.

Рассмотрим теперь знаменитые желтые D -линии натрия, которые привели к открытию спектрального анализа. В своем наиболее устойчивом (или, как его еще называют, *невозбужденном*) состоянии атом натрия находится на уровне энергии $3s$. Если электрон перебросить на уровень $3p$, то по возвращении на уровень $3s$ электрон и излучит D -линию. Но мы уже знаем, что на самом деле это не одна линия, а линии-близнецы D_1 и D_2 . Почему? Пока подождем отвечать на этот вопрос.

Поместим пламя, в которое ввели поваренную соль, в магнитное поле. Верхний уровень $3p$ имеет $l=1$, а значит, в магнитном поле должен расщепиться на $2l+1=3$ подуровня. Нижний уровень для перехода электрона $3s$ имеет $l=0$, а значит, не расщепляется вовсе ($2l+1=1$). Таким образом, казалось бы, должны быть 3 линии.

Даже если считать, что мы уже ответили на первый вопрос и объяснили, почему вместо одной получаются две линии в отсутствие магнитного поля, перед нами тут же встает второй вопрос. Расщепление в магнитном поле должно дать 3 линии (компоненты) и для D_1 и для D_2 . На самом же деле линия D_1 расщепляется на 4, а D_2 — на 6 компонент. Почему?

Пока что формальная модель атома не ответила нам ни на один из этих вопросов. Видимо, чего-то в ней не хватает. Но чего? Над этой загадкой напряженно размышлял ученик Зоммерфельда швейцарский теоретик Вольфганг Паули. Размышлял неотступно, днем и ночью, дома и на улице. Вероятно, при этом у него был достаточно несчастный вид. Как-то его остановила на улице сердобольная дама и участливо спросила, в чем состоит его горе. Легко себе представить изумление доброй дамы, когда Паули ответил: «Мадам, я не могу понять эффект Зеемана!»

В конце концов Паули все-таки додумался до объяснения. Оно не только полностью ответило на перечисленные выше вопросы, но и имело важнейшее значение для всей современной физики. Паули открыл новое квантовое число для электрона.

Формальная модель атома дает для перехода электрона с уровня $n=3, l=1$ на уровень $n=3, l=0$ одну спектральную линию. Но на самом деле их две. Значит, должно быть по крайней мере два верхних уровня $3p$. И, значит, должно быть какое-то дополнительное квантовое число, которое отличает один верхний уровень от другого.

Это число должно, очевидно, принимать только два значения. Паули рассчитал, что эти значения равны $+1/2$ и $-1/2$. Происхождение его оставалось загадочным лишь один год. В 1925 году физики Уленбек и Гаудсмит предположили, что электрон, помимо своего обращения вокруг атомного ядра, еще и сам вращается. Это сходно с вращением планет и вокруг Солнца, и вокруг собственной оси.

Но дальше этого внешнего сходства дело не идет. Обращение электрона вокруг ядра, пусть даже квантованное, а не произвольное, все же можно себе представлять как вращение одного шарика вокруг другого, вернее, точки вокруг шарика. Ибо в квантовой физике у электрона нет размеров. Это трудно здесь объяснить, и в это придется поверить. Но как тогда понимать вращение точки вокруг своей оси?

Физикам пришлось признать, что наглядного представления собственному вращению электрона дать никак нельзя, о чем, кстати, постоянно

говорил сам Паули. Уленбек и Гаудсмит присвоили этому вращению название *спин* (от английского «волчок»). Спин и дал название четвертому — *спиновому* — квантовому числу.

Интересно, что Паули и ряд других ведущих физиков вначале не поверили в открытие «вращающегося электрона» Уленбеком и Гаудсмитом. Лишь после целого года напряженных дискуссий физиков-теоретиков спин и связанное с ним квантовое число получили права гражданства в науке.

Спиновое число оказалось исключением — единственной половинкой в пифагоровски стройной системе целых чисел, характеризующей уровни энергии атома. В зависимости от того, как спиновое движение электрона ориентировано относительно орбитального, спиновое число s может быть либо положительным, либо отрицательным. Соответственно сумма орбитального и спинowego чисел равна $l + 1/2$ либо $l - 1/2$. Эта сумма называется *полным* квантовым числом и обозначается буквой j . Остается лишь добавить, что в магнитном поле каждый уровень расщепляется теперь уже не на $2l + 1$ подуровней, как считали раньше, а на $2j + 1$ подуровней.

А теперь смотрите, что получается. Верхний уровень энергии $3p$ в атоме натрия из-за электронного спина расщепляется на два, с $j = 1 + 1/2 = 3/2$ и $j = 1 - 1/2 = 1/2$. (Нижний уровень $3s$ при этом не расщепляется, так как для него $l = 0$ и ориентировка спинowego движения может быть произвольной. В отсутствие орбитального движения электрона по эллипсу ее не с чем сравнивать.) В результате вместо одной D -линии появляются две — долгожданный дублет линий D_1 и D_2 .

Внесем теперь атом натрия в магнитное поле. В нем верхний подуровень с $j = 3/2$ расщепится на $2j + 1 = 4$ компоненты с разными значениями магнитного квантового числа m , принимающего теперь значения от $+j$ до $-j$ через единицу, а именно $3/2, 1/2, -1/2$ и $-3/2$. Верхний же подуровень с $j = 1/2$ расщепится на $2j + 1 = 2$ компоненты с $m = 1/2$ и $-1/2$. Нижний подуровень с $j = 1/2$ расщепится на те же 2 компоненты (теперь появилось то, относительно чего можно определять ориентировку спинowego движения, — направление магнитного поля). Остается лишь скомбинировать возможные подуровни для электронных переходов и при этом учесть, что число m в переходе не может изменяться по абсолютной величине более чем на единицу. Тогда комбинируются три с двумя подуровнями для линии D_2 и два с двумя подуровнями для линии D_1 . Это и дает $3 \times 2 = 6$ компонент линии D_2 и $2 \times 2 = 4$ компоненты линии D_1 , в полном согласии с наблюдениями.

Арифметика обращения с квантовыми числами, как видим, довольно проста, но за нею стоит «высшая математика» того смысла, который скрыт в квантовых числах. Сорок лет, прошедших между открытием главного квантового числа Бальмером и открытием спинowego квантового числа Паули, были наполнены глубокой мыслительной работой теоретиков в мире, утрачивающем последние остатки кажущейся наглядности, присущей старым неточным моделям атома.

В том же году, когда в физику был введен спин, выяснилось, что на самом деле никаких электронных орбит в атоме нет и не может быть! Движение электрона в атоме оказалось намного сложнее, чем его представляли себе и Резерфорд и Бор.

О новых представлениях мы расскажем позже. А пока отметим, что сам спин уже вовсе не нагляден. Вращение точки, не имеющей размеров! И, что интересно, спин есть у каждого электрона, а не только

у электрона в атоме. Спином обладает не только электрон, но и множество других частиц в атомном мире. Спин есть даже у квантов.

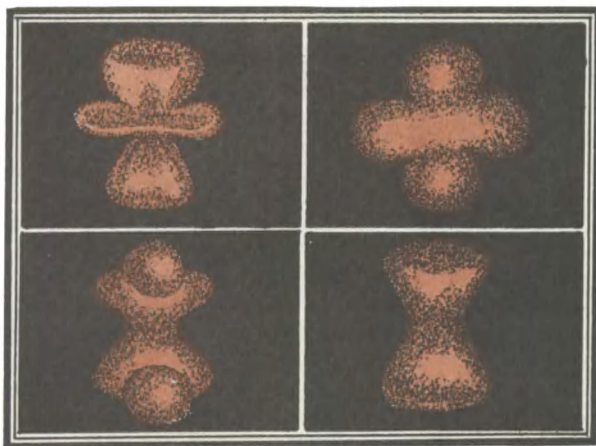
А вот что такое спин — подобного вопроса лучше не задавать. Иначе физикам пришлось бы отвечать на вопросы, что такое электрический заряд, масса частиц и даже что такое пространство, что такое время. Дело не в том, что физики не знают ответа на такие вопросы. Они и не собираются на них отвечать, а если и отвечают, то шутливо, например: «Заряд — это заряд!»

Спин, масса, заряд, пространство, время — это основополагающие понятия современной физики. Понятия, которые через другие, еще более широкие, сегодня не выражаются. А если когда-нибудь выяснится, что за ними стоит нечто, через что их можно выразить, нечто еще более глубокое и фундаментальное, тогда ведь все равно найдется кто-нибудь и спросит: «А что такое это нечто?»

Но мы немного отвлеклись в сторону. Проглядите снова прочитанное в этом разделе и обратите внимание: как много нового «наросло» на модель Бора для электронных переходов в атоме за какие-нибудь десять лет после ее появления!

Формальная модель атома позволила объяснить практически все основные закономерности расположения линий в атомных спектрах. Потом эту модель расширили так, чтобы объяснить расположение линий в значительно более сложных молекулярных спектрах. Естественно, для молекул она оказалась еще труднее по своей физической сущности. Здесь мы не будем ее описывать. Перед нами стоит еще один чрезвычайно важный вопрос — объяснение *яркостей* наблюдаемых спектральных линий.

СПЕКТРЫ И ЗАКОНЫ СЛУЧАЯ



Этот раздел будет, пожалуй, самым трудным в нашей книге. Не только потому, что в нем будет рассказано о сложных вопросах, над которыми еще полвека назад ломали голову самые выдающиеся физики мира. А главным образом потому, что об этих вопросах придется рассказывать на нескольких страницах, не приводя никаких доказательств правильности полученных ответов. Вам придется многое из сказанного принять на веру или прочитать другие книги, в которых о новых представлениях атомной физики рассказано более подробно и доказательно.

В 1924 году французский физик Луи де Бройль высказал совершенно парадоксальные, даже для тогдашних смелых физиков, мысли о природе движения атомных частиц. Коротко говоря, де Бройль предположил, что свойства электронов и других частиц в принципе ничем не отличаются от свойств квантов!

Рассказывая о планковском кванте, мы говорили, что его можно пытаться представлять себе в виде «пакета волн», который в одних явлениях проявляет себя как волна, а в других — как частица. Например, кванты проявляют волновую природу в явлениях дифракции, интерференции, а корпускулярную природу — в явлении фотоэлектрического эффекта.

Из мысли де Бройля следовало, что электроны и другие частицы должны проявлять также волновые свойства, что должна наблюдаться, например, дифракция электронов. И она была действительно обнаружена на опыте в 1927 году американскими физиками Дэвиссоном и Джермером.

Но еще до проведения этого решающего опыта встал вопрос, как, собственно, представлять себе электронную волну. Сначала казалось, что электрон, наподобие кванта, выглядит как волновой пакет. Однако вскоре выяснилось, что так представлять себе его нельзя. В отличие от кванта электронный пакет волн чрезвычайно быстро расплывался в пространстве, электрон размазывался, как кусок масла, брошенный в кипящую воду. В результате представление об электроне в виде волнового пакета пришлось отбросить. Электрон в силу своих волновых свойств — не точка и не пакет волн, а, скорее, облачко, в той или иной степени размазанное в пространстве.

Де Бройль нашел и соотношение, определяющее длину волны для движущегося электрона и других частиц:

Длина волны (λ) = постоянная Планка (h)/произведение массы частицы (m) и ее скорости (v).

Отсюда сразу можно сообразить, что, поскольку постоянная Планка очень мала, то малой должна быть и длина волны сколько-нибудь массивной частицы. Это действительно так. Например, длина волны небольшого камешка, брошенного со скоростью около метра в секунду, составляет величину порядка 10^{-30} сантиметра. Конечно, такую ничтожно малую длину волны никак не зарегистрировать, а потому и камешек ведет себя как настоящая частица.

Двойственное поведение можно обнаружить лишь у атомных частиц, массы которых по порядку величины столь же малы, как сама постоянная Планка, — например, у электронов. Один из примеров такого поведения — отсутствие у движущихся в атоме электронов орбит, которые были бы похожи на орбиты, описываемые планетами вокруг Солнца.

Бор, как мы помним, запретил электрону излучать на орбитах, но обосновать свой запрет не смог. Теперь, с открытием волновых свойств электрона, это удалось сделать самому же де Бройлю. Он выяснил, что на длине окружности боровской орбиты, по которой движется электрон в атоме, укладывается *целое число* электронных волн. На орбите, которой отвечает главное квантовое число $n=1$, — одна волна, на орбите с $n=2$ — две волны и так далее.

Орбита снова стала чем-то напоминать свой музыкальный образ — колеблющуюся струну. Но что означает целое число волн, укладываемых на струне? То, что на струне образовалась *стоячая*, неподвижная волна.

84 Между тем физикам давно уже было известно, что из стоячей волны



энергия не уходит. В этом и состояла разгадка того, что электрон на разрешенной ему орбите не теряет энергии на излучение.

Но сама орбита при этом исчезла. Ведь нелепо спрашивать, в каком месте своей волны находится электрон. Во всех местах, во всем том размытом облачке, в которое превратилась прежняя его орбита. И единственное, что можно сказать, — это то, что в одних местах атомного пространства электронное облачко гуще, а в других — разреженнее.

Другими словами, если искать электрон в атоме, то вероятность встретить его в одних местах больше, чем в других. Указав на какое-либо место в атоме, мы можем, например, обнаружить здесь электрон в 50 атомах из 100, то есть с вероятностью $1/2$, а в другом месте — в 1 атоме из 100, то есть с вероятностью $1/100$. Вместо орбиты получилось *облако вероятностей* местонахождения электрона в атоме.

Нет ничего страшного в том, что теперь мы не в состоянии указать точное местоположение электрона в атоме. Да оно нас и не должно интересовать. Как мы помним, чтобы определить положение спектральной линии — ее частоту или длину волны, — нам нужно было знать только энергию электрона на орбитах до и после его перехода. От того, что орбиту пришлось заменить облаком вероятностей, энергия электрона нисколько не изменилась.

Но зато мы получили возможность рассчитывать яркости спектральных линий, чего теория Бора не умела.

В самом деле, от чего зависит эта яркость? Очевидно, от того, как часто переходят электроны в атомах с одного уровня энергии на другой, излучая линию с данной длиной волны. А как часто переходят электроны, это в свою очередь зависит от того, во скольких атомах электроны находятся на верхнем уровне энергии перед переходом (куда они были предварительно заброшены) и с какой вероятностью каждый из них переходит обратно, на нижний уровень, за определенное время.

В распоряжении Бора была только теория вероятностей для теплового излучения, для сплошного спектра нагретых тел. Там задача была проще: сколько тепла подводилось к веществу, столько и излучалось, было, как говорят физики, равновесие, осцилляторы излучали равномерно на всех частотах.

В линейчатых же спектрах нет и следа от сплошного набора частот, нет и равновесия. Это видно хотя бы из того, что линейчатый спектр может возникать при свечении холодного газа в разрядной трубке.

Поэтому если говорить строго, то расчет яркостей линий по теории сплошного спектра сделать нельзя.

Но Бор все же попытался провести такой расчет. Он рассуждал так. На самом вершине лестницы уровней энергии ступеньки очень близки друг к другу и располагаются очень часто. При переходах электронов между этими уровнями должен получаться спектр, почти не отличающийся от сплошного. Большое сходство обоих спектров должно позволить рассчитывать яркости линий для верхних уровней по теории сплошного спектра. А затем уже можно попытаться применить такой же расчет и для линий нижних уровней.

Увы, этим надеждам не суждено было в полной мере сбыться. В одних случаях согласие расчета с опытом получалось хорошим, в других — из рук вон плохим. Наверху энергетической лестницы расчет мог давать вполне удовлетворительные результаты, а при спуске вниз теория и опыт резко расходились. Пришлось отложить объяснение яркостей спектральных линий до лучших времен.

Эти времена наступили спустя несколько лет, когда для описания положения электронов в атомах стали использовать облака вероятности. Теперь сам переход между уровнями энергии выглядит так. Облако вероятности, соответствующее бывшей верхней орбите, занимает некоторую область в атомном пространстве. Занимает некоторую область и облако, заменившее прежнее представление о движении электрона на бывшей нижней орбите. Обе эти области в какой-то мере перекрываются.

Что это означает? А то, что электрон можно с определенной вероятностью обнаружить и в верхнем и в нижнем облаках одновременно, причем именно там, где оба облака проникают друг в друга. Чем сильнее перекрываются оба облака, тем эта вероятность больше. Но вероятность обнаружить электрон и здесь и там можно истолковать как вероятность электронного перехода с одного уровня энергии на другой! Когда физики научились рассчитывать форму и плотность электронных облаков и отсюда определять, как они перекрываются, вычисление вероятности электронного перехода стало, что называется, лишь делом техники. Но это было еще не все.

Надо было еще знать, в скольких атомах электроны оседают на верхнем уровне перед переходом. В свою очередь эта доля атомов зависит от способа, каким электроны в них забрасываются на верхний уровень, — то ли в результате колебаний атомов при нагревании вещества, то ли в результате поглощения квантов при освещении вещества, то ли, наконец, в результате встряски атомов при их столкновении с электронами в газоразрядных трубках. Удалось во многих случаях вычислить и эти количества электронов, накопившихся на верхних уровнях перед переходом.

И результатом такого расчета явилось полное теоретическое описание линейчатых спектров — и положений спектральных линий, и их яркостей. Причем такое описание, как правило, хорошо согласовывалось с наблюдениями линейчатых спектров.

После этого нам остается ответить лишь на два вопроса. Первый из них касается происхождения полосатых спектров. А второй вопрос такой. Спектральная линия характеризуется одной частотой или длиной волны. Почему же в таком случае линии не являются бесконечно узкими, а имеют конечную, нередко даже значительную ширину?

Лучше начать с ответа на второй вопрос. Точный ответ очень интересен, но вместе с тем и очень непросто. Поэтому мы сразу приведем то заключение, к которому пришли физики. Чем меньше времени про-

водит электрон на верхнем уровне до перехода, тем более «размыты» значения энергии, отвечающие этим уровням, вместо одной энергии теперь получается целая полоса энергий. А «размытость» энергий, естественно, отражается на ширине спектральных линий.

Есть и другая причина расширения линий. Если в источнике света атомы движутся хаотически с разными скоростями относительно наблюдателя, то возникнут доплеровские смещения их частот как в фиолетовую, так и в красную стороны спектра. Обычно такие хаотические скорости, вызванные тепловыми движениями, много меньше скорости света, и самые большие смещения линий не очень велики. Но они занимают все же некоторую область частот. В результате линия будет уширяться.

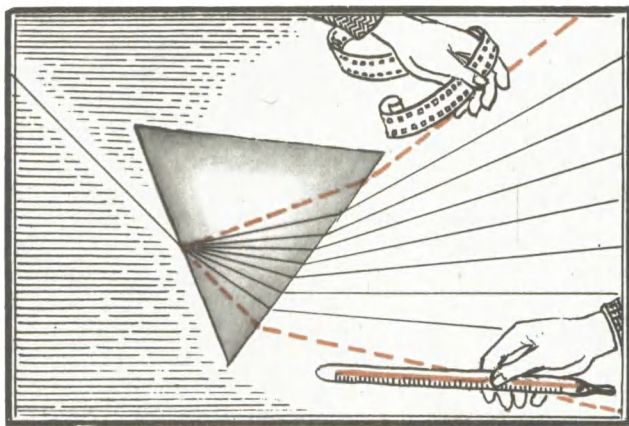
Расширять спектральные линии может, наконец, внесение излучающих атомов во внешнее электрическое поле. Это явление обнаружил в 1913 году Штарк. Именно в этом заключается причина расширения линий в полосы в молекулярных спектрах. Атомы в целом нейтральны, но, находясь в составе молекул, они действуют друг на друга очень сильными электрическими полями.

Впрочем, нередко встречается и другая, тривиальная причина расширения линий. Уровни энергии электронов в молекулах подчас расположены так густо, что переходы между ними создают видимость почти сплошного спектра. Этот спектр удастся, да и то не всегда, разложить на отдельные линии, только применяя такие спектральные аппараты, которые обладают очень большой разрешающей способностью.

На этом, пожалуй, можно закончить объяснение того, как возникают спектры. Даже из того немногого, о чем мы здесь рассказали, ясно, какую услугу физике оказало изучение спектров. Сплошной спектр привел к кванту, а линейчатый — к квантовой картине строения атомов и молекул. В сущности, почти все, что мы сегодня знаем о строении атомов и молекул, получено из кропотливого изучения их спектров.

Теперь мы вступим в область невидимых спектров и узнаем, как эти спектры позволяют понять строение очень маленького объекта — атомно-го ядра и вместе с тем всей Вселенной.

ЗАНАВЕС РАСХОДИТСЯ



Начало девятнадцатого века, когда Юнг своим опытом по интерференции доказал волновую природу света, было отмечено еще двумя замечательными открытиями.

В 1800 году немецкий ученый Фридрих Гершель первым любопытно исследовал, что находится за красными цветами видимого спектра. Он знал, что красные цвета кажутся «теплыми» глазу — они и в самом деле греют. Гершель решил проверить это заключение количественно. Он взял термометр и зачернил сажей для лучшего поглощения излучения его резервуар, где находилась капля ртути. Этот термометр он помещал в разные места разноцветной полосы солнечного спектра.

Гершель сразу же обнаружил интересные явления. С перемещением резервуара от желтых к красным цветам спектра температура, показываемая термометром, постепенно росла. Она продолжала расти, когда Гершель зашел за красный край спектра.

Гершель догадался, что он открыл невидимые лучи. По понятной причине он назвал их тепловыми лучами. И, не ограничившись этим, довольно обстоятельно их исследовал. Оказалось, что тепловые лучи ведут себя вполне сходно с видимыми лучами. Они отражались и преломлялись в точности по тем же законам, что и видимый свет.

В сущности, от видимого света их отличало только одно — невидимость. Но Гершель считал это чрезвычайно важным отличием. Да и каждый из нас, привыкший познавать мир в основном невооруженным глазом, вряд ли разошелся бы с Гершелем в этом. Причину отличия Гершель видел в том, что открытые им лучи имеют особую, тепловую природу.

Его можно понять. В те годы сходил со сцены, но все еще держал свои позиции теплород — некая жидкость, течение которой, по представлениям тогдашней физики, лежало в основе всех тепловых явлений. Теплород должен был быть весьма подвижен, невесом, скорее похож на газ, а не на жидкость и мог попасть в излучение Солнца и земных нагретых тел.

Год спустя немецкий ученый Иоганн Риттер заглянул за видимый спектр с другого конца. Еще до Риттера было известно, что свет вызывает почернение хлористого серебра — соли, которая получается, если серебро поместить в соляную кислоту. Спустя полвека это наблюдение привело к открытию фотографии. А тогда, в 1801 году, Риттер обнаружил, что хлористое серебро чернеет и когда его помещают в излучение за фиолетовой частью спектра. Причем почернение при этом даже усиливалось.

Затем исследования новых лучей показали, что в явлениях отражения и преломления они ведут себя похоже на световые лучи. Но снова их невидимость не позволила сделать правильного вывода об их природе. Долгое время, вследствие ярко выраженного химического действия этих лучей (они разлагали хлористое серебро и другие вещества), считалось, что они имеют особую «химическую» природу.

Эти заблуждения держались вплоть до рождения максвелловской электромагнитной теории света. Вскоре после ее появления стало ясным, что новые (к тому времени уже довольно старые) лучи ничем, кроме своих длин волн, не отличаются от света. Лучи за фиолетовой частью спектра — они получили название ультрафиолетовых — имеют меньшие длины волн, или большие частоты, чем видимый свет. Лучи за красной частью спектра — они были названы инфракрасными — имеют большие длины волн, или меньшие частоты, чем видимый свет.

Соответственно кванты ультрафиолетовых лучей несут с собой большие порции энергии, чем кванты видимого света. Мы уже знаем: эти порции достаточны, чтобы выбивать электроны из металла, что и открыл

в 1887 году Генрих Герц. Эти порции также достаточны, чтобы выбивать электроны из молекул химических соединений, после чего молекулы становятся чрезвычайно активными и вступают в химические реакции, которые в обычных условиях не происходят. В частности, такими реакциями являются почернение хлористого серебра и... потемнение вашей кожи, когда вы загораете под солнцем.

Кванты же инфракрасных лучей несут с собой меньшие порции энергии, чем кванты видимого света. Эти энергии нередко слишком малы, чтобы при поглощении квантов происходили химические реакции. Но они вполне достаточны, чтобы вызвать тепловой ожог кожи при неумеренном пребывании под солнцем. Можно сказать, что, загорая, вы подвергаетесь действию и невидимой части спектра Солнца, точнее говоря, почти всего спектра.

Это «почти» стало ясным благодаря двум открытиям, отделенным во времени полувеком. Первое из них принадлежит Генриху Герцу и было сделано в 1887 году. Герц исследовал электрический разряд в воздухе между электродами, к которым он прикладывал высокое напряжение от заряженного конденсатора. Между электродами при этом проскакивали искры.

Совершенно неожиданно Герц заметил удивительный факт. Поодаль в лаборатории стояла вторая такая же электрическая цепь для получения искр. И вот иногда, когда между электродами в первой цепи проскакивала искра, во второй цепи искра проскакивала тоже, хотя конденсатор в ней не был заряжен!

Герц довольно быстро понял, что он обнаружил новые волны — те самые электромагнитные волны, которые предсказал Максвелл и в которые тогда никто еще не верил. Герц детально исследовал эти волны, определил, как они отражаются и поглощаются, и выяснил, что их длина определяется размерами, формой и расположением проводников в цепи для получения искр.

Прошло несколько лет, и в 1895 году почти одновременно и независимо друг от друга русский инженер А. С. Попов и итальянский инженер Гульельмо Маркони первыми показали возможность применения волн Герца для связи. А вскоре волны Герца назвали радиоволнами.

Пожалуй, ни одна область техники не развивалась так стремительно, как радиотехника. Уже в тридцатых годах нашего века радиосвязь охватила весь мир. Но не только радиопередатчики излучали радиоволны. Они возникали и в системах зажигания миллионов автомобилей, в миллионах выключателей электрического освещения. Источниками радиоволн оказались молнии бесчисленных гроз и вообще любые искры, большие и маленькие, каждодневно по многу раз ненамеренно повторявшие опыт Герца.

В 1931 году американский радиоинженер Карл Янский решил выяснить, одинаково ли сильны помехи радиоприему от гроз, приходящие к антенне его радиоприемника с различных направлений. После длительных наблюдений он обнаружил, что помехи были двух видов. Одни из них действительно были связаны с грозами. Другие же казались совершенно загадочными: они звучали в наушниках радиоприемника как постоянное шипение.

Откуда оно шло? Источник шипения, казалось, медленно движется по небосводу, совершая полный оборот почти за сутки. В результате длительных наблюдений Янскому пришлось исключить из числа возможных источников Солнце, Луну, планеты. Вместе с тем антенны указыва-

ли, если учесть вращение Земли с периодом 24 часа, на какой-то неподвижный на небе источник. Наконец, осталось только одно возможное место источника помех — самая яркая область Млечного Пути, где по лучу зрения располагается наибольшее число звезд.

Янский открыл космическое радиоизлучение. О дальнейшей судьбе его открытия, почти совершенно забытого в последующие десять лет, мы расскажем позже. Здесь отметим лишь, что изучение радиопомех вскоре стало необходимым. Шла вторая мировая война, и воюющие страны уже широко использовали для обнаружения вражеских самолетов незадолго до того изобретенные радиолокаторы, а помехи мешали их надежной работе, маскируя цели.

В 1942 году было обнаружено, что помехи довольно сильно возрастали всякий раз, когда радиолокатор случайно был направлен на Солнце. Янский был неправ. Обнаружить радиоизлучение Солнца ему помешала только невысокая направленность антенн и недостаточная чувствительность приемника. Но все же открытие Янского означало рождение новой науки — радиоастрономии, которая необычайно расширила наши знания о Вселенной.

Обнаружение радиоволн Герцем широко раздвинуло диапазон известных электромагнитных волн — от сотысячных долей сантиметра для видимого света до радиоволн, длины волн которых достигают сотен и тысяч километров.

Но прошло всего лишь несколько лет после открытия Герца, и занавес, до тех пор скрывавший спектры невидимых излучений, быстро пошел и в другую сторону. В 1895 году немецкий физик Вильгельм Рентген открыл лучи, которые скромно назвал «икс-лучами», а благодарное человечество переименовало в его честь в рентгеновские лучи.

Рентген проводил эксперименты с гейслеровой разрядной трубкой, в которой спектроскописты наблюдали свечение газов. Другие ученые, в их числе Рентген, наблюдали в ней новое и интересное явление — так называемые катодные лучи. Спустя два года после открытия Рентгена выяснилось, что катодные лучи — это вовсе не лучи, а потоки электронов. Но тогда Рентген, естественно, этого не знал.

Чтобы наблюдать поведение катодных лучей, физики использовали экраны, покрытые особыми веществами, которые светились синим или зеленым светом при попадании на них этих «лучей». К тому времени, когда Рентген начал работать с катодными лучами, уже было известно, что они полностью задерживаются даже очень тонкой металлической фольгой, бумагой, картоном, небольшим слоем воздуха.

Рентгена к открытию привело случайное стечение обстоятельств. Был вечер, он уже собрался идти домой, как вдруг заметил, что экран светится. Оказалось, разрядная трубка по оплошности не была выключена. Рентген выключил ее — экран перестал светиться. Можно было идти домой, но что-то смутило Рентгена. Он сообразил: трубка была уже закрыта на ночь от пыли черным картонным футляром. А футляр, как прекрасно знал Рентген, полностью поглощал пучок катодных лучей!

Значит, это не они вызывали свечение экрана! Рентген несколько раз включил и выключил трубку. Свечение покорно следовало за включением и выключением. Сомнений не оставалось — источником свечения экрана могла быть только трубка.

В эту ночь Рентген не пошел домой. Он не уходил домой и потом многие из тех пятидесяти дней и ночей, когда с величайшим напряжением исследовал новое явление. Он понял, что открыл лучи, обладаю-

шие фантастической проникающей способностью. Они без труда проходили сквозь предметы, совершенно непрозрачные для других известных тогда излучений, и лишь несколько задерживались толстыми металлическими предметами.

Когда Рентген опубликовал результаты своего исследования, они вызвали самую большую научную сенсацию девятнадцатого века. Во всем цивилизованном мире не было, пожалуй, человека, который не знал бы первого рентгеновского снимка: кисть руки фрау Берты Рентген, на котором совершенно отчетливо видны кости скелета и обручальное кольцо.

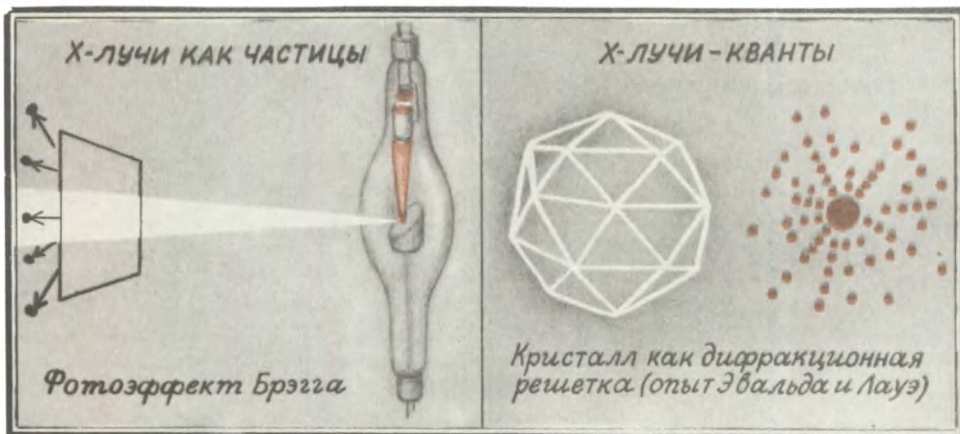
Какова же природа этих «икс-лучей»? Частицы они или волны? В этих вопросах долго не было ясности. Немецкие физики Вальтер и Поль в 1908 году попытались обнаружить дифракцию новых лучей. Дифракцию они как будто заметили, но опыт был очень трудным, а его результаты — не очень надежными.

В те же годы английский физик Вильям Генри Брэгг, повторив опыты Рентгена, убедился в том, что «икс-лучи» могут разряжать предварительно заряженные тела. Сегодня мы знаем, что кванты рентгеновских лучей достаточно энергичны, чтобы выбивать электроны из тел, в том числе и заряженных, тем самым понижая их заряд. Фотоэлектрический эффект при воздействии рентгеновских лучей происходит намного интенсивнее, чем при воздействии ультрафиолетовых.

Но в начале века, когда Эйнштейн еще только-только дал свое квантовое объяснение этого эффекта, в кванты не очень-то верили. Вот и Брэгг посчитал, что рентгеновские лучи — не кванты, а частицы. Действительно, корпускулярный их характер был выражен куда отчетливее, чем волновой.

Кто же прав — Вальтер и Поль или же Брэгг? Конец этому противоречию положил в 1912 году один решающий эксперимент. Опять случайное стечение обстоятельств, и опять открытие падает в подготовленные руки. Занимаясь волнами Герца, молодой теоретик Эвальд обратился к другому теоретику, Максу Лауэ, с вопросом, как понимать незадолго до того разработанную теорию прохождения электромагнитных волн через выстроенные в решетку вибраторы Герца (те самые металлические проводники, с помощью которых Герц получал свои искры, или, говоря современным языком, попросту антенны).

«А зачем это вам нужно?» — спросил Лауэ. «Дело в том, что, по-видимому, такую решетку представляет собой кристалл», — ответил Эвальд.



Странно! А впрочем, атомы постоянно колеблются, излучают при этом электромагнитные волны,— чем не маленькие вибраторы Герца? Кроме того, в кристаллах они располагаются упорядоченно, как узоры на обоях, периодически, образуя как бы решетку в пространстве. Решетка, решетка... дифракционная решетка!

Вальтер и Поль как будто бы наблюдали дифракцию «икс-лучей», но еле заметную. Не может ли это быть связано с малостью длин волн «икс-лучей»? Кажется, они говорили: что-то около стомиллионных долей сантиметра. Так-так... И Лауэ спросил Эвальда: какого размера может быть «узор на обоях» — отдельная ячейка кристалла? Эвальд не знал, но полагал, что размер ячейки составляет тысячные доли длины волны света или стомиллионные доли сантиметра.

Интересно! Дифракция обнаруживается наиболее отчетливо, когда размеры препятствия на пути волн имеют тот же порядок величины, что и длина волны. Упорядоченные слои атомов в кристалле — чем не штрихи дифракционной решетки, только не двумерной, не плоской, а трехмерной, пространственной! И расстояния между слоями, видимо, такого же порядка, как и длина волны «икс-лучей». Значит, как будто можно проверить: частицы или волны «икс-лучи». Если обнаружится дифракция их на кристаллах, вопрос однозначно решится в пользу волн.

Лауэ был теоретиком. Но он сумел заинтересовать своей идеей двух экспериментаторов, Фридриха и Книппинга. И эксперимент был тайком поставлен. Тайком потому, что руководитель Фридриха и Книппинга, профессор Зоммерфельд (который существенно развил теорию Бора, введя эллиптические орбиты электронов), запретил им тратить время на этот «бессмысленный опыт». Атомы в кристалле колеблются, периодичность решетки кристалла должна все время нарушаться. О какой дифракционной картине на такой решетке с хаотически нарушающейся периодичностью может идти речь!

К счастью, Фридрих и Книппинг не вняли этому предупреждению. После нескольких неудачных попыток им удалось получить совершенно отчетливую дифракционную картину от рентгеновских лучей. Зоммерфельд оказался неправ. Явление дифракции рентгеновских лучей оказалось настолько «устойчивым», что тепловые колебания атомов в кристалле лишь слегка его ослабили.



А затем, спустя считанные месяцы, с помощью кристаллов были получены и исследованы первые дифракционные спектры рентгеновских лучей. Идея использовать кристалл в качестве дифракционной решетки для снятия спектров, как в опытах Фраунгофера вековой давности, родилась сразу же после подтверждения идей Лауэ у английского физика Вильяма Лоуренса Брэгга, сына Вильяма Генри Брэгга, и, независимо, у русского физика Г. В. Вульфа. С тех пор формулу, описывающую положение максимумов на рентгеновских спектрах, называют условием Брэгга — Вульфа.

Экспериментом занялся Мозли — молодой ученик Резерфорда. Ему быстро удалось получить замечательно четкие фотографии линейчатых рентгеновских спектров ряда химических элементов. Эти спектры стали потом одним из сильнейших подтверждений теории Бора.

Да, рентгеновские спектры в принципе, кроме в тысячи раз меньших длин волн, не отличаются от видимых спектров. Но происхождение их несколько иное — и линейчатых и сплошных спектров.

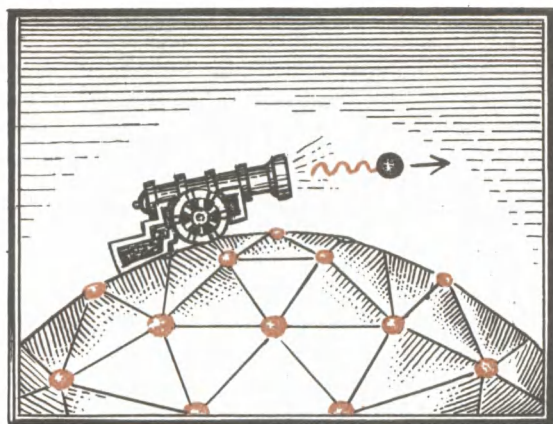
Линейчатый видимый спектр получается, когда электроны, переброшенные, как правило, с одних внешних орбит атома (энергетических уровней с малой энергией) на другие, более высокие, возвращаются обратно на исходные уровни. Разности энергий начального и конечного уровней при этом невелики и кванты сравнительно малоэнергичны.

Линейчатый рентгеновский спектр возникает, когда электроны с внутренних орбит атома вовсе выбрасываются из атома, атом ионизуется. На освободившееся место, повинуясь стремлению к более высокой устойчивости, тут же начинают переходить электроны с более высоких уровней. Начинается массовое переселение электронов: первый на место выбитого, второй на место первого и так далее. Но теперь, в полном соответствии с предсказаниями теории Бора, разности энергий начального и конечного состояния атома в сотни и тысячи раз больше, чем при излучении видимого света, а значит, во столько же раз и энергичнее кванты рентгеновских лучей.

Сплошной видимый спектр возникает при излучении атомов, колебания которых возбуждены нагреванием вещества. Сплошной же рентгеновский спектр дают не атомы, а электроны в разрядной трубке, когда они резко тормозятся в веществе анода или стенок трубки.

Положение участка сплошного спектра на шкале длин волн зависит от того, насколько велико ускорение электронов. Если оно сравнительно небольшое, как, скажем, в вибраторе Герца, то получается длинноволновый сплошной спектр искры. Стоит увеличить ускорение, заменив электроны, бегущие в электрической цепи, электронами, совершающими колебания в атомах при нагреве вещества, — и сплошной спектр будет представлен в тысячи раз меньшими длинами волн. А если еще больше увеличить ускорение электронов, разогнав их сначала электрическим напряжением в десятки тысяч вольт, а затем резко затормозить в веществе, то получается еще в тысячи раз более коротковолновый сплошной рентгеновский спектр.

СО ЩУПОМ В АТОМНЫЕ ЯДРА



Весть об открытии Рентгеном «икс-лучей» с быстротой молнии распространилась по всему миру. Крупнейшие физики докладывали об открытии в академиях своих стран. 20 января 1896 года — и месяц не прошел со дня опубликования сообщения об открытии — французский ученый Анри Пуанкаре рассказал о нем на заседании Парижской Академии наук.

От многих других докладов этот отличался, пожалуй, лишь тем, что Пуанкаре высказал в нем любопытное соображение о происхождении «икс-лучей». Рентген установил, что светится не только экран, поставленный на пути его лучей, но и само стекло разрядной трубки там, где в него ударяет поток катодных лучей. Не может ли оказаться, что это свечение само есть источник «икс-лучей», так что можно обойтись вообще без разрядной трубки?

Впечатление от доклада Пуанкаре было сильным, и сразу же несколько ученых решило проверить его гипотезу. Повезло лишь одному из них — Анри Беккерелю, но зато как повезло! Надо сказать, что изучение свечения тел — флуоресценции — было семейным занятием Беккерелей. Флуоресценцию изучали и дед Анри, и его отец, и он сам. Так что открытие, которое спустя месяц с небольшим сделал Анри Беккерель, было не совсем случайным.

Беккерель знал, что сильное и длительное свечение после освещения солнечным светом обнаруживают многие соли, особенно соли урана. Он выставлял урановые соли на солнце, а затем помещал их в темный конверт вместе с фотопластинками. На пластинках, конечно, появлялись засвеченные участки. Было похоже на то, что гипотеза Пуанкаре правильна.

Беккерель решил поставить контрольный опыт. Надо было убедиться, что сами фотопластинки, без участия урановых солей, не были засвечены. Они лежали, правда, в одном ящике стола с образцами урановой соли. Но, полагал Беккерель, какое это могло иметь значение: ведь не подвергнутая освещению соль сама по себе не светится.

Неэкспонированные фотопластинки были проявлены, и то, что увидел Беккерель, потрясло его. На них были такие же следы, какие оставляла освещенная Солнцем урановая соль! Значит, освещение ни при чем? Значит, причина засвечивания фотопластинок — не флуоресценция? Видимо, так, но в остальном картина почему-то такая же, как при

действии «икс-лучей». А может быть, это вовсе и не «икс-лучи», а какие-то новые лучи? Они тоже проникают сквозь стекло, картон, тоже оставляют тени от непрозрачных металлических предметов наподобие обручального кольца ф-рау Рентген.

Но источник рентгеновских лучей, если Пуанкаре прав, по крайней мере ясен. Это — стекло в том месте, где на него упал пучок катодных лучей. Энергия катодных лучей и превратилась в энергию рентгеновского излучения. Откуда же берет энергию излучение урановой соли? Оно к тому же испускается не кратковременно, как при включении рентгеновской трубки, а ровно и бесперебойно в течение многих месяцев эксперимента!

Осенью 1896 года Беккереля посетили, чтобы ознакомиться с загадочным явлением, Рамзай и Стокс. Рамзай мог подсказать, не виновата ли в явлении химия урановых солей, а Стокс много лет исследовал флуоресценцию. Но итог их бесед с Беккерелем оказался неутешительным: источник энергии беккерелевских лучей оставался столь же загадочным, как и раньше. Лишь через несколько лет стало окончательно ясно, что этим источником являются атомные ядра и их превращения.

Так была открыта радиоактивность, а затем выяснилось, что беккерелевское излучение неоднородно и состоит из трех видов излучений. Их обозначили первыми буквами греческого алфавита. Два из этих видов были не лучами, а потоками частиц: альфа-частицы — это ядра гелия, а бета-частицы — это электроны. Третий же вид — гамма — оказался настоящими лучами, похожими на рентгеновские лучи, только обладавшими еще более высокой проникающей способностью.

Так последним рывком был сдернут занавес, скрывавший самые коротковолновые, самые энергичные из электромагнитных излучений. Гамма-лучи тоже оказались квантами электромагнитной энергии. Но квантами столь энергичными, что их волновую природу полностью оттеснили на второй план их корпускулярные свойства.

И в самом деле, например, преломление гамма-лучей настолько ничтожно, что практически его не удается наблюдать. Дифракцию гамма-лучей можно наблюдать лишь для наиболее длинноволновых, наименее энергичных из них. Только для таких лучей имеются кристаллы с подходящими размерами решеток.

Поэтому спектры гамма-лучей, как правило, приходится исследовать не волновыми методами, а такими, которые используют их корпускулярные свойства. Главное из этих свойств — способность гамма-квантов ионизовать атомы, выбрасывая из них электроны. Чтобы измерить энергию гамма-квантов, определяют произведенную ими ионизацию, то есть число выбитых на их пути электронов. Каждый гамма-квант с энергией в сотни тысяч и миллионы электрон-вольт способен выбить из атомов целую лавину электронов!

Можно измерять энергию гамма-квантов и более непосредственно — по энергии наиболее энергичных из выбитых ими электронов. В таких событиях каждый гамма-квант выбивает только один электрон, но зато передает ему всю свою энергию.

Мы указали два из основных методов спектроскопии гамма-лучей. Этими методами физики изучают спектры гамма-лучей почти полвека. Сегодня понятны уже все основные закономерности происхождения спектров гамма-лучей.

В одном отношении они радикально отличаются от тех спектров, о которых мы уже рассказывали. Спектры гамма-лучей бывают только

линейчатыми. Атомное ядро, как и сам атом, — квантовая система частиц. Только в отличие от атомов в атомных ядрах с одного уровня энергии на другой переходят не электроны, а ядерные частицы — протоны и нейтроны.

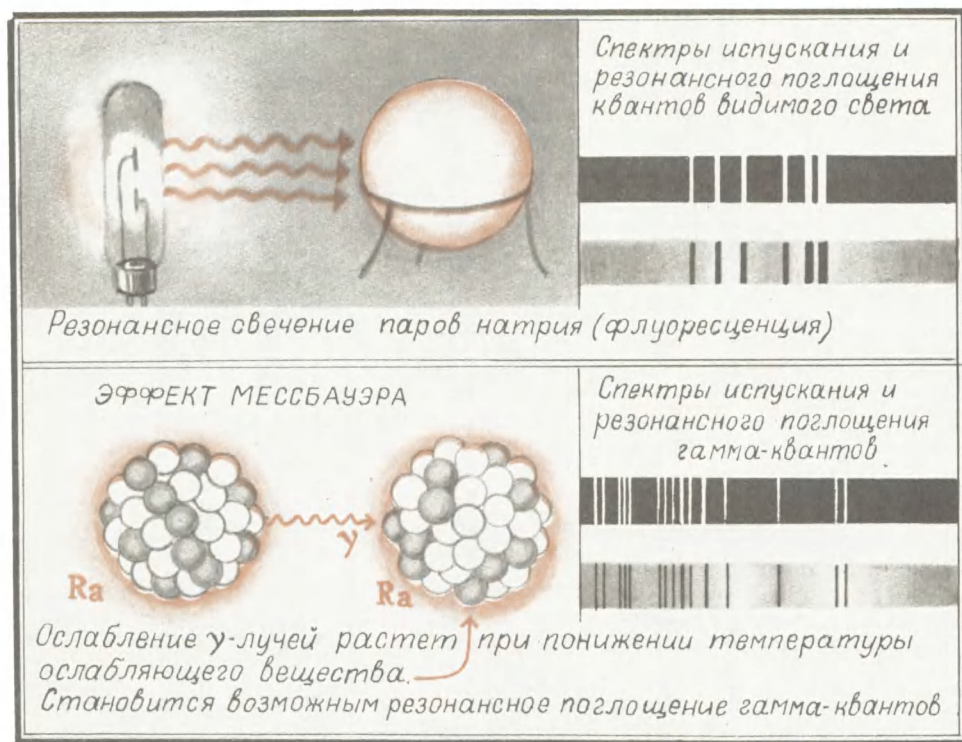
Уровни энергии ядерных частиц обычно отстоят друг от друга в сотни тысяч и миллионы раз дальше, чем уровни энергии электронов в атомах. Поэтому и линии в гамма-спектрах имеют во столько же раз большие энергии, чем линии в видимых спектрах атомов.

Возбуждать гамма-спектры часто вообще не нужно. Неустойчивые от природы ядра, в частности ядра элементов в конце периодической таблицы, например радия или урана, сами стремятся перейти в более устойчивое состояние. При этом они освобождаются от излишка энергии, излучая его в виде гамма-квантов.

Можно переводить ядра в неустойчивое состояние искусственно. Для этого их бомбардируют протонами, нейтронами и другими ядерными частицами. После этого ядра самопроизвольно возвращаются в более устойчивое состояние, испуская гамма-лучи.

Существует еще одно очень интересное отличие гамма-спектров от видимого спектра. До недавнего времени никому не удавалось наблюдать гамма-спектры поглощения. Так что, если на минуту вообразить, что первым спектроскопистам был бы доступен не видимый, а гамма-спектр, то еще неизвестно, когда бы родился спектральный анализ!

Линейчатый спектр, состоящий из темных линий, как мы помним, возникает в результате резонансного поглощения, когда расстояние между уровнями энергии в излучающем и в поглощающем атомах одинаково. А теперь скажем более точно: практически одинаково.



Это очень существенная оговорка. Дело в том, что квант, как ему и полагается по его корпускулярным свойствам, имеет некоторое количество движения — импульс. Поэтому атом, испуская квант, ведет себя точно так же, как орудие, выстрелившее снарядом.

Орудие при выстреле испытывает отдачу — отпрыгивает назад. Отпрыгивает и атом, испуская квант. Если заснять на киноплёнку выстрел из орудия, а затем пустить ее в обратном направлении, мы увидим, что орудие, поглотив снаряд, отпрыгнет вперед. То же происходит и с атомом, когда он поглощает квант.

Как быстро отлетит атом назад или вперед, это зависит от энергии отдачи и массы атома. У кванта видимого света импульс очень маленький, а масса атома довольно велика, поэтому скорость и кинетическая энергия движения атома тоже очень малы. При испускании кванта эта энергия, естественно, вычитается из энергии атома, при поглощении кванта — прибавляется к энергии атома. Закон сохранения энергии остается справедливым.

Но раз энергия атома меняется, то, естественно, меняются и положения энергетических уровней. При испускании и поглощении квантов видимого света изменения энергий сдвиги спектральных линий очень малы — по сравнению с шириной самих линий. Это и обеспечивает возможность резонансного поглощения. Линия испускания и линия поглощения смещены в разные стороны от положения, которое имела бы линия, если бы не действовали законы сохранения импульса и энергии. Но смещения эти столь незначительны, что линии практически полностью перекрываются. Резонанс, хотя и не абсолютно точный, все же остается.

В области гамма-спектров это уже не так. Импульс кванта быстро растёт с уменьшением его длины волны. У гамма-квантов он уже в тысячи раз больше, чем у квантов видимого света. Масса ядра при этом остается практически той же, что и масса атома (ведь почти вся масса атома сосредоточена в его ядре). Ширина гамма-линий еще меньше, чем линий видимого спектра, а порою может быть и в миллионы раз меньше. Понятно, к чему это приводит: уровни энергии в излучающих ядрах сильно отличаются от уровней в поглощающих ядрах. Вот и расстроился резонанс: линии поглощения далеко сместились от таких же линий испускания и теперь вовсе не перекрываются.

Физики попробовали устроить резонансное поглощение искусственно, используя для сближения линий эффект Доплера. Для этого препарат с излучающими ядрами укрепили на ободе центрифуги, вращавшейся с такой большой скоростью, что ее еле выдерживал материал обода. И даже такой скорости часто не хватало, чтобы перекрыть линии излучения и поглощения.

Настоящее решение задачи пришло, как это часто бывает, откуда его совсем не ждали. Молодой немецкий физик Рудольф Мессбауэр в 1958 году изучал ослабление потоков гамма-лучей при их прохождении через вещество. Одним из таких веществ ему служил тот же элемент, что и элемент излучающего вещества. И вот, понижая температуру вещества, ослабляющего гамма-лучи, Мессбауэр неожиданно заметил, что ослабление потока гамма-лучей начало расти.

До тех пор все замечали, что ослабление при понижении температуры поглотителя не растёт, а падает. Это было понятно: атомы вещества совершают тепловые колебания, а колеблющиеся частицы всегда сильнее рассеивают все, что падает на них, нежели неподвижные. Например, по этой причине увеличивается электрическое сопротивление проводника с

повышением его температуры: колеблющиеся атомы сильнее рассеивают потоки электронов в проводнике. С понижением температуры тепловые колебания атомов уменьшаются, а значит, сопротивление току — равно как и рассеяние гамма-квантов — должно падать.

Но у Мессбауэра ослабление гамма-квантов росло! После недолгих раздумий он догадался, в чем было дело. Помимо рассеяния, в ослабление потока включилось резонансное поглощение гамма-квантов.

Что же произошло? Почему этот эффект не удавалось получить при нормальной температуре, а при низкой он стал возможен? Тому оказались две причины. Первая состояла в том, что поглощающие ядра находились в кристалле. А вторая — в том, что тепловые колебания в кристаллах при низких температурах имеют важную особенность.

Коротко говоря, вторая причина состоит в том, что колебания атомов в кристаллах тоже квантованы. Совместные колебания атомов в том большом их коллективе, который составляет кристалл, можно рассматривать как обмен атомов квантами колебаний. При низких температурах число таких квантов невелико. И существует определенная вероятность того, что ядро, получив при поглощении гамма-кванта импульс, не сможет передать его соседним атомам в кристалле — нет подходящего кванта. Но импульс пропасть, конечно, не может. И тогда отдачу от поглощения гамма-кванта принимает на себя не ядро, поглотившее квант, а весь кристалл целиком. Однако в кристалле — триллионы триллионов ядер, и во столько же раз его общая масса больше массы ядра, поглотившего квант.

Кристалл забирает на себя отдачу ядра, наподобие того как Земля — отдачу врытого в землю орудия при выстреле. Остальное понять нетрудно: уровни энергии ядра не сместятся, линии поглощения и излучения наложатся друг на друга и станут возможным резонансное поглощение гамма-квантов.

Почему изучение этого явления оказалось важным? Потому же, что и изучение спектров поглощения в видимой области: для исследования строения холодных, не излучающих самостоятельно веществ. Но, кроме того, резонансное поглощение гамма-квантов дало в распоряжение физиков инструмент с совершенно фантастической разрешающей способностью.

В сущности, если вдуматься, разрешающая способность определяется отношением ширины спектральной линии к величине, характеризующей ее положение (на шкале длин волн, частот или энергий). Так вот, для линий гамма-спектра это отношение обычно имеет величину порядка одной триллионной!

То обстоятельство, что гамма-линии узкие, а линии поглощения далеко сместились от линий излучения, при их совмещении оказалось важнейшим достоинством. Теперь достаточно самого слабого сознательного воздействия на поглощающие ядра, чтобы расстроить предварительно налаженный резонанс. И по расстройке уверенно измерить само воздействие.

Пожалуй, наиболее эффектный пример могущества этого метода — «взвешивание» света. Альберт Эйнштейн шестьдесят лет назад создал теорию, в которой рассчитал поразительные явления. Например, то, что, попадая в поле тяготения, кванты света должны несколько «краснеть», увеличивать свою длину волны. Причем покраснение кванта должно быть тем больше, чем сильнее поле тяготения. После открытия эффекта Мессбауэра физики решили проверить расчет Эйнштейна прямым опытом.

На Земле избавиться от поля тяготения нельзя. Но можно выбрать места, где оно имеет разную силу. В соответствии с этим и квант в таких местах будет «краснеть» по-разному. Наверху и внизу башни высотой в шес-

тиэтажный дом физики установили источник и приемник гамма-лучей, настроенные в резонанс. Разницы в двадцать метров в земном поле тяготения было достаточно, чтобы квант изменил покраснение примерно на 10^{-15} своей длины волны. А разрешающая способность эффекта Мессбауэра оказалась достаточной, чтобы уверенно измерить это совершенно ничтожное смещение длины волны гамма-кванта!

ШЕПОТ ВСЕЛЕННОЙ



Мы живем на дне воздушного океана. Атмосфера становится помехой, когда мы пытаемся познавать Вселенную.

Воздушная оболочка нашей планеты имеет только два окна, через которые мы можем выглянуть в космическое пространство и принять электромагнитные волны, приходящие из Вселенной. Одно окно охватывает диапазон длин волн примерно от 3000 до 15 000 ангстрем, то есть видимый свет и часть ультрафиолетовой и инфракрасной областей спектра. Второе окно пошире — оно охватывает диапазон радиоволн с длинами примерно от 1 сантиметра до 20—30 метров. В этих диапазонах атмосфера прозрачна для электромагнитных волн.

Вне этих окон прозрачности электромагнитные волны полностью поглощаются в атмосфере — молекулами кислорода, водяных паров, а также в слое озона и ионосфере. Через первое окно мы видим Вселенную, через второе — слышим ее. Слышим с помощью радиотелескопов — огромных металлических антенн, которые работают подобно телескопам-рефлекторам. Только в фокусе телескопа помещают фотопластинку, а в фокусе радиотелескопа — радиоприемник.

Через «радиоокно» к нам поступает энергия излучения, очень малая по сравнению с той, что приходит через «видеоокно». Огромные «уши» радиотелескопов и предназначены для достижения высокой чувствительности при приеме слабых космических радиоволн.

Каковы же спектры этих радиоволн? Прежде всего — сплошной спектр. Источниками его являются, конечно, свободные электроны — в звездах, в галактиках, в газе, заполняющем межзвездное и межгалактическое пространство. Космические электроны движутся в магнитных полях, не только сконцентрированных в звездах, но пронизывающих и все межзвездное пространство. В этих полях они движутся по криволинейным траекториям, тормозят свое движение, а отдаваемая ими при торможении энергия испускается в виде сплошного спектра радиоволн. Но это — не

единственная причина излучения. Другой может быть и обычное тепловое излучение межзвездного газа, нагреваемого в свою очередь тепловым излучением звезд. «Хвост» спектра этого излучения заходит и в область радиоволн.

Пока что мы говорим о весьма протяженных источниках космического радиоизлучения, размеры которых составляют многие тысячи световых лет. (Стоит напомнить, что световой год — это основная единица для измерения расстояний в астрономии. Она равна пути, проходимому лучом света за 1 год, и составляет около 10 триллионов километров. Сколь велико это расстояние, можно судить по тому, что свет и радиоволны от Солнца до Земли идут всего лишь 8 минут.) Существуют также очень компактные источники такого излучения.

В древних китайских и японских летописях зафиксировано замечательное событие. В 1054 году на небе вспыхнула необычайно яркая звезда, которую до той поры никто не видел. По своей яркости она превосходила Венеру и была видна даже днем! Она светила около полугода, а затем ее блеск постепенно угас.

Восемьсот лет спустя астрономы занесли в свои каталоги небесных объектов туманное облачко, по форме напоминающее распластанного краба. Облачко получило название Крабовидной туманности. А еще сто лет спустя радиотелескопы зарегистрировали очень мощный поток радиоизлучения от области неба, в которой находится эта туманность.

Советский астрофизик И. С. Шкловский выдвинул гипотезу, что Крабовидная туманность — это остаток сверхновой звезды, вспышку которой увидели на небе девятьсот лет назад. Во время взрыва звезда сбросила с себя оболочку, которая с огромной скоростью улетела в космическое пространство и сейчас еще продолжает разлетаться во все стороны со скоростью больше 1000 километров в секунду. Радиоизлучение, благодаря которому «слышна» Крабовидная туманность, испускают быстродвижущиеся с этой оболочкой электроны, постепенно тормозящие свое движение. К настоящему времени известно много таких остатков сверхновых звезд. Почти все они довольно сильно излучают радиоволны. Сильно, но по космическим понятиям не очень долго, всего каких-нибудь несколько тысяч лет. Межзвездный же газ излучает миллиарды лет.

...Если снять из космоса спектральную кривую излучения Земли в диапазоне радиоволн, то на фоне сплошного спектра мы увидим густой частокол радиолиний. Их излучают многие тысячи радиопередатчиков и особенно телевизионных станций. Короткие телевизионные радиоволны почти не отражаются ионосферой и беспрепятственно уходят в космическое пространство.

Намного более редкий частокол радиолиний можно обнаружить, «вслушиваясь» в космическое радиоизлучение. Пальма первенства среди них принадлежит линии с длиной волны 21 сантиметр, излучаемой атомами самого распространенного во Вселенной элемента — водорода.

В свое время, рассказывая о происхождении атомных спектров и об объясняющей их формальной модели атома, мы оставили в стороне второстепенные для нашего разговора детали, которые, однако, в космических условиях становятся весьма существенными. В частности, мы ничего не рассказали о магнитном взаимодействии электронов и атомных ядер.

Оно в миллионы раз слабее электрического взаимодействия электронов и ядер, обеспечивающего само существование атомов, а также их линейчатые спектры. Магнитное взаимодействие электронов и ядер связано с тем, что и те и другие имеют заряд и спин, а значит, ядро, как и электрон,

обладает магнитными свойствами, связанными с его собственным вращением. Ядро и электрон в атоме поэтому взаимодействуют как два маленьких магнетика, и энергия их взаимодействия, естественно, зависит от взаимного расположения полюсов магнетиков. Если электрон вращается в том же направлении, что и ядро, — энергия их магнитного взаимодействия будет вычитаться из энергии уровня, отвечающей электрическому взаимодействию; если же электрон вращается против вращения ядра, — то складываться.

Результат этой арифметики очевиден: исходный уровень энергии электрона расщепится на два. Причем электрон, конечно, постарается занять уровень с меньшей энергией. На более высоком уровне он очутится, если, например, столкнутся два атома водорода. Сколько он там пробудет? Обычно электрон в атоме переходит обратно в исходное устойчивое состояние спустя стомиллионные доли секунды. Но в данном случае облака вероятности для верхнего и нижнего уровней перекрываются настолько слабо, что электрон до прыжка должен просидеть на верхнем уровне в среднем около 10 миллионов лет!

Межзвездный газ чрезвычайно разрежен — 1 атом водорода на 1 кубический сантиметр! Столкновения атомов водорода друг с другом в нем происходят чрезвычайно редко. Еще реже электроны будут переходить из своего возбужденного состояния в нормальное, устойчивое. Казалось бы, о какой интенсивности излучения тут может идти речь?

Однако, оказалось, говорить можно: столь велико общее число атомов водорода даже в одной нашей Галактике. Расчет интенсивности проделал голландский астрофизик Ван де Холст лет тридцать назад. Этот расчет показал, что обнаружить связанную с такими переходами электрона радиолинию водорода с длиной волны 21 сантиметр вполне возможно.

И спустя шесть лет эта линия действительно была обнаружена. Значение ее для радиоастрономии огромно. Яркость этой линии позволяет определить количество атомов водорода по лучу зрения радиотелескопов, строить карты распределения водорода во Вселенной. Мало того, доплеровское смещение этой линии позволяет узнавать скорости движений облаков космического водорода, а это чрезвычайно важно для понимания движений газа в галактиках. Именно благодаря изучению радиолинии



Плотность межзвёздного газа — 1 атом водорода, — 1 см³

Спиральная структура Млечного Пути, определенная с помощью радиолинии водорода 21 см

21 сантиметр была в деталях установлена структура нашей Галактики — Млечного Пути, особенно ее центральной части, закрытой от нас пылевыми облаками, не пропускающими видимого света.

Прошло несколько лет, и в космосе были обнаружены молекулы метана, аммиака и других газов по их радиoliniям. Открыты уже, естественно, не на звездах — там для существования молекул слишком горячо, — а в холодном межзвездном пространстве. Разумеется, эти молекулы испускают и видимое излучение, но оно настолько слабо, что его не уловить ни в какой телескоп. Обнаружить излучение молекул в космосе удалось только благодаря фантастически высокой чувствительности радиотелескопов, во многие тысячи раз превышающей чувствительность оптических телескопов. Метан, аммиак, затем — даже простейшие органические молекулы.

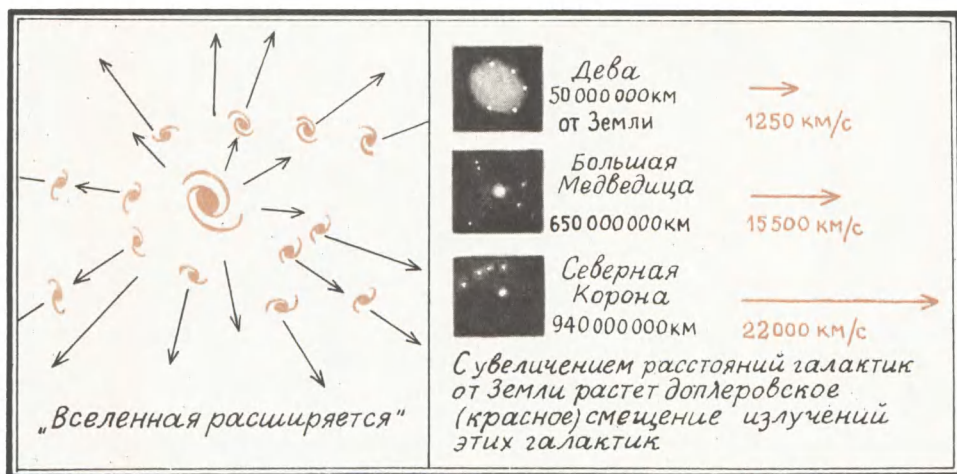
А потом наступило время тесного сближения радиоастрономии с ее старшей сестрой — оптической астрономией. Раньше астрономы указывали радиоастрономам, от какого видимого на небе объекта могут идти принимаемые теми радиоволны. Теперь уже радиоастрономы начали указывать оптическим астрономам: «Мы обнаружили какой-то неприметный для вас объект с очень сильным радиоизлучением, поищите его получше!» И, как правило, такой объект действительно обнаруживался и при этом оказывался чрезвычайно интересным.

К 1960 году радиоастрономы обнаружили несколько очень компактных объектов, которые, несмотря на малость своих размеров, были мощными источниками радиоизлучения. Они обратились к астрономам, и те на самых крупных телескопах сфотографировали эти источники. Они действительно оказались очень маленькими, но и это не было главным. Совершенно необычно выглядели их видимые линейчатые спектры. Эти спектры состояли из нескольких сильно размытых линий испускания, но попытка отождествить эти линии с линиями известных элементов сначала не привела к успеху. Линии не подходили ни к одному известному элементу!

Только три года спустя американскому астроному Шмидту пришла в голову интересная мысль. А не попытаться ли истолковать эти спектры как сильно смещенные в красную сторону из-за огромного эффекта Доплера? Эта мысль и привела к успеху: спектры оказались сильно «покрасневшей» водородной серией Бальмера! Если судить по красному смещению, объект, излучавший этот спектр, должен был удаляться от нас со скоростью десятки тысяч километров в секунду. Такие объекты получили название квазаров (сокращение английского слова «квазистар» — «почти звезда», ввиду малых размеров).

Немедленно астрономы в содружестве с радиоастрономами начали охоту за квазарами. Были придирчиво обследованы старые астрономические каталоги: нет ли там старых наблюдений объектов, которые не привлекли особого внимания астрономов? Были проведены новые спектральные измерения подозрительных объектов. К сегодняшнему дню удалось обнаружить уже сотни квазаров. Большинство из них показывает спектр водорода и некоторых других элементов, но с огромными красными смещениями, которые говорят о том, что квазары удаляются от нас со скоростями, подчас даже близкими к скорости света!

Но, может быть, красное смещение связано не с удалением квазаров, а с «покраснением» света в сильном поле тяжести квазаров? Что же, высказывалась и такая гипотеза, но из нее следует, что квазары должны иметь огромную массу, намного больше масс даже самых крупных звезд! А вместе с тем размеры их очень малы. Ну что же, тогда почему не



принять, что они имеют огромную плотность? Нет, не выходит: при такой плотности атомы должны быть столь сильно сжаты, что спектры водорода и других элементов должны были бы измениться до полной неузнаваемости. Между тем эти спектры явно указывают на то, что водород в квазарах находится в виде газа. Есть и другие доводы против этой гипотезы красного смещения в квазарах.

Значит, скорее всего, квазары от нас удаляются. Может быть, они были выброшены из нашей Галактики или из ближайших галактик в результате какого-то грандиозного взрыва? Но тогда они должны были бы лететь не только от нас, а и к нам. Между тем фиолетовое смещение не удалось обнаружить в спектре ни одного квазара. Есть и другие аргументы против гипотезы выброса квазаров откуда-то не очень далеко от нас.

Тогда остается одна реальная возможность объяснить разбегание квазаров. Это — гипотеза, высказанная полвека назад нашим соотечественником А. А. Фридманом. Она может быть выражена всего лишь двумя словами: «Вселенная расширяется».

Фридман опубликовал свою гипотезу в 1922 году, а уже в 1929 году американский астроном Хаббл, собрав и сопоставив все данные по спектрам излучения далеких галактик, пришел к выводу о том, что красное смещение линий в них имеет систематический характер. Чем дальше находилась галактика, тем сильнее было красное смещение в ее спектре. Красное смещение в спектре галактик, находящихся на пределе видимости в самые мощные тогда телескопы — на расстоянии примерно в миллиард световых лет, — говорило о том, что они удаляются со скоростью, составлявшей значительную долю скорости света.

Галактики удаляются, конечно, не только от нас. Земля — не центр мира и никаким привилегированным положением во Вселенной не обладает. Галактики удаляются и друг от друга, так что астроном, находясь в любой из них и наставив свой телескоп на небо, увидел бы такую же картину расширения Вселенной, как и земные астрономы.

Так вот, третья гипотеза о красных смещениях в спектрах квазаров говорит: квазары как-то связаны с разбегающимися галактиками, может быть, как-то входят в состав далеких галактик. Если исходить из огромной величины красных смещений в их спектрах, они должны находиться от нас чрезвычайно далеко, на расстояниях в миллиарды световых лет. Но

если это так, то их радиоизлучение, чтобы его можно было уловить на Земле, должно иметь совершенно невообразимую мощность, превышающую мощность излучения радиоволн даже от целых галактик! Как это совместить с очень малыми размерами квазаров? Сегодня этого никто точно не знает: природа квазаров остается одной из самых интригующих загадок современной астрофизики.

Причина расширения наблюдаемой Вселенной сегодня более понятна. Если Вселенная расширяется, значит, она когда-то имела намного меньшие размеры. В 1946 году американский физик Георгий Гамов высказал очень интересную гипотезу о происхождении этого расширения.

Некогда, видимо более десятка миллиардов лет назад, вся наблюдаемая Вселенная была сосредоточена в сравнительно небольшой области пространства. Там она находилась в чрезвычайно плотном и горячем состоянии. В какой-то момент по неизвестным причинам произошел «большой взрыв». Первоначальный сгусток вещества Вселенной начал разлетаться по всем направлениям. Постепенно из него образовывались галактики, звезды, а затем уже и планеты. Фронт «ударной волны» от этого взрыва движется почти со скоростью света. Поэтому, если мы когда-нибудь увидим наиболее далеко улетевшие галактики, мы сможем, измерив расстояние до них, более точно определить момент «большого взрыва».

Такова судьба частиц, образовывавших горячую Вселенную, а может быть, и возникших после взрыва. Но в горячей Вселенной было и излучение. Поскольку такое состояние Вселенной длилось не один миг, излучение успевало провзаимодействовать с атомами и прийти в тепловое равновесие с веществом. Иными словами, это было излучение очень горячего, абсолютно черного тела.

После взрыва температура Вселенной начала падать, а сама она стала расширяться. Это имело два последствия. Во-первых, уменьшилась энергия взаимодействия частиц и фотонов, они перестали ионизовать атомы и смогли теперь обмениваться энергией только друг с другом. Иными словами, они как бы сохранили память о той температуре, которая у них была в тот период, когда они практически перестали взаимодействовать с атомами. Во-вторых, с расширением Вселенной стала падать и энергия фотонов, но уже по другому закону, чем температура вещества. Но даже и при этом спектр фотонов, «изолировавшихся» от вещества, оставался спектром абсолютно черного тела.

Расчеты Гамова показали, что к настоящему времени этот спектр должен отвечать температуре излучения около 3 абсолютных градусов. (—270 градусов по Цельсию).

Мысль Гамова об излучении, сохранившем память о первых порах расширения Вселенной (его называли *реликтовым* излучением) была на какое-то время совершенно забыта. О ней вспомнили, когда лет десять назад радиоастрономы обнаружили странный космический радиосум. Этот радиосум шел совершенно равномерно со всех направлений, так что его нельзя было привязать к какому-либо источнику космического радиоизлучения.

Он-то и оказался реликтовым радиоизлучением, чем-то аналогичным пицундской сосне или рыбе-целаканту, что пришли к нам в неизменном виде из минувших эпох истории Земли. Это излучение действительно имеет температуру около 3 абсолютных градусов, а поэтому вершина его теплового спектра приходится уже не на видимый свет, а на область радиоволн (длиной около 7 сантиметров). Его открытие стало сильнейшим доводом в пользу правильности гипотезы Гамова, а измерение отвечающей

ему температуры вполне подтвердило теоретические расчеты по модели горячей Вселенной.

Так радиоспектры помогают раскрытию важнейших загадок строения и развития звезд и галактик.

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ



Пришла пора вернуться из глубин Вселенной и глубин атомов в мир, непосредственно окружающий нас. Мир, столь же полный загадок и увлекательных тайн, как Вселенная и атом. Говорят, что великое и малое сходятся. Но нигде они не сходятся так явственно и близко, как в спектральной лаборатории.

За век с немногим, прошедший со времени открытия спектрального анализа, он стал важнейшим инструментом исследования, пожалуй, во всех основных областях естественных наук и техники. О физике и химии, конечно, не надо специально упоминать: спектральный анализ и родился как счастливый плод их научного союза. Спектральный химический анализ стал универсальным методом изучения горных пород и минералов в геологии, живых тканей в биологии, многих тысяч материалов, создаваемых и применяемых в самых различных отраслях промышленности. Спектральный анализ проник в изобразительное искусство и даже в криминалистику и судебную медицину, где позволил заменить строгими объективными свидетельствами прежние субъективные оценки того, что видно было невооруженным глазом.

Чем же объяснить столь широкое вторжение спектрального анализа в науку и технику? Прежде всего, конечно, его универсальностью, применимостью для анализа всего того, из чего состоит материальный мир. Ведь в конечном итоге, как бы ни различались по своему внешнему виду и свойствам предметы окружающего мира, они состоят из атомов и молекул, а все атомы одного сорта похожи друг на друга как две капли воды. Значит, и спектры атомов одного сорта должны быть неотличимы друг от друга.

Правда, мы знаем, что внешние условия, в которых находятся атомы, могут менять вид их спектров. Сильное магнитное поле может резко увеличить число наблюдаемых линий в спектре. Ионизация атома, удаление из него хотя бы одного электрона существенно меняет положения уровней энергии, а значит, и всей картины расположения спектральных линий. Вы-

сокие температуры и давления сильно расширяют, размазывают узкие линии спектра. Большие скорости движения атомов сдвигают весь спектр к меньшим или большим длинам волн.

И все равно почти никогда не бывает, чтобы спектр изменился до неузнаваемости. А в обычных земных условиях изменения спектров довольно малы и спектры всегда удается отождествить со спектрами известных веществ.

Второе преимущество спектрального анализа — это его простота по сравнению с другими методами химического анализа. Достаточно внести вещество в пламя горелки, либо поджечь электрической искрой, либо, наконец, ввести в газоразрядную трубку, как вспыхнет спектр его излучения. Сравнивая положения линий в этом спектре с теми, что определены заранее и давно уже внесены в спектральные атласы, такое отождествление элементов можно провести быстро и удобно.

А если по каким-либо причинам разогревать вещество или вносить его в электрический разряд нельзя, то можно поступить по-другому. Можно снять спектр поглощения веществом света, даваемого источником со сплошным спектром. Одинаковые положения линий в спектрах излучения и поглощения позволяют использовать обращенные линии на равных правах с необращенными.

Но может оказаться и так, что оптический спектр, например, минерала, очень сложен, насчитывает многие сотни линий, а анализ его требуется провести быстро. Такая необходимость существует, скажем, в горной или металлургической промышленности. Конечно, есть такие процессы, где пробы сырья или продукции можно отбирать лишь время от времени и сравнительно неспешно делать их анализ. Но современная техника часто использует процессы, которые протекают быстро и контроль за которыми надо вести непрерывно.

В этих условиях используют не весь спектр, а лишь несколько линий. Ведь часто заранее известно, какие элементы присутствуют в смеси. Важно лишь определить, сколько процентов того или иного элемента в ней содержится, чтобы поддерживать, если нужно, это содержание постоянным. Тогда выбирают несколько наиболее ярких линий, поблизости от которых нет других, мешающих линий, и настраивают на каждую из них приемники излучения.

Яркости линий в каждом из этих приемников преобразуются в электрический ток. Этот ток усиливается и поступает на механизмы, участвующие в процессе, например в электромоторы, которые приводят в движение транспортеры с рудой, загружаемой в печь для выплавки металла. В нормальных условиях, которые подбираются заранее, ток от приемника излучения в мотор не поступает. Но стоит только немного измениться составу смеси, например из-за неоднородности состава смешиваемых руд, как спектральная линия тут же «дает команду» мотору: замедлить или, напротив, ускорить подачу руды.

Портативные и легкие спектральные аппараты стали оружием геологов. Раньше приходилось отбирать пробы минералов и везти их за тридевять земель, чтобы сделать их химический анализ. Сегодня такой анализ нередко производится прямо в поле. Для этого используют не только видимый, но и рентгеновский и даже гамма-спектр. Чтобы не возить с собой громоздкую установку для создания высокого напряжения, необходимого для получения рентгеновских лучей, ее заменяют небольшим и легким радиоактивным источником, который сам испускает достаточно энергичные электроны.

Можно воспользоваться и природными возбудителями рентгеновских спектров, например космическими лучами. В их составе содержится много протонов, выбрасываемых из недр Солнца. До поверхности Земли эти протоны почти не доходят: их заворачивает земное магнитное поле и, кроме того, они поглощаются в атмосфере. Но вот, скажем, до лунной поверхности протоны доходят без помех. Там они возбуждают довольно яркие рентгеновские спектры лунных пород. Именно с помощью спектрометра рентгеновских лучей, установленного на борту советского искусственного спутника Луны, был впервые определен состав пород лунной поверхности. А потом, когда специальные автоматы доставили лунный грунт на Землю, состав этих пород был определен уже в лабораторных условиях. Результаты обоих определений прекрасно совпали.

Третье важнейшее преимущество спектрального анализа состоит в его высокой чувствительности. Многие отрасли современной промышленности имеют дело с материалами, обладающими чрезвычайно высокой чистотой. Например, промышленность полупроводниковых приборов — транзисторов и многих других — использует кремний, в котором примеси должны содержаться в количестве не более одного атома на миллиард атомов кремния.

Определять такие следы примесей качественно, а тем более количественно обычными методами химического анализа — почти невыполнимая задача. Спектральный же анализ позволяет ее решить. Чувствительность современного спектрального анализа по оптическим спектрам такова, что позволяет определять относительное содержание примесей до миллионных, а в ряде случаев — и стомиллионных долей процента! Если считать, что масса пробы, взятой для анализа, составляет 1 грамм, то это означает, что в пробе можно обнаруживать вещества, содержащиеся в количестве миллиардных долей грамма.

Еще большей чувствительностью обладает так называемый локальный анализ по рентгеновским спектрам. В этом методе с помощью специальных устройств создается зонд — очень тонкий пучок электронов, диаметром в тысячные доли миллиметра. Зонд движется по поверхности образца, возбуждая в ней рентгеновский спектр. По линиям этого спектра можно определять содержание в образцах элементов в количествах, еще в миллионы раз меньших! И что важно, этот метод позволяет производить химический анализ, не нанося образцам ни малейших повреждений. Во многих случаях это становится весьма существенным преимуществом, например, когда образцы уникальны, неповторимы, когда после анализа надо их подвергнуть еще другим исследованиям и тому подобное.

...В конце мая 1945 года в Амстердаме был арестован голландский художник Ван Меегерен. Ему было предъявлено обвинение в сотрудничестве с фашистскими оккупантами: в 1943 году Ван Меегерен продал Герингу картину Яна Вермеера «Христос и грешница», составлявшую величайшее национальное достояние Голландии. За эту картину Ван Меегерен получил миллион гульденов.

Обвинение серьезное. Если оно подтвердится, Ван Меегерену грозит многолетнее тюремное заключение. После полуторамесячного заперательства Ван Меегерен сдается. Нет, национальное достояние Голландии не потерпело ущерба. Свое золото Геринг отдал не за подлинный шедевр, а за фальшивку. «Христа и грешницу» написал не Вермеер, а он сам, Ван Меегерен!

Это была не первая и не единственная подделка Ван Меегерена. Он был очень тщеславен и мечтал о лаврах великого художника. Но шли

годы, а его постоянными спутниками так и оставались непризнание и бедность. И Ван Меегерен объявил войну обществу. В глубине души он был убежден в своей гениальности. Он считал, что критики и знатоки искусства не принимают его картин из-за непонимания и зависти. Хорошо же, пусть они убедятся, как гениально он подделывает картины!

В семнадцатом веке в Голландии творил замечательный живописец Ян Вермеер. Написал он немного, но и то было позабыто, потонуло в море работ плодовитых его соотечественников. Открыли Вермеера художники спустя два века, а затем к нему пришла великая посмертная слава. Начались поиски его произведений, каждое из них стало цениться буквально на вес золота.

Манера Вермеера была неповторимой. До нас дошло около сорока его картин. Все они написаны на бытовые сюжеты. Копировать эти наперечет известные картины и сбывать как подлинники — нет, «гениальный» Ван Меегерен не мог позволить себе так низко пасть, не говоря уже о том, что это было сопряжено с огромным риском. О жизни Вермеера почти ничего не известно? Тем лучше! По крайней мере, никто не знает всего того, что он мог бы написать. А католик Вермеер мог бы писать картины и религиозного содержания. Ван Меегерен решает заполнить «пробел» в творчестве Вермеера.

Несколько лет он вживается в стиль творчества своего великого предшественника, бесконечно копируя его картины, добываясь подлинной неотличимости того, что нельзя толком ни объяснить, ни ухватить, — стиля. Семь месяцев напряженно пишет он первого своего «Вермеера» — картину «Христос в Эммаусе». Библейский сюжет — Христос со своими учениками — известен. Композицию он тоже не выдумывает, а берет за образец картину на ту же тему замечательного итальянского художника Караваджо. Пишет так, чтобы в подлинности картины не усомнился даже самый дотошный эксперт.

Берется старый холст того же семнадцатого века, с него «смывается» подлинная малозначительная картина. Отыскивается особая кисть из барсучьего волоса, какой писали голландцы во времена Вермеера. Даже краски Ван Меегерен изготавливает сам. За огромные деньги он достает маленький кулек лазури — краски, до сих пор не потерявшей блеска на старых полотнах, но секрет изготовления которой утрачен.

Теперь написанную картину надо «состарить». Ван Меегерен сушит ее при высокой температуре, накатывает холст на цилиндр, чтобы краска потрескалась «от времени», замазывает эти трещины — кракелюры — тушью. Наконец все готово. Через подставных лиц Ван Меегерен выставляет картину на обозрение.

«Христос в Эммаусе» вызывает настоящую сенсацию. Эксперты и реставраторы несколько месяцев изучают картину, но придаться им не к чему. Картину приобретает музей, а Ван Меегерен становится богачом. Вслед за «Христом в Эммаусе» он пишет еще несколько картин «в духе» Вермеера. Неизвестно, чем бы все это кончилось, если бы он не продал одну из них Герингу, а последующий судебный процесс не привел бы его к саморазоблачению.

Вот когда эксперты всполошились! Теперь они уже не ограничились простым разглядыванием картин, а пустили в ход весь арсенал технических средств, в том числе и спектральный анализ. Картины просветили рентгеновскими лучами — и под изображением возник старый красочный слой, который удастся редко полностью смыть. Мало того, «новые» и «старые» кракелюры при этом не совпали. Наконец, был устроен обыск в

доме Ван Меегерена. Спектральный анализ обнаруженных там красок и смол показал их тождественность с теми, что Ван Меегерен использовал в своих картинах.

Ван Меегерен реабилитировал себя, сняв обвинение в сотрудничестве с фашистами, но опозорил свое имя как мастер подделок, пусть даже выдающийся — но фальсификатор.

С тех пор прошло тридцать лет, но поток фальшивых произведений изобразительного искусства не только не иссякает, а даже множится. Мо-да на произведения больших художников велика, коллекционеры платят за них бешеные деньги. А там, где есть спрос, всегда найдутся и предложения. Пикассо, например, был плодовитым художником, но в мире бродит столько «его» картин и рисунков, сколько он не написал бы, проживи даже десять своих долгих жизней!

Старых художников подделывать труднее. Надо знать, чем и на чем писали в те времена, на дереве или на холсте, какими красками, на какой основе. Мало одной лишь исторической осведомленности, надо еще добыть или изготовить эти материалы. С каждым годом фальсификация картин становится все рискованнее. Методы экспертизы произведений искусства с помощью спектрального анализа становятся все совершеннее. Так, с помощью рентгеновских лучей можно установить, на чем или поверх чего написана картина: эти лучи легко проникают под поверхность красочного слоя. Ультрафиолетовые лучи выявляют то, что написано позднее основной картины. Инфракрасные лучи позволяют судить о состоянии поверхностных слоев краски.

Особое значение имеет спектральный анализ самих красок. Ведь многие широко применяемые современными художниками краски — например, кобальт, хром, кадмий, цинковые белила — появились только в прошлом веке. А другими, скажем лазурью или малахитовой зеленью, художники сегодня уже вовсе не пользуются.

Но спектральный анализ позволяет не только разоблачать подделки, и подделки не только произведений искусства. Он служит и более благородным целям — помогает при реставрации старинных картин, при выявлении ценной старой живописи, погребенной под позднейшей бездарной мазней, помогает обнаруживать на залитых чернилами или тушью — или даже вообще стершихся и слипшихся страницах — драгоценные строки, написанные рукою великих писателей, поэтов и композиторов. О важности такой работы говорить не приходится. В ней на равных правах участвуют люди, казалось бы, очень далеких профессий — искусствоведы и криминалисты.

...Совершенно преступление — ранен или убит человек. И следовательно начинается с того, что, пожалуй, дало название его профессии, — со следов. Не бывает бесследных преступлений, как бы предусмотрителен и ловок ни был преступник, как бы он ни старался скрыть все вещественные доказательства. Он унес с собой нож, которым нанес удар, — но в ране остались почти незаметные частички металла. Он угнал автомашину, которой сбил человека, — но на теле и на одежде его жертвы остались следы краски с машины. Он закурил от волнения, сигарета сгорела целиком, — но остались следы пепла. Он работал в перчатках, чтобы не оставить следов от пальцев, — но остались ворсинки от перчаток.

Для начала может быть достаточно и этих следов. Ножи сделаны из стали, сигареты — из бумаги и табака, перчатки — из ткани. Основной химический состав каждого из этих веществ одинаков, но вот состав малых примесей в них может быть (и так почти всегда будет) разным. Эти малые

примеси называются микроэлементами, и спектральный анализ устанавливает, как правило, их неповторимое сочетание. Сравнивая эту картину с той, которую дают известные следователям образцы веществ, можно нередко сказать не только из какого материала изготовлено сокрытое оружие преступления, но даже где и когда оно было изготовлено.

Конечно, это не означает окончания следствия — напротив, это только еще его начало. Следователя теперь ждут другие заботы: опознав оружие преступления, постараться найти его. Это оружие поможет разоблачить самого преступника. И заключительный спектральный анализ найденного оружия, тождественность его с анализом следов обличает преступника с такой же объективностью, как отпечатки его пальцев.

...В 1821 году на острове Святой Елены умер великий изгнанник Наполеон Бонапарт. В своем завещании он писал: «Я умираю, отравленный наемником Британской империи». Он имел в виду Лоу — английского губернатора острова: у пленника с его неусыпным стражем сложились очень напряженные отношения.

В течение многих лет историки полагали, что Наполеон умер от рака — наследственной болезни, поразившей также его братьев и сестер. Загадочную фразу в его завещании они считали просто риторическим приемом. Но, может быть, это была не просто красивая фраза? Нашлись историки, которые решили это проверить — с помощью физиков. Несколько лет назад они вскрыли величайшую святыню Франции — саркофаг в Париже в Доме инвалидов, где хранятся останки Наполеона, перевезенные с острова Святой Елены. Нет, они не осквернили святыню: они только срезали несколько волос с головы Наполеона.

Волосы поместили в атомный реактор. В мощном потоке нейтронов они приобрели радиоактивность. Эту радиоактивность затем физики исследовали с помощью спектрометра гамма-лучей. И обнаружили в спектре гамма-линии мышьяка! Мышьяк при отравлении накапливается в волосах — это уже давно было известно криминалистам.

Так в историю была внесена поправка. Романтическая фраза оказалась предчувствием человека, которого медленно, в течение нескольких лет, отравляли небольшими дозами мышьяка, подмешиваемого в пищу. Страх перед Наполеоном был столь велик, что его боялись даже сосланного на уединенный остров, за тысячи километров от Европы!

Но спектроскопия стала верной помощницей истории еще до этого сенсационного эксперимента. Спектральный анализ микроэлементов в археологических находках — древних монетах, металлических украшениях, статуэтках, ножах и других изделиях — стал путеводной нитью для археологов. Он позволил им пройти вместе с древними мастерами по всему пути металла — от рудников, где добывалась руда, плавилец, где из нее выплавлялся металл и смешивался с другими металлами для придания ему прочности, до мастерских, где изготавливались изделия. По пути, порою насчитывавшему тысячи километров, пролежавшему через разные земли.

Спектральные исследования археологических находок внесли важные уточнения в труды историков. История металла — это история всей человеческой цивилизации. У ее колыбели стояли рудокоп, металлург и кузнец. Где они «стояли», как «ковали» цивилизацию — ответ на эти вопросы позволяет раскрыть многие загадки древних народов, великих предшественников народов сегодняшних.

Союз физики и археологии не ограничивается одной спектроскопией. Физические методы исследования в археологии охватывают широкую об-

ласть, простирающуюся от радиоактивности до физики твердого тела. С помощью физиков археологи, например, пытаются моделировать, как древние люди, знавшие всего лишь простейшие механизмы, умели возводить колоссальные и вместе с тем совершенные сооружения.

Но спектральный анализ первым подал руку археологии.

ПРОЩАНИЕ СО СПЕКТРАМИ

«...Линия горизонта на картине была не прямой, а дугообразной, — значит, на неведомую планету люди смотрели свысока. На черном небе над этой линией не было привычных звезд. Только пятна — красные, желтые, синие. В черном море расплывались их блеклые отражения, теряясь рядом с яркими зелеными кляксами.

Что ж, наверное, очередной труд художника-фантаста? Вид на планету Бета Альфы Большого Пса? Нет. Море на картине было черным не только по цвету, но и по имени. Автор не улетал мечтами от Земли. Но и цветные пятна не были простым порождением его фантазии. Картину писал физик, и называлась она «Радиовечер над морем». Краски передавали не обычные, а «радиоцвета».

Зеленый цвет стоит посередине радуги, посередине светлого спектра. И физик доверил ему представлять короткие радиоволны, занимающие середину радиоспектра. Ультракороткие волны стали синими, средние — желтыми, длинные — красными.

Слепят зеленым с морской глади передатчики кораблей. Скромное бледно-голубое пятно у горизонта — Солнце; зато зеленоватый Юпитер ярк и велик, так же как и далекие радиозвезды.

...Имел ли физик-художник право совершать чудесное превращение радиоволн в световые лучи? А почему бы и нет? Ведь и те и другие — кровные родственники; те и другие — электромагнитные волны, только разной длины.

Может быть, стоит пожалеть, что такой «радиовечер» мы с вами можем увидеть только в «переводе» на язык обычных красок. А вот если бы все электромагнитные волны были равно доступны глазу? Мы бы видели в полной темноте нагретые предметы — от них идут инфракрасные лучи; видели бы сквозь стены и вообще сквозь другие препятствия... Хорошо? Плохо! Мы получали бы слишком много сигналов, они бы мешали друг другу; в этой каше не мог бы разобраться ни один мозг. Природа поступила предусмотрительно, ограничив наши возможности. Конечно, кое-что при этом мы потеряли. Человечеству не пришлось бы дожидаться девятнадцатого века для открытия радиоволн и рентгеновских лучей...»

Этими словами Р. Подольный начинает свою книгу «Про чувства». Мы кончаем ими нашу книгу. В самом деле, знал бы человек о природе больше, если бы он мог видеть и радиоволны, и рентгеновские, и гамма-лучи? Основываясь на открытиях современной астрономии, можно, кроме «радиовечера», нарисовать не менее необычные картины «рентгеновского неба» и «гамма-неба».

На этот вопрос можно, пожалуй, ответить так: человек видел бы больше, но понимал столько же. Многие тысячи лет люди знали о существовании радуги. Но объяснить ее смогли только во времена Ньютона, а в глубокую ее сущность проникли на пороге нашего века, вместе с квантом. Если бы люди могли с самого возникновения человечества видеть и рентгеновские,

и гамма-лучи, и радиоволны, то все равно разобраться в их происхождении они сумели бы только после веков развития физики и химии, после возникновения науки о спектрах. Люди видят многое. Но понимание того, что они видят, подчас приходит спустя многие столетия.

Не стоит печалиться, что природа не наделила наши глаза «радиовидением» или «рентгеновидением». Все равно мы к этому пришли, когда настало время.

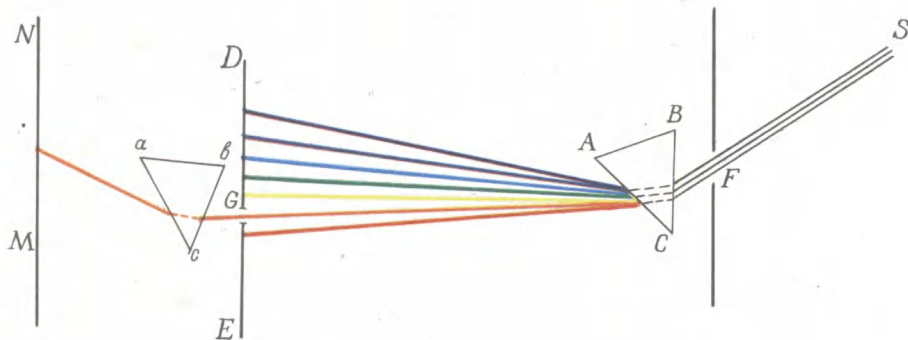
Спектры раскрыли перед людьми алгебру цветов и скрывшуюся в ней гармонию атомов, молекул и квантов. Многоцветный мир не стал от этого суше и беднее. Напротив, он обогатился новыми красками, новыми сверкающими гранями знания, которые, право, не уступают в красоте и удивительной необычности «радиовечеру» или «рентгеновскому небу».

Зримые и незримые потоки электромагнитных излучений заполняют Вселенную. Нет в ней уголка, куда не проникали бы электромагнитные волны, — ни в космосе, ни в атомах. Мир купается в безбрежном океане излучений.

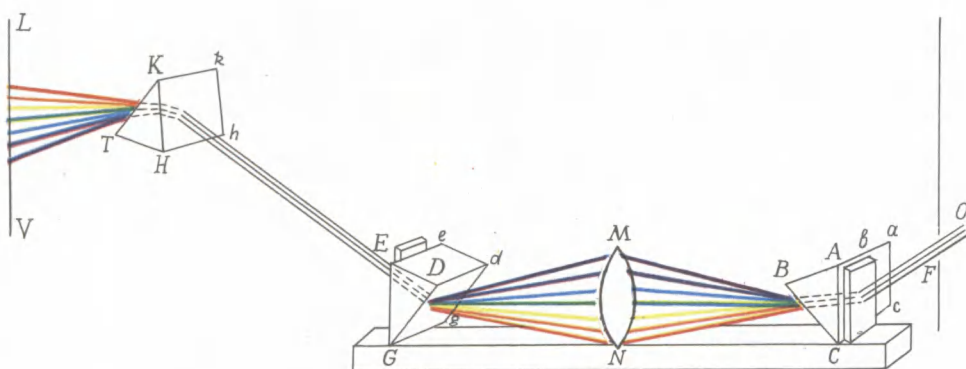
В этом мире, существующем уже миллиарды лет, наконец появляются исследователи. Они создают спектральные приборы. И — о чудо! — им становится понятным, как устроен мир. Все вещи в мире доверчиво рассказывают им о себе на всеобщем языке излучений. Слова в этом языке — спектральные линии.

Вслушиваясь в этот язык, понимая в нем сначала отдельные звуки, потом слова, потом целые фразы, люди обретают сказочное могущество. Когда-нибудь они научатся разговаривать на языке излучений с далекими цивилизациями, путешествовать на фотонных ракетах, взрывать с помощью мощных излучений звезды ради добычи «полезных ископаемых», собирать расточаемое звездами впустую излучение для блага своего существования.

В начале всех этих великих свершений было, есть и будет изучение спектров.



Знаменитый опыт Ньютона по разложению солнечного света в спектр с помощью стеклянной призмы. Пучок белого света S , пройдя призму, разлагается в веер цветных лучей, каждый из которых уже не разлагается второй призмой (к стр. 11).



Луч света O , пройдя первую призму, разлагается в веер цветных лучей, которые, будучи собраны линзой MN , по прохождении через вторую призму дают снова белый луч. В том, что этот белый луч содержит все цвета, легко убедиться с помощью третьей призмы (к стр. 11).

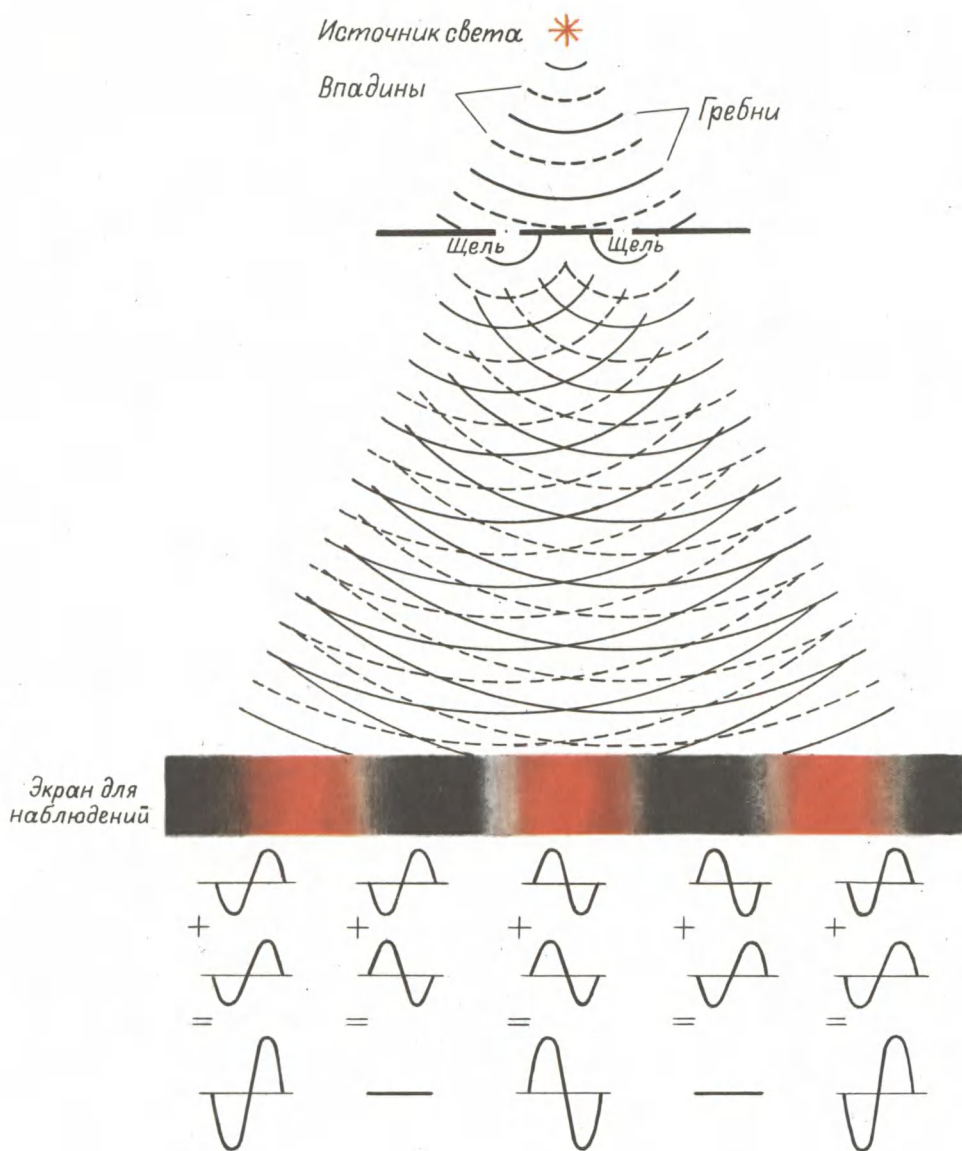


Схема возникновения интерференции световых волн в опыте Юнга с двумя одинаковыми источниками красного света (к стр. 20).



Темные фраунгоферовы линии в спектре Солнца. Обратите внимание на две темные *D*-линии в середине полоски спектра (к стр. 16).



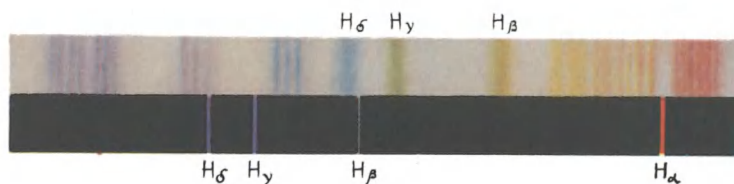
Спектр излучения натрия, в котором видны две светлые *D*-линии (к стр. 26).



Спектр калия (к стр. 25).



Спектр стронция (к стр. 25).



Отождествление оптического спектра далекого квазара, удаляющегося от нас со скоростью почти 50 000 километров в секунду. Видно, что некоторые из линий в его спектре хорошо совпали с линиями спектра водорода при их смещении почти на 16% (к стр.102).



Спектр цезия (к стр. 45).



Спектр рубидия (к стр. 45).



Спектр индия (к стр. 45).



Спектр таллия (к стр. 45).



Спектр гелия (к стр. 41).



Спектр неона (к стр. 52).



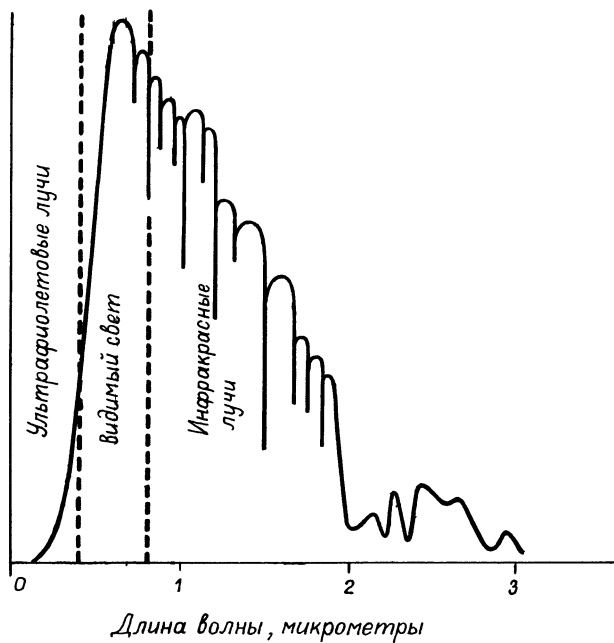
Спектр аргона (к стр. 50).



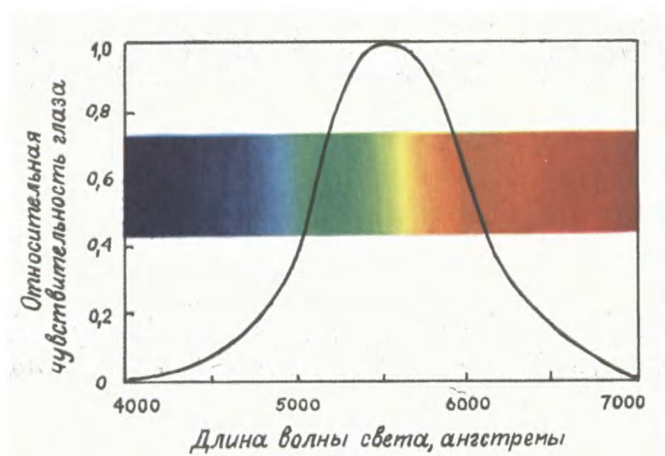
Спектр криптона (к стр. 52).



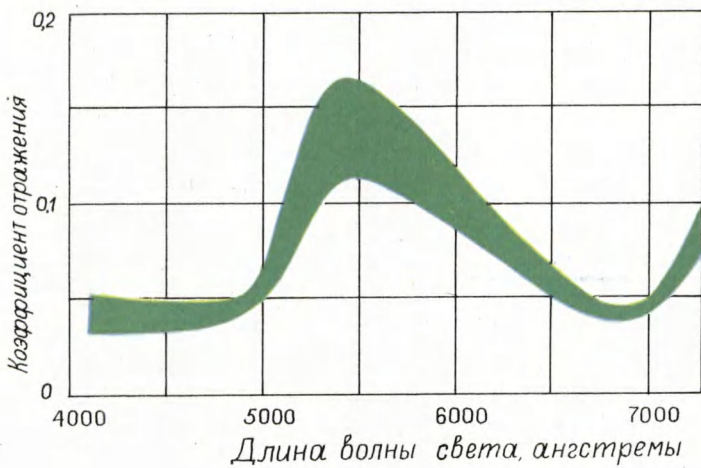
Спектр ксенона (к стр. 53).



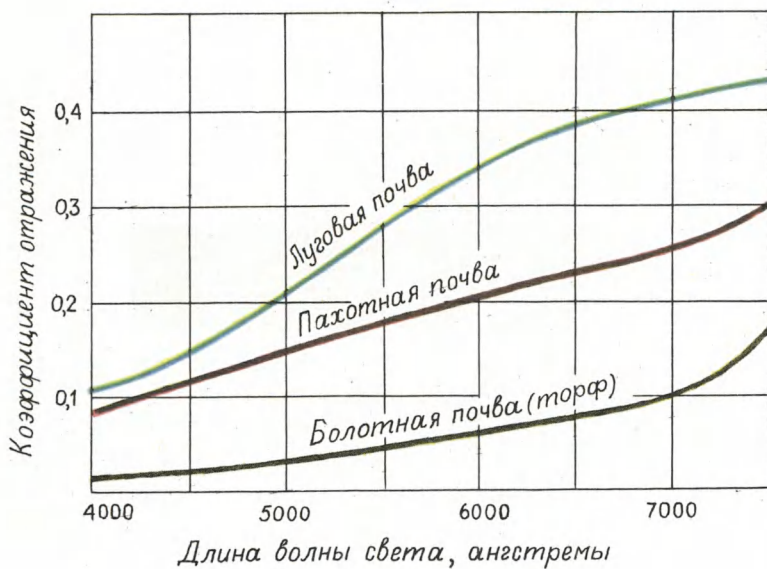
Спектральная кривая солнечного излучения (к стр. 55).



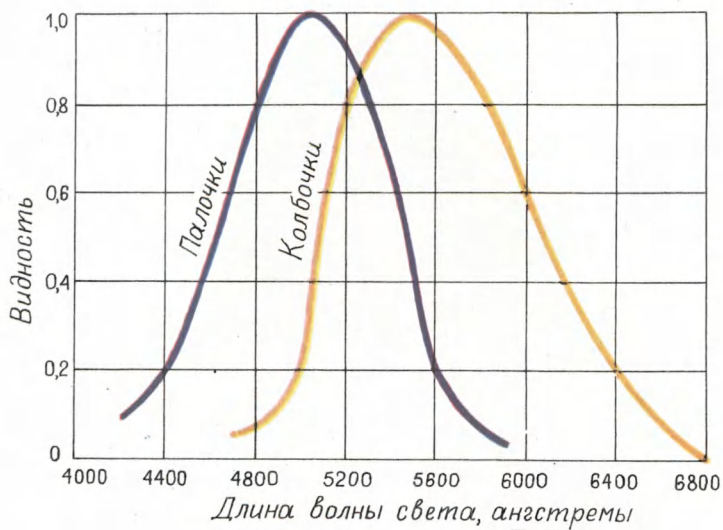
Спектральная кривая чувствительности человеческого глаза (к стр. 55).



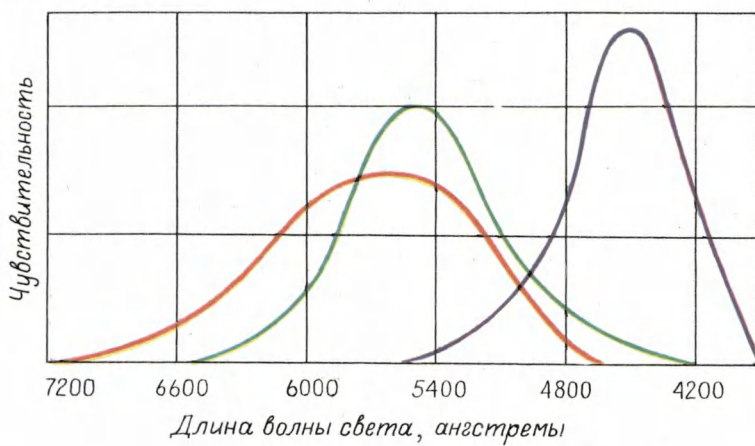
Спектральная кривая солнечного излучения, отраженного различными растениями (к стр. 35).



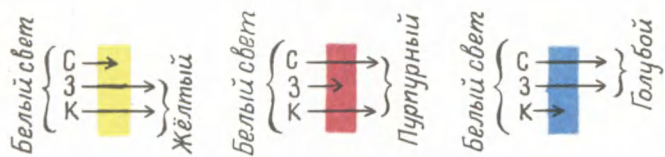
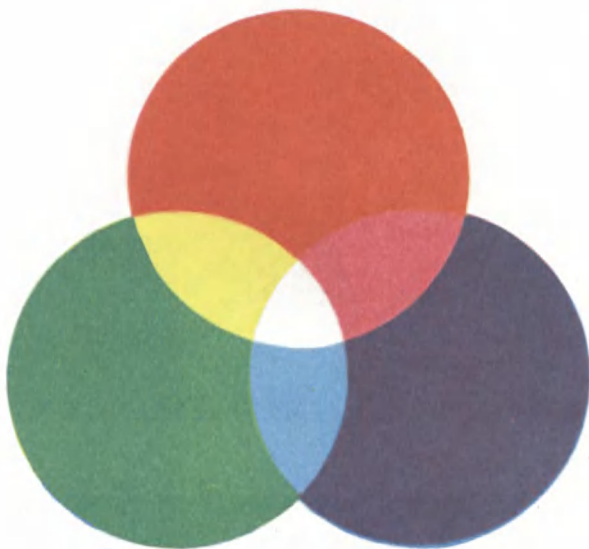
Спектральные кривые солнечного излучения, отраженного различными почвами (к стр. 55).



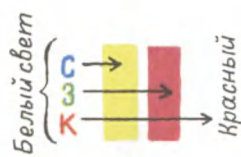
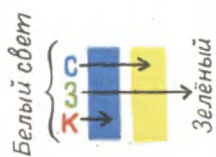
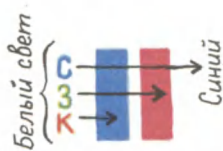
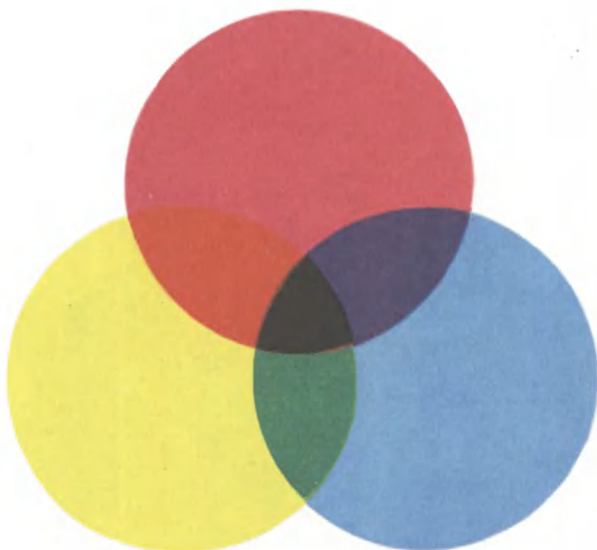
Спектральные кривые чувствительности колбочек и палочек
(к стр. 56).



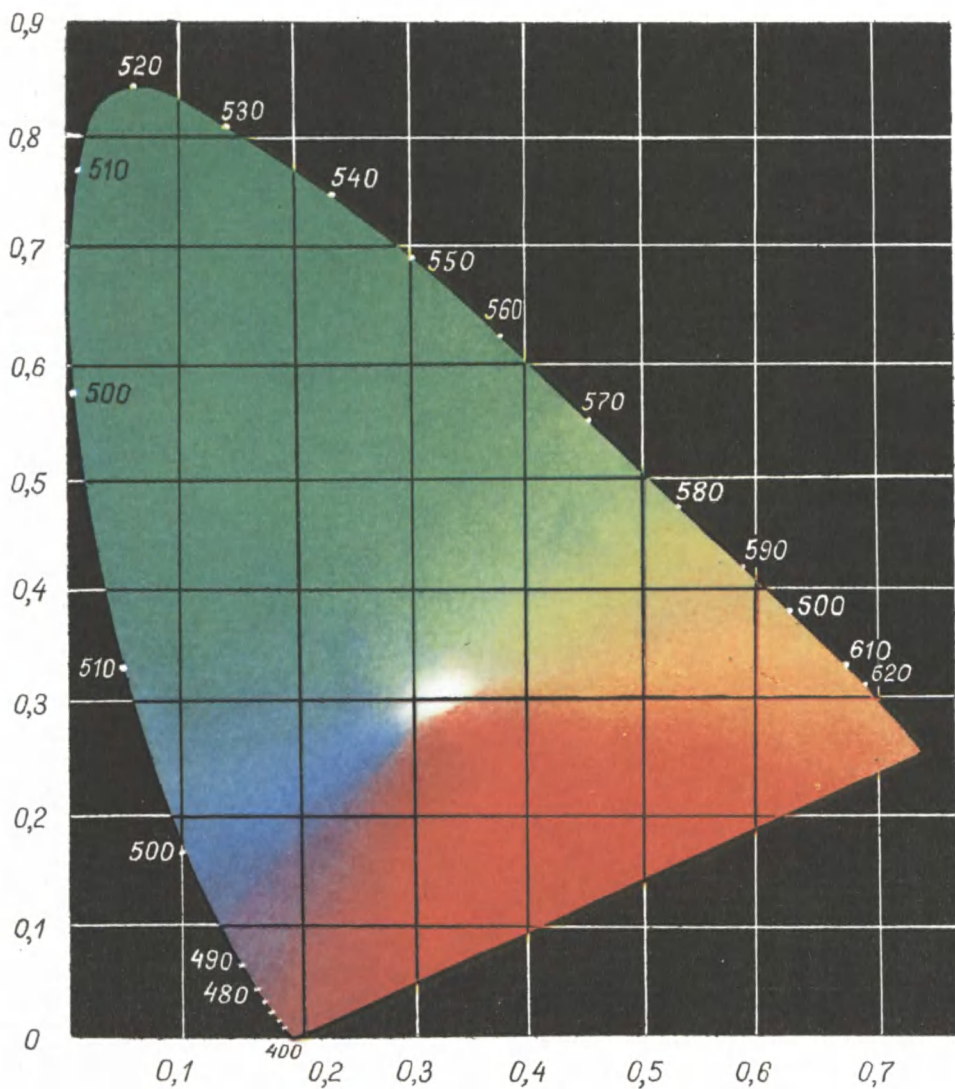
Спектральные кривые чувствительности отдельных пигментов
в колбочках (к стр. 59).



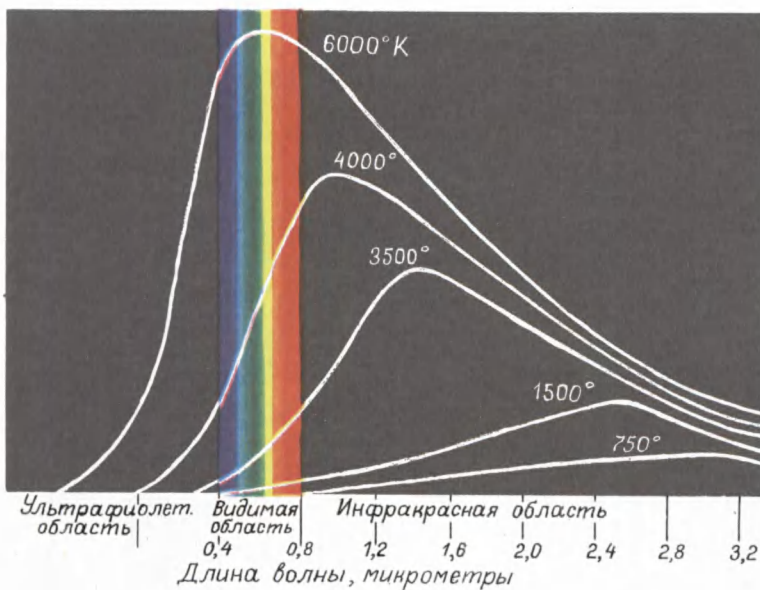
Аддитивное смешение основных цветов с помощью цвето-
фильтров (к стр. 57).



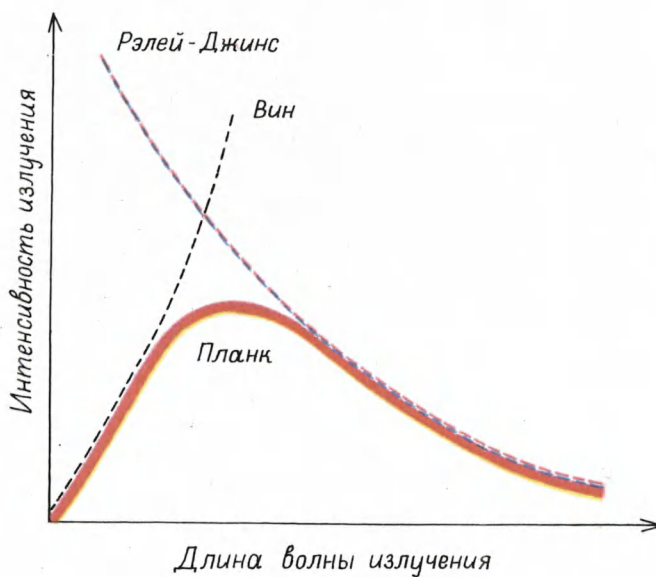
Субтрактивное смешение основных цветов с помощью красок (к стр. 57).



Цветовой треугольник, служащий для определения цвета, который получается при сложении основных цветов в разных пропорциях. Длины волн на сторонах треугольника отложены в миллимикронах ($1 \text{ миллимикрон} = 10^{-7} \text{ сантиметра} = 10 \text{ ангстрем}$) (к стр. 59).



Спектральные распределения излучения абсолютно чёрного тела при нескольких температурах (к стр. 63).



Излучательная способность абсолютно черного тела и описывающие ее теоретические кривые Вина, Рэля и Планка (к стр. 65).

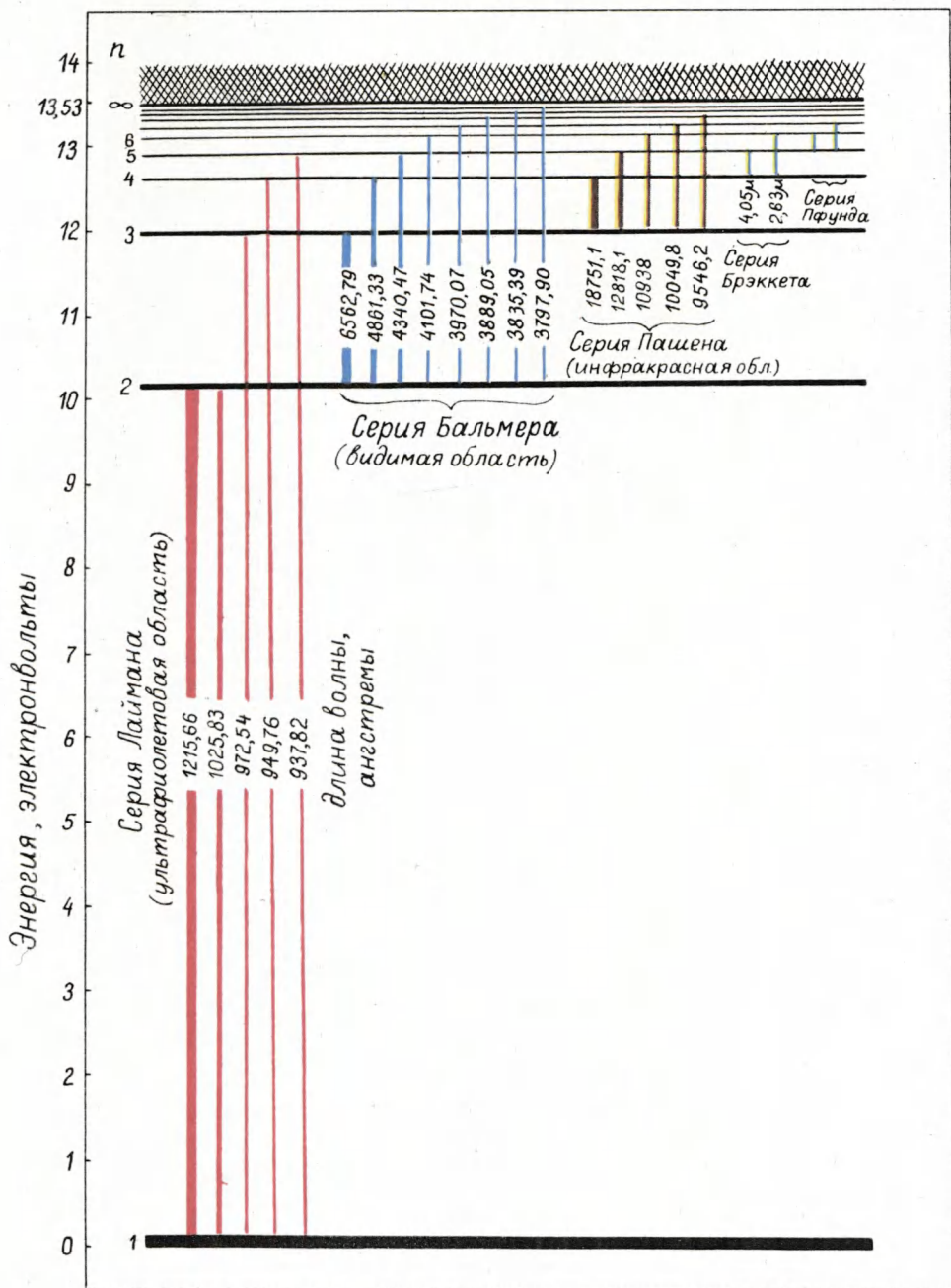
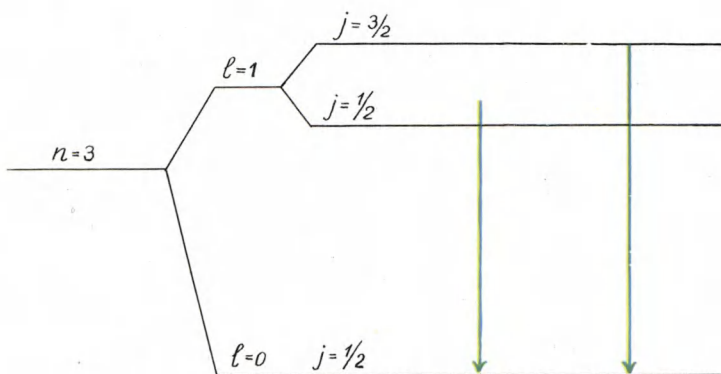


Схема энергетических уровней электрона в атоме водорода и спектральных линий, возникающих при переходе электрона между этими уровнями (к стр. 75).



Без магнитного поля

В магнитном поле

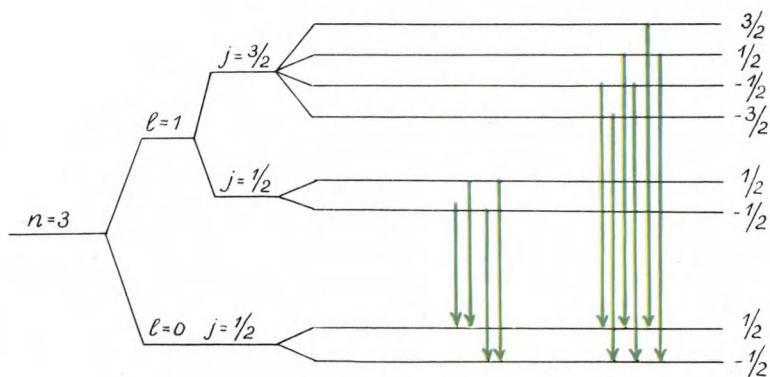
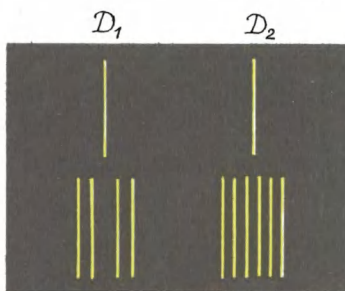


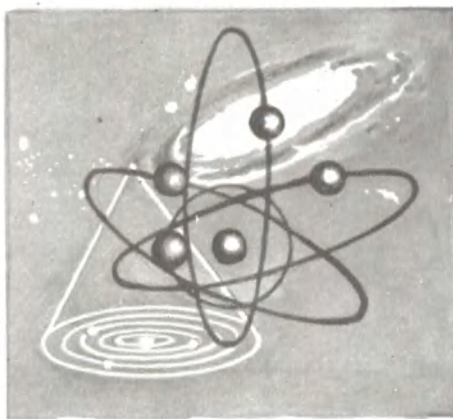
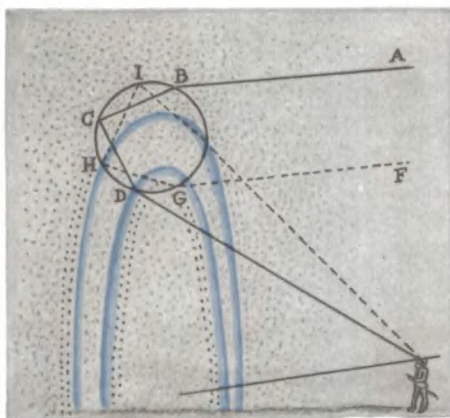
Схема возникновения дублета D -линий натрия и его расщепления на десять линий в магнитном поле (к стр. 82).

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИГЛАШЕНИЕ К СПЕКТРАМ 5

Часть 1. РОЖДЕНИЕ СПЕКТРОВ

Часть 2. ЖИЗНЬ СПЕКТРОВ



Как мы видим?	7	Путь к кванту	61
Радуга в комнате	9	Кванты рождаются в	
О природе света	12	атомах	68
Темнота в радуге	14	Музыка атомов	74
Цвет и длина волны	17	Атом и целые числа	79
Рождение спектроскопа	21	Спектры и законы слу-	
Первые шаги спектроскопии	23	чая	83
Две D-линии	26	Занавес расходится	87
О чем рассказали D-линии	30	Со щупом в атомные ядра	94
Отражение, пропускание, поглощение	32	Шепот Вселенной	99
Вокруг открытия	35	Занимательная спектроскопия	105
Спектроскоп нацеливается в небо	38	ПРОЩАНИЕ СО СПЕКТРАМИ	111
Спектроскоп смотрит на Землю	44		
Первым был аргон...	47		
Спектр и глаз	54		

Для среднего и старшего возраста

Виталий Исаакович Рыдник

МНОГОЦВЕТЬЕ СПЕКТРОВ

ИБ № 1264

Ответственный редактор И Б Шустова Художественный редактор
О К Кондакова Технические редакторы Л П Костикова
и Т Д Юрханова Корректоры И В Мартынова и Л А Рогова

Сдано в набор 17 11 78 Подписано к печати 29 06 79 А06941 Формат 70×100//16
Бум. офс. № 1 Шрифт обыкн. Печать офс. Усл. печ. л. 10,4 Уч.-изд. л.
9,31+8 вкл.=10,04 Тираж 75 000 экз. Заказ № 383 Цена 65 коп.
Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Детская литература» Госу-
дарственного комитета РСФСР по делам издательства, полиграфии и книжной
торговли Москва, Центр, М Черкасский пер., 1 Отпечатано с диапозитивов
экспериментальной типографии ВНИИ полиграфии Москва, на Калининском
ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинате детской литературы
им. 50-летия СССР Росглавполиграфпрома Госкомиздата РСФСР Калинин,
проспект 50-летия Октября, 46

Рыдник В. И.

Р93 Многоцветье спектров: Научно-художественная
лит.-ра. Рис. Н. Дроновой и Ю. Урманчеева.— М.:
Дет. лит., 1979.—127 с., ил.

В пер.: 65 к.

Книга о важнейших открытиях в области спектров, о возможностях при-
менения спектров для изучения микро- и макромира, о работе спектров во
многих областях науки и техники.

Р 70803-342
М101(03)79 424—78

ББК 22.34
53

КАЖДЫЙ ОХОТНИК ЖЕЛАЕТ ЗНАТЬ, ГДЕ СИДИТ ФАЗАН



