

А.И.ШТЕЙНГАУЗ • ДЕВЯТЬ ЦВЕТОВ РАДУГИ



А.И.ШТЕЙНГАУЗ  
**ДЕВЯТЬ  
ЦВЕТОВ  
РАДУГИ**

ДЕТГИЗ

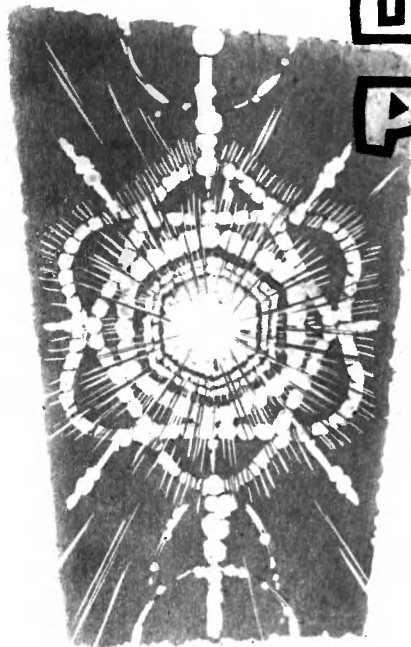


ШКОЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА

А.И.ШТЕЙНГАУЗ



# ДЕВЯТЬ ЦВЕТОВ РАДУГИ

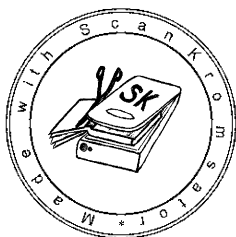


ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ДЕТСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МИНИСТЕРСТВА ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР  
МОСКВА · 1963

Задумывались ли вы когда-нибудь о том, сколько цветов в радуге? Семь, а может быть, девять, как говорит название книги? Оказывается, их значительно больше, но в то же время название книги правильное. Почему же это так?

Из этой книги вы узнаете, что такое свет видимый и невидимый, как он помогает людям познавать и исследовать окружающий мир, проникать в глубь вещества и в космос. Кроме того, вы прочтете о том, как человек научился видеть в темноте, передавать на огромные расстояния изображения и запечатлевать процессы, длящиеся миллионные доли секунды. Обо всем этом и о других новых достижениях науки и техники рассказано в книге «Девять цветов радуги».

Научный редактор  
кандидат физико-математических наук  
Л. М. К о в р и ж н ы х



Scan AAW

Оформление  
Б. Белова

Рисунки в тексте  
М. Большакова

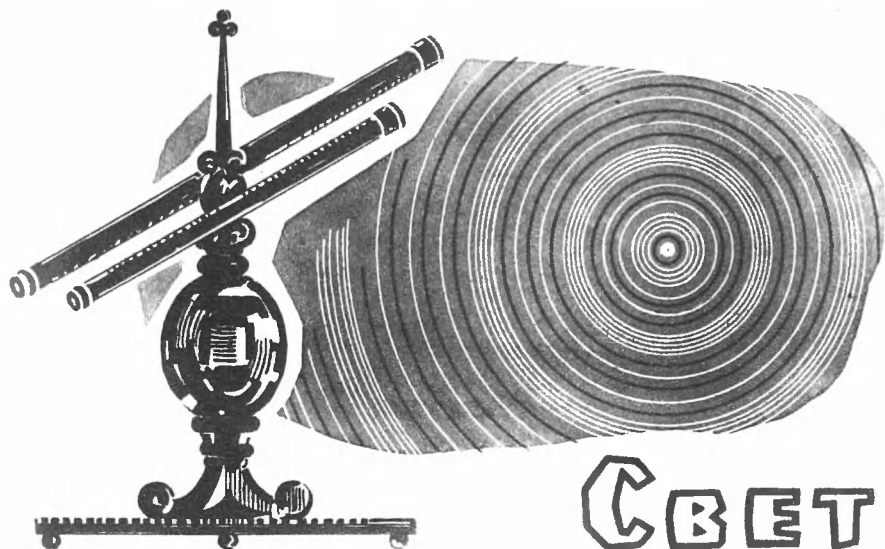
*Большая часть прохладов и утех в жизни нашей от цветов зависит. Красота лица человеческого, одежды и другие украшения и утвари, приятность многообразных минералов и драгоценных камней, потом животных разного рода, наконец все сияние благоприятного и прекрасного солнца, все, что оно в своем великолепии по расцветающим полям, в лесах и морях производит, — все сие не достойно ли внимания нашего?..*

*Что ж о таком безмерном света океане представлять себе те должны, которые во внутреннее природы святилище взирают любопытным оком и посредством того же света большую часть других естественных таинств усердствуют постигнуть?*

*Ломоносов. «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющее...»*







*В создании физической теории существенную роль играют фундаментальные идеи, а не формулы. Физические книги полны сложных математических формул. Но началом физической теории являются мысли и идеи, а не формулы.*

*А. Эйнштейн, Л. Инфельд  
«Эволюция физики»*

Сколько же все-таки цветов в радуге?

Вовсе не семь, как всегда говорят, и не девять, как утверждает название книги, а намного больше, потому что каждый цвет плавно переходит в соседний, образуя бесчисленное множество оттенков. Их глаз человека — необыкновенно чувствительный прибор — может различать в спектре более сотни.

Если же не говорить об оттенках, а лишь об основных цветах, то их действительно только семь: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый.

Значит, название книги неправильное?

Нет, правильное. Потому что в радуге есть еще две полосы, окаймляющие ее сверху и снизу. Одна полоса лежит за фиолетовой, а другая —

за красной границами видимого участка радуги. Их не может заметить глаз, так как он нечувствителен к ним, но они, несмотря на это, существуют и могут быть обнаружены различными способами. Та полоса, что находится за фиолетовой границей, обязана своим существованием ультрафиолетовым лучам, а та, что за красной, — инфракрасным.

Вот наличие-то этих полос в радуге и оправдывает название книги.

Наш глаз нечувствителен к таким лучам, он не видит их; и, находясь в закрытом помещении, освещенном либо инфракрасными, либо ультрафиолетовыми лучами, человек будет думать, что вокруг кромешная темнота. Однако это не так: свет в помещении есть, только необычный — черный свет. Черный потому лишь, что мы не видим его. Но, например, инфракрасные лучи можно почувствовать. Если их интенсивность будет достаточной, кожа ощутит тепло, ибо именно эти лучи переносят его, за что их часто называют тепловыми.

Могут возникнуть и действительно возникают вопросы: зачем считаться с ультрафиолетовыми, инфракрасными лучами, какое они в этом случае могут иметь значение и стоит ли вообще говорить о них?

Оказывается, стоит. Потому что наука и техника уже неплохо освоили их, и в будущем даже в повседневной жизни обойтись без них будет так же невозможно, как теперь невозможно жить без видимого света.

## **КУСОК СТЕКЛА**

Уже десятки веков прошли с тех пор, как люди научились варить стекло и с помощью длинных трубок выдувать из расплавленной, чуть светящейся массы тонкостенные, разнообразные по форме, прозрачные сосуды.

Стекло не сразу научились делать хорошим: оно не было ни чистым, ни достаточно прозрачным, в нем часто встречались темные крупинки, пузырьки и другие изъяны. Время шло, и шаг за шагом люди постигали тайны производства стекла, его качество становилось все лучше и лучше, и, что не менее важно, стало возможным приготавливать довольно крупные куски, в которых почти не оказывалось дефектов.

Именно из таких кусков, чистых и однородных по составу, можно было изготавливать линзы. Первые линзы были созданы в начале средних веков. Предполагают, что их изобрели арабские врачи, которые в те времена уже достаточно хорошо знали строение глаза человека. Именно глаз и особенно одна из его важнейших частей — хрусталик — натолкнули на мысль отшлифовать из хорошего куска стекла подобие хрусталика — линзу.

Линзы сразу нашли применение, и, естественно, прежде всего их использовали люди с плохим зрением. Лишь немногие могли позволить себе покупку этих спасительных, но очень дорогих стекол. Однако их счастливые обладатели не могли пользоваться ими в полной мере — еще не была изобретена оправа для очков.

Ее изобрели лишь в 1350 году, по-видимому в Италии. Вот тогда-то и появились очки — первый оптический прибор.

Хотя в те далекие времена только немногие умели читать и писать и, казалось бы, не должны были особенно утруждать свои глаза, все же спрос на очки был очень велик. Появились новые ремесла: шлифовальщиков линз и оптиков, изготавливающих очки.

Конечно, о законах оптики, а тем более о природе и свойствах света тогда знали крайне мало. Это не значит, что их не пытались открыть и постигнуть. С самых давних времен ученые интересовались законами оптики.

Некоторые факты были известны ученым древней Греции. Евклид знал о законе отражения света, Аристотель изучал явление преломления света, а знаменитый астроном древности Птолемей даже измерял углы падения и преломления света. Греки применяли вогнутые зажигательные зеркала.

Изучали оптику и арабские ученые: примерно девятьсот лет назад появилось целое научное исследование по оптике Ибн-аль Хайтама; оно в течение почти четырехсот лет являлось самым полным и лучшим.

Законами света занимались и многие европейские ученые средневековья. Они исследовали действие линз, пытались объяснить явление радуги; им уже были известны опыты по преломлению лучей с помощью призм, изготовленных из шлифованного стекла.

Но тем не менее до подлинной науки в современном ее понимании еще было далеко.

И все же именно куску стекла, которому умелые руки шлифовальщика придавали прозрачность и нужную форму, суждено было вызвать к жизни эту науку — науку о свете, или оптику, как ее называют ученые.

Как ни странно на первый взгляд, но крупнейшие изобретения в оптике были сделаны еще в те годы, когда эта наука только зарождалась. Речь идет об изобретении телескопа и микроскопа. Первые телескопы и микроскопы были созданы в Голландии в самом начале 1600-х годов. К тому времени в этой стране появилось много оптических мастерских, в которых работали великолепные шлифовальщики стекла и гранильщики драгоценных камней. И вот, как рассказывает легенда, в одной из таких мастерских был изобретен телескоп. Но изобрел его не оптик, не какой-нибудь ученый, а ребенок, которому разрешили поиграть с линзами. Он случайно взял две линзы и посмотрел через одну в другую. Каково же было удивление и восхищение не только его, но и всех взрослых, когда, смотря через эти стекла, они неожиданно для себя увидели, что отдаленные предметы кажутся совсем близкими, словно до них всего лишь несколько шагов!

В самом деле, тогда должно было казаться совершенно удивительным, просто-напросто волшебством, то, что далекое можно, не двигаясь с места, буквально в мгновение ока приближать к себе.

Это открытие сразу получило всеобщее признание и широкое практи-

ческое применение — мореплавателям помогали созданные на этом принципе подзорные трубы. Но не меньше моряков заинтересовались новым оптическим прибором и использовали его ученые. Еще в 1609 году итальянский физик и астроном Галилео Галилей (1564—1642) изготовил и применил телескоп для наблюдения неба.

Вначале телескопы были очень несовершенными инструментами. Звезды и планеты, наблюдаемые через эти телескопы, казались окрашенными по краям радужными каемками, и, чем большим пытались сделать увеличение телескопов, тем заметнее становилось это окрашивание. Мастера и ученые старались разгадать природу радужных каемок, многие даже считали, что все дело в стекле, но никто до великого английского ученого Исаака Ньютона, родившегося в 1642 году, так и не сумел найти ответа.

## **О ПРОСТЫХ ОПЫТАХ, КОТОРЫЕ ОБЪЯСНИЛИ ОЧЕНЬ СЛОЖНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ДАЖЕ РАДУГУ**

«Свет»... Произнося это слово, большинство из нас представляет себе белый солнечный или тепло-золотистый свет электрической лампы. Но можно думать совсем и о другом свете. Возможно, шофер вспомнит кровно-красный, предостерегающий, или зеленый, спокойный, «глаз» светофора, фотолюбитель — красный фонарь, при свете которого он часами просиживает перед ванночками с проявителем и закрепителем. Другие, может быть, вспомнят яркие цветные рекламы из газосветных трубок или огни фейерверка. И все будут правы, потому что свет бывает не только белым, но и цветным.

Ученые знали об этом и раньше, еще задолго до Ньютона. Но никто до него даже и не предполагал, что лучи белого света, света нашего солнца, представляют, если можно так выразиться, смесь цветных лучей — красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего, фиолетового и всех промежуточных цветов. Более того, было известно, что призма, помещенная на пути солнечного света, отбрасывает яркую радужную полосу. Но никому не удавалось объяснить это явление.

Вот что писал по этому поводу сам Ньютон:

«В начале 1666 года (в это время я занимался шлифовкой стекол иных форм, чем сферические) я достал треугольную стеклянную призму, чтобы с ней 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».

Любой из нас может наблюдать ярко окрашенную полосу, отбрасываемую призмой на белую стену или на кусок белой бумаги. Цвета в

этой полосе столь красивы, ярки и чисты, что можно буквально часами глядеть на них и наслаждаться, различая новые и новые прекрасные оттенки. Такой опыт сделать очень легко: достаточно лишь иметь призму хотя бы из испорченного полевого бинокля. Можно даже не особенно затемнять комнату, правда, при этом чистота, насыщенность и количество различаемых цветов значительно уменьшатся.

Ньютон проводил опыт с солнечным светом не ради простого удовольствия. Главной его целью было выяснить, почему призма, поставленная на пути солнечных лучей, преобразует белый солнечный свет в спектр — цветовой ряд, полосу, в которой все цвета следуют один за другим в неизменном, всегда повторяющемся порядке.

Ему пришлось проделывать огромную работу. И если учесть, что она проводилась почти триста лет назад с помощью всего лишь нескольких призм, линз и самых незамысловатых приспособлений, то кажутся совершенно поразительными выдумка и мастерство Ньютона-экспериментатора.

На основе проведенных опытов Ньютон открыл неизвестные ранее законы, которым подчиняется свет, и первым попытался научно объяснить его природу.

Встречая на своем пути две среды, отличающиеся друг от друга оптическими свойствами (например, воздух и стекло или воздух и воду), лучи света изменяют свое направление при переходе из одной в другую — преломляются. Это преломление тем больше, чем сильнее отличаются по своим свойствам среды, через которые проходит свет. Мы часто встречаемся с этим явлением в повседневной жизни. Достаточно лишь напомнить о ложке, опущенной в стакан с водой. Кажется, что она имеет резкий излом как раз на границе воды и воздуха.

О преломлении света было известно и до Ньютона. Но никто не знал, как преломляются лучи разного цвета.

Своим первым опытом (всего он провел 33 различных опыта, повторяя каждый по многу раз) Ньютон установил, что «лучи, отличающиеся по цвету, отличаются и по степени преломляемости». А третий опыт позволил ему сделать следующее важное заключение: «Солнечный свет состоит из лучей различной преломляемости».

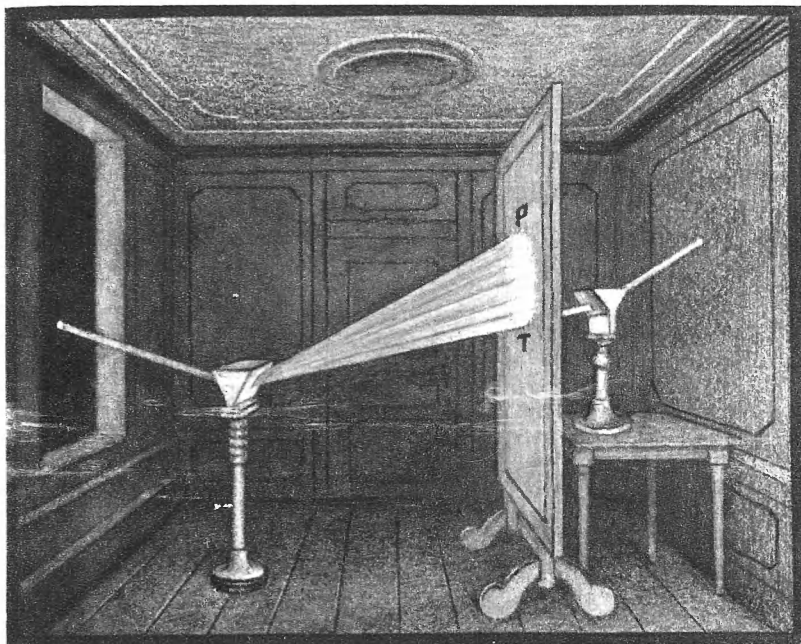
Вот выдержки из описания опыта, сделанного самим Ньютоном:

«Я поместил в очень темной комнате у круглого отверстия, около трети дюйма шириною, в ставне окна стеклянную призму, благодаря чему пучок солнечного света, входившего в это отверстие, мог преломляться вверх к противоположной стене комнаты и образовывал там цветное изображение солнца. Ось призмы (то есть линия, проходящая через середину призмы от одного конца к другому параллельно ребру преломляющего угла) была в этом и следующих опытах перпендикулярна к падающим лучам. Я вращал медленно призму вокруг этой оси и видел, что преломленный свет на стене или окрашенное изображение солнца сначала поднималось, затем начало опускаться. Между подъемом и спуском, когда изображение казалось остановившимся, я прекратил враще-



ние призмы и закрепил ее в этом положении так, чтобы она не могла более двигаться...

Поместив призму в это положение, я заставил преломленный свет падать перпендикулярно на лист белой бумаги на противоположной стене комнаты и наблюдал фигуру и размеры солнечного изображения, образованного светом на бумаге.



Опыт Ньютона. Проходя через первую призму, солнечный свет преобразуется в спектр. Отверстие в экране, помещенном между призмами, пропускает лучи только одного цвета. Поэтому свет, проходя через вторую призму, уже не образует расходящегося пучка лучей.

Это изображение спектра  $PT$  было окрашено красным в наименее преломленном конце  $T$ , фиолетовым — в наиболее преломленном конце  $P$  и желтым, зеленым, синим — в промежуточном пространстве.

В одном из дальнейших положений, сформулированных Ньютоном на основании своих опытов, говорится следующее:

«Белизна и все серые цвета между белым и черным могут быть составлены из цветов, и белый солнечный свет составлен из всех первичных цветов, смешанных в должной пропорции».

Иными словами, Ньютон доказал то, что теперь известно всякому: солнечный свет состоит из смеси различных чистых цветов. Не менее

существенно и другое: однородный свет (то есть «одноцветный» или «монокроматический», как его называют оптики), проходя через призму или линзу, преломляется уже «правильно». Луч монокроматического света уже не расщепляется при преломлении, и потому изображение в монокроматических лучах будет всегда четким. Что же касается лучей белого света, то, проходя через преломляющие среды, они расщепляются. И именно этим объяснялось, почему в микроскопах, телескопах и других оптических инструментах получалось окрашенное изображение.

Ньютон прямо говорил об этом:

«Усовершенствованию телескопов препятствует различная преломляемость света».

И только спустя много лет ученые нашли способы устранения окрашивания изображений в оптических приборах, содержащих линзы.

За счет различной преломляемости лучей разного цвета возникает и радуга.

Еще задолго до Ньютона некоторые ученые правильно считали, что она возникает вследствие преломления света в каплях падающего дождя. Такого мнения придерживался, например, знаменитый французский ученый Рене Декарт, однако объяснить появление различных цветов он не смог. Первым, кто дал верный ответ, был Ньютон. И это не представляло для него особых трудностей. Ведь ключ к разгадке — знание законов преломления световых лучей разного цвета — был у него в руках.

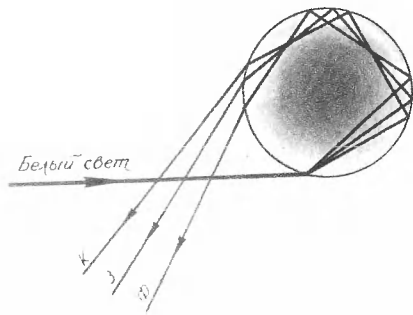
Луч солнца, встречаясь с дождевой каплей, очень близкой по форме к шару, проникает в нее и преломляется. Так как вода оптически более плотная среда, чем воздух, луч, войдя в каплю, «прижимается» к перпендикуляру, восстановленному в точке падения. Дойдя до противоположной стороны капли, он выходит из нее, но не полностью — часть света отражается обратно и выходит из капли примерно с той же стороны, что вошла. При этом (в силу некоторых причин) наибольшее количество света выходит под углом в  $138^\circ$  ( $42^\circ$ ) к первоначальному направлению солнечных лучей. Именно этот свет и видит наблюдатель, если он находится в таком месте, куда свет приходит.

Почему же радуга имеет вид дуги, а не части диска?

Это объясняется тем, что в глаз наблюдателя попадает свет только от тех капель, направление на которые совпадает с обратным путем световых лучей, вышедших из капли, то есть соответствует углу в  $42^\circ$  по отношению к направлению лучей, идущих от солнца. Все точки пространства (в данном случае — это капли), которые видны наблюдателю под одним и тем же углом, должны лежать на окружности. Иными словами, геометрическое место точек, видимых под определенным углом, представляет собой окружность. Именно часть окружности, а не часть диска мы видим, наблюдая радугу.

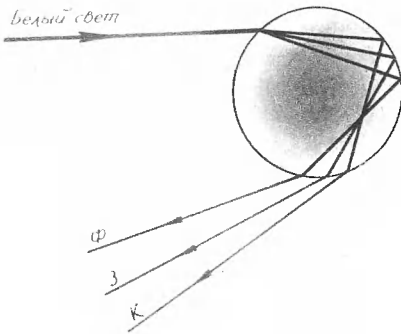
Почему радуга цветная?

Чтобы ответить на этот вопрос, достаточно лишь вспомнить законы, установленные Ньютоном: «Солнечный свет состоит из лучей различной



преломляемости» и «лучи, отличающиеся по цвету, отличаются и по степеням преломляемости».

Поэтому указанные значения углов  $138^\circ$  и  $42^\circ$  верны только для какого-то одного цвета, для всех других цветов углы будут отличаться. Правда, отличие не будет большим, потому что степени преломляемости для лучей разного цвета отличаются не так уж сильно. Но этого отличия достаточно, чтобы радуга стала разноцветной.



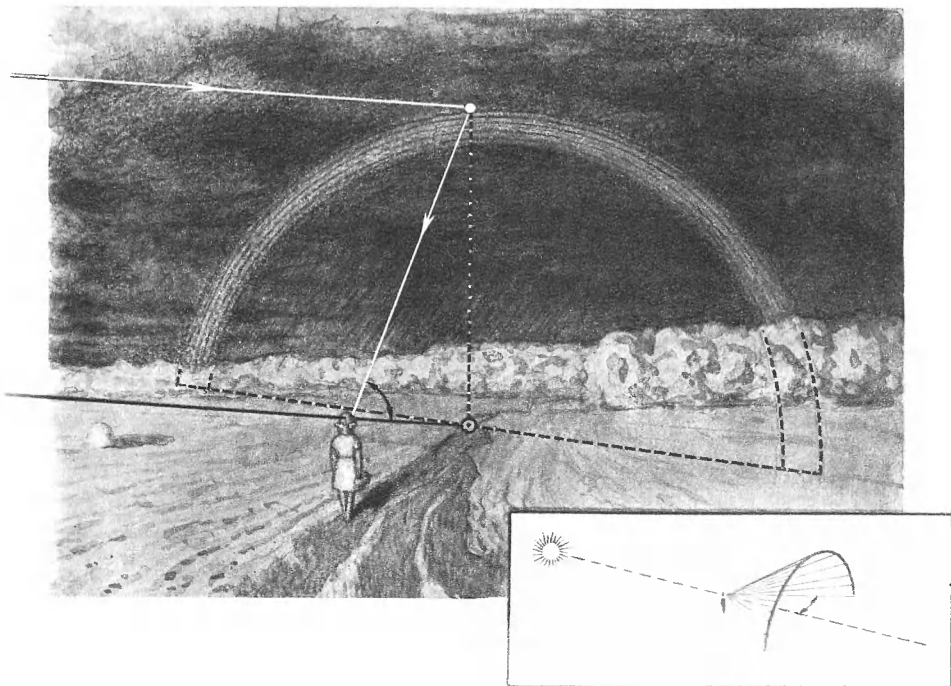
Часто можно наблюдать не одну, а сразу две радуги: одну над другой, причем верхняя, как правило, гораздо тусклее и шире нижней. Она получается в том случае, когда свет отражается внутри капли не один, а два раза и после этого выходит в воздух. Свет, вышедший из капли после двух отражений, слабее, так как и при втором отражении часть света не отразилась, а вышла из капли. Поэтому верхняя радуга слабее. Свет от нее приходит к глазу наблюдателя под углом в  $129^\circ$  ( $51^\circ$ ) к солнечным лучам. Средний угловой размер полной радуги составляет  $102^\circ$ , в то время как у нижней радуги этот размер равен  $84^\circ$ .

Путь лучей в дождевой капле. В нижней капле свет отражается только один раз и выходит обратно. В верхней капле свет, перед тем как выйти в воздух, отражается дважды.

Попробуйте проверить свою наблюдательность. Постарайтесь вспомнить, каков порядок цветов в нижней и верхней радугах, считая от нижней границы нижней радуги.

Не многие сумеют сделать это правильно. Цвета следуют в таком порядке: фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный. Далее идет полоса, в которой глаз не различает цветов, иногда она даже кажется более темной, чем остальная часть неба, на фоне которого видны радуги. За этой полосой начинается верхняя радуга; в ней порядок цветов обратный — от красного к фиолетовому.

Фиолетовый цвет радуги, особенно верхней, имеет розоватый оттенок и отличается от фиолетового, наблюдаемого в темной комнате от призмы. Это объясняется тем, что на него накладывается неразложенный, белый солнечный свет. От этого фиолетовый тон блекнет, приобретает красноватый оттенок.



Взаимное расположение наблюдателя, солнца и радуги.

Говорят, у англичан есть старинное поверье: если сумеешь дойти до подножия радуги, найдешь горшок с золотом. Но подобно тому как невозможно дойти до горизонта, нельзя дойти и до радуги. Есть и другая причина, по которой ни одному англичанину еще не удалось разбогатеть подобным образом,— радуга не имеет подножия. Она вовсе не дуга, а полная окружность.

Правда, находясь на земле, мы никогда не видим ее целиком — нижняя часть в лучшем случае (при восходе или заходе солнца) оказывается на  $42^\circ$  ниже горизонта. Но, если дождь идет из туч, поднявшихся на высоту 5—6 километров, можно с вершины горы высотой 2,5—3 километра, из кабины самолета или какого-нибудь другого летательного аппарата увидеть полную радужную окружность. Более того, так как центр радуги находится на линии «солнце — глаз наблюдателя», а солнце — за его спиной, то в благоприятном случае точно в центре радуги можно увидеть тень горы, самолета и... свою собственную.

Говорят были счастливцы, которым удавалось наблюдать столь великолепное зрелище.

Возможно, некоторые задумывались над тем, отчего в наших широтах радугу можно увидеть либо угром, либо к вечеру, то есть только на западном или восточном небосклоне? Ответ прост: чем выше поднимается солнце, тем ниже радуга уходит за горизонт или крыши домов и, наоборот, чем ниже солнце, тем выше и величественнее радуга.

Прежде чем перейти к следующему разделу, стоит сказать еще об одном интересном факте. Оказывается, яркость цветов в радуге зависит от величины дождевых капель. Если они крупные, 1—2 миллиметра в диаметре, то фиолетовая и зеленая полосы очень яркие, красная тоже хорошо заметна, но голубая видна слабо. Если капли меньшего размера, яркость красного цвета убывает. При диаметре капель 0,2—0,3 миллиметра он исчезает вовсе, хотя остальные цвета видны хорошо. При еще меньших каплях радуга расширяется и блекнет, и при совсем мелких капельках, порядка 0,05 миллиметра, она становится белой.

Однако, говоря о зависимости яркости цветов радуги от размера капель, мы забегаем вперед — при жизни Ньютона это явление не могло еще быть объяснено.

## ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ

*Наука не является и никогда не будет являться закрытой книгой. Каждый важный успех приносит новые вопросы. Всякое развитие обнаруживает новые и глубокие трудности.*

*А. Эйнштейн, Л. Инфельд  
«Эволюция физики»*

Если бы можно было все науки разъять на части и разложить по полкам, то полок нужно было только две. Над одной полкой повесили бы табличку-название, на которой был бы написан вопрос «Как?», а на другой — «Почему?».

Первая полка была бы огромной — на ней оказались бы все научные открытия, все факты, установленные и исследованные человечеством за все время его существования. Вторую полку не потребовалось бы делать столь же большой — на ней разместилось бы не так уж много томов, заполненных гипотезами и теориями, объясняющими известные на сегодняшний день факты. Если содержимое первой полки день ото дня пополняется, а старый багаж сохраняется, то на второй полке идет непрерывная смена, непрерывное обновление. Иными словами, в противоположность теориям только редкие факты стареют или меняются, а чаще всего и вовсе остаются неизменными, вечными, хотя, конечно, они могут уточняться.

Мы говорим: «Земля — шар». Это факт. Правда, теперь известно, что Земля несколько сжата с полюсов и не является идеальным шаром. Но смысл факта от этого не изменился, он только стал точнее. И этот факт останется неизменным, пока будет существовать Земля. Но, установив его и проверив опытным путем, ученые не считают дело законченным. Они ищут ответа на вопрос: «Почему Земля — шар?» И ответ на него независимо от содержания может считаться гипотезой. Гипотезы могут быть самыми различными. Часто верными, еще чаще неверными, а иногда и глупыми. Но выживают лишь немногие. Только те завоевывают признание, которые подтверждаются фактами и сами, в свою очередь, оказываются в состоянии объяснить не какое-либо одно явление вне связи с другими, а целую совокупность подчас самых различных на первый взгляд фактов и, более того, подсказать существование новых, еще не открытых явлений. Такие гипотезы уже переходят в разряд теорий. Чем больше фактов и явлений удастся связать между собой и объяснить теорией, тем она глубже, вернее и долговечнее.

Теория объясняет факты, факты поверяют теорию.

Все, что до сих пор было здесь рассказано о свете, относилось к категории фактов, все отвечало на вопрос: «Как?» Только объясняя раду-гу, мы впервые спросили: «Почему?» И нашли ответ на этот вопрос, опираясь на некоторые факты, некоторые законы света, установленные Ньютоном.

Разумеется, самое главное «Почему?» в оптике относится не к радуге, а к самой природе света. **Что есть свет, какова его природа, почему в одних условиях он ведет себя так, а в других иначе?** Ибо, если бы нам удалось абсолютно точно узнать природу света, мы во всех случаях могли бы предсказывать результаты его действия. Поэтому оптика, или, в более общем смысле, физика, изучает и накапливает не только факты, связанные со светом, но на их основе стремится постигнуть и объяснить, что же такое свет.

Могут ли ученые найти совершенно исчерпывающий ответ на этот вопрос? И останется ли он неизменным на все времена так, как останется неизменным факт, говорящий, что Земля — шар?

Нет, создать абсолютную теорию невозможно ни теперь, ни когда-либо в будущем. Некоторые ученые-философы пытались создавать теории подобного рода, говорящие об истинах в «конечной инстанции». Они заблуждались.

Философские труды Маркса, Энгельса и Ленина показали бесплодность и глубокую ошибочность таких попыток. В самом деле, разве можно создать совершенно законченную теорию какого-либо раздела науки, не зная обо всех фактах и явлениях в этой области? **Но в том-то и дело, что никогда не удастся узнать все до конца. Потому что, чем дальше развивается наука, чем больше мы узнаём, тем больше открывается перед нами новых, совершенно неизвестных областей, тем больше предстоит исследовать новых закономерностей.**



Но если это так, не значит ли, что люди никогда не сумеют узнать о чем-либо сколько-нибудь достоверно и, следовательно, создать правительные теории? Конечно, не значит.

В наше время имеется много проверенных жизнью, практикой теорий. Они правильно объясняют большинство известных нам явлений. Но тем не менее эти теории все время уточняются и дополняются по мере расширения наших знаний.

Все сказанное особенно хорошо видно на примере истории развития теорий света, о которых сейчас пойдет речь.

Две главнейшие теории, совершенно по-разному объясняющие природу света, возникли почти одновременно.

Автором первой был Ньютон.

По его воззрениям, свет представляет собой вещество. Но не какое-либо непрерывное, текущее, а состоящее из особых частиц — корпускул, как он их называл.

Такие корпускулы испускает всякое светящееся тело. Попадая в наш глаз, они вызывают ощущение света. Различие цветов Ньютон объяснял тем, что корпускулы неодинаковы: корпускулы желтого цвета должны отличаться от корпускул красного, и так далее. Короче говоря, корпускул различных категорий должно быть столько же, сколько имеется лучей различного цвета.

Теория Ньютона, часто называемая теорией истечения или корпускулярной теорией, очень хорошо объясняла большинство известных в то время свойств света.

Так, отражение света от зеркальной поверхности можно очень хорошо объяснить, представив себе корпускулу упругим крохотным шариком, который, подобно мячу, ударившемуся о стену, отскакивает, изменяя направление по закону соударения упругого тела с плоскостью. Теория истечения также просто и понятно объяснила, почему свет может распространяться в вакууме. В самом деле, никто и ничто не мешает потоку световых частиц — корпускул — двигаться в пустоте. На основании этой же теории удавалось объяснять, хотя и более сложным путем, явление преломления света — рефракцию — и многие другие факты.

И все же Ньютон не считал предложенную им теорию окончательной. Он указывал, что его мнение является лишь гипотезой, «имеющей целью только пояснение».

«Я сам,— писал он,— не буду принимать ни этой, ни другой гипотезы... Однако, излагая гипотезу, во избежание многословия и для более удобного представления ее, я буду иногда говорить о ней так, как будто бы я ее принял и верю в нее».

Возможно, он считал, что ученые знают еще слишком мало, для того чтобы уточнить достоверность корпускулярной теории. Возможно, что эти слова были сказаны лишь с целью оградить себя от излишних споров со своими учеными противниками. В этом предположении, вероятно,

кроется доля истины — Ньютон никогда прямо не признавал другой гипотезы, предложенной его младшим современником, голландским физиком, Христианом Гюйгенсом (1629—1695).

## НА КАКОМ ЯЗЫКЕ ГОВОРIT НАУКА

Однако, прежде чем заняться теорией Гюйгенса, придется отвлечься на некоторое время, для того чтобы поговорить о языке науки и его понимании.

Это очень интересная и чрезвычайно сложная тема. Ею, должно быть, занимаются многие ученые: философы, филологи, физики, химики, биологи и многие другие. Исследование языка, которым пользуется наука, крайне важно по многим причинам. Но важнейшей из них является та, что вследствие большой сложности научного языка и так как у каждой научной области своя собственная терминология, нередко случается, что ученые, говорящие об одном и том же, но каждый по-своему, не могут понять друг друга и это тормозит развитие науки.

До сравнительно недавних пор с таким положением можно было еще мириться. Но в последние десятилетия, когда множество важнейших открытий были сделаны на стыке не связанных до того областей знания, проблема терминологии, проблема научного языка приобрела первостепенное значение. И поэтому при академиях наук, при научных обществах разных стран созданы специальные комитеты, задача которых — выработать правильную и, что очень важно, единую для многих отраслей знания терминологию.

Писатель В. Г. Короленко в знаменитой «Истории моего современника» вспоминал, как однажды его отец сказал, что выдумать новое слово невозможно. Это показалось удивительным и неправдоподобным брату будущего писателя, и, желая доказать противное, он произнес какой-то набор звуков. Но потом он понял, что в придуманном слове не было главного — смысла.

Действительно, придумать новое слово просто так, ради прихоти, невозможно. Что же делать ученым, которые непрерывно открывают новое? Надо же это новое как-то назвать. И приходится придумывать новые слова. И в этом случае изобрести слово крайне сложно, и мы немного сумели бы насчитать оригинальных слов, предложенных учеными.

Почти всегда они поступают иначе: они стараются выбирать уже существующие слова, в какой-то мере близкие по смыслу, и окрещивают ими новое явление. Есть несколько путей для такого подбора. Но наиболее распространены два. Первый — пользоваться словами из мертвых языков, чаще всего древнегреческого и латинского, второй — черпать из сокровищницы родного языка. Трудно сказать, какой из путей стоит предпочесть. Ученые в равной мере часто выбирают и тот и другой. Но все же у первого есть одно преимущество. Мертвый язык мертв потому, что

ни один народ не говорит на нем и большинство (включая и ученых) вовсе не знакомо с ним. Поэтому слово, взятое из такого языка, оставаясь благозвучным и красивым (ведь его создавали многие-многие поколения), практически не обременено прежним содержанием. Оно всего лишь прекрасная форма, которую можно заполнить новым содержанием, лишь отдаленно схожим или вовсе не схожим с тем, которое когда-то было в нем.

Возьмем к примеру красивое, звучное слово «электрон». Что означает оно в нашем представлении? Мельчайшую частицу вещества, входящую в состав атома. Так понимаем это слово мы.

Во времена Гомера «электрон» означал совсем другое — прозрачный желтый камень, который временами выбрасывают на морской берег волны, — янтарь<sup>1</sup>.

Но Гомера нет, нет и того народа, который мы зовем эллинами. От тех далеких времен нам в наследство остались величайшие произведения искусства и литературы да язык. Первыми использовали его ученые. И они правильно поступили, воспользовавшись этим великолепным кладом.

Слово, взятое из мертвого языка, никоим образом не может ввести в заблуждение своим прежним содержанием, и именно поэтому его хорошо принимать в науке, где оно принимает новое и совершенно недвусмысленное значение. Это удобно еще и потому, что слово это становится интернациональным — на всех языках его произносят и понимают одинаково.

Второй путь не всегда столь удобен именно потому, что слово живое, что им в его обиходном значении на определенном языке пользуются все, а при переводе не всегда возможно найти слово, которое имело бы абсолютно такой же смысл. Вот тогда и получается, что слова могут иметь различный смысл, то есть становятся двусмысленными: в обиходе — одно значение, а в науке — совсем другое. Тут-то и может возникнуть путаница.

Надо быть осмотрительным в истолковании даже самых простых и широко распространенных слов, если они используются в науке. Об этом рекомендуется помнить при чтении любых книг, посвященных вопросам науки и техники; с этим еще не раз придется встретиться и на страницах этой книги.

Как пример можно привести простое и всем нам знакомое слово «волна».

---

<sup>1</sup> История слова «электрон» в том смысле, как мы понимаем его теперь, довольно сложна. Дело в том, что слово «электричество» произошло от слова «электрон» (янтарь), так как электрические явления впервые наблюдались учеными на кусочках янтаря. Когда же слову «электрон» (в конце прошлого века) был придан современный смысл, ученые вряд ли особенно задумывались о его первоначальном значении. Скорее всего, слово «электрон» явилось уже производным от слова «электричество». Таким образом, круг замкнулся: электрон — электричество — электрон.

## СЛОВО ИЗ СЛОВАРЯ

Прежде всего узнаем, что буквально означает слово «волна». Вернее, что означало оно в те времена, когда наука еще не занимала в жизни людей столь важного места, как сейчас. Сделать это нетрудно. Стоит лишь раскрыть «Толковый словарь живого великорусского языка» Владимира Даля, изданный впервые примерно сто лет назад.

«Волна»,— говорится там,— водяной гребень, гряда, долгий бугор, поднявшийся при всколыхании вод ветром или иною силою».

Но понял ли Даль, этот великий русский знаток языка, такую фразу: «Говорит Москва! Работают радиостанции на волнах 1700, 350 и 4,52 метра»? Нет, не понял бы. Потому что в данном случае это слово используется в совершенно ином смысле — в том, который вложили в него физики.

Хотя, надо сказать, они не случайно выбрали именно его.

Первым видом волнового движения, которое пришлось наблюдать и исследовать ученым, было движение волн на поверхности воды — таких, которые возникают и разбегаются по ее спокойной глади от брошенного камня или от плеснувшей рыбы. Хотя волны на поверхности воды были первыми, которые наблюдали ученые, по мере изучения всех прочих видов волн оказалось, что эти волны обладают целым рядом особенностей. Но все же с примера поверхностных волн, который приводится почти во всех учебниках по оптике, легче всего начать разговор о других видах волн.

Такие волны расходятся кругами. Скорость их движения постоянна и одинакова для всех идущих друг за другом гребней; каждый последующий отстает от предыдущего на одинаковое расстояние. Расстояние между двумя соседними гребнями (или между впадинами) называется длиной волны, хотя, может, было бы лучше, если бы его, по аналогии с винтовой резьбой, назвали шагом волны. Заметьте, что и слово «длина» здесь употребляется в не совсем привычном нам смысле; обычно она измеряется вдоль чего-то, а в данном случае — поперек.

Если на пути волн окажется любой легкий предмет — поплавок или щепка, — они не поплывут вслед за волнами, а останутся на прежнем месте.

Но это не значит, что предметы вообще будут неподвижными. Они приподнимутся на гребне, опустятся во впадину, снова поднимутся и снова опустятся. Значит, волна все-таки заставляет их двигаться. Но это движение совсем не совпадает с направлением распространения волн — оно оказывается поперечным, перпендикулярным ему.

Но почему же тогда речное течение всегда сносит любые плавучие тела? Не противоречит ли это тому, что было сказано о волнах? Нисколько. Из этого можно сделать лишь один вывод: волны и течение — явления совершенно различные. В реке нас сносит течением воды, то есть движением всей массы воды, направленным в одну сторону. Когда же по воде идет волна, то каждая капля воды, каждая молекула не сле-

дует за ней. Они остаются на месте и только опускаются и поднимаются, подобно поплавку, совершая поперечные колебания.

Однако, наблюдая волны, мы определенно видим движение. Что же в таком случае движется?

Ответ, к сожалению, совсем не простой и довольно неожиданный. Пожалуй, сперва его следует лишь запомнить, как запоминают новый, непривычный факт, привыкнуть к нему, не особенно вдаваясь в объяснения.

Обычно, говоря о движении, мы обязательно представляем себе нечто перемещающееся: едущий автомобиль, летящий самолет, плывущий корабль, катящийся шар, идущего человека и так далее. Вся наша повседневная жизнь, весь опыт приучают нас именно к такому пониманию этого слова. Без привычки мы не можем понять и, тем более, представить себе такую форму движения, которая не сопровождалась бы соответствующим перемещением какого-либо тела.

Но распространение волны как раз и является таким движением, которое отличается от привычных и понятных нам видов.

При распространении волны в воде (или в других средах) следует различать два вида движений. Так, наблюдая волны на поверхности воды, мы видим гребни и впадины, расходящиеся кругами. Это движутся волны. Они распространяются от источника колебаний во все стороны с равной скоростью. Движение волны совсем не похоже на связанное с ним движение частиц воды. Последние тоже движутся, но лишь вверх и вниз. Каждая частица, **каждая молекула колеблется относительно того положения, в котором она находилась до возникновения волн, а не перемещается совместно с волной.** Именно поэтому поплавок остается на месте и совершает только колебательные движения, поднимаясь и опускаясь на волнах. Таким образом, наблюдаемое движение волн не является переносом, перемещением каких-либо тел из одной точки пространства в другую. **Перемещается только состояние среды.** То движение, которое мы наблюдаем как непрерывное расширение кругов на воде, **есть всего лишь колебание молекул, ее составляющих, передающееся от одной к другой в том направлении, в котором мы видим движение волн.**

Камень, брошенный в воду, действует на те молекулы, которые находились в месте его падения; он придает им некоторую скорость, сообщает некоторую энергию. Между молекулами воды существует довольно сильное сцепление. Поэтому молекулы, сдвинутые упавшим камнем, потянут за собой соседние; те, в свою очередь, снова передадут смещение, и таким образом смещение будет распространяться все дальше и дальше.

То есть по направлению распространения волн движется не что иное, как смещение, движется энергия. Скорость передачи этой энергии, иными словами — скорость распространения волны в воде (или в какой-нибудь другой среде), зависит от целого ряда факторов и, в частности, от свойств среды, в которой распространяются волны.

Возьмем обычный звонок, снимем с него звонкую металлическую чашечку, по которой стучит боёк, и установим его так, чтобы боёк касался воды. Когда мы включим ток, боёк начнет вибрировать. Его колебания передадутся молекулам воды, и по ней кругами пойдут волны. Мы уже отмечали, что скорость движения волн неизменна и одинакова для всех идущих друг за другом гребней; каждый последующий отстает от предыдущего на неизменное и одинаковое расстояние, равное длине волны.

Предположим, что в начале боёк звонка делал пять колебаний в секунду. Затем, изменив натяжение возвратной пружины, значительно увеличим частоту колебаний бойка. Волны появятся и в этом случае. Но мы увидим, что их как бы стало больше, они стали чаще. Если бы мы сумели измерить длину волны, то увидели бы, что она во втором случае укоротилась.

Из этого опыта мы можем вывести очень важное заключение: длина волны тем меньше, чем выше частота колебаний.

Математически связь между длиной волны, частотой колебаний и скоростью распространения очень проста. Вот она:

$$\text{длина волны} = \frac{\text{скорость распространения}}{\text{частота колебаний источника волн}},$$

или

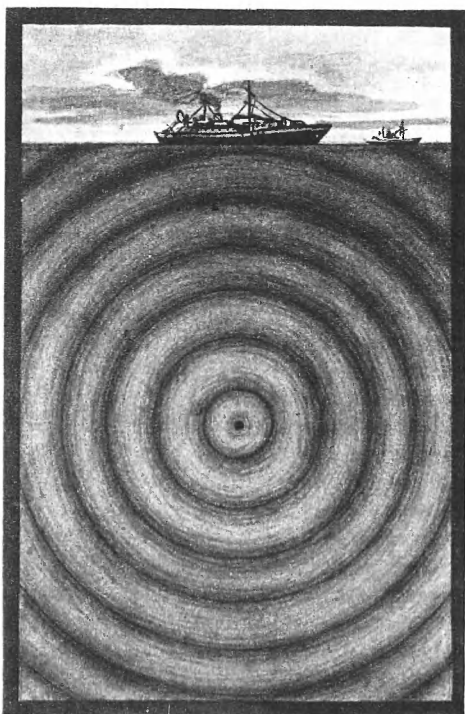
$$\lambda = \frac{v}{f},$$

где  $\lambda$  — это длина волны;  $f$  — частота колебаний, то есть количество колебаний в секунду, совершаемых источником волн;  $v$  — скорость распространения волны.

До сих пор все опыты и рассуждения касались только волн, видимых на поверхности воды. Теперь посмотрим, какую форму будут иметь волны, если источник колебаний поместить глубоко под водой.

Для этого следует провести наш опыт со звонком уже не в ванне или на пруду, а в море, вдали от берегов, опустив звонок на глубину хотя бы в несколько десятков метров. В этом случае распространению волн не смогут мешать и препятствовать ни борта ванны, ни дно, ни берега. После того как звонок будет включен, в толще воды возникнут волны. Они будут распространяться от звонка во все стороны, подобно тому как распространяется свет от солнца. И, поскольку скорость во всех направлениях будет одинакова, все молекулы, имеющие одинаковое смещение, в каждый момент времени будут находиться на одинаковом расстоянии от звонка, окружая его со всех сторон. Иными словами, все эти молекулы в каждый момент времени образуют шаровую поверхность. Радиус этой поверхности непрерывно увеличивается, причем скорость его увеличения равна скорости распространения волн. Но так как колебания повторяются вновь и вновь, такой же самый сдвиг молекул будет повторяться опять в том же самом месте, каждый раз, когда к нему будут приходить следующие волны, волны от следующих колебаний.





Шаровые (сферические) волны в толще воды (изображены в разрезе).

Волны, о которых говорилось до сих пор, все-таки походили на настоящие. Но физики знают и другие виды волн. Распространение звука в воздухе — это тоже волновой процесс. Радиосвязь осуществляется посредством радиоволн, электромагнитных волн. Об их длинах и сообщает нам диктор, начиная передачу.

Радиоволны уж совсем непохожи на «водяные гребни», на «долгие бугры». Более того, они способны распространяться в пустоте. И в этом случае они могут распространяться даже дальше, чем в любой другой среде.

Не так давно этот факт казался непостижимым даже самим физикам. Они не могли представить себе, каким образом волна может распространяться в пустоте. Ведь всегда считалось (и математика подтверждала это), что волна — это процесс передачи от частицы к частице, которые обязательно должны быть связаны между собой какой-либо силой взаимодействия.

В понимании ученых прошлого волны могли распространяться лишь в какой-либо среде. Существование их в пустоте было равносильно «ничему», распространяющемуся в «ничем». Они еще слишком мало знали, чтобы объяснить подобный парадокс, и, естественно, не могли принять такую точку зрения.

Но, поскольку волны подобного рода им приходилось наблюдать в действительности, они вынуждены были как-то объяснять это явление.

Для этого физикам пришлось отказаться от понятия абсолютной пустоты. Они вынуждены были предположить, что всюду и везде присутствует некая таинственная и вездесущая субстанция, некий тончайший газ «эфир», обладающий целым рядом необычайных свойств. В те времена ученые, знавшие еще слишком мало, вообще склонны были объяснять самые различные физические явления наличием разных неуловимых субстанций.

Гипотезу о существовании эфира впервые предложил Гюйгенс. Гипотеза эта понадобилась ему для объяснения свойств другой физической реальности — света. Потому что, в отличие от Ньютона, Гюйгенс считал, что свет имеет волновую природу.

Возможно, к мысли о том, что свет имеет волновую природу, Гюйгенс пришел благодаря одному очень важному обстоятельству, о котором Ньютон, приступая к созданию своей теории света, еще не мог знать.

Это обстоятельство — огромная, непостижимая скорость распространения света. Скорость, «превосходящая мечтания человеческие», как говорил Ломоносов.

Скорость звука в воздухе равна примерно 340 метрам в секунду. Всего лишь двадцать лет назад только пули и артиллерийские снаряды могли перемещаться быстрее. Мировой рекорд скорости, установленный до войны на итальянском гидроплане «Маки-Кастольди», был равен 210 метрам в секунду. Преодолеть звуковой барьер удалось на турбореактивных самолетах; теперь их скорость уже перевалила за 2 маха, то есть более чем в два раза выше звуковой. Это огромная скорость.

Но в наши дни и этот предел остался далеко позади. Есть теперь такие летательные аппараты, которые преодолели более высокие барьеры: первую и вторую космические скорости (примерно 8000 и 11 200 метров в секунду). Это ракеты. Но и эти величины ничто в сравнении со скоростью света, которая равна 299 780 километрам в секунду.

Правда, за последние десятилетия с помощью ускорителей научились разгонять элементарные частицы вещества до скоростей, почти равных этой скорости. Встречаются частицы с такими скоростями и в природе.

Но во времена Гюйгенса об этом не было известно, и даже мушкетные пули очень заметно отставали от звука выстрела. И нет ничего удивительного в том, что Гюйгенс не мог себе представить, что какое-либо материальное тело, даже мельчайшая ньютоновская корпускула, может нести со скоростью, почти в миллион раз превышающей скорость распространения звуковых волн. Гораздо проще и естественнее, казалось ему, считать, что с такой скоростью движутся волны, а не частицы.

Но если частицам ничто не мешает распространяться в пустоте, то для волны, по воззрениям Гюйгенса, пустота представляла непреодолимое препятствие. Тогда-то он и предложил свою гипотезу о существовании эфира.

Свои мысли Гюйгенс изложил в книге под названием «Трактат о свете, в котором объяснены причины того, что происходит со светом при отражении и при преломлении, в частности при странном преломлении исландского кристалла».

Возможно, что непосредственным толчком к написанию этого трактата послужило открытие, сделанное в 1675 году датским астрономом Оле Ремером (1644—1710). Наблюдая затмения спутников Юпитера, он установил, что время их возникновения не всегда одно и то же, а зависит от расстояния между Юпитером и Землей. Этот факт он объяснил тем, что

свет распространяется не мгновенно, а с некоторой скоростью. И на основании такого предположения впервые в истории определил скорость света.

Об этой скорости и о других удивлявших его фактах Гюйгенс писал: «...тем самым мы допускаем существование странной скорости, которая была бы в 1 000 000 раз больше скорости звука. Ибо звук, по моим наблюдениям, делает примерно 180 туаз<sup>1</sup> за время 1 секунду или одного удара артерии...

...Если принять во внимание чрезвычайную быстроту, с которой распространяется свет во все стороны, а также то, что, когда он приходит из различных и даже совершенно противоположных мест, лучи его проходят один через другой, не мешая друг другу<sup>2</sup>, то станет совершенно понятно, что, когда мы видим светящийся предмет, это не сможет происходить вследствие переноса материи, которая доходила бы до нас наподобие пули или стрелы, пересекающих воздух. Это слишком противоречит указанным двум свойствам света».

Для Гюйгенса эти противоречия были решающими и привели его к сомнениям в правильности корпускулярной теории. Однако для создания новой гипотезы одних сомнений еще недостаточно. Необходимы и новые понятия и представления, с помощью которых удавалось бы так же хорошо или более обоснованно объяснить природу света. Во времена Гюйгенса ученые хотя не полностью, но уже достаточно ясно представляли себе процессы распространения волн в воздухе и в воде. И это знание позволило Гюйгенсу утверждать, что свет имеет не корпускулярную, а волновую природу.

В какой же среде, по мнению Гюйгенса, могли распространяться световые волны? В воде? Да, свет проходит и через воду. Но ведь в воздухе он распространяется еще лучше. Тогда, значит, в воздухе? Нет, и воздушная среда оказалась ненужной для распространения света. Гюйгенс помещал под стеклянный колпак звучащее тело и с помощью вакуумного насоса, изобретенного английским физиком Бойлем, откачивал воздух. Звук уже не распространялся под колпаком, и это доказывало, что он распространяется в воздухе. Однако, сколько бы ни продолжалась откачка воздуха, никаких изменений в прохождении света через сосуд не наблюдалось. Гюйгенс не мог себе представить, что световые волны способны распространяться в пустоте, — ведь в ту пору все то, что было известно ученым о волновых процессах, утверждало, что волны могут существовать только в какой-либо среде. Но что это за среда, каковы ее свойства? На эти вопросы не было ответа.

«Я называю ее эфирной», — писал Гюйгенс.

Но как обнаружить ее, как выделить, если это возможно, он не знал.

---

<sup>1</sup> Туаз равен примерно 2 метрам.

<sup>2</sup> Ведь если бы лучи состояли из частиц, считает Гюйгенс, то частицы разных лучей должны были бы сталкиваться друг с другом и, следовательно, мешать друг другу.

Правда, он указывал, каким, по его мнению, должен быть эфир, для того чтобы в нем оказалось возможным распространение световых волн.

«...частицы эфира, несмотря на их малость, можно себе представить состоящими еще из других частей... упругость их заключается в очень быстром движении тонкой материи, которая проходит сквозь них со всех сторон...»

Итак, по мнению Гюйгенса, свет есть волна, распространяющаяся в эфире; свет и эфир нераздельны. Но что представлял собой сам эфир, это было непонятно даже самому Гюйгенсу.

## ЗА И ПРОТИВ

Итак, мы ознакомились с двумя гипотезами, в которых сделана попытка объяснить природу света. Обе они родились почти одновременно и на основе одних и тех же фактов, с той лишь разницей, что Гюйгенсу, когда он создавал свой «Трактат», скорость света была уже известна довольно точно. Но не следует забывать, что Ньютон, узнав об открытии Рёмера, не изменил своей гипотезы, считая, что она не противоречит этому новому факту.

Чем же можно объяснить почти одновременное возникновение двух гипотез, столь различно толкующих природу одного и того же явления?

Только тем, что та и другая оказались в состоянии логически объединить и объяснить большинство фактов, известных в то время науке. Большинство, но не все. Именно наличием слабых сторон в каждой из гипотез можно объяснить их почти одновременное возникновение и существование. Правда, не совсем мирное — спор между их сторонниками длился много лет.

Мы расскажем о некоторых аргументах, которые приводили ученые в этом споре.

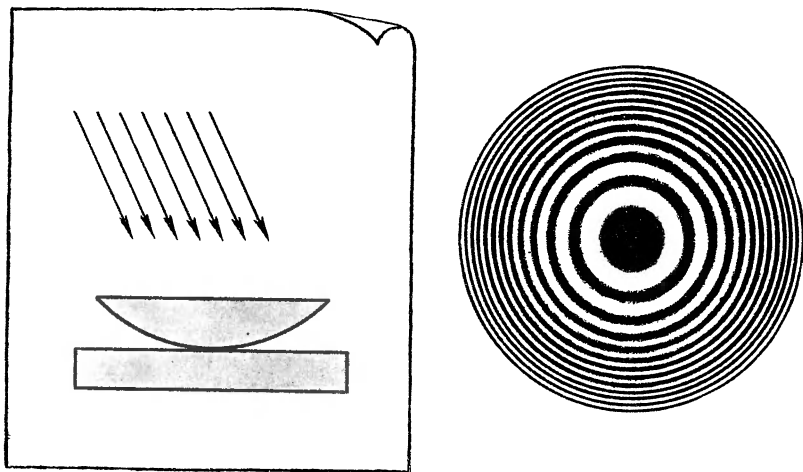
Поскольку первой была создана корпускулярная гипотеза, начнем с тех аргументов, которые выдвигались против волновой гипотезы и главным образом ее основной предпосылки — утверждения о существовании эфира.

Ни сам Ньютон, ни его последователи не могли себе представить этой материи, заполнившей всю Вселенную, проникающей сквозь все тела, остающейся под стеклянным колпаком даже после того, как оттуда выкачают воздух. Кроме того, они не могли согласиться с существованием во Вселенной идеально упругого вещества, «приближающегося к совершенной твердости», которое в то же время не препятствует движениям небесных тел, нисколько не тормозя и не замедляя их.

Отрицание эфира было главным, хотя и не прямым аргументом против волновой гипотезы. В самом деле, если эфира не существует, то, значит, межпланетное пространство представляет собой пустоту и, сле-

довательно, свет от звезд передается не посредством волн, а представляет собой частицы, корпускулы, для которых пустота не является преградой.

Не оставались в долгу и последователи волновой гипотезы. В пользу ее они приводили факт, установленный самим же Ньютоном в одном из его знаменитых опытов.



Если линзу положить на кусок хорошо отполированного стекла и направить на нее лучи белого света, можно заметить радужные кольца — кольца Ньютона. Если свет будет только какого-либо одного цвета, появятся чередующиеся темные и светлые кольца. Чтобы размер колец был достаточно точным, выпуклость линзы должна быть очень малой.

Это был довольно простой опыт. Для его проведения Ньютон брал две длиннофокусные линзы, изготовленные им для телескопов: одну плоско-выпуклую с фокусным расстоянием примерно 5,2 метра, другую — двояковыпуклую, с едва заметной кривизной поверхности, почти плоскую, так как она имела фокусное расстояние, равное почти 15 метрам. При наложении первого стекла плоской стороной вниз на второе Ньютон наблюдал необычное явление. В стекле появились яркие радужные кольца. Теперь их называют кольцами Ньютона. Подобные кольца, но только какого-либо одного цвета, наблюдались и в тех случаях, когда освещение было однородным, монохроматическим, например — красным.

При освещении белым солнечным светом цвета в кольцах чередовались в определенном порядке: за прозрачным центральным пятном, появившимся в точке соприкосновения линз, следовали синее, белое, желтое и красное кольца. Следующие окружности, непосредственно охваты-

вавшие предыдущие, в порядке следования были: фиолетовая, синяя, зеленая, желтая, красная. Ньютон установил, что эти радужные кольца порождаются не самими линзами, а зависят от расстояния между поверхностями стекол, обращенными друг к другу.

Подобные опыты он проделал и с другими видами шлифованных стекол — с призмами. В этом случае тоже появлялись радужные полосы, зависящие от расстояния между соприкасающимися поверхностями. Не менее интересные и красивые опыты провел он с тончайшими слюдяными пластинками и мыльными пузырями, пытаясь найти причину их яркой окраски, которая, как он установил, зависит от толщины пленки мыльного пузыря или от толщины пластинки.

Измеряя диаметры колец в опыте с линзами, Ньютон выяснил, что диаметры связаны между собой определенной периодической закономерностью, и, естественно, попытался дать ее теоретическое обоснование. Но, надо сказать, оно не было убедительным. Это чувствовал и сам ученый, который, быть может, сам того не замечая, допускал явную непоследовательность, явное отступление от собственной гипотезы. Так, в своих трудах он даже делал предположение, что корпускулы благодаря их притягательным или каким-то другим силам возбуждают колебания в той среде, на которую они воздействуют. То есть вольно или невольно он хотя бы частично вставал на точку зрения волновой теории.

Что же касается волновой гипотезы, то она позволяет совершенно точно объяснить причину появления колец, яркой окраски мыльных пузырей, тончайших слюдяных пластинок и даже расцветку некоторых бабочек, так как различие цветов, согласно этой гипотезе, объясняется различием длин волн, соответствующих каждому цвету. Кстати, только эта гипотеза в состоянии объяснить почему яркость цветов радуги зависит от размера дождевых капель.

Ньютон и его сторонники, возражая против волновой гипотезы, приводили в свою пользу еще один аргумент. Пожалуй, это был самый важный, самый существенный из всех. Доказывая неправильность волновой гипотезы, они говорили, что если бы свет распространялся с помощью волн, то лучи света должны были бы огибать встречающиеся на их пути препятствия. Иными словами, лучи света не были бы прямолинейными и четкие тени должны были отсутствовать.

Действительно, звуковые волны и волны на воде огибают пре-



Волновая тень за бортом корабля. Она становится заметной, только когда размеры препятствия, например корабля, гораздо больше, чем длина волны; поэтому такую тень трудно было обнаружить.



пятствия. Доказательством тому служило, что колокол или пушку можно слышать, даже если они скрыты от наблюдателя зданиями или холмами. Относительно же света ничего подобного не было известно. Наоборот, опыт показывал, что тени, отбрасываемые лучами солнца, свечи, фонаря и любого другого источника света, всегда очень четкие. Этот опыт нашел свое отражение в гипотезе Ньютона. Одно из важнейших утверждений этой гипотезы как раз и заключается в том, что лучи света распространяются строго прямолинейно и не могут огибать препятствий.

Таким образом, доказательство или опровержение утверждения о прямолинейном распространении света при встрече его с препятствием, по существу, являлось главным доказательством или опровержением гипотезы Ньютона. Но в те времена факт прямолинейного распространения света казался всем совершенно очевидным.

И лишь один человек, умерший еще до возникновения обеих гипотез, сомневался в этом. Это был Франческо Гримальди (1618—1663).

## О ПОИСКАХ И СНОВА О ЗВОНКАХ

В книгах об ученых нередко рассказываются истории о совершенно неожиданных открытиях, о внезапных научных находках. Традиции подобных описаний уходят своими корнями в седую древность. Достаточно вспомнить легенду о том, как Архимед открыл свой знаменитый закон. Не менее знаменит случай с яблоком, позволивший Ньютону открыть закон всемирного тяготения.

Однако, рассказывая о яблоке, часто забывают добавить одну немаловажную деталь. Как-то Ньютона спросили, почему столь ничтожный факт позволил ему открыть один из самых важных законов природы.

«Потому,— ответил он,— что я все время думал об этом».

Знаменитый немецкий поэт и мыслитель Иоганн Вольфганг Гёте, очень серьезно занимавшийся изучением явлений света (он даже повторил все опыты Ньютона), так писал об одном из них: «...исследователь пытал природу, вымогая у нее признание в том, в чем сам уже заранее был уверен».

Можно ли найти то, чего не ищешь? Можно, конечно. Но лишь случайно. И ценность такой находки в подавляющем большинстве случаев равна ценности камешка, подобранного на булыжной мостовой.

Люди всегда ищут то, что хотят найти. Иногда они совершенно точно представляют себе искомое, ибо уже знакомы с ним по предыдущему опыту; иногда — то, что им вовсе не встречалось, но крайне необходимо. В этом случае они не знают точно, как должно выглядеть, каким должно быть то, что разыскивается, но и тогда им известны свойства, а следовательно, хотя бы малая часть признаков искомого.

Ученым всегда приходится искать неизвестное. Значит ли это, что, приступая к своему нелегкому, но увлекательному делу, они не имеют никакого представления о конечной цели? Нет, кое-что они знают заранее. И это «кое-что», подсказанное принятой гипотезой или теорией, позволяет в конце концов найти искомое или, наоборот, доказать невозможность его существования. Последнее часто оказывается чрезвычайно важным и полезным.

Отправляясь по грибы, мы заранее представляем себе их форму; знаем, что собирать их следует не на песчаной речной отмели или в поле, а только в лесу. Это, если хотите, теория. Если бы мы не были знакомы с ней, то есть не знали бы ни того, как выглядят грибы, ни мест, где они растут, то не собрали бы ни одного, даже если бы перед нами поставили полную корзину белых и подосиновиков. Потому что мы не знали бы, что эти плотные, красивые, чуть прохладные на ощупь предметы, похожие на зонтики или забавных человечков в широкополых шляпах, и есть грибы.

Вот и другой случай. Мы пошли рвать орехи. Мы прекрасно знаем, что такое грибы, но не они являются нашей целью. Наши взоры направлены вверх, на ветви орешника, и мы усердно выискиваем среди зеленой листвы прикрепленные к зеленому ложу нежно-палевые скорлупки. И, конечно, мы смотрим под ноги только изредка, лишь для того, чтобы не споткнуться. Часто ли нам будут попадаться грибы? Ну, найдем один или два, а растопчем, быть может, десяток. И даже никогда не узнаем об этом.

Так и в науке. Наиболее плодотворны направленные поиски, когда цель намечена, когда примерно установлен способ поисков.

Бывают, конечно, исключения, когда, стремясь к одному, встречаются по дороге с другим, не менее важным. И все же ни один здравомыслящий исследователь не рассчитывает на случайное открытие. Это ведь то же, что найти изумруд среди булыжников. Но любой настоящий ученый учитывает и эту ничтожную возможность (и, быть может, даже мечтает о ней), и он готов к ней. И если, говоря фигурально, он ищет на ветвях, то никогда не забывает внимательно осмотреть и ствол и корни. И, бывает, находит. Тогда это награда за непрестанное внимание и любовь, с которыми ученый относится к самым мелким, самым незначительным на первый взгляд проявлениям природы.

Если же он хоть на миг ослабит свою бдительность, свое внимание и заинтересованность, он рискует не найти даже того, что ищет. И это — самое большое наказание.

Так были наказаны даже великий Ньютон и Гюйгенс. Ведь они знали, где и что искать, какие факты нужны для проверки их теорий. Более того, эти факты были уже открыты и опубликованы итальянским физиком Франческо Гримальди. Теперь уже нельзя узнать, почему оба ученых прошли мимо них — не заметили или приняли факт за домысел? Кто знает? Великие и даже величайшие ученые тоже люди и тоже могут ошибаться.

Смеркается. В комнате уже совсем темно, буквы в книге едва различимы, предметы теряют свои четкие контуры, сливаются с темнотой. Щелчок выключателя — и комнату заливают электрический свет. Еще щелчок — вспыхивает вторая лампа, становится светлее.

А почему, по какой причине две одинаковые лампы дают света больше, чем одна? Не странный ли вопрос?

С точки зрения потребительской — странный, но со стороны ученого — вполне законный.

Пользуясь освещением, мы не вдаемся в причины, а просто основываемся на опыте, идущем еще от пещерного человека, который знал, что одна горящая головня освещает его жилище слабее, чем две, и гораздо слабее, чем костер, сложенный из многих сучьев.

Для исследователя этого слишком мало. Включение различного количества ламп он может рассматривать как серьезный физический эксперимент. Естественно, что он пожелает количественно установить его результат. Он проведет большую работу, прежде чем придет к выводу, что свет от нескольких одинаковых источников суммируется по определенному закону.

С этим установленным фактом согласится и сторонник корпускулярной теории, и сторонник волновой.

Первый скажет следующее:

— Да, этот факт подтверждает гипотезу Ньютона. Он согласуется с ней. Потому что с увеличением числа источников света растет и количество корпускул, приходящихся на единицу поверхности освещаемых тел.

Второй скажет:

— Да, этот факт подтверждает волновую гипотезу. Он согласуется с ней. Потому что каждый новый источник света увеличивает степень возбуждения эфира, увеличивает размах (амплитуду) колебания его частиц.

Гримальди, о котором уже упоминалось, установил другой факт. Неожиданный, странный, противоречащий нашему повседневному опыту. Он определил, что в известных условиях свет, накладываясь на свет, не увеличивает общее действие, а, наоборот, ослабляет. Короче говоря, в некоторых особых случаях свет может породить темноту.

Можно ли объяснить подобный, кажущийся парадоксом, факт, опираясь на корпускулярную теорию? Пожалуй, нет. Если только не предположить, что в таких случаях корпускулы, приходя от источников света, сталкиваются друг с другом, и в результате столкновения уничтожаются. Однако такое предположение не соответствует известным науке фактам.

Что же касается волновой теории, то с ее помощью открытие Гримальди оказывалось вполне объяснимым.

Раньше мы рассматривали волны на поверхности воды, бегущие от колеблющегося звонка. Он был единственным источником колебаний.

Но что произойдет, когда мы установим второй абсолютно одинаковый звонок на некотором расстоянии от первого?

Давайте проведем такой опыт. Но его осуществление разобьем на три части. В первой будет включен только первый звонок; во второй — только второй звонок, и лишь в третьей части опыта будут включены оба звонка.

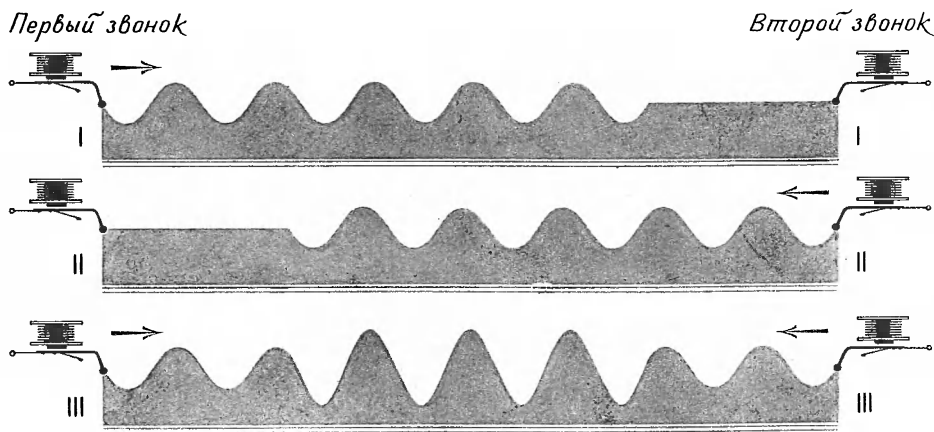
Для того чтобы лучше наблюдать результаты опыта, опустим на воду поплавок и поместим его в какой-либо точке прямой линии, соединяющей звонки.

Перед началом опыта вспомним еще раз, что волны в воде есть не что иное, как смещение молекул вверх и вниз, перпендикулярно движению волны.

Включим первый звонок. После того как первый гребень дойдет до поплавок и приподнимет его, поплавок будет то опускаться, то подниматься на волне. И он будет совершать такие колебательные движения до тех пор, пока будут существовать волны. Частота колебаний поплавок будет точно равна частоте ударов звонка.

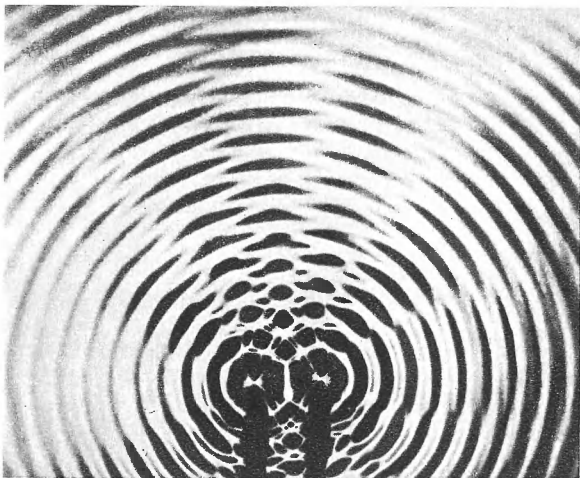
Включаем второй звонок (первый звонок выключен). Повторяется то же самое, что и перед этим, с той лишь разницей, что теперь волны подходят к поплавку с противоположной стороны.

К третьей части опыта следует очень тщательно подготовиться. Необходимо так отрегулировать оба звонка, чтобы частоты их колебаний были абсолютно одинаковы. Обмотки звонковых электромагнитов мы приключим к общему выключателю, чтобы обеспечить одновременное включение.



Опыт со звонками.

*I* — включен только первый звонок: волны не успели дойти до второго звонка; *II* — включен только второй звонок: волны не успели дойти до первого звонка; *III* — включены оба звонка: волны от каждого из звонков встретились где-то на полпути. Здесь они начали взаимодействовать. Размах колебаний увеличился



Это фотография взаимодействия волн от двух источников колебаний.

звонки, то теперь оно зависит от того, в какой из точек на этой прямой он находится. В некоторых он колеблется с той же частотой, что и звонки, но размах колебаний стал больше; зато в других точках поплавок ведет себя так, как если бы волны вообще отсутствовали.

Отчего это?

Оттого, что колебания — сдвиг молекул воды в каждой точке — зависят теперь от воздействия не одной, а двух систем волн. При этом одна волна в данной точке, в данный момент времени может вызывать смещение молекул вниз, а другая, наоборот, вверх. В результате этого взаимно-противоположного действия молекула останется неподвижной, останется в покое и поплавок. В других точках, в зависимости от расстояний до звонков, может произойти обратное явление: обе волны будут воздействовать на молекулу в одном и том же направлении. И тогда ее сдвиг будет большим, чем при воздействии только одной из волн, — поплавок станет колебаться с увеличенным размахом.

Итак, из нашего опыта мы видим, что волны могут взаимодействовать друг с другом. Следовательно, если исходить из волновой теории света, можно легко объяснить явление, впервые отмеченное Гримальди; этим же можно объяснить и появление знаменитых колец Ньютона.

Такое взаимодействие волн на языке физиков носит специальное название: «интерференция». Слово это латинского происхождения и состоит из двух корней: *inter* — между и *ferens* (*ferentis*) — несущий. Оно лишней раз говорит о том, насколько далеко от нового физического понятия содержание исходных слов, выбранных учеными для обозначения этого понятия.

Включаем оба звонка. От каждого из них идут волны — бегущие по воде круги. Но вот они встретились между собой, сперва соприкоснулись, а затем пересеклись. И, после того как это произошло, картина волн изменилась. Мы уже не видим прежних кругов — волны на воде образуют новую сложную фигуру. Изменилось и поведение поплавок.

Если в первых частях опыта поведение поплавок было одинаковым в любой точке прямой, соединяющей

И все же явление интерференции не оказалось единственным доказательством, с помощью которого удалось установить истинность волновой теории света.

Решающим доводом явилось открытое тем же Гримальди явление дифракции, то есть явление непрямолинейного распространения света возле препятствий, явление «захода» света в область тени.

Но и на этот факт, упомянутый в книге Гримальди, не обратили внимания или не знали о нем ни Ньютон, ни Гюйгенс. После смерти Ньютона и Гюйгенса спор о природе света прекратился как бы сам собой. В течение многих лет (до начала XIX века) в науке господствовала корпускулярная теория, хотя где-то на полках библиотек академий и университетов пылился и истлевал забытый всеми трактат Гримальди. Авторитет величайшего физика, вполне заслуженный Ньютоном, стал тем решающим доводом, который использовали его не столь выдающиеся, как он, последователи для доказательства справедливости корпускулярной теории.

Но не только случайность привела к тому, что факты, подтверждающие волновую природу света, были забыты. Действительно, они были утеряны Гримальди, но только очень приблизительно, в самой общей и не очень определенной форме, еще до того, как были проведены исследования Ньютона и Гюйгенса.

Не менее важно и то, что при проведении опытов по исследованию интерференции и дифракции света физику-экспериментатору приходится иметь дело с чрезвычайно точными измерениями расстояний и размеров. Измерения в некоторых случаях должны проводиться с точностью до длины или даже доли длины волны света. А эта величина необычайно мала.

Во времена Ньютона и Гюйгенса техника точных измерений была очень несовершенной, точная механика только-только зарождалась. Но дело было не только в этом. Ученые тех времен не знали и вряд ли предполагали, что длина световых волн крайне мала. Тем более, что им уже было известно, с какой огромной скоростью распространяется свет. А длина волны тем больше, чем выше скорость распространения. Возможно, что благодаря этому факту они могли предполагать, что световые волны, если они существуют, очень длинные.

Впоследствии, когда ученым удалось осуществить измерения, результаты оказались необыкновенными. Выяснилось, что самые короткие волны, еще воспринимаемые глазом человека (волны фиолетового света), имеют длину, равную 0,00038 миллиметра, или 380 миллимикрон, а самые длинные (волны красного света) — 0,00078 миллиметра, или 780 миллимикрон.

Воспользовавшись формулой, связывающей длину волны с частотой колебаний и скоростью распространения, получим цифры, которые, возможно, могли бы устроить ранних сторонников Гюйгенса. Частота фио-

летового света равна примерно  $800 \cdot 10^{12}$  колебаний в одну секунду, а красного —  $387 \cdot 10^{12}$  колебаний в одну секунду!

Своим вторым рождением волновая теория обязана многим физикам, но в первую очередь французскому ученому Огюстену Жаку Френелю (1788—1827) и английскому ученому Томасу Юнгу (1773—1829), которые провели важнейшие исследования явлений интерференции и дифракции света и дали их объяснение. Именно их труды превратили еще не проверенную опытом смелую научную догадку — гипотезу Гюйгенса — в строгую, обоснованную точными фактами теорию. А она, в свою очередь, позволила открыть и объяснить многие новые научные факты.

В чем же заключается явление дифракции? Как оно проявляется?

Мы можем очень примитивно, чисто качественно, воспроизвести явление дифракции света. В этом мы будем очень близки к Гримальди, но не к Френелю и Юнгу; ведь так же, как и он, мы не располагаем никакими точными научными приборами. Да они и не потребуются для наших целей. Все оказывается крайне просто.

Вечером, когда стемнеет и на улице включают освещение, выберем один из дальних, но достаточно ярких фонарей. Он кажется нам яркой золотистой точкой. Посмотрим на него сквозь неплотно сжатые пальцы или, что лучше, сквозь тонкую прорезь в листе плотной бумаги, сделанную лезвием безопасной бритвы.

Глядя через узкую щель на тот же фонарь, мы не увидим яркой точки, а обнаружим светлую полосу с темными поперечными линиями, причем эта полоса будет направлена перпендикулярно прорези<sup>1</sup>.

Объяснить этот факт можно, лишь согласившись с тем, что, встречаясь с небольшим препятствием (края щели), свет огибает его и распространяется в ту область, где, по утверждениям последователей Ньютона, должна быть сплошная тень. Иными словами, следует признать, что при встрече с малыми (величина которых сравнима с длиной волн света) препятствиями свет перестает распространяться прямолинейно и может огибать такие препятствия.

Кстати, волны на поверхности воды тоже не всегда огибают препятствия. Если их длина значительно меньше размеров препятствия, можно наблюдать волновую тень за этим препятствием. В этом смысле разница между световыми волнами и волнами на воде заключается лишь в длине волн, а следовательно, и в размерах препятствия.

Дифракция света приводит и к другим интересным и неожиданным на первый взгляд явлениям. Если на пути света поместить шарик, то тень, падающая от него на достаточно удаленный экран, не будет выглядеть однородным темным кружочком. Она будет представлять собой ряд concentрических чередующихся темных и светлых колец. Подобная

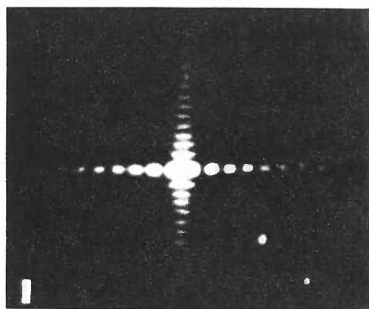
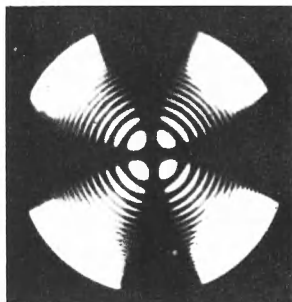
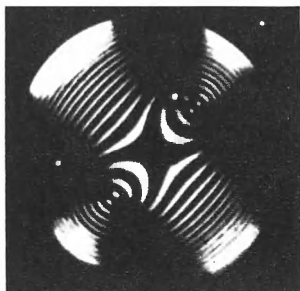
---

<sup>1</sup> Очень хорошо наблюдать явление дифракции, глядя сквозь очень мелкую металлическую сетку. Сетка такого рода (бронзовая или латунная) часто применяется во всякого рода фильтрах.

картина получится, если на пути света окажется не шарик, а диск или круглое небольшое отверстие в непрозрачном экране.

Волновая теория завоевала признание не без борьбы.

Интересен один из ее эпизодов. На заседании Парижской академии наук физик Френель зачитал перед учеными свой «мемуар», в котором



На двух верхних снимках показана интерференция света.  
На двух нижних — дифракция света на прямоугольном и круглом отверстиях.

описывал опыты и исследования, подтверждавшие правильность волновой теории света. В числе тех, кто не был согласен с Френелем, оказался знаменитый математик Пуассон. Он очень хорошо изучил работы Френеля и хотел поразить своего противника его же оружием.

Пользуясь методом Френеля, он провел вычисления, из которых следовало, что в центре тени от шарика должно оказаться светлое пятнышко. К тому времени, когда были проделаны эти вычисления, подобный факт еще не был известен. И это, по мнению математика, давало ему право считать волновую теорию неверной.

Но ему не пришлось долго торжествовать. Один из сторонников волновой теории, физик Араго, поставил специальный опыт и воспроизвел



то, что предсказывали теория и расчеты. И правота Пуассона была полностью доказана... но именно в том, что в центре тени от шарика действительно имеется светлое пятно.

Недаром, видно, некоторые математики любят в шутку повторять, что «формулы умнее нас».

Явления интерференции и дифракции, чрезвычайно важные с теоретической точки зрения, уже давно приносят и практическую пользу. На основе этих явлений созданы многие важные приборы, позволяющие производить необыкновенно точные измерения и исследования.

Так, явление дифракции дало возможность создать один из видов спектроскопов — приборов, с помощью которых исследуют спектральный состав света, излучаемого самыми различными источниками, начиная от света светлячка, кончая светом самых отдаленных звезд. Спектроскоп позволяет определять химический состав самых разнообразных веществ.

Для спектроскопов такого рода изготавливают специальные дифракционные решетки. Количество щелей в современных решетках достигает 25 тысяч на сантиметр.

## СВЕТ И ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Почти через полтора века смелая научная гипотеза Гюйгенса была проверена и подтверждена экспериментом. Она стала признанной теорией. И вскоре среди ученых уже не осталось сторонников и последователей Ньютона, ибо какие бы опыты ни ставились с целью проверки и даже опровержения этой теории, все они приводили к одному: волновая природа света неизменно подтверждалась.

Ну, а эфир — странная неуловимая материя с удивительными, даже невероятными свойствами? Как же эфир?

Его существование тоже вынуждены признать ученые, хотя эфир, как среда, как вещество, не стал понятнее. Более того, после некоторых исследований, связанных с так называемой поляризацией света, свойства, которые ученым приходилось приписывать эфиру, оказались еще более невероятными.

Но что оставалось делать? Без наличия эфира никто не мог объяснить, почему свет распространяется в пространстве. И этот факт служил единственным доказательством существования эфира. Единственным потому, что никакие, даже самые остроумнейшие и тончайшие опыты не позволяли непосредственно обнаружить присутствие эфира — он был неуловим.

Ученым пришлось согласиться с существованием таинственного эфира, так как без него они не могли объяснить совершенно очевидный факт распространения света. Они считали, что свет есть колебательное движение эфира. Но первопричину, источник таких колебаний ученые не зна-

ли. Вернее, им было отлично известно, что всякое раскаленное тело испускает свет, но как и почему — это было для них тайной.

Оставалась непознанной и связь световых явлений с другими физическими процессами. Так, физика света и физика электричества казались разделенными глубочайшей пропастью. И не было ни малейших признаков того, что когда-нибудь в будущем между ними будет обнаружена общность или, тем более, теснейшая связь. Первым, кому удалось перекинуть «мостик» между светом и магнетизмом, оказался английский физик Майкл Фарадей (1791—1867), сделавший в области электричества столько же, сколько Ньютон в механике и математике. В 1846 году в одном из своих опытов Фарадей обнаружил, что под воздействием поля магнита изменяется направление поляризации света. «Мне удалось намагнитить и наэлектризовать луч света», — записал он в рабочем журнале. Фактически явление было несколько иным, чем считал ученый, но ценность опыта от этого не уменьшилась. Для науки она была громадной, ибо впервые было установлено, что между световыми и магнитными, а следовательно, и электрическими явлениями есть связь.

В 1862 году Фарадей поставил значительно более совершенный опыт, который в случае удачи показал бы с еще большей очевидностью связь света и электричества. Но положительных результатов достигнуть не удалось.

Только потому, что «вооружение» ученого было крайне несовершенным: спектроскоп был слишком нечувствительным, а магнит чересчур слабым.

Удачно провести этот опыт удалось голландскому физiku Зееману уже после смерти Фарадея, в 1896 году. Он принес ученым столь важные сведения, что на их основании была сделана первая попытка создания теоретической модели атома.

Найти тесную связь между светом и электричеством суждено было выдающемуся английскому физiku Джемсу Клерку Максвеллу (1831—1879).

Его теоретические исследования, сила и глубина которых и по настоящий день приводят в восхищение специалистов, показали, что распространение электромагнитных колебаний также является волновым процессом.

Выяснил Максвелл и другое чрезвычайно важное обстоятельство: скорость распространения электромагнитных колебаний оказывалась равной скорости света. Развивая свою теорию, Максвелл в 1873 году пришел к неизбежному выводу: свет по своей природе также относится к области электромагнитных колебаний.

В представлении многих подлинный ученый — человек, наделенный некими особыми свойствами и качествами характера. Такое понятие неверно, но каждый ученый имеет свой стиль работы. Это особенно ясно можно показать на примере Ньютона, Фарадея и Максвелла.

Ньютон был в равной степени великим математиком и великим физиком. Он был блестящим экспериментатором, и все его теории, кото-

рые он при необходимости облакал в математическую форму, в той или иной степени были основаны на проделанной им же самим экспериментальной работе.

Совсем иным был Фарадей. Сам он почти не прибегал к помощи математики. Его представления об исследуемых процессах были почти осязаемо образны: он буквально ощущал то, что исследовал. И именно поэтому его эксперименты всегда так наглядны и понятны. Это свойство Фарадея отмечал его последователь Максвелл.

Зато сам Максвелл, в противоположность своему предшественнику, не прибегал в личной работе к эксперименту. Он был сугубым теоретиком и выдающимся математиком. Некоторые даже считают, что его роль в физике электричества заключалась в основном в том, что всю сумму знаний и идей, установленных и высказанных главным образом Фарадеем, он систематизировал и изложил на языке математики. Да и сам Максвелл высказывался примерно так же:

«Я предпринял специально эту работу в надежде, что мне удастся придать его (то есть Фарадея. — *А. Ш.*) идеям и методам математическое выражение».

В какой-то мере это отражает истину, но в действительности Максвелл сделал гораздо большее. На основании своих уравнений он смог прийти к утверждению теснейшей связи света и электромагнитных колебаний. Важность такого открытия трудно переоценить. Максвелл был чистый теоретик. Вероятно, он был абсолютно убежден в правильности созданной им теории. Но не так ее воспринимали многие ученые. В течение долгих лет даже очень известные физики не могли понять ее и считали неправильной. Для того чтобы ее признали, необходимо было поставить специальные опыты, установить или опровергнуть на практике справедливость новых теоретических построений. Но Максвелл сам не мог этого сделать — ему оставалось лишь ждать помощи от других.

Долго никто не знал, как, каким путем провести требуемые эксперименты. И только через пятнадцать лет после того, как открытие было сделано «на бумаге», и через десять лет после смерти автора, в 1888 году, его удалось воспроизвести в реальном эксперименте. Сделал это немецкий физик Генрих Рудольф Герц (1857—1894). Именно его опыты позволили русскому ученому Александру Степановичу Попову (1859—1905) изобрести радиосвязь.

В своих опытах Герц получал электромагнитные колебания с длиной волны от 60 сантиметров до нескольких метров. Русский ученый Петр Николаевич Лебедев (1866—1912), воспроизводя опыты Герца, получил волны значительно более короткие (до 6 миллиметров), а в 1926 году А. М. Левитская построила особую систему вибраторов, с помощью которой генерировались колебания в спектре длин волн от 30 до 915 микронов.

После опытов Герца никто уже не сомневался в справедливости теории Максвелла. И некоторым физикам даже показалось, что природа

света раскрыта до конца, что о свете известно все самое основное. Быть может, их продолжала немного беспокоить недостаточная стройность теории эфира, но они надеялись, что в будущем этот недостаток будет устранен. Эти ученые считали, что в конце концов природа эфира станет ясной. Но хотя они и понимали, какие трудности связаны с теорией эфира, все же его существование не вызывало у них сомнений.

## ДВА ОТКРЫТИЯ

Еще в 1836 году Фарадей детально исследовал протекание тока в электрических растворах и сформулировал два закона электролиза. Кроме того, он установил, что носителями тока в этом случае являются ионы: положительно заряженные катионы и отрицательно заряженные анионы. Как мы знаем, электрический ток имеет место не только в электролитах. Он протекает в металлах, ему обязаны своим существованием все виды электрического разряда в газах. Однако механизм электропроводности в металлах и газах в те времена был совершенно неизвестен. Не были известны и носители тока. Фарадей ожидал, что тщательное изучение разряда в газах принесет науке ценнейшие сведения. Но сам он не занимался этой проблемой, а свое основное внимание уделял исследованию электромагнитных явлений.

Протекание тока в разреженном газе исследовали многие ученые. Теперь это явление хорошо изучено, и здесь не стоило бы специально останавливаться на нем, если бы первые исследователи попутно не сделали одного чрезвычайно важного наблюдения. А оно, в свою очередь, привело к открытию, которое, говоря без преувеличения, определяет жизнь и судьбы современного человечества. Это — открытие электрона.

Исследования разряда в газе первыми предприняли Плюккер и Гитторф в Германии и Уильям Крукс в Англии. Все трое обратили внимание на одно и то же явление, однако Круксу удалось наиболее подробно его исследовать.

Для изучения разряда использовалась трубка Гейслера — баллон, представляющий собой удлиненную стеклянную колбу с запаянными концами, названный так в честь искусного стеклодува Генриха Гейслера. Внутри трубки вводились две металлические пластины, два электрода — анод и катод. К аноду присоединялся положительный, а к катоду — отрицательный полюс источника электрического напряжения. Помимо этого, трубка имела стеклянный отросток, через который откачивали газ, заполнявший внутренность трубки.

При нормальном давлении газа электрический разряд не наблюдался. Лишь после того, как начиналась откачка и давление понижалось, возникал разряд. Газ начинал светиться, причем картина свечения непрерывно менялась, по мере того как давление падало. Сперва свечение

сосредоточивалось возле анода, затем светящийся столб удлинялся и трубка заполнялась светом: фиолетовым, если в ней находился воздух, лиловым в атмосфере азота и розоватым, когда в ней находился водород. При дальнейшей откачке свечение постепенно меркло и вовсе исчезало.

Тем не менее любознательность, свойственная ученым, заставила их продолжать откачку даже после полного исчезновения свечения газа. И именно благодаря этому они столкнулись с новым, непонятным явлением. Свечение возникало вновь, но на этот раз светились не ничтожные остатки газа. Желто-зеленое свечение исходило с поверхности стекла трубки, но не со всей, а только с той ее части, которая находилась против катода.

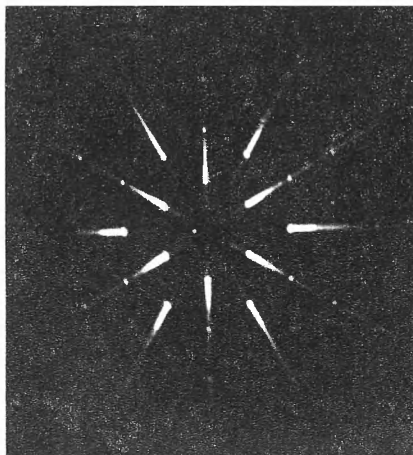
Крукс, исследуя это свечение, пришел к выводу, что оно вызывается некими лучами, испускаемыми катодом. Он так и назвал их — «катодные лучи». Им было установлено, что эти лучи движутся с огромной скоростью по прямой линии, но отклоняются от нее под воздействием магнитного поля. Действие этих лучей проявлялось также и в заметном нагревании места падения лучей. Когда же Крукс изготовил легкую металлическую крыльчатку и поместил ее внутри трубки, на пути неизвестных лучей, она начала вращаться подобно крыльям мельницы в ветреный день. В 1897 году Крукс доложил о своих опытах и наблюдениях ученым.

Хотя Крукс и назвал исследованное им явление катодными лучами, он был убежден, что фактически ему приходилось иметь дело с потоком частиц, до тех пор не известных науке. Это убеждение разделял и физик Джонстон Стоней, который первым назвал их электронами. Вскоре правильность предположений Крукса подтвердилась — электрон действительно оказалась частицей, имеющей наименьший возможный отрицательный заряд и очень малую массу. Но все-таки их удалось точно измерить. Хотя столь малые цифры ничего не говорят воображению человека, их все же стоит привести. Вот они: заряд отрицательный и равен 0,000 000 000 000 000 160 100 кулона, а масса выражается числом с еще большим количеством нулей: 0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 910 600 грамма, то есть примерно в 1850 раз меньшая, чем у атома водорода.

Открытие электрона показало, что атом вовсе не является неделимой частицей материи, а состоит из еще более мелких частиц. Практическим следствием открытия электрона явилось рождение атомной физики и электроники.

В ноябре 1895 года в исследование разряда в газе включился скромный и уже немолодой профессор физики в Вюрцбурге Конрад Рентген. Приступая к новым опытам, Рентген не знал, что буквально в первую же неделю работы с трубкой Гейслера он откроет новые удивительные лучи — «X-лучи», как назвал их он сам, «лучи Рентгена», как называют их теперь все.

Свойства лучей оказались необыкновенными. Они свободно проникали через большинство непрозрачных для обычного света веществ; ослабить их могли только металлы, особенно свинец. Рентген говорил о том, что твердое тело для X-лучей то же, что комната, наполненная табачным дымом, для обычного света. Под воздействием этих лучей электроскоп теряет свой заряд, фотоэмульсия чернеет, а некоторые химические соединения светятся, флуоресцируют. Именно такими соединениями покрывают экраны в рентгеновских аппаратах.



Этот красивый симметричный узор «нарисовали» рентгеновские лучи, продифрагировавшие на кристаллике льда

И все же природа рентгеновских лучей, несмотря на их необычные свойства, та же, что и у видимого света. Они не несут заряда, не отклоняются ни в электростатическом, ни в магнитном поле, и все их отличия определяются и объясняются чрезвычайно малыми длинами волн, лежащими в пределах от 0,049 до 0,00001 микрона. Эти волны настолько коротки, что явление дифракции не удается наблюдать даже с помощью самых лучших дифракционных решеток, имеющих до 25 тысяч штрихов на сантиметре.

Рентгеновские лучи дифрагируют только на кристаллических структурах. В наше время эта их способность используется для изучения строения и внутренних свойств самых различных веществ.

## СПЕКТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Теперь мы уже многое знаем о свете и можем подвести некоторые итоги, для того чтобы яснее понять, каково же место световых волн в общем спектре электромагнитных колебаний.

Начнем с самых длинных волн (самых медленных колебаний) и постепенно перейдем ко все более коротким волнам.

Но прежде читателю рекомендуется запомнить название и смысл одной чрезвычайно часто употребляемой единицы. Она называется **герц** по имени физика Генриха Герца. Эта единица применяется для измерения частоты колебаний. Так, 1 герц соответствует одному колебанию в секунду или одному периоду в секунду. 1000 герц, или 1 килогерц, соот-

ветствует 1000 периодов в секунду.  $1\ 000\ 000$  герц = 1000 килogerц = = 1 мегагерц = 1 000 000 периодов в секунду.

Одним из самых длинноволновых является переменный ток, вырабатываемый электростанциями. В СССР и других странах Европы его частота равна 50 герцам<sup>1</sup>. Длина волны промышленного переменного тока равна 6000 километров. В настоящее время самые протяженные линии электропередач не превысили еще 2000 километров, и, следовательно, на всей такой линии уложится не более  $\frac{1}{3}$  волны.

Более высокие частоты содержатся в телефонных сигналах и в сигналах вещательных передач, передаваемых по проводам. Они занимают довольно широкий диапазон: от 20—60 герц до  $20 \cdot 10^3$  герц. Этот диапазон называется диапазоном звуковых частот, так как наше ухо воспринимает звуковые колебания (но не электромагнитные, о которых идет речь!) с теми же самыми частотами. Длина волны в этом диапазоне находится в пределах от 15 тысяч до 150 километров. Для сравнения можно сказать, что звуковые колебания с теми же частотами, распространяясь в воздухе при нормальном атмосферном давлении, вызовут волны (звуковые, а не электромагнитные!) длиной от 17 метров до 1,7 сантиметра. Это и понятно — ведь скорость распространения электромагнитных колебаний примерно равна 300 тысячам километров в секунду, а скорость звуковых колебаний — 340 метрам в секунду. За диапазоном звуковых следует диапазон инфранизких радиочастот. Такое название он получил по аналогии с лучами света, более длинноволновыми, чем видимые. Диапазон этот занимает полосу частот от  $20 \cdot 10^3$  до  $100 \cdot 10^3$  герц. Длины волн в пределах от 150 до 3 километров.

Инфранизкие частоты широко используются техникой. На них работают промышленные установки для нагрева и плавки металлов токами высокой частоты и даже некоторые системы дальней радионавигации и радиосвязи.

Затем идут волны, которые мы привыкли считать радиоволнами: длинные — от 3000 до 600 метров; средние — от 600 до 150 метров; промежуточные — от 150 до 75 метров и короткие — от 75 до 10 метров. Низкочастотная граница длинных волн соответствует  $100 \cdot 10^3$  герц, а высокочастотная граница коротких волн —  $30 \cdot 10^6$  герц. Весь этот диапазон используется главным образом для радиовещания и различных видов радиосвязи на дальних расстояниях. В этом же диапазоне работают и некоторые медицинские установки.

Радиоспектр идет и дальше. Но для радиоволн с длиной порядка единиц метров и короче линия горизонта является почти непреодолимой преградой. Поэтому телевидение, радиовещание и радиосвязь на таких волнах ведутся только в пределах прямой видимости. Для того чтобы увеличивать зону прямой видимости, телевизионные антенны установ-

---

<sup>1</sup> В США и других странах американского континента частота в сети переменного тока равна 60 герцам.

ливаются на очень высоких башнях. Длины волн метрового диапазона от 10 до 1 метра, а частоты — от  $3 \cdot 10^7$  до  $3 \cdot 10^8$  герц.

За метровыми следуют дециметровые волны длиной от 1 метра до 10 сантиметров; граничные частоты этого диапазона равны  $3 \cdot 10^8$  и  $3 \cdot 10^9$  герц. В этом диапазоне волн работают самые разнообразные радиотехнические устройства и, в частности, радиотелескопы, о которых дальше будет рассказано. Радиоволны, длина которых измеряется дециметрами, и еще более короткие волны имеют одну очень интересную особенность. Они могут распространяться не только в пустоте (в воздухе), но и в трубах, в так называемых волноводах.

Сантиметровые волны имеют длину от 10 до 1 сантиметра (частоты  $3 \cdot 10^9$  до  $3 \cdot 10^{10}$  герц). Этот диапазон принципиально не отличается от предыдущего. В нем, в частности, работают метеорологические радиолокаторы.

Граничные частоты диапазона миллиметровых радиоволн соответствуют  $3 \cdot 10^{10}$  и  $3 \cdot 10^{11}$  герц. Миллиметровые волны являются в настоящее время самыми короткими из тех, которые умеет генерировать радиотехника. В наши дни еще только приступили к их практическому освоению. Пока же они используются только для экспериментальных целей.

За диапазоном радиоволн простирается спектр световых волн.

Самым близким к радиоспектру является инфракрасный. Он ограничен волнами длиной 400 микронов и 760 миллимикронов, что соответствует частотам от  $7,5 \cdot 10^{11}$  до  $3,87 \cdot 10^{14}$  герц. Получать волны в этом диапазоне можно с помощью некоторых специальных устройств, но наиболее простой способ заключается в нагревании каких-либо тел. Обычные лампы накаливания имеют очень интенсивное излучение в области коротковолнового инфракрасного излучения. Инфракрасные лучи широко используют в науке, технике и быту. С их помощью готовят пищу, обогревают помещения; сушат различные виды продукции. В этих лучах удается делать фотографии и с помощью особых приборов видеть ночью.

Видимые лучи света не требуют особого пояснения. Стоит лишь напомнить, что диапазон волн лежит в пределах от 780 до 380 миллимикронов, что соответствует частотам от  $3,87 \cdot 10^{14}$  до  $8 \cdot 10^{14}$  герц. Из этих цифр видно, какую узкую полоску из всего спектра электромагнитных колебаний могут непосредственно ощущать наши органы чувств.

Диапазон ультрафиолетовых лучей начинается с волны 380 миллимикронов, что соответствует частоте  $8 \cdot 10^{14}$  герц, и простирается до волн длиной 40 ангстрем<sup>1</sup> и даже короче. Частота на волне 40 ангстрем равна  $7,5 \cdot 10^{16}$  герц.

Ультрафиолетовые лучи, как и инфракрасные, широко применяются в науке и технике наших дней. С их помощью обнаруживают различные минералы, делают точнейшие химические анализы, стерилизацию пищи и лекарств.

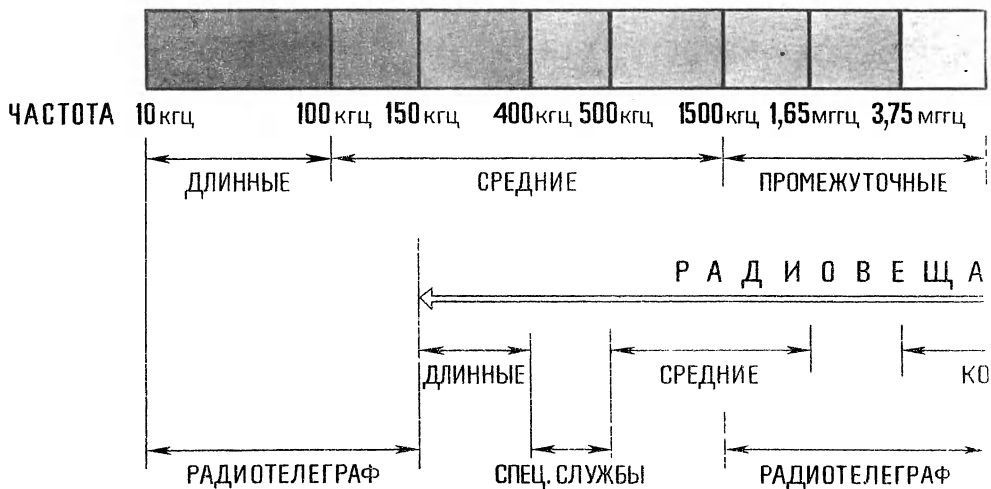
<sup>1</sup> Ангстрем — единица длины, употребляемая в спектроскопии и названная в честь физика Ангстрема. 1А равен 0,0001 микрона.



# СПЕКТР ЭЛЕКТРОМАГ

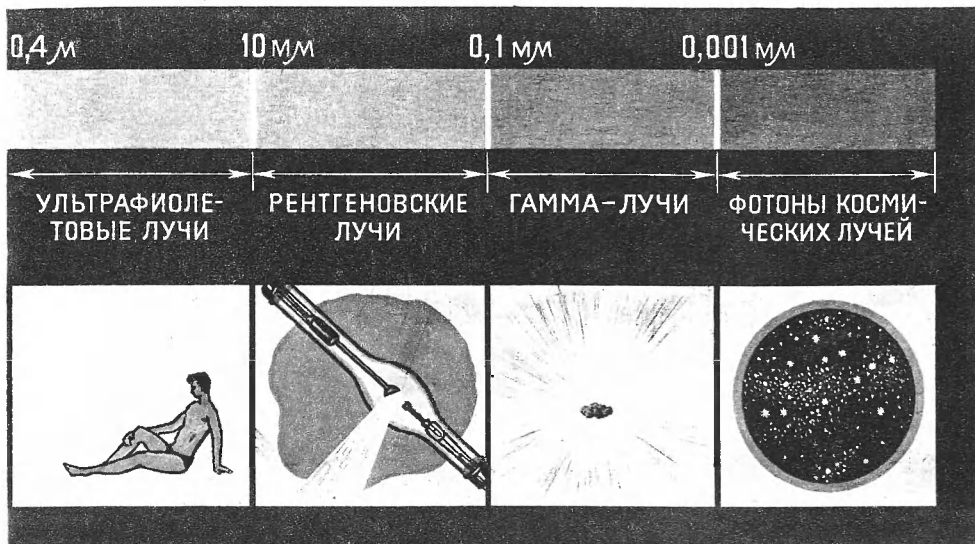


## СПЕКТР



Шкала спектра

# НИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ



# РАДИОВОЛН



электромагнитных колебаний.

Они используются в фотографии, судебной экспертизе, в светотехнике для возбуждения свечения люминесцентных красок. Ими широко пользуются и в медицине.

Кстати, ультрафиолетовые лучи хоть и неправильно, но и не случайно называют кварцевыми. Дело в том, что обычные сорта оптического стекла становятся непрозрачными для ультрафиолетовых лучей уже на волнах порядка 2500 ангстрем. А стекла из чистого кварца пропускают эти лучи, поэтому баллоны ламп ультрафиолетовых источников света делаются из кварцевого стекла.

Но и кварц не может пропустить всего спектра ультрафиолетовых лучей: для волн короче 1800 ангстрем он тоже оказывается непрозрачным. В настоящее время наилучшим в этом смысле материалом считается флюорит, или плавиковый шпат, — он пропускает лучи с длиной волны 1200 ангстрем.

Рентгеновский участок спектра соседствует с ультрафиолетовым. Частоты рентгеновских излучений лежат в пределах от  $6 \cdot 10^{15}$  до  $3 \cdot 10^{19}$  герц, что соответствует волнам от 493 до 0,1 ангстрема. Некоторые области применения рентгеновских лучей вам хорошо известны. Они используются во всех случаях, когда надо посмотреть сквозь что-то, непрозрачное для других лучей. Поэтому их применяют для обнаружения внутренних дефектов в металлах, для различных исследований, основанных на явлениях дифракции рентгеновских лучей в кристаллах различных веществ.

К сожалению, в природе не существует таких материалов, которые могли бы преломлять рентгеновские лучи так, как стекловидные. Поэтому оптические устройства типа объективов не могут быть для них созданы.

И, наконец, последний из известных в настоящее время науке участков спектра электромагнитных колебаний — участок гамма-лучей. Их испускают атомы радиоактивных элементов; гамма-лучи возникают и при некоторых видах взаимодействия элементарных частиц. Частота гамма-излучения начинается от  $6 \cdot 10^{18}$  герц, чему соответствует длина волны 0,428 ангстрема.

О коротковолновой границе гамма-излучения говорить трудно. С каждым годом она отодвигается в область все более коротких волн. Так, в излучениях, приходящих из космического пространства, обнаружены гамма-лучи с длиной волны порядка 0,0001 ангстрема.

Проникающая способность гамма-лучей еще более высокая, чем у рентгеновских. Поэтому их часто используют в тех случаях, когда рентгеновские лучи не в состоянии «пробить» исследуемый образец. Кроме того, для получения гамма-лучей достаточно иметь лишь радиоактивный изотоп, хранящийся для безопасности в контейнере, в то время как для получения рентгеновских лучей требуется весьма сложный и громоздкий рентгеновский аппарат. Гамма-лучи применяются также при некоторых химических процессах.

## НЕОБЫКНОВЕННЫЕ ХВОСТЫ

Библейских пророков более всего привлекали ужасы. Мор, голод, разграбление городов, гибель народов были любимейшими темами их прорицаний.

Пророки ссылались на божьи «знамения»: радуги, солнечные затмения и на другие небесные явления как на вестников несчастья. Не мудрено, что и «хвостатые звезды» — кометы, напоминающие суеверным людям карающий меч, — были зачислены «в штат» зловещих вестников. И их появление действительно наводило ужас на религиозных людей. И даже по сей день еще встречаются люди, верящие, что комета — предвестница войны.



Небесная странница — комета. Ее хвост всегда направлен в сторону от Солнца.

Необычный вид и сравнительно редкое появление на нашем небосводе этих небесных странниц издавна привлекали внимание ученых к кометам. Предметом особого изучения явились их необыкновенные хвосты. Тем более, что их поведение казалось наблюдателям очень странным. Дело в том, что хвост кометы не тянется за ней, оставаясь постоянно сзади головной части, а всегда находится на прямой, соединяющей

головную часть кометы и Солнце, и направлен в сторону, противоположную ему.

Знаменитый астроном Кеплер еще в начале XVIII века высказал предположение, что подобная ориентация кометных хвостов может быть объяснена тем, что солнечные лучи оказывают давление на освещенные тела.

Максвелл в своих теоретических исследованиях пришел к такому же выводу. Но на сей раз это была не просто блестящая догадка, а теоретическое положение, подкрепленное точными вычислениями. По расчетам Максвелла получалось, что отвесные лучи солнечного света давят на 1 квадратный метр абсолютно черной (совершенно неотражающей) поверхности с силой 0,4 миллиграмма, а на зеркальную поверхность — с силой 0,8 миллиграмма. Разумеется, сила светового давления зависит от мощности светового излучения и от расстояния между источниками света и поверхностью, на которую падают лучи. Чем мощнее источник, тем больше давление; чем больше расстояние, тем давление меньше. Поэтому цифры, приведенные выше, не являются абсолютными. Они вычислены для случая, когда источником света является Солнце, а расстояние равно тому, на которое Земля отстоит от него.

Факт светового давления имеет принципиальное значение для науки: он открывает завесу еще над одним очень важным свойством света. Поэтому экспериментальное доказательство правильности теоретических выкладок было бы чрезвычайно существенным вкладом в физику. Но такой эксперимент оказался до крайности сложным и трудоемким — ведь измерять приходилось ничтожные по величине усилия.

Первым, кому удалось провести эти тончайшие измерения, был профессор Московского университета П. Н. Лебедев. В 1899 году он измерил давление света на твердые тела, а в 1909 году разрешил еще более трудную задачу — измерение давления света на газы. Эти работы принесли Лебедеву мировое признание; многие университеты и научные общества избрали его своим почетным членом.

Результаты исследований подтвердили факт светового давления и точность расчетов Максвелла. Основы-

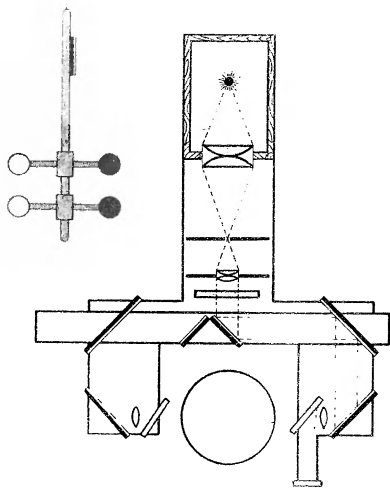


Схема установки П. Н. Лебедева. Ось с лопастями, нарисованная отдельно, подвешивалась в стеклянном цилиндре. На лопасти направляли свет яркой лампы. Под давлением света ось с лопастями поворачивалась на некоторый угол.

ваясь на этом факте и исследованиях Лебедева, астрономы смогли точно изучать влияние солнечного света на хвосты комет и даже определять массу частиц, образующих хвосты. Не менее интересным и важным для науки явился вывод, сделанный астрономами, о том, что световое давление, возможно, устанавливает естественный предел для размеров звезд. Масса звезды не может превышать некоторой, хотя и громадной, но конечной величины, так как в противном случае световое давление раскаленных внутренних областей звезды взорвет ее изнутри.

Мы помним, что волновая теория победила корпускулярную только после того, как опытным путем были установлены такие факты, как дифракция и интерференция. Эти факты невозможно объяснить с точки зрения корпускулярной теории, зато волновая теория великолепно с ними согласуется. Что же в этом смысле можно сказать о световом давлении? Оно было выведено и исчислено Максвеллом, создавшим свою электромагнитную теорию на основе волновых представлений о природе света, и, следовательно, полностью подтверждает их справедливость. Однако факт светового давления относится к числу тех, которые не противоречат и корпускулярным представлениям. Более того, на основании опытов Лебедева сторонник корпускулярной теории может сделать вывод, что свет имеет массу, и даже определить ее величину!

## МЕЛЬЧАЙШИЕ ИЗ МЕЛЬЧАЙШИХ

Наука никогда не заняла бы подобающего ей места, если бы с самого зарождения не требовала глубокого осмысления и точного определения даже самых простейших, кажущихся совершенно очевидными понятий. Вот, например, определения<sup>1</sup> белого, прозрачного и черного тел, приемлемые для науки:

Тело, отражающее все лучи света, падающие на него, называется идеально белым.

Тело, пропускающее без поглощения все лучи проходящего сквозь него света, называется идеально прозрачным.

Тело, целиком поглощающее падающие на него лучи света, называется идеально черным.

В природе не существует ничего идеального. Нет и таких тел, которые полностью отвечали бы приведенным определениям, но зато есть очень много тел, которые довольно близки к ним. Так, некоторые химические соединения отражают до 98 процентов света; не слишком толстые слои стекла или горного хрусталя в широком диапазоне световых волн почти идеально прозрачны; некоторые сорта черного бархата поглощают до 99,7 процента падающего света.

---

<sup>1</sup> Здесь не приводятся определения в строгой научной формулировке.

Приведенные определения вряд ли у кого вызовут возражения, хотя бы потому, что они нисколько не противоречат повседневному опыту. Основываясь на этом опыте, мы привыкли считать белым то тело, которое излучает много света, а черным — не излучающее вовсе.

Солнце — ослепительно белое, а отверстие в закопченной печной трубе — ослепительно черное.

На первый взгляд кажется, что наше житейское понимание белого и черного нисколько не отличается от физического. Но на самом деле такое противоречие есть. В обиходе мы не замечаем его потому, что не совсем правильно пользуемся глаголами «отражать» и «излучать». Часто подменяем один из них другим, не видя особой разницы. А она с точки зрения физики имеет принципиальное значение.

И каждому из этих слов физика приписывает совершенно определенное действие.

Отражать — значит отбрасывать назад, вовне, лучи некоторого постороннего источника света, падающие на поверхность тела. При идеальном отражении температура тела не изменяется, не изменяется и запасенная в этом теле тепловая энергия.

Излучать — означает отдавать вовне путем испускания лучей собственную энергию. При излучении температура тела, его запасы тепловой энергии уменьшаются. Для того чтобы излучение не прекращалось, необходимо восполнять эту убыль энергии, а для этого требуются какие-то источники энергии. Например, электрическая батарея для лампочки в карманном фонаре или ядерные реакции на Солнце.

Что же в таком случае означает глагол «поглощать»?

С точки зрения энергетической поглощение следует понимать как действие, обратное излучению.

При поглощении энергия тела увеличивается, а при излучении, наоборот, уменьшается.

Таким образом, идеально белое тело в определенных условиях не поглощает и не излучает энергии. То же можно сказать и об идеально прозрачном теле. Зато идеально черное тело, являясь наилучшим поглотителем лучистой энергии, оказывается в то же самое время и наилучшим ее излучателем.

С непривычки такое утверждение может показаться ошибочным. Но это твердо установленный наукой факт. Еще более странным покажется читателю утверждение, что Солнце тоже черное тело. Но, если вдуматься в точное определение черного тела, такое утверждение постепенно перестанет казаться парадоксальным. Ведь оно в понимании физиков означает лишь одно: если на Солнце попадают лучи от каких-либо внешних источников света, то есть от всех других звезд, эти лучи не отражаются от него, а будут полностью им поглощены.

Почему же все мы не видим Солнце черным, но в то же время не можем вынести его ослепительных лучей?

Только потому, что в солнечной массе выделяется фантастически большое количество энергии и эта энергия излучается Солнцем вовне.

Примерно 14 процентов всей солнечной радиации приходится на долю видимого света. Он-то и ослепляет нас. Именно благодаря ему Солнце воспринимается нами как белое. Но это нисколько не противоречит определению, данному физикой для черного тела, ведь в нем говорится лишь о поглощении падающих лучей, но не об излучении собственных. Вот и получается, что черное тело может ярко светиться и быть белым, но при этом оно обязательно должно поглощать все лучи, падающие на него от посторонних источников света.

Разницу в излучениях нагретых тел — белого, прозрачного и довольно темного — вы можете проверить сами. Для этого разогрейте в пламени газовой горелки стальной гвоздь, кусок алюминиевой проволоки и кусок стекла. Ярче всего будет светиться сталь, а алюминий и стекло — едва заметно.

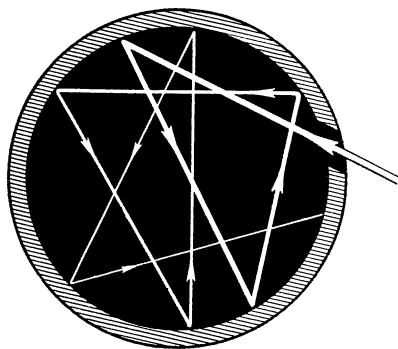
Мы уже говорили, что в природе не существует ни идеально черного, ни идеально белого. Но ученые для научных целей все же создали прибор, обладающий свойствами идеально черного тела. Он так и называется в физике — «черное тело». Его конструкция представляет собой металлический полый шар или цилиндр с небольшим отверстием. В промежутках между двойными стенками шара или цилиндра заложены электронагревательные элементы. Поверхность внутренней полости черного тела для лучшего поглощения падающих лучей иногда чернят и делают шероховатой.

Роль собственно черного тела играет отверстие в шаре. Как известно, черное тело поглощает все падающие на него лучи. Именно такое же действие производит отверстие. Посмотрите на чертеж прибора, и вы убедитесь в том, что луч, прошедший в отверстие извне, уже не вернется назад. Он «запутается» во внутренней полости шара. Претерпевая многократные отражения от стенок шара, он при каждом из них будет частично поглощаться и в конечном счете поглотится ими полностью.

Зрачок нашего глаза кажется черным именно по этой же причине. Тем же объясняется и то, что днем окна домов кажутся снаружи черными.

Мы не зря уделили столько времени объяснению свойств черного тела. Это было необходимо потому, что исследование законов его излучения привело ученых к чрезвычайно важным открытиям. Эти и некоторые другие факты заставили ученых снова (в который раз!) пересмотреть свои воззрения на природу света.

Во-первых, стало известно, что



Ход луча света в полости «черного тела». При каждом отражении от внутренней стенки часть света поглощается, и в конце концов стенки поглощают весь свет.



спектр излучения черного тела непрерывный, то есть содержит колебания со всеми возможными длинами волн.

Во-вторых, эти опыты показали, что, хотя спектр излучения и непрерывный, мощность, излучаемая на разных частотах (длинах волн), различна: она максимальна внутри диапазона частот (волн) и практически падает до нуля к его краям. При этом частота, на которой имеется максимум излучения, тем больше, чем выше абсолютная температура.

В-третьих, оказалось, что суммарная мощность излучения черного тела возрастает пропорционально четвертой степени абсолютной температуры.

Экспериментальные данные были многократно проверены и ни у кого не вызывали сомнения. Однако, когда были сделаны попытки теоретически объяснить эти явления и найти формулу для их количественного выражения, ученые столкнулись с непредвиденными и, как оказалось, принципиальными трудностями. Все эти трудности сводились к тому, что теоретические выкладки, сделанные на основе столь хорошо зарекомендовавшей себя классической теории, совершенно не соответствовали фактам. Из этих выкладок следовало, что вся энергия черного тела должна была бы излучаться в виде коротковолнового излучения.

Из несоответствия практики и теории приходилось делать выводы. Первым, кто сумел объяснить законы излучения черного тела, оказался немецкий физик Макс Планк (1858—1947). Это было в 1900 году, три года спустя после открытия электрона.

Но, пожалуй, главной заслугой Планка было не само по себе объяснение законов излучения черного тела, а совершенно новое для физики предположение, которое ему пришлось сделать в ходе работы.

Для того чтобы понять всю необычность этого предположения, стоит провести один очень простой умозрительный опыт. Но читателю следует запомнить, что условия, в которых он будет проводиться, реально неосуществимы, а поэтому практически неосуществим и сам эксперимент. Проводить его можно лишь умозрительно.

Прежде всего предположим, что в нашем распоряжении имеется столь точный измерительный инструмент, с помощью которого мы можем измерять расстояние абсолютно точно и регистрировать даже самые незначительные его изменения. Вторым идеальным прибором, которым нам предстоит воспользоваться, будет простейший блок, отличающийся от реального лишь тем, что в нем полностью отсутствует трение.

Мысленно перекинем через блок веревку и к одному из ее концов прикрепим груз. Затем поднимем груз на высоту, равную 1 метру. Если вес груза был равен точно 1 килограмму, то при подъеме груза нам придется затратить работу против сил тяготения, точно равную 1 кГм. Но что это означает — затратить работу? Это означает отдать энергию, в данном случае 1 кГм энергии. Поднимая груз, мы отдаем энергию, она превращается в потенциальную энергию поднятого над землей гру-

за. Следовательно, последний при этом получил энергию. И, так как условия эксперимента у нас идеальные, груз получил энергии ровно столько, сколько мы затратили, то есть 1 кГм.

Теперь приподнимем его еще на 0,000 001 метра. При этом мы отдадим, а груз получит 0,000 001 кГм. Поскольку измеритель расстояний абсолютно точен, можно изменять высоту подъема не только на одну миллионную долю метра, но и на одну миллиардную и на одну триллионную и любую другую как угодно малую долю метра. При этом величина затрачиваемой и приобретаемой энергии тоже будет уменьшаться до каких угодно малых долей.

До того как стала известной работа Планка, такой чисто умозрительный эксперимент приводил ученых к выводу, что энергия может делиться на любые малые, а в математическом смысле — на бесконечно малые доли. И на этом основании они считали, что энергия всегда и во всех случаях величина непрерывная.

Планк отказался от этого привычного и, казалось бы, вполне очевидного и доказанного представления, считая, что оно неприменимо при объяснении процессов излучения.

Он предположил, что при излучении энергия не может ни убывать, ни прибавляться бесконечно малыми долями и что все изменения энергии могут происходить только скачкообразно, то есть определенными порциями, очень небольшими, но конечными. Эти порции он назвал элементарными квантами или просто квантами.

Представим себе, что требуется наполнить стакан или мензурку определенным количеством жидкости. Естественно, что с первого раза мы не сумеем сделать это с достаточной точностью: либо не дольем жидкость до нужного деления, либо, наоборот, нальем чрезмерное количество. В обоих этих случаях можно или добавить, или убавить необходимое количество жидкости; причем это количество мы можем менять любыми, с точки зрения практики, произвольно малыми порциями.

Можно ли подобным образом изменять любые количества?

Мы знаем, что нельзя. Так, например, невозможно увеличить число учащихся в классе на 2,7 человека. Невозможно изменить произвольно малыми долями и сумму денег. Ее изменения всегда скачкообразны, причем наименьший «скачок» в нашей стране составит одну копейку, в ГДР — один пфенниг, в Англии — один фартинг.

Именно такое наименьшее возможное изменение, наименьший возможный скачок некоторой величины и называют квантом или элементарным квантом данной величины. Поэтому в равной степени правильно называть квантом человека, когда заходит речь о численном составе учащихся в школе, рабочих на заводе, населения в стране и тому подобное, и называть квантом копейку, когда говорят об исчислении денежной суммы в советских деньгах. Понятно, что названные кванты не имеют между собой ничего общего. Единственный признак, который дает право назвать квантом и то и другое, состоит в том, что обе эти величины являются наименьшими возможными изменениями соответствующих ко-

личеств. Есть элементарные кванты, величины которых можно сравнивать между собой. Таковы, например, элементарные кванты денег Советского Союза, ГДР и Англии — копейка, пфенниг и фартинг. Это сопоставимые кванты.

На практике многие прерывные величины вполне допустимо считать непрерывными. Взвешивая зерно, песок и другие сыпучие тела, разливая жидкости, мы не делаем сколько-нибудь заметной ошибки, считая, что их количества меняются непрерывно, то есть сколь угодно малыми порциями. На самом же деле это не так, и известно, что масса сыпучих тел может изменяться только прерывно, хотя величина скачка чрезвычайно мала. Мы пренебрегаем этой величиной во всех случаях, где она несущественна. Но мы будем поступать иначе, если придется взвешивать какие-либо драгоценные сыпучие тела. Для их взвешивания придется пользоваться весьма чувствительными и точными весами. И тогда мы уже не сможем пренебречь фактом скачкообразного изменения массы.

Точно так же обстоит дело с измерениями и других количеств. Повышение чувствительности и точности измерений часто показывает, что величины, считавшиеся непрерывными, на деле могут меняться только прерывно, скачками, причем величина наименьшего, мельчайшего из мельчайших скачков оказывается вполне определенной и неизменной. Скачками, квантами изменяется и масса воды. Квантом массы воды является масса одной ее молекулы. Разумеется, что в подавляющем большинстве случаев можно не принимать этот факт во внимание и считать массу воды величиной непрерывной.

Но есть и другие действительно непрерывные величины. И в этом случае повышение чувствительности и точности измерений не привело бы к обнаружению прерывности их изменения. К непрерывным величинам относятся расстояние и время.

Итак, известно, что некоторые величины могут изменяться сколь угодно малыми долями, а другие — только прерывно, скачками, и величину такого скачка уже нельзя уменьшить. Такой неделимый скачок количества, такую наименьшую из возможных порцию и называют элементарным квантом таких величин.

Электрон обладает наименьшим, мельчайшим из мельчайших отрицательным электрическим зарядом. Следовательно, заряд электрона можно назвать квантом электрического заряда или просто квантом электричества.

Зернистую, прерывистую структуру имеет и масса. Так, мельчайшей из мельчайших, наименьшей из возможных масс водорода (водорода как вполне определенного химического элемента) является масса одного его атома, равная примерно 0,000 000 000 000 000 000 000 001 7 грамма.

Итак, квант массы водорода равен  $1,7 \cdot 10^{-24}$  грамма. Естественно, что квант массы кислорода будет отличаться от водородного кванта. Но величины их сопоставимы, потому что и та и другая выражаются в граммах массы.

Подобным образом обстоит дело и с квантами излучаемой энергии. Их численное значение оказывается различным для разных длин волн. По определению Планка, величина одного элементарного кванта излучаемой энергии выражается формулой

$$\epsilon = h\nu,$$

где  $h$  — некоторая неизменная величина, названная в честь первооткрывателя постоянной Планка, а  $\nu$  — частота колебаний, на которых излучается энергия.

Если излучение нагретого черного тела разложить в спектр, то в нем будут присутствовать колебания с самыми различными частотами. Поэтому кванты энергии, излучаемой черным телом, также будут иметь самые разнообразные значения.

Объяснение законов излучения черного тела явилось той необходимой проверкой, которая подтвердила правильность новых теоретических положений, выдвинутых Планком. Они в равной мере справедливы для всех видов излучений — не только световых, но и для всего спектра электромагнитных волн, начиная от самых длинных радиоволн, кончая рентгеновскими и гамма-излучениями.

Однако в радиотехнике квантовыми представлениями практически не пользуются. Величина отдельного кванта на радиочастотах столь ничтожна, что излучаемую энергию радиоволн можно, с точки зрения практики, считать величиной непрерывной. Для примера стоит назвать численную величину кванта для радиоволн длиной 3000 метров (частота 100 тысяч колебаний в секунду); она равна  $4,4 \cdot 10^{-10}$  электронвольт<sup>1</sup>. Именно поэтому классическая электродинамика, созданная Максвеллом, остается полностью справедливой на радиочастотах.

Зернистая структура излучаемой энергии становится заметной на световых волнах. Так, на волне 1,2345 микрона (ближняя инфракрасная область спектра) энергия кванта точно равна 1 электронвольту. На красной границе видимого спектра она возрастает примерно до двух, а на фиолетовой границе — до 4 электронвольт. Но все же эти значения еще чрезвычайно малы в сравнении с 1 квантом энергии, излучаемой в области очень коротковолновых гамма-лучей. Так, на волне в 0,007 миллимикрона энергия кванта становится равной 1770 тысяч электронвольт. Такую энергию приобретает электрон, разгоняясь в электростатическом поле конденсатора, к которому приложено напряжение 1770 тысяч вольт.

Не следует забывать при этом, что эта энергия излучается черным телом либо такой огромной порцией, либо вовсе не излучается. То же происходит и при поглощении — либо всё, либо ничего.

Отказываясь от привычных, казавшихся незыблемыми представлений и формулируя новые идеи, Планк, возможно, не предполагал, что им суждено сыграть революционную роль в развитии основных физических

---

<sup>1</sup> Энергию в 1 электронвольт приобретает электрон, пролетев между обкладками конденсатора, к которому приложено напряжение, равное 1 вольту.

представлений. По крайней мере, вначале он ставил перед собой совершенно конкретную задачу — теоретически обосновать законы излучения черного тела.

Но уже после первого успеха все прогрессивные физики оценили силу идей Планка. Они поняли, что квантовые представления нечто значительно большее, чем это могло казаться вначале. Они использовали новые идеи при исследовании чрезвычайно широкого круга явлений взаимодействия лучистой энергии и вещества. И во всех случаях эти идеи помогали им продвигаться дальше, постигать новые тайны природы.

Квантовая теория получила необычайное развитие. Она помогла установить общность многих важнейших явлений, казавшихся до того совершенно не связанными между собой. Она помогла науке открыть новые необычайные горизонты и, в частности, продвинуться еще на один шаг в направлении разгадки природы света. Этот шаг суждено было сделать гениальному физическому Альберту Эйнштейну (1879—1955). В этом ему помогли не только идеи Планка, но и очень важный закон, установленный русским ученым Александром Григорьевичем Столетовым (1839—1896).

## ФОТОЭФФЕКТ

Проводя свои опыты, Герц попутно заметил, что искра, проскакивающая между электродами вибратора, странно себя ведет. Казалось, на нее влиял свет. Когда Герц освещал электроды вибратора сильным светом, появление искры учащалось. Стоило убрать источник света — и частота снова резко уменьшалась. Явление было необычное и необъяснимое. Однако Герц, видимо, не придавал ему большого значения. Этому, пожалуй, не стоит удивляться — ведь он ставил перед собой совершенно иную задачу.

Не так отнесся к наблюдению, сделанному Герцем, профессор Московского университета А. Г. Столетов, старший товарищ П. Н. Лебедева. Столетов поставил множество опытов, создал для их проведения специальную аппаратуру и столь глубоко и основательно исследовал новое явление, что результаты его работы привели к замечательному открытию.

Без него ученые не получили бы новых чрезвычайно ценных сведений о природе света, а современное общество не знало бы ни телевидения, ни фототелеграфии, ни звукового кино, ни многих-многих других полезнейших технических новшеств, без которых сейчас невозможно представить себе нашу жизнь.

Явление, изученное Столетовым в 1888—1889 году, называется фотоэффектом. В результате исследований Столетов установил новый физический закон, носящий его имя. К сожалению, в те годы наука еще ни-

чего не знала о существовании электронов (они были открыты лишь в 1897 году), и поэтому Столетов не мог дать правильного физического толкования новому закону. Это было сделано позже, в 1905 году, Эйнштейном.

Чтобы лучше разобраться в явлении фотоэффекта, стоит хотя бы мысленно (а тем, кому удастся, в школе или кружке) провести сравнительно несложный опыт.

Для его проведения необходима электрическая батарея, гальванометр или микроамперметр для измерения силы тока и специальный электровакуумный прибор, называемый фотоэлементом. Его мы и подвергнем исследованию.

Простейший фотоэлемент представляет собой стеклянный баллон, внутри которого находятся два электрода. Чтобы улучшить работу, электродам фотоэлемента часто придают особую форму. Один из них в виде тончайшей металлической пленки (состоящей из соединения цезия с сурьмой или кислорода, серебра и цезия или других элементов) наносится на внутреннюю поверхность баллона, которому специально придана шарообразная форма. Вторым электродом представляет собой колечко из тонкой проволоки, находящейся в районе центра сферы. Первый электрод является катодом, вернее, фотокатодом, а второй — анодом.

Фотоэлементы делятся на две большие группы. В фотоэлементах первой группы стараются создать максимально возможный вакуум внутри баллона; у фотоэлементов второй группы внутри баллона содержится очень небольшое количество газа. Фотоэлементы первой группы менее чувствительны, но зато обладают многими другими ценными свойствами.

В нашем опыте мы применим фотоэлемент с высоким вакуумом, то есть такой, из которого удален практически весь воздух. Кроме того, для удобства эксперимента стоит изменить конструкцию нашего воображаемого фотоэлемента таким образом, что оба электрода будут представлять собой плоские пластинки совершенно одинаковых размеров, сделанные из одного и того же металла. Именно такой фотоэлемент изображен на схеме нашего опыта.

Присоединим к одному из электродов отрицательный зажим батареи, а к другому через гальванометр подключим положительный зажим. В этом случае первый электрод (отрицательный) будем называть катодом, а второй (положительный) — анодом. Поместим фотоэлемент в темный ящик. Стрелка гальванометра замрет на нуле. Но, если приоткрыть крышку ящика, она отклонится вправо. Чем больше света будет поступать в ящик, тем больший ток потечет через фотоэлемент, тем дальше вправо отклонится стрелка гальванометра.

Продолжая наш опыт, варьируя условия его проведения, обнаружим, что для протекания тока вовсе не нужно освещать весь фотоэлемент. Для этого достаточно направить лучи света только на катод, а точнее — на ту его поверхность, которая обращена к аноду. Более того, если мы

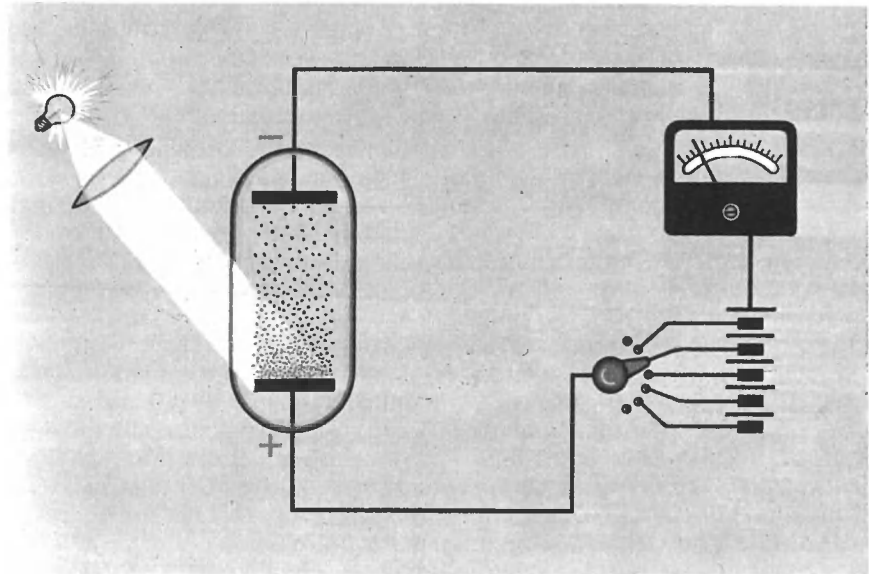
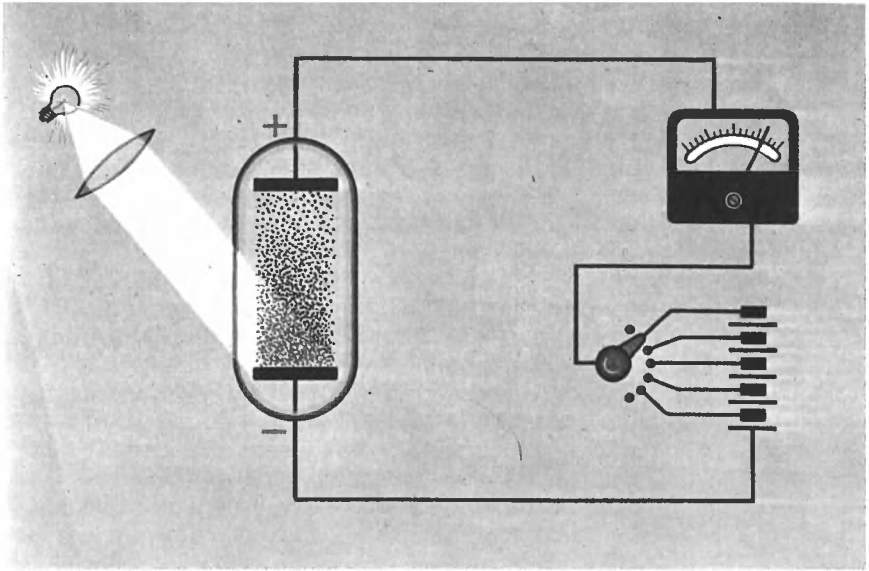


Схема опыта с явлением фотоэффекта: 1 — на анод подано положительное напряжение, прибор показывает, что в цепи протекает достаточно сильный ток; 2 — на анод подано отрицательное напряжение; ток очень мал.

будем освещать только анод, а катод оставим в темноте, то стрелка прибора останется на нуле.

Но в чем различие между катодом и анодом? В нашем опыте они совершенно одинаковы по форме, по размеру, выполнены из одного и того же металла. Только в одном они отличаются друг от друга: к аноду присоединен положительный полюс батареи, а к катоду — отрицательный. Следовательно, хотя электроды одинаковы, ток протекает, только когда освещен катод. Но ведь, если мы поменяем включение батареи на противоположное, бывший катод превратится в анод, а бывший анод — в катод? И, следовательно, освещая бывший анод, мы вновь получим ток? Да, будет именно так, как мы предполагаем.

Теперь приостановим временно наши опыты и обдумаем полученные результаты.

Итак, мы установили следующие важные факты:

1. Свет, падая на катод, вызывает протекание тока через фотоэлемент.

2. Ток через фотоэлемент протекает только в одном направлении — от катода к аноду (имеется в виду истинное, а не условное направление).

3. Сила тока тем больше, чем больше падает света на катод.

Для того чтобы объяснить эти факты, то есть подвести под них теоретическую базу, следует вспомнить три других хорошо известных науке факта:

1. Элементы входят в состав любого вещества. Они удерживаются в нем благодаря особым силам притяжения, действующим на электроны.

2. Электроны имеют отрицательный заряд.

3. Одноименные электрические заряды отталкиваются, а разноименные — притягиваются.

Зная все это, мы уже сможем понять процессы, происходящие при фотоэффекте.

В самом деле, поскольку точно установлено, что ток через фотоэлемент идет от катода к аноду, иными словами — от минуса к плюсу, можно считать, что носителями тока являются электроны.

Но откуда они берутся?

Наши исследования показывают, что ток протекает лишь при освещении катода светом. Значит, свет так воздействует на катод, что он начинает испускать электроны. Причем электронная эмиссия (испускание электронов) тем больше, чем больше света падает на катод.

Каким же образом свет, взаимодействуя с веществом, заставляет его выпускать «плененные» им электроны?

Брошенный вверх камень летит тем выше, чем большая скорость, чем большая энергия была придана ему при броске. Но как бы высоко он ни залетал, ему всегда приходится вернуться на Землю: сила земного тяготения заставит его сделать это. Однако мы знаем, что если какому-либо телу (пока только ракете, если не считать элементарных частиц, разгоняемых в ускорителях) придать скорость порядка 8000 метров в



секунду, а следовательно, и соответствующую энергию, оно уже не возвратится на Землю, а станет ее спутником. Если же начальная скорость тела превысит 11 200 метров в секунду, то тело и вовсе выйдет за пределы земного тяготения.

Нечто подобное происходит и с электронами. Свет, проникая в вещество, отдает находящимся в нем электронам свою энергию. Эта дополнительная энергия повышает скорость движения электронов. Если новая скорость превысит определенную для данного вещества величину, а движение электрона будет направлено из вещества вовне, он покинет вещество и «взлетит» над его поверхностью. Чем большую энергию получил электрон от световых лучей, тем большей окажется его новая скорость и тем дальше он отлетит от катода в сторону анода.

Говорят, что знаменитый немецкий астроном Иоганн Кеплер (1571—1630) не смог бы установить законов движения планет, если бы наблюдения, проведенные датским астрономом Тихо Браге и им самим, были выполнены более точно. К счастью (как это ни странно), инструменты, имевшиеся в распоряжении обоих ученых, не достигли еще такой степени совершенства, чтобы можно было заметить нерегулярности в движении планет, которые в те времена могли бы ввести ученых в заблуждение и воспрепятствовать открытию важнейших законов.

В опыте с фотоэлементами мы тоже воспользовались довольно нечувствительным прибором. Поменяв полярность включения батареи, мы не обнаруживали тока и на этом основании считали, что его вовсе нет, и благодаря этому сделали очень важные выводы. Однако фактически это неверно. Мы не обнаруживали тока лишь потому, что он становился слишком малым и грубый прибор не мог его измерить.

Повторим эксперимент снова, но на этот раз применим прибор с очень высокой чувствительностью. Катодом будем считать тот электрод, на который падают лучи света, хотя к нему и присоединен положительный полюс батареи. Включим установку и, наблюдая за показаниями прибора, будем убавлять напряжение, подаваемое на фотоэлемент. Напряжение будем измерять обычным вольтметром.

Если в начале опыта оно составляет минус 10—20 вольт, то и с помощью самого чувствительного прибора мы не обнаружим тока. Но, когда отрицательное напряжение понизится до единиц вольт, стрелка прибора, измеряющего ток, отклонится от нуля. Причем мы обнаружим, что электроны движутся к аноду, на который подано отрицательное напряжение. Чем меньше по абсолютной величине будет отрицательное напряжение, тем большим будет ток.

Для объяснения этого не совсем обычного факта стоит вспомнить о поведении брошенного вверх камня. Уже отмечалось, что камень летит тем выше, чем больше его начальная скорость, чем больший у него запас энергии. Но какова бы ни была начальная скорость, если только она не превышает 8000 метров в секунду, камень обязательно вернется на Землю. Но что случилось бы с ним, если бы на некотором, сравнитель-

но небольшом расстоянии от Земли вдруг появилось огромное небесное тело?

В этом случае камень мог бы не вернуться обратно и при значительно меньших начальных скоростях. На этот раз его судьба зависела бы не только от силы притяжения к Земле, но и от силы тяготения нового небесного тела. Чем больше была бы эта сила, тем меньшую начальную скорость требовалось бы придать камню, чтобы он навсегда покинул Землю.

Предположим, что новое небесное тело не притягивает к себе брошенных вверх камней, а, наоборот, отталкивает. Может ли в таком случае камень достигнуть его поверхности? Да, может. Для того чтобы он преодолел подобный барьер, то есть фактически совершил необходимую работу против сил отталкивания, ему в начале полета должна быть сообщена необходимая энергия, или, что то же самое, необходимая начальная скорость.

В этом умозраительном опыте мы сделали совершенно фантастическое предположение о существовании близкого к Земле небесного тела, которое к тому же не притягивает, а отталкивает приближающиеся к нему тела. Подобные фантастические предположения, конечно, не стоит делать из прихоти, но, если они могут принести пользу, физики не колеблясь делают их. В нашем случае польза заключается в том, что мы в довольно наглядной форме проследили процессы, очень близкие к тем, которые действительно имеют место в фотоэлементе.

В самом деле, подавая отрицательное напряжение на анод, мы тормозим вылетевшие из катода электроны, заставляем их повернуть назад. И, наоборот, поступая «законно» — подавая на анод положительное напряжение, — помогаем электронам покинуть катод.

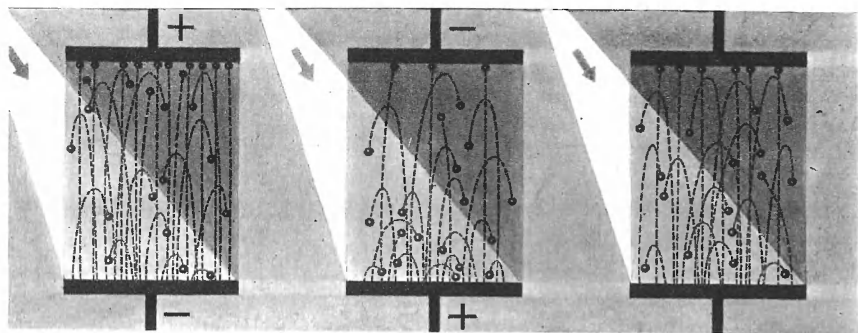
Если, начав от нуля, постепенно увеличивать положительное напряжение, ток, протекающий через фотоэлемент, будет возрастать даже и в том случае, когда на катод падает неизменный по величине световой поток. Это происходит потому, что с ростом положительного напряжения растет сила притяжения электронов к аноду, и его поверхности могут достигать электроны со все меньшими начальными скоростями. Однако ток не будет возрастать беспредельно. При некотором напряжении он достигнет максимума и далее уже не изменится, как бы мы ни увеличивали напряжение. Это и понятно: сила притяжения к аноду становится столь большой, что даже самые «ленивые» электроны не возвращаются на катод.

Дальнейшее увеличение этой силы не приведет к увеличению тока. Ток, протекающий в этом случае через фотоэлемент, называется током насыщения. Не следует забывать, что его величина, в соответствии с законом Столетова, тем больше, чем больше световой поток, падающий на фотокатод.

Теперь будет нетрудно разобраться и в случае противоположного по знаку включения батареи. Анод при этом будет играть роль отталкивающего небесного тела, и сила отталкивания будет тем больше, чем

выше по абсолютной величине отрицательное напряжение. В этом случае анода может достигнуть далеко не всякий электрон. Только самые быстрые, самые энергичные из них преодолеют барьер. С ростом отрицательного напряжения число таких электронов будет неуклонно падать и наконец станет равным нулю — ток через фотоэлемент прекратится.

Зная величину отрицательного напряжения между анодом и катодом, физики могут рассчитать начальные скорости, или начальные энергии, тех



Вылет электронов из металла под воздействием света. Количество вылетевших электронов одинаково, но количество электронов, достигших анода, различно. Самое большое число достигает анода под воздействием положительного напряжения; под воздействием отрицательного напряжения электроны тормозятся, и лишь немногие долетают до анода.

электронов, которые преодолели силы отталкивания. Эта энергия выражается в специальных единицах — электронвольтах. Так, если электрон преодолел силы отталкивания, которые возникают при разности напряжений между анодом и катодом в 5 вольт, это означает, что его начальная энергия была не ниже 5 электронвольт. Меняя отрицательное напряжение между анодом и катодом и замеряя каждый раз ток, можно легко узнать количество электронов, получивших при данном освещении определенную начальную энергию.

Теперь мы можем подойти к решающему этапу исследования фотоэффекта.

Что произойдет, если фотокатод освещать не белым светом, представляющим собой смесь лучей с различными длинами волн, а монохроматическим, то есть таким, в котором световые волны имеют практически одну и ту же длину?

Мы сами не сумеем провести опыт, отвечающий на подобный вопрос. Для такого опыта требуется очень сложное и дорогое оборудование, каково, конечно, не найти в школьном физическом кабинете. Но это не столь важно, потому что этот опыт продлевался учеными неоднократно.

К тому времени, когда он был проведен впервые, волновая теория света уже около девяноста лет прочно удерживала свои позиции. За эти

годы сменилось не одно поколение физиков, и все они не сомневались в ее абсолютной достоверности, так как любые открытия в области оптики всегда удавалось правильно истолковать на основе волновых представлений. Каково же было удивление и даже недоумение ученых, когда они узнали о результатах исследования фотоэффекта при монохроматическом освещении! Они противоречили тому, что до сих пор не вызывало ни у кого сомнения.

Прежде всего оказалось, что свет не всякой длины волны выбивает электроны из фотокатода. Электроны покидали его тем охотнее, чем короче была волна падающего света.

Подавая на анод фотоэлемента отрицательное напряжение разной величины, удалось выяснить, что энергия вылетевших электронов, а следовательно, и их начальная скорость, остается неизменной при изменении интенсивности света и зависит только от длины волны. Чем больше синели лучи света, то есть чем короче была волна падающего света, тем большим нужно было устанавливать отрицательное напряжение на аноде, при котором полностью прекращался фототок. И, наоборот, чем длиннее были волны падающего света, тем меньшей оказывалась энергия освобожденных электронов. Более того, когда длина волны падающего света возрастала до некоторой величины, фотоэффект прекращался, как бы ни увеличивали при этом поток падающего света, как бы ни повышали положительное напряжение на аноде. Предельная длина волны, при которой прекращается фотоэффект, называется красной границей фотоэффекта. Она различна для разных веществ. Пришлось немало потрудиться, для того чтобы повысить красную границу, отодвинуть ее дальше, в область длинных световых волн. В наши дни созданы такие типы фотокатодов, которые имеют красную границу на длине волны 1,2—1,6 микрона.

На основании волновой теории следовало, что энергия выбитых светом электронов должна возрастать при увеличении светового потока. Опыт же показывает иное: при увеличении светового потока растет не энергия выбитых из фотокатода электронов, а их число. Энергия покинувших фотокатод электронов становится тем большей, чем короче длина волны падающего света.

Открыв фотоэффект, ученые вновь оказались вынужденными обратиться к основам физической оптики, искать ответа на самый главный вопрос: «Что же такое свет?»

## **ВМЕСТО ПАУЗЫ**

Перед окончанием главы сделаем небольшую передышку, оглянемся на прочитанное и вспомним главное из того, что нам стало известным о свете.

### **1. Развитие оптики до Ньютона.**

На этом этапе еще не было создано сколько-нибудь достоверных тео-

рий света. Не было накоплено и достаточного количества фактов, хотя уже были созданы такие оптические приборы, как линзы, вогнутые зеркала и даже микроскопы и телескопы.

Гримальди опубликовал свой труд, в котором не было сформулировано глубоких теоретических положений, но зато впервые, в очень приближенной форме, были упомянуты явления дифракции и интерференции.

## 2. Ньютон.

Его работы явились целой эпохой в оптике. Он открыл новые факты и на основании их сформулировал очень важные законы оптики и создал первую подлинно научную теорию света. В соответствии с этой теорией, свет представляет собой частицы материи особого рода — корпускулы.

Эта теория достаточно хорошо объясняла все известные факты, за исключением явления, открытого самим Ньютоном, называемого кольцом Ньютона (и, конечно, интерференции и дифракции, которых Ньютон не знал).

## 3. Гюйгенс.

Определение скорости света Рёмером.

Гюйгенс создал свою теорию немногим позже Ньютона. В соответствии с теорией Гюйгенса, свет не является материальным телом, а представляет собой волны, распространяющиеся в материи особого рода — в мировом эфире.

## 4. Господство корпускулярной теории.

Теория Гюйгенса могла объяснить все известные в то время факты, в частности явление колец Ньютона. Однако после смерти Ньютона и Гюйгенса господствует корпускулярная теория.

## 5. Господство волновой теории.

В начале 1800-х годов волновая теория одерживает полную победу, объяснив явления интерференции и дифракции. Существование эфира везде признано, хотя ученые не смогли поставить ни одного опыта, который позволял бы непосредственно обнаружить эфир. Главным свидетельством в пользу эфира являлся факт распространения световых волн.

Последние десятилетия XIX и начало XX столетия были отмечены целым рядом важнейших открытий в физике, в частности в оптике.

Теоретические труды Максвелла и опыты Герца позволили установить электромагнитную природу световых волн. Столетов сформулировал законы фотоэффекта. Планк, объясняя законы излучения черного тела, пришел к выводу, что энергия света не излучается непрерывно, а только определенными порциями, зависящими от длины волны излучения. Эти порции он назвал квантами. Дальнейшее изучение фотоэффекта привело к неожиданному открытию: энергия (скорость) фотоэлектрона, выбитого светом из металла, не зависит от интенсивности света, а только от длины волны падающего на фотокатод света. Чем короче волна падающего света, тем больше энергия (скорость) электрона.

Последнее открытие противоречило волновой теории света.

## ПОСЛЕ КРИЗИСА

В конце прошлого и начале нашего столетия были сделаны не только перечисленные открытия. В эти годы количество новых фактов, собранных физиками, было особенно велико. Многие новые факты имели не только частное значение, а затрагивали основы наук.

Здесь не стоит перечислять открытия тех времен. Достаточно лишь сказать, что они положили начало современному расцвету физики. Казалось бы, эти открытия должны были вдохновлять ученых на новые, еще более энергичные поиски. И, конечно, так оно и было. Но в то же время все оказывалось очень трудным и сложным.

Новые открытия не укладывались в рамки детально разработанных, проверенных жизнью, признанных всеми теорий — тех теорий, которые многие ученые считали незыблемыми и даже абсолютно верными. И вот на их глазах эти теории рушились. Многие ученые считали, что новые факты не оставляют камня на камне даже от величественного здания классической механики. И некоторые из ученых, видя происходящее, но не умея правильно объяснить его, высказывали даже мнение, что верную теорию вообще невозможно создать, что все и всяческие теории, как бы хороши они ни были, не что иное, как порождение нашего ума, и совершенно не отражают и принципиально не могут правильно отражать явления окружающего нас мира.

Это было «смутное время», и его принято называть кризисом физики.

Когда вы будете изучать книгу В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» и особенно главу «Новейшая революция в естествознании и философский идеализм», вы увидите, сколь глубоким был этот кризис, какой болезненной оказалась ломка старых представлений в сознании многих физиков.

К счастью, все выдающиеся ученые обладают очень важным свойством; его можно назвать одним словом — бесстрашием. Бесстрашием перед фактами, каковы бы они ни были. И это свойство неизбежно приводило большинство из них к правильным выводам, которые помогали им выходить из самых трудных положений и развивать науку. При этом они сознательно, а иногда не отдавая себе отчета, принимали единственно верную философскую основу науки — материализм.

Именно поэтому было преодолено временное смятение, постигшее физиков во время кризиса. И, когда оно осталось позади, стало ясно, что в физике совершилась подлинная революция.

Максвелл закончил свой знаменитый «Трактат» в 1873 году. В нем он доказал, что свет представляет собой электромагнитное явление. Но это было далеко не все. Хотя сам Максвелл, создавая свою теорию, исходил из того, что эфир существует, эта теория не являлась доказательством его существования. Она оставалась справедливой и в том случае, если считать, что для распространения света не требуется никакой промежуточной среды, потому что одним из свойств электромагнитных колебаний является их способность поддерживать самих себя и благода-

ря этому распространяться в абсолютной пустоте. Иными словами, можно было отказаться от гипотезы о существовании эфира. Однако даже самому Максвеллу эта сторона его теории была не вполне ясна.

Теоретические положения Максвелла удалось подтвердить прямым экспериментом только в 1888 году. Но уже гораздо ранее, в 1881 году, гипотезе о существовании эфира был нанесен первый сокрушительный удар.

То, что теория Максвелла остается справедливой и при отказе от эфира, физики поняли не сразу и продолжали верить в существование эфира. В числе их были голландский физик Гендрик Антон Лоренц (1853—1928) и Герц. Тот самый Герц, которому суждено было через несколько лет первым подтвердить правильность электродинамики Максвелла. И Герц и Лоренц создали свои теории, объяснявшие взаимодействие электромагнитных колебаний и эфира. Основным различием этих теорий было следующее: Герц считал, что движущиеся материальные тела увлекают за собой эфир, а Лоренц был сторонником неподвижного, неувлекаемого эфира.

Теория Герца не получила широкого распространения, потому что к моменту ее создания были известны уже проверенные опытные данные, опровергавшие ее. Что же касается теории Лоренца, то она была более совершенной и не расходилась с известными в то время опытными данными. Однако ее следовало проверить в самом главном. Она утверждала, что скорость света будет различной в случае, если свет излучается в направлении, совпадающем с движением Земли в пространстве, и в случае, когда направление света перпендикулярно этому движению.

Но провести такой опыт было куда труднее, чем Левше из рассказа Лескова подковать знаменитую «аглицкую» блоху. Точность, требовавшаяся от эксперимента, была необыкновенно высокой. Это объясняется тем, что скорость Земли в пространстве составляет всего лишь одну десятитысячную долю от скорости света. И все же необходимый эксперимент был проведен. Впервые это удалось американскому профессору физики Альберту Абрахаму Майкельсону (1852—1931). Результаты опыта показали, что скорость света не зависит от направления движения и скорости источника света.

Опыт Майкельсона явился смертным приговором гипотезам о существовании эфира.

Если бы последствия этого опыта ограничились только такими выводами, то и тогда их можно было бы считать крайне значительными для науки. Однако последствия были куда более важными: факт, установленный Майкельсоном, привел к пересмотру всей классической механики, законы которой, как выяснилось, справедливы только при малых скоростях тел.

И недаром в 1887 году Майкельсон совместно с физиком Морли вновь повторил эксперимент, а затем в течение долгих лет его снова и снова со все возрастающей точностью проводили многие ученые. Некоторые из них, быть может, проводили его с тайной надеждой опровергнуть по-

лученные результаты. Но постоянство скорости света неизменно подтверждалось.

Ученые понимали, какие серьезные последствия мог повлечь за собой этот факт. Они видели, что он подрывает не только теории сами по себе, но и основы мировоззрения, складывавшиеся веками.

Выход из создавшегося положения нашел ученый Эйнштейн. В 1905 году он опубликовал свою революционную теорию относительности. За основными постулатами и формулами этой теории возникала необыкновенная картина окружающего нас мира.

Это был мир, в котором время уже не являлось универсальным пульсом беспредельной Вселенной. Часы в нем меняли свой темп в зависимости от скорости перемещения. В этом мире не было постоянных размеров: одно и то же движущееся тело имело различные размеры для разных наблюдателей. И даже масса — нечто, всегда казавшееся прочным, неизменным и исчезающим, — приобретала новые неожиданные свойства: она тоже зависела от скорости движения тела. И, что не менее важно, масса таила в себе колоссальные запасы энергии. Массу и энергию уже нельзя было рассматривать независимо друг от друга, потому что между ними была обнаружена непосредственная связь.

Эта новая, фантастическая и не освоенная еще сознанием картина мира куда вернее отражала реальный мир, чем та, которую рисовали себе физики предыдущих поколений. К счастью, новооткрытые черты природы не противоречили старым — они лишь дополняли их и проявлялись только в тех случаях, когда скорости тел становились сравнимыми со скоростью света. При обычных же скоростях эти новые свойства можно было обнаружить с помощью самых чувствительных приборов, да и то в особых случаях; и мир снова превращался в обжитой и уютный ньютоновский мир. Классическая механика по-прежнему оставалась в нем законодательницей. Но теперь ученым были уже известны пределы ее владений: она оставалась справедливой только при скоростях, значительно меньше световых. Когда же скорость тел становилась сравнимой со скоростью света, следовало пользоваться новыми, открытыми Эйнштейном законами.

Теория относительности — великое завоевание человеческого ума, и всемирная слава не зря сопутствовала выдающемуся физику-мыслителю на протяжении всей его жизни. Но Эйнштейн создал не только теорию относительности. В том же 1905 году он, опираясь на закон Столетова и на известную нам работу Планка, объяснил явление фотоэффекта и тем самым положил начало новому пониманию процессов взаимодействия света с веществом. Если бы Эйнштейн за всю свою жизнь не дал бы науке ничего, кроме формулы фотоэффекта и ее толкования, то и этого было бы достаточно, чтобы его заслуги перед наукой не уступали заслугам многих ученых, навсегда оставивших по себе память в истории физики.

Для того чтобы отличать кванты световой энергии от прочих квантов, их называли фотонами. Энергия фотонов (или величина квантов излучае-



мой энергии) меняется в зависимости от длины волны излучаемого света. В то же время она строго неизменна для данной длины волны. Мы помним также, что исследования фотоэффекта показали, что скорость выбитого из фотокатода электрона зависит только от длины волны падающего света, но не зависит от его интенсивности. Этот факт полностью противоречил волновой теории и, в частности, математическому определению энергии света, вытекающему из этой теории.

Эйнштейн, объясняя явление фотоэффекта, отказался от волновой теории — он понимал, что никакие искусственные построения не смогут спасти ее. Он пошел по другому пути, который, возможно, подказала удивительная общность между фактами излучения энергии черным телом и фактами, обнаруженными при исследовании фотоэффекта.

Вот эти уже известные нам факты:

1. Энергия (или скорость) электрона, выбитого светом из фотокатода, при освещении монохроматическим светом неизменной длины волны всегда одна и та же. Чем короче длина волны падающего света, тем больше энергия (или скорость) электрона.

2. Энергия излученного фотона при неизменной длине волны всегда одна и та же. Энергия фотона тем выше, чем короче длина волны излучаемого света.

Вот выводы, к которым пришел Эйнштейн, проанализировав эти факты:

1. Энергия фотона, проникшего в вещество фотокатода, целиком и полностью отдается только одному из электронов, находящемуся в веществе фотокатода.

2. Повышение энергии электрона, выражающееся в повышении его скорости, приводит при достаточной величине энергии фотона к вылету электрона из фотокатода. Чем выше энергия фотона, тем больше энергия (скорость) вылетевшего электрона. Последнее на языке волновой теории выражается так: чем короче волна падающего света, тем выше энергия (скорость) выбитого из фотокатода электрона.

3. Чем выше интенсивность света, тем, следовательно, больше фотонов в единицу времени падает на фотокатод, тем больше выбивается из него электронов, то есть тем больше ток.

Именно эти выводы и положены в основу объяснения явления фотоэффекта. Они позволяют создать не только качественную, но и количественную теорию этого явления.

Однако это далеко не все. Определение светового кванта — фотона, данное Планком чисто математически, ничего не говорило о физической сущности фотона; оно описывало только его энергию. Но о том, как ведет себя фотон в пространстве, каким, хотя бы очень приближенно, следует представлять его, никто до Эйнштейна не говорил. Пояснить понятие фотона Эйнштейну помогла созданная им теория относительности.

Один из важных выводов этой теории говорит, что фотон обладает массой. Правда, в отличие от обычных тел, фотон не имеет массы покоя. Его вообще нельзя мыслить неподвижным — он может перемещаться в

пространстве только со скоростью света, ибо он и есть свет, вернее, частица его. Но не та ньютоновская корпускула, которая представлялась как некое мельчайшее зернышко, как некое абсолютно упругое тельце и которую вполне можно представить себе неподвижной в пространстве и неизменной во времени. Нет, фотон совсем не таков: он весь в движении, он не может существовать вне его.

И все же, несмотря на такие необычайные свойства фотона, многие признаки дали ученым право отнести его к разряду частиц и, следовательно, вновь пересмотреть свои воззрения на природу света.

В наши дни свет уже не считается волновым явлением в классическом смысле этого слова.

Как же быть в таком случае с волновыми представлениями? Неужели волновая теория неверна и от нее следует отказаться? К счастью, нет. Не только не следует, но и невозможно перечеркнуть волновую теорию. Ибо она по-прежнему верно отражает и объясняет огромное количество фактов, широкое многообразие проявлений света. Но не все. Теперь мы знаем, что волновая теория хоть и верна, но не всеобъемлюща. Иными словами, она не является универсальной теорией, так как не в состоянии объяснить, например, такое явление, как фотоэффект. Точно так же не была универсальной и теория света, в создании которой участвовал Эйнштейн. Новая корпускулярная, или квантовая, теория, дав объяснение фотоэффекта и других явлений и даже предсказав новые важные факты, столкнулась с непреодолимыми трудностями при попытке объяснить с помощью новых понятий явления интерференции и дифракции.

Вот какое положение сложилось в оптике после возникновения новой теории света.

В одних случаях ученым по-прежнему приходилось пользоваться волновой теорией, в других — новыми представлениями, новой теорией. Правда, между двумя этими теориями не было «непроходимой пропасти»; целый ряд фактов, таких, например, как давление света, не противоречил обеим теориям. И это давало надежду создать такую теорию, которая с равным успехом была бы применима как для объяснения явлений интерференции и дифракции, так и явлений излучения черного тела и фотоэффекта.

И действительно, в годы последовавшего бурного развития было сделано многое, для того чтобы осмыслить и устранить подобную двойственность теорий, двойственность понимания природы света.

В эти годы учеными был открыт поразительный факт, показывавший, что электрон, подобно свету, может в отдельных случаях толковаться как частица, а в других случаях — как волна. Иными словами, они открыли, что в некоторых условиях электрон ведет себя как волна.

Длина волны, связанной с электроном, зависит от его скорости. Чем скорость выше, тем короче волна. Так, при ускорении электрона в электростатическом поле конденсатора, к обкладкам которого приложено напряжение 25 тысяч вольт, длина волны, связанной с электроном, будет равна 0,0075 миллимикрона, или 7,5 ангстрема. **Движущийся электрон,**

встречаясь на своем пути с малым (сравнимым с длиной волны) препятствием, так же, как и свет, испытывает дифракцию. А это ли не самое очевидное доказательство его волновых свойств?!

Проявление электроном столь, казалось бы, противоположных свойств подтверждает гениальное высказывание Владимира Ильича Ленина, который в книге «Материализм и эмпириокритицизм» писал:

«Сущность» вещей или «субстанция» тоже относительны; они выражают только углубление человеческого познания объектов, и если вчера это углубление не шло дальше атома, сегодня — дальше электрона и эфира, то диалектический материализм настаивает на временном, относительном, приблизительном характере всех этих **вех** познания природы прогрессирующей наукой человека. Электрон так же **неисчерпаем**, как и атом...»

Иногда понимают это утверждение Ленина как прямое указание на дальнейшую «механистическую» делимость электрона. Отрицать в настоящее время возможность такого разделения когда-либо в будущем, видимо, нельзя. Но Владимир Ильич говорил не об этом — он утверждал лишь неисчерпаемость электрона как объект человеческого познания. И правота его слов теперь блестяще подтверждена уже известными ступенями познания электрона: лучи — частица — волна. И, чем глубже мы будем проникать в тайны природы, тем больше различных свойств того же электрона будет нам открываться.

Это в полной мере относится и к познанию света. Современным уровнем знаний никоим образом не исчерпывается история развития физических представлений о свете. Они будут обогащаться и углубляться, пока будет развиваться сама физика, ибо свет — один из самых важных объектов этой науки.

\* \* \*

Итак, рассказ о природе света закончен, вернее, прерван на том месте, где следовало бы перейти к самым современным, значительно более полным и точным воззрениям на природу света. Можно было бы продолжить рассказ дальше, но тем не менее здесь это не будет сделано.

И вот по каким причинам.

Прежде всего потому, что современная теория света оперирует такими понятиями, которые коренным образом отличаются от понятий и явлений, воспринимаемых непосредственно нашими чувствами. Говоря о современных понятиях теории света, советский физик, академик Сергей Иванович Вавилов (1891—1951) указывал, что они не могут быть представлены в воображении или описаны словами, — описать их можно только языком математики.

«Наши механистические понятия, — писал он, — не в состоянии полностью охватить реальность, для этого не хватает наглядных образов».

Кроме того, нынешний этап развития теории света далеко еще не завершен, и это обстоятельство еще более усугубляет трудности популярного ее изложения.

Мы можем сказать только то, что физикам удалось если не полностью, то в значительной степени продвинуться в деле создания единой теории света, которая в равной мере правильно объясняет все известные на сегодня явления в области оптики. Эта теория одновременно позволила ученым значительно глубже понять природу света.

Стоит еще раз подчеркнуть, что современный этап развития науки о свете еще далеко не завершен. Поэтому, по мере того как будут накапливаться новые факты, открываемые благодаря совершенствованию техники экспериментов, по мере развития теоретических методов представления о свете будут становиться все более глубокими и точными.

Не следует забывать, что современный этап развития оптики не есть последний. Известно, что создать абсолютную теорию невозможно. И все то, о чем пришлось узнать читателю, подтверждало эти слова. Но эта порой очень острая борьба теорий ни в коем случае не говорит, что рано или поздно каждая теория должна отмереть полностью, а ее должна сменить новая и тоже смертная теория. Было бы неверным так понимать историю развития науки.

В самом деле. Вы можете проследить, что умершая корпускулярная теория не исчезла бесследно. Она возродилась, но уже на основе огромного количества новых знаний. Эта теория не упразднила волновую, она лишь дополнила ее. Самая же новая теория света использовала и ту и другую теорию. Во многом отличаясь от своих предшественниц, она все же объединила их, а не отбросила как негодные. И в то же время новая теория указала границы применимости старых. И в этих границах можно пользоваться ими даже с большей уверенностью, чем до того, как эти границы стали известны.

Подобное случилось и с классической механикой, законы которой вы изучаете в школе. Вначале она была единственной, и поэтому никто не знал, до каких же пределов она справедлива. Затем была создана механика, построенная на постулатах теории относительности. Это вовсе не означало, что классическая механика неверна. Нет, она правильна, но не всеобъемлюща. Не исключено, что то же самое произойдет и с теорией относительности. Со временем ее так же может заменить какая-то новая, неизвестная сейчас теория. Однако теория относительности подтверждена столькими фактами, что ее ни в коем случае не удастся отбросить как совершенно неверную.

В настоящее время в физике уже раздается критика в адрес этой теории. А некоторые ученые, даже такой известный, как Поль Дирак, вновь поднимают вопрос о существовании некоей мировой среды, которая в некотором смысле напоминает эфир. Трудно сказать, сколько правоты в нынешних критиках, и неясно, насколько обоснована точка зрения Дирака. Истина, как известно, рождается в спорах. И наука только выигрывает от споров, сосредоточенных на узловых ее вопросах, но она проигрывает, когда в ход пускается необоснованная критика. Это стоит запомнить читателям, среди которых, быть может, находится и тот, кому придется сказать новое слово в физике.

Вторая причина, которая позволяет не останавливаться подробно на современном этапе развития оптики, значительно проще.

Если этот незавершенный рассказ понятен читателю, то в подобном отсутствии завершенности нет особой беды. Ведь в этой книге история развития воззрений на природу света прервана не на первой попавшейся строке. Рассказ был окончен как раз на том состоянии вопроса, которое полностью соответствует пониманию природы света, господствующему и поныне во всех тех отраслях науки и техники, где свет широко используется, но не исследуется.

Иными словами, и по настоящий день вполне закономерно рассматривать свет либо как волновое явление, либо как квантовое, в зависимости от области его использования. Так, при разработке оптических систем для микроскопов, телескопов, фотоаппаратов и тому подобного пользуются исключительно волновой теорией света, а при разработке приборов, основанных на явлении фотоэффекта, опираются на квантовые представления о свете.

Именно так и следует рассматривать свет читателю. Подобная точка зрения не устареет в практике в течение многих лет. Насколько она верна, показывают замечательные успехи в деле практического применения и использования света. О них вы и узнаете из последующих глав.



*Изучение природы должно включать в себя также изучение чувств человека. Чтобы добиться точности в наших наблюдениях света и цвета, мы должны прежде всего ознакомиться с инструментом, которым нам постоянно приходится пользоваться, а именно — глазом.*

*М. Миннарт*

## **ВМЕСТО ВСТУПЛЕНИЯ**

Если вдуматься, каждый орган чувств высших животных, и особенно человека, представляет собой подлинное чудо. Способность слышать и анализировать звуки, ощущать и различать самые разнообразнейшие запахи и определять их значение — столь сложные и тонкие процессы, что, несмотря на огромный прогресс, наука и техника пока не в состоянии воссоздать их, воплотить в каких-либо искусственных приборах и аппаратах. Но ни слух, ни обоняние не могут сравниться со зрением. Оно — самое совершенное, самое богатое по своим возможностям средство познания мира. Недаром же пословица говорит, что «лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать».

Возможности зрения зависят не только от свойств самого глаза — они во многом определяются мозгом, с которым глаз связан.

К сожалению, науке еще очень мало известно о зрительных процессах, происходящих в мозгу. В этой области человечество ожидают такие важные открытия, последствия которых невозможно сейчас предвидеть.

Уже с очень давних пор люди стремились усовершенствовать свое зрение, приспособить его для работы в новых и непрерывно усложняющихся условиях. За те века, как родилась и развивалась оптика, было создано очень много простых и сложных приборов, позволивших видеть и наблюдать в тех случаях, когда невооруженный глаз оказывается совершенно бессильным.

В наши дни человеческому взору открыты космос и ничтожные по величине вирусные частицы; он проникает через толщу металлов, ему не страшны расстояния и глубины. Теперь почти весь спектр электромагнитных колебаний, от гамма-излучений до самых длинных радиоволн, в той или иной степени обслуживает потребности человеческого зрения. Для этого созданы и непрерывно совершенствуются рентгеновские аппараты, разнообразнейшие микроскопы, бинокли и телескопы, преобразователи и усилители света, радиолокаторы, радиотелескопы и множество других интереснейших приборов.

Но все эти новые возможности зрения могли и могут быть открыты лишь на основе знаний о природе и законах света и о свойствах первоисточника зрения — нашего глаза. И чем глубже постигаем мы их, тем больше ранее недоступных для наблюдения областей раскрывается перед нами.

## **НАШИ ГЛАЗА**

Часто говорят, что природа самый лучший изобретатель. Это правда. Но стоит добавить, что она любит повторять самое себя и не стремится решать сходные задачи каждый раз по-новому. Зато решение всегда оказывается наилучшим, потому что оно неизменно подчиняется закону естественного отбора.

В самом деле, как ни разнообразны виды высших животных, населяющих сушу, глаза их имеют очень большое сходство между собой. В быту мы чаще всего различаем глаза людей по цвету: зеленые, серые, карие, голубые, черные. Но это лишь внешнее несходство: голубоглазый не видит мира в голубом свете, а черноглазый — в черном. Глаза всех людей независимо от расы, пола устроены совершенно одинаково и видят тоже одинаково. Более того, они имеют очень много общего с глазами других млекопитающих и даже птиц, ибо органы зрения построены из очень сходных между собой основных элементов.

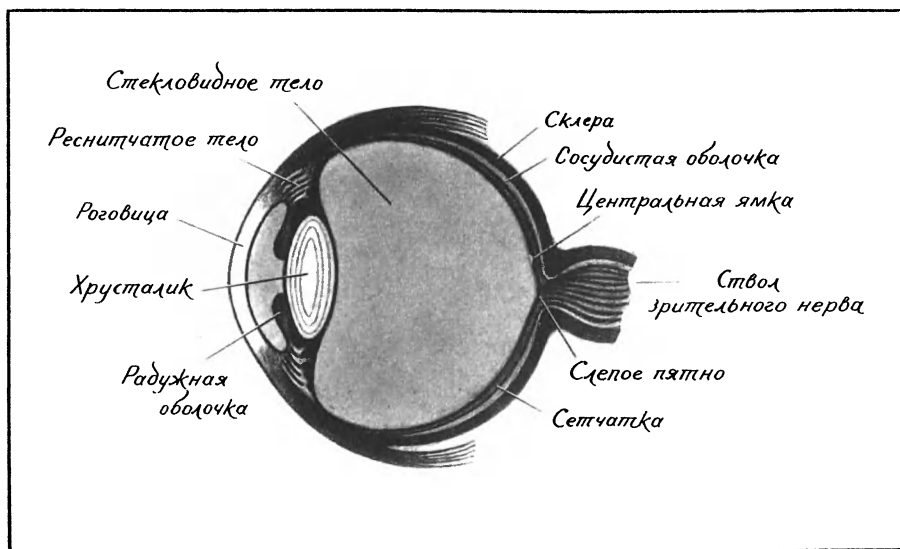
Глаз человека, надежно укрытый в глазной впадине черепа, представляет собой близкое к шарообразному тело с диаметром примерно

24 миллиметра. Его твердая наружная оболочка — склера. Видимую часть ее, похожую на нежнейший глазурованный фарфор, расписанный тончайшими узорами кровеносных сосудов, мы называем глазным белком. В передней части глаза склера изменяется по форме, приобретая большую выпуклость, большую кривизну. Одновременно меняется и другое ее свойство: из белой, не проницаемой для света, она превращается в прозрачную роговицу; именно через нее лучи света проникают в глаз.

Внутреннюю поверхность склеры (за исключением роговицы) выстилает второй слой глазной оболочки — разветвленная сеть мельчайших кровеносных сосудов. В области роговицы этот слой переходит в радужную оболочку, в центре которой находится черное круглое отверстие — зрачок.

Разгляньте в зеркале радужную оболочку своих глаз, посмотрите в глаза своих друзей, и вы увидите, какими они бывают красивыми. Вы увидите в радужной оболочке нежнейшие переливы разнообразных оттенков. Недаром же эта часть глаза носит такое поэтическое название — «радужка».

Однако (хотя, быть может, природа не упускала из виду и такой цели) назначение радужной оболочки состоит вовсе не в украшении глаз человеческих. Она играет очень важную роль, помогая глазу приспосабливаться к различным условиям освещения. Каждый знает (и это легко наблюдать, имея зеркало), что в темноте зрачок становится очень большим и любые глаза кажутся совсем черными, потому что радужная оболочка стягивается в узенькое, незаметное издали колечко. На ярком све-



Разрез глаза человека.



ту, наоборот, зрачок сильно уменьшается. Ученые измерили эти изменения зрачка: в темноте его диаметр достигает 8 миллиметров, а в яркий солнечный день уменьшается до 2 миллиметров.

Те, кто занимается фотографией, знают, что в объективах существует устройство, очень напоминающее радужную оболочку. Это диафрагма. Действительно, их назначение совершенно тождественно: и та и другая нужны для того, чтобы регулировать количество света, попадающего в глаз или на светочувствительный слой фотопленки. Но между ними есть и большая разница. В подавляющем большинстве фото- и киноаппаратов диафрагму регулируют вручную, руководствуясь либо оценкой «на глазок», либо показаниями специальных приборов — фотоэкспонетров. Размеры же зрачка меняются автоматически, с помощью специальной группы мышц, прикрепленных к радужной оболочке.

Регулированием отверстия зрачка управляет мозг, но происходит это подсознательно, благодаря особому рефлексу. Мы не замечаем и не чувствуем этого процесса, хотя совершается он непрерывно. Интересно отметить, что некоторое сокращение и расширение зрачка происходит даже тогда, когда человек долгое время остается в комнате, где есть только искусственный свет. В те часы, когда «на воле» день, зрачок обследуемого сокращается, а в ночные часы — расширяется, хотя условия освещения на протяжении всего опыта остаются неизменными.

За радужной оболочкой помещается хрусталик — упругое прозрачное двояковыпуклое тело, представляющее собой собирающую линзу. Он находится в особой прозрачной капсуле, которую со всех сторон охватывает кольцеобразная мышца, называемая реснитчатым телом. Если она ослаблена, поверхности хрусталика имеют наименьшую кривизну. Сокращение реснитчатого тела заставляет хрусталик изменять свою форму; при этом выпуклость поверхностей хрусталика увеличивается.

Пространство между роговицей и передней поверхностью хрусталика заполнено прозрачной жидкостью, так называемой камерной влагой. Предполагают, что она образуется в результате особо тонкой фильтрации крови.

Строение хрусталика довольно сложно. Он состоит из нескольких вложенных одна в другую чечевиц. Оптические свойства каждой из них неодинаковы: внутренние преломляют свет сильнее, чем внешние. Роговица и хрусталик совместно представляют собой оптическую систему глаза; они выполняют ту же роль, что и объектив фотоаппарата. Изображение в глазу, даваемое хрусталиком совместно с роговицей, перевернуто вверх ногами так же, как и в фотоаппарате. Этот «недостаток» глаза исправляет мозг. Отделы мозга, ведающие зрением, еще в раннем детстве перестраиваются таким образом, что видимый мир занимает правильное положение.

Чтобы получить хорошую фотографию, нужно обязательно навести на резкость, то есть добиться четкого, нерасплывчатого изображения на фотоэмульсии. Этого мы достигаем, перемещая объектив вдоль продольной оси. Если объект съемки находится очень далеко (практически даль-

ше 50—250 метров), расстояние между объективом и эмульсией должно быть наименьшим. Если же ведется съемка очень близкого предмета, объектив следует дополнительно отодвинуть от пленки.

Так, если объектив имеет фокусное расстояние, равное 5 сантиметрам, то, для того чтобы получить четкий снимок предмета, отстоящего от камеры на 25 сантиметров, необходимо выдвигать объектив вперед. Если вначале он был установлен в положение, соответствующее наводке на бесконечность, его придется выдвинуть на 1,25 сантиметра, то есть ровно на  $\frac{1}{4}$  фокусного расстояния.

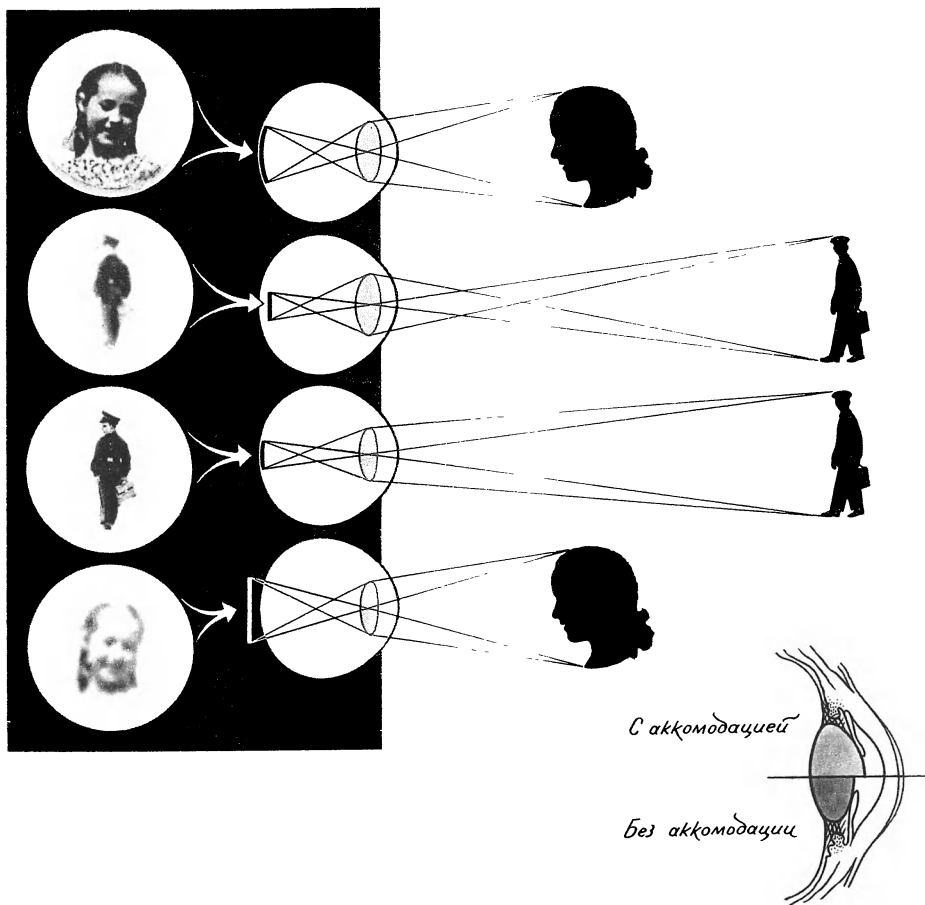
Продевая нитку в игольное ушко, мы держим руки на расстоянии примерно 10—15 сантиметров от глаз. И тогда маленькое отверстие и конец нитки видны ясно и четко. Зато, когда мы любуемся луной или заходящим солнцем, объекты наблюдения находятся от нас на громадных расстояниях. Но воспринимаются они так же четко и ясно, как и игольное ушко. Это происходит потому, что глаз тоже осуществляет наводку на резкость. Только происходит это автоматически. Способность глаза наводиться на резкость различна у разных животных. Наиболее развита она у человека и человекообразных обезьян.

К слову сказать, техника до последних лет не знала, как осуществить автоматическую наводку на резкость в различных фото- и киноустройствах. Сейчас делаются самые первые шаги в этом направлении, и оказывается, что автоматическая наводка на резкость совсем не простая задача.

Способность глаза давать резкое изображение объектов, находящихся на разных расстояниях, называется аккомодацией. Аккомодация, или наводка на резкость, осуществляется с помощью хрусталика. Только происходит она не путем перемещения хрусталика в глаз вдоль оптической оси, а путем изменения кривизны его поверхностей или, иными словами, путем изменения фокусного расстояния оптической системы глаза. Когда мы смотрим вдаль, хрусталик делается наименее выпуклым, а фокусное расстояние наибольшим; когда разглядываем ближние предметы, хрусталик становится более выпуклым.

К сожалению, с возрастом аккомодация глаза ухудшается, так как хрусталик теряет свои упругие свойства. Уже к сорока годам аккомодация значительно падает, а к семидесяти пяти годам глаз почти полностью теряет способность одинаково резко видеть (без помощи очков) как близкие, так и далекие предметы.

Хрусталик послужил когда-то образцом для первых стеклянных линз. С тех пор прошло много веков, и искусство варки и обработки стекла достигло высокой степени совершенства. Оптические предприятия многих развитых стран изготавливают из оптического стекла линзы и зеркала самой различной формы и размеров. Один можно разглядеть только в лупу, другие — огромных размеров. Например, для Крымской обсерватории было сделано стеклянное зеркало для телескопа-рефлектора весом 4 тонны и рабочим диаметром 2,6 метра. Его обработка велась при строго постоянной температуре и длилась 15 месяцев.



Изменение выпуклости хрусталика позволяет людям четко видеть предметы и людей, находящихся на различных расстояниях. При правильной аккомодации изображение фокусируется точно на сетчатке и воспринимается нами четко. У близорукого человека изображение фокусируется не на сетчатке, а ближе к хрусталику; у дальнозоркого, наоборот, четко сфокусированное изображение должно находиться за сетчаткой, вне пределов глаза. Чтобы видеть четко, близорукому или дальнозоркому человеку необходимо носить очки.

В самые последние годы ученые и инженеры сумели создать новые типы объективов, обладающих очень ценными свойствами. Это так называемые варифокальные объективы, фокусное расстояние которых может плавно изменяться в широких пределах по желанию оператора. Иногда такие объективы называют резиновыми. Они представляют собой весьма сложные оптико-механические системы, состоящие из нескольких стек-

лянных линз, каждая из которых сама по себе имеет неизменное фокусное расстояние.

Но одиночную линзу с переменным фокусным расстоянием пока еще изобрести никому не удалось. Создать линзу по типу хрусталика, используя неупругое стекло, невозможно. Для этого следует искать новые оптические материалы. Теперь, когда промышленность пластиков бурно развивается, можно надеяться, что будет найден и такой пластик, который окажется пригодным для создания искусственного хрусталика. А он очень нужен в медицине для лечения грозной болезни: катаракты — помутнения хрусталика. Но в нем нуждаются не только больные. Можно смело сказать, что изобретение линз с переменным фокусным расстоянием привело бы к революции в ряде областей оптической промышленности.

Сосудистая оболочка глаза, о которой уже говорилось, не является последней. За ней следует слой особых клеток, содержащих в себе фусцин — черный пигмент. Их назначение станет ясным несколько позже.

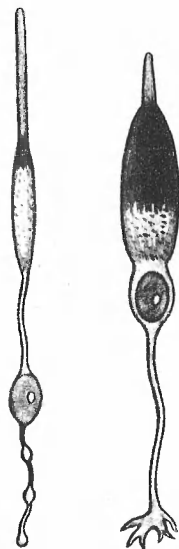
И, наконец, последняя, самая важная и наиболее интересная для нас оболочка — сетчатка, или ретина. Именно она делает наш глаз зрячим. Сетчатка имеет очень сложное строение, и сама состоит из многих слоев. Здесь не стоит говорить о каждом из них, тем более, что назначение некоторых слоев до сих пор неясно науке. Зато следует подробно рассказать о тех клетках, которые воспринимают свет и преобразуют в сигналы, идущие в мозг. Эти клетки изучены относительно подробно.

Оказывается, в сетчатке глаза есть два типа светочувствительных клеток. Это — палочки и колбочки, получившие такие названия благодаря своей форме. Глядя на их изображение, вы сможете убедиться, что сходство со своими прообразами у них крайне отдаленное. Это лишний пример того, как тщательно следует выбирать научные термины и как осторожно приходится толковать даже самые простые слова, если они одновременно употребляются языком науки.

Внутреннее пространство глаза между хрусталиком и сетчаткой заполнено особым прозрачным веществом, называемым стекловидным телом.

Размеры светочувствительных клеток очень малы. Диаметр палочки примерно равен 0,002 миллиметра (2 микронам), ее длина около 0,06 миллиметра (60 микронов). Диаметр колбочки несколько больше, в среднем 0,005 миллиметра (5 микронов), а длина — 0,07 миллиметра (70 микронов).

В процессе эволюционного развития глаза, который впервые зародился у живых существ, населявших океан, первыми светочувствительными клетками были палочки. Они давали возможность морским животным видеть в глубинах вод, где есть лишь рассеянный солнечный свет, про-



Палочка (слева) и колбочка.

никающий сквозь толщу воды. Колбочки появились гораздо позже, лишь после того, как живые существа стали приспосабливаться к жизни на суше.

В палочках содержится особое вещество розового цвета — зрительный пурпур, или родопсин. Под воздействием света зрительный пурпур разлагается, выцветает. Этот процесс идет тем быстрее, чем больше света попадает в палочку. Когда же свет прекращает действие, родопсин снова восстанавливает свои первоначальные свойства. Разложение родопсина представляет собой сложную фотохимическую реакцию, суть которой пока не очень ясна ученым. Для нас это несущественно. Важно лишь то, что эта реакция сопровождается возникновением электрохимических потенциалов в палочке или колбочке, которые по зрительному нерву передаются в мозг. Именно эти электрические сигналы переносят в мозг информацию о свете, цвете и форме предметов. В мозгу они расшифровываются особыми органами и воспринимаются как изображение окружающего.

Совсем недавно (всего лишь в 1940 году) в колбочках было открыто светочувствительное вещество фиолетового цвета, названное иодопсином. Его назначение то же, что и у зрительного пурпура. Однако роль колбочек отличается от роли палочек.

Палочки гораздо чувствительнее колбочек. Палочки позволяют нам видеть в сумерках, при слабом освещении, но зато не дают возможности ощущать и различать цвета. Пословица недаром говорит, что «ночью все кошки серы». Это не шутка. В темноте мы действительно не различаем цветов, а можем лишь определить разницу в освещенностях: дорога светлее растущих по ее обочинам кустов, дальний лес темнее неба, однако ни зелени листьев, ни синевы небес, ни цвета дорожной пыли мы не различаем. Но стоит лишь наступить дню, как все вокруг меняется, весь мир становится ярким и красочным; вместо смутных расплывчатых контуров мы видим окружающее во всем его великолепном разнообразии. Этим мы обязаны колбочкам, именно они обеспечивают цветное зрение.

Палочек в глазу человека очень много — около 130 миллионов, приблизительно в полтора раза меньше, чем населения в СССР; колбочек значительно меньше — 7 миллионов, примерно столько же, сколько жителей в Москве. Палочки располагаются по всей поверхности сетчатки, а колбочки группируются в ее центральной части, особенно в «столице» сетчатки, в так называемом желтом пятне.

Конечно, это сравнение не стоит понимать буквально. Колбочки имеются и в других частях сетчатки, а палочки содержатся и в желтом пятне. Но если в желтом пятне преобладают колбочки, то вне его господствуют палочки. Тем не менее желтое пятно не зря сравнивалось со столицей. Оно действительно чрезвычайно важный участок сетчатки. Потому что только те объекты, которые проектируются на желтое пятно, видны в деталях; особенно же четко мы видим те предметы, изображение которых попадает на центральный участок желтого пятна, где расположена центральная ямка. На поверхности центральной ямки имеют-

ся только колбочки (от 30 тысяч до 50 тысяч). Что же касается участков изображения, попадающих на остальную часть сетчатки — вне желтого пятна и, особенно, центральной ямки, — то они видны значительно менее четко.

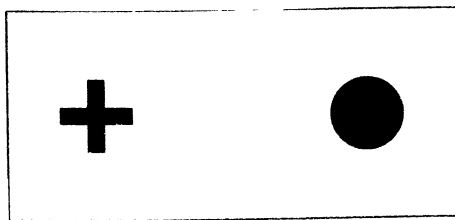
Палочки и колбочки соединяются с волокнами зрительных нервов. По ним в мозг передаются сигналы, вырабатываемые палочками и колбочками. Светочувствительных клеток в глазу 137 миллионов, волокон же в зрительном нерве всего миллион. Поэтому можно предположить, что каждое из нервных окончаний «подключено» не к одной, а к нескольким клеткам. Это — правильное предположение. В периферических частях сетчатки одно нервное волокно соединяется со многими (от 100 до 400) палочками и с несколькими находящимися в этом же месте колбочками. Зато в центральной ямке каждая колбочка соединена с отдельным нервным волокном.

Все нервные волокна сходятся в глазу к одному месту и здесь образуют миллионожильный «кабель» — ствол зрительного нерва, который «подключается» к мозгу. То место сетчатки, где нервные волокна собираются в единый пучок и откуда выходит ствол зрительного нерва, не содержит светочувствительных клеток. Здесь находится слепое пятно сетчатки. Человек не воспринимает изображений, попадающих на него. Слепое пятно довольно велико, практически не меньше желтого пятна. На его поверхности могло бы разместиться изображение 11 полных лун или пятиэтажного дома, находящегося на расстоянии в несколько сотен метров.

Интересно отметить, что мы почти никогда не ощущаем наличия в глазу такой большой слепой зоны. Только иногда, глядя в небо, мы вдруг замечаем быстро перемещающуюся черную точку. Это не самолет, не птица и вообще не какой-либо отдаленный предмет, потому что, как бы мы ни старались взглянуть в эту точку, она тотчас ускользает, что не свойственно ни одному из внешних объектов.

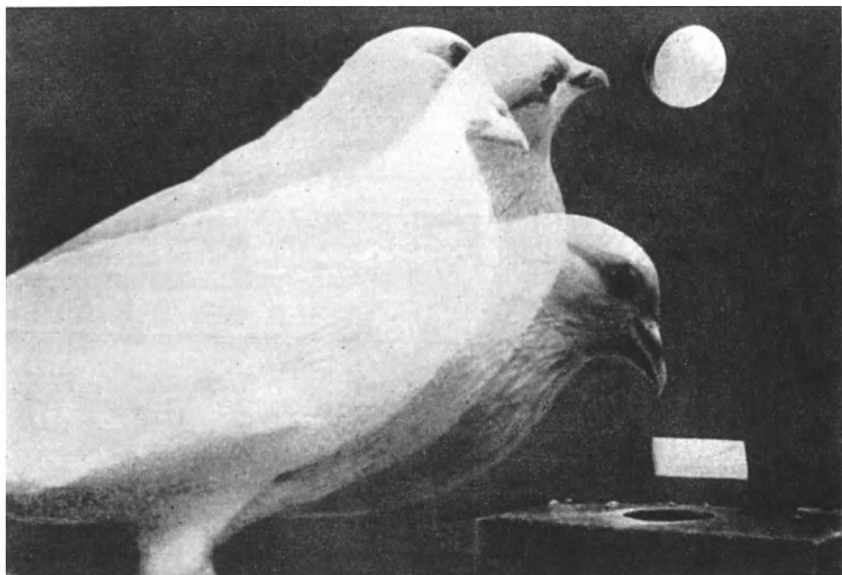
В наличии слепого пятна читатели могут убедиться, посмотрев на рисунок крестика и черного кружка. Надо закрыть левый глаз, а правым, не отрывая взгляда, смотреть на крестик. Затем книгу с рисунком плавно отодвигают на расстояние 20—30 сантиметров. В какой-то момент вы перестанете видеть кружок, потому что изображение его в это время попадет в область слепого пятна. Для того чтобы добиться результата, необходимы воля и некоторая тренировка.

Почему трудно провести этот опыт и почему мы не замечаем мешающего действия слепого пятна, узнаем несколько позже.



Зажмурьте левый глаз и, глядя на крестик, придвигайте и отодвигайте книгу до тех пор, пока изображение кружка не исчезнет. Это будет означать, что изображение кружка попало на слепое пятно.

Нередко приходится слышать утверждение, что многие животные (например, собаки, коровы) не различают цветов, что мир-де представляется им бесцветным, как нам в обычном кино. Это неправильно. Колбочки не являются привилегией только человека. Все животные, в глазах которых содержатся колбочки, различают цвета.



Этот голубь был приучен реагировать на свет только строго определенного цвета. Когда в круглом окошечке (вверху) вспыхивал световой сигнал заданного цвета, в кормушке появлялся корм. При сигналах другого цвета кормушка оставалась пустой. Голубь научился разбираться в оттенках, и оказалось, что он разбирается в них даже лучше, чем человек.

Более того, у животных, ведущих дневной образ жизни, в сетчатке содержатся почти одни колбочки. Таковы многие птицы, в том числе куры и голуби. В сетчатке птиц желтых пятен не одно, а больше: два или даже три. Недавно ученые провели опыты и выяснили, что голубь различает цвета даже лучше, чем человек.

Как известно, куры устраиваются на ночлег очень рано. Если же их разбудить ночью, их поведение крайне суматошно и глупо. Часто во время ночных пожаров они даже кидаются в огонь. Теперь мы можем легко объяснить и их ранний сон, и даже противоестественную тягу к ночному огню. Это происходит потому, что глаза их содержат почти одни колбочки и поэтому слепнут с наступлением сумерек. Если же ночью испуганную курицу снять с насеста, она будет совершенно слепа, и

единственно, что она будет видеть, это огонь и наиболее ярко освещенные места. Вполне понятно, что она будет стремиться туда, где отступит ее слепота и где она не будет чувствовать себя столь незащищенной, где самый главный орган чувства, спасавший ее ранее от всех опасностей, окажется работоспособным.

Зато глаза сов, летучих мышей, которым нужно хорошо видеть в темноте, почти не содержат колбочек — все они действительно плохо различают цвета.

Правда, летучая мышь вообще мало полагается на свои глаза, и поэтому уши ей часто заменяют глаза. Во время полета летучая мышь издает очень громкий, отрывистый писк. Мы его не услышим, потому что это чрезвычайно тонкий, ультразвуковой писк, но сама мышь слышит его эхо, отражающееся от всякого рода препятствий (даже протянутой проволоки), и отлично ориентируется при полете.

## СВОЙСТВА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ГЛАЗА

*Чудо чудное, диво дивное.*

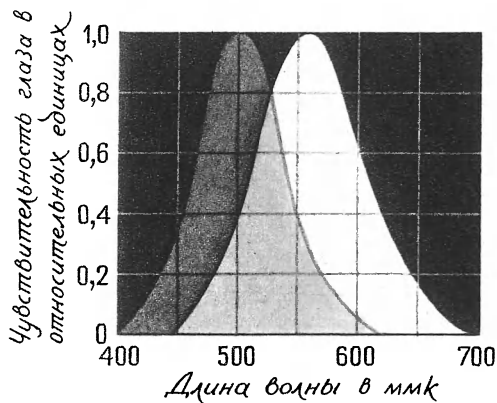
Свойства глаза столь поразительны, что их следовало бы воспевать поэтам. Трудно сказать, как это можно сделать, потому что хорошо понять свойства глаза можно, лишь познакомившись с числами, их характеризующими. Но это один из тех немногих случаев, когда цифры поистине поэтичны.

Человеческий глаз реагирует на световые излучения, лежащие в диапазоне волн от 380 до 770 миллимикрон. Как видно из этих цифр, самая короткая длина волны всего лишь в два раза меньше самой длинной. По аналогии со звуком, можно сказать, что диапазон воспринимаемых световых волн занимает всего лишь одну октаву (диапазон воспринимаемых звуков составляет примерно десять октав).

На краях диапазона чувствительность глаза равна нулю и плавно возрастает примерно к его центру. В дневные часы максимум чувствительности приходится на волну в 555 миллимикрон. И поэтому днем мы лучше всего видим лучи желто-зеленого цвета. Примерно на этой длине волны оказывается и максимум излучения солнца. Лучи с такой же длиной волны наиболее сильно отражаются зелеными листьями растений и травой, придавая им желто-зеленый цвет. Можно предположить, что такое совпадение не случайно и что наибольшую чувствительность на волне в 555 миллимикрон глаз приобрел в процессе эволюционного развития.

В вечерние часы, когда наступают сумерки, колбочки отключаются и зрительные процессы в глазу происходят несколько иначе. Максимум чувствительности глаза при этом сдвигается в область голубых лучей, на волну 507 миллимикрон. Именно поэтому в сумерки все окружающее кажется нам синеватым.





Кривые чувствительности человеческого глаза. Днем глаз наиболее чувствителен к лучам желто-зеленого цвета. В сумерки, когда действуют в основном палочки, — к лучам синего цвета.

ное свечение атмосферы, отблески северных сияний, зодиакальный свет в сумме создают освещенность, не меньшую 0,0003 люкса. Такую же освещенность создает свеча на расстоянии примерно 60 метров. И все-таки в таких условиях, когда можно, не укрываясь, перезарядить кассеты пленкой, наш глаз еще оказывается работоспособным. Мы еще в состоянии различать крупные предметы и передвигаться, не натываясь на них.

Зато в солнечный день, когда солнце близко к зениту, даже в наших широтах освещенность достигает многих десятков тысяч люксов; так, цифра в 50 тысяч люксов является далеко не пределом. А ведь такую освещенность могла бы создать лампа с силой света 50 тысяч свечей, да и то только на расстоянии 1 метра. Но и при таком ярком свете глаз человека продолжает хорошо работать: окружающее воспринимается им предельно четко и ясно.

Для того чтобы лучше представить себе диапазон освещенностей, с которыми приходится иметь дело, читателю стоит просмотреть приводимую здесь таблицу.

Солнце	100 тысяч люксов	
Полнолуние, ясное небо	0,2 люкса	Освещенность от свечи при расстоянии 2,2 метра
Венера в максимальной фазе	$1,1 \cdot 10^{-4}$ люкса	То же, при расстоянии 100 метров
Сириус	$9 \cdot 10^{-6}$ люкса	То же, при расстоянии 300 — 330 метров

Теперь следует рассказать о диапазоне освещенностей, в котором нормально работает глаз.

Оказывается, он чрезвычайно велик. Мы можем ощущать свет даже в том случае, когда на сетчатку попадает несколько десятков фотонов. Если бы ночью на земле было абсолютно темно, то в ясную, сухую погоду горящую стеариновую свечу было бы видно на расстоянии 30 километров!

Однако полной темноты на земной поверхности не бывает. Даже в безлунную ночь звезды (как видимые, так и не видимые глазом), свет, рассеиваемый атмосферой, и собствен-

Звезда первой величины <sup>1</sup>	$8 \cdot 10^{-7}$ люкса	То же, при расстоянии 1100 метров
Звезда шестой величины (граница видимости невооруженным глазом)	$8 \cdot 10^{-9}$ люкса $5 \cdot 10^{-16}$ люкса	То же, при расстоянии 11 километров
Звезда 24-й величины (граница обнаружения при фотографировании с помощью самого мощного телескопа) <sup>2</sup>		То же, при расстоянии 44 тысяч километров

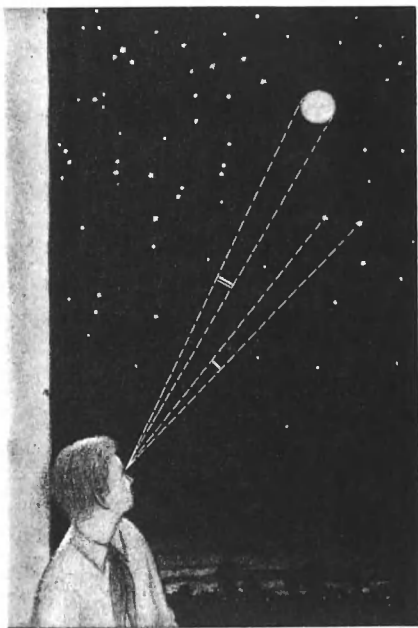
Ученые установили пределы максимальной и минимальной освещенности, в которых глаз не ослепляется. Отношение этих пределов (большого к меньшему) дает фантастически большое число:  $10^{12}$ , или миллион миллионов. Еще не создан прибор, способный без дополнительных специальных устройств работать в таком широком диапазоне. Правда, в глазу также имеются особые устройства, помогающие ему приспособляться к работе в столь различных условиях. Такое приспособление носит название адаптации глаза.

Во время адаптации в глазу имеет место несколько процессов. Один из них — изменение диаметра зрачка — нам уже известен. Другой процесс обеспечивается клетками с черным пигментом. Под воздействием яркого света этот пигмент, который часто называют фусцином, выделяется клетками и проникает в слои сетчатки. Здесь он обволакивает светочувствительные клетки и тем самым уменьшает доступ света к ним. При малой освещенности фусцин покидает сетчатку, открывая доступ свету. О третьем процессе также нетрудно догадаться. Он связан с различием чувствительности клеток — колбочек и палочек. При ярком свете работают и палочки и колбочки. В сумерки же энергии света уже не хватает, для того чтобы в колбочках возникла реакция распада родопсина, и они полностью «выключаются». Зато родопсин, содержащийся в палочках, распадается под воздействием даже очень малых количеств света, и сигналы из палочек по нервным волокнам продолжают поступать в мозг.

Адаптация глаза не происходит мгновенно. Для того чтобы глаз привык к новым условиям, требуется некоторое время. При переходе от темноты к яркому свету (например, при выходе из темной фотолаборатории в освещенную солнцем комнату) мы жмуримся от яркого света и даже ощущаем болезненное раздражение глаз. К счастью, уже через 30—40 секунд наш глаз полностью приспособляется, адаптируется, к новым условиям. Если же происходит обратный переход (от более свет-

<sup>1</sup> Понятие звездной величины сложилось исторически. Оно не связано с размерами светила и лишь характеризует его видимую, а не абсолютную яркость. Звезда первой величины дает освещенность на зрачке глаза, равную  $8,3 \cdot 10^{-7}$  люкса. Звезда второй величины дает освещенность в 2,5 раза меньшую, чем звезда первой величины. А звезда третьей величины — в 2,5 раза меньшую, чем звезда второй величины, и так далее.

<sup>2</sup> Эта граница не является неизменной. Она меняется с ростом достижений техники.



Угловым размером тела мы называем угол, под которым видит это тело наблюдатель. Угловым расстоянием — угол между двумя интересующими нас объектами.

ная звезда, называемая альфой Козерога ( $\alpha$ Козерога). Здесь можно различить две звездочки с величинами 3,5 и 4,5. Угловое расстояние между ними  $6'$ . Подобным образом альфа Весов ( $\alpha$ Весов) состоит из звезд с величинами 2,8 и 5,3; они разделены углом в  $4'$ . В созвездии Лиры есть еще более близкие звезды. Их величины 5,3 и 6,3 (то есть по яркости они находятся на границе видимости), а угловое расстояние между ними равно  $3'$ . Тот, кто сумеет разделить эпсилон Лиры ( $\epsilon$  Лиры) на две звезды, обладает исключительно хорошим феноменальным зрением.

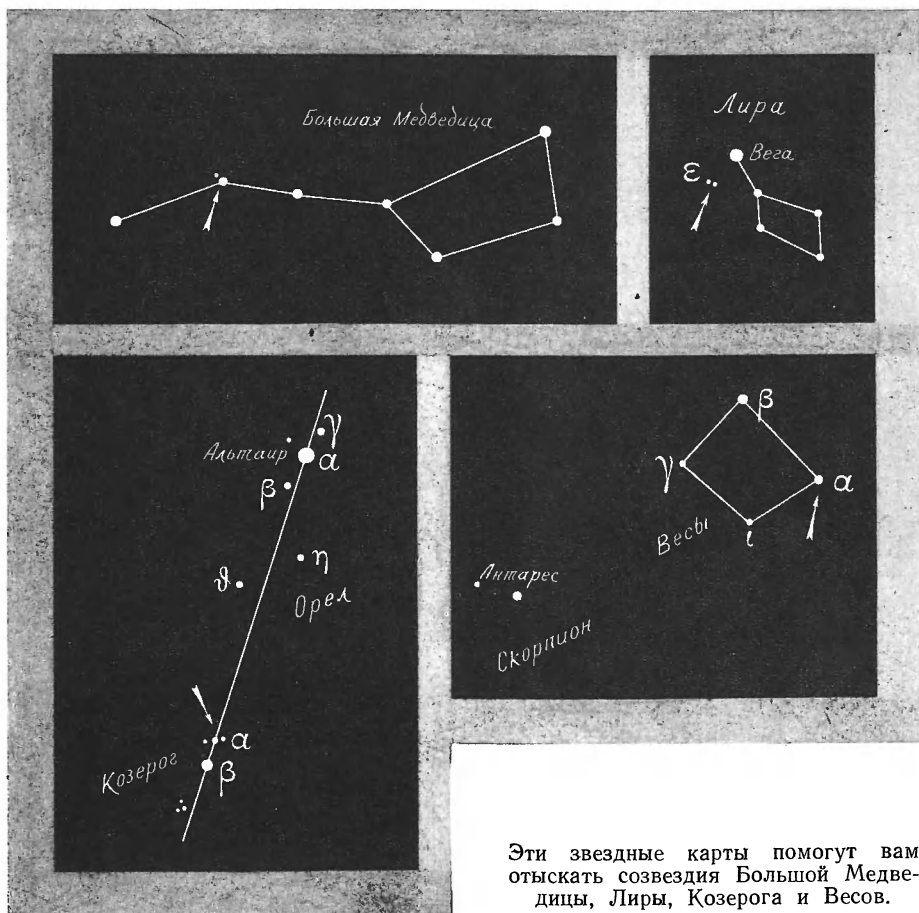
Профессор Миннарт в книге «Свет и цвет в природе» пишет: «Особенно хорошие наблюдатели — а таких очень мало — при ясном небе и спокойной атмосфере могут различать невероятное количество подробностей. Один из них утверждал, что видит альфу Весов как двойную звезду, Сатурн казался ему сплюснутым, а Венера — полумесяцем; в благоприятные моменты, когда он глядел на нее сквозь закопченное стекло или облако дыма, это выступало с особой ясностью. Он мог увидеть даже двух спутников Юпитера, впрочем, только в сумерки, когда начинают появляться звезды первой и второй величины».

лого к более темному), то процесс адаптации длится значительно большее время. Цветовое зрение адаптируется за 5—8 минут, а палочки приобретают необходимую чувствительность за гораздо большее время — оно может достигать 30—80 минут.

Другим чрезвычайно важным свойством зрения человека является его острота, то есть способность видеть раздельно два объекта, находящиеся очень близко друг к другу.

Вы можете проверить остроту своего зрения довольно простым путем. Для этого в ясный (лучше безлунный) вечер попробуйте различить в некоторых созвездиях близко расположенные друг к другу звезды.

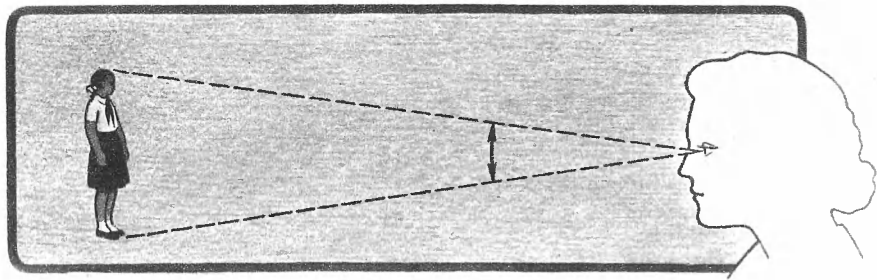
Проще всего разглядеть Мицар и Алькор в созвездии Большой Медведицы. Угловое расстояние между ними довольно велико — оно равно  $12'$ , и человек с нормальным зрением хорошо видит маленькую звездочку подле второй по счету звезды в ручке ковша. Те, кто хорошо знает звездную карту, могут и далее проверять свое зрение по звездам. Так, в созвездии Козерога тоже есть сдвоен-



Эти звездные карты помогут вам отыскать созвездия Большой Медведицы, Лиры, Козерога и Весов.

Большинству из нас остается только позавидовать такому великолепному, поистине орлиному зрению. Ведь оно позволяет видеть множество интереснейших вещей, обычно сокрытых от нас. Но, хотя не всем суждено видеть столь хорошо, каждый может повысить остроту своего зрения. Для этого следует тренировать глаза, развивать наблюдательность. Только делать это надо крайне осторожно и ни в коем случае не перегружать глаза.

Острота зрения исследовалась учеными и в условиях лабораторий. Оказалось, что даже для обычного наблюдателя она очень высока. Нам удастся различить два объекта, даже если они разделяются промежутками с угловым расстоянием, равным примерно  $1'$ . Но это еще не предел. Некоторые наблюдатели различают промежутки до  $10''$ . Для того чтобы

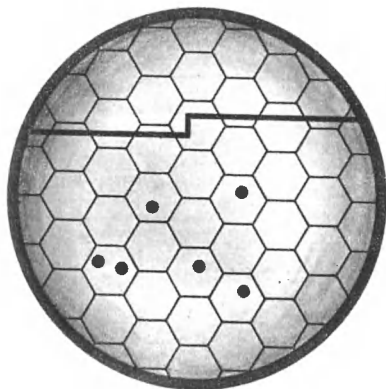


Угловой размер человека. Невооруженным глазом при благоприятных условиях человека можно увидеть на расстоянии в несколько километров. Особенно хорошо наблюдать в ясный день за парашютистами.

янее представить себе подобные величины, стоит запомнить, что угловой размер человека, находящегося от наблюдателя примерно в 6,5 километра, будет равен  $1'$ .

Наиболее четко видны те объекты, изображение которых попадает на центральную ямку. Приведенные значения для остроты зрения как раз и относятся к такому случаю, когда мы рассматриваем объекты с

помощью этой ямки. Вы, вероятно, уже догадались, почему видение с помощью центральной ямки оказывается наиболее острым. Ведь именно в этой области сетчатки каждая светочувствительная клетка соединена с отдельным нервным волокном, и, следовательно, в мозг поступают отдельные сигналы от каждой клетки.



Считается, что два объекта видны отдельно, если их проекции на сетчатке расположены так, что между ними находится хотя бы одна «незанятая» светочувствительная клетка. Такое предположение, по-видимому, недалеко от истины: объект с угловым размером в  $1'$  дает изображение на сетчатке, равное примерно 0,004 миллиметра, то есть близкое по величине к среднему диаметру светочувствительной клетки.

Вы видите расположение изображений мелких объектов на сетчатке глаза. Если предметы проектируются на одну и ту же светочувствительную клетку или на две смежные, они не воспринимаются раздельно. Если изображения предметов разделены хотя бы одной незанятой клеткой, они воспринимаются раздельно. Изломы линии воспринимаются даже и при таком изломе, который изображен на рисунке.

Но, с другой стороны, известно, что зрение некоторых людей гораздо острее. Чем же объяснить такой факт?

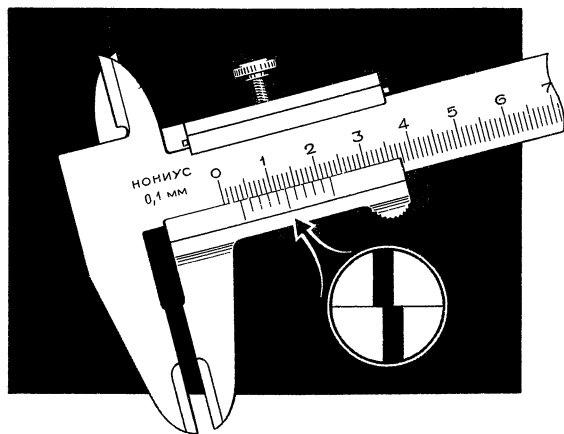
Ученые в числе нескольких причин указывают, что повышенной остротой зрения обладают люди, у которых размер светочувствительных клеток гораздо меньше, чем он бывает в среднем. Особенно часто повышенная острота зрения наблюдается у жителей степей и пустынь, у моряков. Бывают целые народности с необыкновенно острым зрением. Таковы, например, жители наших киргизских степей, таковы и патагонцы в Южной Америке.

О справедливости такого предположения говорят исследования размеров светочувствительных клеток у птиц. Оказывается, у разных пород они различны. У тех, которым не требуется очень острое зрение, эти клетки довольно велики. Зато у орлов диаметр колбочек достигает 0,0003—0,0004 миллиметра, то есть примерно в 10—15 раз меньше, чем у человека со средним зрением.

До сих пор речь шла о различении объектов, разделенных малым промежутком. Другим удивительным свойством глаза является его способность различать даже очень малые изломы на стыке двух прямых линий. Чувствительность к таким изломам необыкновенно велика: она в 10 и даже в 20 раз превышает чувствительность к различению отдельных объектов. Хотя наука еще не объяснила этого факта, им уже давно пользуются в практике; многие весьма точные мерительные приборы выполнены с учетом этой особенности зрения. Таковы, например, все ноинусные устройства, все шкалы стрелочных измерительных приборов.

Всегда ли одинакова острота зрения? Конечно, нет. Наш глаз видит четко только при ярком свете, днем. В сумерки и особенно ночью острота зрения значительно падает. Помимо этого, в темноте даже у человека с очень хорошим зрением развивается ночная близорукость: отдаленные предметы теряют четкие контуры, расплываются. Этот факт особенно следует запомнить всем, кто любит читать в сумерки, не зажигая огня. Такое чтение очень утомляет и при частом повторении может испортить глаза.

Теперь, когда мы узнали о строении глаза и об остроте зрения, необходимо сказать о поле зрения. Полем зрения называется все пространство, в котором возможно различение объектов при неподвижном глазе. Величина поля зрения обычно выражается в угловых еди-



Благодаря способности глаза различать изломы прямой линии, удается сравнительно просто делать шкалы различных приборов и мерительных устройств. Именно на этом свойстве глаза основана шкала штангенциркуля.

ницах. Границы его несколько отличаются у разных людей и, кроме того, зависят от размеров и даже цвета объектов. Для белого цвета границы поля зрения следующие: вниз  $70^\circ$ , вверх  $60^\circ$ , к носу  $60^\circ$ , к виску  $100^\circ$ .

Внутри этого поля имеется слепое пятно с угловым размером порядка  $7^\circ$ , желтое пятно примерно такого же размера и центральная ямка, имеющая угловые размеры 1— $1,5^\circ$ .

Наиболее четко мы видим с помощью центральной ямки<sup>1</sup>. Здесь острота зрения максимальная. Но уже на расстоянии 3— $5^\circ$  от нее острота зрения падает почти в 4 раза, а вблизи границ поля зрения она совсем мала, приблизительно в тридцать раз меньше, чем в области центральной ямки и даже желтого пятна.

Внимательный читатель наверняка удивится приведенным цифрам. В самом деле, зачем человеку столь широкое поле зрения, если четко он может видеть только в пределах очень маленького угла — в  $1,5^\circ$ ? Более того, правильна ли вообще эта последняя цифра, не чересчур ли она мала? Она противоречит нашему повседневному опыту, который говорит о том, что мы почти одинаково четко видим **все** окружающее, а не только какую-то малую его часть.

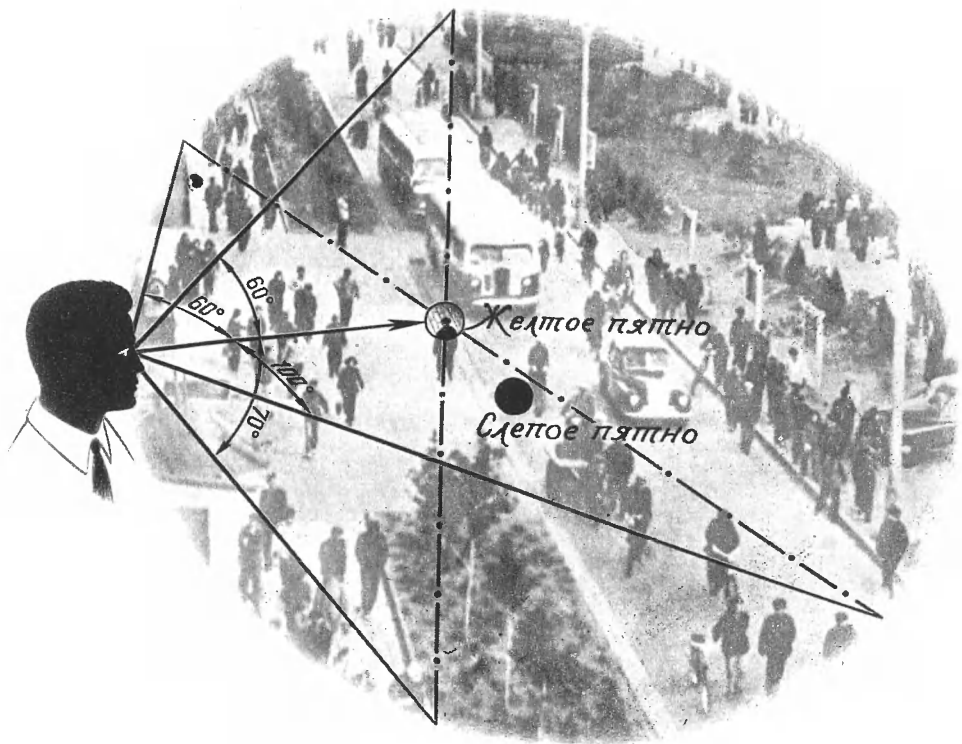
Наука уже может ответить на эти вопросы, хотя и не очень полно. Исчерпывающее объяснение станет возможным только после того, как будут изучены все процессы, протекающие не только в самом глазу, но и в зрительных центрах мозга. В наши дни ученые едва лишь приступают к этой проблеме. Она столь сложна и многообразна, что решить ее удастся только объединенными усилиями физиологов, биофизиков, биохимиков, специалистов в области электроники и многих других. Даже при современных возможностях и стремительных темпах развития науки на исследование и решение этой проблемы, вероятно, уйдет много лет. И возможно, что некоторым читателям этой книги доведется приложить свои силы в этой области. Хотелось бы пожелать им успехов в столь важном и интересном деле...

Зачем же нужно столь широкое поле неотчетливого зрения?

Дать ответ на этот вопрос позволяет одно весьма интересное свойство глаза. Оказывается, периферические части сетчатки, которые обычно различают только крупные объекты, необыкновенно чувствительны к перемещению мелких объектов. Так, если на периферию сетчатки проектируется малый неподвижный предмет, мы не в состоянии его заметить. Но стоит ему начать передвигаться, как в мозг начинают поступать сигналы. На основании этих сигналов мы не в состоянии судить о форме предмета, но их вполне достаточно, для того чтобы определить направление на него и направление его перемещения. Если по каким-то причинам предмет привлекает наше внимание (ожидание, опасность и т. п.), мы практически мгновенно и чаще всего автоматически переводим на него наш взгляд или, иными словами, поворачиваем наши глаза таким

---

<sup>1</sup> В сумерки, когда работают только палочки, максимальная острота зрения имеет место не в центральной ямке, а в стороне от нее, даже за пределами желтого пятна



Поле зрения неподвижного глаза. Только очень в малой зоне глаз видит четко (кружок в центре), в остальной же части поля зрения изображение воспринимается значительно менее четко.

образом, чтобы изображение этого предмета попало в область четкого видения. Такое свойство периферического, или бокового, зрения очень важно. Оно помогало нашим прауродителям выслеживать добычу и самим спастись от внезапного нападения.

Периферическое зрение необходимо человеку и сейчас. Не будучи четким, оно все же достаточно хорошо, для того чтобы мы могли иметь представление об окружающем (оно во много раз лучше, чем зрение насекомых, в частности стрекоз). Благодаря ему мы можем быстро и правильно ориентироваться и выбирать направление передвижения. Оно жизненно необходимо пилоту, шоферу; без него не существовало бы ни труда, ни спорта.

Но разве было бы хуже, если бы наши глаза были устроены так, что мы могли бы видеть равно четко во всем поле зрения?

Прежде чем ответить на этот вопрос, напомним, что в области наиболее четкого видения от каждой из 50 тысяч светочувствительных клеток



отходит отдельное волокно зрительного нерва. Именно благодаря такой связи клеток с мозгом зрение с помощью центральной ямки оказывается столь острым. Для того чтобы периферические части сетчатки обеспечивали столь же острое зрение, необходимо, чтобы и здесь с каждой светочувствительной клеткой связывалось отдельное нервное волокно. В таком случае ствол зрительного нерва вместо миллиона должен был бы иметь 137 миллионов волокон. Его толщина оказалась бы в 10—12 раз большей. Он был бы похож на довольно толстый канат. Но это даже не самое главное. Куда важнее то, что зрительные центры мозга заняли бы неоправданно большое место. Им пришлось бы развиваться за счет каких-то других важных мозговых центров, либо за счет увеличения общего объема мозга. И то и другое невозможно, да и ненужно. Природа — этот величайший изобретатель! — нашла более правильный и экономный путь. Она дала человеку способность видеть очень четко, но только в нужных пределах, в сравнительно узком телесном угле, именно таком, какой действительно необходим в жизни. А для того чтобы человек мог быстро и хорошо ориентироваться и избегать опасности, она одарила его боковым зрением и способностью замечать малые (не говоря уже о крупных) перемещающиеся объекты даже тогда, когда они находятся вне поля четкого зрения.

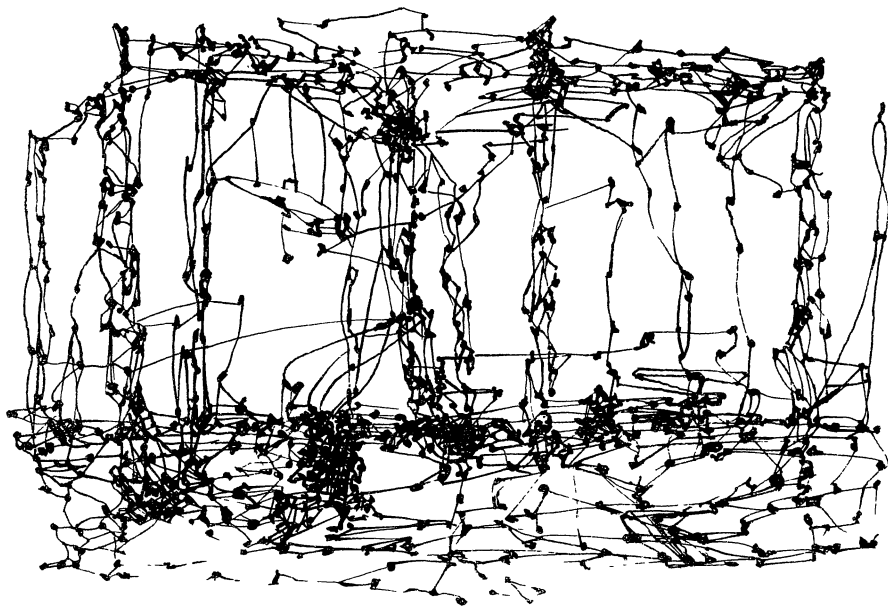
Но, помимо этого, у зрения есть еще одна замечательная способность. Она-то и позволяет с помощью очень маленькой центральной ямки и несколько большего по размерам желтого пятна видеть весьма четко в широком поле зрения. Именно благодаря этой особенности нам кажется, что мы одновременно, сразу и в равной степени четко воспринимаем окружающее.

Представим себе, что мы находимся в одной из зал Третьяковской галереи. Например, в той, где развешаны полотна знаменитого пейзажиста Шишкина. Остановимся перед одним из них, хотя бы перед тем, которое носит название «В лесу Мордвиновой». Эта картина, а вернее — этюд, была написана художником с натуры под Ораниенбаумом. На ней изображен густой и мрачный еловый лес; прогалина на переднем плане; кочки, поросшие мхом и молодыми деревцами; а чуть в глубине, левее центра картины, — старик, опершийся на палку. Все части картины воспринимаются нами одинаково четко. Более того, мы уверены, что видим ее всю сразу, всю одновременно.

Фактически это не так. На самом деле в каждый отдельный момент нами воспринимается лишь один, сравнительно небольшой участок картины. Это происходит потому, что наши глаза не остаются в покое, когда мы рассматриваем что-либо. Они непрерывно движутся, «обшаривая» объект наблюдения. Цельное изображение возникает в мозгу, который запоминает каждый из последовательно осмотренных кусочков и складывает их, словно детские кубики, в единое изображение. В этом можно убедиться, посмотрев на иллюстрацию, помещенную здесь. Одна ее часть представляет фотографию картины Шишкина «В лесу Мордвиновой». А другая...



Фотография картины художника Шишкина «В лесу Мордвиновой» и «фотография» движений глаза человека, рассматривающего картину.



Другая — тоже фотография. Если внимательно взглянуть в линии и точки, можно заметить, что вместе они составляют нечто напоминающее шийшинское полотно. Что же это за фотография? Оказывается, на ней запечатлены движения глаза человека, рассматривающего картину.

Ее очень остроумным методом получил советский ученый А. Л. Ярбус. На одном из глаз наблюдателя было укреплено очень маленькое, легкое зеркальце. На него был направлен луч света. Световой зайчик, отбрасываемый зеркальцем, падал на лист фотобумаги и вычерчивал на ней следы. Поворачивались глаза (а у человека оба глаза поворачиваются одинаково) — перемещался и зайчик по фотобумаге, точно следуя за всеми движениями глаза, рассматривавшего картину.

По окончании опыта фотобумагу проявили. И получилась «копия» картины Шишкина, нарисованная глазом. Жирные точки на этой копии соответствуют тем моментам времени, когда глаза оставались неподвижными, а тонкие линии, соединяющие точки, прочерчивались во время быстрых скачкообразных изменений направления взгляда.

Ученые установили, что зрительный процесс всегда протекает подобным образом: глаза замирают на некоторое время, затем совершают быстрый, но небольшой скачок, снова замирают и опять совершают скачок. Именно таким образом мы во всех случаях осматриваем окружающее или следим взглядом за каким-либо одним объектом.

В минуту глаза совершают до 120 скачков и остановок. Величина скачка не превышает  $0,5^\circ$ , а его длительность раз в тридцать меньше того времени, когда глаз находится в покое и направлен на одну из частей объекта. Время, в течение которого глаза остаются неподвижными, лежит в пределах от 0,2 до 0,8 секунды. За эти доли секунды глаза успевают разглядеть, а мозг запомнить увиденное. Если участок рассматриваемого пространства имеет не слишком большие угловые размеры, мы воспринимаем его как единое целое и совершенно не ощущаем, что в действительности видим его лишь по частям.

Такой скачкообразный процесс обзора пространства (сканирование пространства, как часто говорят в технике) имеет принципиальное значение. Без него зрение оказалось бы вообще невозможным. Ученые посредством особых опытов установили, что если на один и тот же участок сетчатки проектируется неизменное изображение, оно видно в течение лишь нескольких первых секунд. Далее происходит как бы насыщение этого участка — он перестает воспринимать изображение и ослепляется. Подобные опыты ясно показывают, что глаз может хорошо наблюдать только те предметы, изображение которых движется по сетчатке либо вследствие движения самого объекта, либо благодаря скачкообразному перемещению направления взгляда.

Зная, как происходит обзор пространства, можно легко объяснить, почему мы не замечаем слепого пятна. Именно потому, что наш взор никогда не остается подолгу на одном и том же месте. Если бы глаза были неподвижны, то слепое пятно также было бы недвижимо, и на него проектировался бы один и тот же участок изображения. Но на самом

деле слепое пятно попеременно «закрывает» различные участки. Смена участков происходит достаточно часто, так что мозг не успевает забыть о них прежде, чем это необходимо. Опыт с крестиком и кружком трудно проводить тоже благодаря этому скачкообразному процессу зрения, при котором глаза не остаются в покое.

Следует сказать еще об одном очень важном свойстве зрения, которое, возможно, следовало бы в некотором отношении отнести к числу недостатков. Однако ученые и инженеры провели тщательные исследования и сумели столь блестяще использовать этот недостаток, что он превратился в очень большое достоинство. Без него немыслимы ни кинематограф, ни телевидение, ни некоторые другие важные области совместного использования света и глаза. Речь идет об инерционности зрительного восприятия, то есть о том, что мы не мгновенно, а спустя лишь некоторое время после появления видим изображения и продолжаем видеть его уже после того, как оно исчезло.

Именно потому, что зрение обладает инерцией, мы не в состоянии заметить быстро движущиеся части машины, спицы в колесе движущегося велосипеда, лопасти вращающегося пропеллера, артиллерийский снаряд в полете, движение крыльев пчелы и многое другое. Зато только благодаря этому свойству мы можем видеть при очень слабом свете, ибо инерционность зрения прямо связана со способностью светочувствительных клеток накапливать действие квантов. Если количество фотонов, попадающих в светочувствительную клетку, в единицу времени превышает некоторую минимальную величину, называемую порогом чувствительности глаза, то их действие благодаря инерционности зрения может накапливаться, или, иными словами, суммироваться, во времени.

Зрительное ощущение возникает вследствие распада светочувствительного вещества в палочках и колбочках, когда в них попадает свет. После того как свет прекращается, начинается обратный процесс — светочувствительное вещество вновь восстанавливается. Распад его идет тем быстрее, чем интенсивнее падающий в глаза свет. Восстановление же происходит тем скорее, чем более глубокая темнота воцаряется после исчезновения света.

Световое ощущение возникает обычно через 0,05—0,2 секунды, в зависимости от интенсивности света. Исчезновение светового ощущения происходит за большее время, более постепенно.

Теперь для освещения очень часто используются так называемые люминесцентные лампы, а для рекламных целей — газосветные трубки. И те и другие обладают одним свойством, которое сильно отличает их от обычных электрических ламп накаливания. Оно заключается в том, что при подключении их к напряжению переменного тока (а он теперь применяется почти везде) свет, испускаемый такой лампой или трубкой, будет непрерывно пульсировать.

В нашей стране и во всех европейских странах частота колебаний переменного тока равна 50 периодам в секунду. Это означает, что за секунду напряжение будет 50 раз менять свою полярность: 50 раз оно бу-

дет максимальным по величине и положительным и столько же раз максимальным и отрицательным. В промежутках между максимумами напряжение будет плавно уменьшаться до нуля и будет принимать нулевое значение 100 раз в течение секунды. В такт с изменениями напряжения будет изменяться и яркость: за секунду произойдет 100 вспышек, причем их яркость будет нарастать, достигая максимума, и снова падать до нуля.

Если бы наше зрение было безынерционным, все окружающее при свете газосветных ламп представлялось бы то ярко освещенным, то погруженным во тьму, словно озаренным чрезвычайно частыми вспышками молний. Но этого не происходит в силу того, что ни распад, ни восстановление светочувствительного вещества в палочках и колбочках не могут происходить мгновенно, а требуют заметного времени. Именно поэтому мы почти не замечаем мерцания люминесцентных и ртутных ламп, газосветных трубок.

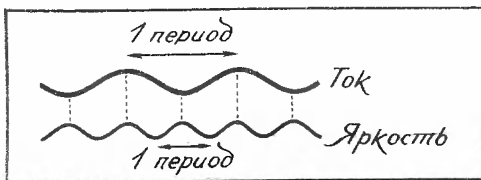
Почти... Но отнюдь не полностью, даже в тех случаях, когда свет пульсирует с частотой 100 раз в секунду. Такие пульсации очень легко обнаружить, если специально этим заняться. Стоит лишь быстро провести в воздухе ладонью с расставленными пальцами или, что еще лучше, тонким блестящим штырем, и мы заметим необычное явление: вместо непрерывной просвечивающей насквозь полосы, которая наблюдается в подобных случаях днем, глаз различит множество отдельных, чуть смазанных полосок.

Проведите опыт при свете таких ламп, вырезав из приложения к этой книге диск с черно-белым узором. Попробуйте объяснить, почему при некоторой скорости вращения этого диска кажется, что кольца на нем начинают двигаться в разных направлениях. Объясните, почему это же не наблюдается при дневном свете и почему при свете ламп накаливания движение заметно очень слабо.

А теперь другой опыт. Посмотрите на зажженную спичку или горящую электрическую лампу (только не очень яркую), а затем быстро переведите взгляд на приготовленную заранее черную бархотку или на кусок черной бумаги. Если под руками у вас не окажется ни того, ни другого, можно перевести взгляд в темный угол комнаты. Сделав это, вы заметите, что изображение пламени или раскаленного волоска лампы, хотя и более тусклое, сохраняется некоторое время после того, как вы перестали смотреть на светящийся предмет. В данном случае вы видите его последовательный образ или, точнее, позитивный последовательный образ.

Возникновение и существование последовательных образов определяются тем, что процесс восстановления светочувствительного вещества в палочках и колбочках требует известного времени.

Снова проведем опыт, о котором говорилось выше, но теперь продолжим его. Когда последовательный образ яркого предмета потускнеет, быстро переведите взгляд с темного фона на равномерно и ярко освещенный лист белой бумаги. На его фоне вы снова увидите прежнее изо-



Движущийся тонкий блестящий стержень при мерцающем свете люминесцентной лампы. Вверху, слева,— графики изменения тока через лампу и изменения яркости света.

бражение, правда еще более расплывчатое и тусклое. Но важно другое: изображение теперь будет уже темным на светлом фоне. Оно тоже является последовательным образом, но на этот раз негативным.

Возникновение негативных последовательных образов объясняется тем, что засвеченные ярким светом участки сетчатки становятся менее чувствительными, чем те, на которые не попали лучи яркого света. Это неравномерное распределение чувствительности запечатлевается на сетчатке на несколько секунд. Если в это время смотреть на равномерно освещенный белый лист, он будет восприниматься таким, словно на его поверхности имеется затемненный участок, по форме соответствующий тому предмету, на который мы ранее смотрели.

Несколько слов об особенности зрения двумя глазами.

До сих пор, говоря о зрении, мы не делали различия между тем, смотрим ли на предмет одним или двумя глазами. Действительно, не стоило об этом думать, пока не возник вопрос о чувстве глубины пространства, о способности оценивать расстояние до предметов, находящихся в поле зрения.

Обычная фотография или картина всегда создает у зрителя ощущение глубины изображаемого пространства. Это ощущение, однако, не меняется от того, рассматриваем ли мы изображение одним или двумя глазами<sup>1</sup>. В данном случае ощущение глубины создается линейной и воздушной перспективами. Первая позволяет нам судить о близости или отдаленности предметов по размерам их изображений. Вторая дополняет первую тем, что контуры и поверхности изображаемых предметов становятся все более расплывчатыми и нечеткими по мере удаления от переднего плана. Если изображение к тому же цветное, то этому способствует изменение цветов отдаленных предметов: они как бы блекнут и растворяются в воздушной дымке.

Подобным образом мы ощущаем глубину реального пространства, пользуясь одним глазом, и не чувствуем при этом большой разницы между зрением одним глазом и двумя. А она очень велика.

Попробуйте сделать один очень несложный опыт. Для него потребуются два обычных пера или, если вы предпочитаете пользоваться авторучкой, две спички, хотя опыт с ними выглядит менее эффектно. Опыт надо проводить без какой-либо предварительной тренировки.

Положите одно перо на коробочку или книгу так, чтобы его острие выступало над краем. Затем возьмите в левую руку второе перо. Зажмите его одним глазом и непрерывным движением дотроньтесь кончиком одного пера до кончика другого. Сделайте то же, открыв оба глаза. И вы сразу почувствуете, какая огромная разница между зрением одним глазом (монокулярным) и двумя глазами (бинокулярным).

Этот опыт становится еще более убедительным, если наблюдать его со стороны. Попросите кого-нибудь провести его, а сами обратите внимание на движение руки с пером.

Между прочим, столь же простые опыты помогли ученым вдуматься в самые сокровенные процессы, происходящие в организме, и сформулировать некоторые важные положения новой науки — кибернетики.

Разницу в зрении одним и двумя глазами вы можете также уяснить, посмотрев на цветные стереофотографии. Перед вами два снимка, вернее — один, сделанный с помощью фотоаппарата для стереоскопической съемки. На первый взгляд левая и правая фотографии совершенно одинаковы. Разницу между ними можно заметить, только наложив одну на другую. Она ничтожна и заключается в том, что левая фотография снята под несколько иным углом зрения, чем правая.

Попытайтесь, хотя это и непросто, рассматривать одновременно обе фотографии таким способом, как это указано. После нескольких попыток вам удастся приспособиться. Обычно это случается внезапно, и вы вдруг заметите, что пространство изображения приобретает глубину, а все предметы становятся объемными.

---

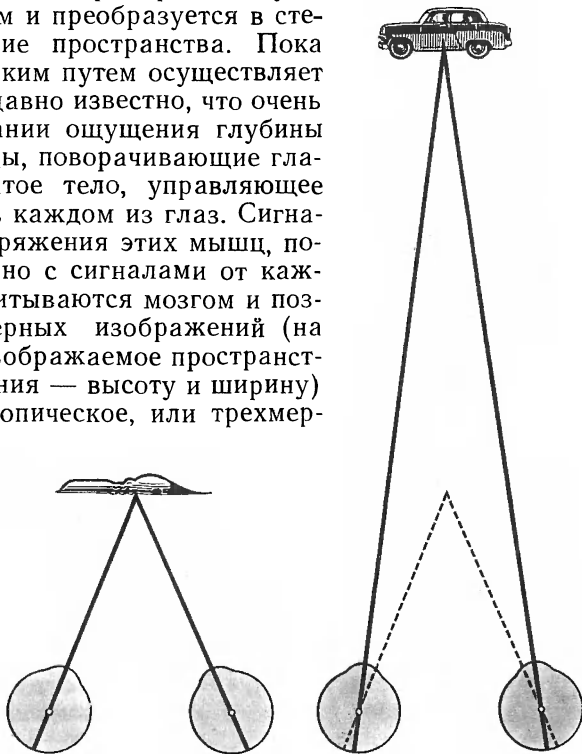
<sup>1</sup> Если с определенного расстояния одним глазом рассматривать качественную фотографию, ощущение глубины пространства может быть очень сильным: кажется, что перед тобой стереоскопический снимок

Рядом еще фотографии. Не подумайте, что столь странно сдвинутые оттиски, делающие изображение неразборчивым, — типографский брак. Это сделано специально. Красный оттиск соответствует изображению для одного глаза, а зелено-голубой — для другого. Такие стереофотографии следует рассматривать через специальные очки. Вырежьте из бумаги оправу для очков и вклейте в каждое из отверстий по куску цветного целлофана (красного и зелено-голубого). Затем взгляните через эти очки на фотографию. Вы снова испытаете неожиданное и радостное чувство от внезапно раскрывшейся глубины и объемности изображения.

В чем же причина столь резкой разницы в зрении одним и двумя глазами?

Оказывается, она в первую очередь определяется устройством и работой мозга. Ничтожное отличие в изображениях для левого и правого глаза, отличие, которое мы не в состоянии ощутить, разглядывая каждое из изображений в отдельности, при зрении двумя глазами учитывается мозгом и преобразуется в стереоскопическое изображение пространства. Пока еще никто не знает, как, каким путем осуществляет это мозг. Но уже довольно давно известно, что очень важную роль в формировании ощущения глубины пространства играют мышцы, поворачивающие глаза в орбитах, и реснитчатое тело, управляющее аккомодацией хрусталика в каждом из глаз. Сигналы, зависящие от силы напряжения этих мышц, поступают в мозг одновременно с сигналами от каждого из глаз. Они также учитываются мозгом и позволяют ему из двух двумерных изображений (на сетчатке каждого из глаз изображаемое пространство имеет только два измерения — высоту и ширину) создать целостное стереоскопическое, или трехмерное, изображение, то есть такое, где есть три измерения: высота, ширина и глубина.

Выше была названа только одна причина уменьшения вредного влияния слепого пятна. Она заключалась в скачкообразном процессе обзора пространства. Теперь можно назвать и вторую. Она сравнительно проста. Когда мы смотрим на что-либо, наши глаза



Рассматривая близко расположенный предмет двумя глазами, мы сжимаем их под большим углом друг к другу. Глядя на удаленный предмет, мы уменьшаем этот угол.





В левом глазу на слепое пятно попадает изображение дерева, в правом — человека.

«заштопывается» слепое пятно правого глаза. В результате мешающее действие слепых пятен обоих глаз становится практически неощутимым.

Нам понравилось стихотворение, и настолько, что мы решили выучить его наизусть. Тогда мы начинаем перечитывать его, стараясь запомнить каждое слово и его точное место среди остальных. Одним это удается очень быстро, другим приходится изрядно потрудиться, прежде чем строки прочно улягутся в памяти. Но рано или поздно каждый психически нормальный человек запомнит стихотворение.

Что же это означает: запомнит? А то, что даже по прошествии многих лет человек по желанию может повторить стихотворение слово в слово, не пользуясь при этом ни шпаргалками, ни подсказками.

Память. Что же это такое?

Мы знаем, что память человека определяется работой мозга.

Но пока ученые еще не могут достаточно точно ответить на многочисленные «как?», относящиеся к работе мозга. Это объясняется тем, что они пока мало знакомы с процессами деятельности мозга в силу их невообразимой сложности.

Иными словами, на этом пути сделаны лишь первые шаги. И мы еще слишком мало знаем о самом сложном, самом совершенном создании природы — о человеческом мозге. И пока не станут известны процессы, происходящие в мозгу, связанные с запоминанием, нельзя сказать совершенно точно, почему легко запомнить стихи, но трудно — прозу; почему запоминается мелодия, но не звуки настраивающегося оркестра

повернуты так, что интересующее нас изображение проектируется в область центральной ямки и желтого пятна. Это и понятно — ведь зрительная линия проходит как раз через центр желтого пятна, то есть желтое пятно расположено симметрично относительно зрительной линии. Что касается слепого пятна, то оно смещено относительно этой линии. В левом глазу слепое пятно находится примерно на  $15^\circ$  правее зрительной линии (ближе к носу), а в правом — на столько же градусов левее (опять-таки ближе к носу). Поэтому слепое пятно левого глаза закрывает совсем другой участок изображения, нежели слепое пятно правого глаза.

Изображения в левом и правом глазу значительно отличаются друг от друга, и мозг восстанавливает целостную картину, вставляя на место изображения, закрытого слепым пятном левого глаза, соответствующее изображение, полученное на сетчатке правого глаза. Подобным же образом «за-

или какой-либо другой шум; почему запоминаются геометрические фигуры, лица людей, картины мастеров, но забываются полотна абстрактных живописцев.

Об этих процессах, привлекающих внимание многих современных ученых и инженеров, работающих в самых различных областях науки и техники, начинают делать лишь первые плодотворные предположения. Нет сомнения, что в ближайшие годы прогресс в этом направлении будет очень значительным и, быть может, мы станем свидетелями разгадки величайшей тайны — тайны мышления и памяти.

Тогда же достоверно узнаем и об одном из интереснейших средств зрения: о способности запоминать, различать и классифицировать бесконечное разнообразие форм окружающего нас мира. Сейчас это свойство называют форменным зрением.

Вот что пишет о нем один из основателей кибернетики Норберт Винер:

«Одним из наиболее замечательных явлений в зрении следует считать нашу способность узнавать контурный рисунок. Несомненно, контур человеческого лица имеет очень небольшое сходство с самим лицом в отношении цвета и распределения светотени, и тем не менее в нем очень легко узнать портрет данного человека».

Ученого очень интересует эта способность, и вот какие вопросы он задает самому себе и читателям:

«Как мы узнаём индивидуальное человеческое лицо, когда видим его в разных положениях: в профиль, в три четверти или анфас? Как мы узнаем круг как таковой, независимо от того, большой он или маленький, вблизи он или вдали, находится ли он в плоскости, перпендикулярной к линии, проведенной от глаза к центру круга, и представляется как круг или имеет какую-нибудь другую ориентацию и представляется как эллипс?»

Далее Винер пытается ответить на эти вопросы и предлагает один из возможных вариантов, одну из возможных моделей работы мозга при различении формы. Он не утверждает, что мозг действует точно так же, но идеи, высказанные им, могут быть положены в основу одной из гипотез о работе мозга, а кроме того, на их основании может быть построена математическая машина, способная различать формы предметов, хотя бы простейших.

Интересно высказывание прославленного архитектора эпохи Возрождения Леона Баттисты Альберти (1404—1472), который в трактате «О статуе» тоже говорит о свойствах форменного зрения:

«Поскольку скульпторы ищут сходства, со сходства и надлежит начать. Я мог бы повести здесь рассуждение о природе сходства, о том, почему так бывает, что каждая особь очень похожа на всех других особей того же рода, — мы ведь видим это в природе и видим, что она это соблюдает в любом живом существе. С другой стороны, нельзя, как говорят, найти голос, вполне похожий на другой голос, нос — на другой нос, и точно так же среди всего множества людей нельзя найти чело-

века, неотличимого от других. Добавь к этому, что лица тех, кого мы видели мальчиками, а затем знавали и подростками и кого ты видел юношами, распознаются и тогда, когда они стали стариками, как бы велики ни были те изменения, которые с возрастом, изо дня в день, испытывали очертания их лиц. Таким образом, мы можем установить, что в самих формах тела имеется нечто, что меняется с течением времени, и нечто другое, глубоко в них заложенное и им врожденное, что всегда остается устойчивым и неизменным...»

Вот это-то устойчивое и неизменное, по-видимому, замечает форменное зрение, а память хранит долгие-долгие годы.

## Ц В Е Т А

*Цвет есть результат воздействия физического объекта на сетчатку .*

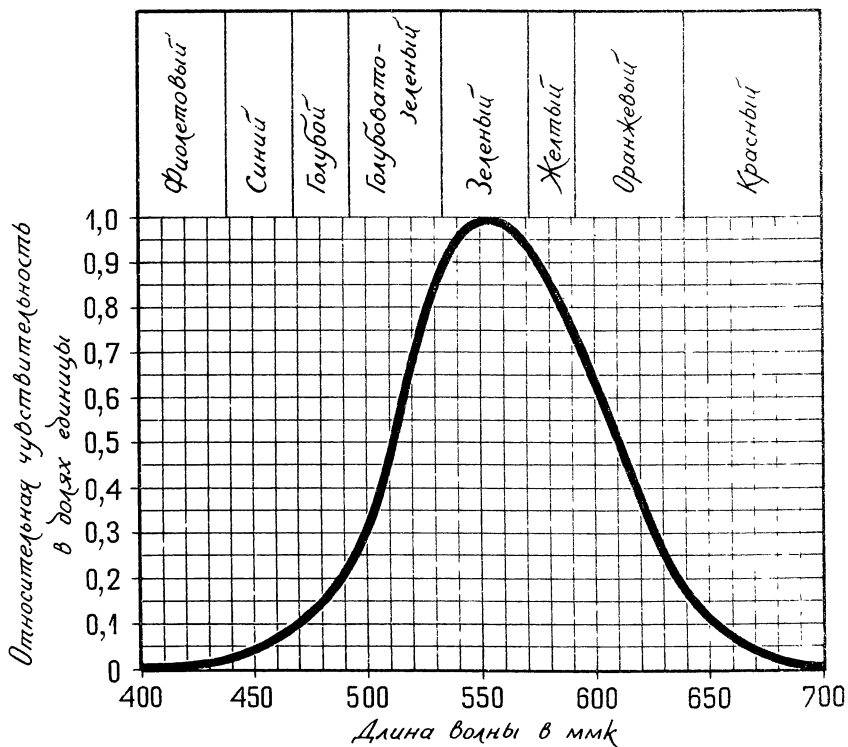
*В. И. Ленин*

«Материализм и эмпириокритицизм»

Прежде чем говорить о природе цветного зрения человека, необходимо выяснить законы образования самих цветов.

В спектре солнечного света, состоящем из бесконечного множества плавно переходящих друг в друга чистых цветовых тонов, человеческий глаз в состоянии различить более 150 оттенков. Обычно спектр разделяют на несколько цветовых групп: группу фиолетовых тонов, синих, голубых, голубовато-зеленых, зеленых, желтых, оранжевых и красных. Вот границы между соответствующими группами, выраженные в длинах волн: 439, 459, 492, 532, 571, 596 и 645 миллимикрон. Границы концов видимого участка спектра соответствуют длинам волн 380 и 770 миллимикрон. Интересно отметить, что границы цветовых групп, впервые намеченные Ньютоном, при переводе на язык волновой теории почти не отличаются от указанных. Кстати, Ньютон усматривал аналогию между восприятием цветовых и музыкальных тонов. Мы знаем, что одинаковые ноты в соседних октавах звучат согласно и отличаются только высотой тона. Частоты таких тонов находятся в соотношении 1:2, длины волн — 2:1. Если взять границы видимого спектра, то их длины волн тоже относятся, как 2:1. А если приглядеться, можно уловить цветовое сходство между крайними частями спектра — между глубоким красным и глубоким фиолетовым тонами. «Цвета,— писал Ломоносов,— удивительно согласуются с музыкой». В наше время этой аналогии не придают значения. Однако известно много случаев в науке, и мы о некоторых хорошо знаем, когда идеи, считавшиеся умершими, воскресали вновь.

Тона солнечного спектра далеко не исчерпывают всего многообразия цветов, встречающихся в природе. По существу, цветов бесконечно много, и наш глаз может различать в этом беспредельном многообразии с трудом исчислимое количество их.



Кривая чувствительности (кривая видности) человеческого глаза и границы между соответствующими группами цветов.

Если подсчитать все слова в русском языке, обозначающие цвета и оттенки, их наберется порядочно. Поэтому мы совершенно не испытываем затруднений, описывая даже очень тонкие различия в цветах. Тем не менее это описание оказывается недостаточным в тех случаях, где требуется точное знание о цвете. У профессионалов, даже у маляров и изготовителей вывесок, не говоря уже о живописцах, в ходу другие слова. Так, краски, дающие различные оттенки красного, имеют следующие названия: краплак, бриллиант-лак, киноварь, кадмий, кармин, сурик и так далее. За этими названиями стоят уже вполне определенные оттенки, потому что краска — это неизменная из года в год рецептура и технология; потому что на фабрике красок всегда есть эталонные образцы, по которым проверяется вновь выпускаемая продукция. Большую помощь в точном подборе цветов оказывают и колерные книжки — блокнотики, в которых каждый лист имеет строго определенный цвет — колер.

Но при современном развитии науки и промышленности этого дале-

ко не достаточно. Техника вообще предпочитает пользоваться точными цифрами, а не словами, в толковании которых всегда будет присутствовать бóльшая или меньшая неопределенность. Поэтому возникла и развилась специальная отрасль оптики — колориметрия, занимающаяся количественными методами определения цветов и законами их образования. В основу колориметрии положены точные знания определенных свойств цветового зрения человека. Она опирается на законы образования цветов в глазу человека, установленные многочисленными и многократно проверенными исследованиями.

Однако не надо спешить с описанием этих законов. Продолжим еще разговор о цветах.

Прежде всего следует отметить, что в колориметрии белый, черный и все промежуточные цвета, отсутствующие в спектре, столь же равноправны, как и все остальные. Правда, они составляют особую категорию так называемых ахроматических цветов (буквально — цветов, не имеющих цвета). Вся гамма серых цветов может быть получена смешением черного и белого в различной пропорции. В принципе эта гамма содержит бесконечное число цветов, но наш глаз может различить в ней около 300 градаций, что тоже не мало.

Любая поверхность, которая одинаково (плохо или хорошо) отражает все составляющие солнечного спектра, имеет ахроматический цвет. В равных условиях освещения поверхность, отражающая больше лучей, кажется светлее менее отражающей. Самой белой будет поверхность, покрытая окисью магния или бария, — она отражает до 98 процентов падающего света. Чистый белый снег (иногда выпадает снег, имеющий оттенок) на ее фоне покажется сероватым, он отражает всего лишь 85 процентов, а такая белая краска, как цинковые белила, и того меньше — всего 70—75 процентов. Очень черными кажутся поверхности, покрытые пористой сажей, но еще чернее — черный бархат; некоторые сорта его отражают не более 0,3 процента падающего света. Чернее бархата только черное тело — специальное устройство, о котором упоминалось в предыдущей главе<sup>1</sup>.

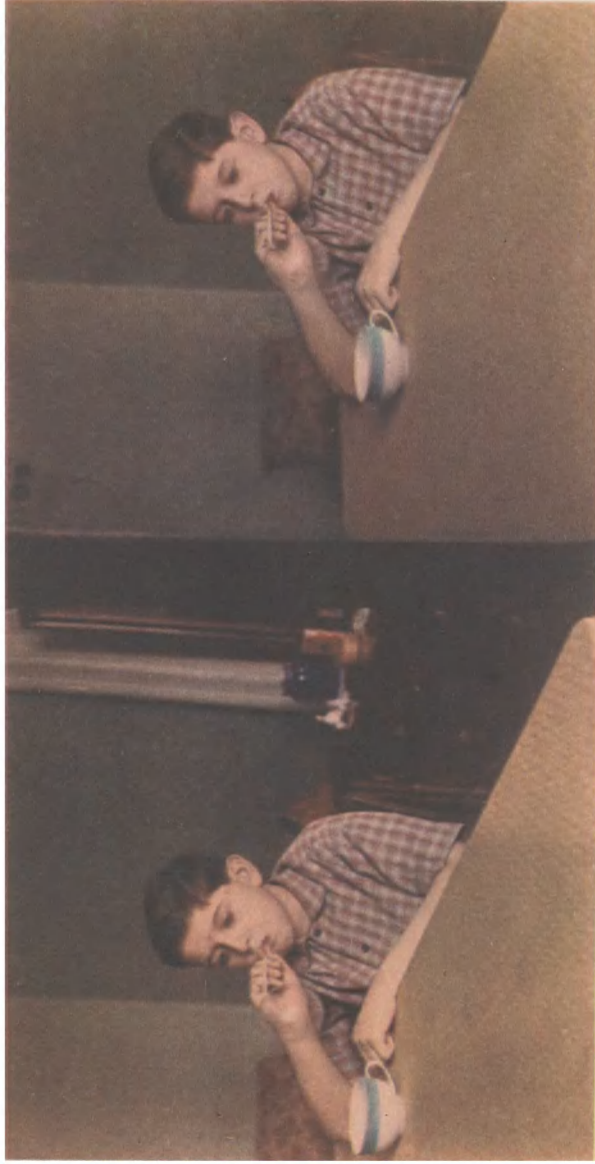
Все цвета, кроме белого, черного и серых, составляют группу хроматических (цветных) цветов. Ее, в свою очередь, можно разделить на две подгруппы: в первую войдут спектрально чистые тона, или монохроматические, цвет которых определяется только одной длиной волны; во вторую — сложные, составленные из нескольких монохроматических цветов. Таких цветов — большинство. А вернее сказать, бесконечно много. Недаром живописцы утверждают, что в природе вообще не бывает двух совершенно одинаковых цветов.

Как установили ученые, все это многообразие может быть получено смешением исходных чистых тонов.

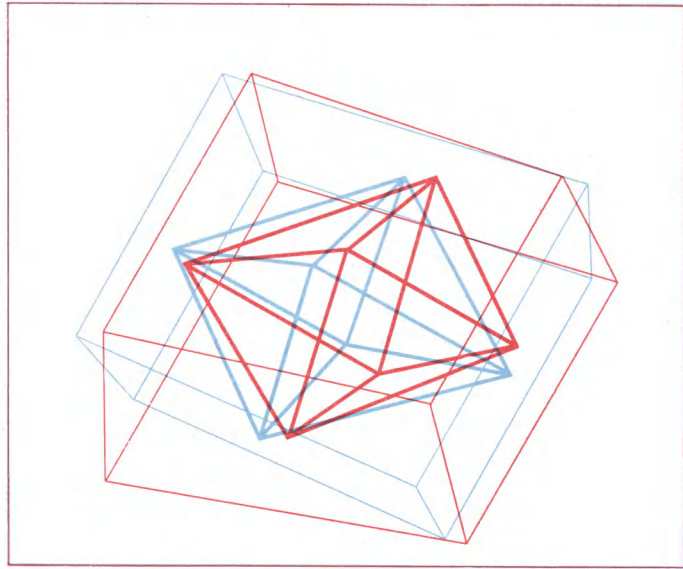
Чтобы яснее это представить, можно с помощью очень простого при-

---

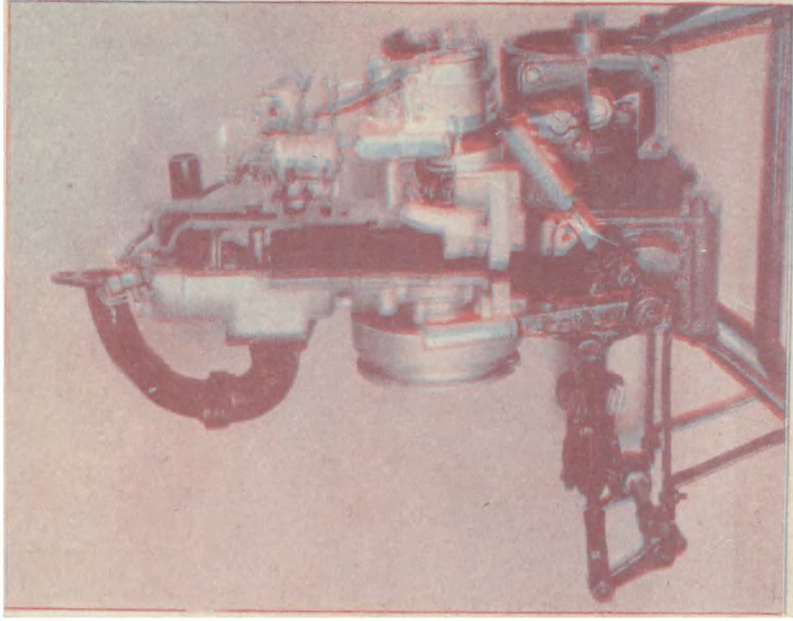
<sup>1</sup> Не следует забывать, что черное тело может не только поглощать, но и излучать свет. В колориметрии же считается, что тела черного цвета только поглощают свет.



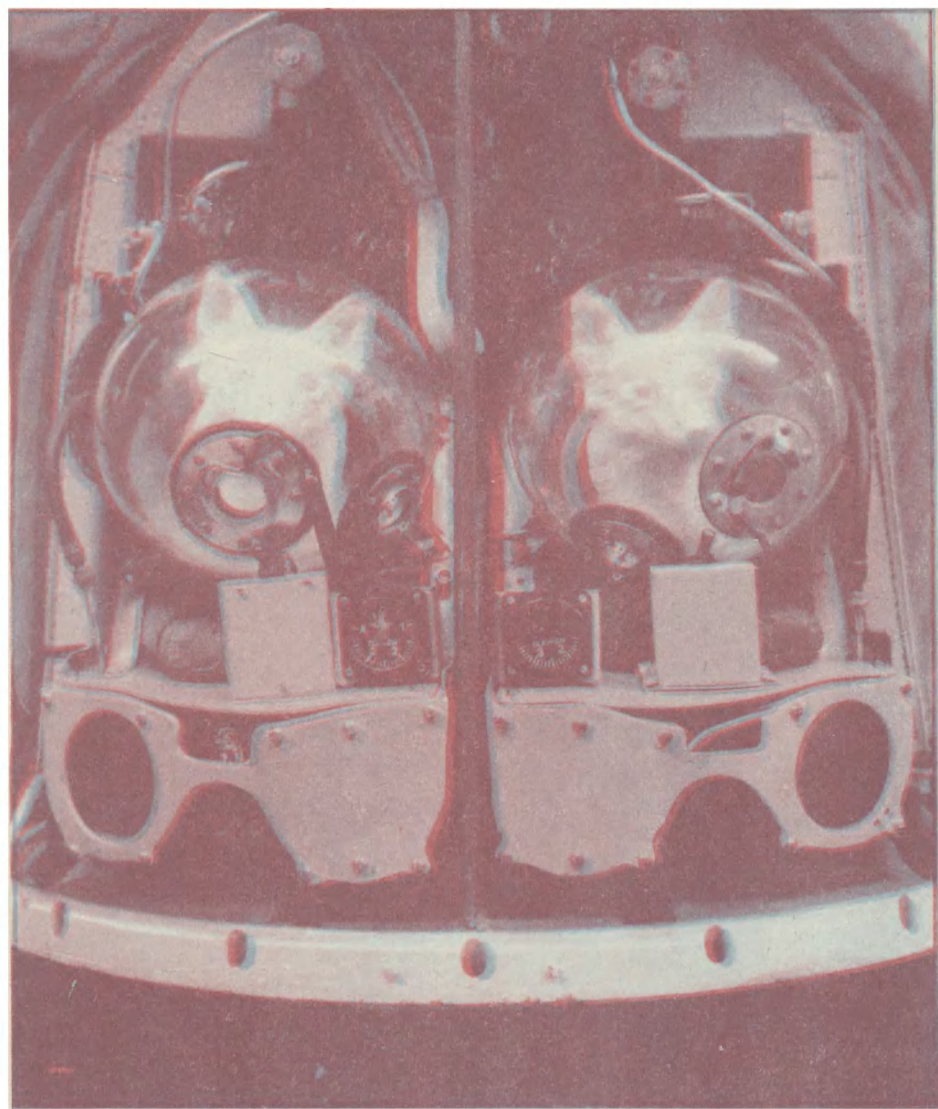
Положите книгу перед собой, возьмите в руку карандаш и поместите его между фотографиями. Затем начните медленно приближать карандаш, следя за ним глазами. Когда вместо двух фотографий увидите три, осторожно уберите карандаш, продолжая смотреть на среднюю. Проледайте это несколько раз — и в конце концов увидите стереоскопическое изображение



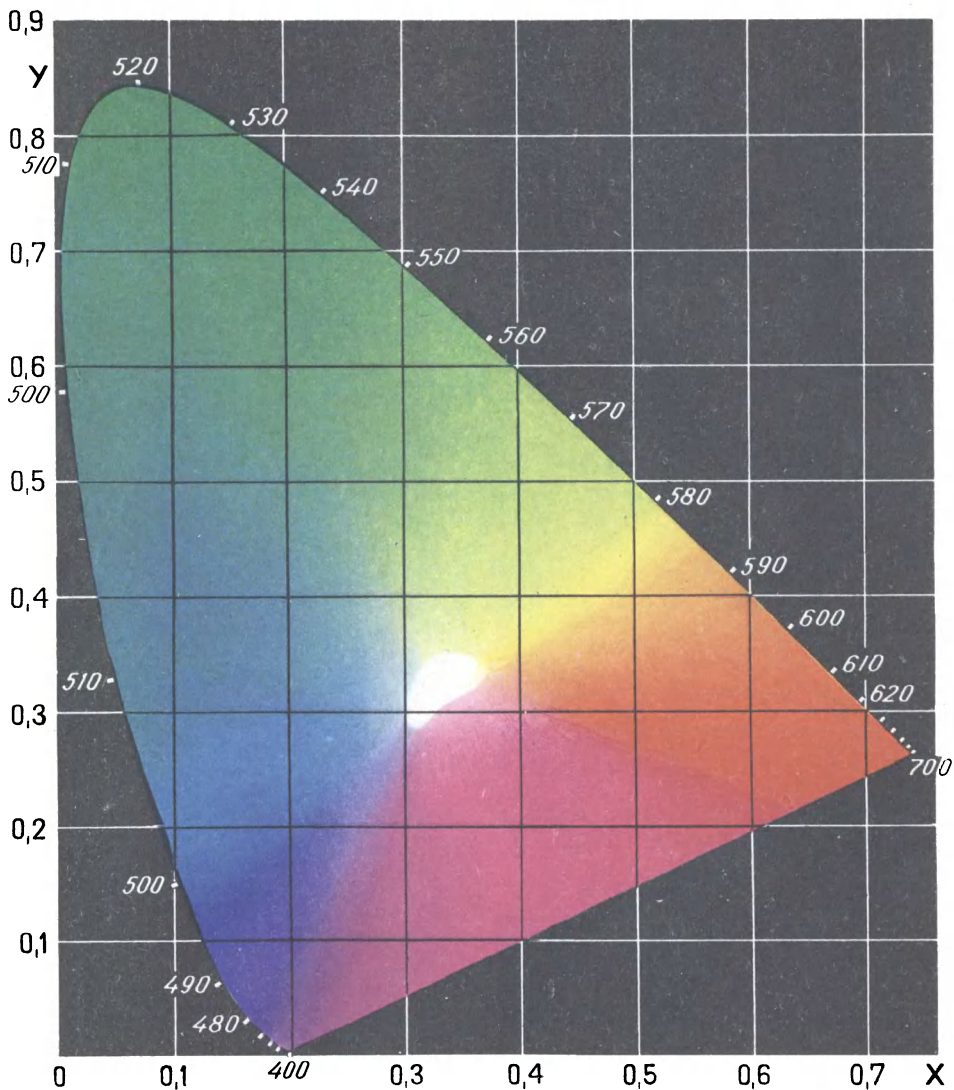
Эти фотографии надо рассматривать через цветные очки. Одно стекло должно быть розовое, другое — голубовато-зеленое. Вместо стекла можно взять листки целлофана.





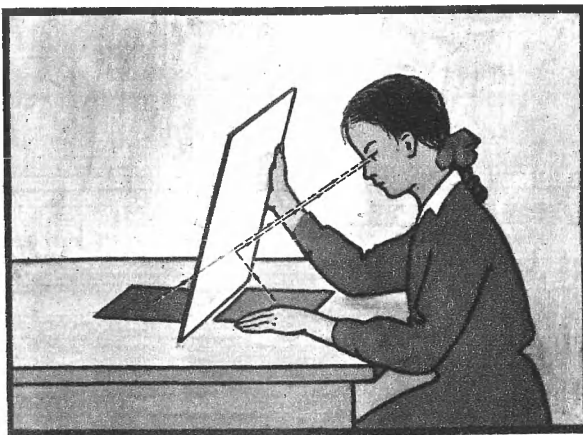






Цветовой график. Для наглядности поле цветового графика раскрашено. Цветовой график охватывает бесконечное многообразие цветов и позволяет специалистам решать важные практические задачи.

бора провести несколько весьма интересных опытов. Для изготовления прибора надо взять небольшой кусок чисто вымытого и отполированного зубным порошком стекла и кусочек черного бархата. Не беда, если бархата не окажется, вместо него можно воспользоваться книгой в черном матовом переплете. Кроме стекла и бархата, понадобятся также кусочки белой бумаги, раскрашенные акварельными красками в следующие цвета: красный, оранжево-красный, желтый, желто-зеленый, голубовато-зеленый, синий и фиолетовый. Краску следует наносить как можно ровнее по несколько раз, давая просохнуть предыдущему слою.



Простейший прибор для аддитивного образования цветов. Перед стеклом и сзади него следует положить раскрашенные листы бумаги (лучше всего их класть на черный бархат); в стекле будет виден результирующий цвет.

Вид прибора показан на рисунке. Принцип действия его заключается в том, что с помощью стекла удастся совместить потоки света (и изображения) от двух участков поверхности и направить их в глаза наблюдателя. Один из участков поверхности лежит за стеклом; мы видим его потому, что стекло прозрачно. Второй участок находится перед стеклом; его изображение попадает в глаза наблюдателя, отразившись, как в зеркале, от передней поверхности стекла. Обычно оно отражает не более 10 процентов падающего света. Поэтому поток отраженного света будет значительно слабее потока, приходящего из-за стекла, но это поправимо.

С помощью прибора мы можем смешивать лучи света двух различных цветов. Источниками света будут служить раскрашенные листки бумаги. Нам известно, что листок синего цвета отразит синие лучи, листок желтого — желтые, и так далее.

Расположите листки так, чтобы их изображения, видимые в стекле, накладывались друг на друга. Затем попробуйте наклонять стекло на себя. Этим вы увеличите количество отраженного света и уменьшите количество проходящего света.

Таким образом, меняя наклон стекла, можно смешивать два цвета в самых разнообразных пропорциях.

Освоившись с методикой опыта, обратите внимание на изменение цвета совмещенного изображения. Для сравнения сместите листки друг относительно друга так, чтобы на каждом из них оставались непере-

крытые участки. Тогда вы увидите в стекле одновременно два исходных цвета и результат их смешения.

Для начала положите за стеклом красный листок, а перед ним — белый.

Когда стекло установлено перпендикулярно к основанию, отражение от белого света мало, зато красный свет проходит почти полностью. Поэтому цвет, видимый в стекле, получается ярким и чистым, особенно если листки лежат на черном бархате.

Такой яркий цвет в колориметрии называется насыщенным или чистым<sup>1</sup>.

При увеличении доли белого света результирующий цвет становится все более белесым, все более блеклым. Чистота его уменьшается по мере увеличения наклона стекла. Подобные же результаты получатся, если опыты повторять с листками других цветов.

На основании этих опытов приходим к выводу, что смешение белого света с хроматическим приводит к уменьшению чистоты или насыщенности цвета. При изменении чистоты меняется и цвет. Как и в случае смешения черного с белым, создается целая гамма цветов, отличающихся друг от друга только чистотой. Но, хотя цвета в этой гамме и различны (и их бесконечно много), основной цветовой тон не зависит от количества добавляемого белого света — тон остается неизменным.

Теперь уже можно наметить некоторые параметры, характеризующие каждый отдельный цвет в такой гамме.

Вот они: цвет исходного тона и чистота цвета. Если мы по-прежнему будем обозначать цветовой тон только словами, то это будет недостаточно понятно. Поэтому исходный цветовой тон всегда связывают с длиной волны. Тогда все становится совершенно определенным. Так, цветовой тон  $\lambda = 400$  миллимикрон означает, что из группы фиолетовых тонов выбран такой, длина волны которого равна названной.

Что касается чистоты цвета, то она дается в процентах и показывает, сколько единиц светового потока белого света и сколько единиц светового потока с заданным цветовым тоном содержится в получившемся при смешении цвете.

Что произойдет, если смешивать два хроматических тона?

Это можно выяснить с помощью нашего прибора. Для начала заметим белый листок желтым. Результирующие цвета в зависимости от наклона стекла будут меняться от красного к желтому, проходя через разные оранжевые оттенки. Такой результат не удивителен. Едва начав рисовать, мы уже знаем, что желтый и красный цвета, смешиваясь, дают оранжевый.

Но во всех ли случаях интуиция и опыт позволят предугадать новые цвета?

<sup>1</sup> Тона солнечного спектра, если их рассматривать в затемненной комнате, являются совершенно чистыми. Чистота каждого цвета спектра равна 100 процентам. Как ни странно, но белый цвет в колориметрии самый «грязный», его чистота — 0 процентов.

Попробуйте предсказать, какие получатся цвета, если смешивать:

красный	и синеvато-зеленый,
оранжево-красный	и голубовато-зеленый,
желтый	и синий,
желто-зеленый	и синий,
зелено-желтый	и фиолетовый.

Лучше при этом записать свои предположения, особенно если опыт проводится не в одиночестве, и лишь потом проверить на приборе. Проводя проверку, следует каждый раз так подбирать наклон стекла, чтобы получающийся новый цвет не содержал исходных цветов. Опыт надо проводить крайне тщательно и без всякого предубеждения к результатам. Их тоже следует записать.

Боюсь, что ни один из полученных ответов не сойдется с тем, что было предсказано. Но огорчаться не стоит. Ведь в науке предвидеть что-либо можно, лишь опираясь на теорию. Нам же она пока неизвестна.

Зато если вы внимательно разберетесь в том, что получилось, то удастся обнаружить очень важный для создания этой теории факт. Все пары выбранных цветов, смешиваясь в определенной для каждой пары пропорции, дают один и тот же цвет. Более того, получается серый, ахроматический цвет, хотя во всех случаях исходными были хроматические цвета.

Вполне возможно, что получить настоящие ахроматические цвета не удастся, а вместо них будут наблюдаться белесовато-грязные оттенки. Но это объясняется тем, что, называя цвета, мы продолжали пользоваться обычными названиями цветов, и тем, что листки трудно окрасить достаточно хорошо. Если же подобные опыты провести более тщательно, то результат будет совершенно определенный — получающийся новый цвет окажется белым (или серым, в зависимости от яркости). Зная результаты опыта, можно вновь повторить его, на этот раз с большим успехом.

Опыты такого рода, проведенные учеными, имели чрезвычайно важное значение. Они показали, что устройство нашего глаза таково, что ощущение белого цвета можно вызывать, смешивая не все цвета солнечного спектра, а всего лишь два. Таковы первое, проверенное нами опытным путем свойство цветового зрения человека и правило смешения цветов.

Конечно, не всякая пара цветов дает при смешении белый. Это ясно на примере пары «красный — желтый».

Два цвета, которые, смешиваясь в определенной пропорции, дают белый или какой-либо другой цвет из ахроматического ряда, называются дополнительными. В природе существует бесконечное множество пар дополнительных цветов, в том числе и монохроматических или спектрально чистых.

Для того чтобы ваш опыт наверняка удался, следовало бы взять следующие пары:

красный	( =656 мкм)	и синеvато-зеленый	( =492 мкм),
оранжево-красный	( =608 мкм)	и голубовато-зеленый	( =490 мкм),
желтый	( =585 мкм)	и синий	( =485 мкм).

Любителям живописи следует обратить особое внимание на то, что дополнительные цвета, нанесенные рядом друг с другом или один на фоне другого, дают сильный и приятный для глаза цветовой контраст. Об этом свойстве дополнительных цветов догадывались уже очень давно — во времена Возрождения. А художники нового времени сознательно прибегают к нему. Так знаменитый французский художник Дега даже в рисунках пользовался этим свойством, достигая великолепных эффектов. Дега часто рисовал не на белой, а на тонированной бумаге: зеленой, розовой, серовато-зеленой. При этом цвет карандаша он выбирал дополнительным к цвету бумаги или же подкрашивал отдельные места рисунка дополнительным цветом.

Любителей живописи заинтересует и другой факт. В любой паре дополнительных цветов один всегда принадлежит к группе теплых, а другой — к группе холодных. Теплые тона — это такие, в которых содержатся лучи красного и оранжевого цвета, холодные же тона содержат лучи синего и голубого цвета.

Можно ли без специальных приборов наблюдать дополнительные цвета? Оказывается, да. Один из способов основан на инерционности зрения, точнее, на использовании негативных последовательных образов.

Так, например, после пребывания в течение нескольких минут при свете синей медицинской лампы обычный свет кажется совсем желтым. За последние два года на улицах Москвы появилось много ртутных ламп. Они дают очень сильный зеленоватый свет. Глаз, привыкая к такому свету, видит ночное небо города необычным: оно приобретает фиолетовый оттенок. Посмотрев через зеленую целлофановую пленку и затем отняв ее от глаз, можно увидеть окружающее в розовом свете.

Наблюдать цветные последовательные образы можно, воспользовавшись приготовленными для предыдущих опытов цветными листками. Повернитесь спиной к свету и, держа хорошо освещенный листок перед глазами, пристально смотрите на него в течение 30—40 секунд. Затем быстро переведите взгляд на равномерно освещенный лист белой бумаги. Через несколько секунд появится негативный последовательный образ, сперва туманный и едва заметный, затем более яркий и отчетливый.

Не следует удивляться, если обнаружится, что его размеры отличаются от размеров окрашенного листка. Их изменение зависит от отношения расстояний, на которых находились окрашенный и белый листок. Если расстояния равны, то равны и размеры последовательно-

го образа и объекта. Если белый лист находится на большом удалении, то последовательный образ окажется увеличенным и более блеклым. Если же белый лист находится на меньшем расстоянии от глаза, чем раскрашенный листок, то последовательный образ уменьшается, а его кажущаяся яркость увеличивается<sup>1</sup>. Лучше всего объект (в нашем случае — окрашенный листок) рассматривать на расстоянии вытянутой руки, а белый лист держать сантиметрах в тридцати от глаз. В этом случае последовательный образ получается достаточно ярким. Начинать опыты лучше всего с красного или зеленого листка.

В опытах по смешению цветов нам приходилось иметь дело с цветами не очень высокой чистоты. К сожалению, в домашних условиях почти невозможно провести их с чистыми спектральными тонами. А они дают очень интересные результаты. Так, если в некоторых пропорциях смешивать два спектральных цвета, каждый из которых обладает чистотой в 100 процентов, получающийся цвет будет иметь чистоту, меньшую 100 процентов. В предельном случае, то есть при смешении дополнительных цветов, чистота результирующего цвета снизится до 0 процентов. Иными словами, он станет белым. Правда, и в этом правиле есть исключение: тона спектра с длинами волн от 575 до 700 миллимикрон, смешиваясь, вызывают ощущение чистого спектрального цвета, с длиной волны, находящейся внутри указанного диапазона.

В природе существует одна очень важная группа цветов, полностью отсутствующая в спектре. Это все пурпурные цвета. Они состояются из смеси красных лучей с фиолетовыми или красных с синими. Такая смесь дает очень красивые оттенки. О них можно получить представление, вновь обратившись к помощи нашего прибора.

Итак, смешивая два хроматических цвета или хроматический с белым, можно получить бесконечное количество новых цветов. Можно ли таким способом получить любой из существующих цветов? Да, можно. Но для этого потребуются непрерывно менять пары исходных хроматических цветов. Если же пара остается неизменной, то, как мы знаем, можно получить бесконечную гамму цветов, но отнюдь не всю совокупность существующих цветов.

Ученых и живописцев уже с давних пор интересует вопрос: какое же наименьшее количество неизменных исходных (основных) цветов потребуется, для того чтобы, смешивая их в разных комбинациях и пропорциях, можно было получить все существующие в природе цвета?

Вот как отвечал на этот вопрос образованнейший человек своего времени, знаменитый архитектор эпохи Возрождения Леон Баттиста Альберти (1404—1472):

---

<sup>1</sup> Тем, кто хочет более глубоко изучить свойства глаза, стоит подумать над этим фактом и попытаться объяснить его. При этом следует учитывать законы построения изображения в глазу, которые здесь совсем не затрагивались. Что же касается изменения чистоты дополнительного цвета последовательного образа в зависимости от расстояния, то для объяснения надо принимать во внимание изменение площади участка белого листа, на фоне которого наблюдается или на который проецируется последовательный образ.

«Мне кажется очевидным, что цвета изменяются под влиянием света, ибо каждый цвет, помещенный в тени, кажется не тем, какой он на свету. Тень делает его темным, а свет, в том месте, куда он ударяет, делает его светлым. Философы говорят, что нельзя видеть ничего, что не было бы освещенным и окрашенным. Итак, цвета в отношении видимости очень родственны светам; а насколько они родственны, вы видите по тому, что при отсутствии света отсутствуют и цвета, а по возвращении света возвращаются и цвета. Итак, сначала мне хочется сказать о цветах, а затем исследуем, как они изменяются при свете. Будем рассуждать, как живописцы. Я утверждаю, что от смешения цветов рождается бесконечное множество других цветов, но истинных цветов столько, сколько стихий<sup>1</sup>, — четыре, от которых, постепенно умножаясь, рождаются другие виды цветов. Цветом огня будет красный, воздуха — голубой, воды — зеленый и земли — серый или пепельный. Другие цвета, как яшма или порфир, — смесь этих цветов. Итак, существуют четыре рода цвета, которые образуют свои виды в зависимости от прибавления темного или светлого, черного или белого; эти виды почти неисчислимы...

...Итак, примесь белого не меняет род цвета, но создает его разновидности. Так же и черный цвет обладает подобными же свойствами — производить свою примесь бесчисленные разновидности цветов. Мы видим, что в тени цвета густеют, а когда усиливается свет, цвета становятся ярче и светлее. Поэтому нетрудно убедить живописца, что белое и черное не суть настоящие цвета, но лишь изменения других цветов...»

Столь длинная выписка из работы Альберти была сделана для того, чтобы читатель яснее представил, как много знали, а вернее — гениально предчувствовали, лучшие люди итальянского Возрождения. Ведь с тех пор, как Альберти написал свои «Три книги о живописи», прошло несколько сот лет! Но как много из того, что утверждал он на основании своего опыта и поразительной наблюдательности, подтвердилось наукой почти через пятьсот лет.

Из приведенных слов совершенно ясно следует, что четыре цвета — красный, голубой, зеленый и серый — являются основными, а все остальные — производными. Это утверждение очень близко к истине, но все же не сама истина. Если бы в число названных Альберти цветов не входил серый, знаменитого архитектора можно было бы считать основателем современной теории цветов.

Первым, кому удалось точно указать количество основных исходных цветов, был М. В. Ломоносов. В своем «Слове о происхождении света, новую теорию о цветах представляющем, в публичном собрании Императорской Академии наук июля 1 дня 1756 года говоренном» Ломоносов высказал мысль, что все цвета можно произвести, смешивая лишь три исходных. В подтверждение «сея системы» Ломоносов ссылаясь на многочисленные опыты, «которые особливо мною учинены в изыскании разноцветных стекол к мозаичному художеству».

---

<sup>1</sup> Стихи — огонь, воздух, вода, земля.

Современная теория цветов и цветового зрения была создана трудами Юнга и Гельмгольца. Очень многое сделал в этой области и Максвелл.

Колориметрия наших дней, основанная на принципе трех основных цветов, представляет собой стройную науку. Она позволяет точно предсказывать результаты смешения и определения состава сложных цветов. Она дала в руки специалистов простой и надежный метод расчетов, пригодных для всей бесконечной совокупности существующих в природе цветов. В качестве трех основных цветов выбраны чистые спектральные тона: красный ( $\lambda = 700$  мкм), зеленый ( $\lambda = 546,1$  мкм) и синий ( $\lambda = 435,8$  мкм)<sup>1</sup>.

Нет смысла объяснять здесь теоретические тонкости колориметрии и методы расчетов. Важно одно: теория и практика колориметрии целиком основаны на свойствах цветового зрения человека, определенных опытным путем и выраженных в соответствующих математических соотношениях.

Эти соотношения, в частности, позволили ученым создать сравнительно несложный цветовой график. Пользуясь им, специалисты могут отвечать на все вопросы, связанные с образованием цветов. Вы можете увидеть цветовой график на рисунке. В принципе каждая точка на поверхности графика соответствует одному из существующих в природе цветов. Этот график отличается от практически применяемых отсутствием ряда вспомогательных линий и тем, что художник для наглядности нанес на нем цвета. Разумеется, он не мог нанести бесконечное количество их, но общее расположение и переходы цветов выполнены правильно.

До сих пор мы говорили о смешении цветов путем добавления друг к другу световых потоков разных цветов. Такой способ называется аддитивным (буквально — слагательным) смешением цветов.

Другой способ основан на слиянии в глазу отдельных чистых тонов, наносимых на поверхность мелкими точками в непосредственной близости друг к другу. В этом случае используется известное нам свойство глаза — острота зрения. Если расстояние между точками и их размер таковы, что глаз не может различить их как отдельные, то они сливаются в единое пятно, цвет которого определяется тонами отдельных точек.

Такой метод смешения красок применяли некоторые художники, однако в живописи этот метод не оказался особенно плодотворным, и в настоящее время он не применяется. Зато в текстильной промышленности он применяется очень часто: ткань составляется из тонких нитей различных цветов. В результате смешения ее цветовой тон отличается от цветов нитей.

Но, пожалуй, наиболее полезным методом пространственного смешения цветов оказался в телевидении. В настоящее время все системы цвет-

---

<sup>1</sup> Основными могут быть взяты и три других тона, но обязательно из группы красных, зеленых и синих.



ного телевизионного вещания и многие цветные телевизионные системы специального назначения созданы на основе этого принципа.

Пытались применить его при создании фотопленки для цветной фотографии и кинематографии. Перед второй мировой войной она даже поступила в продажу. Но в последующие годы от такой пленки отказались.

В настоящее время широкое распространение получила цветная пленка, в которой образование цветов осуществляется субтрактивным (буквально — вычитательным) методом.

Возможность такого образования доказывает, в частности, существование дополнительных цветов. В самом деле, какой цвет мы увидим, если каким-либо путем вычтем из лучей белого света красные лучи? Мы увидим дополнительный к красному — зеленый цвет.

Действие светофильтров как раз и основано на субтрактивном образовании цветов. Так, про зеленый светофильтр можно сказать, что он пропускает зеленые лучи. Но столь же верно и то, что зеленый светофильтр не пропускает лучей красного цвета; то есть, находясь на пути белого света, он вычитает из него все красные лучи. Подобным образом действуют и светофильтры остальных цветов.

Теория показывает, что субтрактивный метод также позволяет образовывать из белого света все цвета с помощью трех светофильтров: красного, голубого и зеленого. Для получения нового цвета необходимо подбирать в определенном соотношении плотность (пропускание света) каждого из светофильтров. При фотографировании на цветной пленке такой подбор происходит автоматически.

Цветная печать в полиграфии, пользование акварельными и некоторыми другими видами красок тоже основаны на субтрактивном образовании цветов. В этих случаях, однако, процессы их образования осложняются целым рядом дополнительных обстоятельств, которые не позволяют столь же просто и точно предсказывать цвета не опробованных еще сочетаний красок. Поэтому часто приходится прибегать к практической проверке и пробам.

## **ОТ ФАКТОВ К ТЕОРИИ**

Как увязать между собой все многообразие фактов, относящихся к цветовому зрению?

Как связать их с устройством глаза?

И, наконец, как объяснить способность нашего зрения различать между собой огромное количество цветов и столь тонко чувствовать разницу в оттенках?

В общих чертах устройство глаза уже известно читателю. Знакомы ему и многие факты, связанные с цветовым зрением. Пока об устройстве глаза и его свойствах сообщались только факты, можно было принимать их на веру. Но, чтобы понять их связь, понять, почему они та-

ковы, какие из них являются основными, а какие — следствиями, необходимо вкратце познакомиться с теорией.

До настоящего времени из всех предложенных наиболее удачной считается теория, разработанная Юнгом, Гельмгольцем и Максвеллом. Она носит название трехкомпонентной теории цветового зрения. Такое название дано ей не случайно. Дело в том, что исходный пункт, основа ее заключается в предположении о наличии в глазу трех цветочувствительных приемников, или элементов, из которых один реагирует преимущественно на лучи красного света, другой — на лучи зеленого, а третий — на лучи синего света.

По законам пространственного смещения цветов каждый цветочувствительный центр сетчатки должен содержать все три типа приемников. Так, если в данную точку сетчатки попадает луч красного света, то возбудится только красночувствительный элемент, оба других в это время не будут посылать сигналов в мозг. Если же в глаз приходит сложный, хроматический свет, например желтый, то сигналы в мозг будут поступать уже от двух приемников — от красночувствительного и зеленочувствительного. Ощущение белого света возникает, когда все три приемника одновременно и в сильной степени будут возбуждены светом.

Практика, опыт являются лучшими методами проверки любой теории. Это справедливо и в данном случае. Те, кто разобрался в явлении смещения цветов, сразу поймут, что трехкомпонентная теория хорошо согласуется с фактами. С ее помощью можно качественно и количественно объяснить явление смещения цветов, существование дополнительных цветов, цветовых последовательных образов.

Эта теория, в частности, позволяет объяснить причины довольно распространенного порока зрения, называемого дальтонизмом. Люди, страдающие дальтонизмом, плохо различают некоторые цвета. Дальтоников не так уж мало: до 9 процентов среди мужчин, но всего 0,5 процента среди женщин. Этот порок получил название по имени известного английского химика Дальтона, о котором упоминается во всех учебниках по химии. Но редко кто знает, что он, обладая таким недостатком зрения, тщательно изучил его и описал в литературе, чем и объясняется название, присвоенное этому пороку.

Наиболее часто дальтоники не различают красного и зеленого, в то время как другие цвета воспринимаются ими нормально. Зная теперь о трех компонентах, о трех приемниках цвета, мы можем предположить, что могут быть люди, не воспринимающие синих цветов. Действительно, такие люди встречаются, но очень редко. Еще реже встречаются такие, которые вовсе не различают цветов.

Следует предупредить читателей, что очень часто дальтоники даже не подозревают о недостатке своего зрения. Прибегая к аналогии с восприятием звуков, дальтоников можно уподобить людям с плохим музыкальным слухом. В некоторых случаях дальтонизм может привести к тяжелым последствиям, особенно на транспорте, где красный и зеленый сигналы являются приказами взаимно-противоположного смысла.

Самым лучшим критерием правильности трехкомпонентной теории является ее успешное применение в технике. Именно на основе этой теории современная техника создала цветную фотографию и цветное телевидение, разработала новейшие источники света, вызвала к жизни цветную полиграфию и значительно расширила возможности лакокрасочной промышленности. Художникам, предчувствовавшим ее, быть может, раньше всех, она тоже оказала и продолжает оказывать неоценимую помощь.

## НЕОБЪЯСНИМЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Нынешняя теория цветного зрения довольно стара. Она в основном была создана во второй половине прошлого века. В наши дни, когда в физике идет непрерывное обновление, непрерывная смена теорий, возраст ее кажется очень большим и вызывает у некоторых даже не меньшее удивление, чем возраст какого-нибудь старого, но все еще не побитого спортивного рекорда.

Чем же объяснить столь почтенный возраст этой теории?

Тем ли, что она верна, или тем, что ей не уделяли должного внимания?

Частично справедливы оба предположения.

Хотя абсолютных теорий не бывает, нынешняя теория цветового зрения оказалась в состоянии объяснить ученым и инженерам практически все интересовавшие их до сих пор факты. Это доказывает, что ее следует считать правильной.

Но в некоторой степени справедливо и второе предположение. Теория взаимодействия света и глаза действительно не находилась в центре внимания физической науки всех этих лет. Главное направление физики шло в области исследования света как такового, атома, его ядра и элементарных частиц. Некоторые выдающиеся естествоиспытатели отдавали свои силы выяснению взаимодействия света и глаза, но в общей совокупности физических исследований их усилия составляли малую долю, хотя решали они задачу, сложность которой люди сумеют оценить лишь в будущем. К этому следует добавить, что эту задачу должны решать не только физики, но и специалисты из многих других областей науки, что до последнего времени тоже усложняло дело.

И, быть может, хорошо, что получилось именно так. Потому что дальнейшие открытия в области воздействия света на глаз и нервную систему человека могут оказаться столь серьезными и важными, что их стоит оставить до лучших времен, когда эти открытия будут использоваться только во благо, а не во вред людям. Следует подчеркнуть, что подобных открытий может и вовсе не случиться, но при современном уровне знаний предположение об их принципиальной возможности не следует считать чистой фантазией. В самое последнее время зародилась новая наука — бионика. Одной из ее задач является изучение органов

чувств человека и животных, чтобы понять, как они устроены, и создать по их подобию искусственные органы чувств. У большинства животных зрение является основным чувством, и ему, естественно, уделяется особое внимание. Можно не сомневаться, что эта наука сумеет сделать новые очень интересные и важные открытия.

Трехкомпонентная теория цветного зрения существует без принципиальных изменений так долго потому, что до сих пор она оказалась в состоянии объяснить практически все известные факты, и потому, что великолепно оправдала себя на практике.

Кроме того, до недавней поры не знали о сколько-нибудь серьезных фактах, объяснить которые оказалось бы не под силу этой теории. То есть необходимости в пересмотре ее до последнего времени не возникало. Но в пятидесятые годы были открыты новые факты.

Что же это за факты?

Прежде всего, это — отсутствие твердых доказательств о наличии в глазу трех цветочувствительных приемников, на предположении о существовании которых основывается трехкомпонентная теория. Уже в течение многих лет пытаются отыскать их в глазу. Доподлинно известно, что на цвет реагируют колбочки. Поэтому имелось предположение, что не все колбочки одинаковы, а делятся на три типа: одни чувствительны к красным, другие — к зеленым, третьи — к синим лучам. Но не все ученые так думали, некоторые считали, что все колбочки одинаковы, но в них существуют некие центры или некие химические процессы, по-разному реагирующие на разные цвета.

Для проверки подобных предположений ставились и ставятся многочисленные опыты. Их результаты часто бывали очень противоречивыми. И временами казалось, что доказательства о существовании трех видов цветочувствительных приемников уже в руках ученых. Но на поверку все выходило не так просто. И в настоящее время многие исследователи не склонны считать, что существующие гипотезы — по крайней мере, в том виде, как они формулируются теперь, — являются верными. Более того, в результате исследований последних лет возникли серьезные сомнения в самой природе восприятия света с помощью зрительных пигментов (иодопсина, родопсина). Сейчас некоторые ученые высказывают даже предположения о том, что фотохимическая теория зрительных процессов в глазу может оказаться неверной.

Уже много лет ученым известно очень простое устройство или, скорее, забавная игрушка с удивительными свойствами. Устройство это называется диском Бенхема и представляет собой круг, закрасненный до половины в черный цвет; на второй половине круга по белому полю расположены черные парные дуги разных радиусов. Подобный диск помещен в приложении к книге. Вырежьте его, наклейте на кусок картона и сделайте из него волчок.

Раскрутив диск Бенхема, вы увидите неожиданное явление. Черно-белый диск становится вдруг цветным. На его поверхности появляются цвета. Они слабые и ненасыщенные, но все же хорошо заметны. Цвета

эти непостоянны. По мере того как обороты диска падают, они меняются<sup>1</sup>.

Несколько лет назад английские специалисты в области телевидения, видимо основываясь на этом же явлении, провели очень интересный опыт. Однажды во время передачи английские телезрители увидели на экранах своих приемников торговую рекламу бульонных кубиков. Это было неподвижное изображение с очень простыми формами. На него вряд ли обратили бы внимание, если бы это изображение не оказалось цветным. Цвета были блеклые, но явственно заметные. Это привлекло всеобщее внимание — ведь телевизоры были не цветными, а обычными.

Любая полная научная теория должна объяснять все известные науче факты, относящиеся к какой-либо области. Это справедливо и по отношению к общепринятой теории цветового зрения. Она тоже должна была бы объяснить действие диска Бенхема и опыт английских инженеров. Однако, по крайней мере в настоящее время, она не дает такого объяснения. Можно, конечно, считать явление цветов в диске Бенхема частным, нехарактерным случаем, потому что практически на наш глаз всегда действует постоянный свет, а от этого диска приходит свет пульсирующий. Но такой ответ может удовлетворять науку лишь до определенной поры, пока таких частных случаев мало, пока не появляется хотя бы один существенно важный.

И если бы такой важный факт не стал известен, то подобной неопределенной ссылкой на частный и нехарактерный случай пришлось бы закончить главу о зрении. Но в самом начале 1959 года в науке о цвете, спокойно развивавшейся на основе классической теории в течение многих десятилетий, случилось событие огромной важности.

На одном из заседаний Национальной академии наук США выступил физик Эдвин Лэнд. Тот самый Лэнд, который за десять лет до того изобрел быстрый фотографический процесс, применяемый теперь в некоторых фотографических камерах, и в частности в фотоаппаратах «Момент». В этот раз Лэнд докладывал о некоторых опытах по теории цветового зрения, которые он проводил со своими сотрудниками в течение нескольких лет. Результаты опытов столь интересные, что, по крайней мере, об одном из них стоит подробно рассказать.

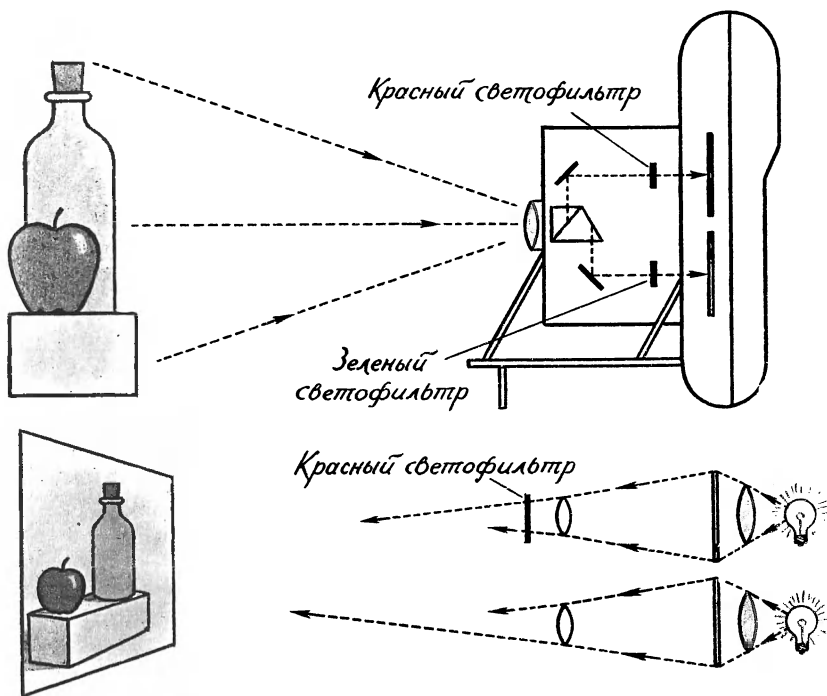
Для осуществления опыта была сконструирована специальная sdвоенная фотографическая камера. От обычной она отличается тем, что световой поток, прошедший через объектив, с помощью особого устройства делится на два, из которых каждый падает на отдельную фотопластинку. Изображения на обеих пластинках получаются абсолютно одинаковыми, так как объектив общий и фотографирование на обе пластинки производится в одно и то же время.

Но есть и различие. Оно состоит в том, что на пути каждого из све-

---

<sup>1</sup> Я заметил, что разные люди, глядя на диск одновременно, несколько по-разному видят появляющиеся цвета. Проверьте в кругу своих товарищей, правильно ли это наблюдение. Заметьте так же, как меняется расположение цветов при изменении направления вращения.

товых потоков ставятся разные светофильтры. Один из них пропускает лучи света с длинами волн больше 585 миллимикрон, то есть оранжевые и красные. А другой — только лучи с волнами короче 585 милли-



Сдвоенная фотокамера (сверху) и сдвоенный проектор Лэнда. В фотокамере с помощью специальной системы призм, установленных позади общего объектива, создается два одинаковых изображения. Для того чтобы осуществить цветоделение, перед пластинками установлены светофильтры. Изображения проектируются и совмещаются на общем экране. В проекторе имеются два независимых объектива.

микрон, то есть частично желтые и полностью зеленые, голубые, синие и фиолетовые<sup>1</sup>.

С полученных в этой камере негативов были отпечатаны диапозитивы. Назовем диапозитив, полученный от негатива, снятого в оранже-

<sup>1</sup> Если вы захотите поэкспериментировать в этой новой и очень интересной области, вы можете воспользоваться обычным фотоаппаратом. Его надо хорошо укрепить и делать снимки с неподвижной природы, лучше всего — с ярко расцвеченного натюрморта. В этом случае снимки придется делать по очереди: через оранжево-красный светофильтр и через зеленый или голубовато-зеленый. Не забудьте, что при съемке через разные светофильтры выдержки должны быть различными.

во-красном свеге, длинноволновым, а другой — коротковолновым. Представим себе, что натурой для этих фотографий послужил букет красных георгинов в синей вазе. Если внимательно взглядеться в диапозитивы, мы увидим, что формы предметов на них абсолютно одинаковы, но гамма серых цветов различна. На длинноволновом диапозитиве цветы будут совсем светлыми, а листья и ваза темными. Зато на коротковолновом диапозитиве цветы кажутся почти черными, а листья и ваза светлыми. Промежуточные цвета природы дадут нам на обоих диапозитивах различные серые цвета.

Такие негативы и диапозитивы называются цветоделенными и сами по себе не представляют новинки в практике цветной фотографии и цветной печати. Правда, обычно снимаются три негатива через три светофильтра: красный, зеленый, синий. Не ново и то, что делали Лэнд и его сотрудники дальше. Они вставляли оба диапозитива в сдвоенный проекционный аппарат и точно совмещали оба изображения на белом экране. При этом получалось черно-белое изображение.

Но не оно интересовало ученых. Они проектировали изображение с полученных диапозитивов в различных цветах: коротковолновый проектировался через тот же самый коротковолновый светофильтр, а длинноволновый — через длинноволновый светофильтр.

Но (это и есть самое главное) ученые задались таким вопросом: что произойдет, если оставить только один из светофильтров?<sup>1</sup>

Ответ же оказался поистине поразительным. Когда Лэнд убрал коротковолновый светофильтр (на это понадобились всего секунды!), картина на экране осталась многоцветной! Гамма цветовых тонов была не столь богатой, как в природе, но глаза отчетливо различали разнообразные цветовые тона и оттенки.

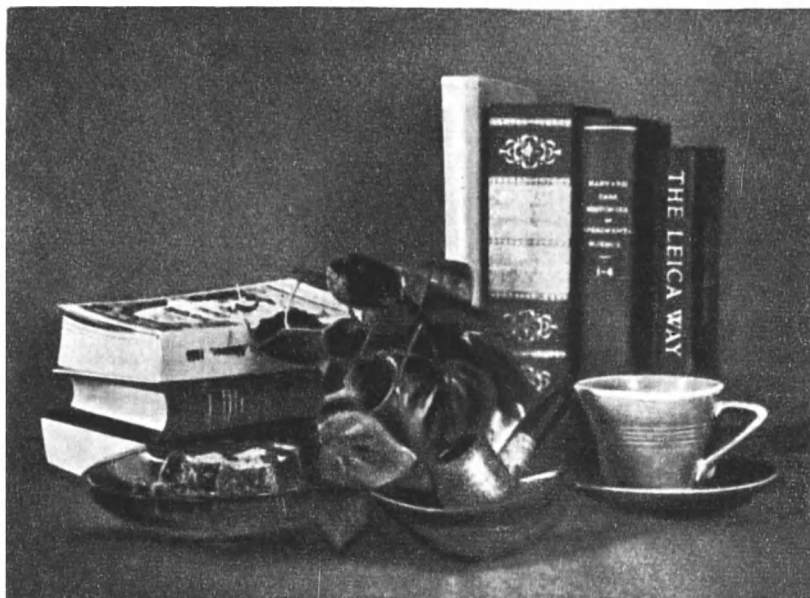
Что же изменилось, когда Лэнд убрал коротковолновый светофильтр?

Только одно — коротковолновый диапозитив стал проектироваться в лучах белого света вместо голубовато-зеленых. Длинноволновый же диапозитив продолжал проектироваться в лучах оранжево-красного света. И таким образом на экран стали падать лучи только белого и оранжево-красного света. Никаких других лучей не было. На экране эти лучи смешивались аддитивно, но важно то, что в каждой точке экрана пропорции смеси белого и оранжево-красного цветов были различными. Они зависели от степени потемнения каждого из диапозитивов в данной точке изображения.

Мы проделывали с вами опыты по аддитивному смешению цветов и, в частности, белого с красным и помним, что при изменении пропорции менялась только чистота, насыщенность красного цвета, но цветовой тон оставался неизменным — красным.

---

<sup>1</sup> В некоторых сообщениях об открытии Лэнда говорилось, что впервые он просто-напросто случайно забыл поставить один из светофильтров. В докладе Лэнда не упоминается об этой случайности. И, думается, ее действительно могло и не быть.



Черно-белые фотографии, полученные Лэндом с помощью сдвоенной фотокамеры и светофильтров. Обратите внимание на различия в этих фотографиях.



Лэнд прекрасно знал о законах аддитивного смешения цветов. И поэтому трудно вообразить себе состояние ученого, когда на его глазах (именно на глазах) в течение нескольких секунд эти законы, существовавшие незыблемыми в течение очень долгого времени, рухнули!

Что делали Лэнд и его сотрудники, совершив открытие, мы не знаем. Но что пришлось им делать далее, известно — работать и работать. Снова и снова повторять опыты, опровергать самих себя и искать новые подтверждения, новые факты, объясняющие открытие. И в первую очередь следовало проверить, нет ли ошибки в самом опыте. Ведь глаз видел разнообразные цвета там, где по теории должны были существовать только цвета одного тона — оранжево-красного. Это утверждала колориметрия, это же подтверждал многолетний практический опыт. И главное, подтверждали объективные оптические приборы, с помощью которых обследовали изображение на экране. Они показывали, что (как и следовало ожидать) в любой точке экрана существует только смесь белого света с оранжево-красным.

Но человеческий глаз действовал вопреки показаниям приборов, вопреки теории и даже, казалось, самой логике: он видел различные цветовые тона там, где их не должно было быть!

Вот что пишет по этому поводу сам Лэнд:

«В чем же состоит ошибка классической теории? Тот факт, что проблемой цветового зрения занималось столь большое число исследователей, исключает возможность ошибки. Ответ заключается в том, что почти все работы по цветовому зрению имели очень малое отношение к... цвету в том виде, в каком мы фактически воспринимаем его. В этих работах, по сути дела, изучались цветовые пятна, в частности пары таких пятен, подбиравшиеся до их совпадения по цвету. Заключение, к которым приходили ученые, молчаливо принимались для любых цветовых ощущений. Это утверждение, казавшееся весьма убедительным, прочно вошло в учебники физики. Лишь немногие ученые позволили себе усомниться в нем...<sup>1</sup>

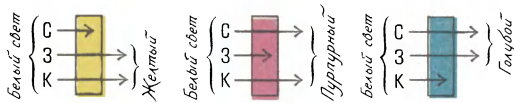
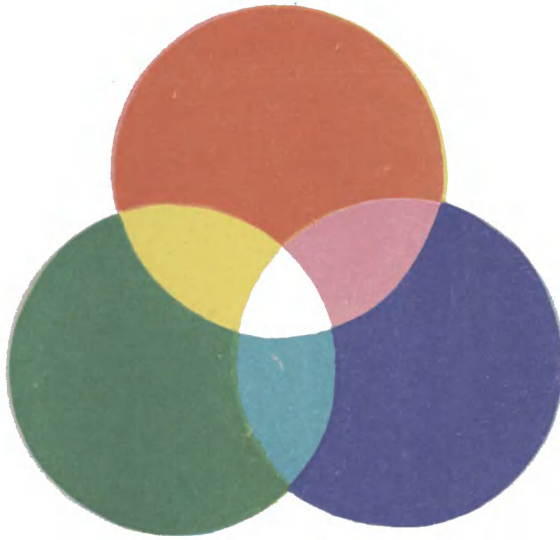
Таким образом, цветовое зрение в естественных условиях при наблюдении полных изображений (а не цветовых пятен) оказалось совершенно неисследованной областью!»

Не все ученые согласны с утверждением Лэнда о том, что его открытие не может быть объяснено с помощью классической теории. Некоторое время назад с возражениями Лэнду выступил ряд ученых.

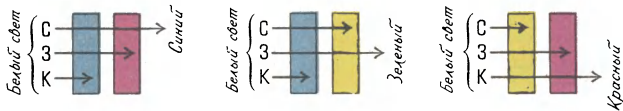
Пока еще рано судить, кто в конечном итоге окажется правым. Как бы то ни было, все специалисты сходятся на одном: новые факты имеют очень важное значение для науки. Возможно, именно они позволят понять работу не только самого глаза, но, что особенно важно, зрительных центров мозга и их взаимосвязь с остальными частями мозга.

---

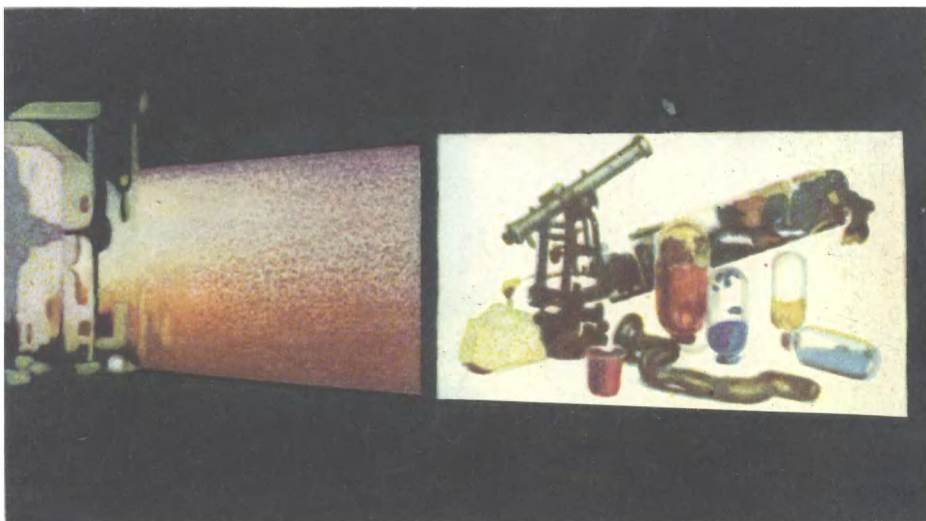
<sup>1</sup> Эти ученые изучали изменение цветов, когда цветное пятно просматривается на фоне другого цвета.



Аддитивное образование цветов. Зеленый с красным дают желтый; красный с синим — пурпурный; синий с зеленым — голубой; зеленый, синий и красный совместно дают белый цвет. Пропуская белый свет через светофильтры, мы получаем цвета. Желтый светофильтр задерживает синие лучи; прошедшие через светофильтр зеленые и красные лучи образуют желтый цвет. Пурпурный светофильтр пропускает синие и красные лучи и задерживает зеленые. Голубой светофильтр задерживает красные лучи и пропускает синие и зеленые.



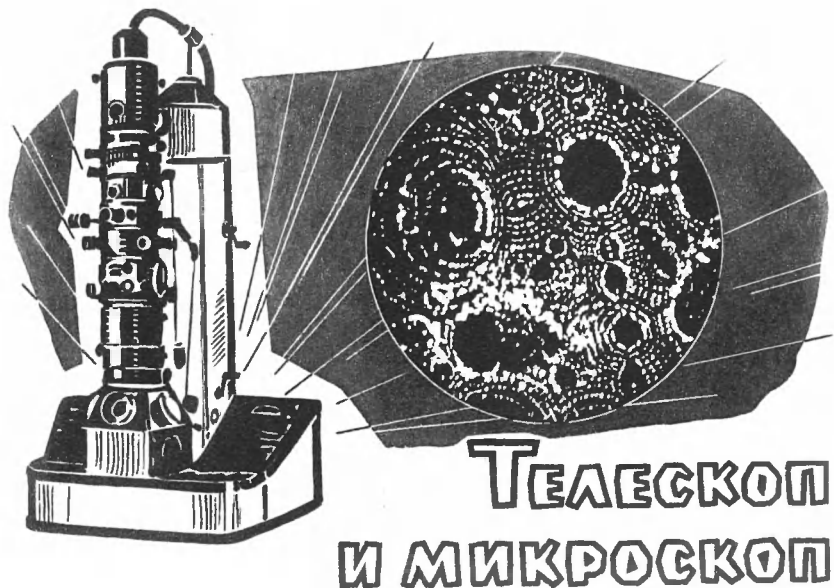
Субтрактивное образование цветов. Вычитая из пурпурных лучей желтые, получаем красный цвет; из желтых голубые — зеленый цвет; из пурпурных голубые — синий цвет. Вычитая из белого света пурпурные, желтые и голубые лучи, получаем черный цвет.



Образование цветного изображения по методу Лэнда.



Рисунок планеты Марс. Такой видят эту планету астрономы через наиболее совершенные телескопы.



*..старое, но грозное оружие.*

*В. В. Маяковский*

1600 год... Начало эпохи великих социальных и научных революций.

Начало века, в котором засияли в науке имена Галилея, Гюйгенса, Декарта, Кеплера, Лейбница, Ньютона. Эти люди так много сделали для науки, что благодарные потомки недаром ставили им памятники. Но, наверное, нет памятника тем безыменным голландским шлифовальщикам, чьими руками в самом начале того же XVII века был создан первый телескоп и первый микроскоп — самое важное оружие науки на протяжении многих-многих лет.

Трудно себе представить, что было бы, если в XVII веке не сделали все эти великие изобретения. Конечно, рано или поздно они все равно были бы сделаны. Но имена названных здесь ученых, возможно, и не вошли бы в историю, ибо научные заслуги большинства из них так или иначе связаны с использованием тех знаний, которые дал им телескоп.

Триста шестьдесят лет прошло с тех пор, как любопытный детский глаз заглянул в поставленные одна за другой линзы. За эти долгие годы

было сделано много великих открытий и изобретений, определивших облик нашей сегодняшней жизни. Но не все они продолжают служить человеку. Многие уже безнадежно устарели. Паровую машину сменили паровая турбина и электродвигатель. Паровоз уступает место более совершенным электровозу и тепловозу. Телеграф Морзе вытеснен телеграфом. А в недалеком будущем уйдут на покой и некоторые другие изобретения, принесшие в свое время великую пользу.

Но телескопу и микроскопу суждено существовать очень долго, а скорее всего — всегда.

Конечно, современные оптические инструменты сильно изменились в сравнении со своими «прародителями», но принцип их действия остался все тем же. Резко изменилось другое — точность и качество изготовления, а следовательно, и возможности этих инструментов.

## ТЕЛЕСКОПЫ

Все сведения о небесных телах доставляет нам свет. Только он является тем мостиком, который соединяет Землю с великой Вселенной. Уловленный телескопами и запечатленный на рисунках, фотопластинках и звездных картах, свет позволил астрономам накопить множество знаний и создать первые серьезные теории о происхождении и строении Вселенной.

Мы являемся свидетелями начала новой астрономии — астрономии эпохи космических путешествий. Эпохи, в которую человечество приступит к непосредственному исследованию многих небесных тел. Совсем недавно советскими людьми был запущен первый искусственный спутник. Но за это короткое время ученые и инженеры добились новых блестящих успехов. Эти успехи превзошли самые смелые прогнозы специалистов, недооценивших возможностей современной ракетной техники и темпов ее развития. Так, например, лет пять назад считалось, что высадка человека на Луну окажется осуществимой лет через сто после запуска первого спутника, теперь же можно смело сказать, что мы будем свидетелями этого великого события в 70-е годы нашего столетия.

Столь большие успехи породили у некоторых людей мнение, что теперь наступает пора прямых исследований и что телескоп со временем перестанет быть главным орудием исследования Вселенной, потому что путешествия человека к звездам и тем более на другие планеты сделают его ненужным.

Это — ошибочное мнение.

Несомненно, люди посетят планеты, и, видимо, в первую очередь Марс. И очень хотелось бы, чтобы это произошло еще при жизни создателей первого спутника. Но самые крупные планеты солнечной системы, к сожалению, еще надолго останутся недоступными для человека. Главное средство обороны этих планет от посягательств землян —

огромная сила тяготения. Так, например, на Юпитере, самой большой планете солнечной системы, все тела приобретают вес в 3 раза больший, чем на Земле. Даже если не будет никаких других препятствий<sup>1</sup>, посадка ракеты на Юпитер и ее возвращение хотя бы к одному из спутников этой планеты из-за очень большой силы тяготения вряд ли окажутся возможными в ближайшие десятилетия. Что же касается визита на какую-нибудь звезду или хотя бы близкого подлета к ней, то такая экспедиция никогда не будет возможной — достаточно лишь вспомнить о температурах, существующих на поверхности звезд, чтобы понять это.

Таким образом, телескоп навсегда останется одним из главных инструментов, с помощью которого будет вестись большинство астрономических наблюдений и исследований. Но это вовсе не означает, что развитие ракетной техники никак не повлияет на эти исследования. Оно уже начало сказываться на них. И о первых результатах здесь будет сказано несколько слов.

Часто говорят, что телескоп увеличивает наблюдаемые объекты. Это неверно. Изображение в телескопе всегда меньше наблюдаемого небесного тела. Правильнее говорить, что телескоп увеличивает угол, под которым наблюдается тот или иной объект. Иными словами, изображение в телескопе имеет увеличенные угловые размеры в сравнении с видимыми невооруженным глазом. Телескоп как бы приближает к нам наблюдаемые объекты. Однако такое увеличение не всегда возможно даже при использовании самых больших телескопов. И вот почему.

Объекты астрономических наблюдений в зависимости от угловых размеров, наблюдаемых невооруженным глазом, можно разделить на две категории.

К первой относят все небесные тела, угловой размер которых, определяемый как отношение поперечника тела к его расстоянию до Земли, достаточно велик. К таким объектам в первую очередь следует отнести Солнце и Луну, видимые под углом в  $0,5^\circ$ . Сюда же входят и планеты, хотя их угловые размеры значительно меньше: у Юпитера —  $57''$ , или  $0,0158^\circ$ , а у Марса — не более  $19,2''$ , или  $0,00535^\circ$ . Многие галактики тоже видны под большими углами, даже значительно большими, чем Солнце и Луна. Например, туманность Андромеды, вернее, ее главное тело, имеет около  $40'$  в ширину и  $160'$  в длину. Однако расстояние до нее так велико, что ее яркость соответствует девятой звездной величине. И даже глазу, вооруженному телескопом, она представляется не очень яркой звездой. Только фотографирование с большой выдержкой позволяет получить ее четкое изображение.

Вторая категория — так называемые точечные объекты — очень многочисленна. К ней относятся все звезды. Самая близкая из них так далека от нас, что численное значение отношения ее поперечника к расстоянию до Земли необычайно мало. Даже при максимальном теоре-

---

<sup>1</sup> Может оказаться, что Юпитер вовсе не имеет «тверди», то есть, что плотность внешних слоев его поверхности недостаточно велика.



тически возможном увеличении телескопа звезда все равно будет выглядеть светящейся точкой — такой же, как и при наблюдении невооруженным глазом. Изображение звезды в телескопе будет отличаться лишь большей яркостью да отсутствием лучей, которые мы видим у ярких звезд.

Итак, объекты первой группы при рассмотрении в телескоп приобретают большие угловые размеры, при этом на их поверхности могут быть различны детали, недоступные невооруженному глазу; а угловые размеры точечных объектов остаются практически неизменными.

Зачем же в таком случае рассматривать их в телескоп?

Прежде чем ответить на этот вопрос, отвлечемся от астрономии.

В некоторых районах нашей страны вода в источниках очень жесткая: она плоха и для стирки, и для мытья. В таких местах очень ценится дождевая вода. И, когда начинается дождь, люди, запасаясь водой, ставят под его струи ведра, корыта, тазы. Но ни одному даже самому несведущему в физике и математике человеку не придет в голову выставить под дождь бутылку — слишком мало капель попадет в ее узкое горлышко.

Нечто похожее происходит и при наблюдении звезд.

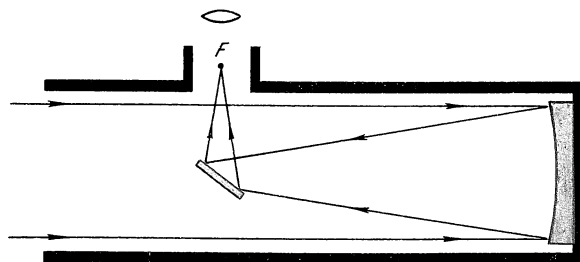
Все лучи, приходящие на Землю от какой-либо звезды, имеют практически одно и то же направление. Иными словами, пути всех фотонов, мчащихся от этой звезды к Земле, параллельны. Оптическая система, находясь на пути такого «дождя» фотонов, меняет направление каждого из них таким образом, что пути их перекрещиваются в одной точке. В глазу эта точка (фокус) находится на сетчатке, а в телескопе — в фокальной плоскости, где обычно устанавливается фотопластинка. Захваченные входным зрачком оптической системы световые кванты отдадут свою энергию: в глазу — палочкам и колбочкам, в телескопе — светочувствительным зернышкам фотозмульсии или опять-таки палочкам и колбочкам глаза наблюдателя.

В невооруженный глаз фотонов попадает очень мало, а на фотопластинку или в глаз наблюдателя, вооруженный телескопом, — значительно больше.

Это и понятно. Ведь наибольший диаметр зрачка человеческого глаза не превышает 8 миллиметров. И, следовательно, площадь, с которой глаз собирает капли светового «дождя» — фотоны, равна 50 квадратным миллиметрам. Зато входной зрачок построенного в США телескопа имеет диаметр 5000 миллиметров. Площадь его равна 19,6 квадратного метра, то есть примерно такая же, как площадь жилой комнаты средних размеров. Соотношение площадей двух этих зрачков показывает, что в единицу времени телескоп собирает в 392 тысячи раз больше фотонов. Хороший наблюдатель в самых благоприятных условиях может увидеть невооруженным глазом звезды шестой величины. С помощью 5-метрового телескопа ему же удастся увидеть звезды 18—19-й величины.

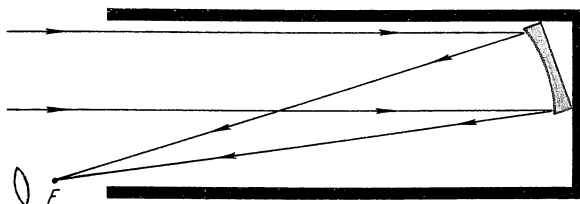
Невооруженный глаз в нашем случае можно сравнить с узкогорлой

бутылкой, а телескоп — с огромным чаном. И если продолжать эту аналогию, то при наблюдении в телескоп глаз можно уподобить бутылке, а телескоп — воронке с очень широким раструбом, собирающей все капли — фотоны и «вливающей» их в узкое отверстие глаза.



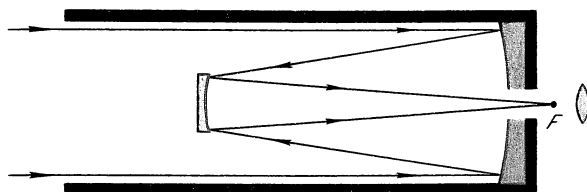
*Схема Ньютона*

В наше время астрономы довольно редко смотрят на звезды. Наблюдателя уже довольно давно сменила фотопластинка. Это удобнее по многим причинам, но наиболее важные из них, пожалуй, две.



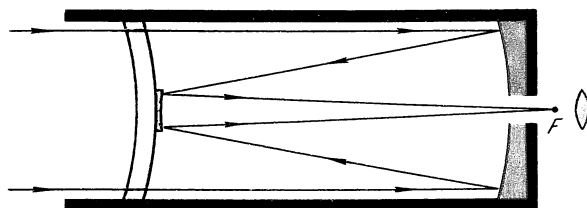
*Схема Ломоносова-Гершеля*

Во-первых, фотографирование лучше тем, что каждая фотография является самым достоверным документом, сохраняющим на века точнейшие данные о взаимном расположении наблюдаемых объектов, об их светимости и конфигурации, имевших место в то время, когда производилось фотографирование. Обнаружить какие-либо изменения можно, только сопоставив снимки одного и того же участка неба, сделанные в разное время.



*Схема Кассегрена*

Во-вторых, фотографирование позволяет обнаружить звезды и другие объекты, слишком слабые для невооруженного глаза. Это объясняется способностью светочувствительных зерен фотоэмульсии



*Схема Максутова*

Оптические схемы телескопов

суммировать во времени, накапливать фотохимическое действие фотонов. У глаза эта способность накапливать последовательные возбуждения от отдельных фотонов выражена в значительно меньшей степени. Кроме того, если количество фотонов, попадающих в данную палочку за единицу времени, меньше некоторого минимума (ниже некоторого порога), глаз вообще не ощутит света.

В «паспорте» каждой звезды имеется не только ее фотография, имя и адрес. В него же вписаны и особые приметы гражданки Вселенной — светимость (величина, характеризующая яркость звезды) и спектральный тип. Эти приметы помогают устанавливать специальные приборы — фотометры и спектрографы, применяемые совместно с телескопом. С помощью спектрографа фотографируется спектр звезды, а распределение энергии в этом спектре исследуется особочувствительными термометрами — термопарами.

В наши дни в распоряжении астрономов имеются телескопы различных типов и классов. Одни предназначены для исследования предельно доступных глубин Вселенной, но зато имеют очень малый угол поля зрения; другие так далеко в космос не проникают, но зато позволяют вести фотографирование довольно больших участков неба.

По принципу действия или, вернее, по оптической схеме телескопы можно разделить на три основные группы: рефракторы, рефлекторы и зеркально-линзовые. Первыми появились телескопы, в которых в качестве объектива использовалась собирающая линза, а в качестве окуляра — рассеивающая. По такой оптической схеме была собрана труба Галилея. Кеплер создал другую оптическую схему, по которой и сейчас выполняются рефракторы. В этой схеме собирающие линзы используются и в объективе и в окуляре.

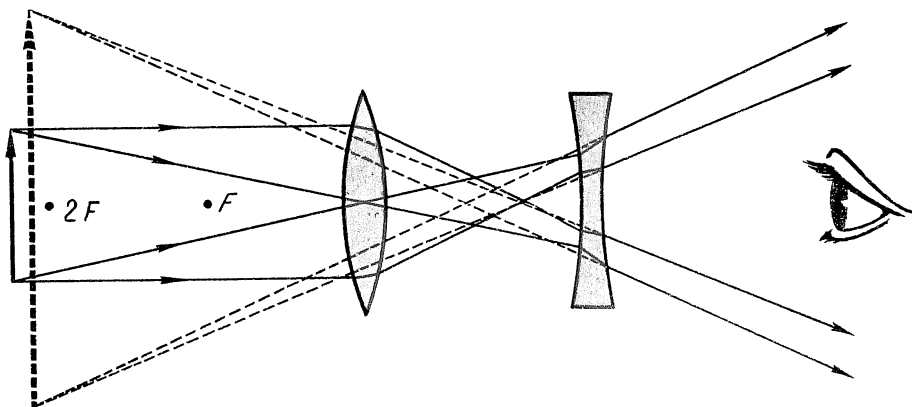
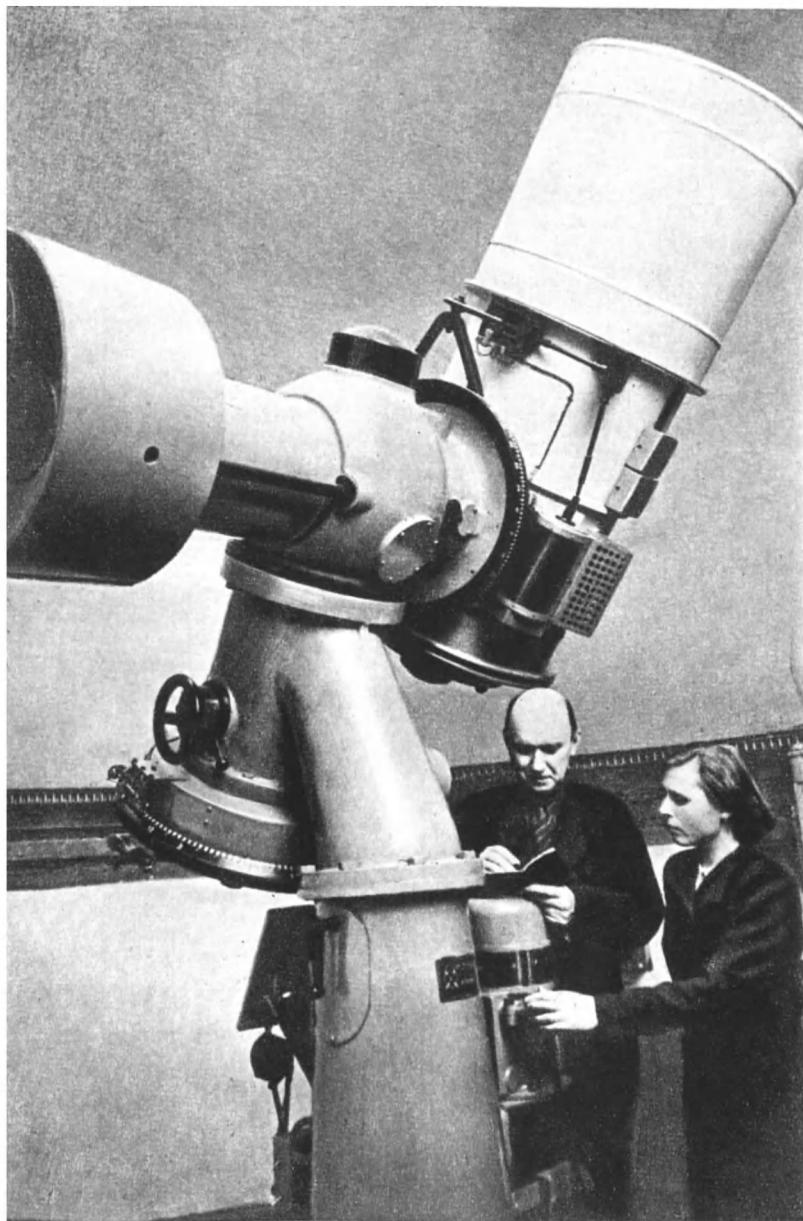


Схема трубы Галилея.



Телескоп Максутова. У телескопа автор Д. Д. Максутов.

Первые телескопы давали очень несовершенное окрашенное изображение. Ньютон объяснил причину этого недостатка и даже пришел к выводу, что устранить окрашивание в рефракторах невозможно. Это была ошибка. Но она имела не только вредные, но и полезные последствия: она натолкнула Ньютона на мысль о постройке телескопа по иной оптической схеме. Такой телескоп был собственноручно изготовлен ученым в 1668 году. Это был первый в мире рефлектор — телескоп, у которого в качестве объектива используется не собирающая линза, а вогнутое зеркало. Окрашивание объектов в рефлекторе принципиально

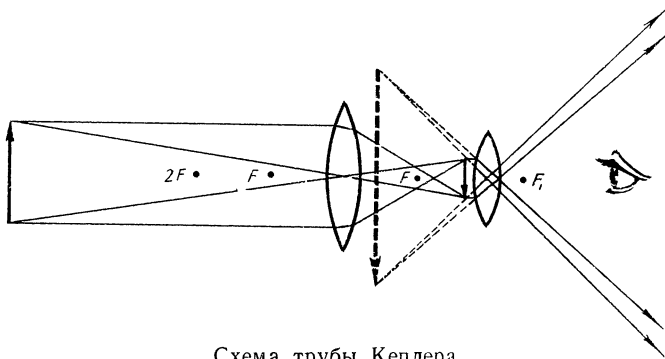


Схема трубы Кеплера.

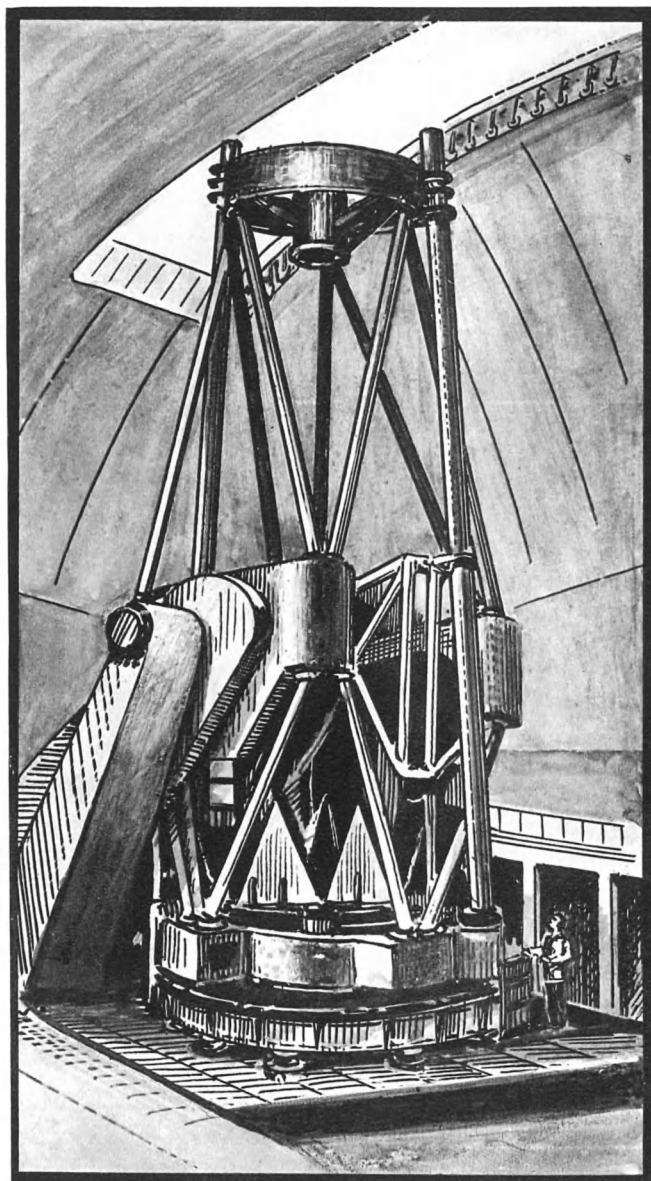
отсутствует, потому что свет не проходит сквозь линзу, а отражается от полированной поверхности зеркала.

Правда, сама идея рефлектора принадлежит не Ньютону — она была высказана еще за пять лет до него соотечественником великого физика — Грегори, но его оптическая схема несколько отличалась от предложенной Ньютоном. Поэтому последнему часто приписывают и славу изобретателя рефлектора. На самом деле он был первым, кто построил телескоп-рефлектор. Грегори же не повезло: уже после того как Ньютон построил свои телескопы, оптическую схему, подобную предложенной Грегори, вновь описал другой ученый — Кассегрен. И оптику, выполненную по этой схеме, до сих пор часто называют кассегреновской.

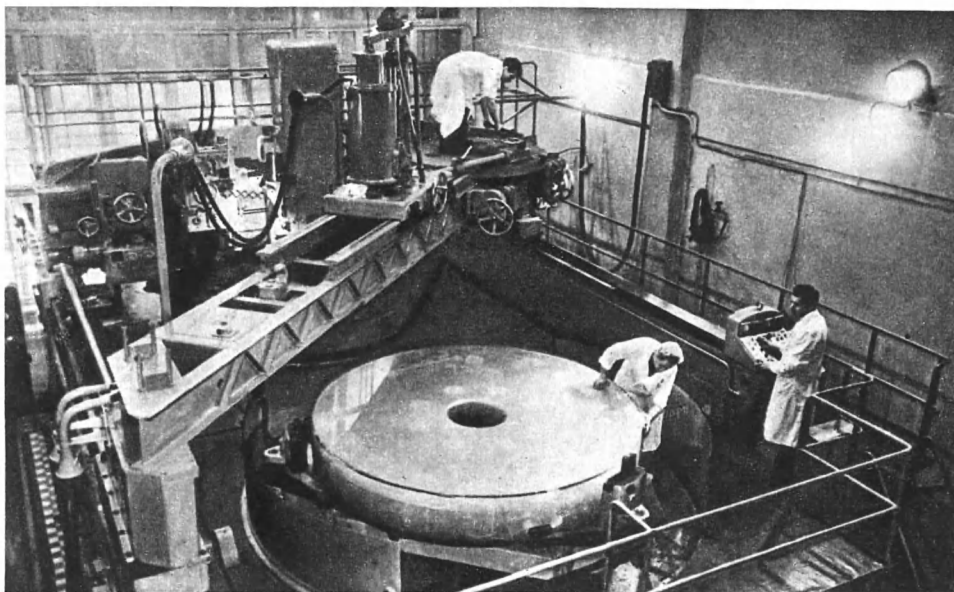
Ошибка Ньютона была исправлена лишь в 1729 году, когда появился первый ахроматический (неокрашивающий) объектив. С тех пор рефракторы вновь обрели признание.

В настоящее время строятся и применяются оба типа телескопов. Каждому присущи свои достоинства и недостатки; каждый тип применяется для решения особого круга задач: с помощью рефракторов ведутся астрономические наблюдения и исследования, с помощью рефлекторов — астрофизические, например исследования спектров.

Совсем недавно появился новый тип телескопа. Его изобрел советский ученый Д. Д. Максутов. Схема этого телескопа представляет собой



Новый телескоп-рефлектор в Симеизской обсерватории. Его называют ЗТШ-2,6, что означает: зеркальный телескоп Шайна с диаметром главного зеркала 2,6 метра.



Обработка зеркала диаметром 2,6 метра на Ленинградском оптико-механическом заводе. Обработка длилась более года и велась при строго постоянной температуре.

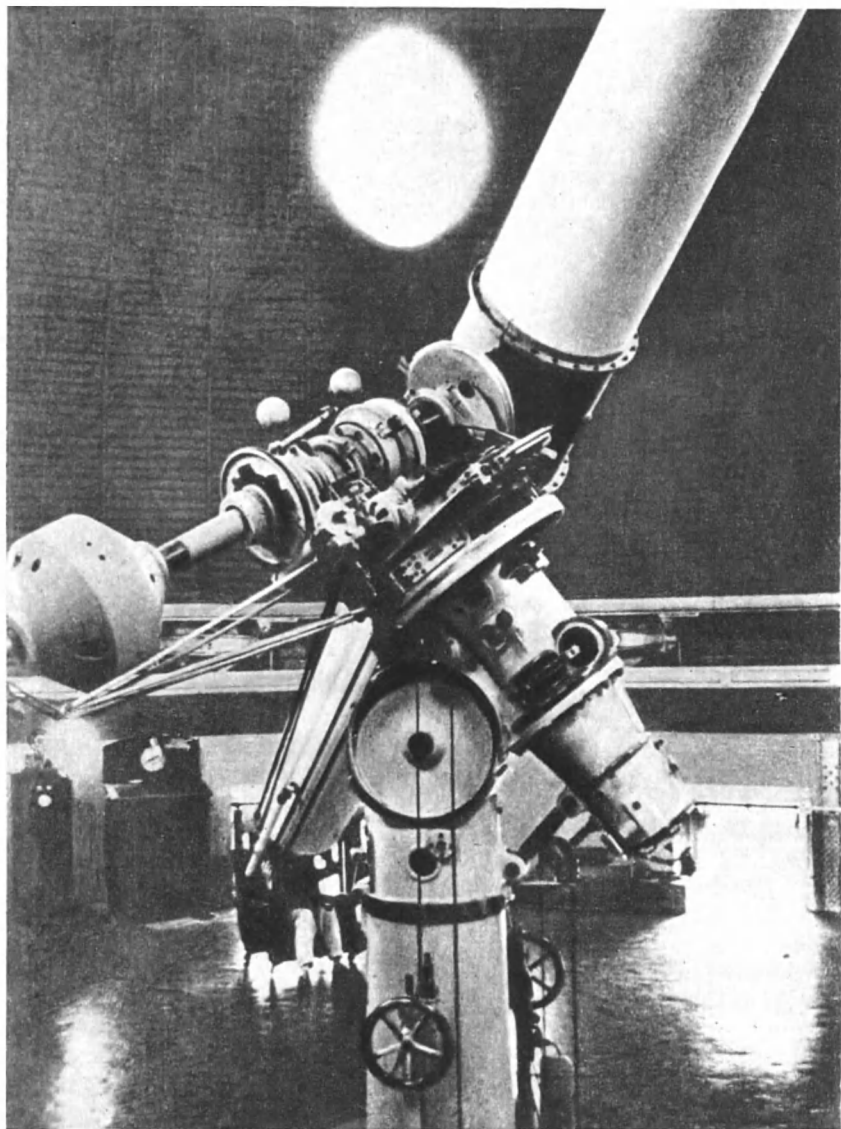
сочетание рассеивающей линзы — мениска — и вогнутого зеркала сферической формы. Преимуществами этого типа телескопов являются большая простота и весьма малая длина инструментов.

Наиболее мощными инструментами в настоящее время являются рефлекторы. Диаметр главного зеркала, наиболее крупного из всех существующих, равен 508 сантиметрам. Этот телескоп установлен в обсерватории на горе Маунт Паломар, в Калифорнии. Диаметр объектива самого крупного рефрактора равен всего лишь 102 сантиметрам. Это означает, что самый большой рефлектор позволяет собирать в 25 раз больше света, чем самый большой рефрактор.

В СССР совсем недавно был построен рефлектор с диаметром зеркала в 260 сантиметров. Он установлен в Крымской астрофизической обсерватории в Симеизе. Можно не сомневаться, что наши оптики при необходимости сумеют построить и более крупные телескопы, которые позволят астрономам исследовать глубины космоса. Это будут самые большие в мире инструменты.

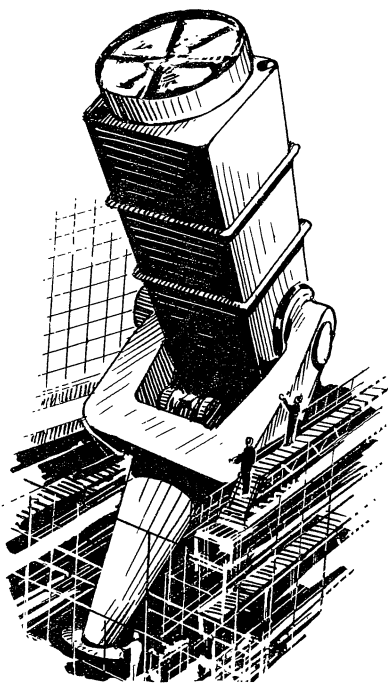
Самый большой рефрактор в Советском Союзе установлен в Пулковской обсерватории: диаметр его объектива равен 75 сантиметрам.

По фотографиям вы можете судить, какое огромное и сложное сооружение — современный крупный телескоп. Помимо высоких оптических



Новый телескоп-рефрактор, построенный в ГДР.





Строительство нового телескопа  
в ГДР.

качеств, это огромное сооружение должно иметь возможность наводиться на требуемый участок неба и вращаться так же плавно и равномерно, как наш земной шар, с тем чтобы с чрезвычайно высокой точностью следить за положением избранной звезды. Строительство подобных телескопов длится годы и обходится очень дорого. Иметь такие инструменты может позволить себе не каждое даже богатое государство.

Еще совсем недавно, до эпохи ракет и спутников, многие считали астрономию наукой, оторванной от жизни. Теперь отношение к ней со стороны непосвященных переменилось, но тем не менее они продолжают считать, что практическую пользу астрономия принесет лишь в будущем. Это неверно. Астрономия не только наука, устремленная в будущее, она в то же время одна из самых древних наук. И появилась она для того, чтобы ответить на вопросы, жизненно важные для человеческого рода. Ею успешно занимались жрецы Египта и Двуречья, а в Западном полушарии — жрецы народов майя, инков и ацтеков.

Астрономия для древних народов имела не только мистическое значение и служила не только для укрепления власти жрецов. Основное ее назначение было чисто практическим и необыкновенно важным — она дала народам календарь.

В наши дни календарь кажется извечным, присущим самой природе и само собой разумеющимся явлением. Однако это вовсе не так. Календарь — одно из важнейших изобретений древнего мира, сделанное на основании знаний о законах смены времен года и небесных явлений. Именно календарь помогал народам проводить сельскохозяйственные работы в правильные сроки.

Самый точный календарь, как недавно установили ученые, оказался у народа майя. Хотя летосчисление у этого народа было основано на отличных от принятых теперь принципов, они все же точнее всех других определили длительность года. Вот табличка, в которой сопоставлены длительности года, указываемые различными календарями:

Юлианский календарь	365, 250 000 дня
Григорианский календарь	365, 242 000 дня
Календарь майя	365, 242 129 дня
Точные астрономические данные	365, 242 198 дня

Жизнь любого народа даже и по настоящий день в какой-то степени подчинена календарю. Есть дни, когда он предписывает веселиться; есть дни, считающиеся печальными. Все это — наследие глубокой старины, когда жрецы, а затем и священники требовали неукоснительного соблюдения календарных предписаний.

Дальнейшее развитие астрономия получила, столкнувшись с новой, очень важной для человечества задачей — с навигацией. Это произошло в то время, когда стало развиваться мореплавание. Только звезды могли указывать дорогу судам вдали от берегов, и морякам поневоле пришлось стать и астрономами. Знание некоторых разделов астрономии необходимо и штурманам наших дней. Навигация по звездам — астронавигация — имеет в наше время важное практическое значение.

Новая, современная астрономия зародилась в эпоху позднего Возрождения, когда ум человеческий впервые за многие века вырвался из оков церковного мракобесия. В 1543 году, в год смерти великого польского астронома Николая Коперника (1473—1543), вышла в свет его книга «Об обращении небесных сфер». Этой книгой Коперник нанес решительный удар освященной веками и римской церковью Аристотелевой картине Вселенной.

Окончательно взгляды Коперника утвердились уже в начале XVII века, когда Галилей сделал свои всем известные наблюдения. Вот что пишет об этом в книге «Наука в истории общества» профессор Дж. Бернал:

«Едва новость о телескопе дошла до профессора физики и военн-инженерного дела в Падуе Галилео Галилея, как он решил сделать себе такой же прибор, чтобы направить его на небо. Галилей уже в то время был убежденным последователем Коперника, причем он одновременно глубоко интересовался движениями маятника и связанной с этим проблемой свободного падения тел. За несколько первых ночей наблюдения неба он увидел достаточно для того, чтобы разгромить всю аристотелевскую картину этой безмолвной стихии. Ибо Луна оказалась не совершенной сферой, а покрытой морями и горами; планета Венера, так же как и Луна, имела фазы, в то время как планета Сатурн казалась разделенной на три планеты. И, что важнее всего, Галилей заметил, что вокруг Юпитера вращаются три звезды или луны — миниатюрная модель системы Коперника, которую каждый смотрящий в телескоп мог увидеть собственными глазами».

В наши дни астрономия представляет собой по существу не одну, а несколько объединившихся ради единой цели наук. Здесь и небесная механика, изучающая законы движения небесных тел; и астрофизика, исследующая физические процессы и химический состав небесных тел и межзвездного вещества; и космогония — наука, стремящаяся постигнуть тайны происхождения и развития небесных тел; и даже астроботаника — новая область астрономии, изучающая растительные покровы Марса.

Астрономия — одна из немногих наук, привлекающая к себе с дав-

них пор множество любителей. Нередки случаи, когда им удавалось делать весьма ценные наблюдения. Очень большую помощь оказали они при наблюдениях за полетом первого искусственного спутника. Правда, пока еще любителям трудно приобрести инструмент хорошего качества и часто они самостоятельно изготавливают простейшие телескопы. Теперь оптическая промышленность нашей страны стала одной из сильнейших в мире, и надо полагать, что скоро в продаже появятся хорошие любительские телескопы. И тогда астрономов-любителей будет у нас не меньше, чем радио- или фотолюбителей<sup>1</sup>.

Одним из важнейших разделов астрономии является изучение планет солнечной системы. Они с давних пор привлекали внимание астрономов и тем, что были наиболее доступны для наблюдений, и тем, что ученые уже давно предчувствовали их близкое родство с Землей.

Эти предчувствия подтвердились, когда Ломоносов открыл атмосферу на нашей ближайшей соседке Венере. К сожалению, она очень непрозрачна, и мы до сих пор знаем об этой планете гораздо меньше, чем о более отдаленном Марсе. Изучению Венеры мешает также и то, что она ближе к Солнцу, и поэтому наблюдать ее менее удобно, чем Марс.

Но эта планета ближе к Земле, чем Марс, и поэтому именно в ее сторону, а не к Марсу были запущены первые автоматические межпланетные станции с различными научными приборами на борту. Пока еще неизвестно, каковы результаты изучения этих планет с помощью космических станций. Но несомненно одно — они позволят ученым делать новые открытия, важные не только для астрономов, но и для тех, кто изучает Землю. Ведь изучив особенности нашей ближайшей (не считая Луны) соседки, мы сумеем лучше понять и нашу родную планету.

Нам станут более понятными процессы, протекающие в нашей атмосфере; быть может, мы сумеем понять происхождение магнитного поля Земли.

---

<sup>1</sup> Г. Г. Слюсарев в своей книге «О возможном и невозможном в оптике» рассказывает, как сделать простейший телескоп.

«В качестве объектива можно взять очковое собирательное стекло от 2 до 4 положительных диоптрий (для дальновзоркого), в качестве окуляра — сильную положительную линзу с фокусным расстоянием в 3—4 сантиметра каждая, ставя их одну за другой, выпуклыми сторонами внутрь. Линзы оправляются картоном и вставляются в две трубы (длинную для объектива и короткую для окуляра) с таким расчетом, чтобы была возможность подфокусировки на далекие и на близкие расстояния.

Такая труба при условии диафрагмирования отверстия объектива до 2—3 сантиметров в диаметре позволяет получить неплохие изображения небесных светил. Можно наблюдать лунные цирки, Юпитер и четыре его спутника, туманности Андромеды, Ориона и другие. При фокусном расстоянии объектива в 50—100 сантиметров и хороших атмосферных условиях можно на Сатурне рассмотреть если не кольца, то, по крайней мере, неясной формы образования, замеченные впервые Галилеем в трубе приблизительно такого же качества. Как известно, Галилей умер, так и не выяснив, что это были за образования. Причиной этой неудачи нужно считать... дифракцию».

Очковое стекло, вставляемое в оправы «модной» формы, не совсем удачно для призмения в таком телескопе. Лучше брать круглое, хорошо вырезанное стекло.



Этот снимок сделан в радостные дни октября 1957 года, когда был запущен первый в истории искусственный спутник Земли. Астрономы-любители оказали в те дни большую помощь ученым.

Вероятно, в недалеком будущем люди сумеют послать к Венере и другим планетам такие автоматические станции, которые, «приземлившись» на поверхности планет, позволят уже самым непосредственным образом изучать их. И тогда мы сумеем узнать, есть ли жизнь на планетах солнечной системы, хотя бы самая примитивная, и изучать эти внеземные формы жизни. И, конечно, ученые постарались бы как можно скорее получить точную карту каждой из планет.

Точная карта планеты... Это действительно было бы бесценным приобретением для нашей земной науки. По ней мы могли бы судить не только о другой планете, а сумели бы, видимо, узнать и кое-что новое о своей.

И недаром столько внимания уделяется изучению поверхности Марса. Исследования этой планеты приняли особенно широкий характер после того, как итальянский астроном Джованни Скиапарелли (1835—1910) увидел на ее поверхности необычайный узор из пересекающихся тонких линий. Он истолковал увиденные линии как сооружения, выполненные разумными существами, и назвал их каналами. Такое толкование, вероятно, выражало заветную и не всегда осознанную мечту человечества — убедиться в существовании разумных существ на других мирах.

И, видимо, именно поэтому сообщение об открытии Скиапарелли привлекло к себе всеобщее внимание.

В годы, последовавшие за этим открытием, вопрос о каналах на Марсе был предметом очень серьезных споров между астрономами. В настоящее время они все же пришли к выводу, что скорее всего никаких образований на поверхности Марса, похожих на те, которые видел Скиапарелли, не существует. Но в то же время они не считают вопрос выясненным до конца.

Наиболее вероятным объяснением открытия каналов они считают оптический обман. Он возникает при наблюдении слабо освещенных объектов, находящихся на пределе видимости. Этому же способствовало и то, что телескоп Скиапарелли был небольшим и в нем сильно сказывались явления дифракции.

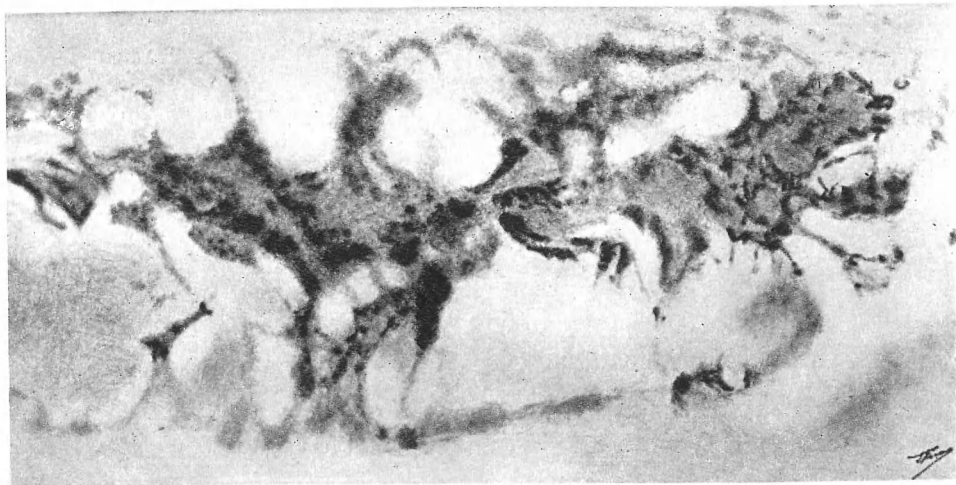
По мере того как в распоряжение астрономов поступали все более крупные инструменты, в которых изображение Марса было более ярким, а явление дифракции сказывалось меньше, случаи обнаружения каналов становились все более и более редкими. А в современные большие инструменты их и вовсе не видно. Вы можете убедиться в этом, посмотрев на карту Марса, составленную в обсерватории Пик дю Миди во время последнего противостояния Марса в ноябре 1958 года. Наблюдения Марса велись с помощью 61-сантиметрового рефрактора при увеличении в 1200 раз. Угловой размер изображения Марса при этом был равен  $19,2'' \times 1200 = 6,4^\circ$ . Под таким углом виден пятак, помещенный в 22 сантиметрах от глаза. Помимо карты Марса, в книге приведен один из последних его рисунков (Марс на фотографиях получается хуже, и его до сих пор зарисовывают наблюдатели). Карта и фотоснимок дают некоторое представление о том, каким видят Марс астрономы. Из этого рисунка видно, что каналов на Марсе нет. Либо за шестьдесят лет, прошедшие со времени открытия Скиапарелли, они исчезли, заметенные песчаными бурями, либо, и это почти не вызывает сомнений, никогда не существовали.

В наше время ученые считают, что на Марсе нет разумных существ. Зато они не сомневаются в существовании растительности. Множество фотографий поверхности Марса, сделанных в различных лучах спектра, и другие спектральные исследования, проведенные советскими астроботаниками под руководством Г. А. Тихова, позволяют считать это установленным фактом.

Огромное внимание уделяют астрономы и астрофизики изучению Солнца — этой единственной звезды, которая достаточно близка к нам.

Физические процессы на Солнце, исследуемые учеными, позволяют глубже проникнуть в тайну вещества и ядерных реакций. Эти процессы оказывают очень большое влияние на состояние атмосферы Земли, на погоду, и радиосвязь. Изучив Солнце, ученые сумеют лучше познать и другие звезды.

Солнце исследуют разными методами: фотографируют спектры, его видимую поверхность в лучах света с различными длинами волн, иссле-



Карта Марса, выполненная во время противостояния в 1958 году.

дуют его корону. И во всех этих исследованиях телескоп является основным прибором.

Вот как описывает Солнце известный английский астрофизик Джемс Джинс (1877—1946):

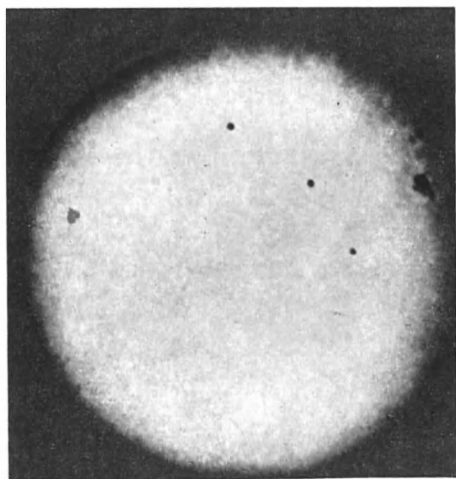
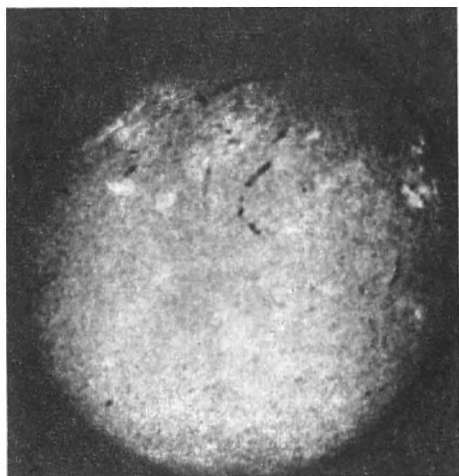
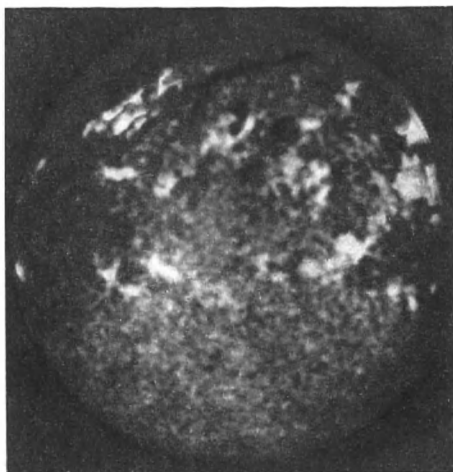
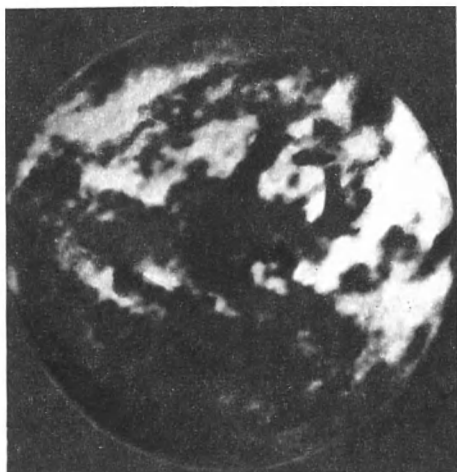
«Ясно, что Солнце — не мертвый мир, подобно Луне или Меркурию. Наоборот, здесь ничто не пребывает в покое; все находится в бешеном движении; вся поверхность возбуждена, кипит, бурлит и извергается разными путями. Нам понятно, почему это должно быть так.

Внутренность Солнца представляет собой как бы огромную, непрерывно работающую силовую станцию. Энергия, освобождающаяся внутри Солнца, делает его чрезвычайно горячим, так что огромный поток тепла выбрасывается наружу, на поверхность, откуда он и изливается в пространство в виде радиации...<sup>1</sup> При этом поверхность, естественно, не может оставаться спокойной, и мы видим ее сплошь кипящей. Верхние слои, попросту говоря, перевертываются и обращают свои самые горячие стороны к внешнему пространству, что дает возможность быстрее выделиться заключенной в них энергии излучения.

Но и этого еще недостаточно. Огромные фонтаны пламени, называемые протуберанцами, там и сям бьют над солнечной поверхностью на сотни тысяч километров в высоту. Они — большей частью малинового цвета — часто принимают самые фантастические формы. Одни из них

---

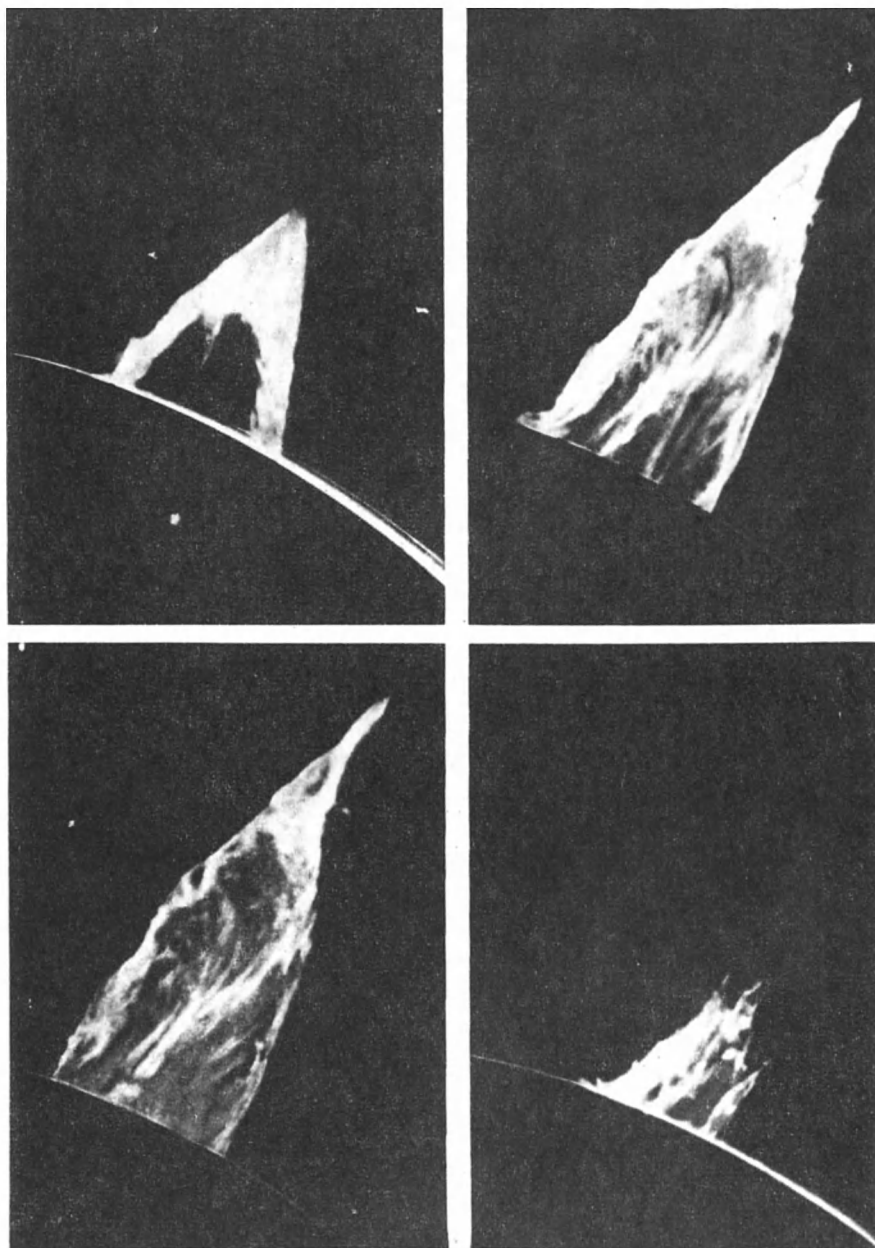
<sup>1</sup> Все излучение Солнца в секунду исчисляется огромной цифрой с 25 нулями и равно  $9 \cdot 10^{25}$  калорий. Мы знаем, что энергия имеет массу. Если перевести эту цифру в массу, то окажется, что масса Солнца ежесекундно уменьшается на 3170 тысяч тонн!



Солнце, сфотографированное через специальные светофильтры, пропускающие практически свет одной длины волны: 1 — в ультрафиолетовых лучах; 2 — в лучах синего цвета; 3 — в лучах красного цвета; 4 — для сравнения приведена обычная фотография Солнца в лучах белого цвета.

стоят почти спокойно, другие же выпускают побеги со скоростью тысяч километров в секунду. Некоторые совершенно отделяются от Солнца, взлетая на высоту сотен тысяч километров...

Фантастическая архитектура малинового пламени протуберанцев не единственная декорация солнечной поверхности. В разных ее местах мы



Четыре последовательных снимка гигантского взрыва на Солнце.



видим темные зияющие впадины, очень похожие на кратеры действующих вулканов, извергающих огонь и вещество из недр Солнца. На Земле мы называем эти впадины солнечными пятнами...»

На фотографиях, приведенных в книге, можно увидеть снимки Солнца, полученные на разных длинах волн, а также четыре последовательных снимка гигантского взрыва на Солнце.



Фотография одной из галактик.

От Солнца путь астрономической науки идет к звездам и отдаленным мирам Вселенной — к галактикам. Для их изучения требуются огромные и объединенные усилия ученых всего мира. Чтобы лучше представить объем уже проделанной работы, достаточно сказать, что обследованы и внесены в каталог уже несколько сотен тысяч одних только галактик. Но исследуются ведь не только галактики, но и отдельные звезды. Очень большой интерес для науки представляет изучение межзвездного вещества и газа. Изображение одной из таких газовых туманностей вы можете увидеть на фотографии.

Познакомившись с фотографиями различных объектов астрономических исследований, вернемся снова к инструменту, с помощью которого они были сделаны, — к телескопу. Мы видим, что он позволил ученым добиться очень многого, но отнюдь не всего, чего им хотелось бы. Телескопы вовсе не идеальны и не всесильны. Их совершенству положены пределы, установленные законами оптики и свойствами земной атмосферы.

Так, например, оказывается невозможным поднять увеличение телескопа выше некоторой, сравнительно небольшой величины. И, если кто-либо из читателей полагал, что большие телескопы строятся только для получения больших увеличений, он ошибался. С ростом диаметра объектива максимально возможное увеличение действительно повышается, однако основная цель строительства гигантских телескопов в дру-

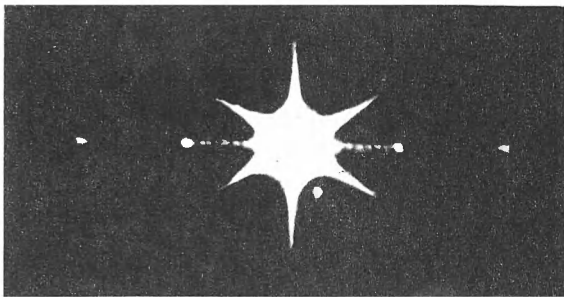


Светящаяся газовая туманность.

гом: в том, чтобы увеличить количество собираемого света и тем самым увеличить глубину проникновения в бесконечные дали Вселенной.

Предел увеличению телескопа ставит явление дифракции. Оно сказывается тем сильнее, чем меньше диаметр объектива и чем больше увеличение. Практически наилучшее увеличение даже в очень крупных инструментах не превышает 800 раз. В некоторых случаях наблюдатели сознательно прибегают к удвоению и даже учетверению этой цифры, но количество различимых деталей при этом не повышается. Меняются лишь условия наблюдения, что иногда бывает удобнее для работы. Явление дифракции очень хорошо видно на фотографии Сириуса. Лучи,ходящие от этой звезды, являются следствием дифракции света. На самом же деле их нет.

«Острота зрения» телескопа с диаметром зеркала 508 сантиметров в 1200 раз выше, чем у глаза. Это означает, что наименьший объект, форму которого еще можно различить, должен иметь угловой размер не



При чрезмерно большом увеличении наблюдению светил начинает препятствовать явление дифракции. На снимке приведено изображение Сириуса; лучи, расходящиеся в стороны, возникли за счет дифракции.

увеличение 508-сантиметрового рефлектора, как мы уже говорили, равно примерно 1200, но поле четкого зрения у него очень мало — всего лишь  $0,25^\circ$  в поперечнике; в него не поместится целиком даже Луна.

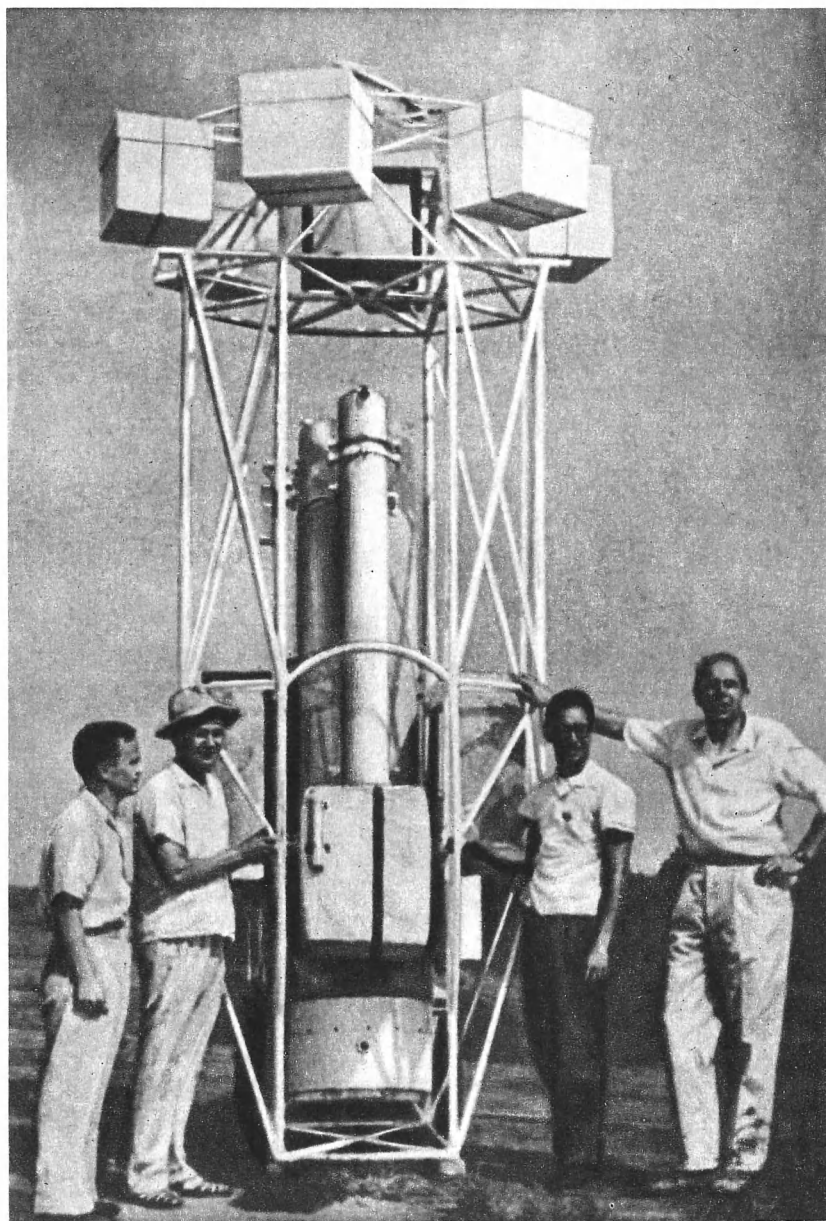
Предел увеличению ставит и яркость наблюдаемых объектов. При повышении увеличения яркость изображения в телескопе будет падать. Это и понятно — ведь количество фотонов, попадающих в глаз или на пластинку, определяется только яркостью самого объекта, расстоянием до него и диаметром объектива телескопа, но не зависит от увеличения. С ростом же увеличения растет размер изображения, и то же самое количество фотонов должно будет распределиться на большей площади. Следовательно, на каждое зернышко эмульсии или на каждую светочувствительную клетку на сетчатке глаза придется меньшее количество фотонов. Такое падение освещенности фотопластинки или сетчатки при наблюдении объектов малой яркости может оказаться недопустимым<sup>1</sup>.

Если первые две причины, ограничивающие увеличение, определялись диаметром телескопа, то есть так или иначе зависели от человека, то третья, весьма существенная причина имеет совсем иную природу и совершенно не подчиняется нашей воле. Эта причина — состояние атмосферы.

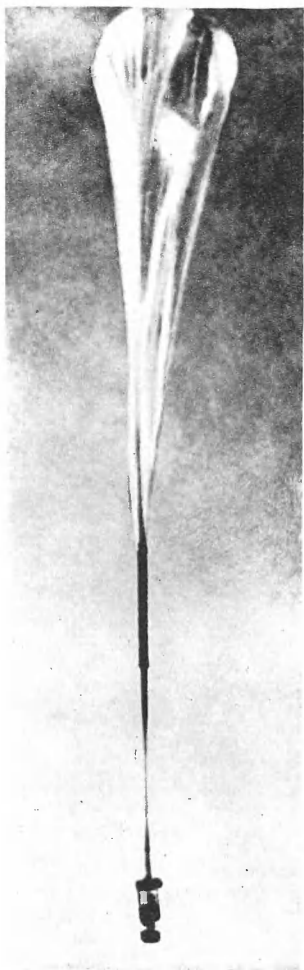
Оказывается, наша атмосфера не столь уж прозрачна и однородна,

---

<sup>1</sup> Не следует забывать, что все эти рассуждения относятся только к случаю наблюдения объектов первой категории. При наблюдении объектов второй категории, которые представляют собой точечные светящиеся тела, об увеличении нет смысла говорить. Можно лишь интересоваться дальностью видимости точечных источников света. Как мы помним, глаз может заметить свечу (теоретически) на расстоянии 30 километров. При использовании 500-сантиметрового телескопа это расстояние достигнет 18 750 километров. Но при этом мы не увидим ни свечи, ни язычка пламени — мы увидим только светлую точку. Но разрешающая способность важна и в этом случае: чем она больше, тем легче удастся различить отдельные звезды в скоплениях.



В контейнере установлены два телескопа: большой — для фотографирования светил, а с помощью малого телескопа и специального автомата осуществляется наводка большого телескопа на заданное светило (малый телескоп спереди).



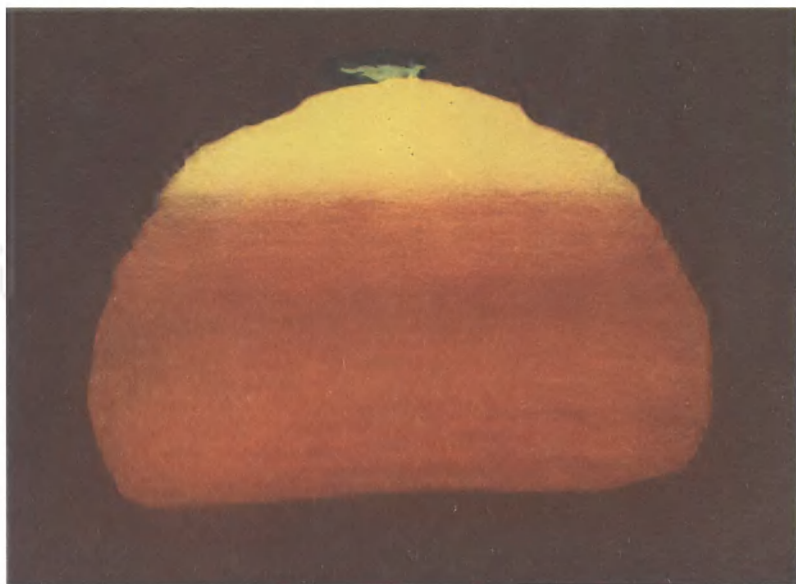
Контейнер с телескопом поднимается над плотными слоями атмосферы с помощью стратостата.

как мы привыкли считать. И дело вовсе не только в облаках, туманах и пыли. Есть другие не менее неприятные помехи для астрономических наблюдений. Речь идет о тех малозаметных мельчайших изменениях плотности атмосферы, которые обычно можно наблюдать над разогретыми поверхностями: над асфальтовой лентой шоссе, над большими полями или над степью. Если смотреть сквозь толщу воздуха над такими поверхностями, то мы увидим, что воздух струится и дрожит от мелких токов, словно густой сахарный сироп, растворимый в воде.

Такие колебания атмосферы, даже выраженные в гораздо меньшей степени, — страшные враги астрономов. Они мешают им вести наблюдения, потому что приводят к непрерывным и неконтролируемым изменениям резкости изображений небесных тел. Они сказываются тем сильнее, чем больше увеличение телескопа. Поднимать его выше определенной величины нет смысла — изображение от этого только ухудшится. Чтобы избавиться от таких помех, астрономы поднимаются высоко в горы, где воздух не только чище, но и гораздо спокойнее. Так, в СССР Абастуманская и Бюраканская обсерватории построены в горах на высоте 2000 метров над уровнем моря.

Атмосфера Земли создает и другие помехи — она оказывается неодинаково прозрачной в различных участках спектра. На некоторых длинах волн она поглощает почти весь свет. И это свойство атмосферы очень мешает астрономам при исследовании спектров Солнца и звезд. До последнего времени астрономам приходилось бороться с этой трудностью только косвенными методами. Но несколько лет назад в иностранных журналах появилось сообщение, что американским инженерам удалось помочь ученым: они сумели поднять телескоп над атмосферой. Такой подъем осуществляют двумя способами.

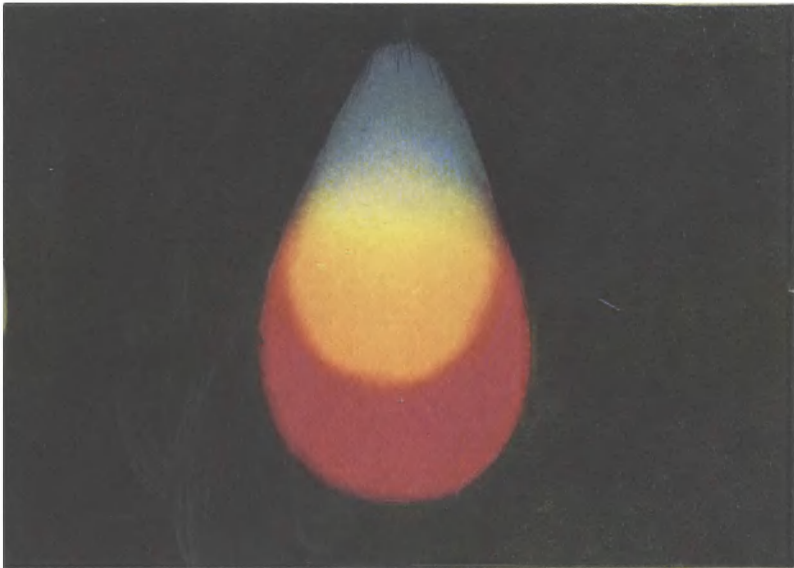
Первый — это подъем контейнера с телескопом и другой аппаратурой на стратостате. Стратостат такого типа, как изображенный на фотографии, способен подняться настолько высоко, что под ним остается практически вся атмосфера. На такой высоте (20 километров и более)



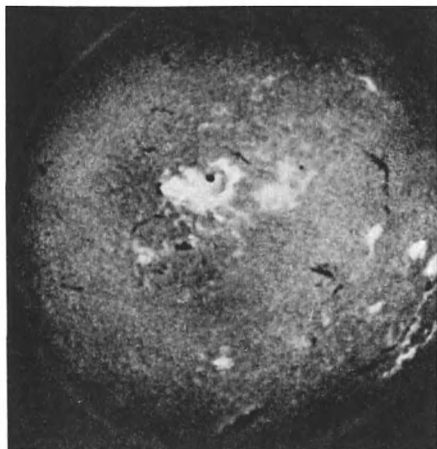
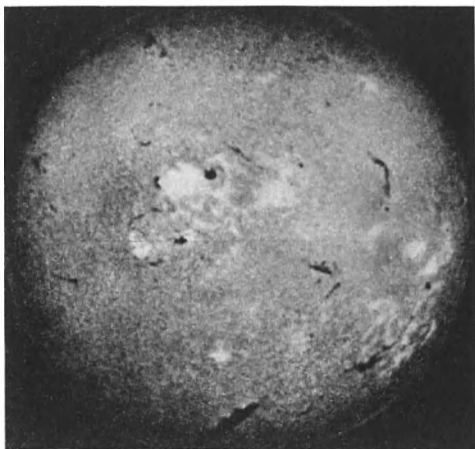
Для того чтобы увидеть изображённое на первом из этих трех цветных снимков, герои Жюль Верна объездили весь свет. Но это совсем необязательно, — каждый внимательный наблюдатель может увидеть зеленый луч, не уезжая далеко от дома. На закате, особенно над морем, его часто можно видеть.



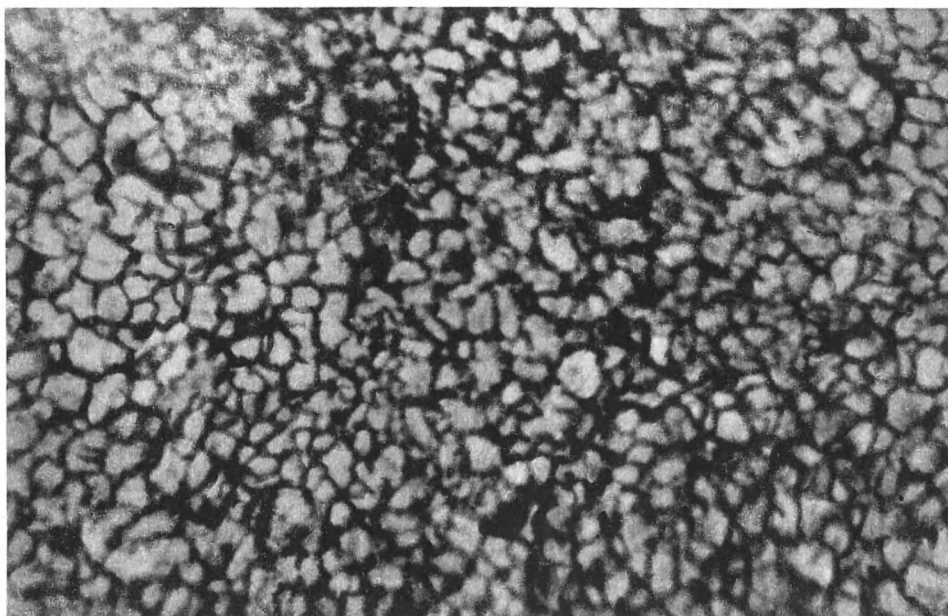
Кроме зеленого луча, бывает еще и красный луч; его фотография находится рядом. Вероятно, каждый видел яркую мерцающую и переливающуюся чистыми цветами планету Венеру.



Третий снимок показывает, как видна Венера на закате и переливы цветов в телескопе.

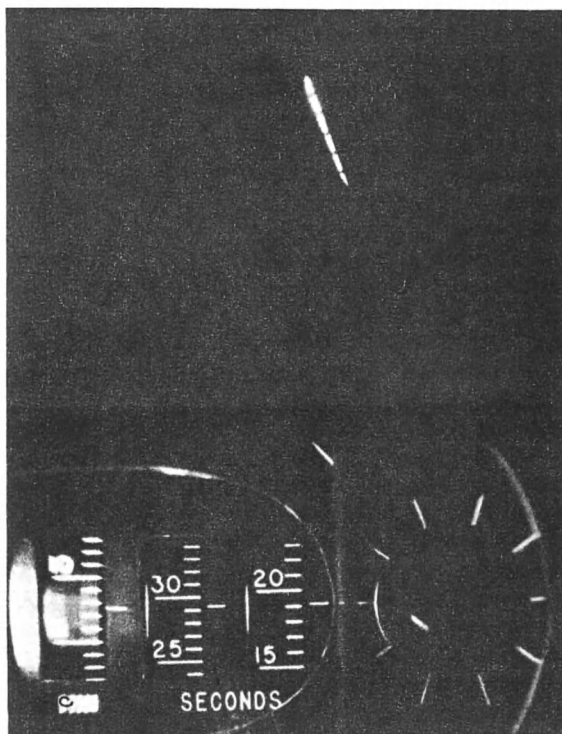


Эти прекрасные снимки Солнца были сделаны со стратостата.



Поверхность Солнца, сфотографированная при большом увеличении телескопа. Телескоп был установлен на борту ракеты.





Для точного определения траектории спутника его фотографируют в полете с помощью специальных киноустановок. Пунктирная линия — след спутника в небе. Слева, внизу, фотографируется шкала очень точных часов, что позволяет точно определять время полета спутника.

десяти лет. Как известно, метеорологические и геофизические ракеты использовались наукой еще за несколько лет до запуска первого спутника.

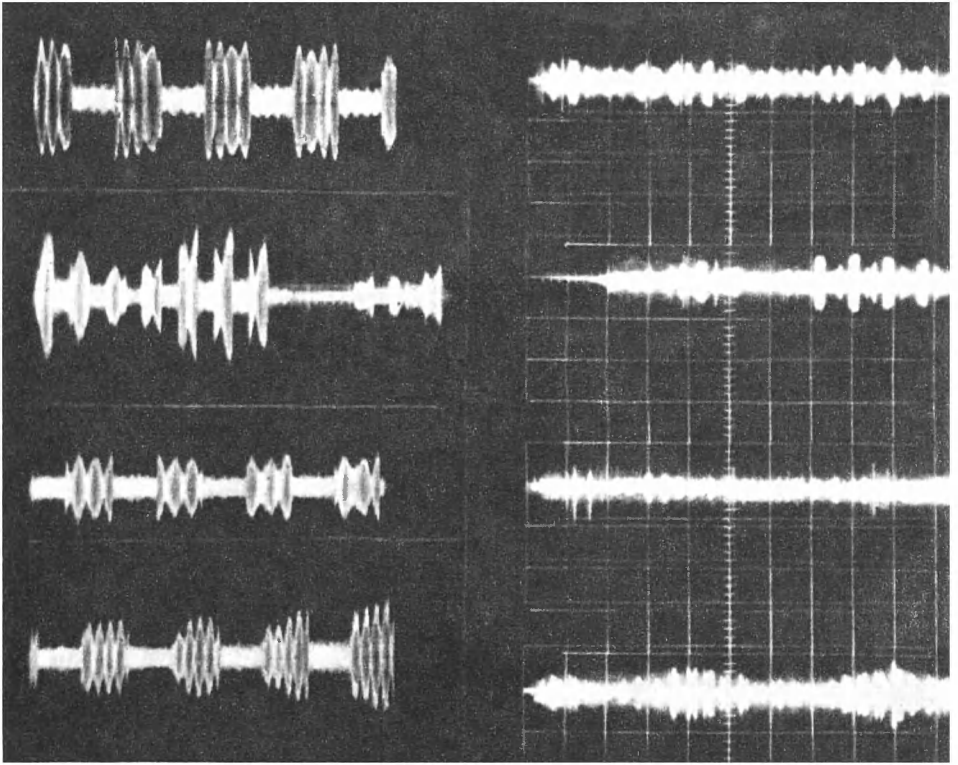
Но вот 4 октября 1957 года над Землей закружился первый искусственный спутник. Он был еще очень мал — небольшой шар весом примерно 80 килограммов, но сигналы его радиопередатчиков, знаменитые «бип-бип», всколыхнули весь мир, возвестив человечеству начало новой эпохи.

Первые спутники Земли были предназначены для исследования околоземного пространства, о котором ученые в то время знали гораздо меньше, чем теперь. Так, им еще не были точно известны границы

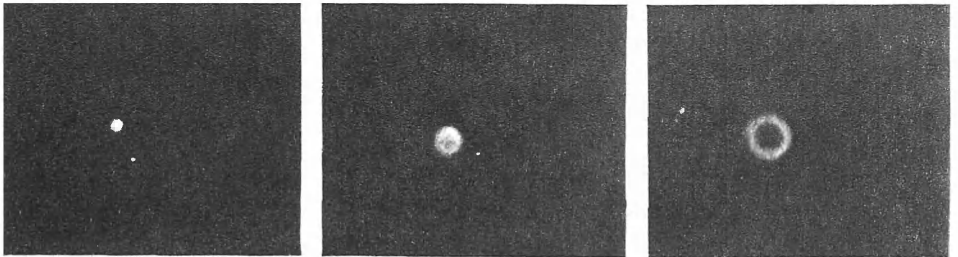
телескоп автоматически наводится на Солнце и опять-таки с помощью автоматов производится фотографирование Солнца в различных лучах спектра и снимаются спектрограммы. Одна из фотографий, сделанных со стратостата, и приведена здесь.

Второй способ — это подъем телескопа на высотной ракете. Конечно, телескоп на ней можно установить только очень небольшой. Зато атмосфера уже не помешает повисить увеличение. Как и на стратостате, фотографирование и другие исследования производятся автоматически. При возвращении ракеты в атмосферу отсек с установленной в нем аппаратурой спасается с помощью парашютов. Снимки Солнца, сделанные с борта высотной ракеты, вы тоже можете здесь увидеть.

Ракетные исследования верхних слоев атмосферы и солнечного излучения ведутся уже более



Вот как выглядели на экране осциллографа сигналы первого искусственного спутника Земли, его знаменитые «бип-бип».



Последовательные снимки искусственной кометы — облака натрия, которое было выпущено в космосе автоматической межпланетной станцией, сфотографировавшей Луну.

земной атмосферы, и они не могли даже достаточно точно предсказать, сколько времени просуществует на орбите первый спутник.

После запуска первых трех спутников наука получила очень ценные сведения о метеоритной опасности, о космическом излучении; она открыла пояса интенсивной радиации, окружающие Землю, уточнила свои знания об атмосфере. Не менее ценные знания получила и техника. Опыт по созданию и запуску спутников позволил вскоре перейти к решению более сложной проблемы. 2 января 1959 года был дан старт первой космической ракете, которая стала первой искусственной планетой солнечной системы. Осенью того же года была запущена новая космическая ракета, достигшая Луны. А через два года после запуска первого спутника советские люди послали новую ракету.

Отделившись от этой ракеты межпланетная станция облетела Луну и, приблизившись к Земле, передала с помощью телевизионных устройств фотографии неведомой дотоле обратной стороны Луны. Это был новый триумф на пути прямых исследований солнечной системы<sup>1</sup>.

Современная техника вооружила астрономов еще одним мощным инструментом для исследования Вселенной.

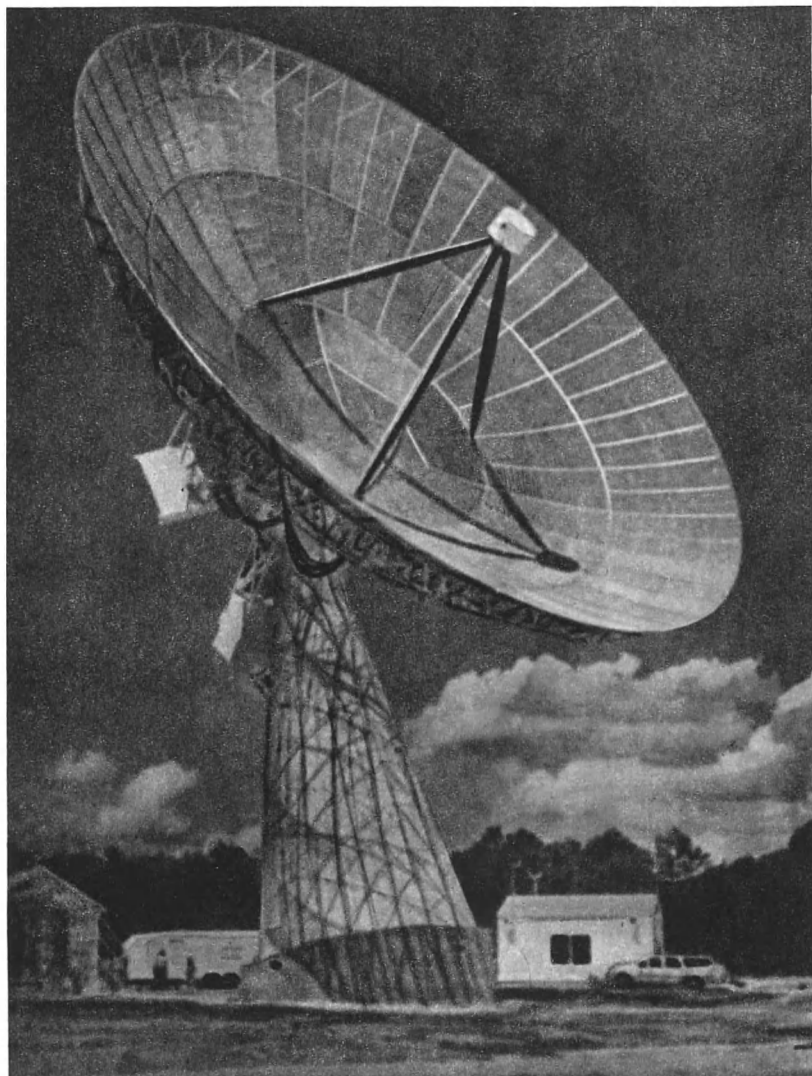
Мы уже знаем, что принципиальной разницы между радио и световыми волнами нет. Она заключается лишь в том, что самые длинные световые волны значительно короче самых коротких радиоволн. Поэтому и на радиоволнах можно создать некое устройство, которое по своему назначению будет похоже на телескоп. Такое устройство должно улавливать не световые волны, а радиоволны, излучаемые небесными телами. По аналогии с телескопом его называли «радиотелескоп».

И это не поверхностная аналогия. Между оптическим и радиотелескопом действительно очень много общего. По существу, радиотелескоп очень похож на телескоп-рефлектор. Так же как и в рефлекторе, в радиотелескопе используется параболическое собирающее зеркало. Правда, оно отличается от оптических зеркал. Его поверхность делают из листов металла или даже из металлической сетки. Для световых волн она не является зеркалом, но радиоволны великолепно отражаются не только от листов металла, но и от металлической сетки, при условии, что размеры сторон каждой из ее ячеек будут меньше наикратчайшей из принимаемых радиоволн.

Сетка в параболических зеркалах для радиоволн применяется для того, чтобы облегчить вес зеркала и уменьшить давление ветра на него. На первый взгляд это может показаться странным, но станет понятным, если назвать размеры зеркала. Они очень велики. У среднего радиотелескопа диаметр зеркала достигает 20—25 метров, а у самого

---

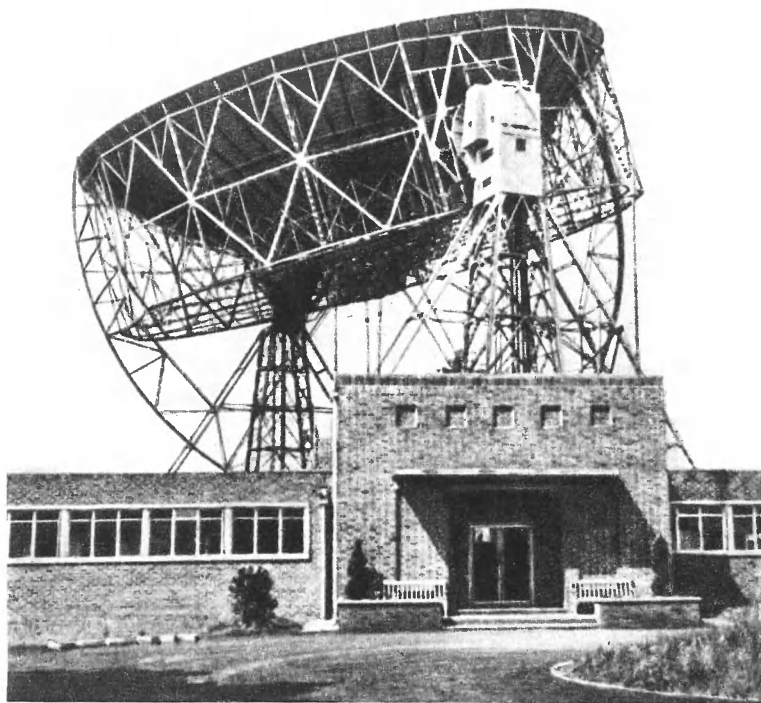
<sup>1</sup> 12 апреля 1961 года сбылась мечта человечества — первый космонавт, советский летчик Ю. А. Гагарин, облетел Землю на корабле-спутнике «Восток»; 6 августа 1961 года совершил 25-часовой полет второй космонавт Г. С. Титов; а 11 и 12 августа 1962 года уже два советских космонавта А. Г. Николаев и П. Р. Попович совершили групповой полет.



Этот радиотелескоп сравнительно невелик — диаметр его антенны всего лишь 25 метров.

большого из существующих он равен 76 метрам, то есть в 15 раз больше, чем у самого крупного оптического телескопа.

Такие огромные зеркала радиотелескопов строятся с той же самой целью, что и в оптике,— собрать как можно большую энергию радиоизлучений и сфокусировать ее. В фокусе параболического зеркала уста-



Известный радиотелескоп в Джодрел Бэнк, Англия. Диаметр параболического зеркала этого телескопа равен 76 метрам.

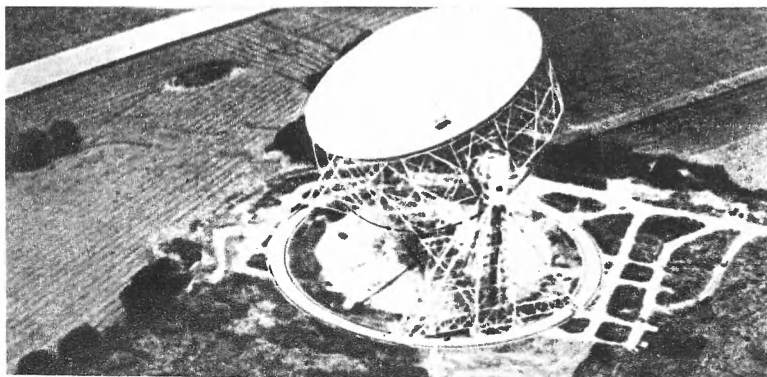
навливается антенна сравнительно небольшого размера. Она предназначена для преобразования энергии электромагнитных волн в пропорциональные по величине электрическое напряжение и ток.

В оптических системах в качестве приемников световой энергии используются глаз, фотопластинка, фотоэлемент и некоторые другие типы приемников света. В радиотелескопах эти приемники не применимы. Их заменяет сверхчувствительный радиоприемник, к которому подводится из антенны электрическое напряжение радиочастоты. Но это не единст-

венное различие между оптическим телескопом и радиотелескопом. Очень важное различие состоит в том, что в радиотелескопе не создается какого-либо изображения в том смысле, в котором мы привыкли понимать его. Вся энергия радиоволн концентрируется в очень малом объеме — в фокусе зеркала. Здесь она захватывается антенной и практически целиком подводится к радиоприемнику.

Разрешающая способность радиотелескопов гораздо хуже, чем у оптических, несмотря на столь большие размеры зеркал. Это, оказывается, зависит от того, что отношение диаметра зеркала к длине волны в радиотелескопах во много раз меньше, чем в оптических.

В настоящее время в США приступили к постройке радиотелескопа, у которого диаметр зеркала будет равен 180 метрам. Высота этого гигантского телескопа будет такой же, как у 66-этажного небоскреба. Вес стальных и алюминиевых конструкций составляет 20 тысяч тонн.

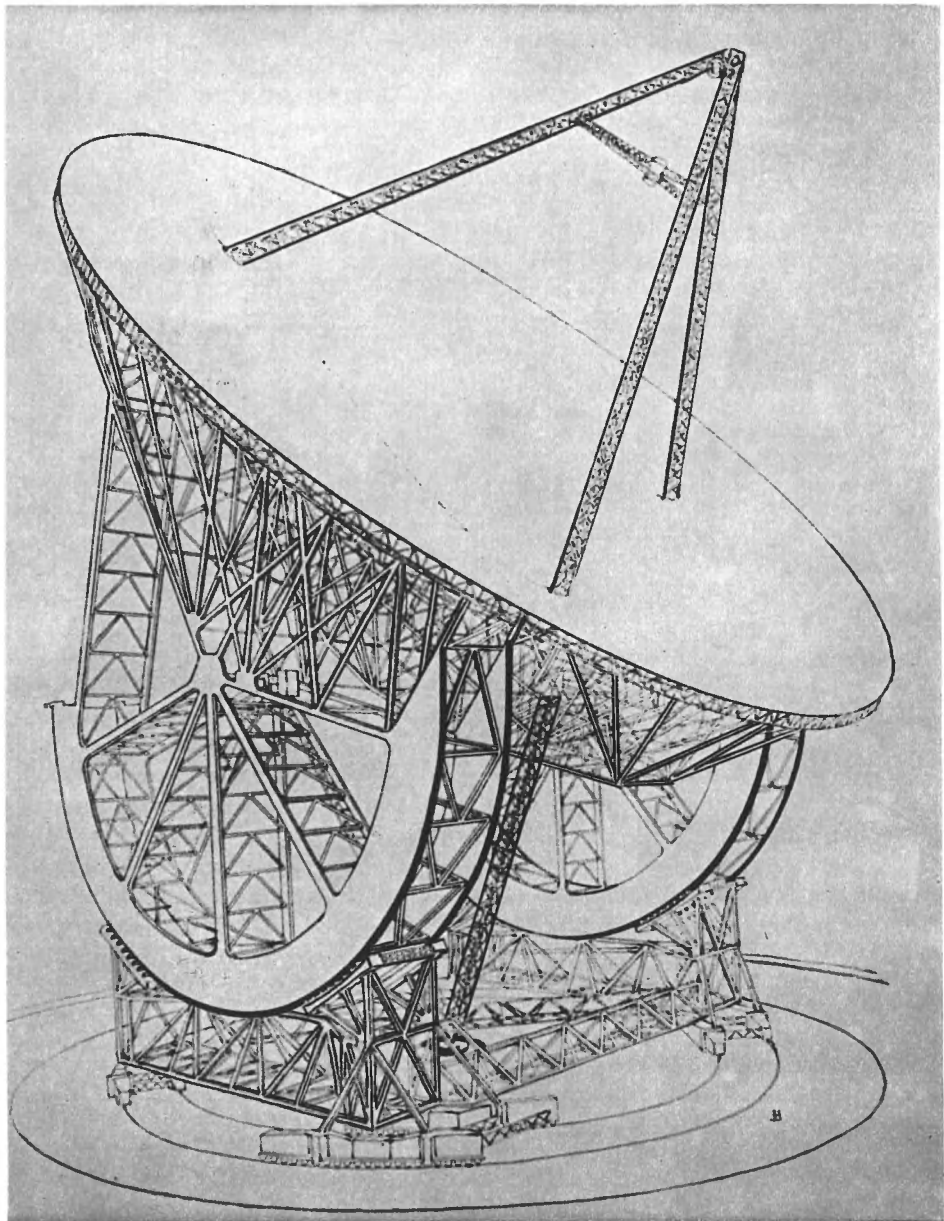


Вид радиотелескопа в Джодрел Бэнк с самолета.

Но даже его разрешающая способность будет все же очень мала. Например, при работе на волне длиной 21 сантиметр этот радиотелескоп сможет различить два источника радиоизлучения, находящиеся на Луне, только при условии, если расстояние между ними будет не менее 480 километров. А оптический телескоп с диаметром зеркала 5 метров различит два источника света на Луне, если они будут разделены расстоянием всего в 50 метров.

Радиотелескопы значительно увеличили возможности астрономов и позволили им открыть многое из того, что раньше оставалось совершенно недоступным.

Так, радиоастрономические исследования позволили проникнуть сквозь плотный атмосферный покров Венеры и измерить температуру ее поверхности. Подобным же образом исследуют и Юпитер. Не меньший интерес для науки представляет и радиоизлучение Солнца, звезд и галактик.



Проект гигантского радиотелескопа с диаметром зеркала 180 метров.

Одним из очень интересных открытий, сделанных с помощью радиотелескопов, является открытие радиогалактики в созвездии Лебедя. Радиоволны от нее идут к Земле 650 миллионов лет. Но, несмотря на



Скопление облаков водорода в нашей Галактике. Крестиком отмечен центр Галактики.

невероятно большое расстояние, радиоизлучение этой галактики по мощности сравнимо с солнечным. О существовании такой галактики астрономы раньше не знали, потому что в обычные телескопы она почти не видна. И только когда радиотелескопы указали, где ее искать, была сделана фотография, на которой эта галактика получилась очень бледной, так как ее световое излучение очень мало. Зато ее радиоизлучение очень интенсивно, и именно поэтому она называется радиогалактикой.



Ученые предполагают, что она представляет собой «взорвавшуюся» звездную систему.

Радиотелескопы позволили также исследовать скопления межзвездного вещества. На одной из приведенных здесь фотографий вы можете увидеть рисунок распределения гигантских облаков водорода в нашей Галактике.

## МИКРОСКОПЫ

Граммфонную пластинку или магнитофонную ленту можно проигрывать только в одном направлении. Если же пустить их в противоположную сторону, раздадутся совершенно немusыкальные звуки. Правда, два величайших гения, Бах и Моцарт, сочинили несколько пьес, одинаково звучащих при проигрывании с начала и с конца. Но это не более, чем курьез; не более, чем исключение, подтверждающее правило.

И даже не правило, а закон. Закон, повинуваясь которому наш мир является несимметричным во времени. Мы можем заложить металлическую заготовку в токарный станок и путем обработки придать ей нужную форму. Но нет такого станка, нет таких средств, которые помогли бы из выточенной детали и снятой стружки вновь воссоздать ту же самую заготовку.

Есть законы другого типа. Они, разумеется, не нарушают соотношения причины и следствия, потому что действуют в иной области. Основываясь на этих законах, можно создать устройства, в которых определенные процессы могут оказаться обратимыми. Так, некоторые виды электрических машин могут быть источниками электрической энергии, если их роторы вращать с помощью двигателей, но могут, в свою очередь, обратиться в двигатели, если их подключить к источнику электроэнергии. О таких машинах говорят, что они обратимы.

В оптике тоже есть обратимые устройства. Одним из них является собирающая линза. Пучок параллельных лучей, пропущенный сквозь нее, соберется в одной точке — в фокусе. И, наоборот, пучок лучей, расходящийся от точечного источника света, установленного в фокусе, пройдя через линзу, превратится в пучок параллельных лучей. Правда, в данном случае обратимость имеет несколько иной смысл, потому что она относится не к процессу, а к ходу лучей.

Нечто подобное происходит и в других оптических устройствах. Наведя фотоаппарат на какую-либо плоскостную картину, мы получим ее изображение на матовом стекле аппарата. Если же вместо матового стекла вставить диапозитив с изображением картины, а на место картины повесить экран, то наш фотоаппарат превратится в проекционный: на экране мы увидим изображение, нарисованное светом, прошедшим сквозь диапозитив и объектив фотоаппарата.

Микроскоп по своей оптической схеме ничем не отличается от трубы Кеплера. Принципиальное отличие состоит лишь в том, что свет в мик-

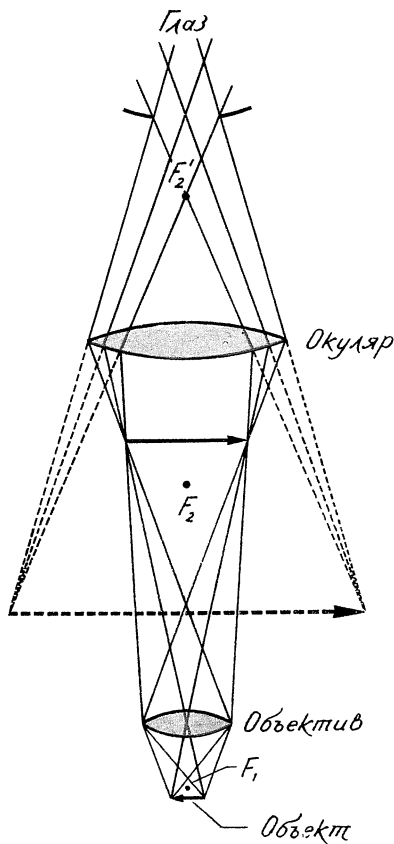
роскопе движется в противоположном направлении. Длиннофокусный объектив телескопа обращается в окуляр микроскопа, а окуляр телескопа — в короткофокусный объектив микроскопа.

Заглянув впервые в такой перевернутый телескоп, вы, скорее всего, не согласитесь со сказанным, потому что все предметы будут иметь уменьшенные размеры, будут казаться удаленными. Это не должно вас смущать. Увеличения вы добьетесь сразу же, как только поднесете рассматриваемый предмет поближе к объективу. Его надо поместить на дистанции, не превышающей двух, но несколько большей одного фокусного расстояния. Те, кому удалось соорудить телескоп по рецепту, приведенному в книге, могут легко проверить это. И тогда они убедятся, что сделали не только телескоп, но и микроскоп.

Итак, одна и та же оптическая схема позволяет создать и телескоп и микроскоп. Разница же состоит в том, что в первом случае объект находится на расстоянии, в гигантское число раз превышающем фокусное расстояние длиннофокусного объектива; а во втором — на очень малом расстоянии (между одним и двумя фокусными расстояниями) от короткофокусного объектива. А отсюда вытекает и еще одно различие: в телескопе видимое изображение много меньше удаленных объектов (очень близкие объекты телескоп может и увеличить), а в микроскопе изображение всегда много больше самих объектов.

Однако не надо думать, что какой-либо даже самый лучший телескоп может одновременно быть и отличным микроскопом, а микроскоп — телескопом. Это, конечно, не так. На практике и конструкция, и оптические детали телескопов и микроскопов сильно отличаются по своему выполнению, потому что рассчитываются для получения наилучшего изображения для конкретного случая применения. А применение у этих инструментов совершенно различное.

Велики различия в оптике и у разных микроскопов, хотя схема у всех одинакова. Эти различия опять-таки диктуются несходством областей применения микроскопов. Конечно, имеются и универсальные ин-



Оптическая схема и ход лучей в микроскопе.

струменты, которые можно применять даже в очень отличающихся друг от друга условиях. Но этот путь не всегда дает наилучшие результаты. Часто совсем простой, но специально предназначенный для определенных наблюдений микроскоп оказывается более полезным.

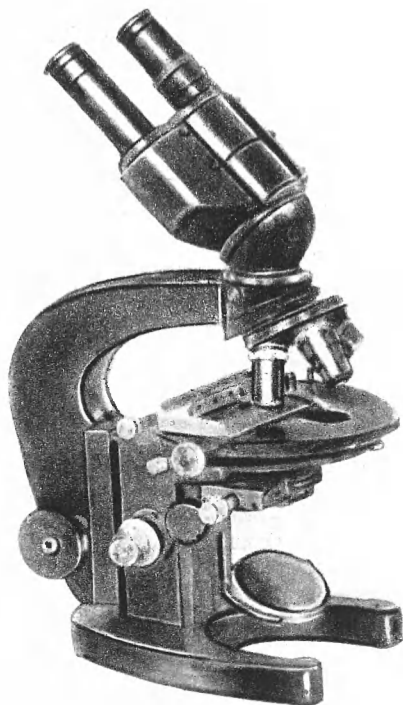
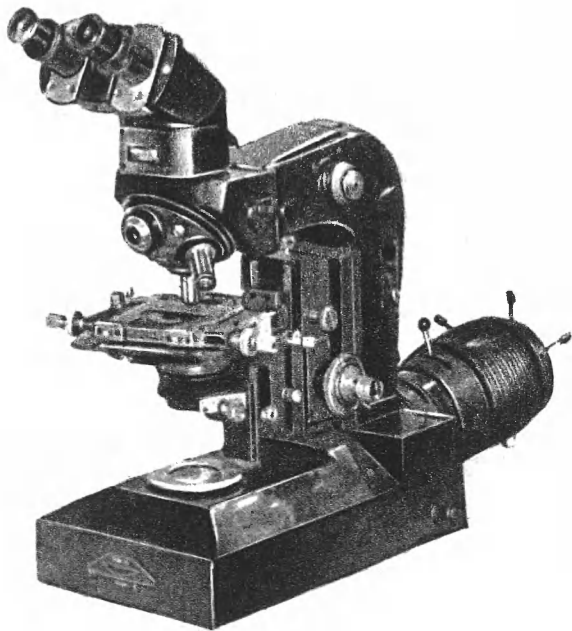
Телескопы выполняются в настоящее время по трем оптическим схемам. Микроскопы, практически все,— по одной: по схеме «перевернутой» трубы Кеплера. Таким образом, все они являются рефракторами. Можно было бы делать и микроскопы-рефлекторы. Еще Ньютон собирался построить такой микроскоп, но по каким-то причинам не осуществил своего замысла. Рефлекторы не делались и в последующие годы, так как они не давали никаких преимуществ в сравнении с линзовыми. Только в наше время, вскоре после войны, было построено некоторое количество микроскопов-рефлекторов специально для работы в области коротких ультрафиолетовых лучей. Однако широкого распространения такие микроскопы не получили. Их вытеснили появившиеся в те же годы электронные микроскопы.

Астрономия как наука существовала задолго до изобретения телескопа. После того как он был изобретен, ученые смогли неизмеримо расширить свои познания о Вселенной. Микроскоп позволил сделать большее — открыть мир, о котором люди даже не подозревали. И это открытие вызвало к жизни множество чрезвычайно важных наук.

Первые микроскопы были столь же несовершенны, как и первые телескопы, но все же довольно скоро их удалось улучшить. Знаменитый голландец Антони Левенгук (1632—1723), первый в истории микробиолог, не был профессиональным ученым. Но именно ему удалось построить очень хорошие по тому времени (около 1677 года) микроскопы, дававшие увеличение до 300 раз. С их помощью он впервые наблюдал движение крови в капиллярах, красные кровяные тельца, строение мышц и хрусталика глаза; он открыл и изучил многие микроорганизмы.

Шли годы, многие оптики трудились над усовершенствованием микроскопов. Качество их становилось все лучшим. Ученые добились устранения окрашивания предметов, свели практически к нулю искажения формы изображения, значительно повысили увеличение и разрешающую силу, то есть различимость мелких деталей изображений. За эти же годы расширилась и сфера применения этих инструментов. Они оказались незаменимыми не только в микробиологии — наука с успехом использует их в самых различных областях. В наши дни микроскоп можно увидеть на рабочем столе биолога и медика, химика и физика, геолога и металлурга, археолога и криминалиста и многих других. Не менее прочное положение заняли микроскопы и в промышленности. Разные производственные процессы и операции технического контроля при изготовлении особо точных и ответственных механических деталей, узлов электронных ламп, транзисторов ведутся с помощью микроскопов. Часто совместно с ними используется фотографическая и даже кинокамера.

Современные микроскопы представляют собой необыкновенно точные и совершенные оптические приборы. Типы и конструкции их весьма разнообразны и определяются областью применения.



Современные универсальные микроскопы.

Наиболее привычные по виду и, пожалуй, наиболее распространенные микроскопы показаны на первой фотографии. Это так называемые биологические микроскопы, хотя, разумеется, их можно применять и во всех других областях, где это позволяет конструкция осветителя и предметного столика.

На следующей фотографии вы видите микроскоп, используемый на заводах для контрольных и измерительных операций. Обратите внимание на конструкцию предметного столика: на две микрометрические головки, смещающие столик в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, и на угломерный круг с нониусом, позволяющий точно отсчитывать углы поворота столика.

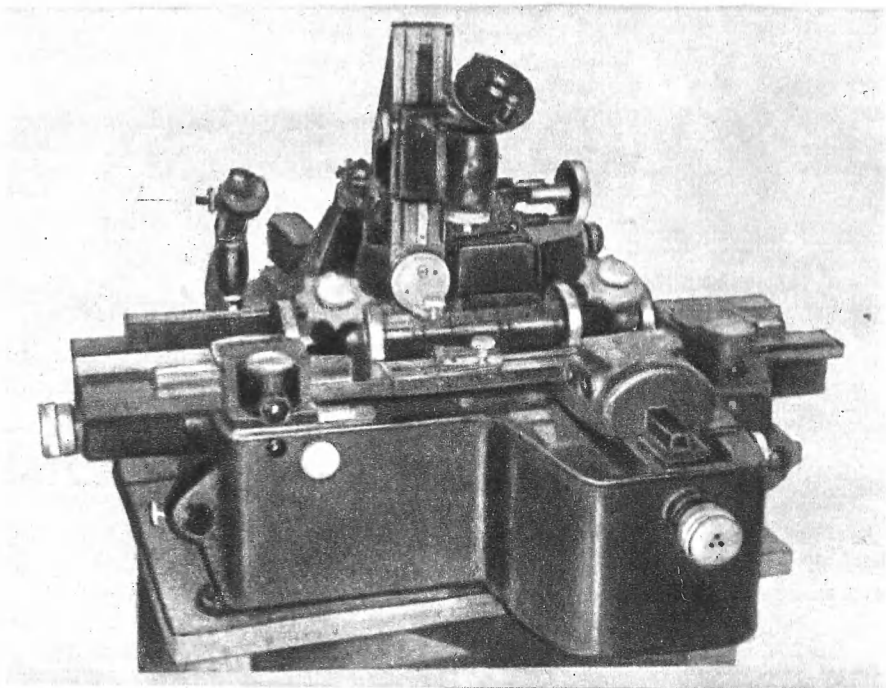
Другим видом микроскопа, применяемого в промышленности, является измерительный микропроектор. Он позволяет проектировать на круглый экран изображения (чаще всего профильные) различных мелких деталей. Размеры изображения могут быть от 5 до 100 раз больше самой детали. На таких проекторах проверяется точность выполнения профиля прецизионных<sup>1</sup> резб, миниатюрных штампованных деталей и

<sup>1</sup> Прецизионный — отличающийся высокой точностью.

тому подобное. Многие мерительные приборы, обеспечивающие точность отсчета размеров порядка 0,001 миллиметра и выше, включают в свою конструкцию микроскоп.

Итак, современный микроскоп доведен до высокой степени совершенства. Но, подобно телескопу, его возможности не беспредельны. Более того, они уже в основном исчерпаны. И ждать резкого улучшения оптических микроскопов в будущем вряд ли следует, ибо границы их возможностям установлены самими свойствами света.

При наблюдении в телескопы одним из ограничивающих полезное увеличение факторов является атмосфера. Для микроскопистов этот фактор не имеет значения. Зато явление дифракции в данном случае играет даже большую роль, чем прежде. Как известно, в телескопах с дифракцией можно бороться путем увеличения диаметра объектива. В принципе это влияние можно свести до сколь угодно малого. Но на практике этому препятствуют огромные технические трудности, возникающие при изготовлении объективов большого диаметра. Эти трудности, однако, не являются принципиально непреодолимыми. То, чего техника не могла сделать в прошлом, сейчас выполняется сравнительно легко, и поэтому можно ожидать, что техника будущего, если потребует-



Современный микроскоп для производственных нужд.

ся, сумеет еще больше увеличить размеры телескопических размеров объективов.

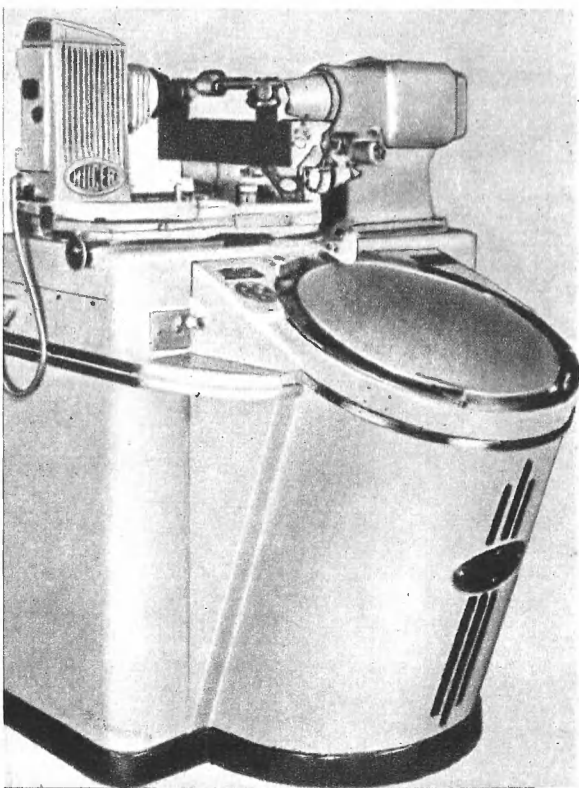
Что касается наблюдений микроскопических объектов, то здесь полностью устранить дифракционные явления невозможно даже в принципе. Их можно только ослабить. Влияние дифракции в этом случае не уменьшается беспрельдно с увеличением диаметра объектива.

Второй метод борьбы с дифракционными явлениями, также дающий лишь ограниченный выигрыш, заключается в том, что объектив микроскопа помещается в прозрачную среду с большим коэффициентом преломления. Для этого используются вода и кедровое масло. Микроскопы, у которых объектив находится в сильно преломляющей среде, называются иммерсионными.

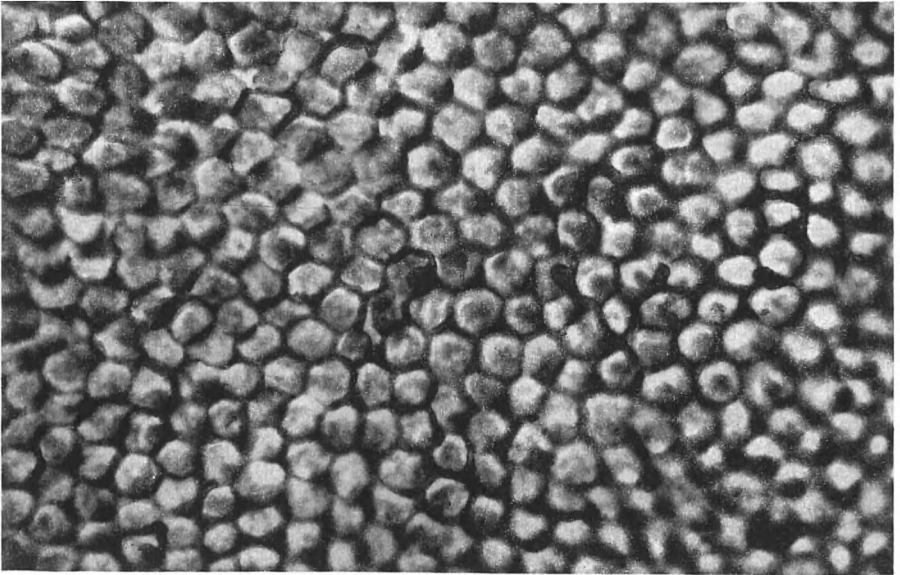
Применив все доступные методы борьбы с дифракцией, можно создать микроскопы (и они уже существуют), которые позволят рассматривать объекты с линейными размерами не менее  $0,3 \lambda$ , где  $\lambda$  — длина волны света, в лучах которого рассматривается объект.

Наш глаз реагирует на свет с длинами волн от 380 до 770 миллимикрон.

Освещая объект самыми короткими фиолетовыми лучами, мы сможем различить форму объекта с линейными размерами не менее 125 миллимикрон. Обычно в микроскопах используется не монохроматический, а белый свет. Поэтому для оценки влияния дифракции ориентируются на некую среднюю длину волны и полагают, что разрешающая способность соответствует примерно 200 миллимикрон, или  $2 \cdot 10^{-5}$  сантиметра. Это предельно малый размер микроскопического объекта, форму которого еще можно определить. К сожалению, он примерно в 2000 раз больше размера молекулы, и, следовательно, увидеть ее когда-



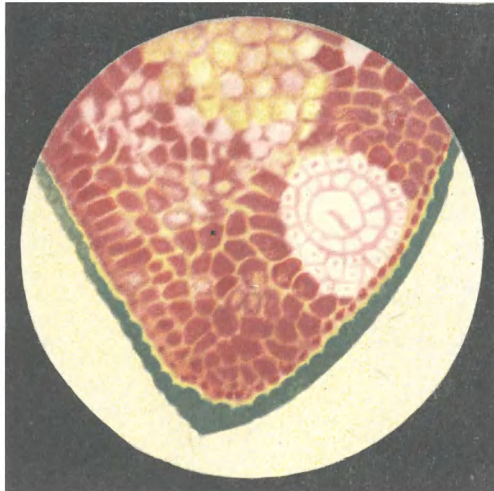
Микропроектор.



Фотография сетчатки глаза человека, полученная с помощью микроскопа.



Микроскоп помог изучить и строение ствола зрительного нерва. На снимке можно различить даже отдельные волокна зрительного нерва рыбы.



Цветная микрофотография, полученная  
в ультрафиолетовых лучах.





Цветная аэрофотография по окраске земной поверхности и по окраске растительного покрова позволяет определять залежи полезных ископаемых



Сильно увеличенный глаз краба — он сходен с глазом насекомых, в частности стрекозы, и называется фасеточным глазом.

либо с помощью оптического микроскопа не представляется возможным.

Стоит сказать также что в микроскопе могут быть видны и частицы, имеющие размеры даже  $\approx 5$  миллимикрон. Для их обнаружения применяется ультрамикроскоп. От обычного он отличается лишь конструкцией осветителя, который освещает частицы боковым светом. При таком освещении эти частицы кажутся яркими точками на темном фоне. Но о форме их по полученному изображению мы судить не можем. Однако часто и такие наблюдения оказываются необыкновенно ценными. Ведь и звезды мы наблюдаем точно такими же.

Вероятно, все помнят, откуда это:

«Стали все подходить и смотреть: блоха действительно была на все ноги подкована на настоящие подковы, а левша доложил, что и это еще не все удивительное.

— Если бы, — говорит, — был лучше мелкоскоп, который в пять миллионов увеличивает, так вы изволили бы, — говорит, — увидеть, что на каждой подковинке мастерово имя выставлено: какой русский мастер ту подковку делал.

— И твое имя тут есть? — спросил государь.

— Никак нет, — отвечает левша, — моего одного и нет.

— Почему же?

— А потому, — говорит, — что я мельче этих подковок работал: я гвоздики выковывал, которыми подковки забиты, — там уже никакой мелкоскоп взять не может.

Государь спросил:

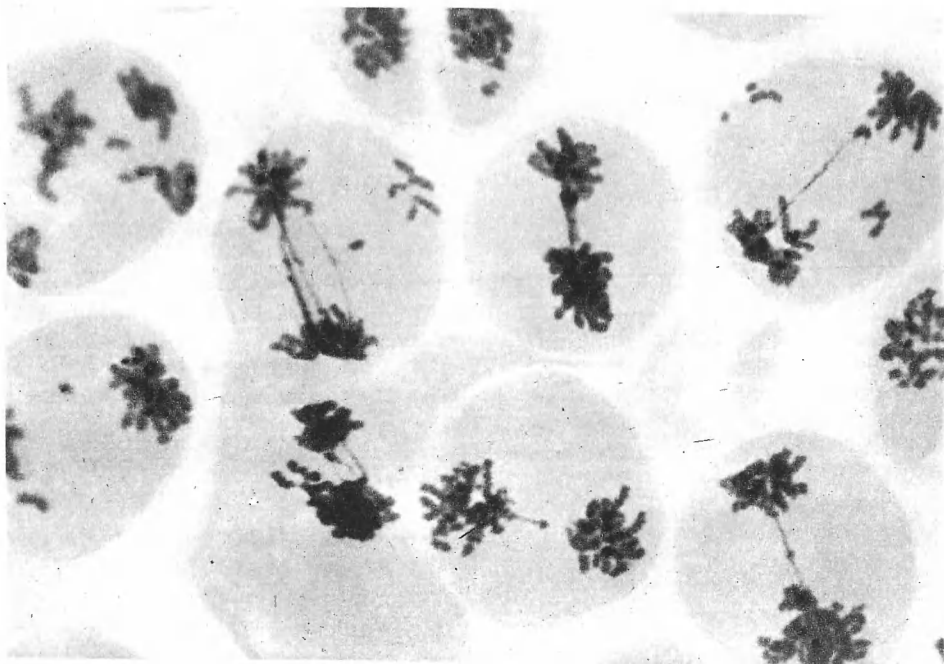
— Где же ваш мелкоскоп, с которым вы могли произвести это удивление?

А левша ответил:

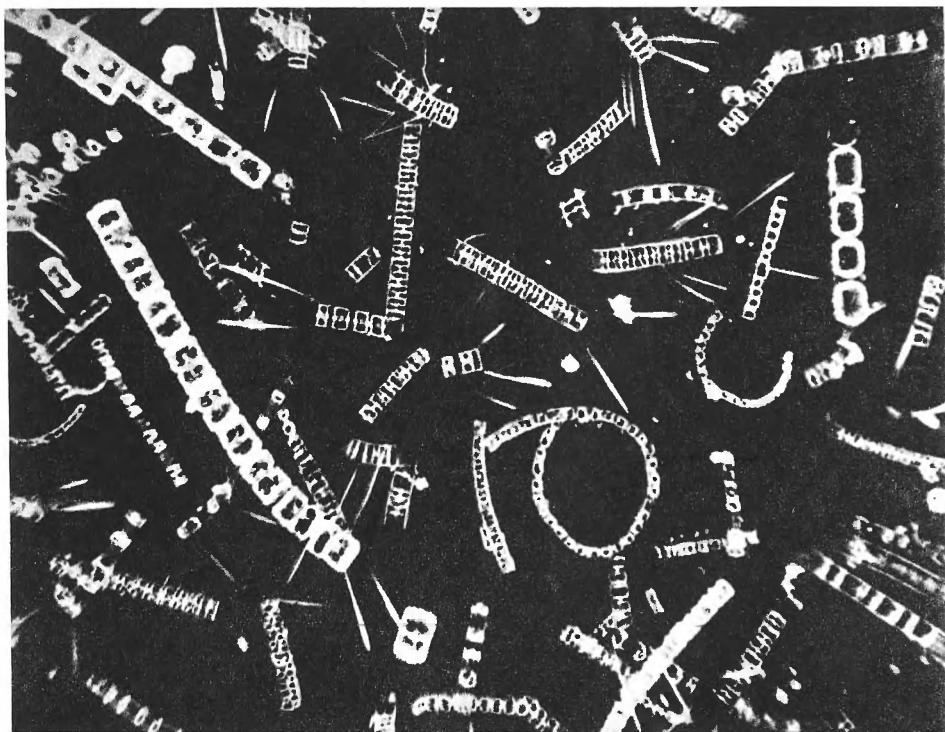
— Мы люди бедные и по бедности своей мелкоскопа не имеем, а у нас глаз и так пристрелявши».

Как это ни странно, преувеличивать возможности микроскопа свойственно не только художественной литературе. Даже в наше время очень многие продолжают считать, что микроскоп может увеличивать во много тысяч раз. Такое мнение неверно.

Вследствие дифракции увеличение микроскопов оказывается относительно небольшим. Вернее, его можно получить очень значительным, подобрав для этого соответствующий объектив. Но оно в боль-



Так выглядят под микроскопом клетки.



Это не фотография драгоценных браслетов и ожерелий. Вы видите микрофотографию крошечных водных организмов — планктона

шинстве случаев будет бесполезным. При очень большом увеличении количество различных мелких деталей не возрастет, но зато на изображении явственно проступят дифракционные узоры. И даже опытные микроскописты, у которых «глаз пристрелявши», нередко впадают в ошибку, принимая их за изображение мелких деталей самого объекта.

Вот что пишет по этому поводу Г. Г. Слюсарев в своей книге «О возможном и невозможном в оптике»:

«...полезное увеличение микроскопа не превышает 300—500 раз. И здесь, как и в телескопических системах, можно идти на удвоение и даже на утроение этих чисел. Все же увеличения, превышающие 1000, явно бесполезны и даже вредны: в них дифракционные явления ясно выступают, добавляя свой рисунок к контурам рассматриваемых объектов и являясь причиной всяких ошибок и недоразумений.

Вообще плохое знакомство с оптикой приводит не только молодых, неопытных работников, но и ученых с мировым именем к ошибкам иногда очень крупным. Ряд объектов, имеющих огромный интерес для био-

логии, зоологии, цитологии (науки о клетке), имеет размеры, лежащие как раз несколько ниже наименьшего разрешаемого расстояния. При умелом обращении с микроскопом эти объекты могут быть обнаружены, но очевидно, что при этом крайне легко стать жертвой оптического обмана. Такие случаи бывали и не раз будут повторяться, до тех пор пока всем работающим с микроскопом не станет ясно, что смотреть изображение в окуляре микроскопа, не зная его теории, так же трудно, как читать книгу на малознакомом языке».

Один из способов повышения разрешающей силы микроскопа и, следовательно, максимально возможного увеличения является уменьшение длины волны света, в лучах которого исследуется объект. Первым препятствием для укорочения волны является нечувствительность нашего глаза к ультрафиолетовым излучениям. Заменяя глаз фотопластинкой, можно значительно продвинуться в область ультрафиолетовых лучей и тем самым повысить разрешающую способность и полезное увеличение микроскопа. Очень больших успехов в деле создания ультрафиолетовых микроскопов добился советский ученый Е. М. Брумберг.

Такие микроскопы довольно часто применяются учеными, но они имеют один немаловажный недостаток — исследуемый объект можно увидеть только после проявления фотографий. Поэтому в настоящее время в ультрафиолетовый микроскоп вводят еще одно важное устройство — преобразователь изображения. С его помощью недоступное глазу изображение в ультрафиолетовых лучах превращается в видимое. Преобразователи такого рода основаны на хорошо известном явлении фотоэффекта.

А пока вернемся к очень интересному методу цветной ультрафиолетовой фотографии микроскопических объектов.

По существу, ни о каких естественных цветах в этом случае говорить нельзя. Но очень часто для лучшего различения мелких деталей объекта и определения оптических свойств отдельных его частей объект фотографируют в различных участках спектра ультрафиолетовых лучей. Можно условно назвать самые длинноволновые из них красными, промежуточные — зелеными, а самые коротковолновые — синими. Три негатива, полученные таким способом, можно использовать для получения цветного отпечатка. Изображение такого рода может оказаться гораздо более подробным: участки красного цвета на нем будут соответствовать тем местам изображения, где от объекта приходило много длинноволновых ультрафиолетовых лучей; зеленые цвета покажут, где приходило много промежуточных лучей, и так далее. Зная теорию смешения цветов, вы можете судить о составе лучей и в тех местах, где имеются отличные от исходных хроматические цвета. Одна из фотографий подобного рода приведена здесь.

Ультрафиолетовые микроскопы Брумберга позволяют примерно вдвое повысить разрешающую способность и полезное увеличение микроскопа. К сожалению, идти по пути еще большего укорочения световых волн затруднительно, вследствие того что большинство объектов очень

сильно поглощает короткие ультрафиолетовые лучи. Кроме того, возникают трудности и иного рода. Они уже связаны с оптическими свойствами стекла: с сильным поглощением ультрафиолетовых лучей в стекле.

В последние годы в микроскопии стал широко использоваться и другой участок диапазона невидимых световых лучей — инфракрасный. Разрешающая сила микроскопов и полезное увеличение при работе в этих лучах, естественно, снижаются, но цель применения инфракрасных лучей в микроскопии другая; эти лучи позволяют вести такие исследования, которые раньше казались совершенно невыполнимыми. Оказывается, что многие органические и неорганические вещества, непрозрачные для лучей видимого света, хорошо пропускают инфракрасные. Это позволяет исследовать их микроструктуру с помощью специальных инфракрасных микроскопов.

Модель инфракрасного микроскопа была создана электрофизической лабораторией Института металлургии Академии наук СССР в 1956--1957 годах. Эта модель хорошо зарекомендовала себя, и с 1960 года начался выпуск инфракрасных микроскопов «МИК-1».

Микроскоп этого типа позволяет проводить наблюдения как в видимых, так и в ближней зоне (до 1200 миллимикрон) инфракрасных лучей. Наблюдение может вестись в отраженном и проходящем свете. В микроскопе имеется преобразователь, и поэтому изображение можно наблюдать непосредственно или фотографировать.

Мы привыкли считать металлы непрозрачными, и действительно нам никогда не приходилось видеть их иными. И, если бы к кому-либо из нас попал чистый кремний (силиций) или чистый германий (экасилицием называл его Менделеев, предсказавший существование этого химического элемента), мы, глядя на блестящие серебристые кусочки этих металлов, и не подумали бы, что они прозрачны. На самом же деле они очень хорошо пропускают свет, но не видимый, а инфракрасный.

В наши дни кремний и германий — металлы новейшей радиоэлектроники.

Именно из кристаллов этих химических элементов делаются многие полупроводниковые устройства: диоды, фотодиоды, транзисторы, фототранзисторы, солнечные батареи для спутников, элементы холодильных устройств. Для их изготовления кремний и германий должны быть полностью очищены от различных примесей, а их кристаллическое строение не должно иметь никаких дефектов. Получение химически чистых крупных кристаллов — одна из самых сложных задач, когда-либо решавшихся металлургией. И поэтому не случайно, что инфракрасный микроскоп создали не в каком-либо оптическом институте, а в Институте металлургии, где он, по-видимому, был наиболее необходимым.

Инфракрасный микроскоп позволяет заглянуть внутрь кристаллов кремния и германия. Он дает возможность более глубоко изучить возникающие дефекты и тем самым найти пути их устранения. На помещенной здесь фотографии, сделанной с помощью «МИК-1», видно изобра-

жение кристалла кремния; темные загнутые линии и есть дефекты его строения.

Итак, инфракрасные лучи позволили проникнуть в толщу непрозрачных для обычного света веществ. Но при этом разрешающая сила и полезное увеличение микроскопа упали. И, видимо, у большинства читателей уже давно возник вопрос: «Почему же для этих целей не были использованы рентгеновские или гамма-лучи, которые практически проникают через все вещества и в то же время имеют очень короткие длины волн?»

Вопрос этот совершенно справедливый. Действительно, микроскоп, работающий на этих лучах, имел бы очень высокую разрешающую способность. С его помощью можно было бы увидеть даже молекулы.

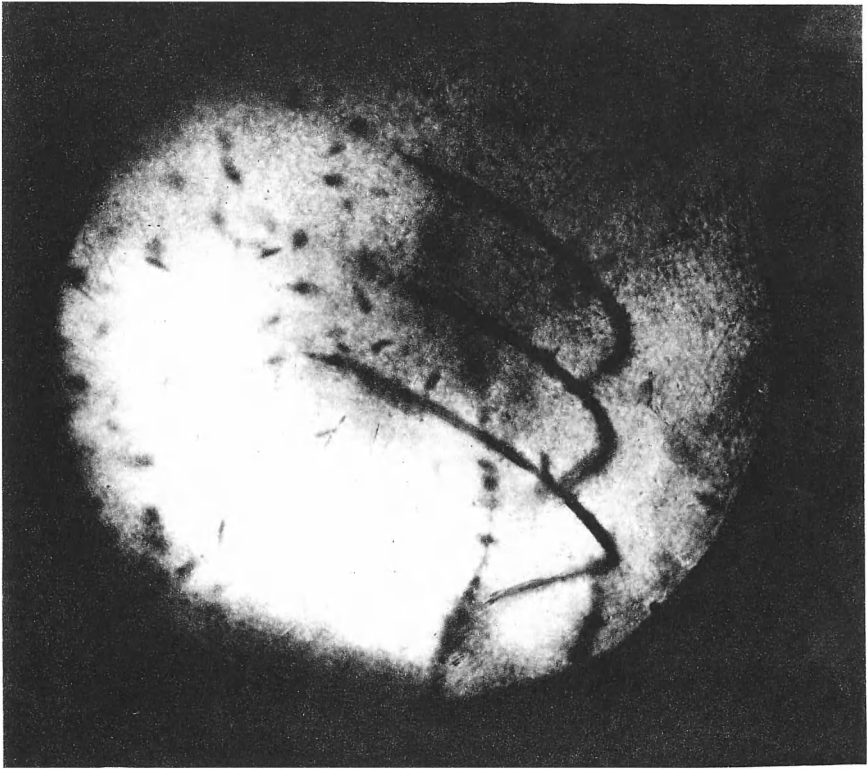
Ученые пытались строить рентгеновские микроскопы. И они уже существуют. Но пока еще не созданы такие инструменты, которые могли бы сравниться по качеству с обычными микроскопами.

Сложность заключается в том, что науке неизвестен какой-либо материал, который мог бы преломлять рентгеновские или гамма-лучи подобно тому, как преломляет стекло обычные световые волны. Делались попытки использовать вместо линзовых рефлекторные схемы, но и на этом пути не добились большого успеха. Зеркало, которое великолепно отражает лучи видимого и даже ультрафиолетового света, для рентгеновских лучей представляет собой не гладкую отражающую, а изрытую глубокими бороздами и ямами поверхность. Это происходит потому, что неровности, которые были неощутимы для довольно длинных волн видимого света, становятся соизмеримыми и даже превышают длину волны рентгеновского и гамма-излучения. Поэтому полировка зеркал для таких коротковолновых лучей требует необыкновенной, недостижимой по разным причинам чистоты поверхности. Но это еще не вся трудность. Не менее существенно и то, что рентгеновские лучи могут отражаться от зеркал только в том случае, если углы их падения отлогие. При достаточно крутых углах отражения не происходит даже и при хорошем зеркале — лучи проникают в его толщу.

И все же именно рентгеновским лучам мы обязаны тем, что смогли представить себе строение молекул различных химических соединений. Только сделали это не с помощью каких-либо микроскопов, а иным путем — с помощью явления дифракции. Того самого явления, которое справедливо считается злейшим врагом всех микроскопистов и не позволяет нам видеть в микроскопе не только молекулы, но и куда более крупные объекты.

Зато при рентгеновских исследованиях структуры вещества дифракция принесла огромную пользу. Изучение дифракционных картин кристаллов позволило ученым найти методы определения структуры вещества по этим картинам.

Пример с явлением дифракции наталкивает нас на очень важную мысль. В природе нет явлений абсолютно вредных или абсолютно полезных. Каждое из них может проявлять себя по-разному. Всем известно,



Фотография дефекта в кристалле кремния, полученная в инфракрасных лучах с помощью микроскопа «МИК-1». Эту фотографию сделали сотрудники Института металлургии Академии наук СССР.

что трение в колесных осях вагонов заставляет локомотив расходовать много лишней энергии даже на ровных участках дороги. И поэтому с трением всячески борются, стараясь свести его до минимума. Но в то же время, если бы трения вовсе не было, локомотив вообще не мог бы двигаться, его колеса буксовали бы на месте.

Говорить о том, что было бы, если бы какой-либо из физических законов изменился или вовсе исчез, почти всегда беспредметно. Физические законы не зависят от воли человека. Зато именно от воли, от силы его ума и от изобретательности зависит такое использование этих законов, которое может принести пользу. И в тех случаях, когда какой-нибудь закон встает перед человеком непреодолимой преградой, он силой своего разума находит решение задачи, опираясь на тот же самый или на другой физический закон.



Теперь мы уже знаем, что именно законы света не позволяют нам повышать разрешающую способность и увеличение оптических микроскопов. На этом пути сделано уже все или почти все, что можно сделать при современном уровне развития науки.

Но нет ли другого пути, нет ли других явлений, которые помогли бы нам сделать то, чего не позволяет свет?

Мы можем ответить на поставленный вопрос. Для этого стоит лишь вспомнить, что известно науке о природе света. Свет, говорит она, обладает и свойствами волны, и свойствами частицы.

Но нет ли другого, физического объекта, обладающего сходными свойствами? Есть. И мы знаем его. Электрон проявляет себя точно так же — он и частица и волна.

Но если это так, нельзя ли создать микроскоп, в котором вместо световых волн использовались бы волны, связанные с электронами?

Да, можно. И даже необходимо, потому что длина волны, связанной с электронами, может быть сделана поразительно малой, даже меньшей, чем у рентгеновских лучей. И, следовательно, разрешающая способность такого электронного микроскопа может оказаться чрезвычайно высокой.

Мысль о создании электронного микроскопа, вероятно, возникла вскоре же после открытия, сделанного Луи де Бройлем в 1924 году. Он предсказал тогда, что электроны должны обладать волновыми свойствами. И вскоре это предсказание подтвердилось экспериментально — ученые обнаружили явление дифракции электрона.

Однако от идеи микроскопа до ее практического осуществления было еще далеко. Ученым предстояло создать второй необходимый компонент электронного микроскопа — линзы. Ведь обычные линзы непригодны для преломления электронных пучков. К счастью, с такими линзами дело обстоит гораздо проще, чем в случае рентгеновских лучей, ибо, в отличие от электромагнитных волн, электронные пучки могут отклоняться в электрическом и магнитном поле.

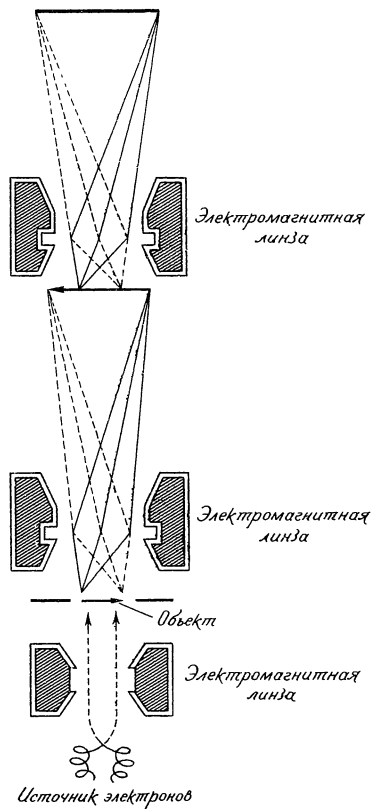


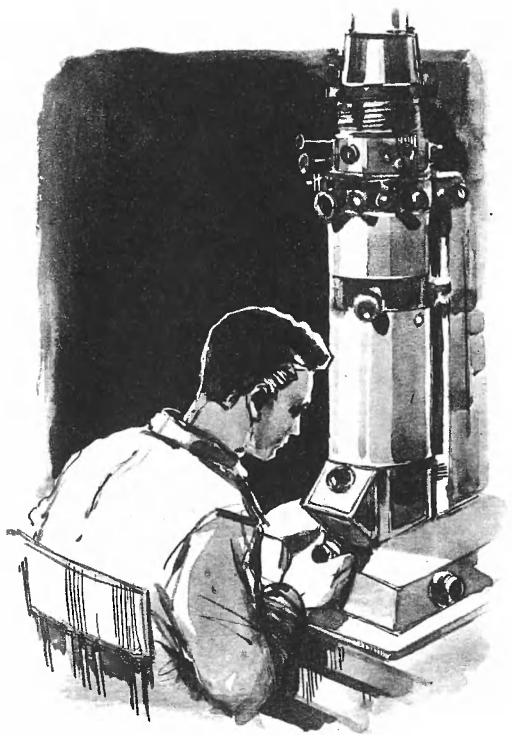
Схема электронного микроскопа. В принципе она не отличается от схемы оптического микроскопа, но роль линз в данном случае выполняют специальные электромагнитные катушки.

Разработка теории и практическое осуществление различных систем электронной оптики заняли немало времени, и только к началу второй мировой войны были созданы первые более или менее удовлетворительные образцы электронных микроскопов. В них лучи света были заменены пучками электронов, а стеклянные линзы — системами электромагнитных катушек и электродов, подключенных к источникам электрического напряжения. Но ход лучей-электронов и электронно-оптическая схема в этом микроскопе оставались такими же, как и в оптическом.

Конечно, конструкция нового типа микроскопа совершенно иная. Электронный микроскоп значительно сложнее и по своим размерам гораздо больше оптического. Это прежде всего объясняется тем, что пучок электронов может беспрепятственно перемещаться только в пустоте. Поэтому в трубе

электронного микроскопа поддерживается очень высокий вакуум. Свет не может не двигаться, а электроны обязательно нужно ускорять. Для этого в электронном микроскопе имеется специальная ускоряющая система, на которую от высоковольтного источника подается электрическое напряжение. Так, в электронном микроскопе типа «УЭМ-100» это напряжение достигает 100 тысяч вольт. Длина волны, связанной с электроном, при таком ускоряющем напряжении равна всего лишь 0,039 ангстрема, или  $3,9 \cdot 10^{-10}$  сантиметра.

Если бы разрешающая способность в электронном микроскопе ограничивалась только явлением дифракции, то можно было бы рассматривать даже молекулы. К сожалению, разрешающую способность значительно снижают сами линзы микроскопа. По своим качествам они несравненно хуже оптических, и в настоящее время еще не найдены пути устранения их недостатков. Поэтому разрешающая способность современных электронных микроскопов далека еще от теоретически возможного предела и пока достигает только единиц ангстремов. Но и эта величина в несколько сот раз превышает разрешающую способность опти-



Электронный микроскоп.

ческих микроскопов. Кроме того, в некоторых типах электронных микроскопов, помимо обычных наблюдений, можно также проводить и дифракционные исследования. Получающиеся при этом изображения дифракционных картин — электронограммы — дают ученым возможность изучать строение кристаллов и молекул, недоступное иным способам наблюдения.

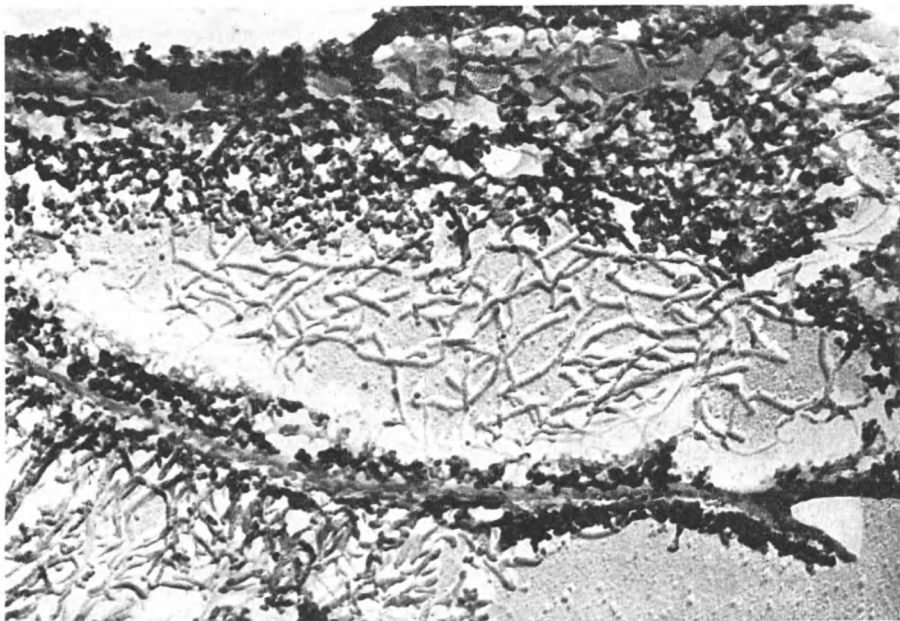
Увеличение современных электронных микроскопов достигает многих десятков тысяч. Оно является произведением двух увеличений — электронно-оптического и фотографического. В электронном микроскопе типа «УЭМ-100» изображение фотографируется на пластинку размером  $6 \times 9$  сантиметров. При печати это изображение может быть дополнительно увеличено. Общее увеличение в 50—75 тысяч раз еще не является пределом.

Такое увеличение необычайно велико. Для того чтобы вы лучше представили себе это, стоит сказать несколько слов о подготовке срезов, которые изучаются с помощью электронного микроскопа. Операция эта очень тонкая, и ее невозможно контролировать даже с помощью сильного оптического микроскопа. Рассматриваемый на просвет срез должен иметь очень малую толщину. Толщина, если в данном случае можно воспользоваться этим словом, среза может достигать всего лишь 10 миллимикрон, то есть она в 38 раз меньше самой короткой длины волны видимого света. Такая величина находится на пределе разрешающей способности электронного микроскопа.

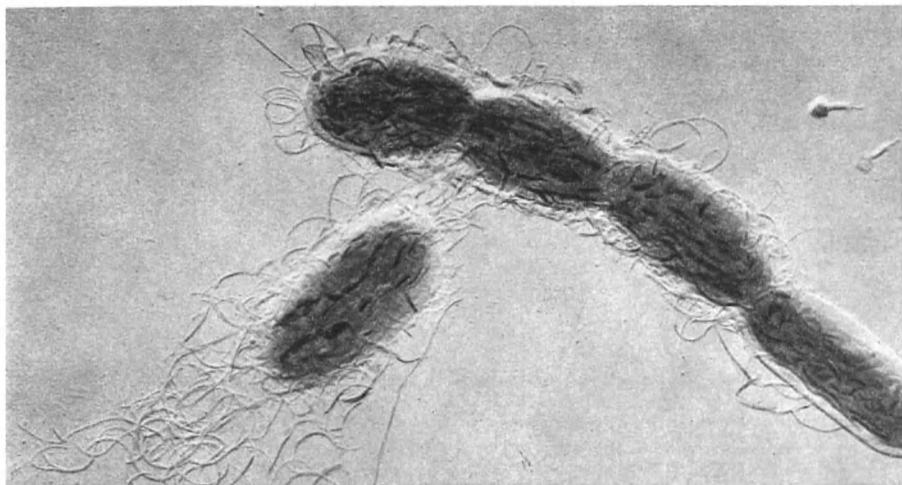
Такие сверхтонкие срезы делаются с помощью специального устройства, так называемого ультрамикротом. Ультрамикротом позволяет делать срезы толщиной от 10 до 150 миллимикрон, причем она может устанавливаться в указанных пределах с точностью до 5 миллимикрон. Это точность, которой пока не требуется даже в самых новейших металлообрабатывающих станках. Ножи ультрамикротомы, сделанные из специального стекла или алмаза, позволяют делать срезы не только мягких тканей, но даже и металлов. Максимальная площадь поверхности среза достигает размеров  $3 \times 4$  миллиметра.

Здесь помещены изображения различных объектов электронной микроскопии и одна электронограмма.

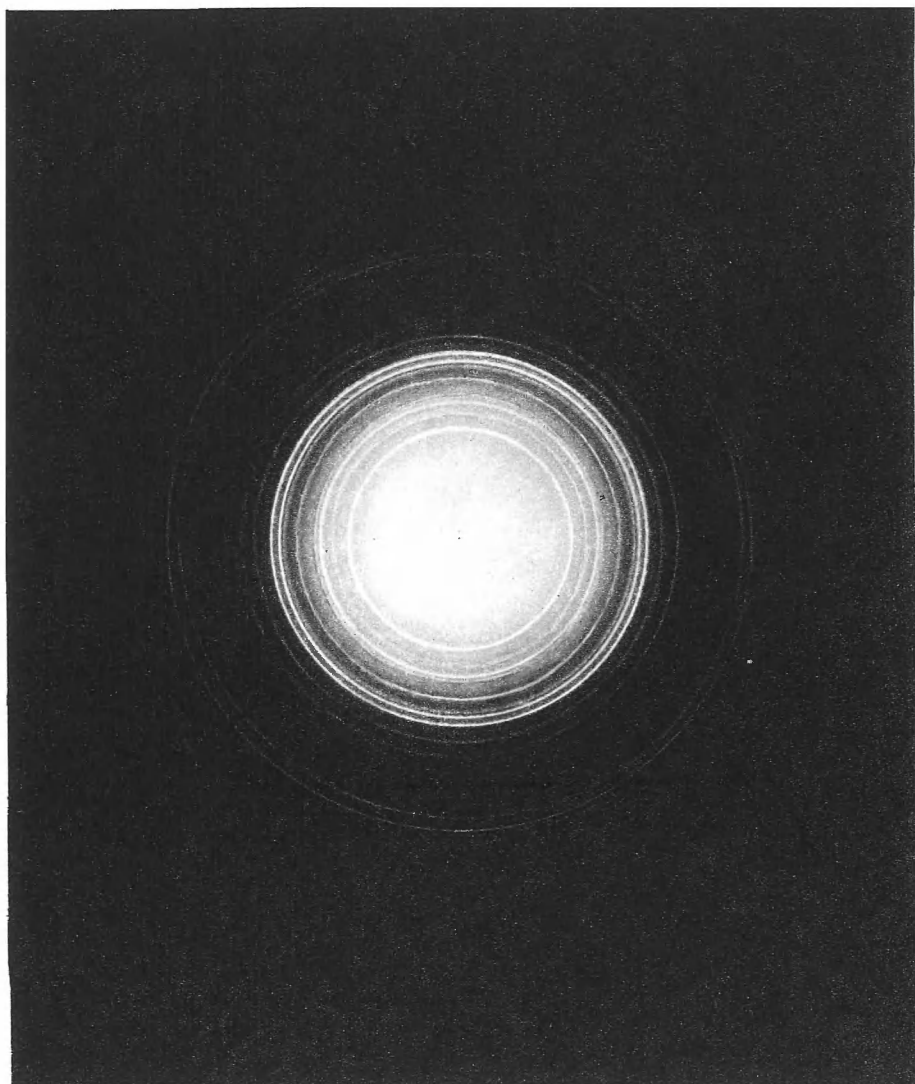
На первой фотографии дается негативное изображение клетки (одной клетки!) листа томата, пораженного вирусом табачной мозаики. Червеобразные линии, видимые в полости клетки, и есть вирусные частицы. На второй фотографии видны изображения бактерий со жгутиками и несколько фаговых частиц. Сами бактерии можно было бы увидеть и в обычном микроскопе, но ни их жгутики, ни фаговые частицы в этом случае не могли бы быть обнаружены. На третьей фотографии дано изображение кристаллов органического вещества — бета-каротина. Как видите, эти кристаллики очень малы сами по себе. Каким же путем можно исследовать их строение? Помощь может оказать изучение электронограмм, или дифракционных картин, полученных от этих кристаллов. Однако это оказывается не простым делом, так как пучок



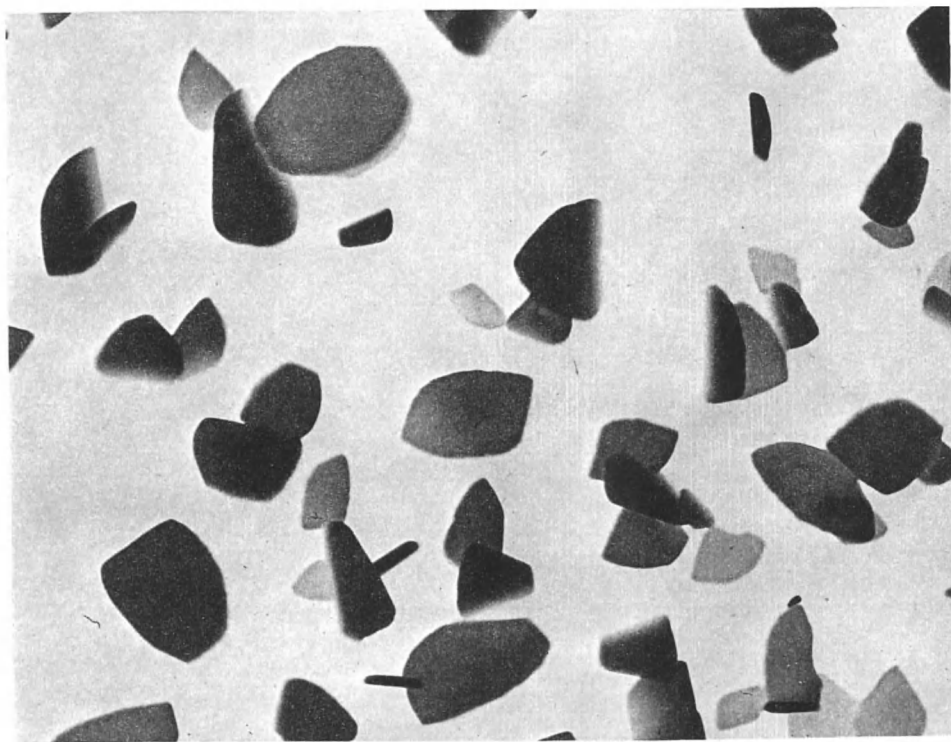
Негативное изображение клетки листа томата, пораженного вирусом табачной мозаики. Фотография сделана в лаборатории электронной микроскопии Академии наук СССР.



Бактерии и фаговые частицы. Фотография сделана в лаборатории электронной микроскопии Академии наук СССР.



Электроннограмма — картина дифракции электронов на кристалле. Сравните этот снимок со снимком дифракции света, помещенным в первой главе. Электроннограмма была сделана в лаборатории электронной микроскопии Академии наук СССР.



Кристаллы бета-каротина. Эта фотография сделана в лаборатории электронной микроскопии Академии наук СССР.

электронов, разогнанных в ускоряющем электростатическом поле микроскопа, легко разрушает строение кристаллов органических соединений биологического происхождения. Лишь совсем недавно ученым удалось получить электронограммы подобных объектов.

Для нас с вами электронограмма особенно интересна тем, что картина дифракции электронов, очень хорошо видимая на ней, совершенно аналогична картине дифракции света, которую мы наблюдали раньше.

Здесь были приведены изображения объектов, исследуемых в биологии. Но электронный микроскоп используется так же широко и в других областях науки и техники; его с успехом применяют и физики, и химики, и металлурги, и другие.



# ФОТОГРАФИЯ И КИНЕМАТОГРАФИЯ

*Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать.*

## **ЗАПЕЧАТЛЕННЫЙ СВЕТ**

Уже более века фотография верно служит людям. Сейчас количество фотолюбителей во всем мире огромно. Их потребности в аппаратуре, пленке, фотобумаге, химикалиях и многих других необходимых вещах удовлетворяет развившаяся в мощную отрасль современной индустрии фотографическая промышленность.

Но она, пожалуй, не занимала бы столь важного места в экономике высокоразвитых стран, если бы ее потребителями были только поклонники любительской фотографии. Несмотря на огромное количество снимков наших любимых, родных и друзей, прекраснейших пейзажей, спортивных событий, пикников и путешествий, которые ежедневно делаются на всех параллелях и меридианах, несмотря на широкое развитие любительской кинематографии, это все же не главная доля всех фото- и киноработ, ведущихся теперь в мире.

Узнать точные цифры хотя бы о количестве используемых ежегодно фотоматериалов крайне трудно. Но для того чтобы иметь хотя бы от-

даленное представление об их потреблении, можно провести простейший расчет. 10 миллионов счастливых обладателей «Зорких», «Фэдов», «Лек», «Смен» и других малоформатных камер, фотографируя ежегодно по пять кассет, израсходуют более 80 тысяч километров киноплёнки. Лентой такой длины можно дважды обернуть земной шар по экватору. Делая в год в среднем по 500 отпечатков (в том числе и бракованных) размером 13×18 сантиметров, эти 10 миллионов любителей потратят 120 квадратных километров фотобумаги и множество химикалий.

Но это количество все же значительно меньше того, что расходуют профессиональная художественная, документальная и научно-прикладная фотография и кинематография. Достаточно сказать, что полтора-часовой кинофильм умещается примерно на 3,5 километра обычной плёнки. В год во всем мире их выпускают более тысячи, и каждый расходуется во многих десятках, а то и сотнях копий. Не меньше, а, пожалуй, больше потребляется различных фотоматериалов в науке и технике.

Зрительная память человека в состоянии запомнить очень многое. Но еще больше человек забывает. И даже то, что, кажется, до малейшей черточки врезалось в память, на поверку нередко оказывается верным лишь в чем-то общем, основном. Однако и то, что человек помнит совершенно точно и четко представляет в уме, он не в состоянии адекватно<sup>1</sup> передать словами. К тому же зрительная память очень субъективна: два очевидца одного и того же события расскажут о нем по-разному, хотя в каждом из рассказов будет только правда.

С давних пор человек знал это свое свойство и стремился восполнить его с помощью рисунка. В технике рисунка некоторые художники достигали, можно сказать, абсолютного совершенства. В одном из журналов было помещено несколько фотографий старинных улиц и площадей, которые исследователи сделали специально для того, чтобы сопоставить их с картинами некоторых старых голландских мастеров, на которых изображены те же улицы и площади. Точность перспективы и детализировки на этих картинах не уступали фотографии.

Но сколько же времени и сил требовалось даже самому талантливому мастеру, для того чтобы добиться такого потрясающего сходства! А фотоаппарат позволяет каждому человеку достичь такого и даже лучшего результата за доли секунды.

О фотографии рассказывать чрезвычайно трудно. Ее надо показывать. В этом и состоит ее прямое назначение. И поэтому главой о фотографии вовсе не ограничивается рассказ о ней в этой книге. О чем бы ни шла речь в ней, везде, где это можно, текст поясняет великий труженик науки и техники — фотография. Только она позволяет так свободно вести разговор об очень сложных явлениях и вещах. Только она позволяет конкретно представлять их себе. Недаром же народ говорит: «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать». Но точнее и лучше всего позволяет нам видеть фотография.

---

<sup>1</sup> Адекватный — тождественный, вполне соответствующий.



## ЛУЧ СВЕТА В ТЕМНОЙ КОМНАТЕ

Любое, даже не очень важное изобретение не рождается из ничего, на голом месте, всегда у него есть предшественники. Часто они широко известны, но кажутся совершенно не связанными между собой. Увидеть такую объединяющую связь очень трудно. Ее можно найти, только когда знаешь, что хочешь найти, когда идея изобретения уже сформулирована, но конкретные средства ее осуществления не найдены.

Подлинный изобретатель отличается тем, что умеет найти такую объединяющую связь. Но не менее характерной его чертой является умение прочувствовать и понять требования и нужды своего времени. Людей, обладающих такими замечательными свойствами, не так уж мало. Вот почему случалось, что многие важные изобретения делались независимо и почти одновременно несколькими людьми.

Это очень ярко видно на примере изобретения телефона. Грехем Белл, признанный его создателем, подал заявку в бюро патентов Вашингтона 14 марта 1876 года. И лишь двумя часами позже в это же бюро обратился Элиши Грей с просьбой о выдаче патента на телефон, очень сходный с белловским. Беллу пришлось потратить двенадцать лет на то, чтобы доказать свой приоритет, который оспаривал не только Грей, но и двенадцать других претендентов.

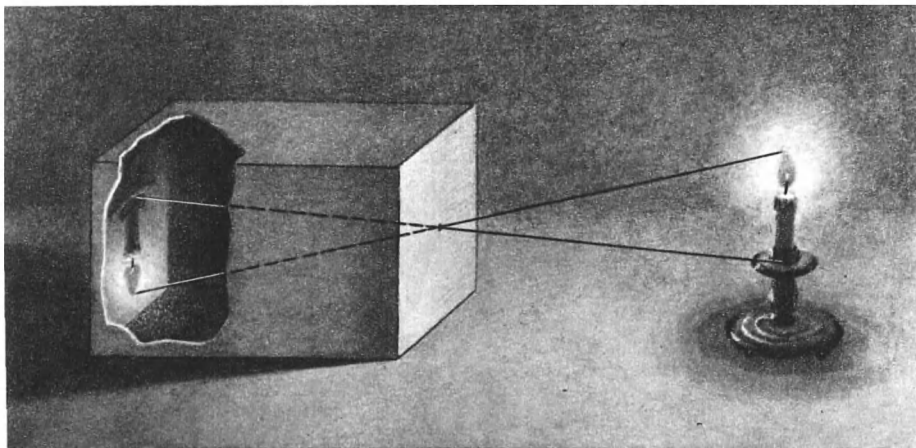
Изобретателей фотографии было тоже немало. Но в этой области столь бурных споров о первенстве не возникло. «Отцами» фотографии признаны двое французов: Нисефор Ньепс и Луи Дагер, по профессии художник. Их «дитя» появилось на свет или, вернее, запечатлело свет в 1837 году. Оно было официально признано 7 января 1839 года, когда о фотографии было доложено на заседании Академии наук в Париже.

Многие из вас, вероятно, слышали выражение «камера-обскура», но, возможно, не все знают, что же это такое. В переводе на русский язык слова «камера-обскура» буквально означают — темная комната. Такими в действительности и были первые камеры-обскуры. В отличие от простых темных комнат, свет в них все же проникал, но не через какие-либо случайные щели, а через очень небольшое отверстие, сделанное в глухой оконной ставне или даже в стене. Такое маленькое отверстие<sup>1</sup> по своему действию несколько сходно с линзой. Пройдя через отверстие, лучи света падали на побеленную противоположную стену или на белый экран, помещенный на их пути, и создавали перевернутое изображение ландшафта или предметов, находившихся перед камерой. Конечно, изображение было ясно видно только в хорошо затемненной комнате, да и то в яркие, солнечные дни. Для того чтобы изображение получалось четким, отверстие приходилось делать очень маленьким, и света через него проходило гораздо меньше, чем через самую плохонькую линзу.

Камера-обскура известна с давних времен. Ее изобретение еще совсем недавно приписывалось попеременно нескольким европейским уче-

---

<sup>1</sup> Но не настолько малое, чтобы могло возникнуть явление дифракции.



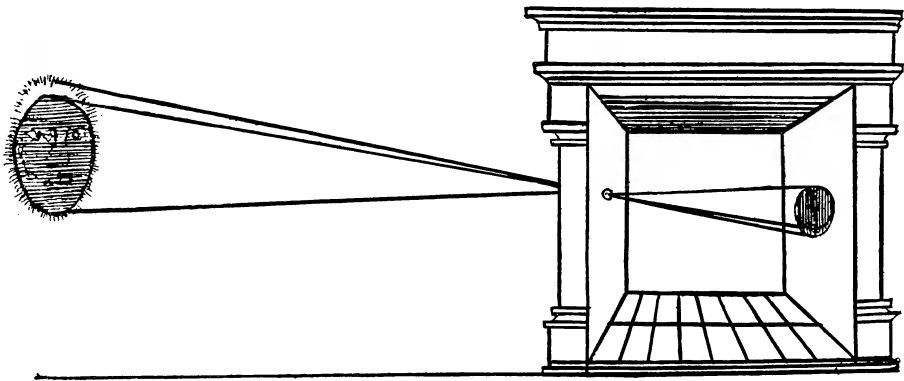
Малое отверстие в передней стенке камеры-обскуры действует подобно объективу современного фотоаппарата, но оно пропускает в сотни раз меньшее количество света.

ным: Роджеру Бэкону, Леону Баттиста Альберти, Леонардо да Винчи, Джiovанни Баттиста Порты. Но еще задолго до них ее описал арабский ученый Гассан ибн Гассан, называвшийся также Ибн аль Хайтамом. О нем уже упоминалось в самом начале книги. Он жил с 965 до 1038 года и написал известное в средние века сочинение по оптике. Европейские ученые средневековья переделали имя автора на свой манер, латинизировали, назвав его Альгазен.

В сочинении Ибн аль Хайтама описана камера-обскура. Однако изобрел ее даже не он. Из этого сочинения можно понять, что камера-обскура была знакома арабским ученым, которые знали очень много по тем временам. Знали они и об устройстве глаза человека. А он, по существу, представляет собой не что иное, как камеру-обскуру, только весьма совершенную, где вместо маленького отверстия на пути света находятся роговица и хрусталик, пропускающие значительно больше света.

Помещая на пути света в камере-обскуре лист бумаги, можно получать очень точные рисунки, обводя контуры предметов пером или карандашом. Ученые воспользовались этим и уже с давних времен применяли камеру-обскуру для зарисовки различных явлений природы. До наших времен дошла книга еврейского философа и математика Леви бен Гершона (1288—1344), жившего в Провансе. В ней он пишет, что наблюдал с помощью камеры-обскуры солнечное затмение.

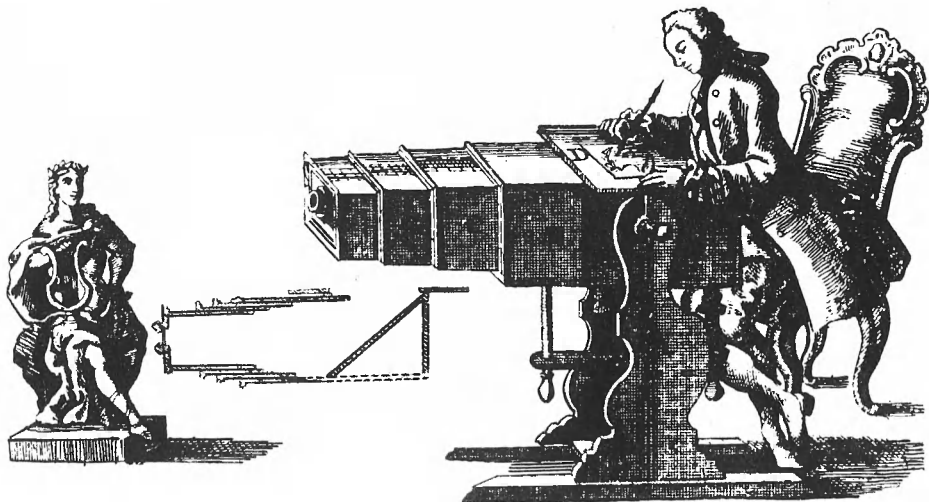
Эти камеры были широко распространены вплоть до изобретения фотографии. Ими пользовались и естествоиспытатели, и ремесленники-портретисты, и любители. За долгие годы камеры значительно усовершенствовались, заменив малое отверстие линзой, уменьшив размеры;



Этот рисунок взят из старинного манускрипта. На нем изображена камера-обскура, с помощью которой в 1544 году наблюдали солнечное затмение.

изображение в них проектировалось на полупрозрачную или вошеную бумагу так, чтобы оно могло быть видно снаружи.

По оптическому принципу любая современная фотокамера ничем не отличается от своей древней предшественницы. Зато разница в способах регистрации, сохранения изображения огромна. В камере-обскуре это делала медлительная человеческая рука, которая в силу свойств зрения довольно хорошо запечатлевала контуры изображения, но намного хуже — плавные переходы светотени. В фотоаппарате этот процесс



Этой камерой-обскурой пользовались рисовальщики-ремесленники в XVIII веке.

производится автоматически и почти мгновенно — свет сам оставляет следы своего пребывания на фотоэмульсии.

Вот задачу заставить свет запечатлеть самого себя и должны были в первую очередь решить изобретатели фотографии.



Первая в мире фотография. Ее сделал из окна своего дома Н. Ньепс.

В этом им могла помочь химия. Кое-что о действии света на некоторые химические соединения эта наука уже знала. Более того, предшественники Ньепса и Дагера даже получали изображения света, но никто из них не знал, как закрепить его, как предохранить уже полученное изображение от последующего воздействия самого же света.

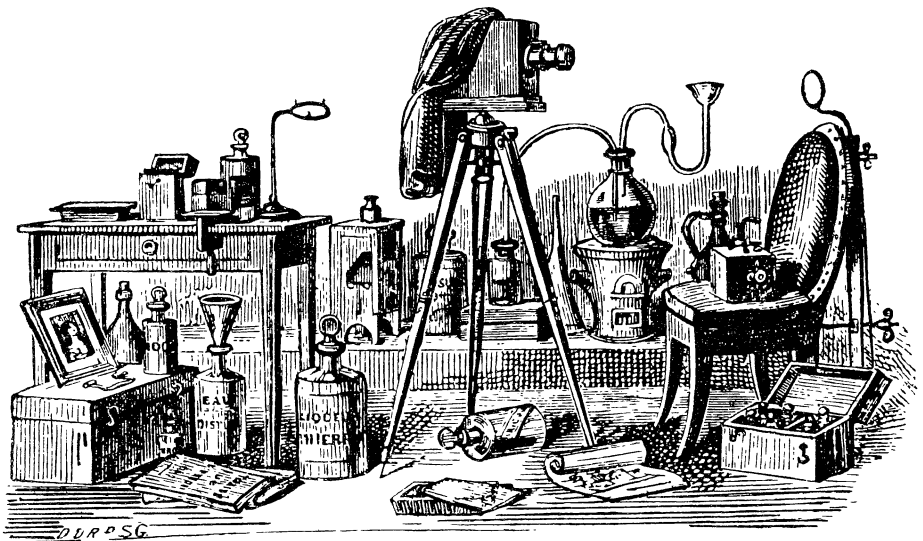
Первыми добились успеха Ньепс и Дагер. И почти одновременно с ними нашел решение англичанин Фокс Тальбот.

Здесь помещена копия с первого снимка Ньепса. Как видите, он еще очень несовершенен. А вслед за ней — копия с первого дагерротипа, сделанного самим Дагером. Его качество уже неплохое, не хуже, чем у снимков многих современных начинающих фотолюбителей.

Дагерротипия получила широкое распространение. Но все же она имела важные недостатки. Прежде всего дагерротипы невозможно было

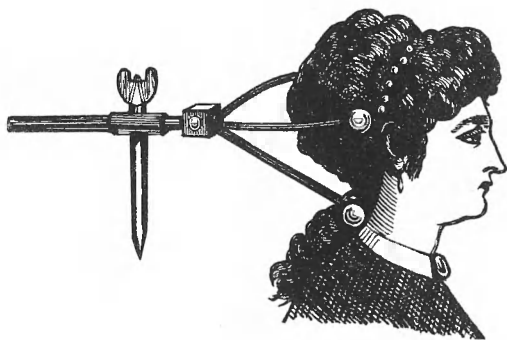


Первый дагерротип, 1837 год.



Различные принадлежности, которые требовались для дагерротипии.

размножать путем фотопечати. Снимок на дагерровскую пластинку был всегда единичным, так как пластинка делалась из металла, покрытого тончайшим слоем серебра. Другой огромный недостаток дагерротипии заключался в необыкновенно низкой чувствительности таких пластинок. Снимок можно было делать только при очень ярком свете, но и тогда с огромной выдержкой. Для того чтобы фотографируемый (его даже хочется назвать пациентом) не двигался, его голову удерживали специальными захватами. Но тем не менее в таких условиях было трудно получить хороший снимок. Часто изображение глаз и рта смазывалось, выражение лица получалось напряженным и неестественным.



Чтобы изображение лица не смазывалось, голове человека удерживали специальным захватом.

В самом начале 50-х годов прошлого столетия дагерротипию начала вытеснять фотография на мокрых стеклянных пластинках. Их приходилось подготавливать непосредственно перед съемкой. Пластинку с заранее нанесенным слоем коллодия в темноте окунали в раствор азотно-кислого серебра и сразу же, не дав ей просохнуть, делали снимок. Зато с него уже можно было отпечатать сколько угодно позитивов. Вероятно, снимок соборов московского Кремля, приведенный здесь, был сделан на таких пластинках.

Сухие фотопластинки с бромосеребряной фотоэмульсией появились в самом начале 70-х годов прошлого столетия. С тех пор и по настоящее время стеклянные пластинки широко применяются в фотографии, хотя их уже давно сильно потеснила фотопленка.

## **ФОТОНЫ, СЕРЕБРО И ХИМИЯ**

Светочувствительный слой современных пленок и пластинок представляет собой эмульсию, взвесь микроскопических кристаллов светочувствительного бромистого серебра в желатине.

Эта эмульсия с помощью специальных машин поливается тонким слоем на пленку, стекло или бумагу, а затем просушивается. Сухой слой очень тонок. В фотоматериалах общего применения он в среднем равен 16 микронам. Но кристаллы бромистого серебра столь малы, что в 16-микронной толще они лежат в 20—40 слоев. На квадратном сантиметре пленки таких кристаллов насчитывается от 50 до 500 миллионов.

Но, несмотря на такое количество, кристаллы в большинстве своем не соприкасаются друг с другом, они как бы заключены в мельчайшие желатиновые капсулы.

Кристаллическая решетка химического соединения брома и серебра имеет форму куба, в вершинах которого находятся ионы брома и серебра. Любой кристалл бромистого серебра имеет форму куба и сложен из отдельных мельчайших кубиков.

При соединении с серебром атом брома отбирает с внешней орбиты атома серебра один электрон. Получающиеся при реакции ионы брома имеют отрицательный заряд, а ионы серебра — положительный. Разноименно заряженные ионы притягиваются друг к другу и благодаря этой силе притяжения удерживаются в кристаллической решетке. Во внутренних ее частях каждый ион серебра связан с шестью ионами брома, а каждый ион брома — с шестью ионами серебра.



Одна из фотографий на мокрых стеклянных пластинках, сделанных в России в 1852 году.

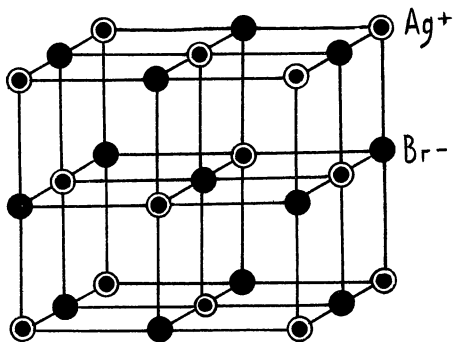
Что же происходит, когда на фотоэмульсию падают лучи света?

На этот вопрос можно ответить, если вспомнить то, что уже известно нам о природе света и об одном из видов взаимодействия света с веществом. Многие читатели уже, наверное, догадались, о чем пойдет речь. Конечно, о фотонах. Только с их помощью можно объяснить, почему оставляет свои следы на фотоэмульсии, или, иными словами, дать теорию фотографического процесса.

Фотоны, проникая в кристаллическую решетку, как и в случае фотоэффекта, отдают свою энергию электронам. В первую очередь ее получают электроны, «отнятые» у атомов серебра. Вернее сказать, требуется меньше всего энергии, чтобы освободить эти электроны, отобрать их у ионов брома. Отдав электрон, ион брома превращается в электрически нейтральный атом брома. А электрон тем временем начинает перемещаться в пространстве кристаллической решетки, испытывая притяжение со стороны положительных ионов серебра и отталкивание со стороны отрицательных ионов брома. В конце концов он будет притянут одним из ионов серебра и займет место на пустовавшей орбите. Положительно заряженный ион серебра при этом восстановится в электрически нейтральный атом. Сила притяжения, связывавшая разноименно заряженный ион серебра и ион брома, исчезнет. Нарушится и одна из множества связей в каркасе кристалла, и тем уменьшится его прочность.

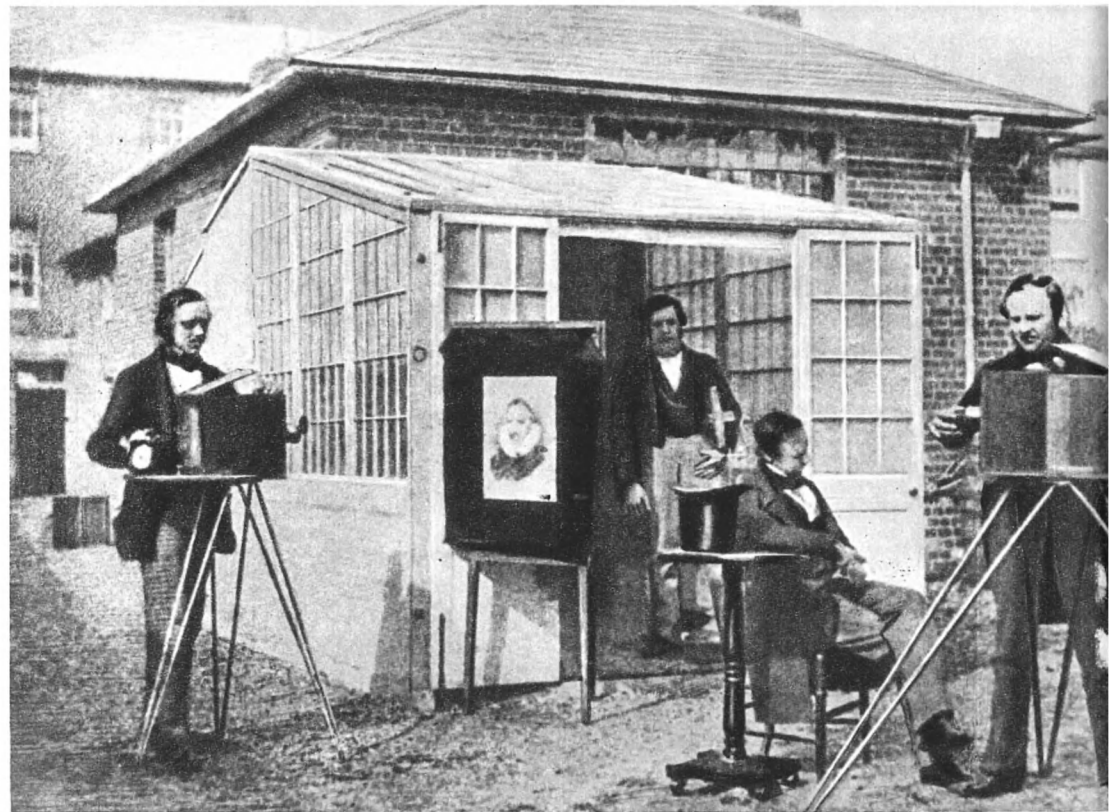
Если свет будет интенсивным, а время его действия на фотоэмульсию длительным, в каждый из кристаллов попадет достаточно много фотонов, и под их воздействием химические связи будут полностью нарушены. Бромистое серебро при этом разложится на составляющие: бром и непрозрачное металлическое серебро. Эмульсия почернеет и тоже станет непрозрачной.

Если же на поверхность пластинки проектируется изображение, то различные ее участки освещены по-разному. Количество фотонов, попавших на тот или иной участок, тоже будет различным. И, следовательно, степень потемнения окажется неодинаковой: более освещенные участки потемнеют сильнее, чем слабо освещенные. Таким путем можно получать фотографии, даже не проявляя их. Но для этого необходимы очень большие выдержки. Подобным образом еще совсем недавно делали отпечатки на так называемой дневной фотобумаге. Листок такой бумаги закладывали под негатив и выставляли на яркое солнце. Отпечатки имели очень приятный коричневый цвет. После печати их можно



Так схематически выглядит кристаллическая решетка бромистого серебра.



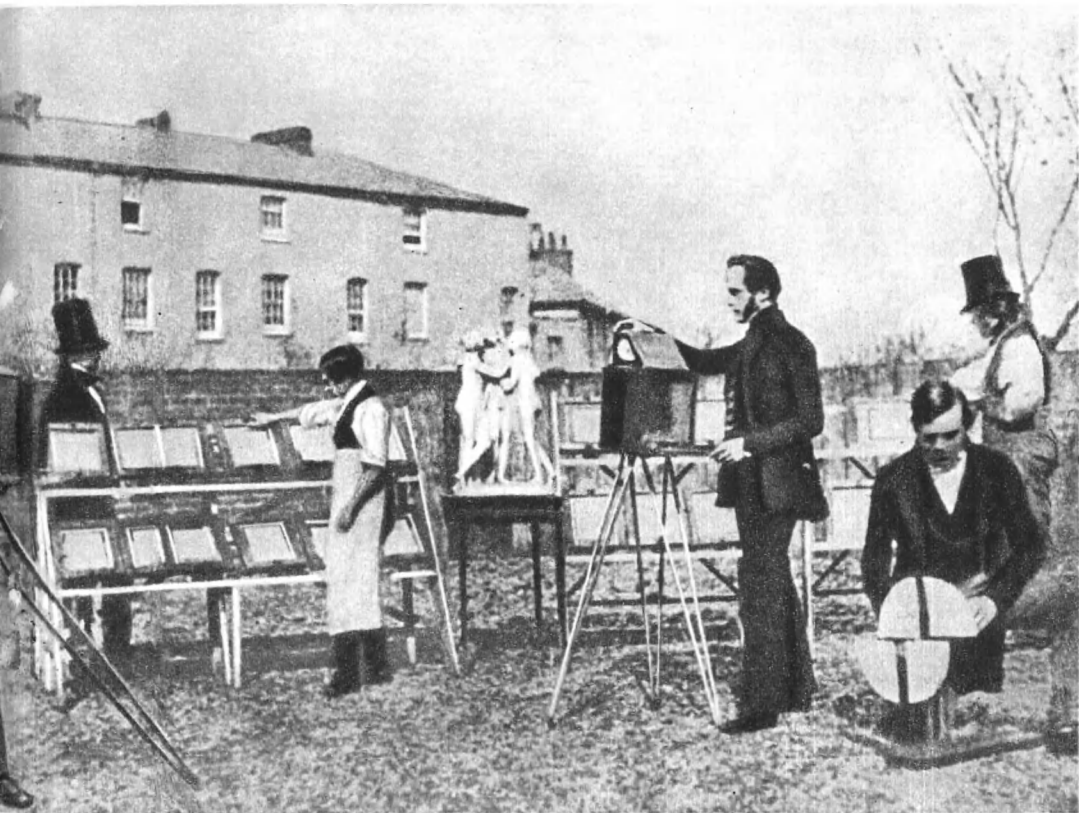


В мастерской Тальбота, 1845 год. Мастерская

было закреплять прямо на свету. На снимке вы можете видеть, как делались фотографические отпечатки в мастерской Фокса Тальбота.

Если делать отпечатки подобным образом еще допустимо, то фотографировать невозможно. И уже с давних пор фотографический процесс ведется иначе.

Фотолюбители знают, что проэкспонированная фотопластинка или фотобумага по внешнему виду совершенно не отличается от неиспользованной. Ее поверхность такая же ровная и чистая, как и до экспозиции. Мы не видим на ней даже малейших следов изображения. Но разница между неиспользованной и отснятой пластинками станет заметной вскоре после того, как их положат в ванночку с проявителем. На чистой светлой поверхности отснятой пластинки начнут проступать темные пятна. Сперва еле заметные, они постепенно будут темнеть все больше и



могла работать только в ясные, солнечные дни.

больше, становятся все более контрастными, и уже через несколько минут на фотоэмульсии появится невидимое прежде изображение. Неиспользованная же пластинка еще долгое время будет оставаться все такой же светлой, но со временем и она равномерно потемнеет.

Невидимое изображение, хранившееся в фотоэмульсии отснятой пластинки, называется скрытым. Для получения такого изображения можно делать значительно меньшие выдержки. Так, известно, что в чувствительных эмульсиях для получения одного проявляемого фотографического зерна, которое состоит из большого количества расположенных близко друг к другу кристалликов, требуется примерно 1000 фотонов. При получении скрытого изображения уже не нужно, чтобы свет восстанавливал большое число ионов серебра в атомы. Достаточно лишь того, чтобы в каждом из засвеченных кристалликов появилось несколько

«брешей», пробитых фотонами. Остальное доделают некоторые химические вещества, которые вступают в реакцию с кристаллами бромистого серебра. Именно такие вещества содержатся в проявителе.

Когда мы погружаем в ванночку с проявителем пластинку, эмульсия которой уже подверглась фотонной бомбардировке, проявляющее вещество проникает через тонкие желатиновые перегородки и вступает в сложную химическую реакцию с кристаллами бромистого серебра. В ходе этой реакции оно, как и под воздействием света, разлагается на составляющие: бром и серебро. Но скорость этой реакции неодинакова в различных участках эмульсии. Она протекает тем быстрее, чем больше нарушено связей в кристалле, чем меньшей стала его химическая прочность. В тех кристаллах, где таких нарушений было мало, реакция восстановления металлического серебра протекает гораздо медленнее. Однако, если бы мы оставили пластинку в проявителе на очень долгое время, эмульсия потемнела бы вся сплошь и изображение исчезло бы.

Но мы никогда так не поступаем. Мы позволяем реакции идти лишь до той стадии, когда появляется проработанное во всех деталях изображение. Затем мы прерываем ее, смывая проявляющее вещество в воде, и переходим к следующему этапу обработки — к закреплению. В растворе закрепителя все остатки неразложившегося бромистого серебра удаляются из эмульсии. И тогда уже пластинке, пленке или фотобумаге не будет страшным последующее действие света.

Зная причины фотоэффекта и квантовые свойства света, мы можем предсказать и такое свойство фотоэмульсии, как зависимость ее чувствительности от длины волны. Мы помним, что энергия фотона тем меньше, чем длиннее волна света. А чем меньше энергия, тем труднее освободить электрон, захваченный ионом брома. И, следовательно, при некоторой длине волны фотоны и вовсе не в состоянии будут выбивать электроны. Поэтому у фотоэмульсий, как и у фотоэлементов, есть красная граница светочувствительности. И именно благодаря наличию такой границы ортохроматические пластинки, фотопленку, фотобумагу можно проявлять при ярком красном и даже оранжевом свете без риска их засветить.

Фотолюбители знают, что есть и другие сорта фотоматериалов, которые можно обрабатывать только в полной темноте, так как в них красная граница чувствительности передвинута в область более длинных световых волн. В настоящее время выпускаются специальные сорта негативной пленки, чувствительные к инфракрасным лучам, правда с не очень большой длиной волны.

Зато к синим, фиолетовым и ультрафиолетовым лучам, не говоря уже о рентгеновских и гамма-лучах, чувствительны все пластинки. Правда, короткие ультрафиолетовые лучи не воздействуют на обычные эмульсии, изготовленные на желатиновой основе. Это объясняется тем, что желатина непрозрачна для таких лучей. Съемку в ультрафиолете ведут на эмульсиях, не содержащих желатины.

## КОНКУРЕНТЫ ИЛИ ДРУЗЬЯ

Фотография чрезвычайно быстро распространилась в Европе. Фотограф вошел в число непременных участников экспедиций и путешествий, исторических событий и скромных семейных торжеств. Фотоаппарат занял почетное место в лаборатории ученого, стал предметом страстного увлечения множества энтузиастов. Новое изобретение породило много новых профессий, и вскоре на улицах больших, а затем и малых городов стали привычными фигура бродящего фотографа и вывески фотоателье.

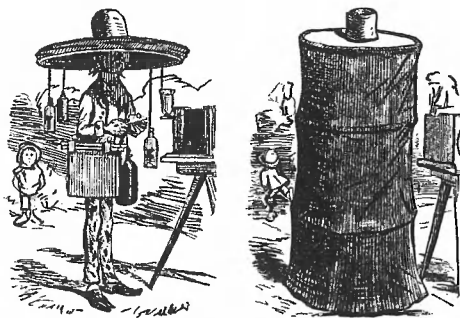
Пожалуй, фотография была одним из немногих изобретений, не имевших серьезных врагов в пору своего становления. Даже художники не особенно встревожились ее появлением, хотя у них более, чем у кого-либо, могли быть основания для беспокойства — ведь с самых первых дней некоторые пророки предвещали ей полную победу над живописью.

Художественная фотография действительно возникла и вскоре добилась выдающихся успехов. Каждый из нас видел великолепные снимки пейзажей, жанровых сцен, исключительные по выразительности портретные снимки — подлинные образцы высокого искусства.

И все-таки живопись несколько от этого не пострадала. Несомненно, фотография оказала огромное влияние на нее. Она заставила живописцев и графиков искать совершенно новые, недоступные фотографии выразительные средства, новый подход к трактовке



Так когда-то выглядел фотограф-турист.



Старинная английская карикатура на уличного фотографа.

натуры и, что особенно важно, по-новому взглянуть на задачи изобразительного искусства — подлинное искусство выстояло в соревновании с фотографией. Художники поняли, что глупо и неверно конкурировать с фотографией в тех областях, где самый заурядный фотограф может и умеет больше, чем самый гениальный живописец. И они нашли новые пути, новые области, которые никогда не сумеет подчинить себе фотография. Живопись, графика вышли из этого соревнования обновленными, еще более выразительными и прекрасными.

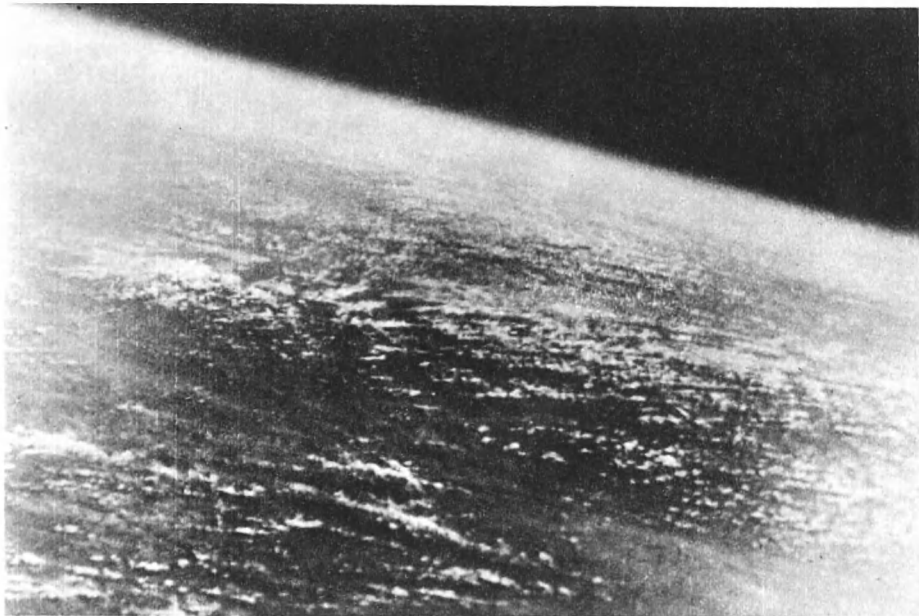
Художественная фотография не убила живопись, но все же живописи и особенно графике пришлось уступить целый ряд областей, в которых раньше они безраздельно господствовали. Так, почти исчезло когда-то широко распространенное искусство портретной миниатюры: «вымерли» художники-моменталисты, снабжавшие газеты и журналы зарисовками; иллюстрирование научных, научно-популярных и технических книг во многом перешло в руки фотографов.



Совсем недавно эти фотографии были опубликованы в газетах. Но теперь они уже стали историческими. Благодаря им мы знаем, как выглядели герои-космонавты Ю. А. Гагарин и Г. С. Титов в своих скафандрах, как выглядит Земля, когда на нее смотрят с космической высоты (см. фото на стр. 188—189).

Но если вдуматься, избразительное искусство уступило фотографии только те области, где оно, по существу, переставало быть искусством и становилось ремеслом; где от него в первую очередь требовалась документальная достоверность; где оно играло роль хроникера и пояснителя или ублаговоряло заказчиков, создавая их портреты, «как живые».

Работать с фотоаппаратом гораздо легче, чем рисовать. Хороших рисовальщиков во всем мире не так уж много, может быть, тысяча или две. Фотографов — сколько угодно. Жизнь че-





Это тоже исторический снимок. Он донес до нас изображение событий 1871 года в Париже, когда в дни Парижской коммуны была повержена Вандомская колонна.

ловчества, жизнь нашей планеты богата разнообразнейшими и интереснейшими событиями. Но свидетелями их обычно бывают немногие. Остальным приходится довольствоваться не весьма точными и подчас противоречивыми рассказами очевидцев. Если среди них случается быть художнику, то он с натуры или под свежим впечатлением зарисовывает происшедшее. И тогда все, кто увидит его рисунок, могут значительно лучше и полнее представить себе то, о чем говорят очевидцы.

Но художников слишком мало, и если бы все они только и делали, что зарисовывали различные события, то и тогда не сумели бы охватить даже важнейших. Кроме того, зарисовка требует много времени, а его-то часто и не оказывается в распоряжении участника или наблюдателя события. А рисунок по памяти теряет в главном — в точности.

Фотографы (и профессионалы и любители) теперь есть во всех уголках земли, и каждому из них современная техника фотографии позволяет очень быстро сделать множество снимков. И любой снимок, даже не очень удачный, по своей точности, подробности и достоверности во много раз превзойдет самый лучший документальный рисунок.

Вот эти два свойства фотографии — массовость и подлинная документальность — являются исключительно важными. Именно благодаря им знания человечества и представления об окружающем мире неизмеримо расширились.

Большинству из нас не приходится путешествовать. И хотя это очень досадно, но за всю жизнь нам удастся повидать не так уж много разных сел, городов и, тем более, разных стран. Однако мы знаем о нашей планете очень многое. Мы можем представить себе Москву и Ленинград, Лондон и Париж; нам знакомы чудеса китайской и индийской архитектуры; мы не раз видели безлюдные пустыни и огромные валы океанского прибоя. Нам известно, как выглядят, как одеты, как живут и трудятся разные народы, как они отдыхают, веселятся и горюют. И иногда нам даже снится то, что наяву мы никогда не видели. Вот этим глубоко укоренившимся в нас знанием мы обязаны фотографии.



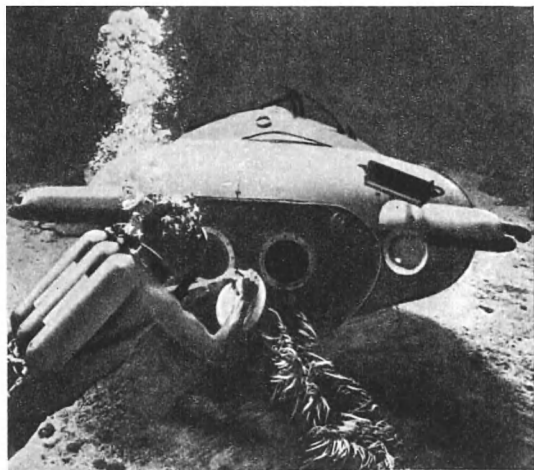
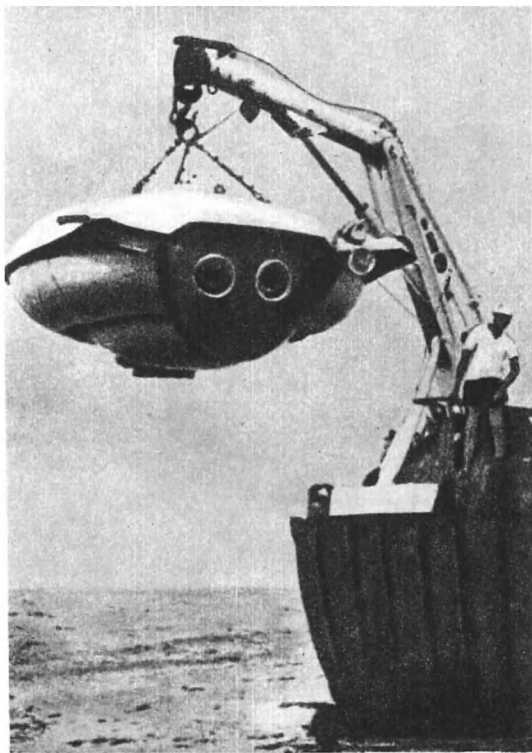
Такой снимок до недавнего времени было очень трудно получить. Крылья многих насекомых колеблются столь быстро, что сфотографировать их можно только при очень короткой выдержке. На снимке вы видите летящую цикаду. Никакой художник не сумел бы сделать такого рисунка с натуры.

## **ВСЕВИДЯЩЕ ОКО**

До сих пор мы говорили о съемке того, что происходит в местах, доступных человеку. Но фотография позволяет заглянуть и туда, куда «обычному смертному» нет доступа: она запечатлевает Землю с ракеты, атомный взрыв, действия летчика-испытателя в сложных условиях полета...

В последние годы широкий размах приобрела подводная фотография. На небольшие глубины фотографы опускаются в аквалангах и скафандрах. Для исследования глубин до 300 метров совсем недавно была создана легкая и подвижная подводная лодка, прозванная «ныряющим блюдцем». В ней помещаются два человека — штурман и наблюдатель. Оборудована эта лодка по последнему слову техники. У нее на борту имеются гирокомпас, трехмерный гидролокатор, радиотелефон, магнитофон и целый комплекс фото- и киноаппаратуры. Есть у «ныряющего блюдца» и рука — гидравлический захват, управляемый из кабины, с помощью которого можно брать пробы почвы, собирать со дна различные предметы.



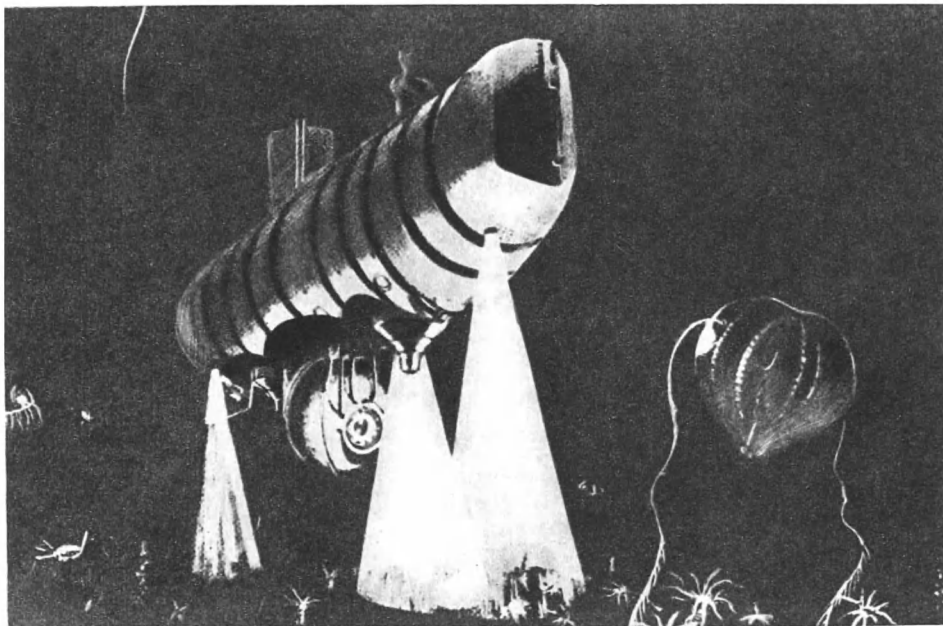


«Ныряющее блюдце».

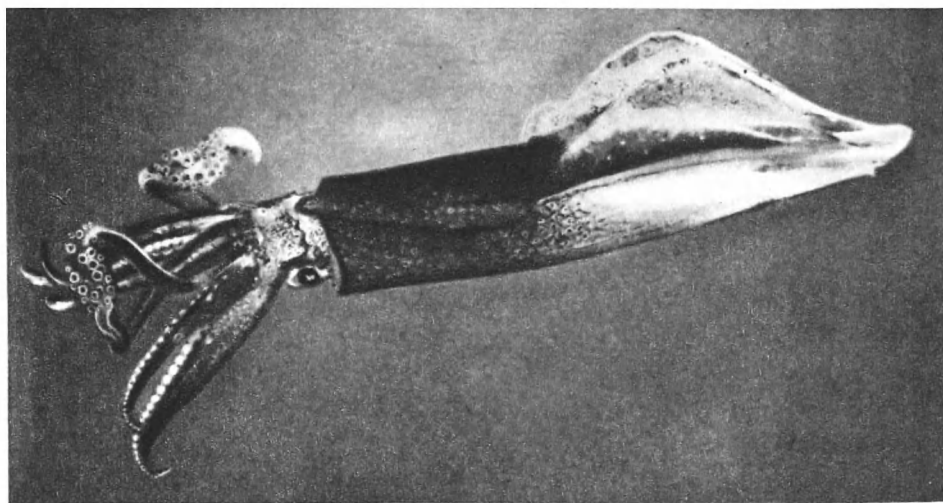
Для исследования больших глубин в последние годы были построены специальные плавательные аппараты, называемые батискафами<sup>1</sup>. Они свободно могут опускаться на глубину в несколько тысяч метров. А недавно, 23 января 1959 года, батискаф «Триест» опустился на 10-километровую глубину, в самую глубокую из известных в настоящее время подводных впадин — в Марианский «желоб».

Батискаф «Триест» представляет собой огромный стальной поплавок, к нижней части которого прикреплена сферическая стальная камера с иллюминаторами из толстого плексигласа. Поплавок заполняется легкой жидкостью (чаще всего бензином), предохраняющей его от смятия страшным давлением океанских глубин. В стальной сфере располагаются два наблюдателя и аппаратура. Батискаф снабжен несколькими сильными прожекторами, позволяющими вести наблюдение и фотографирование на больших глубинах, где царит вечный мрак. Опускается батискаф под воздействием веса стальных грузов, которые удерживаются электромагнитами. Когда приходит время всплывать, электромагниты выключаются, стальной балласт остается на дне, и облегченный аппарат всплы-

<sup>1</sup> От греческого «батос» — глыбина и «скафе» — ладья.



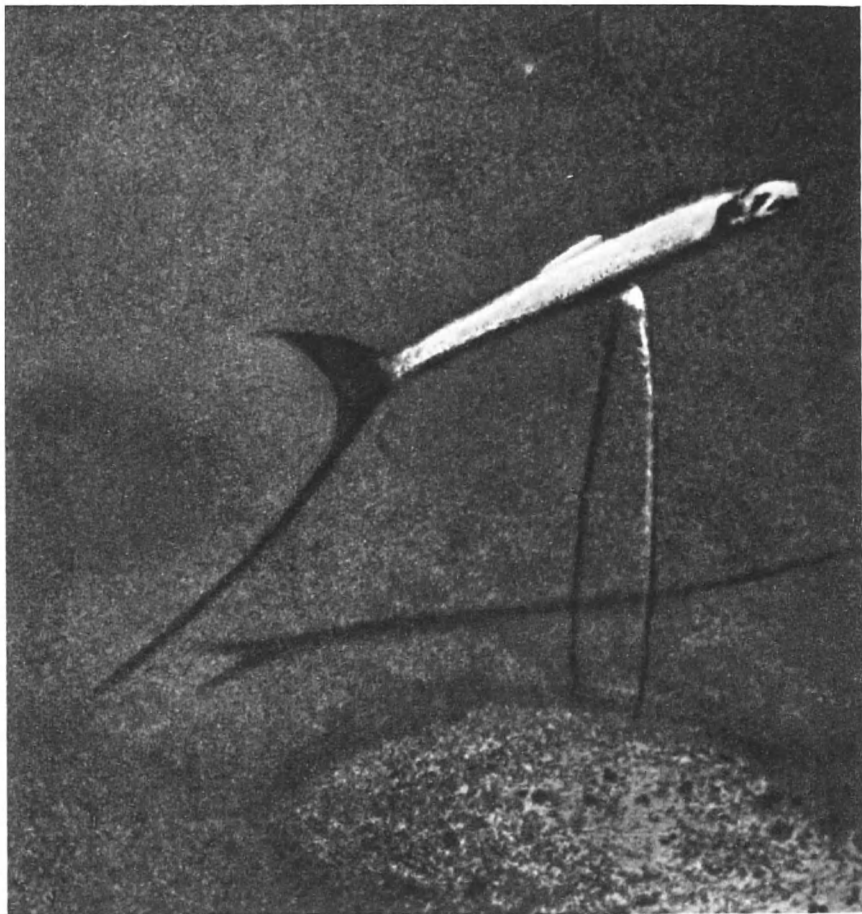
Батискаф «Триест».



Кальмар — морской моллюск. Гигантские кальмары достигают длины 18 метров. Обратите внимание на его глаза.

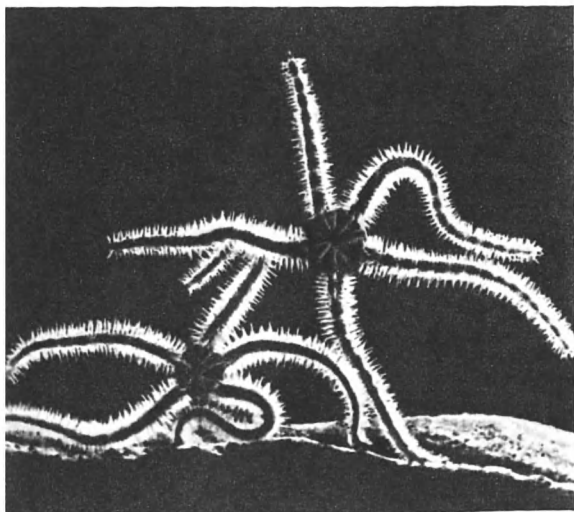
вает. Каждое погружение батискафа — очень опасное и сложное предприятие. Риск очень велик. Если хотя бы один из грузов не отпадет от корпуса, люди навеки останутся на дне — ведь никаких глубоководных спасательных средств еще не существует. И надо признать, что первые батинавты должны были иметь большое мужество.

Дно океана на большой глубине видели пока что несколько пар глаз. И если бы не было фотографии, только обладатели этих глаз и могли бы по-настоящему представлять себе жизнь на больших глубинах. Примерно так и было два десятка лет назад, когда профессор Бийб погружался в батисфере на глубину до 2 километров. По каким-то причинам журнал,



Глубоководная рыба, которая ходит по дну на своих плавниках.

поместивший рассказ профессора Бийба (кажется, это был «Пионер»), привел всего лишь два или три рисунка, но не поместил ни одной фотографии. Возможно, что их и не было. И мы только по рассказу (очень интересному) могли судить о жизни на этой таинственной глубине. Но фотографии, сделанные с борта батискафа, имеются. И вы, не опускаясь в батискафе и не рискуя жизнью, можете заглянуть на океанское дно. Одна из фотографий, сделанная батинавтами «Триеста» на глубине 7000 метров, приводится здесь. На ней вы видите глубоководную рыбу. У нее очень длинные и узкие плавники. Ученые довольно хорошо знали эту рыбу еще до того, как она была сфотографирована с борта батискафа. Ее не раз вылавливали с помощью глубоководного трала. Однако ученые не могли точно установить назначение столь длинных плавников. По их предположениям, рыба должна была пользоваться ими как шупальцами. Но они ошибались. Наблюдения и фотографирование этой рыбы в естественных условиях открыли правду: с помощью этих плавников рыба ходит по дну, вернее, скачет, как кузнечик.

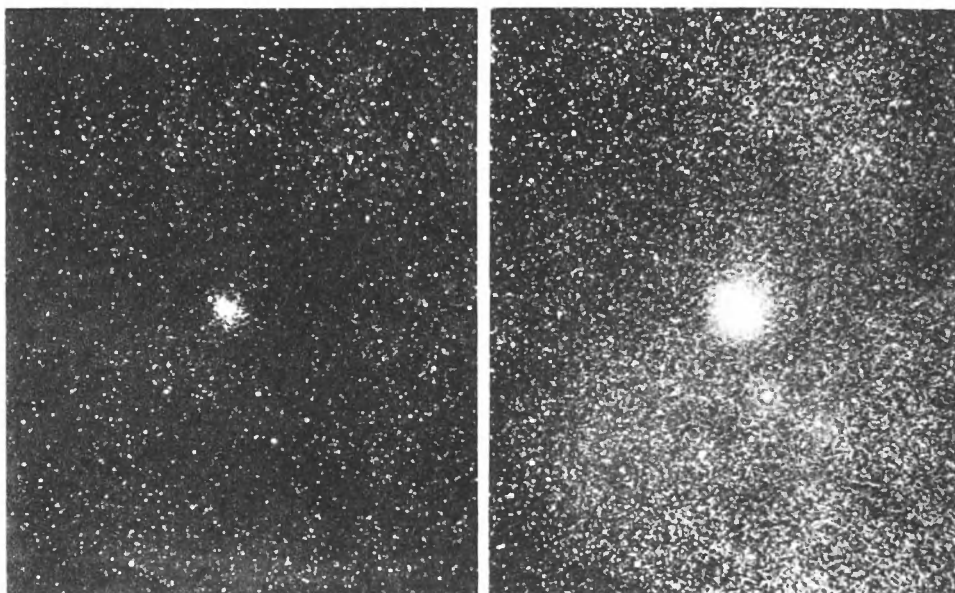


Так передвигаются морские звезды.

Эту рыбу увидели хотя бы две пары человеческих глаз. Фотография же может видеть такое, что в принципе недоступно воочию видеть человеку.

На стр. 196 — фотографии звездного неба. Они очень разные. На одной звезд видно сравнительно мало, а на другой — великое множество. А между тем это фотографии одного и того же участка неба, сделанные в один и тот же момент времени с помощью сдвоенного телескопа. В чем же разница? Она заключается в том, что одна фотография снята в голубых, видимых глазом лучах, а другая — в инфракрасных.

Инфракрасные лучи имеют весьма замечательное свойство. Оно целиком объясняется сравнительно большими длинами волн этих лучей. Именно благодаря этому они меньше рассеиваются в облаках межзвездной пыли и газа, свободнее проходят через них. А коротковолновые лучи рассеиваются в таких межзвездных скоплениях и сильно ослабляются. И звезды уже не смогут быть обнаружены глазом даже в самый сильный телескоп. Их помогла обнаружить фотопластинка, но не простая, а чувств-



Один и тот же участок неба. Разница между фотографиями заключается в том, что левая была получена на обычной пластинке, а правая — на пластинке, чувствительной к инфракрасным лучам.

вительная к инфракрасным лучам. Если бы ученые не создали таких пластинок, мы гораздо меньше знали бы о многих отдаленных частях Вселенной.

Но не только в астрономии полезна инфракрасная фотография. Не менее нужна она и для многих земных дел. Очень часто удаленные объекты скрывает от нас легкая туманная дымка. Устранить влияние такой дымки позволяет фотография в инфракрасных лучах. Отдаленные предметы на таких фотографиях становятся видными лучше, чем в самый ясный день. Правда, все окружающее выглядит очень странным: небо совершенно черное, на нем видны только очень плотные облака; листва деревьев, хорошо отражающая инфракрасные лучи, белая, трава тоже белая.

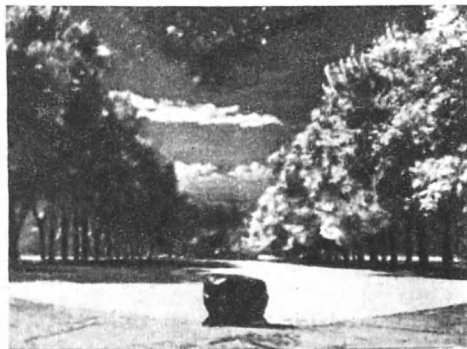
Однако для научных исследований такая искаженная цветопередача не только не помеха, но часто огромное подспорье, позволяющее увидеть то, что неразлично при обычном свете. По отражению растениями инфракрасных лучей можно легко отличить здоровые растения от больных. Неодинаковость отражения инфракрасных лучей разными породами деревьев позволяет легко узнать распределение растительности в лесных массивах по инфракрасным аэрофотоснимкам.

В иностранных журналах неоднократно писали, что инфракрасная фотография оказывает большую помощь и воздушной разведке, так как позволяет легко отличить зелень растительности и зеленую защитную краску, потому что последняя совсем по-иному отражает световые лучи в длинноволновой части спектра световых волн. Более того, в этих лучах даже срезанные ветки, срубленные деревца, которыми часто маскируются воинские части, очень скоро становятся отличимыми от своих оставшихся в живых собратьев.

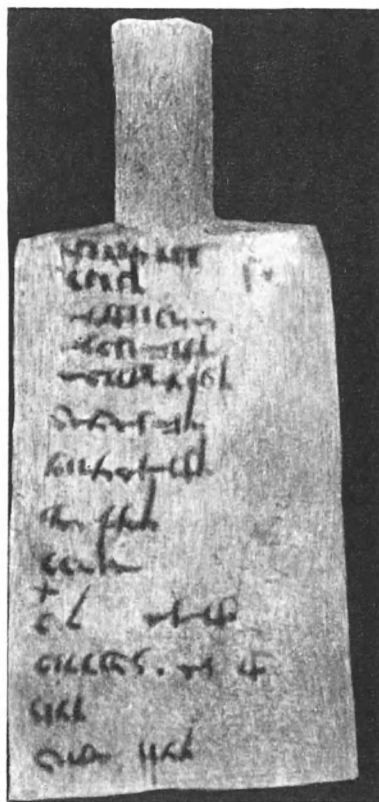
Очень интересны ночные снимки в инфракрасных лучах. Часто они делаются при подсветке с помощью невидимого луча инфракрасного прожектора и тогда мало отличаются от дневных снимков. Если же вести фотографию без подсветки, то на снимке будут видны только те объекты или их части, температура которых достаточно высока. Так, будут видны фабричные трубы, разогретые части автомобилей, танков, самолетов и кораблей.

Максимальная длина волны, к которой чувствительны современные инфракрасные пластинки, не очень велика — порядка 1 микрона. Но получение изображения в более длинноволновом участке спектра очень интересует технику. И в настоящее время уже разработаны методы, позволяющие получать изображения в инфракрасных лучах с очень большими длинами волн. А пока стоит лишь сказать, что на волнах порядка 7—8 микронов можно получать тепловой портрет человека, потому что в этом диапазоне волн человек представляет собой светящееся тело, то есть излучает собственный свет. С помощью таких фотографий удастся обнаруживать даже злокачественные опухоли, так как температура кожи над ними на малые доли градуса выше, чем на всей остальной поверхности тела.

Ультрафиолетовая и инфракрасная фотографии оказывают большую помощь исследователям старинных картин, рукописей и документов и даже помогают изобличать всякого рода преступников. Стертые вре-



Левый снимок получен на обычной пленке, а правый — на пленке, чувствительной к инфракрасным лучам. Обратите внимание на различие в изображении неба, листьев деревьев и заднего плана.



Инфракрасные и ультрафиолетовые лучи помогли восстановить древний текст.  
В лучах обычного света этот текст не был виден.

менем или небрежным обращением, или, как их называют, угасшие, тексты оживают под этими невидимыми лучами и, будучи сфотографированными, раскрывают свои секреты исследователю. Не менее заметны при таком исследовании и всякого рода подделки и фальшь в документах.

Почти каждому из нас приходилось бывать в рентгеновских кабинетах и, ожидая, пока подойдет очередь, заглядывать на светящийся зеленым светом экран, на котором видны очертания скелета и неясные расплывчатые тени внутренних органов человека. Если же на место экрана поставить деревянную кассету с фотографической пленкой, то такое изображение можно получить на пленке без помощи фотоаппарата и даже не открывая кассеты. Так фактически и делают рентгенограммы самых различных объектов, просвечиваемых рентгеновскими или гамма-лучами.

В последние годы стали широко применяться исследования различных животных и растительных объектов с помощью меченых атомов.

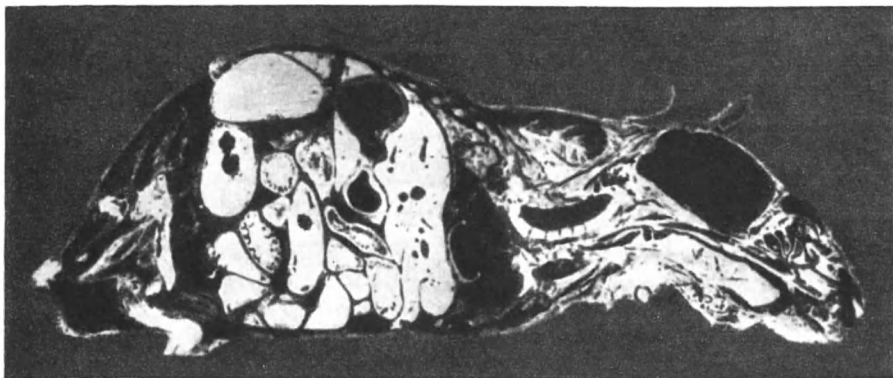
Мечеными атомами называются радиоактивные изотопы химических элементов. По своим химическим свойствам они не отличаются от обычных атомов и могут вступать в такие же самые реакции. Но они отличаются от них тем, что подвержены радиоактивному распаду. А при таком распаде атом испускает гамма-лучи.

С помощью меченых атомов ученые смогли проследить самые сокровенные, недоступные другим методам исследований, процессы обмена веществ, исследовать распределение и определить роль различных химических соединений в организме и растении. Медикам, например, очень важно знать действие лекарств на различные органы животного. Для этого им в первую очередь необходимо определить, как и какими путями расходуется лекарство во внутренних органах; где оно скапливается; где его оказывается недостаточно. Эту задачу решают с помощью меченых атомов и фотографии. Правда, и на этот раз обходятся без фотоаппарата.

Здесь помещен один из снимков подобного рода. На нем видны места скопления радиоактивного пенициллина во внутренних органах мыши.

Для того чтобы получить такой снимок, в кровь мыши ввели не обычное, имеющееся во всех аптеках лекарство, а специально приготовленный пенициллин, в состав которого входят меченые атомы. И гамма-излучение свободно проникло через ткани животного и оставило свои следы на фотопластинке.

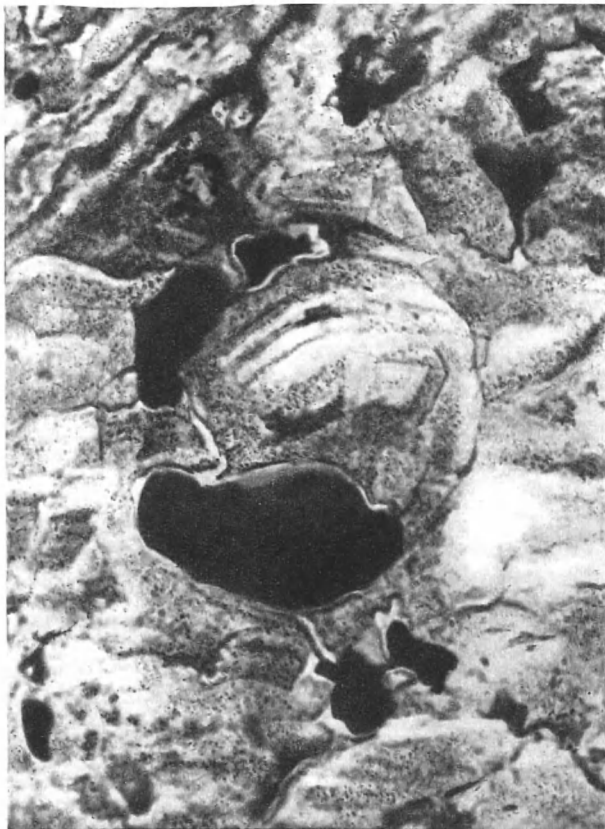
Огромную помощь оказывает фотография при составлении географических карт различного назначения. Без аэрофотосъемки была бы



Это так называемая автордиография, то есть фотография, полученная с помощью радиоактивных излучений. Для того чтобы получить этот снимок, в кровь мыши ввели радиоактивный пенициллин.



немыслима современная картография. Только благодаря ей оказалось возможным создавать столь подробные и точные карты. Она позволила быстро учитывать большие и малые изменения в лице планеты, возникающие в результате человеческой деятельности или каких-либо естест-



Этот гигантский метеоритный кратер, заболоченный и покрытый лесом, был открыт с помощью аэрофотографии совсем недавно.

венных процессов. С ее помощью производится не только съемка суши — она же позволяет наиболее быстро и точно составлять карты мелководных участков морей и океанов.

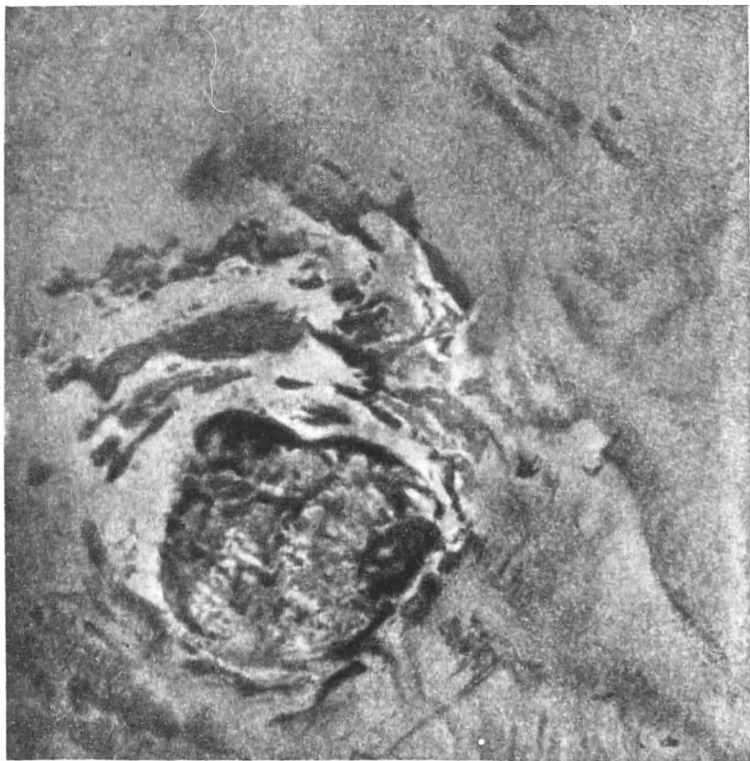
Не менее полезна аэрофотосъемка и в военном деле, где быстрое получение точных сведений о расположении и перемещении войск противника, о состоянии путей сообщения, о результатах воздушных



Аэрофотоснимок пустыни, под которой были погребены развалины древнего города. Снято в утренние часы.

налетов и обстрелов играет первостепенное значение. И в мирной жизни (что гораздо приятнее) аэрофоторазведка оказывается неоценимым помощником людей.

Широко пользуется ею современная геология. Аэрофоторазведка — один из самых быстрых методов поиска новых месторождений полезных



С воздуха можно вести и подводную разведку и увидеть то, что не удастся иными способами. Перед вами аэрофотоснимок подводного грязевого вулкана.

ископаемых, определения границ их залегания. Благодарны аэрофоторазведке и археологи. Это она своим всевидящим оком различает самые незначительные неровности поверхности, самые незначительные отличия окраски растений на пашне и по ним позволяет определить места, где под слоем земли или песка скрыты остатки древних сооружений и городов.

## ТРЕХКОМПОНЕНТНАЯ ТЕОРИЯ В ДЕЙСТВИИ

В главе о зрении вскользь упоминалось о цветной фотографии и говорилось, что в настоящее время для получения цветных снимков всюду принят субтрактивный способ образования цветов. При таком способе любой хроматический цвет получается путем вычитания дополнительного хроматического цвета из белого, ахроматического. Но как это осуществляется практически, до сих пор мы не говорили.

Чтобы лучше понять суть современного метода, надо, хотя бы мысленно, проследить все стадии получения цветного изображения.

Пусть объектом съемки будет букет красных георгинов в синей вазе. Сфотографируем его трижды. Первый снимок сделаем через красный, второй—через зеленый, а третий—через синий светофильтр. В результате мы получим три цветоделенных негатива, которые условно назовем: «красный», «зеленый» и «синий», хотя все они только черно-белые. Затем, как и раньше, сделаем с них отпечатки на стеклянных пластинках или на пленке — диапозитивы.

Вы уже знаете, чем они будут отличаться друг от друга. На «красном» диапозитиве самыми прозрачными окажутся участки с изображением цветов, а изображения листьев и особенно вазы будут малопрозрачными. На «зеленом» прозрачным окажется изображение листьев, а цветы и ваза окажутся темными. На «синем» диапозитиве прозрачным будет изображение вазы, а изображения листьев и цветов будут малопрозрачными.

Если такие цветоделенные диапозитивы вставить в строенный проекционный аппарат, а затем спроектировать на экран через три соответствующих светофильтра все изображения, то при точном их совмещении получится очень хорошее (лучше, чем у Лэнда) цветное изображение. Но такой метод образования цветов является аддитивным, а не субтрактивным — ведь в данном случае суммируются потоки лучей трех основных цветов.

Цветное изображение по методу субтрактивного образования цветов можно получить только лишь после дополнительной обработки полученных диапозитивов. Эта обработка заключается в окрашивании их в соответствующие дополнительные цвета. «Красный» диапозитив после такой обработки приобретает голубой цвет, «зеленый» становится пурпурным, а «синий» окрашивается в желтый цвет. Важно запомнить, что сильнее всего окрашиваются те участки, которые были наименее прозрачными, а светлые участки остаются белыми, неокрашенными. При такой обработке прозрачное окрашивающее вещество замещает непрозрачное металлическое серебро. Чем больше было на данном участке эмульсии восстановленного серебра, тем более сильно он окрашивается.

После окраски на «красном» диапозитиве в голубой цвет окрасится изображение фона, стола и кувшина, а лимон и красная ткань останутся белыми. На «зеленом» диапозитиве ярко-пурпурным будет изобра-

жение фона, ткани и стола. На «синем» ярко-желтыми окажутся кувшин, лимон, ткань и стол.

Если точно наложить друг на друга все три диапозитива и рассматривать их на просвет в лучах **белого** света, мы увидим цветное изображение. Сложенные таким образом диапозитивы можно с помощью обычных устройств проектировать на экран.

В тех местах, где белому свету придется пройти через участки, окрашенные в желтый и пурпурный цвета, будем видеть красный цвет; там, где он пройдет через желтый и голубой, увидим зеленый цвет; белый свет, прошедший через голубой и пурпурный, даст синий цвет.

На таком методе и основана современная цветная фотография. Но ее практическое осуществление позволяет фотографу более простым путем добиваться нужных результатов. Снимки делаются не на обычной пленке или пластинках, а на специальной трехслойной пленке и фотобумаге. Каждый слой в них играет роль одного цветоделенного негатива или позитива.

При фотографировании не требуется никаких светофильтров, потому что каждый из трех светочувствительных слоев имеет необходимые спектральные характеристики. Самый верхний слой чувствителен к синим лучам спектра. Под ним находится слой, чувствительный к желто-зеленым лучам. А самый нижний — к красным. В каждый из слоев добавляются особые органические красящие соединения. При проявлении (обычный проявитель для этого непригоден) эти соединения приобретают цвета, окрашивая слои: верхний — желтым, средний — пурпурным, а нижний — голубым. Получившийся негатив имеет цвета, дополнительные к цветам природы и позитива. Печатается негатив таким же способом, что и обычный, но на специальной трехслойной цветной фотобумаге. Правда, при печати для получения наиболее верной цветопередачи часто приходится пользоваться специальными корректирующими светофильтрами.

Цветная фотография применяется не только для получения художественных снимков. Очень широко ею пользуются в науке и технике, так как сведения о цвете объектов в большинстве случаев несут дополнительную, очень важную для исследователей информацию.

Мы уже говорили об аэрофотографии. Появление цветных фотоматериалов обогатило и эту область исследований. Посмотрите на два цветных аэрофотоснимка, приведенных здесь. Они сделаны с целью геологической разведки местности и составления геологической карты. Сравните их с черно-белыми аэрофотоснимками, и вы увидите, насколько они богаче содержанием, насколько больше можно почерпнуть из них сведений о местности. Они позволяют опытному дешифровщику по окраске выходящих на поверхность горных пород и даже по цвету растительности узнавать о залежах полезных ископаемых гораздо больше, чем при изучении черно-белой аэрофотографии.

Очень интересной областью цветной фотографии является так называемая спектрально-аналитическая фотография. От обычной цветной она отличается тем, что съемка ведется не в общепринятых трех основных цве-

тах, а в двух или трех узких участках спектра. Выбор этих участков спектра зависит от цели, с которой применяется спектральная фотография. Если ее хотят использовать для поисков какого-либо определенного полезного ископаемого, то один или два из этих участков выбираются среди тех длин волн, которые наиболее хорошо отражает это ископаемое, а третий участок выбирается среди наиболее характерных длин волн в отраженном спектре поверхности; чаще всего это зеленый цвет, цвет растительного покрова. Печать со спектральной негативов ведется на цветную фотобумагу, но цвета будут получаться неестественными. Зато по ним легко будет отыскать тот самый условный, но характерный для данного полезного ископаемого цвет.

## **АВТОГРАФЫ НЕВИДИМОК**

Если бы мы продолжили исследования природы света, то следующим шагом было бы знакомство с явлением радиоактивности, с космическими лучами, со строением атома, его ядра и с самими ядерными частицами. Но хотя это и чрезвычайно интересная и важная область физики, она не связана с тем, о чем идет речь в данной книге. О ядерной физике вы можете узнать из множества научно-популярных книг и статей, опубликованных в последние годы. Здесь же, в главе о фотографии, стоит рассказать о том, как она помогает физике проникнуть в самые сокровенные тайны материи, открывая взору внимательного исследователя новые удивительные частицы.

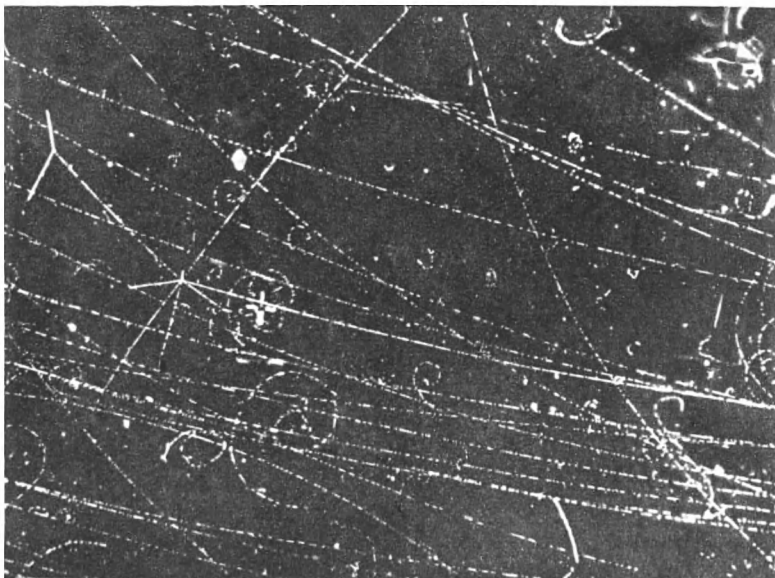
В настоящее время еще не созданы такие микроскопы, которые помогли бы увидеть молекулы, не говоря уже об атомах и элементарных частицах. И все-таки ученые сумели обнаружить многие из таких частиц и узнать их массу, величину электрического заряда, определить энергию и скорость их перемещения.

В этом большую помощь оказала фотография. Конечно, и она не смогла увидеть сами частицы, но зато с высокой точностью запечатлела их следы. Этого уже было достаточно физикам, чтобы узнать о частицах очень многое.

Вам, наверное, приходилось наблюдать, как в глубоком ясном небе внезапно возникала узкая, непрерывно удлиняющаяся белая полоса — след летящего на большой высоте самолета. Это так называемый инверсный след. Он возникает, когда отработанные газы из двигателя попадают в холодную окружающую атмосферу. Сам самолет может лететь так высоко, что мы не увидим его невооруженным глазом, но по инверсному следу можно без труда определить направление полета, эволюции машины и хотя бы приближенно его скорость. Самолет как бы оставляет свою роспись в небе, и она, постепенно расплываясь, сохраняется еще долгое время.

Нечто подобное происходит в специальном приборе, известном под

названием камеры Вильсона. Полость этой камеры заполнена паром (пар прозрачен, его не следует путать с туманом). Давление пара и его температура поддерживаются такими, что без постороннего вмешательства он не превращается в туман. Но стоит внутрь камеры попасть мельчайшей пылинке или электрически заряженному тельцу, как вокруг них тотчас же начинается конденсация пара и образуются мельчайшие капельки жидкости — туман.



Снимок траекторий элементарных частиц в пузырьковой камере.

Если в полость камеры через специальное окошко впустить какую-либо из элементарных частиц, обладающую достаточной скоростью, она на своем пути будет ионизировать нейтральные до того атомы пара. Ионы же, обладая электрическим зарядом, вызовут конденсацию пара вокруг себя, и таким образом частица оставит в камере свой «автограф».

В других типах камер, предназначенных для такой же цели, вместо пара применяется перегретая, легко кипящая жидкость. При движении частицы в такой жидкости на ее пути остаются мельчайшие пузырьки.

Изучать следы непосредственно в самой камере невозможно, это заняло бы слишком много времени и было бы не только неудобным, но и крайне неточным, тем более, что следы, оставляемые частицами, недолговечны. Поэтому ученые регистрируют следы частиц с помощью автоматического фотоаппарата, который заставляют срабатывать сами же частицы.

По характеру следов, по их длине, по тому, как меняется направление движения частиц под воздействием поля мощного постоянного магнита, установленного в непосредственной близости от камеры, ученые могут оценить свойства частиц.

Таким методом были обнаружены некоторые из известных в настоящее время частиц. Но, для того чтобы открыть хотя бы одну из них, приходилось проводить огромное количество экспериментов и делать тысячи фотографий. И только лишь на единицах из них удавалось обнаружить нечто новое.

Фотография, приведенная здесь, относится к числу исключительно счастливых — на ней среди прочих следов были обнаружены следы частиц антиматерии.

## **ЗАПЕЧАТЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ**

В 80-х годах прошлого столетия врач и естествоиспытатель, большой любитель фотографии Маррей сконструировал и изготовил необычайный по виду и по своим возможностям фотоаппарат.

Фотоаппарат был очень похож на ружье. Так же как и у ружья, у него были приклад, ложе, прицел и спусковой механизм. Но вместо ствола на этом ружье был установлен телескопический (сильно приближающий) объектив, а патроны и обойму заменил барабан с установленными в нем небольшими фотопластинками. При нажатии на собачку спускового механизма барабан проворачивался, срабатывал фотографический затвор и делался снимок. Чем чаще нажимали на собачку, тем чаще делались снимки. Тренированный фотограф с помощью ружья Маррея мог сделать до 10—12 снимков в секунду — результат, небывалый по тем временам.

Как и все настоящие охотники, Маррей бродил по лесам, полям и болотам в поисках дичи. Но бесшумные выстрелы его ружья не убивали, не причиняли вреда — они приносили только пользу.

Когда появились первые фотографии Маррея, естествоиспытатели и художники были поражены тем, как плохо и неверно представляли они движения птиц и животных. Они увидели, что отдельные фазы движения животных, полученные на фотографиях, совсем не походят на то, что до сих пор они изображали в своих научных зарисовках и картинах. И, конечно же, винить в ошибках фотографию было нечего. Виноват был человеческий глаз, не успевавший разлагать быстрые движения на отдельные их этапы, фазы.

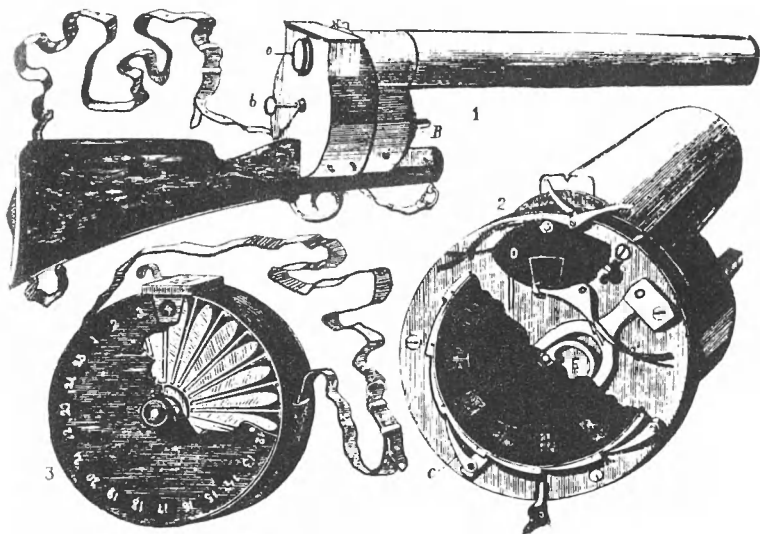
Снимки, сделанные ружьем Маррея, в большинстве случаев рассматривали в отдельности, интересуясь лишь содержанием каждого из них.

Но иногда, чаще всего для забавы, их наклеивали на диск кинематографа и, вращая диск, подобно юле, получали эффект движения. На кино это было совсем непохоже. И все-таки ружье Маррея уже не было



обычным фотоаппаратом. Скорее оно представляло собой одного из первых предшественников киносъемочной камеры.

Первым, кому удалось успешно справиться со множеством технических трудностей и создать специальные устройства для фотографирования и воспроизведения движущихся изображений, был замечательный американский изобретатель Томас Алва Эдисон (1847—1931). Правда, вначале и у него не все шло гладко. Главной причиной неудач была

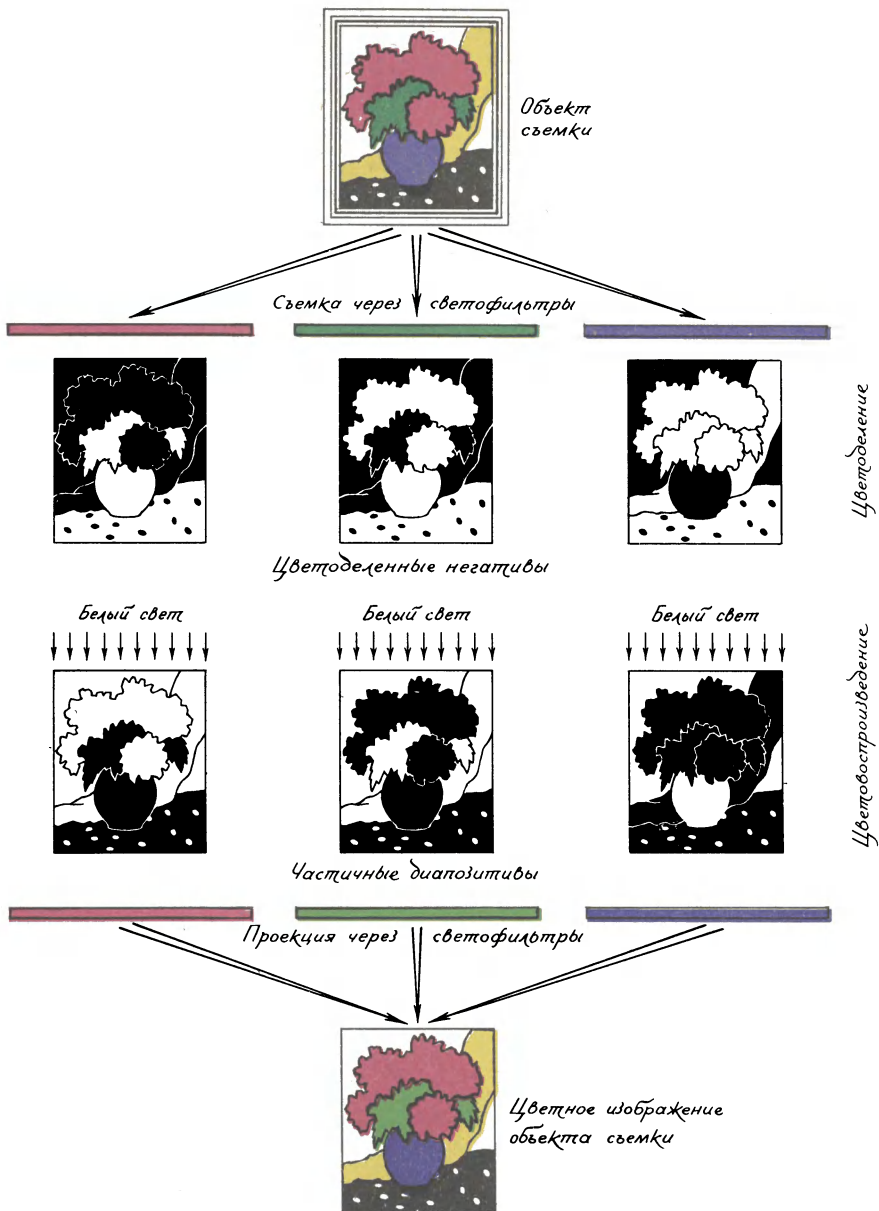


Фотографическое ружье Маррея.

непрочность пленки, на которой приходилось вести фотографирование,—она слишком часто рвалась. Только через два года после начала работы, в 1889 году, Джордж Истмен, основатель известной фирмы «Кодак», стал изготавливать пленку на нитроцеллюлозной основе. Эта пленка обладала высокими по тем временам качествами. Узнав о ней, Эдисон купил у Истмена самый длинный кусок, какой тот мог для него изготовить. Длина его была 15 метров.

Но и этого количества пленки Эдисону оказалось достаточно для съемки первого кинофильма. Он длился всего 13 секунд при частоте 48 кадров в секунду. В одном из фильмов были сняты боксирующие кошки, в другом — силач, выполняющий гимнастические упражнения.

Трудно сказать, почему Эдисон остановился на скорости съемки, равной 48 кадрам в секунду. Вероятнее всего, это объясняется тем, что инерционные свойства глаза в те времена еще не были изучены достаточно хорошо. Свои фильмы без ухудшения качества показа Эдисон мог бы растянуть во времени вдвое, если бы снизил скорость съемки до



Получение цветного изображения по методу аддитивного образования цветов. Требуется сделать три цветоделенных негатива и получить с них три позитива. Затем три позитива проецируются через соответствующие светофильтры на экран. Получающееся при этом изображение будет цветным.



Объект  
съемки

Спектральная светочувствительность эмульсионных слоев трехслойной негативной пленки

Образование цветоделенных окрашенных изображений в эмульсионных слоях трехслойной негативной пленки после проявления



Цветной  
негатив

Получение цветных негативов из фотоматериалах по методу субтрактивных. Слева — негатив; его цвета — противоположные к цветам природы. Справа — позитив

Схема цветного негативного процесса

*Цветной  
негатив*



*Спектральная светочувствительность эмульсионных слоев трехслойной фотобумаги*

*Образование цветоделенных окрашенных изображений в эмульсионных слоях трехслойной фотобумаги после проявления*

*Верхний синечувствительный слой*



*Средний зеленочувствительный слой*

*Нижний красночувствительный слой*



*Верхний желтоокрашенный слой*

*Средний пурпурноокрашенный слой*

*Нижний голубой окрашенный слой*

*Цветной позитив  
объекта съемки*

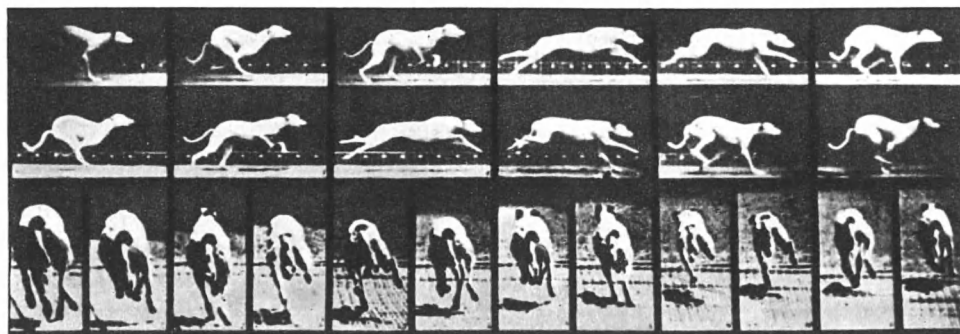
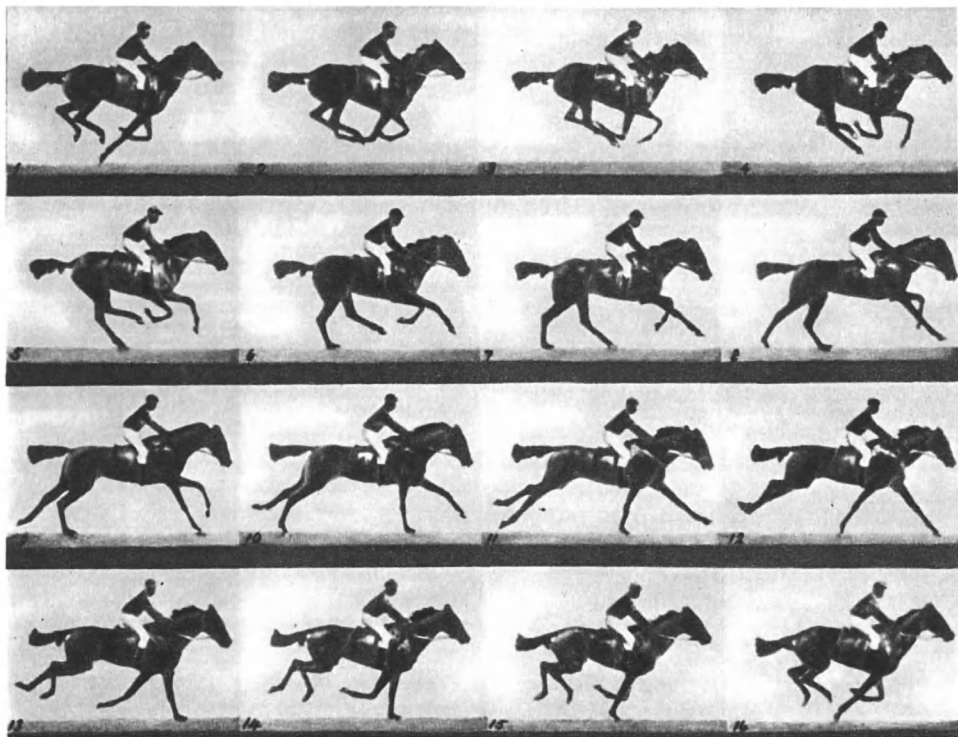


и позитивов на трехслойных  
атрактивного образования цве-  
дополнительные по отношению  
эзитив.

*Схема цветного позитивного процесса*



Этот снимок Земли был сделан во время исторического полета героем-космонавтом  
Г. С. Титовым.



Движения скачущей лошади и бегущей собаки. Кинефото.

24 кадров в секунду. В наше время, когда свойства глаза известны значительно лучше, для обычной киносъемки принята скорость, как раз равная 24 кадрам в секунду. В начале века она была даже более низкой, и этим объясняются суетливость и резкие движения персонажей старых кинофильмов, когда такие фильмы демонстрируются с помощью современной киноаппаратуры.

Кинетоскоп Эдисона представлял собой очень сложный, тяжелый и громоздкий аппарат. И при всем том он был так устроен, что фильм мог смотреть только один человек. Такое конструктивное решение было большой ошибкой Эдисона, и тем более досадной, что он и его сотрудники проводили успешные опыты по демонстрации фильмов на большом экране. Более того, один из помощников Эдисона создал даже звуковой фильм, используя для этой цели фонограф.

Но великий изобретатель продолжал упорствовать в своем заблуждении. Он считал, что кино на большом экране не принесет коммерческого успеха, что техническая новинка скоро прискутит публике и она перестанет интересоваться ею. Так коммерция вступила в противоречие с прекрасной идеей и похоронила ее.

Но она недолго пребывала в забвении. В 1895 году, всего через год после того, как Эдисон приступил к «коммерческой эксплуатации» своего кинетоскопа, в Париже был впервые продемонстрирован фильм братьев Луи и Огюста Люмьеров, владельцев фабрики фототоваров. Они шли по пути, отвергнутому американцем, веря в правильность идеи большого экрана. И они доказали свою правоту. Их, а не Эдисона называет мир основоположниками современного кинематографа.

## **ОСТАНОВИСЬ, МГНОВЕНИЕ...**

Каждый из вас многое знает о современном кино, о методах съемки кинокартин. По своим изобразительным возможностям кинотехника полностью сходна с фотографией: она использует те же фотоматериалы и оптика кинокамер практически не отличается от применяемой в фотоаппаратах. Но кинематография обладает еще одним необыкновенно ценным свойством — умением запечатлеть движение, разделив его на мельчайшие последовательные этапы. Широкое применение кинематографической съемки в науке и технике целиком объясняется именно свойством разбивать какое-либо непрерывное движение на множество последовательных и неподвижных изображений, зафиксированных на пленке с огромной точностью. Эта способность останавливать или замедлять движение и показывать его этап за этапом особенно ценна в наше время — время высоких скоростей, когда большинство процессов, исследуемых в науке и используемых в технике, убыстрилось до такой степени, что сам человек уже не может с помощью своих органов чувств уследить за ними.



Вот один из примеров такого процесса.

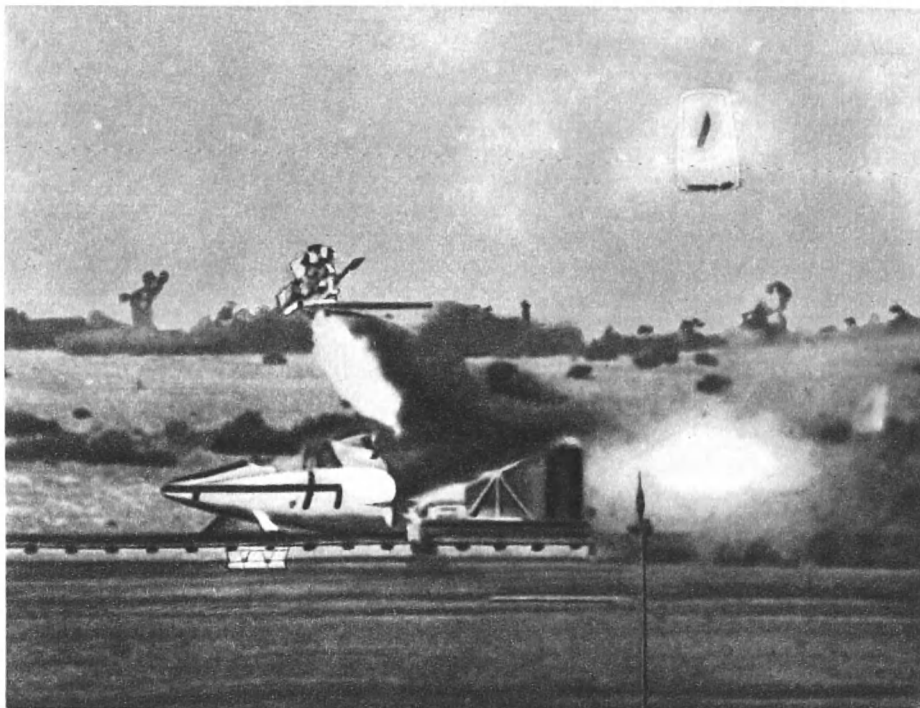
Известно, что при аварии в воздухе члены экипажа покидают самолет и спасаются при помощи парашютов. В винтомоторных самолетах у команды всегда есть хотя бы небольшой запас времени, для того чтобы успеть благополучно покинуть падающую машину. Кроме того, скорость таких самолетов не очень велика, и встречный поток воздуха в этом случае не является особой помехой спасающимся. Другое дело — прыжок с парашютом из современного реактивного самолета. Такой самолет невозможно оставить столь же просто. На случай аварии в нем предусмотрены специальные спасательные средства. Это катапультируемые сиденья. Все члены экипажа располагаются в таких сиденьях. При необходимости они мгновенно выстреливаются в воздух и с очень большой скоростью преодолевают встречный воздушный поток, относя сидящего на безопасное расстояние. И только тогда в свои права вступает парашют.

От надежности таких сидений, четкости их работы, устойчивости положения в воздушной струе зависит жизнь человека. И поэтому конструкторы самолетов непрерывно совершенствуют катапультируемые сиденья, создавая все новые и новые типы. Однако, прежде чем рекомендовать даже очень хорошую новинку, ее надо отработать и тщательно всесторонне испытать. Ибо только эксперимент в состоянии дать точные сведения о качестве и надежности работы. Математические расчеты, к сожалению, не обладают в данном случае столь высокой точностью, чтобы на них можно было полагаться без всякой опытной проверки. Как же испытывают такое сиденье? Ведь нельзя же поставить его в самолет и выстрелить в воздух с человеком. Прежде чем сделать это, надо быть твердо уверенным, что опасность сведена до минимума. Поэтому отработывают конструкцию и надежность работы катапультируемого сиденья на земле. Одна из фотографий таких испытаний здесь приведена. Как видите, условия, в которых они проводятся, очень близки к реальным.

По гладкому рельсовому пути с огромной скоростью мчится тележка, разгоняемая реактивным двигателем. На ней установлена точная копия кабины нового самолета с испытываемым механизмом катапультирования. Вы видите, что на сиденье, взлетевшем над кабиной, находится человек. Не беспокойтесь, это не живой человек, а кукла, очень точная копия летчика, одетого в скафандр. Ее вес, размеры, местонахождение центра тяжести точно такие же, как и у человека. И благодаря всему этому поведение механизма катапультирования и самого сиденья будут точно такими же, как и в реальных условиях. В случае аварии все произойдет точно так же: отделится от кабины и поднимется над ней верхний колпак, а вслед за ним пороховые шашки выстрелят сиденье. И, если оно правильно сконструировано, оно будет устойчивым в воздухе.

Но обо всем этом можно узнать, только сфотографировав проведенный опыт, так как глаз не успеет рассмотреть все его этапы. Для съемки быстро протекающих процессов применяются не обычные кинокамеры,





Тележка разгоняется по рельсам до огромной скорости с помощью ракетного двигателя. В передней части тележки установлена самолетная кабина. По команде испытателей от кабины отделяется колпак (вверху, справа), взрывается заряд катапультируемого сиденья, и оно вылетает из кабины. На сиденье находится манекен. На снимке сиденье, вылетевшее из кабины, занимает в воздухе правильное положение. Испытания проведены не зря.

а специальные скоростные съемочные камеры, которые способны делать по многу тысяч кадров в секунду.

Другой пример применения скоростной съемки относится тоже по преимуществу к области авиации. Но на этот раз к испытаниям тел различной формы в сверхзвуковых аэродинамических трубах. При таких испытаниях инженеров интересует, какими будут воздушные потоки возле поверхностей испытываемых тел. Изучая их, они смогут найти наилучшие формы самолетов, ракет, снарядов, обладающие наименьшим сопротивлением при движении в воздухе.

Эта задача сложна не только быстротечностью процессов. Не меньшая сложность заключается в том, что воздух прозрачен и увидеть в нем волны и завихрения обычным путем невозможно. Для того чтобы преодолеть такую трудность, применяют специальные источники света, посылающего лучи сквозь воздушный поток, и особые методы фотогра-

фирования. И только тогда невидимое невооруженным глазом становится хорошо различимым на отснятых кадрах.

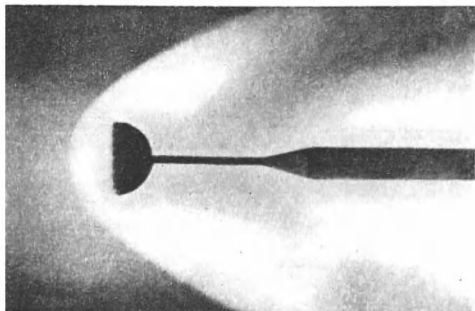
В настоящее время скоростная съемочная камера со скоростью съемки, равной 100 тысячам кадров в секунду, не является особой редкостью и очень часто применяется для самых разнообразных целей. А ведь если вдуматься, это — чудо. Одну секунду можно растянуть в сутки! Взрывные процессы, вспышки молнии и любого другого электрического разряда, столкновения быстро перемещающихся тел, полет снаряда — все это может быть теперь запечатлено на фотографиях, которые отобразят мельчайшие этапы, мельчайшие изменения процесса, возникающего и прекращающегося за тысячные доли секунды.

Но кинематография умеет не только растягивать время — она в равной степени способна и на противоположное: сжать, спрессовать дни и месяцы в секунды. Этим свойством пользуются для исследования чрезвычайно медленных процессов, когда глаз не в состоянии заметить очень малые и медленные изменения.

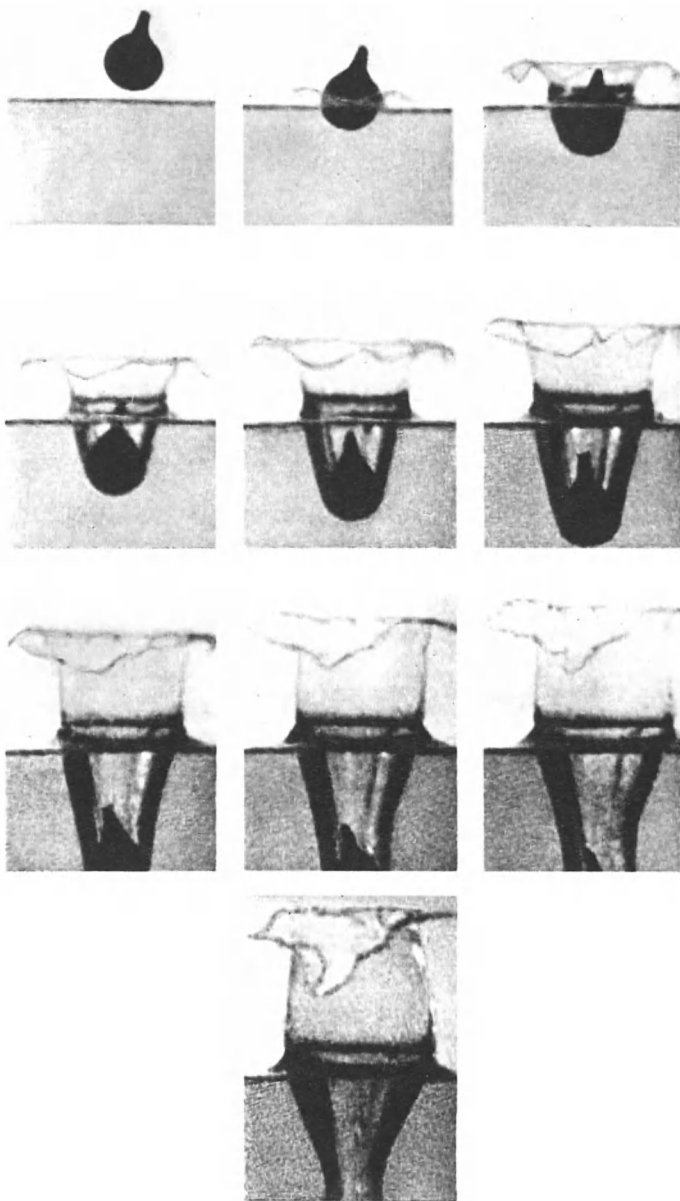
Взгляните на циферблат часов — минутная и часовая стрелка кажутся совершенно неподвижными. И, хотя точно известно, что они вращаются, мы не в состоянии уловить их движение. По этой же причине нельзя наблюдать рост деревьев, цветов, злаков, протекание некоторых химических процессов, например кристаллизацию, и многое, многое другое.

Тут-то на помощь приходит сверхмедленная кинематография.

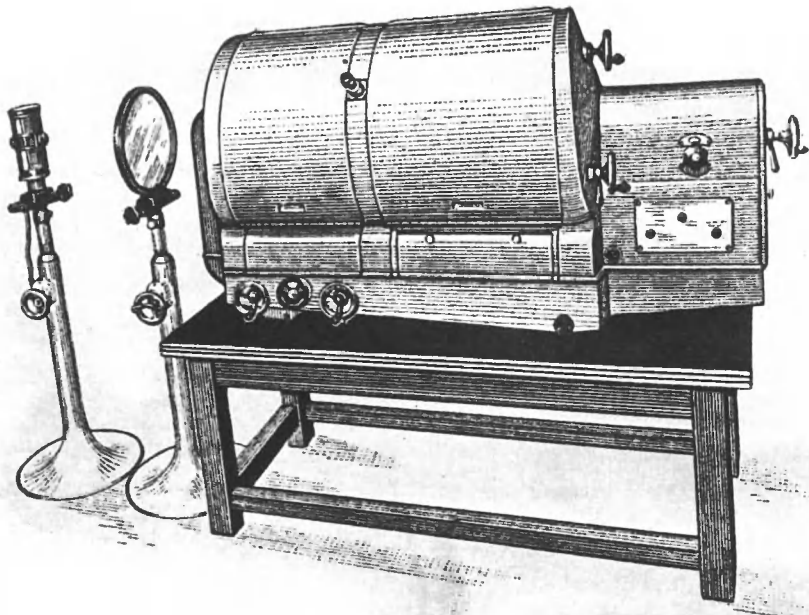
Представим себе, что мы хотим снять кинофильм о развитии какого-либо растения. Для этого горшок, в который высажен молодой побег или даже высеяно семя, устанавливают перед автоматической камерой, делающей, к примеру, десять снимков в сутки. Для того чтобы условия освещения при фотографировании не менялись, растение в момент съемки освещается вспышкой яркой лампы. Если вести такое кинонаблюдение за растением в течение двух месяцев, получим 600 кадров. На них будут запечатлены малейшие изменения в развитии растения на



Снимок потока газов, огибающих препятствие.



Последовательные снимки падения тела в жидкость, снятые с помощью скоростной кинокамеры.



Современная скоростная кинокамера.

протяжении 60 суток. Мы же с помощью обычного кинопроектора увидим, как тянулся к свету стебель, как развивались листья, наливались бутоны и распускались цветы, за 25—30 секунд.

## **КИНЕМАТОГРАФИЧЕСКАЯ ПУШКА**

Вот по взлетно-посадочной полосе, замедляя скорость, прокатился совершивший посадку самолет. Это машина нового типа, только что вернувшаяся из своего первого испытательного полета. Самолет остановился, затем развернулся и через несколько минут подрулил к ангару. Стих гул двигателей, и пилот опустил из кабины на землю. И тут же, не дав ему опомниться и передохнуть, его обступают взволнованные люди. Это конструкторы. За их плечами многие месяцы, а то и годы работы над только что приземлившейся машиной. Каждому не терпится узнать, как она вела себя в воздухе: послушна ли в управлении, быстро ли набирает высоту, не произошло ли чего-либо непредвиденного. Каждый из конструкторов знает, что за поведением самолета в воздухе следили десятки и даже сотни различных регистрирующих приборов, показания которых расскажут им почти обо всем. Но самое важное, самое ценное мо-

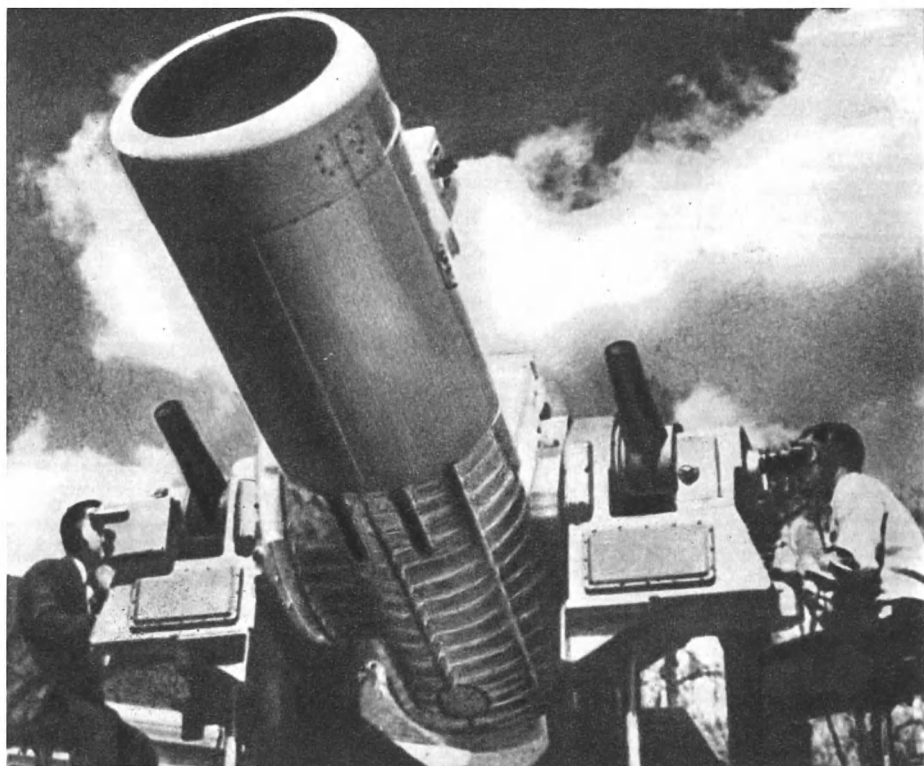
жет сказать только летчик-испытатель, бесстрашный друг и советчик авиационного конструктора.

Сейчас все чаще и чаще в воздух поднимаются различные беспилотные летательные аппараты. Это ракеты и управляемые по радио беспилотные самолеты-разведчики, самолеты-снаряды. У них на борту уже нет летчика-испытателя. Их полет контролируется и регистрируется только приборами. Приборов много, и они дают конструкторам чрезвычайно важные сведения. Но этого мало. Нужно увидеть, как ведут себя в воздухе ракета или беспилотный самолет. И не только видеть, но и зарегистрировать увиденное и проследить, с какой точностью они выдерживают заданную траекторию или выполняют заданный маневр.

Как же все это можно увидеть? Ведь ракета или самолет не стоят на месте, а уносятся от наблюдателей на десятки и даже сотни километров. И все-таки, хотя это и необыкновенно трудная задача, ее решила современная прикладная кинематография. Правда, киносъёмочные камеры, применяемые для таких целей, совсем не похожи на обычные. Взглянув на снимок одной из них, не сразу даже догадаешься, что это за устройство.

Киноаппарат, показанный на снимке, является одним из самых совершенных. В ясную погоду с его помощью удастся фотографировать объекты, находящиеся на расстоянии сотен километров. Недаром же у него такой огромный, похожий на осадную мортиру большого калибра объектив. Конструкция таких киносъёмочных аппаратов была описана в иностранных журналах и она очень интересна. Они напоминают орудие не только «стволами» огромных объективов. Еще большее сходство с зенитной пушкой придает им вся механическая часть установки. Для того чтобы непрерывно следить за перемещающейся в небе ракетой или самолетом, аппарат установлен на мощном стальном поворотном лафете. Направление объектива можно менять на  $360^\circ$  в горизонтальной плоскости и на  $90^\circ$  в вертикальной. Поэтому, как бы ни перемещался объект, на него всегда можно навести объектив. Наводка осуществляется через две зрительные трубы двумя операторами. Один оператор наводит камеру в горизонтальной плоскости. Его задача удерживать изображение объекта точно в перекрестье зрительной трубы, так, чтобы оно не отклонилось ни влево, ни вправо. Второй оператор, наблюдая в свою трубу, тоже удерживает цель в перекрестье, не давая ей отклониться ни вверх, ни вниз.

Каждый оператор управляет вращением установки с помощью штурвала, так же как это делалось при наводке зенитного орудия. Но для управления тяжелой и громоздкой установкой не требуется никаких усилий. Она приводится в движение не мускулами, а электрическими двигателями. Штурвалы же только подают управляющие команды на специальные электронные схемы, которые, в свою очередь, заставляют двигатель вращаться с большей или меньшей скоростью, менять направление вращения. Стоит чуть отклонить штурвал управления «по горизонту» от нейтрали, и вся очень тяжелая и громоздкая установка начнет



Это устройство (взято из иностранного журнала), похожее на осадную мортиру большого калибра, на самом деле не что иное, как один из самых совершенных кинотеодолитов. Им управляют два человека.

медленно и необыкновенно плавно вращаться. Чем больше поворот штурвала, тем вращение быстрее. То же самое происходит при повороте штурвала управления по «высоте». В этом случае вращается не вся установка, а только сама камера с объективом и зрительными трубами.

Мощный стальной лафет и сложная система управления необходимы для того, чтобы обеспечить чрезвычайно высокую точность наводки камеры на ракету или самолет.

Точность наводки, в свою очередь, необходима для получения правильных данных о координатах фотографируемого объекта. Правда, их можно вычислить только в том случае, если фотографирование ведется не одним, а одновременно двумя или тремя киноаппаратами, разнесенными на довольно большое и точно известное расстояние. В этом слу-

чае вычисление координат сводится к определению длин сторон треугольников по известным базам (расстояниям между установками) и углам.

Киноаппараты, позволяющие точно определять углы направления на объект, называются кинотеодолитами. Это название присвоено им потому, что они, по сути дела, позволяют решить ту же задачу, которую решают в геодезии с помощью обычных теодолитов.

На каждом кадре, снятом кинотеодолитом, кроме изображения перекрестья и цели, видны цифры, показывающие величины углов направления на цель в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Помимо этого, на снимке еще даются и отметки службы единого времени, по которым можно подбирать снимки, сделанные в один и тот же момент времени каждым из группы кинотеодолитов. Служба единого времени, как говорят, синхронизирует съемку. Все кинотеодолиты связаны между собой по проводам или по радио и фотографируют ракету или самолет в одни и те же моменты времени.

Кинотеодолитные установки принесли огромную пользу при разработке и испытаниях ракет. Возможно, вам приходилось видеть в английских и американских журналах фотографии ракет, раскрашенных темными и светлыми квадратами, зигзагообразными линиями. Эта раскраска не причуда художника. Раскраска облегчает наблюдение за ракетой в полете, позволяет определить, не вращается ли ракета вокруг продольной оси.

Каждый испытательный полет ракеты фотографируется с момента старта и до тех пор, пока это оказывается возможным. Жаль только, что современные кинотеодолиты, несмотря на все старания конструкторов, все еще не могут работать не только в облачную погоду, но и при сильной дымке. Даже движение теплых потоков воздуха мешает их работе почти в такой же степени, как и астрономам.

Может быть, кому-нибудь из вас, читатель, удастся со временем устранить или хотя бы уменьшить эти недостатки.



Когда-то очень давно все, что ни изготавливал, что ни добывал человек, — все это в самом прямом смысле было плодами его рук, вооруженных примитивными каменными орудиями. Рука была и самым совершенным инструментом и в то же время единственным двигателем, приводившим в движение каменные орудия труда; не менее важную роль выполняли органы чувств и мозг человека. Органы чувств наблюдали за работой, замечали удачи и промахи и сообщали об этом мозгу. Мозг на основании этих сообщений проверял, соответствует ли полученное созданному им же самим замыслу, делал необходимые выводы и отдавал нужные команды главному исполнителю — руке, распоряжавшейся каменными орудиями. То далекое время, хотя и длилось оно сотни столетий, называют каменным веком.

Прошло много тысячелетий, и металлические орудия труда пришли на смену каменным. Но, несмотря на то что орудия труда значительно усовершенствовались, основным двигателем, основной силой, дававшей жизнь этим орудиям, продолжала оставаться сила мускулов человеческой руки. Правда, появились у человека и помощники — животные. Они помогали переносить тяжести, быстро передвигаться на большие расстояния.



Металлические орудия были долговечнее каменных, удобнее в обращении, и с их помощью выделялись более качественные и искусно сделанные товары. Но этого улучшения нельзя было достигнуть, только лишь вооружая руку более совершенными инструментами. Требовалось улучшить и средства контроля производственного процесса, дать в помощь несовершенным человеческим чувствам различные устройства, которые повысили бы точность наблюдения. И такие устройства были изобретены. Так появились отвес, линейка, весы, угломеры и многие другие простейшие измерительные приборы.

Новая пора пришла после того, как люди научились пользоваться энергией ветра и воды. Это было огромнейшим достижением. Впервые за всю историю мускульную силу человека и животных во многих областях заменила сила ветра и воды. Она была неизмеримо большей и позволила людям начать выделку таких товаров и в таких количествах, о которых до того и не мечтали. Но, как и в предыдущую эпоху, прогресс техники не мог быть особенно большим, если бы дело ограничивалось только освоением новых видов энергии. Параллельно ему шло усовершенствование орудий труда и обогащение возможностей человеческих чувств путем вооружения их новыми, еще более совершенными приборами. Именно в век ветра и воды были созданы такие важные приборы, как линза, часы, телескоп, микроскоп, компас. Длился он много веков, начиная примерно с крушения Римской империи и кончая первой промышленной революцией, начавшейся в 60-е годы XVIII столетия. За это время человечество пережило феодализм и вступило в эпоху капиталистического развития.

Первая промышленная революция началась в то время, когда успехи науки и промышленности привели к созданию весьма совершенных орудий труда и первых машин. Однако она не смогла бы развиваться, если бы основной движущей силой новых, высокопроизводительных орудий труда по-прежнему оставалась бы сила ветра и воды. И вскоре после того как стала ощущаться нужда в более совершенном двигателе, он был изобретен. Это была паровая машина. Наступил век пара.

Никогда еще в распоряжении людей не было столько силы. Новый двигатель привел к еще большему ускорению производственных процессов, к повышению точности обработки и изготовления орудий и продуктов труда. Ознаменовался век пара и другими важными изобретениями. И именно тогда были предприняты первые успешные попытки создать устройства, высвобождающие в производственном процессе не руку, не чувства человека, а его мозг.

Век пара длился почти сто лет. В то время паровой двигатель был гегемоном на фабриках и заводах, на шахтах и железных дорогах. Но уже задолго до окончания этого века в технике начали использовать новый вид энергии — электрическую. Сперва ее не умели вырабатывать в больших количествах, и ее едва хватало для того, чтобы обеспечить работу новых удивительных средств связи — телеграфа и телефона, в небывалой степени расширивших возможности человеческого слуха.

С помощью электричества люди могли слышать и вести переговоры на огромных расстояниях.

Окончание века пара связывают с тем временем, когда изобретатели нашли способы преобразовывать энергию пара в электрическую, когда были созданы электрический генератор и электрический двигатель. Вот они-то и стали родоначальниками века пара и электричества. Произошло это между 60-ми и 90-ми годами прошлого столетия.

Электродвигатель очень быстро потеснил паровую машину. Пар остался только на тепловых электростанциях и во всех тех установках, к которым невозможно было подвести провода от электростанций. Именно поэтому паровая машина, а позже паровая турбина не уступали своего места на транспорте. Но спустя некоторое время в бой с ними вступил двигатель нового типа — двигатель внутреннего сгорания.

И все-таки вскоре электричество проникло всюду. Оно явилось тем универсальным видом энергии, которая не только давала жизнь всей индустрии, но и позволила создать множество самых различных приборов, ставших подлинными искусственными органами чувств, значительно превосходящими человеческие по точности и скорости.

Но едва век пара и электричества вступил в свои права, человечеству было подарено новое изобретение — радио. А затем последовало и другое — электронная лампа.

Над миром забрезжила заря новой промышленной революции. В 30-е годы нашего века родились два первых великих детища радиоэлектроники — электронное телевидение и радиолокация. Оба эти изобретения неизмеримо расширили возможности основного человеческого чувства — зрения. От электроники не отставала и электротехника. Она стала родоначальницей новой области техники — электроавтоматики. Если не считать сравнительно немногих удачных попыток создать простейшие автоматы с помощью механических устройств, электроавтоматика явилась той областью техники, которая в довольно широких масштабах сумела успешно заменить человеческий мозг хотя бы в простейших случаях.

Автоматика родилась не по прихоти изобретателей. Ее возникновение и широкое распространение диктовались новыми условиями развития техники. В этих условиях человеческие чувства и мозг уже не могли справляться с поставленными задачами. Особенно быстро стала развиваться автоматика в годы войны. Именно тогда для создания автоматических устройств впервые начали широко использовать средства и методы электроники.

В самом конце войны техника сделала новый решающий шаг: была создана электронная математическая машина — первая машина, обладавшая способностью к высокоорганизованному логическим действиям.

И примерно тогда же народы мира узнали о страшной атомной бомбардировке двух японских городов. Новый вид энергии, богатейшие запасы которой позволят построить прекрасное общество будущего, был преступно использован для уничтожения людей. Этот варварский акт

ужаснул человечество, и многие искренне считали, что открытие методов использования атомной энергии и в дальнейшем будет приносить одни лишь несчастья.

Эти люди заблуждались. Наша страна показала, что атом может быть использован и для мира. В июле 1954 года дала промышленный ток первая в мире атомная электростанция.

Из этого сверхкраткого, неполного и очень условного обзора направлений развития техники мы можем сделать один важный вывод. Он сводится к следующему. Развитие техники шло несколькими путями, из которых наиболее четко выделяются три. Первый — замена руки человека машиной-двигателем и совершенствование двигателей по мере освоения новых источников энергии. Второй — замена чувств человека специальными приборами и совершенствование этих приборов по мере освоения новых видов энергии. И третий — высвобождение мозга человека из сферы производственных процессов устройствами, в той или иной мере обладающими способностью производить логические операции и давать управляющие команды. Эти устройства часто называют теперь думающими машинами.

Огромными успехами, достигнутыми в области создания искусственных органов чувств и думающих машин, мы обязаны электронике. По существу, электроника и есть та область техники, которая занимается созданием таких устройств и машин.

В этой книге, посвященной свету и зрению, уже многое было сказано о различных устройствах, значительно расширивших возможности нашего основного чувства. Но о том, что сделала в этой области электроника, еще не говорилось. И если отшлифованные куски стекла или тонкие стеклянные пластинки, политые фотографической эмульсией, позволили человеку добыться столь многого, то какие же чудеса должна творить электроника!

Вот об этих-то чудесах теперь и пойдет речь.

## **ЭЛЕКТРОННЫЕ КОЛБОЧКИ**

В природе все развивается от простого к сложному. И, конечно, глаз не сразу стал таким. Этому органу пришлось пройти долгий эволюционный путь, прежде чем достигнуть столь высокого совершенства.

С чего же начинался этот путь?

Современная наука не может совершенно точно ответить на подобный вопрос. Но все данные, которыми она располагает, говорят, что способностью ощущений различных внешних воздействий обладали даже самые простейшие организмы далекого прошлого. Вначале клетки, входившие в состав этих организмов, в равной мере одинаково (и потому плохо) реагировали на разнохарактерные раздражители. В ходе эволюции из общей массы стали выделяться клетки, особо восприимчи-

вые к внешним воздействиям. Они становились зачатками органов чувств. Эти клетки претерпевали дальнейшие изменения, и постепенно среди них тоже наметилась специализация. Одни стали наиболее восприимчивы к химическим воздействиям (обоняние и вкус), другие — к механическим (слух и осязание), а третьи стали особенно чувствительны к воздействию света.

Мы знаем, что способностью видеть обладают животные, находящиеся на высоких ступенях развития. Но способностью ощущать свет и определять направление на источник света наделены даже очень примитивные живые организмы и растения. Вспомните хотя бы о подсолнечнике, поворачивающемся вслед за солнцем; вспомните о листьях разнообразных растений, которые тоже изменяют свое положение при движении нашего дневного светила. Ведь это говорит о том, что и они обладают некими органами, чувствующими свет и направление его лучей.

И это действительно верно. Так, на каждом кленовом листе располагается до 15 тысяч специализированных, мудро устроенных светочувствительных клеток. Поверхность их, выступающая на внешнюю сторону листа, имеет выпуклую линзообразную форму, а в полости находится прозрачное вещество. Свет солнца, падающий на такую клетку, фокусируется на задней ее стенке. Точка, где собираются лучи, перемещается при движении солнца. И перемещение этой точки заставляет светочувствительную клетку вырабатывать сигналы, заставляющие лист повернуться по отношению к солнцу так, чтобы точка фокусировки снова вернулась на прежнее место.

Подобного рода клетки имеются у многих растений и простейших животных. Они и являются примитивными светочувствительными органами.

В науке и технике, как и в самой природе, все развивается от простого к сложному. И естественно, что первый искусственный орган зрения был очень простым. Такой первой искусственной светочувствительной «клеткой», электронной «колбочкой» явился фотоэлемент. Он и на самом деле представляет собой запаянную стеклянную колбочку с находящимися внутри нее электродами. Как работает такой фотоэлемент, на каком явлении основан принцип его действия, мы уже знаем.

Расскажем о том, как техника использовала этот примитивный электронный орган зрения и как усовершенствовала его.

Фотоэлемент проводит ток, когда на фотокатод падают лучи света. Чем интенсивнее свет, тем больше по величине этот ток. Такое свойство фотоэлементов позволило применять их в самых разнообразных случаях.

Вот лента сборочного конвейера переносит изделия от одного рабочего места к другому, и постепенно они приобретают все более законченный вид. Наконец выполнена последняя операция, и готовое изделие сходит с конвейера. И в этот момент оно пересекает луч света, направленный в фотоэлемент. Ток через него прекращается, и электронная схе-

ма, подключенная к фотоэлементу, подает команду на электромагнитное реле. Оно срабатывает и проворачивает барабан счетчика на одно деление. Очень важно при этом, что сам счетчик может быть установлен на каком угодно расстоянии от конвейера и связан с фотоэлементом и схемой либо по проводам, либо по радио.

Счетчик подобного рода может быть использован не только на производстве. Его можно установить где угодно, например во входных дверях выставочного павильона, музея, и он точно определит количество посетителей.

Устройство, состоящее из фотоэлемента, электронного усилителя и электромагнитного реле, часто применяют и для охраны жизни и здоровья рабочих. Оно защитит человека от травм, остановив машину или выдвинув предохранительные щитки, если руки рабочего или он сам попадут в опасную зону.

Вору, проникшему в магазин, на склад или в банк, где все входы и выходы стерегут фотоэлементы, уже не выбраться назад. Как только он пересечет хотя бы один из лучей, сработает тревожная сигнализация, придут в действие новые запоры, и злоумышленнику уже не спастись. Можно ли обмануть такую охрану, проشمыгнуть незамеченным, не пересекая луча света? Нет. Ведь, в отличие от колбочек и палочек, имеющих в глазу, электронная колбочка может воспринимать невидимые ультрафиолетовые или инфракрасные лучи. И тот, кто попытается обмануть такую невидимую охрану, даже не догадается, что пересек хотя бы один из лучей «черного» света.

Говоря о запечатленных свете и движении, мы не упомянули о том, что в кино свет используется и для записи звука. На каждой ленте звукового кино с краю проходит специальная дорожка — фонограмма, на которой в виде чередования участков с различной прозрачностью или пропускаемостью света запечатлен звук. Читать такую запись умеет только фотоэлемент. При движении пленки с фонограммой в луче специальной лампы, яркость которой неизменна во времени, интенсивность света, попадающего на фотоэлемент, непрерывно меняется по величине. Ток через фотоэлемент, в свою очередь, меняется пропорционально изменениям интенсивности света. Полученные таким способом электрические сигналы поступают с фотоэлемента в электронный усилитель, который повышает их мощность до величины, достаточной для того, чтобы установленные в зале кинотеатра динамики давали звук требуемой громкости.

С помощью простейшего фотоэлемента можно делать множество полезных приборов. Но тем не менее он вовсе не идеален. Главный его недостаток — малая чувствительность. Он может работать только при освещении его очень сильным светом. Но и тогда сила тока, протекающего через фотоэлемент, чрезвычайно мала. По чувствительности фотоэлемент неизмеримо хуже глаза — он уступает не только палочкам, но и колбочкам. Фотоэлемент всегда приходится использовать совместно с электронным усилителем, а это дорого и неудобно.

## ПРИНЦИП УМНОЖЕНИЯ

Ученые и инженеры стремились устранить этот недостаток фотоэлемента, не позволяющий применять его во многих очень важных устройствах. И они искали пути, которые привели бы к повышению чувствительности и увеличению рабочих токов. Решая эту задачу, они стремились найти такие металлы и их соединения, применение которых в фотокатодах позволило бы повысить число испускаемых электронов при том же самом количестве падающих на фотокатод фотонов. Это правильный путь, но, идя по нему, нельзя получить особенно большого выигрыша. Законы природы устанавливают здесь естественный предел. Как мы помним, законы фотоэффекта показывают, что даже в идеальном случае каждый фотон (если он к тому же обладает достаточной энергией) может выбить всего лишь один электрон. В настоящее время созданы такие фотокатоды, которые испускают один электрон на каждые пять попавших на него фотонов. При этом, конечно, не учитываются те фотоны, которые принципиально не могут выбить из данного материала электроны.

Это прекрасный результат. Но ученые нашли еще более радикальный метод повышения чувствительности и рабочего тока. Первым использовал его и получил хорошие результаты советский ученый Кубецкий. Новый тип фотоэлемента, созданный Кубецким, называют фотоэлектронным умножителем.

Если электрону, вылетевшему из фотокатода, сообщить достаточно большую энергию, а следовательно, и скорость и направить его на металлическую пластинку, то электрон может выбить из нее другие электроны. Очень важно при этом, что можно подобрать металл для пластинки, ее форму и скорость первичного электрона, что он выбьет из нее не один, а несколько вторичных электронов — например, пять или шесть. Эти электроны, в свою очередь, тоже

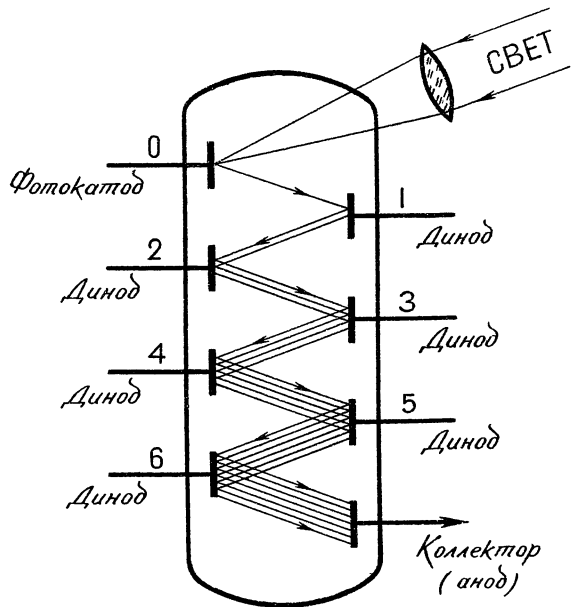


Схема фотоэлектронного умножителя. Свет, падая на фотокатод 0, выбивает из него электроны. На электроды 1, 2, 3, 4, 5, 6 и на коллектор подано напряжение, причем на каждом последующем электроде это напряжение выше, чем на предыдущем.

можно ускорить и вновь направить на следующую, подобную первой пластинку. И тогда из нее будет выбито уже 36 электронов. Если повторять такую операцию, то с третьей пластинки можно выбить 216 электронов, с четвертой — 1296, и так далее.

Создавая фотоумножитель, Кубецкий и воспользовался этим явлением. Он заставил первые выбитые фотонами электроны (поэтому их часто называют фотоэлектронами) разгоняться в электростатическом поле, ударяться о металлический электрод (его называют динодом) и выбивать вторичные электроны. Эти электроны тоже ускорялись и направлялись на следующий динод. Такой процесс повторялся многократно, и количество электронов от динода к диноду нарастало, словно снежная лавина. К последнему электроду, по существу выполнявшему ту же роль, что и анод в обычном фотоэлементе, вместо единичного фотоэлектрона приходили тысячи и даже миллионы вторичных электронов. В приборе Кубецкого фотоэлектроны как бы умножались по закону геометрической прогрессии. Именно поэтому прибор и получил название фотоумножителя. В нем можно получать не один электрон на каждые пять фотонов, как прежде, а до миллиона вторичных электронов на каждый фотон.

И все-таки самые совершенные фотоумножители только в некоторых случаях могут сравниться по чувствительности с глазом, полностью адаптированным к темноте. В этих случаях некоторые электронные схемы с фотоумножителями могут чувствовать световые потоки, содержащие несколько десятков фотонов в секунду. Но для того чтобы добиться такого результата, необходимо охлаждать фотокатод и диноды фотоумножителя до температуры минус 100 градусов и ниже.

И вот по какой причине.

Электроны могут приобрести достаточную скорость и покинуть фотокатод лишь в том случае, если им будет сообщена достаточная энергия. Эту энергию электроны могут получить не только от фотонов, но и при нагреве фотокатода. При повышении его температуры энергия электронов становится достаточной, чтобы они вылетели из фотокатода. Именно за счет нагрева катода (такой катод называют термокатодом) в электронных лампах и получают свободные электроны, которые часто называют термоэлектронами.

Правда, для того чтобы термокатод испускал как можно больше электронов, его раскаляют до температуры в несколько сот и даже выше градусов.

Испускание катодом электронной лампы термоэлектронов — явление безусловно полезное. Но оно становится крайне вредным в фотоэлементах и особенно в чувствительных фотоумножителях. Даже то ничтожное количество термоэлектронов, которые вылетают из фотокатода при комнатной температуре, может нарушить правильную работу прибора. Ведь ток, вызванный термоэлектронами, не зависит от световых сигналов, пришедших на фотокатод, но в то же время он воспринимается приборами, подключенными к фотоумножителю точно так же, как и ток,

вызываемый фотоэффектом. Иначе говоря, термоэлектроны в фотоумножителе создают ложные сигналы. Если такие сигналы велики, они будут нарушать правильную работу аппаратуры, вводить в заблуждение и даже могут замаскировать полезные сигналы, когда последние слабы.

Ложные сигналы, возникающие за счет термоэлектронов, существуют всегда, непрерывно. Если бы мы подали их на наушники или громкоговоритель, то услышали бы характерное непрерывное шипение, или, как говорят, шум, на фоне которого прослушивались бы только достаточно сильные полезные сигналы. Вот этот шум, всегда присутствующий не только в фотоэлементах и фотоумножителях, но и во всех других электронных устройствах, не позволяет различать очень слабых полезных сигналов и не дает возможности повысить чувствительность фотоумножителей до предела. С шумами в электронике борются всеми доступными средствами, всячески стараясь их понизить. Чем меньше будет шум, тем более слабые сигналы сумеет зарегистрировать аппаратура, тем меньше будет ложных (их часто называют паразитными) сигналов. Именно для этого фотоумножители охлаждают до такой низкой температуры. При этом количество термоэлектронов, вылетающих из фотокатода и из диодов, значительно уменьшается.

Фотоумножители очень широко применяются в науке и технике. Многие оптические приборы, в которых раньше единственным чувствительным элементом являлся глаз, стали делать с использованием фотоумножителей. Они оказались теми искусственными органами чувств, которые заменили глаз человека и позволили проводить значительно более точные количественные измерения. Кроме того, и это очень важно, электрические сигналы, выдаваемые ими, можно вводить в электронные думающие устройства и тем самым автоматизировать измерения.

Фотоумножители широко применяются в астрономии для изучения спектров звезд, для измерения их яркости. В физике с помощью фотоумножителей делаются необыкновенно чувствительные, так называемые сцинтиляционные счетчики, позволяющие определять ничтожные уровни радиоактивности.

С давних времен в торговом и военно-морском флоте применяется световая сигнализация. Она бывает двух видов. Одна осуществляется с помощью условных сочетаний разноцветных огней, другая — с помощью световых вспышек. Пользуясь азбукой Морзе и сигнальными фонарями, в ночную пору можно вести переговоры на очень больших расстояниях. Однако ведущим переговоры часто требуется содержать в секрете не только их содержание, но и сам факт таких переговоров. Для того чтобы обеспечить скрытность работы, на флоте применялись фонари Ратьера, дававшие очень узкий луч, не видимый со стороны. Но и они не гарантировали полной незаметности.

Перед второй мировой войной на суше и на море стали широко применять световую связь на невидимых инфракрасных лучах. Передатчиками служили специальные прожекторы. В качестве источников света в них могли использоваться обычные мощные лампы накаливания,



а выходное отверстие прожектора закрывалось специальным светофильтром, пропускавшим только инфракрасные лучи. Сигналы такого передатчика принимали с помощью фотоэлемента, установленного в фокусе объектива, также прикрытого инфракрасным светофильтром. Дальность действия светового телеграфа была очень небольшой. Ее удалось повысить, когда были изобретены фотоумножители.

Примерно в те же годы был разработан световой телефон. Передатчик такого телефона, как и прежде, представлял собой прожектор со светофильтром. Но вместо обычной лампы накаливания в нем устанавливали специальную газосветную лампу. Лампы такого типа меняют свою яркость в такт с изменением величины поданного на них напряжения.

Лампа светового телефона подключалась на выход мощного электронного усилителя. К входу этого усилителя присоединяли микрофон, который преобразовывал речь в электрические колебания. Они усиливались усилителем и меняли интенсивность свечения газосветной лампы.

На приемной стороне пульсирующий свет улавливался фотоумножителем и преобразовывался им в электрические колебания. Они, как и в звуковом кино, усиливались и подавались на наушники или на громкоговоритель.

Световые телефоны, устроенные по такому принципу, в прошлую войну применялись во многих армиях.

Вы, несомненно, слышали о радиолокаторах. Эти высокосовременные приборы позволяют человеку обнаруживать объекты в воздухе, на земле, на поверхности воды в любое время суток и в любых метеорологических условиях. Ни снегопад, ни дождь, ни туман не мешают радиолокатору видеть. Эта замечательная способность объясняется тем, что радиоволны, на которых ведется локация, гораздо больше самых длинных инфракрасных волн. А чем больше длина волны электромагнитных колебаний, тем меньше им мешают такие явления, как снегопад, дождь и туман.

Другим исключительно важным достоинством радиолокации является то, что она позволяет с очень высокой точностью измерять расстояния до объектов. Принцип радиолокационного измерения расстояний очень прост. Он заключается в измерении промежутка времени между излучением очень короткой посылки радиоволн, «вспышкой» радиоволн, и приходом отраженных от объекта радиоволн. Зная скорость их распространения и время, затраченное волнами на путешествие до объекта и обратно, можно легко определить расстояние.

На этом же принципе основаны и световые измерители расстояний. В прожекторе-передатчике устанавливается специальная импульсная лампа, которая дает чрезвычайно кратковременные световые вспышки необычайной силы. Луч прожектора направляется на объект, который отражает световую вспышку. Часть света (очень маленькая) возвращается назад, и здесь ее улавливает приемник света — зеркальный или линзовый объектив, в фокусе которого установлен фотоумножитель. Время

между посылкой вспышки и ее возвращением измеряется с помощью специальных электронных схем, таких же, как и в радиолокации.

Световые дальномеры могут быть сделаны такими точными, что в некоторых странах их используют в геодезии. Правда, они не могут работать уже при умеренном тумане, а облака являются для них непреодолимым препятствием даже при использовании инфракрасных лучей. В этом заключается очень большой недостаток световых дальномеров, но он может быть превращен и в преимущество. Так, например, световой дальномер может быстро и точно определять высоту нижней кромки облаков, что не под силу обычному радиолокатору.

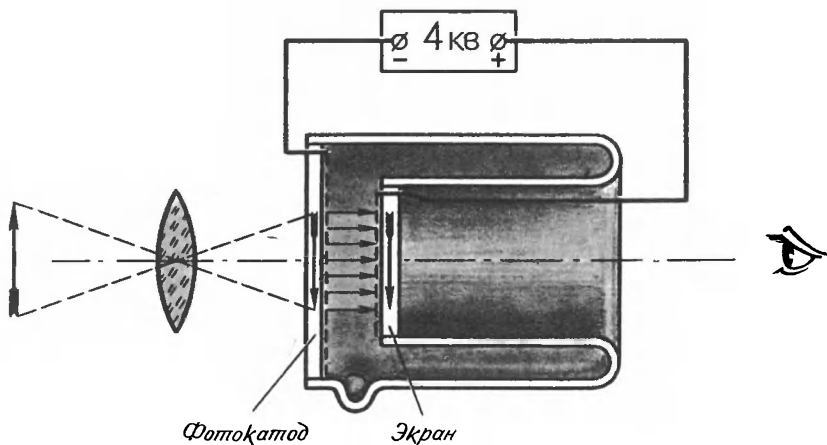
## ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ГЛАЗА

Итак, фотоэлементы и фотоумножители оказались очень полезными приборами и в ряде случаев с успехом заменили глаз человека. Но это возможно только тогда, когда требуется определять наличие или отсутствие световых лучей или получать электрические сигналы, пропорциональные изменению интенсивности света во времени. По-настоящему видеть ни фотоэлемент, ни фотоумножитель не умеют. Они действительно способны расширить некоторые свойства зрения, но не способны вооружить глаз, как микроскоп и телескоп, фотоаппарат и киноаппарат.

Может ли вообще электроника решить подобную задачу?

Безусловно, и в этом ей помогает фотоэффект. Об одном из волшебных приборов, созданных электроникой, позволяющем человеку непосредственно наблюдать невидимое, будет сейчас рассказано. Называется этот прибор электронно-оптическим преобразователем.

Схематический чертеж простейшего преобразователя приведен ниже.



Стакан Холста — первый тип электронно-оптического преобразователя.

Из него видно, что преобразователь представляет собой стеклянную колбу или баллон, похожий на стакан, но не простой, а с толстыми полыми стенками и двойным дном.

Рассмотрите чертеж внимательно, и вы увидите, что на внутренней поверхности дна большого стакана располагается фотокатод, такой же, как у фотоумножителя. Вы заметите так же, что на внутренней поверхности дна малого стакана нанесен слой люминофора — особого порошка, способного светиться под воздействием электронной бомбардировки. Этот люминофор образует экран, по своим свойствам совершенно схожий с экраном кинескопов для телевизоров. Заметьте, что к экрану положительным полюсом подключен источник высокого напряжения и, таким образом, он одновременно является и анодом.

На том же чертеже вы видите схематическое изображение объекта, сфокусированное на фотокатод.

В соответствии с распределением освещенности на самом объекте различные участки фотокатода будут, как и на любой фотопластинке, освещены по-разному. На основании закона Столетова каждый из участков фотокатода будет в единицу времени испускать пропорциональное количество электронов: слабо освещенные участки будут испускать их мало, сильно освещенные — много.

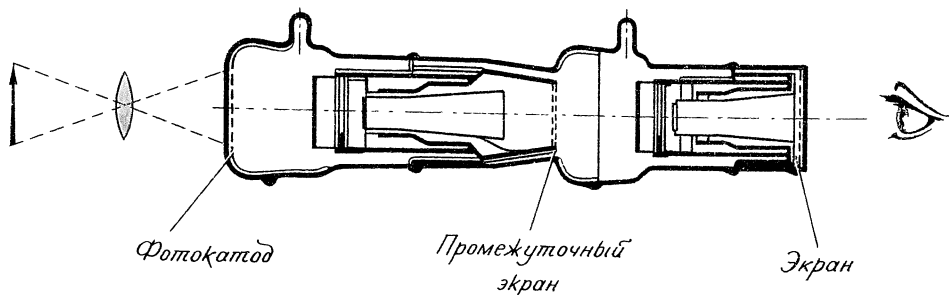
Под воздействием приложенного высокого напряжения электроны, ускорясь, полетят к экрану. По каким же путям будут они перемещаться? Оказывается, и это чрезвычайно важно при данной конструкции преобразователя, каждый из электронов будет двигаться по прямой, перпендикулярной к точке фотокатода, из которой он вылетел. А это означает, что каждая точка фотокатода как бы соединена незримой трубочкой с соответствующей точкой экрана. И по этим «трубочкам» движутся, не смешиваясь между собой, электроны.

В таких условиях каждая точка экрана будет светиться с яркостью, пропорциональной количеству электронов, вылетевших из противоположной точки фотокатода. И, следовательно, на экране мы увидим ту же самую картину, которая проектируется линзой на фотокатод. Ее рисуют на белом экране электроны. Качество изображения в современных электронно-оптических преобразователях, гораздо более сложных по своей конструкции, чем описанный здесь, очень хорошее. Оно ненамного хуже, чем у фотографий, получаемых с малоформатного негатива. Правда, к краям изображение иногда заметно ухудшается.

Возможно, некоторые читатели усомнятся в пользе такого преобразования — ведь оно уже давно доступно фотографии. Действительно, фотография может получать изображение в инфракрасных и ультрафиолетовых лучах. Но сколько приходится терять времени, прежде чем снимок будет готов и станет доступным для просмотра! А электронно-оптический преобразователь показывает человеку то, что происходит в момент наблюдения, и тем самым позволяет вести активное наблюдение. А это означает, что при необходимости человек может вмешиваться в происходящее и контролировать результаты своего вмешательства.

Создатели электронно-оптического преобразователя ставили перед собой именно такую задачу — вооружить глаз устройством, позволяющим вести активное наблюдение в невидимых лучах спектра. При этом прежде всего имели в виду инфракрасные лучи, так как они способны проникать сквозь дымку, а многие объекты, особенно военного значения, сами интенсивно испускают такие лучи и поэтому могут быть демаскированы при наблюдении в инфракрасный преобразователь.

Однако, по мере того как преобразователи совершенствовались, выяснились их новые замечательные свойства. Главнейшее из них то, что яркость изображения на экране может превышать яркость самого объекта во много десятков раз. То есть преобразователи изображения одновременно явились и усилителями яркости. Особенно большое усиление можно получить, если сделать преобразователь каскадным. Принцип каскадности очень прост и состоит в том, что усиленное по яркости изображение с экрана преобразователя вновь проектируется на фотокатод второго преобразователя и еще раз усиливается. Изображение, видимое на экране второго преобразователя, будет, таким образом, во много



Схематическое изображение современного двухкаскадного электронно-оптического преобразователя.

раз ярче уже усиленного по яркости изображения, получаемого на экране первого преобразователя. Такое каскадное соединение преобразователей позволяет получать даже тысячекратное усиление яркости.

А это означает, что электронно-оптический преобразователь позволяет видеть (и хорошо видеть) в такой кромешной тьме, в которой глаза человека, кошки, барсука и даже совы совершенно беспомощны. Правда, качество изображения в каскадном преобразователе несколько ухудшается — падает его четкость, но не очень значительно. И, если учесть, что он является пока единственным в мире прибором, превосходящим во много раз по чувствительности глаз человека, такое снижение четкости можно не считать решающим недостатком.

Высокой чувствительности фотоумножителя можно добиться только при сильном охлаждении. Электронно-оптический преобразователь, как и фотоумножитель, тоже необходимо охлаждать, если требуется видеть

очень слабо освещенные объекты. Неохлажденный преобразователь по своей чувствительности не может значительно превзойти глаз. В этом случае на его экране будут заметны сильные помехи, которые тоже называются шумами, хотя мы не слышим их. Эти шумы будут напоминать снегопад, причем снежинки будут тем чаще, ярче и крупнее, чем выше рабочая температура преобразователя. При комнатной температуре этот снегопад на экране превратится в метель, даже в буран, сквозь который уже будет невозможно увидеть изображение слабо освещенных и мелких объектов.

Электронно-оптические преобразователи имеют военное и мирное применение. О них написано в нашей и в зарубежной печати.

В первую очередь их используют в военной технике. Например, в ночных инфракрасных прицелах.

Но все же преобразователь стал и мирным орудием. Он не только вооружает глаз солдата, но и помогает лечить больные глаза. Многие вещества, и в том числе живые ткани, прозрачны для инфракрасных лучей. Прозрачен для них и страшный белесый нарост на зрачке, называемый бельмом. С помощью электронно-оптического преобразователя можно легко обследовать внутренность глаза, пораженного бельмом, и определить методы лечения.

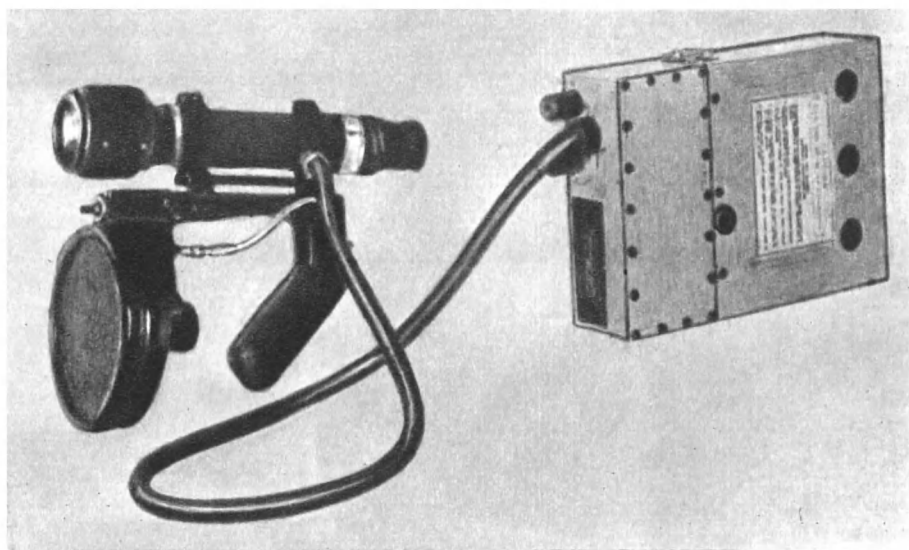
Мы рассказывали о микроскопе «МИК-1». В нем тоже применен преобразователь. Но его с успехом используют не только в микроскопии — астрономы включили преобразователь в число орудий астрономических исследований. На этот раз не столько для преобразования невидимых лучей в видимые, сколько для усиления яркости слабых звезд.

Известно, что фотографирование с экрана электронно-оптического преобразователя позволяет сократить экспозиции примерно в 50—100 раз. Электронно-оптический преобразователь (в данном случае его лучше было бы называть электронным усилителем света) в сочетании с 500-сантиметровым телескопом поможет увидеть звезды на таких расстояниях, которые без него были бы доступны только 50-метровому телескопу. Постройка таких телескопов в наше время невозможна. Но, даже если бы удалось создать такой телескоп, это обошлось бы страшно дорого. Преобразователь же очень дешевый прибор, с его помощью можно добиться такого же результата<sup>1</sup>.

И еще одним замечательным свойством обладает электронно-оптический преобразователь. Если в его конструкцию ввести специальный электрод, то можно, подавая на него отрицательное напряжение, перекрывать путь электронам и тем самым «запирать» или закрывать преобразователь, подобно тому, как это делают со световыми лучами фотографические затворы. Самые лучшие затворы в современных аппаратах не способны давать экспозиции много меньше тысячной доли секунды. Такая выдержка позволяет фотографировать многое, но в научной фото-

---

<sup>1</sup> Если, конечно, не учитывать того, что в 50-метровом телескопе разрешающая способность была бы значительно выше, так как влияние дифракции в нем уменьшилось бы.



Винтовка с инфракрасным прожектором и инфракрасным прицелом. В коробке — источник электрического тока. Внизу — инфракрасная подзорная труба, тот же прицел и инфракрасный прожектор.

графию для изучения очень быстро протекающих процессов часто требуются выдержки в миллионные доли секунды. Ни один механический затвор не в состоянии открыться и закрыться за такое короткое время. И тогда-то приходят на помощь электронные затворы — электронно-оптические преобразователи.

## СУДЬБА ЗАТЕРЯВШИХСЯ ФОТОНОВ

Читая о фотоэффекте, вы, вероятно, уже задумывались над тем, почему не каждый фотон, имеющий необходимую энергию, выбивает электрон, и, наверное, пытались понять судьбу тех фотонов, которые, попав в фотокатод, так и остались в нем, не дав полезного результата.

Коротко ответить на эти вопросы, пожалуй, нельзя. Поэтому те, кто хочет подробнее разобраться в этом, должны обратиться к помощи других книг. Здесь же стоит ограничиться наикратчайшим и довольно приблизительным объяснением этого факта. Оно сводится к упоминанию о двух важных обстоятельствах. Первое заключается в том, что некоторые из электронов, выбитых фотонами, двигаясь в пространстве кристаллической решетки вещества фотокатода, сталкиваются с другими свободными электронами. При столкновении они отдают часть своей энергии, и оставшейся уже не хватает, для того чтобы покинуть фотокатод. Другая причина — это то, что фотоны не всегда отдают свою энергию свободным электронам. Иногда они отдают ее электронам, связанным с атомами. Для того чтобы выбить такие электроны, требуется значительно большая энергия, чем та, которой обладают далеко не все фотоны.

Казалось бы, с такими потерями необходимо примириться. Но ученые нашли методы, позволяющие использовать и те фотоны, которые ранее считались невозвратно пропавшими. Открыв эти методы, они создали фотоэлементы совершенно нового типа. Их называют фотоэлементами с внутренним фотоэффектом.

Такое название говорит само за себя. Слова «внутренний фотоэффект» показывают, что в таких фотоэлементах протекание тока обеспечивается не теми электронами, которые покинули поверхность облучаемого вещества, а теми, которые, получив от фотонов энергию, покинули лишь атомные орбиты и свободно перемещаются в пространстве кристаллической решетки. Для того чтобы выбить электрон с атомной орбиты, требуется меньше энергии, чем для того, чтобы заставить электрон вообще покинуть поверхность облучаемого вещества. Именно поэтому в новых фотоэлементах удалось повысить чувствительность. В таких фотоэлементах почти каждый фотон, имеющий достаточную энергию, освобождает электрон и позволит ему переносить заряд, то есть проводить ток. Не менее важно и то, что величина необходимой энергии фотонов при внутреннем фотоэффекте может быть меньшей, и поэтому красная граница внутреннего фотоэффекта достигает значительно больших длин волн.

Фотоэлементы нового типа устроены совсем иначе и гораздо проще, чем старые. Они представляют собой небольшой кусочек специального вещества, вставленный в оправу. С торцов это вещество плотно соприкасается с металлическими контактами — выводами. Внешняя поверхность, обращенная к свету, и есть рабочая поверхность, на которую направляют лучи света.

Когда такой фотоэлемент находится в темноте, свободных электро-

нов в пространстве кристаллической решетки очень мало. В этом случае они смогут освободиться из атомов только за счет нагрева. Но, когда на рабочую поверхность падают лучи света, свободных электронов в кристаллической решетке вещества становится много; тем больше, чем интенсивнее падающий свет. Они хаотически перемещаются в пространстве решетки в самых разнообразных направлениях. Но в среднем количество электронов, направленных в данный момент, скажем, влево, равно количеству электронов, движущихся вправо. Поэтому тока через фотоэлемент не будет, даже если мы перемкнем его выводы между собой.

Но стоит только подключить к выводам источник электрического тока, как движение электронов упорядочится с очень большой быстротой. Большинство электронов начинает двигаться в одну сторону: от вывода, на который подан минус, к выводу, присоединенному к плюсу. Такое упорядоченное движение электронов и есть электрический ток. Чем интенсивнее падающий свет, тем больше освободившихся электронов, тем больший течет ток.

У таких фотоэлементов есть важная отличительная черта. Она состоит в том, что ток, проходя через них при постоянном освещении, изменяется при изменении напряжения источника, повинаясь всем известному закону Ома. Иными словами, при неизменной освещенности фотоэлемент с внутренним фотоэффектом ведет себя как обычное сопротивление. Благодаря этому свойству фотоэлементы такого рода называют теперь фотосопротивлениями. Это название прочно привилось к ним еще и потому, что по своему виду фотосопротивления действительно похожи на самые распространенные элементы радиоэлектронных схем — сопротивления.

Мы тоже будем пользоваться таким названием, тем более удобным, что оно подчеркивает разницу между фотоэлементами с внешним фотоэффектом и фотоэлементами с внутренним фотоэффектом и позволяет избежать путаницы.

Для изготовления фотосопротивлений применяется особая группа материалов — так называемых полупроводников. Наиболее часто в настоящее время фотосопротивления изготавливаются из сернистого свинца, трехсернистой сурьмы, теллуристого свинца, сернистого кадмия и из некоторых химических соединений, содержащих селен.

Современные фотосопротивления обладают весьма высокой чувствительностью. Не менее важно и то, что при достаточном освещении они могут пропускать во внешнюю цепь сравнительно большой ток. Это означает, что их часто можно использовать без каких-либо дополнительных электронных усилителей. Так, схему простого счетчика, в котором раньше совместно с фотоэлементом применяли усилитель, можно собрать, используя только фотосопротивление, батарею и электромагнитное реле.

Есть у фотосопротивлений и недостатки. Основной из них — это то, что они инерционны, то есть имеют достаточную чувствительность и проводят нормальный рабочий ток только в том случае, если интенсивность падающего на них света либо вовсе не изменяется во времени, либо из-



меняется сравнительно медленно. Если же она пульсирует с большой частотой или представляет собой ряд последовательных кратковременных вспышек, то фотоспротивление не успевает реагировать на такие быстрые изменения освещенности. В этом смысле фотоспротивления напоминают глаз, который тоже не успевает реагировать на вспышки, часто следующие друг за другом. Как правило, инерционность фотоспротивлений тем больше, чем больше их чувствительность.

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом и фотоумножители не обладают таким недостатком. Они практически мгновенно откликаются на каждое даже очень кратковременное, очень быстрое изменение светового потока. Именно поэтому фотоумножители можно применять в счетчиках частиц, в световых измерителях расстояний, где длительность световых вспышек составляет миллионные доли секунды, в световой телефонии, где свет пульсирует с большой частотой.

Первые более или менее пригодные для технического использования фотоспротивления появились незадолго до второй мировой войны. В годы войны немецкие специалисты добились некоторых успехов в их усовершенствовании. Но всего лишь лет десять назад фотоспротивления были доведены до такой степени совершенства, что в настоящее время без них были бы немыслимы многие важные приборы.

## НОВЫЕ ПУТИ

Ученые и инженеры, занятые во многих странах разработкой различных приемников света, не успокоились на достигнутом и в последние три года получили новые поразительные результаты.

Первых успехов добились создатели очень сходных с фотоспротивлениями устройств, названных фототранзисторами. Фотодиоды (двухэлектродные устройства) и фототриоды (трехэлектродные устройства) стали изготавливать из двух важнейших полупроводниковых материалов — германия и кремния, именно тех материалов, из которых изготавливают все остальные типы транзисторов.

Фотодиоды и фототриоды по своим размерам оказались еще меньше фотоспротивлений, но они обладают поистине замечательными свойствами. Фотодиоды по чувствительности уступают только лучшим типам фотоспротивлений, но зато значительно превосходят их по быстродействию. Инерционность их настолько мала, что даже при изменении интенсивности света с частотой 100 и 200 тысяч периодов в секунду или при вспышках, длящихся стотысячные доли секунды, они почти не теряют чувствительности и продолжают выдавать достаточные по величине сигналы. Но это только начало, в дальнейшем фотодиоды можно значительно усовершенствовать.

Фотодиод может пропускать сравнительно небольшие токи. Зато фо-

тотриод и в этом не уступает и даже превосходит фотоспротивления. По чувствительности некоторые типы фототриодов догоняют уже фотоумножители. Правда, пока еще не все фототриоды имеют малую инерционность, но в этом направлении делается многое, и уже появились первые сообщения о том, что некоторые типы фототриодов могут реагировать на свет, пульсирующий с частотой в десятки миллионов периодов в секунду, или на кратковременные вспышки, длящиеся одну десятимиллионную долю секунды. Такие фототриоды уже вполне пригодны для использования в световых дальномерах.

Следует сказать еще об одном важном преимуществе фотодиодов и фототриодов. Оно заключается в том, что они могут без всяких повреждений или ухудшения свойств работать в чрезвычайно широком диапазоне освещенностей: от сумеречной до освещенности прямыми солнечными лучами. В этом они мало уступают человеческому глазу и значительно превосходят фотоумножители. Последние не выдерживают больших освещенностей. И при интенсивной засветке высокочувствительные фотоумножители сразу же выходят из строя. Если к этому добавить, что фототриоды и фотодиоды имеют очень малые габариты, значительно прочнее и неизмеримо проще в эксплуатации, то можно сказать, что в ближайшем будущем они найдут широкое применение.

Спектральная характеристика фотодиодов и фототриодов зависит от материала, из которого они выполнены. При применении германия красная граница чувствительности доходит до 1,6—1,7 микрона, то есть находится в области инфракрасных лучей. Кремниевые фотодиоды и фототриоды имеют высокую чувствительность только в области видимых световых лучей.

Характеристика спектральной чувствительности приемников света является очень важным параметром этих устройств. Она определяет применимость их в тех или иных случаях. В настоящее время за рубежом ведутся работы с целью расширить границы чувствительности и, в особенности, продвинуть их в инфракрасной области. Пока «чемпионами» являются фотоспротивления из сернистого свинца, теллуристого свинца и из соединения селена со свинцом. Красная граница таких фотоспротивлений лежит на волнах длиной от 3 до 5 микрон.

Но и это еще далеко не предел. В настоящее время в лабораториях многих стран мира исследуются все новые и новые материалы с удивительными свойствами. Страницы специальных технических журналов все чаще занимают статьи и сообщения о новых опытах и новых экспериментальных фотоспротивлениях, оставляющих по своим качествам далеко позади уже используемые техникой фотоспротивления. Наиболее многообещающими являются фотоспротивления из германия, легированного<sup>1</sup> золотом, и из сурьмянистого индия. Оба эти материала позволяют создать чрезвычайно чувствительные приемники света с крас-

---

<sup>1</sup> Легирование — введение в расплавленные или твердые металлы некоторых химических элементов для получения сплава с требуемыми свойствами.

ной границей чувствительности на 7,5 и даже на 10 микронах. Стоит сказать, что волны длиной 10 микронов интенсивно излучают тела, температура которых равна всего лишь плюс 15 градусам. Инерционность таких фотоспротивлений чрезвычайно мала. Они успевают хорошо реагировать на световые вспышки, длящиеся меньше одной миллионной секунды.

В фотоспротивлениях, так же как и в обычных фотоэлементах, при нагреве количество вредных термоэлектронов увеличивается. Поэтому фотоспротивления необходимо охлаждать. Но в данном случае требование охлаждения становится тем более настоятельным, чем более длинные волны должно воспринимать фотоспротивление. Так, если мы хотим создать прибор, который должен реагировать на волны длиной 10 микронов, фотоспротивление, оптика и вся конструкция прибора должны быть охлаждены до температуры значительно более низкой, чем плюс 15 градусов. В противном случае все они тоже будут излучать энергию примерно на таких же длинах волн и тем самым создавать паразитное излучение, которое может полностью замаскировать полезное. Мы знаем, что тепло, тепловая энергия всегда передается от более нагретого тела к более холодному. Инфракрасные лучи как раз и являются тепловыми лучами, переносящими на расстояние тепловую энергию. Поэтому, если фотоспротивление будет иметь температуру более высокую или равную температуре излучающего тела, уловить такое излучение фотоспротивление не сможет. Новые виды фотоспротивлений охлаждают до температуры минус 200 градусов и ниже.

Уже говорилось, что чувствительность фотоспротивлений очень высока. Но в диапазоне видимого света она все же значительно ниже, чем у глаза. Тем не менее во многих случаях фотоспротивления успешно заменяют глаз человека. Зарубежная пресса сообщает, что на вооружении армий многих стран мира состоят реактивные самонаводящиеся снаряды, а проще — ракеты, которые, увидев цель, самостоятельно, без каких-либо внешних управляющих команд настигают и поражают ее. В таких ракетах часто применяются оптические автоматы самонаведения, где роль глаза, указывающего направление на цель, выполняет фотоспротивление, а частично роль мозга — специальная электронная схема, в которую поступают сигналы с фотоспротивления.

Но не только в военной технике можно применять самонаводящиеся снаряды. Недавно в американском журнале был опубликован проект использования автоматических ракет для тушения лесных пожаров. Этот проект основывается на свойствах фотоспротивлений улавливать инфракрасные лучи, которые обильно излучает любое тело, нагретое до температуры возгорания. Такие автоматические самонаводящиеся ракеты будут помещаться на вышках, построенных в лесных массивах. При возникновении очага пожара ракеты, в поле зрения которых окажется этот очаг, автоматически запустятся и, долетев до места пожара, взорвутся, выпустив при этом большое количество веществ, подавляющих огонь.

Если учесть, что некоторые типы фотоспротивлений в состоянии уло-

вить энергию от оюнька сигареты, находящейся на расстоянии до 800 метров, такие ракеты будут неплохими пожарными. Думается, что в лесу, охраняемом такими бдительными сторожами, никто не осмелится курить.

## УСИЛИТЕЛЬ СВЕТА

На основе внешнего фотоэффекта были созданы не только фотоэлемент и фотоумножитель, но и электронно-оптический преобразователь. Теперь нам известно, что, используя внутренний фотоэффект, ученые создали устройства, которые по своим свойствам мало отличаются от фотоэлемента и фотоумножителя. Но нельзя ли, основываясь на том же внутреннем фотоэффекте, создать устройство, сходное с электронно-оптическим преобразователем?

Всего лишь несколько лет назад ученые впервые смогли утвердительно ответить на этот вопрос, создав так называемый усилитель света. Иногда, чтобы подчеркнуть различие с преобразователем, который тоже является усилителем света, новое устройство называют твердым усилителем света, полупроводниковым усилителем света или даже светоусилительной панелью, если размеры экрана усилителя достаточно велики.

Световое усиление, получаемое в твердом усилителе, при использовании в качестве материала для светочувствительной поверхности сернистого кадмия может достигать пятисоткратного, а при использовании принципа каскадности — еще большей величины.

Поскольку основным элементом в твердых усилителях является светочувствительная поверхность, изготовленная из тех же материалов, что и в фотоспротивлениях, можно предположить, что преимущества и недостатки твердых усилителей света будут схожими с преимуществами и недостатками самих фотоспротивлений. И это предположение действительно правильно.

Твердые усилители проще в эксплуатации, более прочны, не требуют для своей работы очень высоких напряжений. Они позволяют получать изображения в более широком диапазоне световых волн. Некоторые типы преобразователей очень чувствительны к рентгеновским лучам. Применение светоусилительных панелей в рентгенокопии намного сократит дозы вредного облучения пациента и врача. В то же время осмотр будет более легким, так как изображение получается значительно более ярким, чем на теперешних экранах, применяемых в рентгеновских установках. Другие типы твердых усилителей чувствительны к инфракрасным лучам, длины волн которых лежат за пределами чувствительности электронно-оптических преобразователей.

Один из важнейших недостатков фотоспротивлений — их инерционность. В современных твердых усилителях она особенно сказывается. Проявляется она таким же образом, как и инерционность глаза,— в виде последовательных образов (положительных и отрицательных, в за-

висимости от условий). В жизни последовательные образы редко мешают нам и мы даже не замечаем их. Но последовательные образы в твердых усилителях проявляются неизмеримо заметнее. Они бывают очень яркими и сохраняются в течение довольно долгого времени: объект может уже исчезнуть, а на экране твердого усилителя он по-прежнему будет виден. Поэтому твердые усилители пока используют только для наблюдения неизменных или очень медленно меняющихся изображений. Надо надеяться, что со временем этот недостаток полупроводниковых усилителей света будет устранен. Но удастся ли при этом сохранить столь высокую чувствительность, сказать пока еще трудно.

## ФАБРИКА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

До сих пор речь шла о таких фотоэлементах, которые пропускают через себя ток, проводят его под воздействием света, но только в том случае, если к ним подключен источник напряжения: батарея, выпрямитель и тому подобное. Сами по себе эти фотоэлементы не отдавали тока во внешнюю цепь при освещении светом любой интенсивности.

Но, оказывается, есть фотоэлементы и с иными свойствами. Под воздействием света они отдают во внешнюю цепь ток, пропорциональный падающему световому потоку, без помощи внешних источников электрической энергии. Фотоэлементы такого типа сами являются источниками электрической энергии. Они вырабатывают ее из лучей падающего света и таким образом являются преобразователями световой энергии в электрическую.

До недавнего времени такие фотоэлементы изготавливались только из селена. О них хорошо знают фотолюбители, потому что в электрических фотоэкспонетрах как раз и применяются селеновые фотоэлементы. Но они являются очень плохими преобразователями энергии, их коэффициент полезного действия крайне мал, и поэтому они непригодны для получения сравнительно больших количеств электрической энергии.

В последние годы ученые всего мира напряженно трудились над созданием высокоэффективных преобразователей энергии солнечного света. Такие преобразователи часто называют солнечными элементами. Для их изготовления используют новые материалы полупроводниковой техники. Особенно больших успехов в создании высокоэффективных солнечных батарей добились советские ученые, которыми руководил недавно скончавшийся выдающийся деятель науки академик А. Ф. Иоффе. Коэффициент полезного действия солнечных элементов уже достаточен для того, чтобы их можно было применять в качестве источников электрической энергии для питания различных электрических и электронных устройств на спутниках Земли и на межпланетных станциях.

О том, как работают фотоэлементы подобного рода, невозможно здесь рассказать. Процессы, происходящие в кристалле полупроводни-

ка, используемого для создания солнечных элементов, очень сложны, и даже ученые поняли их достаточно полно совсем недавно. Для того чтобы их описать, пришлось бы предварительно рассказывать о многих важных физических понятиях, существующих в физике полупроводников. Суть же работы солнечных элементов сводится к тому, что ученые и инженеры нашли способы заставить освобождающиеся под воздействием света носители заряда двигаться не хаотически в самых разнообразных направлениях, а только в одном.

## ТАЙНА ШИФРА

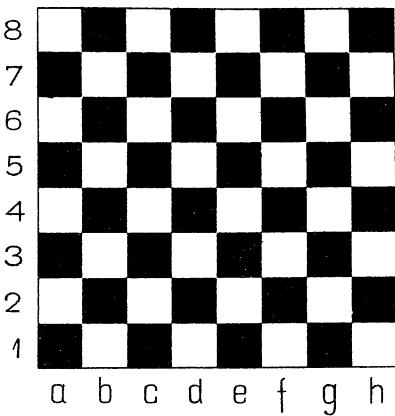
Вы, конечно, прекрасно представляете себе, как передаются телеграфные сообщения с помощью азбуки Морзе. Независимо от того, используется ли связь по проводам или по радио, оператор преобразует текст сообщения, каждую его букву, каждый знак в комбинацию электрических посылок различной длительности. В зависимости от скорости передачи длительность их меняется. Чем выше скорость передачи, тем она короче. Но при любой скорости передачи остается неизменным соотношение длительности посылок; тире длится в строго определенное количество раз дольше точки.

С помощью азбуки Морзе можно легко передать любое текстовое или цифровое сообщение. Но не всякое сообщение, не всякие сведения можно непосредственно выразить словами или цифрами. Очень много сведений, или, как говорят, информации, не поддаются вполне точному, адекватному переводу в слова. К разряду такой информации относятся сведения, содержащиеся в рисунках, фотографиях, чертежах.

Каким же путем можно передавать на большие расстояния подобную информацию? Неужели только по старинке — по почте? К счастью, изобретатели нашли способы передачи изображений с помощью электрических сигналов по проводам или по радио. Но если текстовые и цифровые сообщения преобразовывались в электрические сигналы с помощью зрения, мозга и руки человека, то преобразование изображений в электрические сигналы подобным же образом чрезвычайно трудоемко и не может быть использовано на практике.

Но все же стоит внимательно разобраться в том, какими путями можно передать изображение, пользуясь методами обычной телеграфии.

Представьте себе, что требуется передать изображение поверхности, разбитой на перемежающиеся черные и белые квадраты, точь-в-точь, как на шахматной доске. Глядя на изображение такой поверхности, мы легко придумаем первый, самый простой способ его передачи. Он будет состоять в том, что с помощью азбуки Морзе и обычного телеграфа (или радиотелеграфа) мы передадим оператору, находящемуся на приемном пункте, что изображение похоже на шахматную доску, что оно состоит из совершенно белых и совершенно черных квадратов, и после этого начнем передавать сведения о каждом из них. Те, кто играет в шахматы



Шахматная доска

или хотя бы в «Морской бой», сразу поймут, как это проще всего сделать: a1-черный, с3-черный, е8-белый и так далее, пока не будут переданы сведения обо всех 64 квадратах.

Но такой способ передачи беспорядочен, а потому сложен и может привести к ошибкам. Не представляет труда значительно упростить передачу, если сообщать данные о цвете клеток не вразброс, а по порядку — сперва о первом ряде клеток (о первой строке) слева направо, потом о втором ряде (о второй строке), и так далее. В этом случае после расшифровки сообщение будет выглядеть следующим образом:

a1-черный, b1-белый, c1-черный, d1-белый и так далее.

a2-белый, b2-черный, c2-белый, d2-черный и так далее.

.....  
 .....  
 .....

a8-белый, b8-черный, c8-белый, d8-черный и так далее.

Вы видите, что при передаче данных таким способом в каждой строке восемь раз повторяется один и тот же знак — цифра, обозначающая порядковый номер строки. Для экономии времени передачи и сокращения излишних знаков, не содержащих новой информации, следует передавать эту цифру один раз. Мы как бы вынесем ее за скобку, поставив перед началом строки. Но и это еще далеко не предел для упрощения. Мы можем раз и навсегда договориться с принимающим телеграфистом, что вообще не будем передавать слова «белый» и «черный». Для краткости вместо слова «белый» будем посылать знак «тире» (—), а вместо «черный» совсем не будем посылать никаких сигналов, просто делаем перерыв длительностью в одно «тире». Такое отсутствие сигнала тоже, по существу, является сигналом совершенно определенного смысла.

После выполнения всех условий наша депеша значительно сократится в объеме, не потеряв при этом ни одного полезного сведения, и будет выглядеть следующим образом:

```

1 a b — c d — e f — g h —
2 a — b c — d e — f g — h
.....
8 a — b c — d e — f g — h

```

Таким образом мы получили некое закодированное сообщение, которое телеграфист может без труда расшифровать, так как ключ к коду

мы сообщили ему при предварительных переговорах. Но и такой код все-таки еще очень сложен. Вполне доступно еще более упростить его, если вспомнить, что порядок передачи принят строго определенным и неизменным: сперва передаются данные о цвете квадратов на первой строке по порядку слева направо, потом о квадратах второй строки и опять же в том же порядке, слева направо, и так далее.

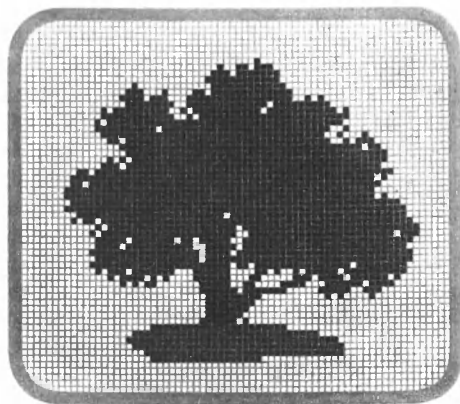
Помня об этом, мы вообще можем не передавать ни буквенных обозначений квадратов, ни номеров строк, а лишь отмечать особым сигналом (пусть это будет «п») начало каждой строки и общее начало закодированного сообщения (ну хотя бы знаком «П»). Тогда наше сообщение, не потеряв интересующих нас сведений, упростится еще более:

```

П п 0 — 0 — 0 — 0 —
  п — 0 — 0 — 0 — 0
  . . . . .
  . . . . .
  . . . . .
  п — 0 — 0 — 0 — 0
  
```

В этом сообщении нулем условно показано отсутствие сигнала, означающее черную клетку. Обратите, пожалуйста, внимание на то, что при таком способе кодирования можно, не пользуясь ни цифровыми, ни буквенными обозначениями, передавать данные о любом количестве квадратов в каждой из строк и о любом количестве строк. Если бы мы оставили буквенные обозначения квадратов, то не могли бы передать данные о числе квадратов в строке, большем числа букв в алфавите. А в данном случае этих квадратов может быть хоть тысяча в строке.

Итак, с помощью простейшего кода удастся передавать некоторые простейшие изображения, состоящие из чередования черных и белых квадратиков. Но многие изображения (не говоря уже о цветных) содержат в себе не только белый и черный цвета, но и различные оттенки серого. Передача таких изображений значительно усложнится. Передающему оператору придется оценивать степень почернения каждого квадратика и сообщать о ней с помощью особого знака. Глаз человека различает 300 оттенков в ахроматической гамме. И, следовательно, понадобится 300 специальных знаков. Фактически такого количества оттенков передать не требуется. Даже очень хо-



Чем больше число клеток, на которые разбивается изображение, тем большее количество деталей можно будет различить.



рошее изображение можно получить, передавая гораздо меньшее их количество. В некоторых случаях допускается всю гамму серых цветов делить всего на восемь градаций. Тогда понадобится уже не 300, а всего восемь специальных знаков. Однако и в этом случае передать изображение очень трудно, тем более, что глаз, умея различать такое множество оттенков, не может в то же время определять абсолютную степень почернения, глядя на какой-нибудь один участок. Но, если бы глаз и умел это делать или самостоятельно, или с помощью какого-либо прибора, время на передачу даже простейшего изображения потребовалось бы огромное.

И, конечно, таким способом никто и никогда не передает изображений. Медлительные глаз, рука и мозг человека непригодны для этих целей. Зато фотоэлемент как нельзя лучше подходит для преобразования изображений в электрические сигналы. Он безошибочно и практически мгновенно преобразует различные степени почернения в соответствующий по величине ток.

Что же касается принципа кодирования и передачи, он останется тем же самым, только вместо условных знаков будут передаваться электрические сигналы, величина которых пропорциональна яркости каждого из квадратиков. Чем квадратик светлее, тем больше ток, тем больше сигнал. Кроме этих сигналов, разумеется, будут передаваться сигналы, отмечающие начало сообщения и начало каждой из строк его.

Возьмем фотоэлемент и будем равномерно передвигать его слева направо вдоль строк нашего изображения. Когда он будет находиться над белым квадратом, ток будет наибольшим; над черным квадратом фотоэлемент совсем не будет проводить тока. На приемном конце должен быть другой прибор, автоматически преобразующий электрические сигналы в пропорциональный по яркости свет. В качестве такого прибора можно использовать газосветную лампу, в частности лампу, наполненную неонам. Неоновая лампа горит тем ярче, чем больший ток протекает через нее. Следовательно, она будет гореть наиболее ярко, когда фотоэлемент находится над белым квадратом, и совсем погаснет, когда он будет над черным.

С помощью специальных устройств можно сделать так, что фотоэлемент на передающей стороне и лампа на приемной стороне будут перемещаться строго одинаково и в соответствии с принятым порядком передачи данных: слева направо по строке и в порядке следования строк. Тогда, подложив под фотоэлемент изображение, а под неоновую лампу — лист фотобумаги, мы получим на нем по-разному засвеченные участки. Все вместе они составят изображение. Изображение будет тем более четким, чем мельче были квадратики, на которые мы разбили его, или, иначе говоря, чем больше количество квадратиков, на которые разбивается одно и то же изображение, тем четче изображение. Понятно также, что, чем больше квадратиков, тем большее время понадобится и на их передачу, если не принять специальных мер.

Таков принцип. Но практически фототелеграф действует иначе.

Передаваемое изображение накладывается на барабан, который медленно и строго равномерно вращается во время передачи изображения. С помощью линз изображение фокусируется на фотоэлемент. Он остается неподвижным, а вместо него по строкам изображения с равномерной и строго определенной скоростью перемещается тоненький, как иголка, и очень яркий луч света. Упав на поверхность изображения, он отразится от него в фотоэлемент. Отраженный свет будет интенсивным, если точка, на которую в данный момент падает луч, светлая, и будет слабым, если точка темная. В соответствии с изменением количества отраженного света будет изменяться и ток через фотоэлемент, по мере того как луч будет обегать всю поверхность изображения. Ток усиливается с помощью электронного усилителя и посылается по проводу на приемный пункт.

Луч света движется строго в соответствии с установленным нами порядком — вдоль изображения, слева направо. Когда он доходит до края изображения, он очень быстро (почти мгновенно) возвращается к началу пути, и в это время посылается сигнал начала новой строки. Возвратившись к началу пути, луч не пойдет вновь по старой строке. За время прохождения лучом предыдущей строки и его возвращения к исходному положению барабан с наложенным на него изображением успеет повернуться точно на ширину одной строки, равную высоте сечения светового луча, и луч света пойдет по новой строке.

На приемной стороне тоже имеется барабан. Как и на передающей стороне, он находится в полной темноте. Вращается он строго одинаково с первым барабаном. На приемном барабане помещают лист фотобумаги и направляют на него сфокусированный тончайший луч света от неоновой лампы. Движение этого луча также точнейшим образом согласовано с движением луча на передающей стороне. Разница же заключается в том, что луч света на передающей стороне имеет строго неизменную яркость, а на приемной — яркость луча меняется в соответствии с поданными на неоновую лампу сигналами.

Оба луча света очень тоненькие, так что одновременно засвечиваются очень маленькие участки изображения. Именно поэтому удается выделять, передавать и воспроизводить даже очень мелкие участки изображений.

Вот каким образом работает фототелеграф — замечательное устройство, объединившее в себе достижения электроники, фотографии, техники источников света, оптики, точной механики и, конечно, связи.

Необходимо обратить особое внимание на одно необыкновенно важное свойство фототелеграфа, отличающее его от всех известных до сих пор устройств, в том числе и глаза.

В глазу четкое изображение, полученное в центральной ямке, раскладывалось на отдельные элементы («квадратики») с помощью 40—50 тысяч колбочек и передавалось в мозг **одновременно** по такому же количеству «проводов» — нервных волокон. Общая же картина, воспринимаемая глазом, передается по миллиону таких волокон, соединенных со 137

миллионами палочек и колбочек. В фотографии имеет место нечто сходное — изображение запечатлевается **одновременно** на огромном количестве зерен фотоэмульсии.

В фототелеграфе дело обстоит совсем иначе. В нем есть всего лишь одна «колбочка» — фотоэлемент и один провод (обратным проводом является земля). Но тем не менее изображение передается, и очень неплохое. О его качестве может судить всякий, кто получил фототелеграмму.

Передача изображения с помощью одного фотоэлемента и по одному проводу оказалась возможной только благодаря примененному нами методу кодирования или преобразования изображения в сигналы. В соответствии с этим методом все изображение разбивалось на отдельные строки, а строки — на отдельные мелкие точки различной яркости: элементы изображения. **Все элементы изображения передавались в строгом порядке, в строгой последовательности.** При таком методе поверхность изображения как бы преобразовывалась в новое качество — во время. Это очень важное преобразование. Именно оно позволило осуществить передачу изображения по одному проводу и сравнительно несложным путем.

## ЭЛЕКТРОННЫЙ ГЛАЗ

Преобразование, о котором мы только что говорили, довольно давно известно ученым. Оно применяется не только в фототелеграфии, но и в самом совершенном виде современной связи — в телевидении. Создать его без помощи такого преобразования было бы невысказимо. И столь же невысказимым оказалось бы изобретение «зеницы» телевидения — передающих телевизионных трубок, самых совершенных электровакуумных приборов, основанных на фотоэффекте.

В фототелеграфе плоскость изображения обегал тоненький, как игла, луч света. При телевизионной передаче тоже иногда применяется подобный метод. Здесь он носит название «развертка бегущим лучом». Правда, в отличие от фототелеграфа, в телевидении бегущий луч не отражается от поверхности изображения, а чаще всего работает на просвет. Ясно, что при этом можно передавать изображения, нанесенные на прозрачную основу: кинофильмы, диапозитивы, рисунки на стекле, в частности различные неподвижные вставки, которые часто показывают по телевидению во время перерывов.

С помощью развертки бегущим лучом были переданы на Землю и фотографии невидимой с Земли стороны Луны.

Но для передачи пространственных сцен и особенно для внестудийных передач такой способ непригоден. Поэтому основной метод телевизионной передачи изображения иной. Разумеется, принцип последовательной, поэлементной передачи остается неизменным и в этом случае.

При телевизионном методе передачи изображение всегда освещено

полностью, а разбивается оно на отдельные элементы («квадратики») при помощи очень большого количества фотоэлементов. Их берется столько, сколько требуется для передачи всех элементов изображения. Так, в отечественном телевидении предусмотрена разбивка изображения (кадра) на 625 строк. В строке же содержится 865 элементов<sup>1</sup>. Следовательно, все изображение раскладывается на  $625 \times 865 = 540\,625$  элементов. На первый взгляд кажется, что установить совместно такое огромное количество фотоэлементов невозможно. Правда, оно значительно меньше количества светочувствительных клеток в сетчатке, но тем не менее очень велико. Изобретатели все же нашли выход: вместо такого большого числа отдельных фотоэлементов они предложили использовать один, но особого рода. Называется такой фотоэлемент мозаикой.

Мозаика... Не вызывает ли это слово каких-либо ассоциаций? Вы уже, наверное, вспомнили сетчатку глаза, очень похожую на мозаику, сложенную из палочек и колбочек. И эта ассоциация действительно не случайна. Телевизионная мозаика тоже сложена из огромного количества отдельных светочувствительных крупинок, каждая из которых представляет собой чрезвычайно малый по размерам фотокатод или микроскопический фотоэлемент.

Для изготовления мозаики берут тщательно обработанную и очищенную пластинку из прозрачного изоляционного материала и в специальной установке наносят на одну из ее поверхностей мельчайшие капельки светочувствительного вещества, такого же, как и в фотокатодах обычных фотоэлементов. Их наносят путем распыления, через особого рода пульверизатор. Сделать мозаику хорошего качества нелегко. Нужно, чтобы все мельчайшие крупинки равномерно покрыли всю поверхность и в то же время не соприкасались между собой. Ведь если они будут иметь между собой электрический контакт, то отдельные миниатюрные фотокатоды сольются в один большой катод. С его же помощью разложить изображение на отдельные элементы будет невозможно.

Мозаику помещают в специальную электронную лампу — передающую телевизионную трубку. На поверхность мозаики, так же как и в обычных фотоаппаратах, проектируют с помощью объективов изображение. Под воздействием света фотокатоды испускают большее или меньшее количество электронов, которые притягиваются к специальному собирающему электроду. Сами по себе эти электроны не нужны. Важно здесь то, что, отдавая электроны, светочувствительные зерна мозаики приобретают положительный заряд. Величина заряда зависит от освещенности зерна, от яркости «точки» изображения, которая сфокусирована на данный участок мозаики.

Неужели от каждого такого фотоэлемента должны отходить проводники? 540 625 проводников? Конечно, нет! Здесь-то и применяется

---

<sup>1</sup> Фактически по ряду причин строка разбивается на меньшее число элементов. В плохих телевизионных камерах и в плохих телевизорах количество элементов в строке может понизиться даже до 400—450.

принцип преобразования поверхности изображения во время — принцип последовательной, поэлементной передачи изображения. Благодаря ему мы можем заменить 540 625 отдельных проводников всего лишь одним проводником, на конце которого будет контакт, попеременно подключающийся к каждому из фотоэлементов, обегая их в соответствии с законами нашего преобразования.

Как же перемещается такой контакт? Закон его движения остается точно таким же, как и закон движения бегущего луча. Контакт перемещается со строго постоянной скоростью слева направо вдоль горизонтального ряда зерен мозаики, или, как называют такой ряд, строки. Дойдя до правого конца строки, он мгновенно возвращается обратно, на левый край, и, встав в начале следующей строки, возобновляет равномерное движение. Пробежав таким образом все строки, контакт мгновенно возвращается в исходное положение, в начало первой строки. И все повторяется вновь и вновь на протяжении всей телевизионной передачи.

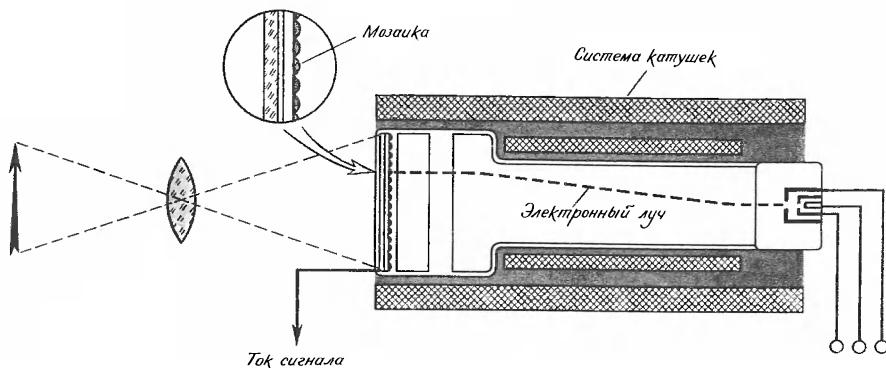
Контакту пришлось бы перемещаться с огромной скоростью. Так, при ширине мозаики 12 сантиметров и стандарте разложения 625 строк за время передачи одного кадра, равное 0,04 секунды (частота смены кадров в отечественном телевидении равняется 25 в секунду, что с точки зрения инерционных свойств глаза вполне достаточно, чтобы не ощущать мерцания и воспринимать все движения непрерывными), контакт пробежит расстояние 150 метров. А за секунду 3750 метров.

Это огромная скорость. И ни один обычный проводничок, ни один обычный контакт нельзя заставить перемещаться столь быстро. Поэтому их заменяет проводник, контакт особого рода — тончайший электронный луч. Заставить конец электронного луча, «упирающийся» в мозаику, перемещаться со столь большой скоростью уже нетрудно.

Чтобы нагляднее представить сказанное, лучше всего ознакомиться с устройством одного из типов передающих телевизионных трубок, который называется «ортикон».

Как видно из чертежа, ортикон представляет собой удлиненную стеклянную цилиндрическую колбу, имеющую расширение в передней части. Внутри колбы находятся мозаика и несколько электродов. После изготовления из трубки удаляется, по возможности, весь воздух.

Мозаика крепится на внутренней стороне передней торцевой поверхности трубки. В противоположном конце находится термокатод. Он раскаляется до высокой температуры с помощью специального электрического подогревателя, представляющего собой свитую в виде миниатюрной пружинки проволочку, напоминающую спиральку электрической плитки. Электроны, испускаемые термокатодом, летят в самых различных направлениях. Для того чтобы сформировать из них тончайший луч, состоящий из электронов, движущихся в одном направлении, и для того чтобы придать им необходимую скорость, в полости трубки помещена специальная электронно-оптическая система, состоящая из упомянутых уже электродов



Схематическое изображение передающей телевизионной трубки типа ортикон, помещенной в систему электромагнитных катушек.

Снаружи трубку охватывает длинная электромагнитная катушка — соленоид. Через катушку пропускают постоянный ток, и образующееся магнитное поле позволяет довести толщину электронного луча до очень малой величины<sup>1</sup>. Между этой катушкой и баллоном трубки устанавливают еще две пары катушек, которые называются отклоняющими. В каждой паре протекает переменный ток особого вида. Под воздействием двух электромагнитных полей, создаваемых токами, протекающими через две пары отклоняющих катушек, осуществляется отклонение луча в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Скорости отклонения луча по горизонтали и по вертикали различны.

Одна пара катушек, обеспечивающих отклонение по вертикали, заставляет электронный луч медленно и равномерно смещаться по мозаике сверху вниз, а затем очень быстро возвращаться в исходное положение. Другая пара катушек отклоняет луч с равномерной скоростью по горизонтали слева направо, а затем мгновенно возвращает его назад, на левый край.

Частота тока в катушках вертикального отклонения во много раз меньше частоты тока, протекающего через катушки горизонтального отклонения. Поэтому и скорость движения луча по вертикали во много раз меньше, чем скорость движения по горизонтали. И, следовательно, электронный луч прочертит на мозаике столько горизонтальных строк (фактически они несколько наклонены вправо вниз), во сколько раз скорость движения вдоль строки превышает скорость смещения по вертикали, или, как говорят, по кадру.

Подобный метод последовательного разложения, развертки изобра-

<sup>1</sup> Сечение электронного луча стараются сделать, по возможности, круглым. Диаметр сечения луча в месте его падения на мозаику должен быть точно равен ширине одной строки.

жения на элементы с помощью электронно-лучевой трубки был предложен в России в 1907 году изобретателем Борисом Львовичем Розингом (1869—1933 гг.).

Итак, электронный луч, падающий на мозаику, выполняет роль проводника, контакта, последовательно замыкающего цепи всех элементарных фотоэлементов. Каждый из них, испуская электроны под воздействием света, накапливает положительный заряд. Такое накопление происходит в каждом из зерен мозаики. Оно длится между двумя последующими моментами, в которые на данное зерно падает электронный луч. Время, в течение которого электронный луч упирается в данное зерно, очень мало<sup>1</sup>. Но его вполне достаточно, для того чтобы термоэлектроны луча полностью заместили излученные фотоэлектроны и свели положительный заряд зерна мозаики к исходному, нулевому.

Как только луч покинет элементарный фотокатод, последний вновь начнет испускать фотоэлектроны. В единицу времени он отдает их тем больше, чем он ярче освещен. Такой попеременный процесс отдачи фотоэлектронов и их восполнения термоэлектронами происходит на каждом из зерен мозаики в течение всего времени телевизионной передачи.

Так как освещенность всех зерен мозаики различна, то различной будет и убыль электронов. Следовательно, количество электронов, забираемых у луча, будет меняться при движении его от одного элементарного фотокатода к другому. И так как луч движется непрерывно, то это количество меняется непрерывно. В результате создается пульсирующий ток, который и представляет собой не что иное, как сигналы изображения, закодированные тем же шифром, что и раньше.

Эти сигналы усиливаются с помощью электронных усилителей. В них дополнительно вводятся сигналы, определяющие начало движения в горизонтальном направлении (по строкам), и сигналы, определяющие начало движения луча по вертикали (по кадру). Такие сигналы называются синхронизирующими, так как они нужны для того, чтобы заставить электронный луч в приемной трубке, в обычном телевизионном кинескопе, отклоняться строго в соответствии, синхронно с лучом передающей трубки.

Сигналы изображения и синхронизирующие сигналы передаются по радио или по специальному кабелю к приемникам изображения — к телевизорам.

Ортикон был описан здесь столь подробно лишь потому, что на его примере можно проще всего объяснить важные принципы работы передающих трубок. Но ортикон не является ни единственным, ни лучшим среди своих «собратьев». В настоящее время есть значительно лучшие типы трубок.

Первой трубкой, успешно использовавшейся в телевидении, был так

---

<sup>1</sup> Если кадр разбивается на 540 625 элементов и все они передаются за  $1/25$  секунды, то длительность пребывания луча на одном из элементов составляет всего 0,00000008 секунды!

называемый иконоскоп. В настоящее время он почти вышел из употребления и заменен более совершенным супериконоскопом<sup>1</sup>. Трубки этого типа широко применяются при передаче из студий и теперь. За много лет своего существования супериконоскоп очень хорошо отработан и освоен промышленностью. С его помощью можно получать изображения высокой четкости и с очень хорошим воспроизведением полутонов. Но у него есть один очень большой недостаток — малая чувствительность, столь малая, что для нормальной работы телевизионной камеры требуется очень большая освещенность передаваемой сцены. Практически ее можно обеспечить только в телестудии с помощью специальной осветительной аппаратуры. Другой недостаток супериконоскопа состоит в том, что он громоздок, имеет сложную форму и плохо вписывается в конструкцию камеры.

Уже известная вам трубка ортикон по чувствительности и четкости мало отличается от супериконоскопа и тоже применяется в телевизионном вещании. Особенно популярна она в Англии.

В конце 40-х годов появилась новая трубка — суперортикон, обладающая исключительно хорошими параметрами. Главный из них — чувствительность — столь высока, что изображение хорошего качества может быть получено в сумерки или даже при лунном освещении. Четкость изображения, даваемого этой трубкой, также очень высокая: она может быть доведена даже до 1000 строк. Суперортикон имеет хорошую конструктивную форму, но его габариты тоже велики (длина примерно 500—600 миллиметров, а наибольший диаметр 50—60 миллиметров). Кроме того, мы не должны забывать о системе катушек, охватывающих трубку. Они тоже занимают много места и весят добрый десяток килограммов. К недостаткам суперортикона следует отнести и очень большую сложность эксплуатации, высокую стоимость, малый срок службы и малую прочность — он очень плохо переносит сильные удары, сотрясения и вибрации.

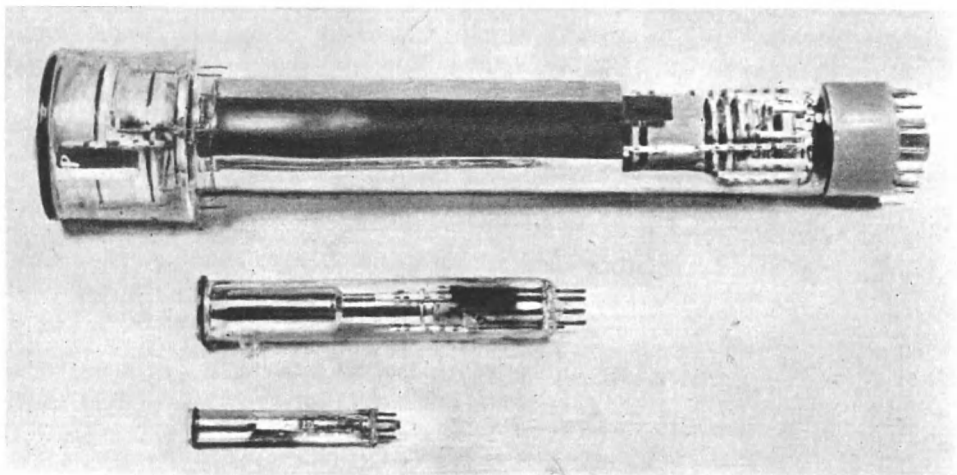
И все-таки его достоинства искупают все эти серьезные недостатки. Суперортикон считается и еще долго будет одной из наилучших трубок для применения в тех случаях, где на первом месте стоит чувствительность. В телевизионном вещании трубки типа суперортикон имеют весьма широкое распространение.

Суперортиконам скоро минет двадцать лет, но, несмотря на это, их продолжают непрерывно совершенствовать. И в самое последнее время добились новых больших успехов. Не так давно появились новые суперортиконы, чувствительность которых столь высока, что во много раз превосходит чувствительность человеческого глаза. Усовершенствовать суперортикон помог наш старый знакомый — электронно-оптический преобразователь. Его использовали для того, чтобы он проектировал на суперортикон уже усиленное по яркости изображение.

---

<sup>1</sup> Слово «супер» — составная часть сложных слов, обозначающая высшее качество или повышенное, улучшенное действие.





Передающие телевизионные трубки: суперортикон, обычный и миниатюрный видиконы. Длина суперортикона примерно 0,5 метра; длина миниатюрного видикона меньше 10 сантиметров.

Все перечисленные до сих пор трубки были основаны на явлении внешнего фотоэффекта. Но мы знаем, что овладение внутренним фотоэффектом позволило инженерам и ученым создать различные устройства, аналогичные по своему назначению устройствам с внешним фотоэффектом. Значит, мы вправе ожидать, что могут быть созданы и телевизионные передающие трубки, основанные на внутреннем фотоэффекте. И такое предположение оказывается справедливым.

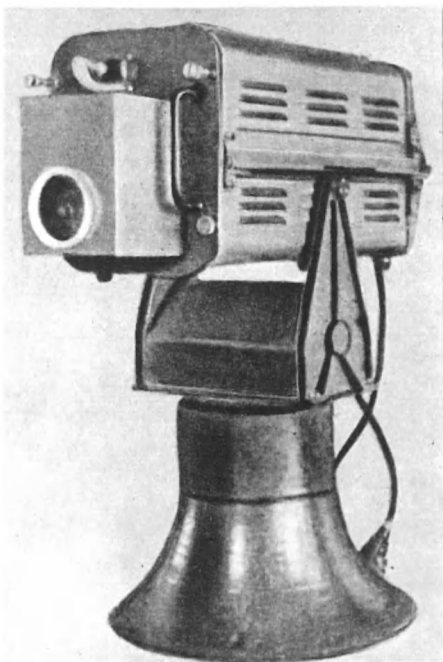
Такие трубки были действительно разработаны. Первые их образцы появились в начале 50-х годов. Их свойства столь хороши, что и в настоящее время они являются не только самыми распространенными, но и самыми любимыми трубками всех телевизионщиков. Трубки такого типа носят название «видикон».

У видикона много достоинств. Прежде всего он имеет очень хорошую чувствительность. Она, правда, ниже, чем у суперортикона, но значительно выше, чем у всех остальных типов трубок, и вполне достаточна для того, чтобы получить хорошее изображение при естественном дневном свете (даже в пасмурную погоду) и при обычном комнатном электрическом освещении. По четкости изображения новейшие модификации видиконов тоже практически не уступают суперортикону. Появившиеся в самом конце 1960 года сообщения говорят, что четкость изображения может быть доведена до 1000 строк.

Очень важно и то, что видикон необыкновенно прост в эксплуатации, очень надежен, не боится ударов и вибраций, значительно более долговечен и дешев. Есть у него и еще одно огромное достоинство — видикон



В правой руке репортера камера с миниатюрным видиконом; левой рукой он придерживает очень маленький, контрольный приемник, по экрану которого репортер контролирует качество изображения; в ранце, за спиной,— телепередатчик.



Передающая телевизионная камера специальной телевизионной установки с трубкой суперортикон. Положением этой камеры и установкой диафрагмы объекта можно управлять на расстоянии.

Как и все устройства, основанные на внутреннем фотоэффекте, видиконы можно сделать чувствительными к инфракрасным лучам с такими длинами волн, которые не смогут воспринимать все типы трубок с внешним фотоэффектом.

Но именно это же обстоятельство (внутренний фотоэффект) определяет и основной недостаток современных видиконов — они инерционны. Инерционность в этом случае выражается в размазывании быстро движущихся изображений, в падении чувствительности трубки при передаче таких изображений. Возникают и последовательные образы, но в большинстве случаев они почти незаметны. С инерционностью сейчас уже довольно успешно борются, и новые типы видиконов обладают уже вполне приемлемой для телевизионного вещания инерционностью.

Итак, вы прочитали об иконоскопе и супериконоскопе, об ортиконе и суперортиконе и, видимо, обратили внимание на то, что трубки, названия которых начинаются со слова «супер», лучше своих предшественниц. Возникает вопрос: «Не может ли быть создан и супервидикон?» Пока что

имеет очень малые размеры: его диаметр равен всего лишь 25 миллиметрам, а длина — 160. При этом вес системы катушек может быть доведен до нескольких сотен граммов.

Но это еще не предел. Уже созданы в ряде стран и отлично работают миниатюрные видиконы (их иногда называют минивидиконами), которые по своим размерам не больше сигареты. Диаметр такого видикончика всего лишь 13 миллиметров, а длина — 80. Вес системы катушек может не превышать 150—200 граммов. Правда, наивысшая четкость изображения, которую до настоящего времени удалось достигнуть с его помощью, не превышает 300—400 строк. Но ведь минивидикон совсем еще «юная» трубка, и от нее многого можно ожидать в будущем. И, в частности, того, что благодаря исключительной простоте конструкции эту трубку смогут изготавливать на автоматических линиях в таких же количествах и при такой же стоимости, как и обычные электронные лампы. А это означает, что телевидение сможет проникнуть во многие области жизни и деятельности человека.

ответить на него вполне определенно нельзя. Но не исключено, что трубка такого рода появится.

Не так давно в печати был описан принцип действия новой трубки, которой, хотя и не вполне основательно, можно было бы присвоить такое название. Все же изобретатели, понимая, что она еще не на все 100 процентов отвечает признакам, которыми должен обладать супервидикон, назвали ее иначе. Ее имя — «эбикон».

Если верить сообщениям, то свойства эбикона окажутся совершенно поразительными. Ожидается, что чувствительность этой трубки превзойдет чувствительность глаза и даже электронно-оптического преобразователя и будет близка к теоретически возможному пределу. Эбикон позволит хорошо наблюдать объекты даже в облачную безлунную осеннюю ночь.

Пока что эта трубка существует только на бумаге, но можно не сомневаться, что со временем такие трубки начнут делать, как бы ни был труден путь к их практическому осуществлению.



Телевидение начало развиваться уже до войны. Первая передача в СССР состоялась 29 апреля 1931 года в Москве. Изображение раскладывалось всего лишь на 30 строк при частоте повторения кадров 25 за 2 секунды. Это была еще электромеханическая телевизионная система. В ней развертка изображения осуществлялась с помощью специального вращающегося диска с отверстиями, расположенными по спирали. Такой диск заменял собой бегущий луч. За диском помещался фотоэлемент, подключенный к электронному усилителю. Для воспроизведения изображения использовался подобный же диск, но вместо фотоэлемента ставилась неоновая лампа с большим плоским электродом.

Телевизионные передачи такого рода велись в течение нескольких лет. Сигналы изображения передавались радиостанцией «РЦЗ», а звуковое сопровождение, кажется, станцией «ВЦСПС». В 1934 году в Измайловском парке культуры и отдыха в Москве была открыта выставка, посвященная связи и радио. Она размещалась в большом деревянном павильоне, неподалеку от круглого пруда. И там, на стендах, среди последних новинок радиоприемной техники «ЭЧЕЭС» и «СИ» стояло несколько фанерных ящиков красно-коричневого цвета с черным основа-

нием и с небольшими окошками. Это и были первые телевизоры. Там же можно было посмотреть и телевизионные передачи — неясные дергающиеся картинки, видимые сквозь линзу размером не более сигаретной пачки. Это зрелище вызывало общий восторг — ведь многие из зрителей до этого никогда ничего подобного не видели. Им эти изображения казались подлинным чудом. И если вдуматься, это и было чудом.

Еще большее чудо произошло в последующие три-четыре года. За этот сравнительно короткий срок были созданы и введены в эксплуатацию принципиально новые системы — системы электронного телевидения высокой четкости. В них изображение передавалось с помощью уже знакомых нам передающих трубок, а воспроизводилось на экранах кинескопов. В СССР электронное телевидение началось в 1939 году. В Ленинграде ввели в эксплуатацию опытный телецентр, передававший изображение с четкостью в 240 строк. В Москве примерно в то же время начали вести передачи на оборудовании, закупленном в США. Четкость московских передач была более высокой — она составляла 343 строки. Число кадров и в Ленинграде и в Москве было одинаковым — 25 в секунду. Незадолго до войны в продаже появились и первые телевизоры с приемными электронно-лучевыми трубками, или, как их называют, кинескопами. Размер изображения в этих телевизорах был невелик — не более, чем в телевизорах «КВН». Но сам телевизор был очень громоздким — величиной с небольшой комод — и стоил страшно дорого: 14 тысяч рублей, в два раза дороже легкового автомобиля «КИМ», старшего «брата» нынешнего «Москвича».

Третье чудо в телевидении свершилось вскоре после конца второй мировой войны. В военные годы телевидением почти не занимались — все внимание радиоспециалисты уделяли совершенствованию радиосвязи и радиолокации. Но вот наступил мир, и уже года через три телевидение во всех развитых странах сумело сделать новый огромный шаг вперед. Телевизоры стали дешевле, их начали выпускать сотнями тысяч, а вскоре и миллионами штук в год.

Намного улучшилось и качество изображения. Четкость его в Англии поднялась до 405 строк, в США — до 525 строк. А в нашей стране, которая перед войной отставала от Соединенных Штатов в области телевизионного вещания, четкость изображения достигла 625 строк. В настоящее время стандарт разложения в 625 строк принят в Европе повсюду. Только во Франции недавно он был повышен до 819.



Телевизионное изображение низкой четкости (оно разбито всего лишь на 30 строк).

На этом развитие телевидения не закончилось. Ученые поставили перед собой новую цель — сделать изображение цветным. Первая система высококачественного цветного телевидения, более или менее пригодная для широкого распространения, была создана через девять лет после окончания войны. Однако она все еще очень сложна, особенно один из главнейших ее узлов — цветной кинескоп. Его производство очень трудоемко и дорого. Но можно не сомневаться, что техника преодолет и это препятствие. Ведь первые телевизоры были тоже очень дороги и сложны.

Не менее важна и другая проблема, над которой работают специалисты, — это дальнейшее телевизионное вещание. Было бы очень удобно, если бы, подобно передачам обычного радиовещания, телевизионные программы можно было принимать на далеких расстояниях. Тогда удалось бы отказаться от обычных радиоприемников и заменить их телевизорами.

Техника многого добилась на этом пути. Уже создана европейская телевизионная сеть, по которой разные страны могут обмениваться телевизионными программами. Именно с ее помощью жители многих стран Европы 14 апреля 1961 года могли видеть встречу первого космонавта Юрия Гагарина и демонстрацию на Красной площади. Это была первая телевизионная передача, транслировавшаяся из Москвы по европейской телевизионной сети.

Третья еще не решенная полностью задача заключается в повышении четкости изображения. Здесь телевидение пока сильно отстает от фотографии и глаза. При разложении изображения на 625 строк количество элементов изображения составляет около 500 тысяч. Примерно такую же четкость имеет изображение в микроскопе. Высококачественный отпечаток, полученный с малоформатного негатива, содержит до нескольких миллионов элементов — фотографических зерен. При значительном увеличении эти зерна будут ощущаться глазом при рассматривании отпечатка с небольшого расстояния. На расстоянии наилучшего видения, равном 25 — 30 сантиметрам, глаз может почувствовать эту зернистость даже в случае, если на квадратном сантиметре содержится до 10 тысяч зерен. Высококачественные крупноформатные фотографии содержат до нескольких десятков миллионов зерен. Их четкость такова, что глаз уже не в состоянии заметить зернистость изображения.

К счастью, наличие такой зернистости в изображении начинает вызывать у нас неприятные ощущения лишь тогда, когда зерна становятся чересчур заметными. И выбранный в телевизионном вещании стандарт разложения как раз таков, что телевизионное изображение оказывается вполне приемлемым.

Но, будучи вполне достаточной для вещания, четкость в 625 строк в ряде специальных случаев применения может оказаться и действительно оказывается недопустимо низкой. В настоящее время имеются специальные системы, предназначенные для промышленных и научных целей, которые обеспечивают значительно более высокую четкость: до

1000—1200 строк (до 1350—2000 тысяч элементов). К сожалению, это предел, который пока не в состоянии преодолеть ни конструкторы передающих телевизионных трубок, ни специалисты в области радиотехники.

Проблема передачи телевизионных изображений высокой четкости пока еще не стала проблемой первостепенной важности, но, видимо, в самые ближайшие годы она станет такой. И тогда, конечно, наука сумеет решить ее. Надо думать, что в этом помогут и новые знания о работе глаза, которые удасться получить за это время.

Мы уже говорили о путях развития техники и об основных этапах ее развития. В наше время электроника является одной из самых новейших и всемогущих областей техники. Она в небывалой степени расширила возможности наших чувств, создав самые чувствительные измерители температуры, давления, линейного перемещения, скорости, массы, расстояния, радио, световых, рентгеновских, ядерных излучений и великое множество других искусственных органов чувств. Слух человеческий, его зрение несовершенны, но радиоэлектроника одарила нас такими возможностями, что не представляет труда слышать самые слабые звуки, видеть в кромешной тьме.

Радиоэлектроника покорила время и пространство, позволив людям слышать и видеть на любых земных расстояниях. Она же начала связывать нас с космическими путешественниками.

Мы знаем о телевизионном вещании, о телевидении для научных целей. Хотелось бы добавить несколько слов об одном виде телевидения, который уже начал развиваться, но вскоре станет одним из самых распространенных. Вероятно, очень скоро настанет время, когда выделят специальные телевизионные каналы, по которым будут передавать различные учебные программы.

А это возможно сделать. Например, у студентов самых различных технических вузов программа обучения по многим важнейшим дисциплинам совершенно одинакова. И разве будет плохо, если лекции по этим дисциплинам будут читать по телевидению? Ведь их будут слушать с большой охотой студенты заочных и вечерних институтов, число которых теперь очень велико и все более возрастает. Польза от таких телевизионных лекций будет не только в том, что человеку после напряженного рабочего дня не придется тратить лишние силы и время на дорогу в институт. Как ни важно это обстоятельство, не оно самое главное. Главное же состоит в том, что вести такие телевизионные лекции и курсы смогут самые выдающиеся ученые, самые блестящие лекторы. Им на помощь придут кинофильмы, телевизионные экскурсии, демонстрации самой совершенной, уникальной аппаратуры, которую никогда не встретишь в лабораториях учебных институтов.

Но и это еще не все. На таких лекциях могут присутствовать все, кто хочет: люди, живущие в тех местах, где нет институтов; и те, кому не повезло на конкурсных экзаменах; и те, кто уже перешел предельный



возраст, но стремится учиться,— словом, все смогут постигать премудрости физики, высшей математики и других научных дисциплин.

Вот что может дополнительно дать нам телевидение в самом близком будущем.

В последние годы наряду с телевизионным вещанием бурно развивается научное и промышленное телевидение. О нем вам приходилось слышать значительно реже, и, наверное, далеко не каждый из вас представляет себе, насколько важную роль играет сейчас телевидение в науке и технике.

Когда-нибудь будет написана история телевизионной техники. И те, кто заинтересуется ею, сумеют точно узнать, кто, когда и по какой причине первым применил телевизионную установку не по ее прямому назначению — для вещания, а для научных целей.

Возможно, это было сделано при изучении процессов, связанных с опасными для жизни и здоровья радиоактивными излучениями, а может быть, первой прикладной задачей, которую решило телевидение, была передача хирургической операции для большой аудитории врачей-практикантов.

Так или иначе, первые опыты передачи телевизионных изображений не потребовали создания новых специальных устройств — все необходимое уже имелось в распоряжении техники телевизионного вещания. Эти опыты подтвердили блестящие возможности и перспективы прикладного телевидения, и оно начало применяться все чаще, а вскоре превратилось в совершенно самостоятельную и крайне важную область телевизионной техники.

Но оно не развивалось бы так быстро и не приобрело столь широкого признания, если бы телевизионная аппаратура для научных и технических целей оставалась такой же самой, как и в обычном телевидении,— громоздкой, сложной в эксплуатации и дорогой. Специалисты всех промышленно развитых стран сделали очень много, чтобы упростить и удешевить прикладные телевизионные установки, уменьшить их размеры и вес, упростить в эксплуатации и повысить надежность. Особенно больших успехов они добились в совершенствовании передающих камер. Сейчас в США и ФРГ уже есть камеры, построенные с применением транзисторов и минивидикона, которые весят всего лишь 500 граммов. Это во много десятков раз меньше веса обычной камеры для телевизионного вещания. Конечно, этих успехов удалось добиться не только за счет совершенствования телевизионных электронных схем, большое значение имело изобретение видикона — самой лучшей трубки для прикладных телевизионных установок.

Это, однако, не значит, что в телевизионных камерах специального назначения не применяются другие типы трубок. Там, где они приносят пользу, их обязательно используют и прежде всего в тех случаях, когда требуется высокая чувствительность.

Именно по этой причине телевизионные устройства с суперорбитонами применяются в астрономии, и даже не обычные типы, а специаль-

ные, осособочувствительные суперортиканы применяются в этом случае. Среди них есть такие, которые имеют чувствительность в 100 раз более высокую, чем самые чувствительные фотопластинки. Правда, суперортиканы пока еще значительно уступают им по четкости получаемого изображения.

Каждый фотолобитель знает, что нельзя вести портретную съемку, освещая натуру прямым резким светом. При таком освещении лицо на фотографии получается плоским и невыразительным. Лобовой свет уничтожает мягкие и плавные переходы светотени, создающие ощущение рельефности, выявляющие детали. Но портрет не станет лучше, если при фотографировании дать сильный боковой свет, — получатся слишком резкие тени. Они затмят часть лица и опять-таки не позволят выявить детали. Поэтому фотографы-портретисты чаще всего используют три света: два боковых и рассеянный. Тогда удастся получить хорошо проработанный в деталях портрет.

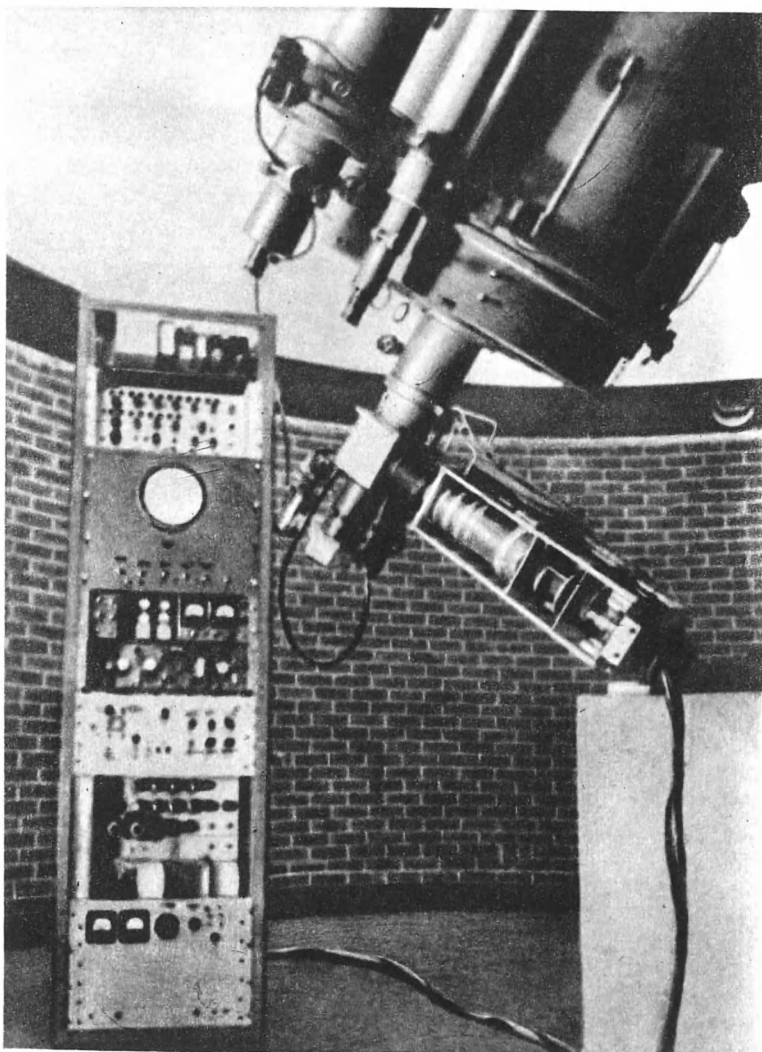
Луну нельзя перенести в фотоателье и осветить по всем правилам искусства. Мы вынуждены наблюдать ее освещенной резким солнечным светом. В полнолуние лучи солнца отвесно падают на ее обращенную к Земле лунную поверхность, а во все остальное время она освещена односторонним боковым светом. И так как на Луне отсутствует атмосфера, тени, ложащиеся на ее поверхность, совершенно черные — они скрывают все затененные детали.

Все же до последнего времени наиболее удачные фотографии удавалось получать в тех случаях, когда солнечные лучи падали на лунную поверхность не отвесно. При этом удавалось запечатлеть довольно много деталей, но возникали некоторые другие помехи. Их можно было избежать в полнолуние, но тогда фотография не передавала всех деталей лунной поверхности, которые глаз мог видеть с помощью телескопа.

Не так давно американские инженеры создали специальную телевизионную установку, в которой применен сверхчувствительный суперортикан. Они назвали ее «кошачий глаз». Само название говорит о том, что она имеет высокую чувствительность. И это действительно так: телевизионный «кошачий глаз» видит значительно лучше настоящего. Но не только в высокой чувствительности заключаются его замечательные свойства.

Наш глаз в состоянии различать до 300 градаций в черно-белой гамме, и в этом он значительно превосходит возможности фотографии. Но нашему глазу далеко до телевизионного «кошачьего глаза». Последний способен реагировать на фантастически малые различия контраста и, что особенно ценно, усиливать, увеличивать их. Так, «кошачий глаз» позволил астрономам наблюдать в дневное время звезды и планеты. Изображение этих звезд и планет на экране кинескопа было ярким и контрастным.

«Кошачий глаз» помог астрономам получить очень хорошую фотографию лунной поверхности, сделанную при отвесном падении солнечных лучей, то есть в полнолуние. Он настолько увеличил контрасты, что



Телевизионная приставка к телескопу. На переднем плане — камера с передающей трубкой; на заднем — приемная часть, на экране которой наблюдается изображение.

смогли запечатлеть едва заметные переходы светотени и различия в окраске. Фотография Луны, полученная таким способом, составлена из 200 отдельных снимков. Диаметр Луны на этой фотографии равен метру.

«Кошачий глаз» оказался очень полезным устройством. Но по своему принципу он не отличается в главном от обычных телевизионных систем. Иначе говоря, он представляет собой весьма совершенный искусственный орган зрения.

Современная техника во многих случаях стремится объединять искусственные органы чувств с искусственными думающими устройствами и исполнительными механизмами. При таком объединении рождается устройство нового типа — автомат.

Инженеры создали один из видов телевизионных автоматов для астрономии. Как и обычная телевизионная установка, он позволяет получать телевизионные изображения и в этой части ничем не отличается от обычных телевизионных систем. В сочетании с телескопом он дает возможность вести телевизионное наблюдение светил, подобно тому как это делалось с помощью «кошачьего глаза». Но автомат умеет делать и нечто другое. Тот, о котором идет речь, может самостоятельно и непрерывно производить наводку на резкость.

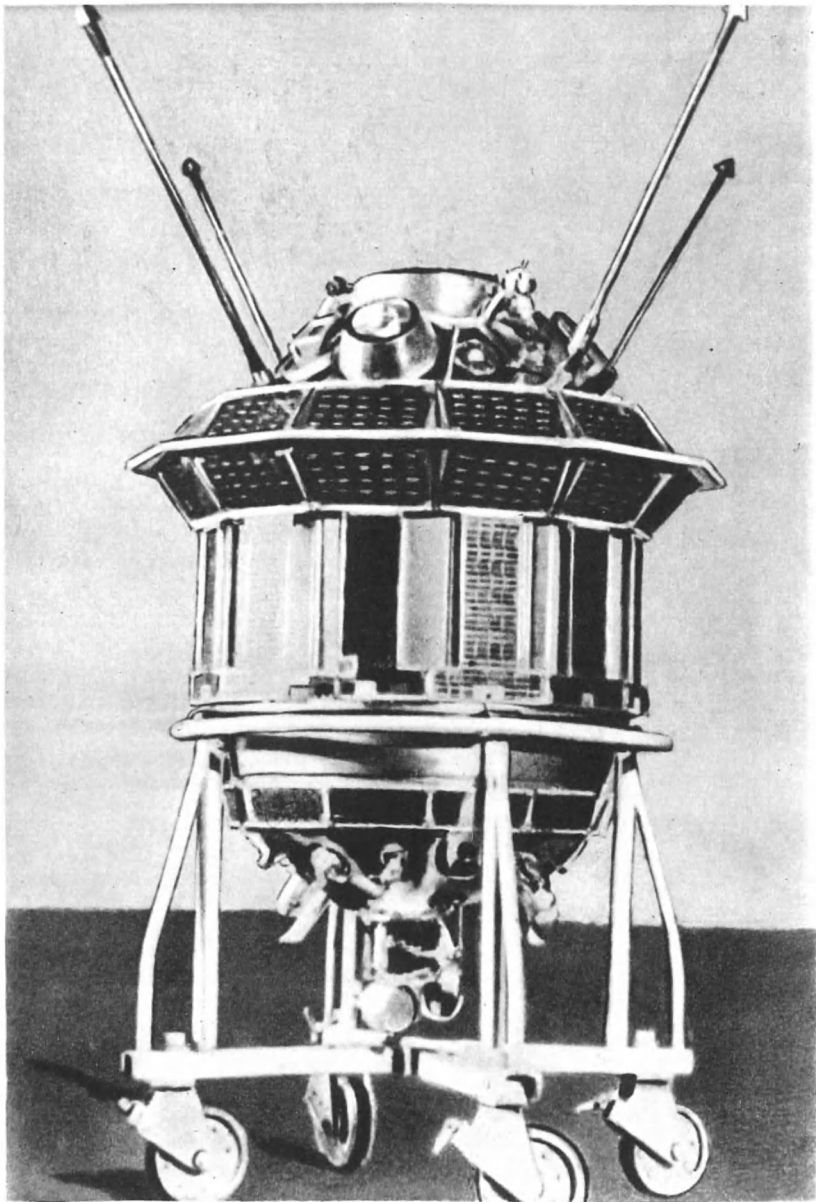
Некоторые читатели могут спросить, зачем это нужно астрономии — ведь расстояние до небесных объектов очень велико и практически не изменяется. Но вспомните о мешающем действии изменений плотности атмосферы. Оно проявляется в непрерывной и произвольной расфокусировке изображения. Уследить за такой расфокусировкой и скорректировать ее человек не в состоянии. Автомат же отлично справляется с такой задачей и в некоторых случаях позволяет уменьшить вредное влияние изменений плотности атмосферы.

## **ТЕЛЕПЕРЕДАЧА ИЗ КОСМОСА**

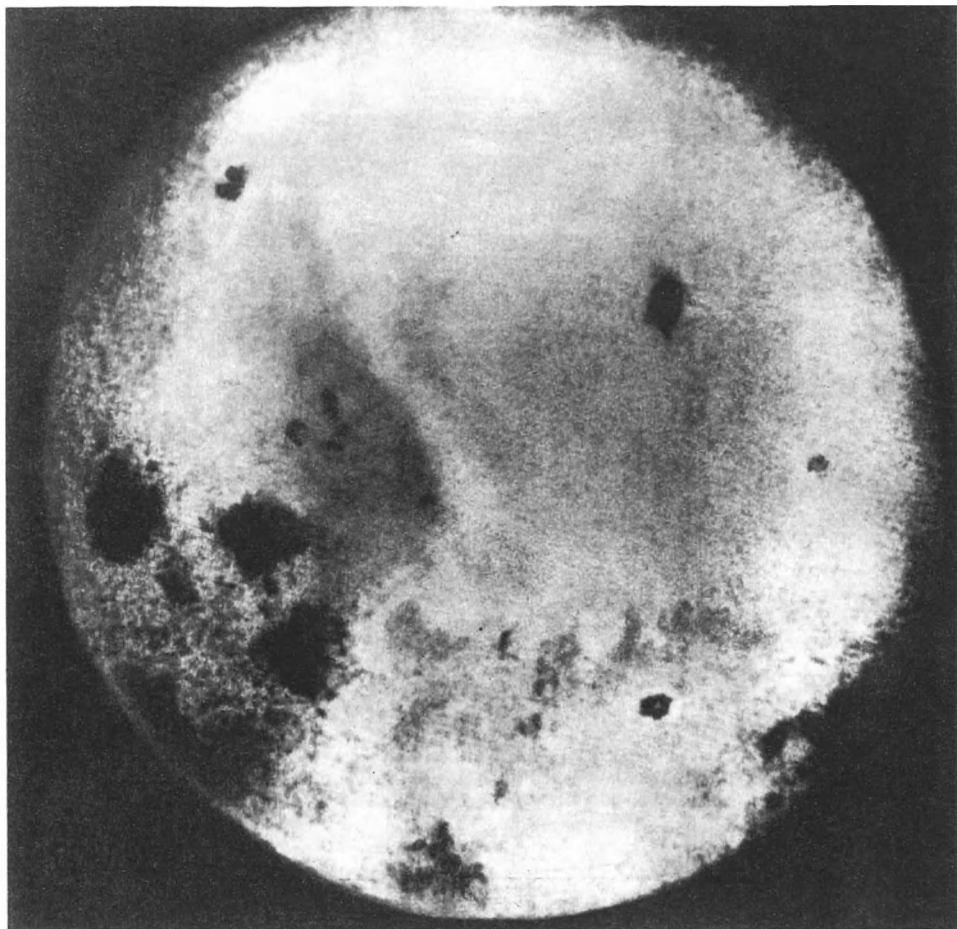
Кто первым посетит Луну и планеты: человек или автомат?

Совершенно точно ответить на этот вопрос пока еще нельзя, но думается, что первым окажется все же автомат. В правильности такого предположения убеждает нас все то, что уже совершенно космической наукой. Первые спутники имели на борту только автоматы (Лайка не была активным участником полета). Первый облет Луны совершила автоматическая станция. Первой ушла к Венере автоматическая межпланетная станция. И только лишь после этого в космос проникли люди, облетевшие Землю на кораблях-спутниках.

Скорее всего на Луну или на планеты высадится первым не человек, а автомат. Это будет очень сложное кибернетическое устройство, состоящее из многих автоматов различного назначения. И среди них важнейшим будет автоматическое телевизионное устройство, имеющее не одну, а



Советская автоматическая межпланетная станция, с помощью которой было осуществлено обследование невидимой с Земли поверхности Луны

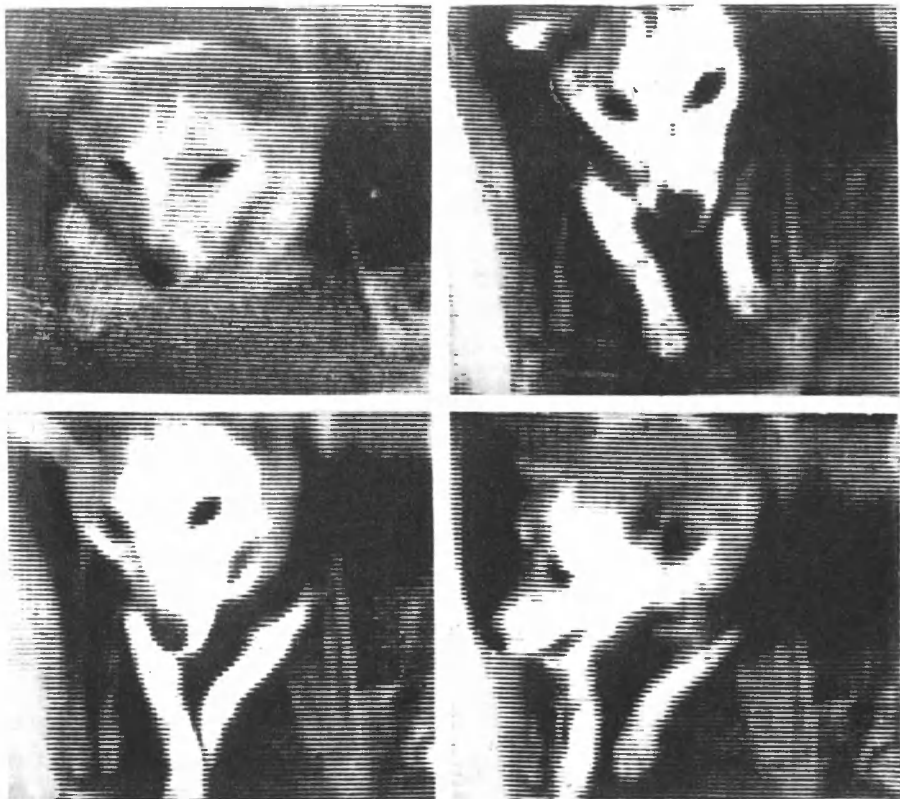


Изображение невидимой с Земли лунной поверхности, переданное на Землю автоматической межпланетной станцией.

даже несколько телевизионных камер и телевизионный передатчик для передачи изображений на Землю.

Как известно, на борту первых искусственных спутников Земли (как советских, так и американских) не было телевизионных устройств. Между тем передача изображения с борта спутников имеет важное значение.

Отсутствие таких устройств на самых первых спутниках можно объяснить тем, что вначале следовало разрешить задачи, связанные с запуском спутников и с исследованиями околоземного пространства. Но последующие запуски спутников, не оборудованных телевидением, вряд



Телевизионное изображение собак, переданное с борта советского корабля-спутника.

ли объяснимы тем же. Возможно, что техника телевидения «оказалась неподготовленной» к столь бурному развитию космических исследований. Возможно, что эксперименты с использованием телевидения просто не попали в список первоочередных задач космических исследований.

Первыми создали установку космического телевидения советские специалисты. С ее помощью были переданы изображения невидимой с Земли лунной поверхности.

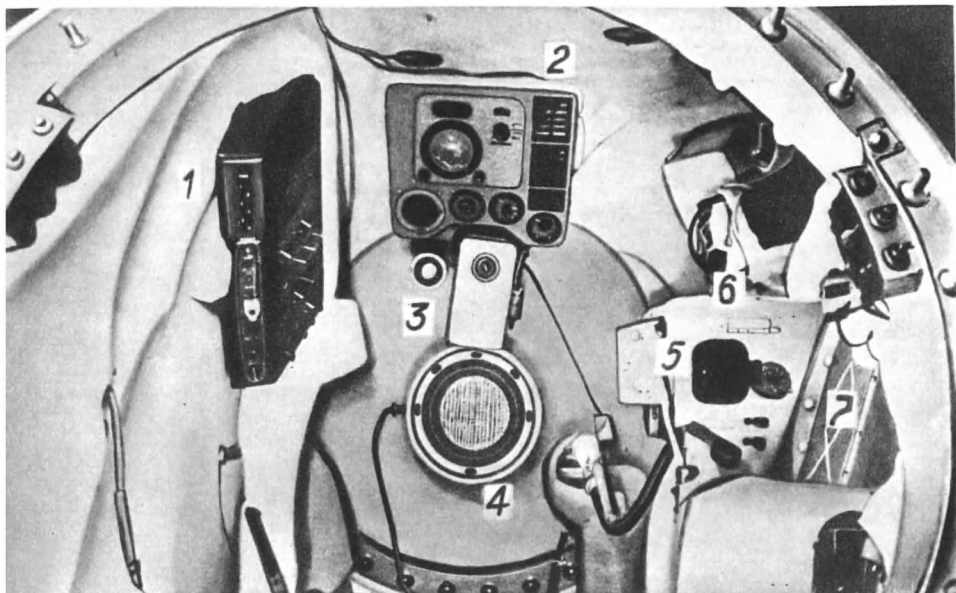
В этой установке отсутствовала передающая телевизионная трубка. Луна фотографировалась с борта автоматической станции, затем пленка проявлялась, и фотографическое изображение преобразовывалось в электрические сигналы по методу бегущего луча. Этот луч представлял собой яркую точку, перемещавшуюся по экрану миниатюрного кинескопа

в соответствии с известным нам законом преобразования. Яркость точки оставалась неизменной. Свет от нее проходил через соответствующие точки фотографического изображения и поступал на фотокатод миниатюрного фотоумножителя. Количество света, приходящего на фотоумножитель, менялось пропорционально степени прозрачности точек фотографического изображения. На последнем электроде фотоумножителя при этом получались достаточно интенсивные сигналы. Они и передавались по радио на Землю.

Качество изображений, полученных таким образом, было очень хорошим. Вы можете убедиться в этом, посмотрев на одну из фотографий, переданных с автоматической станции. Она помещена здесь.

На основании таких фотографий советские ученые сумели составить первый в истории астрономии атлас невидимой с Земли лунной поверхности.

Огромную помощь науке оказало телевидение и при полетах кораблей-спутников с первыми космическими пассажирами — собаками. Ученые смогли судить о поведении и самочувствии животных не только по показаниям приборов, но и видеть собственными глазами то, что происходило с ними во время полета.



Внутренний вид кабины корабля-спутника «Восток»: 1 — пульт пилота; 2 — приборная доска с глобусом; 3 — телевизионная камера; 4 — иллюминатор с оптическим прибором; 5 — ручка управления; 6 — радиоприемник; 7 — контейнеры с пищей.



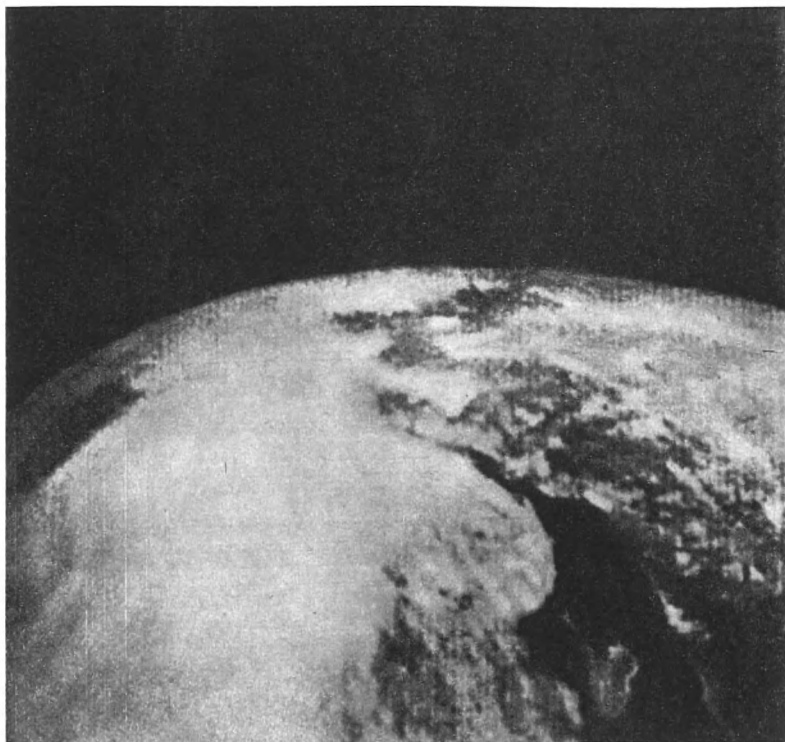
На корабле-спутнике «Восток» были установлены даже две телевизионные камеры. Одна передавала изображение первого космонавта в анфас, а другая — в профиль. И поистине Родина не только «слышала и знала», но и видела то, что происходило с Ю. Гагариным, Г. Титовым, А. Николаевым и П. Поповичем в этих исторических полетах.

Специалисты в США создали телевизионные установки для спутников позже советских. И, надо сказать, первые изображения, полученные ими со спутника, имели очень низкое качество. Только опытный глаз мог отличить на них облачный покров от земной поверхности. В последующие год-два им удалось усовершенствовать телевизионные установки для спутников, и недавно они получили очень неплохие изображения облачного покрова и земной поверхности.



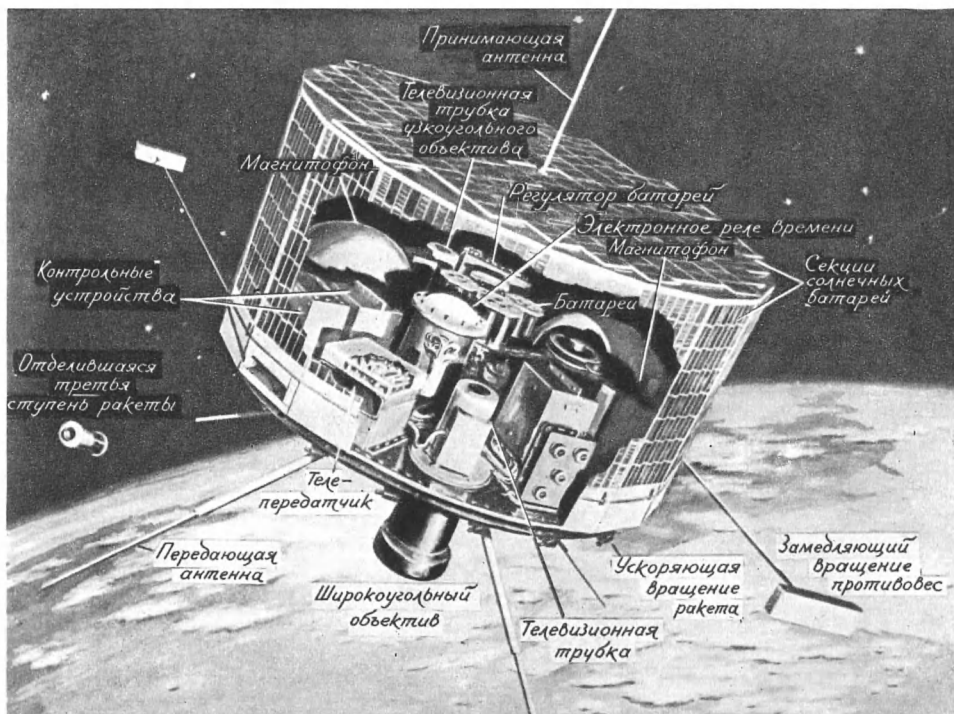
Телевизионное изображение земной поверхности, переданное со спутника США «Тирос». Видны Нил, Суэцкий и Акабский заливы, Красное море и облачность над Землей.

Передача изображений такого рода имеет очень большое значение для метеорологии. С помощью спутников оказывается возможным получить наиболее подробные сведения о состоянии облачности над огромными территориями. При этом сбор таких сведений осуществляется за очень малое время, что особенно важно для точного предсказания погоды.



Это изображение также передано со спутника «Тирос». На нем можно различить устье реки Святого Лаврентия в Канаде и побережье полуострова Лабрадор.

Здесь помещена фотография телевизионного изображения, полученного со спутника «Тирос». На ней отчетливо видны Красное море, Суэцкий и Акабский заливы и узкая темная лента Нила. Изображение было получено с высоты 700 километров при помощи телевизионной камеры с широкоугольным объективом. На фотографии запечатлен участок земной поверхности площадью примерно в  $1300 \times 1300$  квадратных километров. На другой фотографии видно устье реки Святого Лаврентия в Канаде и южное побережье полуострова Лабрадор. Последняя фотография интересна тем, что на ней отчетливо видна кривизна земной поверхности.



Устройство спутника «Тирос».

Надо сказать, что пока еще космическое телевидение не может обеспечить передачу изображений весьма высокой четкости. Это оказывается чрезвычайно сложной проблемой, так как ни современные передающие трубки, ни техника передачи телевизионных сигналов, ни возможные запасы электроэнергии на борту спутников не позволяют значительно поднять четкость. Так, изображение, передававшееся со спутника «Тирос», имело четкость 500 строк, то есть было таким же, как и в американском телевизионном вещании. Но то, что вполне приемлемо для вещания, оказывается совершенно недостаточным, когда требуется передать мелкие детали, видимые на земной поверхности или на поверхности какой-либо другой планеты. Так, разрешающая способность телевизионной камеры «Тироса» с широкоугольным объективом составляла всего 2,5—5 километров при высоте полета 700 километров<sup>1</sup>. Поэтому на спутнике

<sup>1</sup> Сравните эти цифры с разрешающей способностью 500-сантиметрового рефлектора, равной 50 метрам на расстоянии 384 тысяч километров.

была установлена вторая камера, снабженная узкоугольным объективом. Она могла передавать более подробные изображения, но площадь обзора при этом значительно сокращалась.

Космическое телевидение делает лишь самые первые шаги. Нельзя сказать, что они неудачны, но если сравнить уже полученные результаты с тем, что оно должно дать в самое ближайшее время, то их можно считать весьма скромными. Полеты автоматических межпланетных станций уже стали реальностью, а специалистам в области телевидения, вероятно, еще много придется потрудиться, чтобы создать эффективную систему передачи подробных изображений с Марса или с Венеры. И от того, как справятся с подобными труднейшими задачами специалисты, будут зависеть не только судьбы телевидения, но и вообще от многих видов космических исследований.

## НОВОЕ В СТАРОМ

Разрешающая способность и полезное увеличение микроскопов зависят от длины волны света, в лучах которого исследуется объект. Чем короче длина волны, тем больше разрешающая способность, тем выше можно поднять увеличение. Поэтому часто применяются микроскопы, работающие в ультрафиолетовых лучах. В них изображение либо фотографируется, либо непосредственно преобразуется в видимое изображение с помощью электронно-оптических преобразователей.

Телевизионная техника во многом может помочь микроскопии. Говоря о микроскопии, мы до сих пор мало интересовались оптическими свойствами наблюдаемых объектов, а от них часто зависит успех микробиологических исследований. Дело в том, что многие объекты биологического происхождения почти совершенно прозрачны и поэтому недоступны для обычных методов наблюдения. Для того чтобы исследовать этих невидимок, их окрашивают с помощью некоторых химических соединений. Такое окрашивание позволяет обнаружить и рассмотреть их, но беда в том, что живые микроорганизмы при окрашивании погибают, а ученых зачастую интересуют именно живые, а не умерщвленные объекты.

Как же быть в таком случае?

Большую помощь микроскопистам оказали недавно разработанные телевизионные методы наблюдения.

Телевизионные микроскопы бывают двух видов. В одних изображение получается по методу развертки бегущим лучом. В других используется передающая телевизионная трубка — чаще всего видикон.

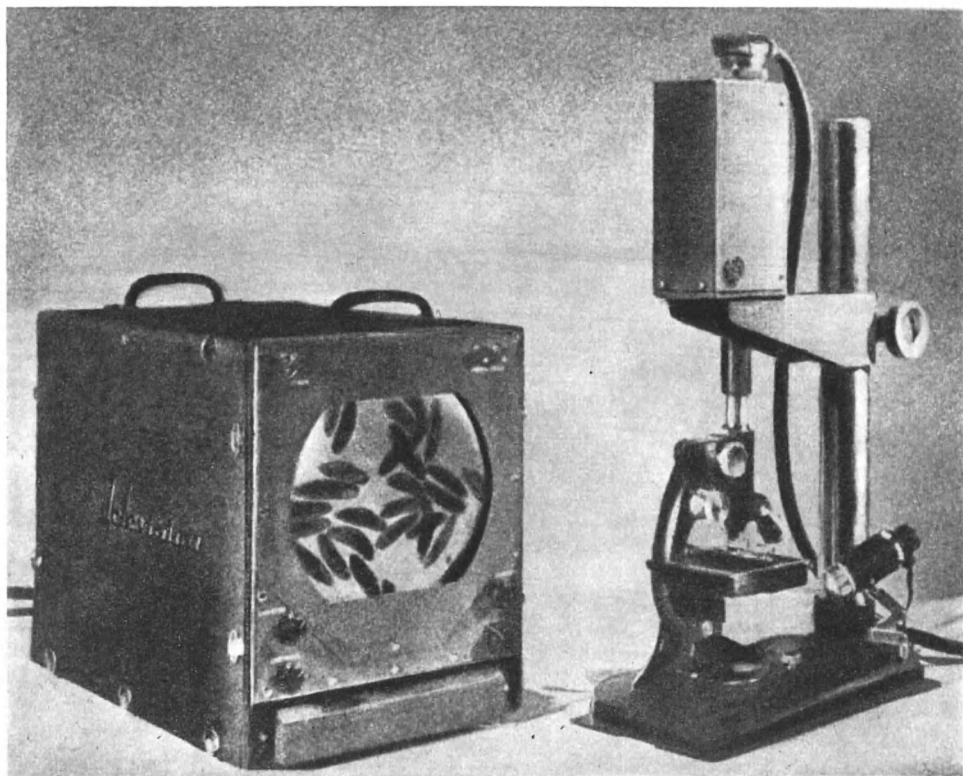
Вспомним о «кошачьем глазе» и о его замечательной способности значительно усиливать контрасты. Такое усиление очень полезно и в микроскопии при изучении малоконтрастных объектов — тех невидимок, о которых уже говорилось. Преимущество телевизионных микроскопов, повышающих контраст, состоит в том, что при их применении не требует-

ся окрашивать биологические объекты, и, следовательно, их можно изучать живыми.

Прекрасные результаты дает телевизионная микроскопия в ультрафиолетовых лучах. Полезное увеличение в этом случае может достигать 2000 и даже 3000 раз. В свое время уже говорилось о цветной ультрафиолетовой микроскопии. Она часто приносит большую пользу, но весьма трудоемка — требуется делать три отдельных цветоделенных негатива, и, кроме того, невозможно вести непосредственное наблюдение.

Телевизионная техника устранила эти недостатки и позволила вести непосредственное наблюдение цветных ультрафиолетовых изображений на экране цветного телевизора. Первый микроскоп такого рода был разработан группой специалистов, которой руководил уже известный вам Лэнд.

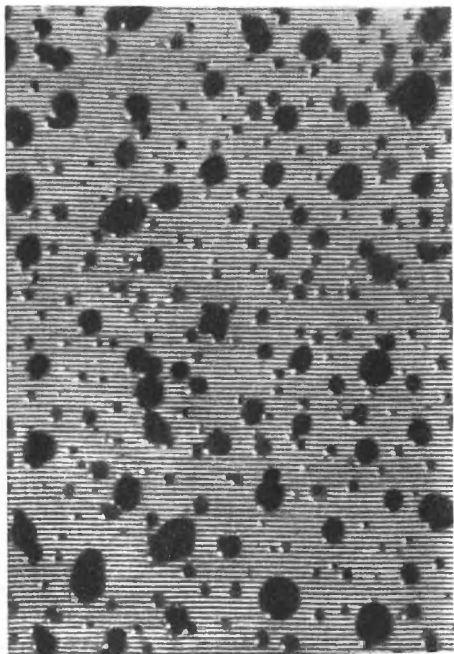
То, о чем сейчас было рассказано, хотя и является технической новинкой, все же не выходит за рамки обычных методов микроскопических



Телевизионный микроскоп. Справа — микроскоп с телевизионной камерой; слева — видеоконтрольное устройство, на экране которого видны бактерии.

исследований. И ультрафиолетовая микроскопия, и изучение объектов невидимок—все это, правда, с гораздо меньшими удобствами, можно было делать и без помощи телевидения. Телевидение открывает новые возможности даже и в такой старинной области, как микроскопия. Это происходит потому, что телевидение позволяет преобразовывать изображение в электрические сигналы. А они как раз и являются тем единственным «языком», который понимают и на основании которого могут действовать думающие электронные устройства.

Первый опыт объединения микроскопа, телевидения и простейшего думающего устройства—электронного счетчика—дал очень хорошие результаты. Такой комплексный прибор может точно и быстро без всякой помощи человека подсчитывать число частиц или телец, оказавшихся в поле зрения микроскопа. С его помощью можно очень быстро определять, например, количество красных кровяных телец. Когда будут созданы телевизионные автоматы, обладающие форменным зрением, они несомненно получат широкое распространение и в микроскопии<sup>1</sup>.



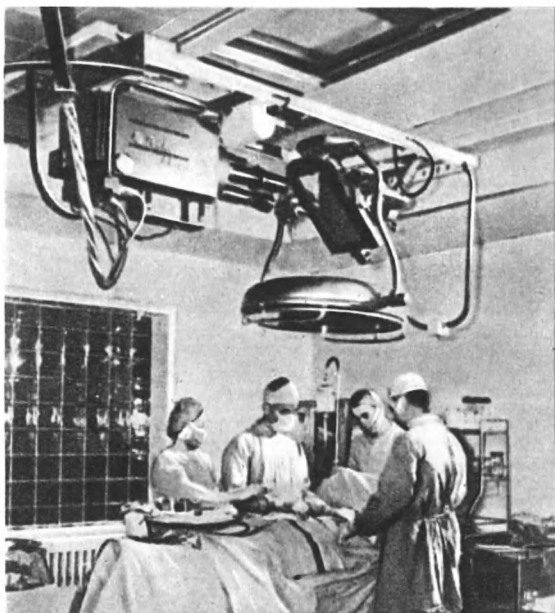
На этом снимке хорошо видны строки телевизионного раstra и темные тельца с белыми точечками. Эти точки—метки, указывающие, что автомат сосчитал данное тельце. Таким способом можно считать различные микроскопические частицы, в том числе и красные кровяные тельца.

Медицина, эта старейшая область человеческих знаний и человеческой практики, была одной из первых, использовавших телевидение.

Телевизионный показ хирургических операций позволяет вести одновременное обучение большой группы врачей-практикантов. Не мешая хирургу своим присутствием, они в то же время могут видеть все стадии операции даже лучше, чем если бы находились поблизости от операционного стола.

Что же касается телевизионной камеры, то она устанавливается в таком месте, откуда хорошо вести наблюдение, но в то же время она не мешает работе врачей. В последнее время телевизионные каме-

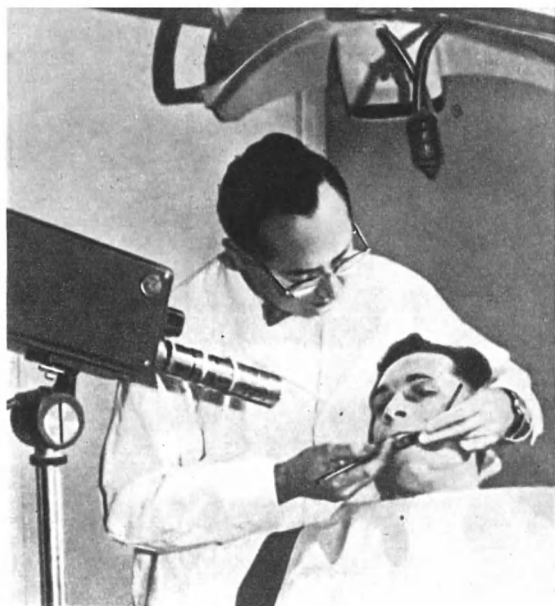
<sup>1</sup> Первые такие автоматы, правда, пока еще примитивные, уже созданы. Сообщения о них появились в зарубежной печати после того, как книга была закончена. Эти автоматы учатся читать и уже умеют читать печатный текст.



ры все чаще и чаще монтируют прямо в светильнике, висящем над операционным столом. Находясь там, камера никому не мешает и при этом занимает наилучшую позицию.

Первые телевизионные передачи такого рода велись с помощью обычных черно-белых установок. Но теперь уже стали широко применять цветные, что позволяет значительно полнее представлять себе состояние оперируемых органов и течение операции.

Но не только хирургам оказывает помощь телевидение. Не менее полезно оно и при уходе за больными. Телевизионная камера оказалась замечательной сиделкой. В некоторых больницах камеры устанавливают в палатах, и с их помощью один человек может одновременно наблюдать за несколькими больными, размещенными в разных палатах, не беспокоя их.



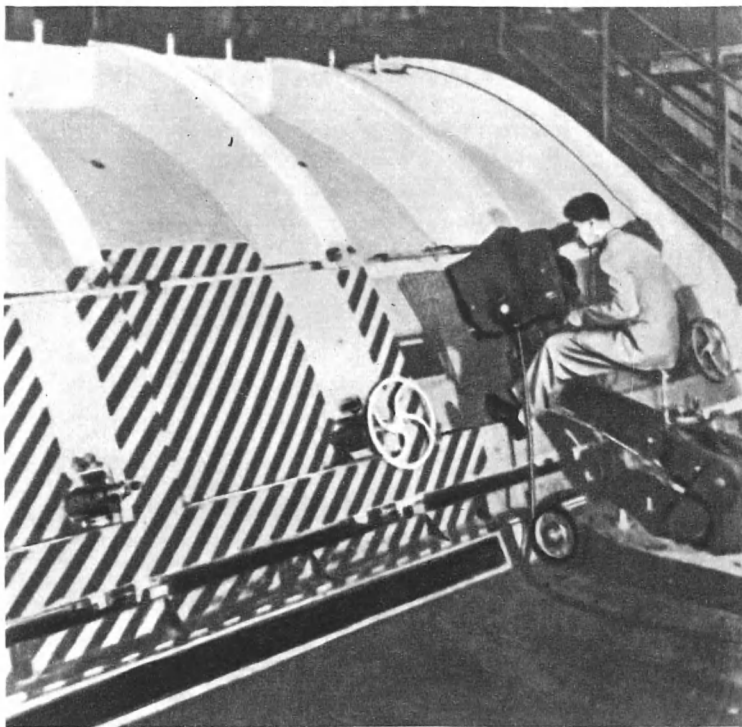
## **ТЕЛЕГЛАЗ В ВОЗДУХЕ**

Большую помощь оказывает телевидение при испытаниях и отработке новых типов самолетов и ракет.

Вы знаете, какой сильный шум создают работа-

Телевизионная передача хирургической операции.

ющие самолетные или ракетные двигатели. Мощность шума так велика, что без специальных защитных средств люди не в состоянии выдерживать его. Им грозит не только глухота, но и поражение других жизненно важных органов. Даже многие механические и особенно электронные устройства выходят из строя, если не принять мер к их защите. Но не



Телевизионная камера у аэродинамической трубы.

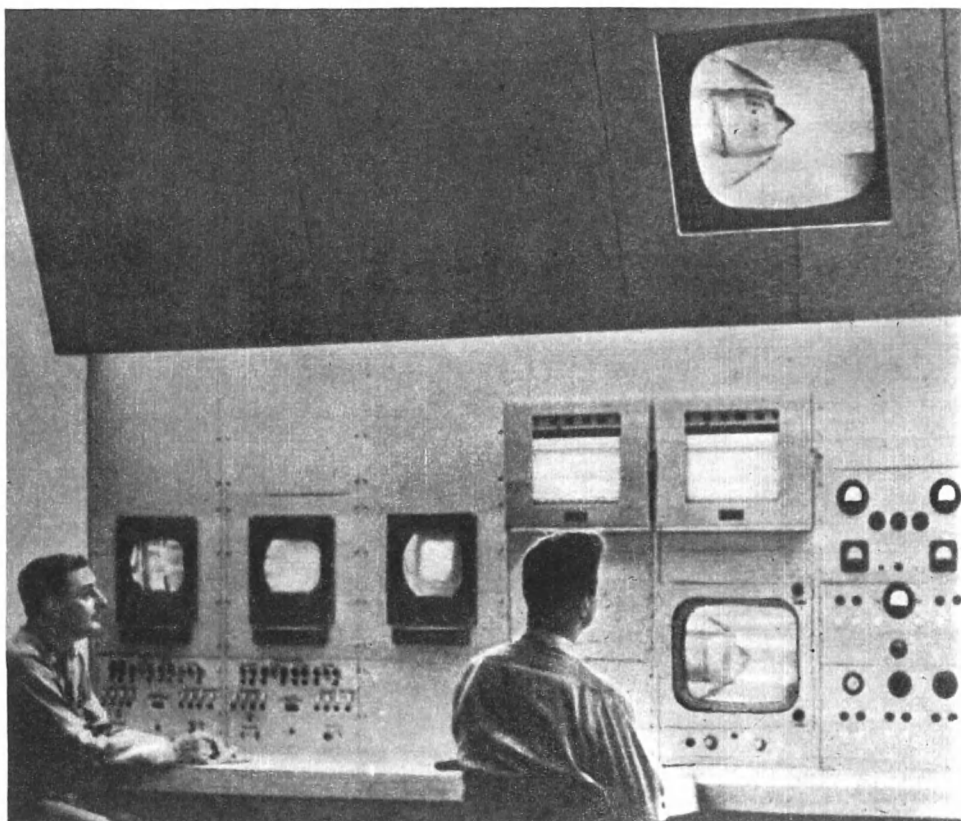
только шум страшен при испытаниях таких двигателей. Есть и другие причины, по которым необходимо проводить управление и наблюдения за испытаниями с достаточно большого расстояния. Поэтому теперь на испытательных стендах можно встретить телевизионные установки, причем нередко используются и цветные. Очень удобно цветное телевидение для наблюдения и изучения изменений в окраске пламени и выхлопных газов, выделяемых во время старта мощной ракеты. Как сообщают в одном американском журнале, телевизионную камеру, помещенную в специальный звуконепроницаемый кожух, устанавливают недалеко от стартовой площадки, а сигналы от нее по кабелю передаются на пульт



управления, размещенный в специальном бетонном здании. Здесь устанавливают цветной телевизионный приемник, на экране которого можно и в дневных, и в ночных условиях наблюдать изображение без искажения цвета.

Широко используется телевидение при испытательных полетах самолетов. Здесь оно очень помогает и летчику-испытателю, и наземным наблюдателям. Часто на самолете устанавливается не одна, а несколько камер. Их размещают в таких местах, которые недоступны для непосредственного наблюдения ни самому пилоту, ни наземным наблюдателям. Изображения передаются в кабину летчика, а при необходимости — и на Землю.

Так, в Англии телевизионные камеры, дававшие хороший обзор плоскостей самолета, позволили значительно облегчить и ускорить



Пульт управления аэродинамической трубой.

испытания новой антиобледенительной системы. Часто телевизионную камеру устанавливают для передачи изображения шасси в кабину пилота. Это очень удобный метод контроля за работой важных узлов самолета.

В наше время в воздухе одновременно находится столько самолетов, а их скорости так велики, что, несмотря на кажущуюся беспредельность «пятого океана», случаются столкновения самолетов. Их всячески стараются предотвратить, оборудуя самолеты радиолокаторами, световыми средствами сигнализации, аппаратурой, улавливающей инфракрасное излучение нагретых частей самолетов, сложным комплексом навигационной и связанной аппаратуры. В последнее время пытаются использовать для этих же целей и телевидение. Оно тоже поможет уменьшить вероятность столкновений.

Еще в конце 40-х и начале 50-х годов практическое обучение пилотированию осуществлялось только в полете. Курсант вместе с инструктором поднимались на «спарке» — самолете со спаренным управлением, и уже в воздухе курсант на практике закреплял полученные теоретические знания. Такие полеты и сейчас имеют важное значение, но теперь им предшествует серьезная наземная тренировка в условиях, максимально приближенных к реальным. Она проводится на специальных, очень сложных устройствах — тренажерах, которые могут имитировать самые разнообразные условия полета.

При обучении на тренажере летчик находится в кабине, представляющей собой абсолютно точную копию кабины самолета, в котором ему предстоит летать. Все, начиная от ручки или штурвала управления и кончая последним тумблером<sup>1</sup>, размещено так же, как на самолете, и выполняет те же функции, что и на самолете. За действиями обучаемого следит инструктор, находящийся за пультом управления — тренажером. Он связан с летчиком по радио и, кроме того, наблюдает за ним по телевизору. Инструктор может с помощью специальных устройств имитировать самые различные условия полета, вплоть до аварийных. А летчик должен выработать в себе способность быстро и правильно действовать. Пройдя такую предварительную тренировку, летчик гораздо быстрее и легче овладеет управлением настоящим самолетом.

Взлет и посадка считаются особо ответственными моментами пилотирования. Поэтому за рубежом были созданы специальные взлетно-посадочные тренажеры. Большая роль в них отведена телевидению.

В кабине взлетно-посадочного тренажера перед летчиком находится телевизионный экран. На нем летчик видит изображение взлетно-посадочной полосы, зданий аэродрома и прилегающих районов, различных аэродромных служб, самолетов, стоящих на летном поле, и специальных ориентиров. Это изображение имеет точно такой же масштаб, как если бы пилот смотрел на аэродром из кабины взлетающего или идущего на посадку самолета.

«Поднимается» машина, и уменьшаются все видимые объекты, Ско-

---

<sup>1</sup> Тумблер — малогабаритный выключатель.

рость увеличивается, и на экране кинескопа все быстрее и быстрее уходят из поля зрения ангары, дома, сигнальные огни. Машина разворачивается — и изображение дает крен и перемещается так, как будто самолет делает вираж.

Каким же образом удастся проимитировать все это?

В принципе это делается просто. Изготавливается точный макет аэродрома и прилегающих районов, а над ним устанавливается подвижная телевизионная камера. Она-то и передает изображение на экран кинескопа, установленного в кабине тренажера. Когда летчик ведет управление, камера перемещается над макетом точно так же, как перемещался бы самолет, повинаясь действиям (правильным и неправильным) пилота.

В этом и состоит идея. Она, как видите, действительно проста и очень остроумна. Но ее практическое осуществление весьма сложно. И основная сложность заключается в создании механизма перемещения камеры. Для того чтобы в точности воспроизводить все эволюции самолета, этот механизм должен быть весьма совершенным и содержать различные кибернетические устройства.

Можно многое рассказывать о применении телевидения в авиации. Но сейчас стоит ограничиться лишь еще одним важным примером.

Телевидение можно применять вместо аэрофотографии. Оно выполнит те же задачи, что и аэрофотография, но, помимо того, сможет немедленно передать изображение на базу. Это последнее свойство особенно важно при проведении аэроразведки в военных условиях, когда дорога каждая минута. Но аэротелевидение значительно уступает аэрофотосъемке в очень важном показателе — в четкости. Пока еще количество дешифруемых деталей на аэрофотоснимках во много-много раз больше, чем на снимках, полученных с помощью аэротелевидения. Таким образом, повышение четкости телевизионного изображения в данном случае является одной из самых важных задач.

## **ПОМОЩНИКИ ДИСПЕТЧЕРА**

Диспетчер на транспорте, диспетчер на крупном предприятии... Пожалуй, трудно назвать более важную, более ответственную, более напряженную и нервную работу. Диспетчер — это главнокомандующий, которому беспрекословно подчиняются водители и составители поездов, работники морских, речных и аэропортов, шахтный и внутривзаводской транспорт. Дежурный по электроэнергетической системе тоже диспетчер. Одному его слову, одному движению повинуются миллионы киловатт электрической мощности.

Ошибка диспетчера нередко приводит к тяжелым последствиям. Она может причинить огромные убытки, а иногда стоить и человеческих жизней. Но работать четко и безупречно диспетчер может только тогда, ког-

да ему досконально известно все, что происходит на всех участках его большого и сложного хозяйства. Он, как генерал, лишенный разведки и связи, становится беспомощным, если обрывается непрерывный поток сведений и донесений, если прекращается связь и сигнализация.

Поэтому все, что может оказаться полезным, все необходимые средства связи и сигнализации предоставляются в его распоряжение. В диспетчерской вы увидите и привычные вам телефоны, и селектор, и диспетчерский щит — большую панель, на которой изображена схема участка и то и дело вспыхивают и гаснут разноцветные огни, отмечающие происходящие изменения.

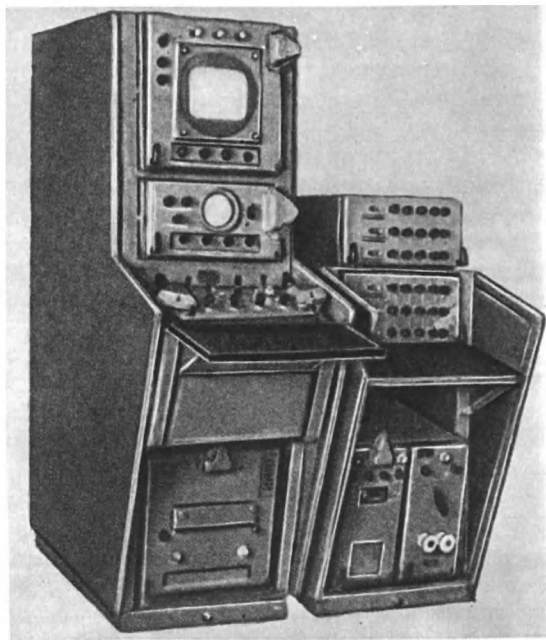
Но все-таки сегодня этих средств не всегда хватает. И все чаще и чаще перед диспетчером устанавливается телевизор, соединенный с телевизионными камерами, размещенными в самых ответственных пунктах.

Впервые диспетчерское телевидение было широко применено в металлургии на Магнитогорском металлургическом комбинате.

Это — огромное предприятие. В его состав входят не только доменные, мартеновские и прокатные цехи, но и рудники и рудообогатительные фабрики. Они расположены на очень большой площади и связаны между



Диспетчер у экрана диспетчерской телевизионной установки.



Пульта управления диспетчерской телевизионной установкой. Обычно в такой установке имеется много камер, размещенных в различных местах. Диспетчер может по желанию просматривать изображение, передаваемое любой из камер. Кроме того, диспетчер может управлять на расстоянии направлением обзора каждой из камер.

собой железнодорожными линиями, по которым непрерывно движутся составы с рудой, составы с пустой породой, которую отвозят в отвалы, составы со шлаком.

За движением составов, за их своевременной подачей следят диспетчеры. Они должны знать все, что происходит на железной дороге, и для этого диспетчерские пункты были оборудованы самыми разнообразными средствами сигнализации и связи. И все-таки бывали ошибки, зачастую составы простаивали или их неполностью загружали.

В 1958 году на комбинате приступили к внедрению диспетчерского телевидения. С его помощью диспетчеры смогли воочию наблюдать за движением груженых и порожних составов, за разгрузкой их в бункеры дробилок рудообогатительных фабрик. Они могли видеть происходящее на руднике, следить за работой экскаваторов, за погрузкой вагонов и за движением составов.

Большую помощь приносит телевидение и на железных дорогах. В СССР создана специальная железнодорожная телевизионная установка «ЖТУ-3». Она предназначена для обзора путей и парков крупных железнодорожных станций и помогает диспетчеру руководить всей сортировочной работой станции. По желанию диспетчера, телевизионная камера может поворачиваться в необходимых направлениях. Кроме того, она оборудована сменной оптикой, также управляемой по желанию диспетчера. Все это позволяет очень хорошо видеть происходящее на путях и благодаря этому увеличить скорость переработки составов.

При формировке составов необходимо знать номера вагонов. В настоящее время диспетчер не имеет возможности получать сведения о них непосредственно при входе подвижного состава на территорию сортировочного парка. Очень полезно было бы применить специальную телевизионную установку, расположенную в горловине парка, с помощью которой номера вагонов можно было бы списывать непосредственно на диспетчерском пункте. К сожалению, такая задача еще не решена, так как человек, глядя на экран телевизора, не успевает записывать номера, если скорость движения поезда превышает 5—10 километров в час. Снижать ее до такой величины невыгодно, так как при этом понижается пропускная способность парка.

Сама по себе эта идея, как мы видим, очень хороша. Но ее удастся претворить в жизнь только после того, как появятся телевизионные автоматы, обладающие форменным зрением. Они-то сумеют читать и записывать цифры и при больших скоростях движения составов.

Как и в случае применения телевидения для обзора больших открытых пространств на Магнитогорском комбинате, телевидение на железных дорогах работает без ограничения в светлое время суток, а ночью — только при наличии специальных осветительных установок. Сильный дождь, снегопад и туман тоже нарушают работу телевидения. Именно эти недостатки и являются главным тормозом в деле массового распространения телевидения на железнодорожном, речном, морском и авиационном транспорте.

И все-таки многие морские и речные порты Советского Союза уже оборудованы телевизионными установками. Они помогают следить за работой кранов, за подъездными путями и акваторией порта даже при плохой погоде.

## ТЕЛЕВИДЕНИЕ И РАБОЧИЙ

Помимо диспетчерского, широко используется телевидение технологическое. От первого оно отличается лишь тем, что непосредственно участвует в технологическом процессе, облегчая труд рабочего.

Вот некоторые примеры.

На строительстве Братской ГЭС был установлен уникальный двухконсольный бетоноукладочный кран. Высота подъема груза таким краном достигает 140 метров. Оператор, управляющий краном, на таком расстоянии не может хорошо видеть место подачи груза даже в хорошую погоду, а тем более при плохой видимости. В этом случае естественным и единственно возможным решением является применение телевидения. И оно действительно позволило успешно управлять краном.

Часто погрузка руды, угля, породы в вагоны производится экскаваторами. Точно подвести ковш большого экскаватора оказывается не таким простым делом даже для опытного рабочего. И поэтому содержимое ковша не всегда полностью попадает в вагон. Бывает, что оно частично просыпается мимо вагона, заваливая пути. А в некоторых случаях при неточной подводке ковша случается, что он ударяется о борта вагонов и ломает их. Для того чтобы избежать этого, экскаваторщику приходится работать крайне осторожно и снижать темп.

Телевидение сумело облегчить труд экскаваторщика и помогло ему повысить производительность. Вот, например, каким образом можно осуществить контроль за работой экскаватора. Камера устанавливается на ферме экскаватора, а приемник — в кабине. Это позволяет более точно подводить ковш к думпкару<sup>1</sup>. При установке двух передающих камер, из которых одна позволяет видеть расположение ковша относительно середины думпкара, а другая — взаимное расположение ковша и бортов, полностью устраняется опасность поломки бортов и возможность завала путей породой.

Очень удобно телевидение и при разливке расплавленного металла. Получение качественного однородного слитка стали зависит от условий заливки расплавленного металла в изложницу — необходимо, чтобы уровень залитого металла не превышал допустимого, а его поверхность была чистой.

До введения телевизионного контроля за разливкой наблюдал чело-

---

<sup>1</sup> Д у м п к а р — специальный грузовой железнодорожный вагон без крыши, предназначенный для перевозки земли, руды, угля. При разгрузке автоматически опрокидывается набок.

век, находившийся у самой изложницы. Он подавал знаки оператору, управлявшему разливкой. Этот оператор находился на довольно большом расстоянии от изложницы и поэтому не мог видеть, как происходит разливка. Нетрудно понять, сколь тяжелым и опасным был труд наблюдателя. Телевидение позволило освободить человека от этой работы. Место наблюдателя заняла телевизионная камера, передающая изображение изложницы прямо на пульт управления. Для того чтобы камера не перегревалась, ее поместили в специальный защитный кожух. Телевидение облегчило и работу самого оператора, который, вместо того чтобы основываться на знаках, подаваемых наблюдателем, теперь может сам следить за непрерывностью струи стали, за уровнем залитого металла и даже за температурой по мениску его поверхности.

Смотреть внутрь домы или топки котла на тепловой электростанции иногда возможно, но при обычных методах наблюдения нельзя составить верного суждения о полном процессе. Для этого надо наблюдать за горением в нескольких различных участках печи или топки.

По мнению специалистов-металлургов, было бы полезно применить промышленное телевидение для наблюдения за работой доменной печи, установив передающие камеры в фурменных «гляделках», а изображения передавать на приемник, находящийся у доменного мастера.

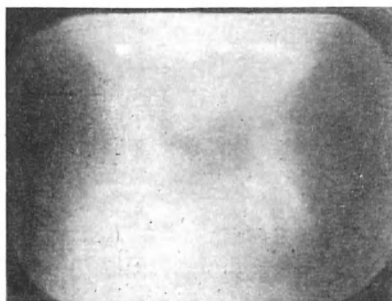
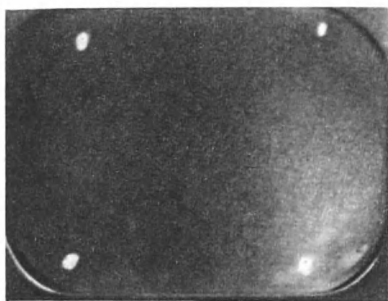
Телевизионное наблюдение за работой доменной печи находится пока в стадии эксперимента. На некоторых электростанциях уже осуществлено телевизионное наблюдение за сжиганием топлива. Это приносит большую пользу. Наблюдение факела пламени позволяет вести наилучший режим сжигания топлива и экономит на каждой электростанции сотни тонн топлива в месяц. При этом снижается и возможность возникновения аварий.

Режим горения на электростанциях контролируется и косвенным способом — по характеру дыма, выходящего из труб. При правильной подаче топлива сгорание происходит более полно, и поэтому дыма будет мало и он будет светлым; черный, густой дым свидетельствует о неполном сгорании. Передача телевизионного изображения дымовых труб электростанции оператору, управляющему работой топок, позволяет улучшить их работу и, что не менее важно, уменьшить загрязнение воздуха в районе электростанции.

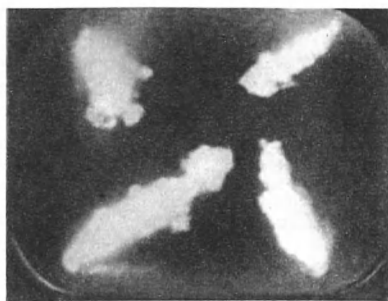
Телеметрия — область техники, которая специально занимается передачей на расстоянии результатов измерения каких-либо величин. Очень часто (особенно в электроэнергетических системах) измеряемые величины передаются не непосредственно, а снимаются с первичных измерительных приборов.

Телеметрия совсем молодая отрасль техники — пожалуй, не старше телевидения. Однако в области передачи показаний первичных измерительных приборов специфические средства и методы телеметрии начинают вытесняться телевизионными.

До последнего времени показания первичных измерительных приборов передавались по проводам или по радио, а в электроэнергетических



Телевидение помогает наблюдать за сгоранием топлива в топке. На первом снимке видно начало горения. На втором — горение при правильном режиме форсунок. На третьем — горение при неправильном режиме.



системах — по линиям электропередач с помощью высокочастотных методов. Такая передача имела одно важное преимущество перед телевизионной — она была значительно проще и не требовала прокладки дорогостоящего телевизионного коаксиального кабеля. Осуществить же телевизионную передачу по обычным телефонным, телеграфным кабелям или по линиям элект-

тропередач до самого недавнего времени не удавалось. Этот серьезный недостаток телевизионных систем был устранен в новейших, специально предназначенных для таких целей телевизионных установках. В них передача изображения может осуществляться по любому телефонному каналу. Новые телевизионные установки, использующие в качестве передающей трубки все тот же видикон, вследствие принципов, заложенных в основу их разработки, удалось сделать гораздо более чувствительными, и они особенно хороши в тех случаях, когда передаваемое изображение меняется очень медленно.

Именно такой случай имеет место при передаче показаний измерительных приборов: обычно стрелка прибора меняет свое положение очень медленно и плавно, а еще чаще ее положение остается практически неизменным.

Четкость изображения в таких системах не уступает четкости, предусмотренной вещательным стандартом, то есть достигает 450—625 строк.

Безаварийность работы тепловой электростанции определяется надежностью работы не только электрической части станции, но и в весьма большей степени режимом работы тепловой части и в особенности котла. Очень важным показателем является уровень воды в котле.



Водомерные колонки вследствие конструкции котла могут быть установлены только на сравнительно большом удалении от того места, с которого ведется управление работой котла (обычно на несколько этажей выше), и поэтому наблюдение за уровнем воды поручалось специальному рабочему-водосмотру. Труд водосмотра, хотя и не тяжел физически, крайне утомителен. Он требует сосредоточенного, непрерывного внимания и в то же самое время необыкновенно однообразен, неинтересен, и, конечно, сохранять сосредоточенность в таких условиях человеку трудно, как бы он ни старался.

Уже давно делались попытки заменить водосмотра автоматикой. Задача была решена с помощью телеметрических систем. Но в последние годы для этой же цели применяют телевидение. Рабочий, управляющий работой котла, следит за уровнем воды по экрану телевизора.

Создание малогабаритных телевизионных камер позволило применить телевидение еще в одной очень важной области техники. Телевизионные малые камеры помогли вести просмотр различных «узостей» — труб, скважин и тому подобного.

В настоящее время в СССР и за рубежом имеются специальные телевизионные установки для просмотра буровых скважин. Наименьший диаметр скважины или какого-либо другого узкого места, куда может проходить камера, составляет 60—90 миллиметров. А глубина погружения достигает сотен метров. Телевизионные установки позволяют осматривать внутреннюю поверхность труб и скважин, а также определять, какие пласты проходятся при бурении, и следить за работой долота или бура.

## **В ГЛУБИНЫ МОРЕЙ И ОКЕАНОВ**

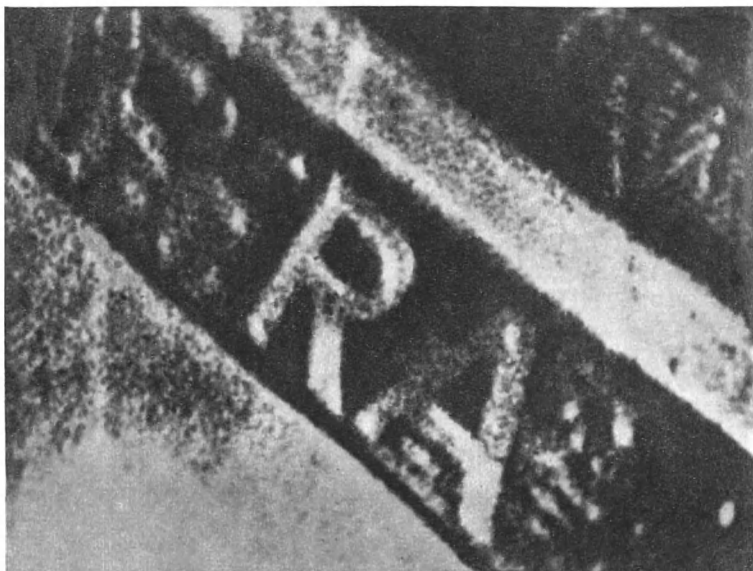
Телевидение не только побывало в космосе, не только поднимается в воздух и проникает в земные недра. Оно теперь очень часто погружается и под воду.

Трудно сказать, когда и с какой целью впервые опустили под воду телевизионную камеру. Можно лишь утверждать, что это произошло не ранее начала 50-х годов. Но уже вскоре подводное телевидение (об этом писали в английских журналах) дало первые полезные результаты, став участником драматических поисков затонувшей английской подводной лодки «Эффрей». Именно благодаря подводному телевидению удалось организовать быстрые и результативные поиски.

Еще совсем недавно информацию о подводном мире получали только от водолаза. При этом нельзя было проводить длительных наблюдений, так как пребывание человека под водой ограничено; невозможными оказывались и наблюдения на больших глубинах или при бурной погоде. Что же касается сведений, полученных от водолаза, то по точности, подробности и наглядности они значительно уступают личным впечатлениям и могут оказаться недостаточными для принятия решения.

Всех этих недостатков лишено подводное телевидение.

Оно оказывает очень большую помощь при проведении подводных строительных работ, при осмотре подводных частей различных сооружений в портах, при строительстве плотин и, кроме того, экономит время и средства.



Затонувшую английскую подводную лодку «Эфfrey» нашли с помощью подводной телевизионной установки. На снимке можно разобрать название затонувшей лодки.

В Советском Союзе создано несколько первоклассных установок подводного телевидения. Одна из них получила «Большой приз» на Брюссельской всемирной выставке.

При создании подводных телевизионных камер имеются две основные трудности.

Одна из них заключается в том, что направление обзора, направление, в котором повернута оптическая ось объектива подводной камеры, может быть стабилизировано в пространстве лишь с помощью чрезвычайно сложных устройств. Еще труднее управлять изменением этого направления с помощью дистанционных управляющих устройств.

Представьте себе, что вы опустили под воду камеру на обычном тросе. В этом случае ей ничто не мешает поворачиваться вокруг вертикальной оси даже при наличии очень малых скручивающих усилий. Такие усилия всегда будут возникать то под воздействием подводных те-

чений, то под воздействием остаточных напряжений в самом тросе. Поэтому от конструкторов подводных телевизионных камер потребовалось не только решение вопросов, относящихся непосредственно к передаче изображения и к созданию прочного водонепроницаемого кожуха, но в равной мере вопросов, относящихся к созданию такой аппаратуры дистанционного управления подводной камерой, которая позволила бы устанавливать направление обзора по желанию.

Один из способов заключается в управлении камерой с помощью гребных винтов. Но такой способ имеет два важных недостатка: в наддонной области винты вздымают со дна ил и песок и тем самым мутят воду, кроме того, работа винтов распугивает водяных животных.

Другой способ основывается на использовании гироскопов — особых устройств, обладающих свойством сохранять неизменное положение в пространстве. Устройства, позволяющие стабилизировать направление в пространстве с помощью гироскопов, называются гиropлатформами. Применение гиropлатформы с размещенной на ней передающей камерой в принципе позволяет решить задачу, однако конструкция подводной камеры при этом получается весьма сложной и дорогой.

И все-таки ни один из этих способов не является ни достаточно простым, ни достаточно хорошим. Поэтому очень часто камеру делают без каких-либо устройств дистанционного управления и ее обслуживает водолаз. В большинстве случаев и такое использование подводного телевидения вполне оправдывает себя и приносит большую пользу.

Вторая трудность подводного телевидения имеет принципиальное значение. Она связана с оптическими свойствами воды. В отличие от воздуха вода значительно менее прозрачна. Расстояния, на которых предмет может четко различаться, исчисляются всего лишь метрами, да и то при условии, что вода совершенно чистая и спокойная и применяется достаточно яркое освещение. Особенно мала дальность видимости в речной воде.

Одним из методов повышения дальности видимости является применение усиливающих контраст устройств, подобных примененным в «кошачьем глазе».

Вторым — переход на более длинные световые волны. Правда, в этом случае еще неизвестно, велик ли будет выигрыш.

Третий метод особенно интересен. Распространение звука тоже представляет собой волновой процесс. Если выбрать частоту колебаний довольно высокой — в области ультразвука, то явление дифракции будет заметно только при прохождении малых препятствий, так как длина ультразвуковых волн будет очень малой. Такие ультразвуковые волны имеют много сходства со световыми в том смысле, что к ним приложимы некоторые оптические законы. Оказывается, эти волны могут фокусироваться с помощью специальных устройств, подобно тому, как свет фокусируется линзами. Эти устройства поэтому называются акустическими линзами.

Так вот: если «освещать» пространство с помощью ультразвукового

прожектора, то отраженные ультразвуковые колебания можно сфокусировать с помощью таких акустических линз в некоторой плоскости. При этом получится ультразвуковое «изображение». С помощью особых приемников ультразвука это «изображение» удастся преобразовать в электрические сигналы таким же способом, как это делалось в телевидении. Дальше эти сигналы подаются на усилитель, а затем на кинескоп. На экране мы и увидим уже настоящее изображение. Оно не будет столь же четким, как при использовании световых волн. Зато дальность видимости возрастет во много раз.

Ультразвуковое телевидение уже делает первые успехи. Правда, качество изображения пока еще низкое, но можно надеяться, что скоро оно даст хорошие результаты.

## **ГЛАЗА И РУКИ ЭКСПЕРИМЕНТАТОРА**

Физические и химические опыты с радиоактивными материалами сопровождаются вредными для здоровья излучениями. Для того чтобы экспериментатор не подвергался опасности, предпринимается ряд сложных предохранительных мер.

Прежде всего все радиоактивные вещества и все необходимые для эксперимента приборы помещаются в так называемую горячую камеру, стены которой не пропускают вредных излучений. Экспериментатор находится вне камеры, у окна, застекленного специальным сортом стекла, также непроницаемым для таких излучений. Через окно он может непосредственно наблюдать за течением опыта.

Но как проводить его, как управлять им, если в камеру нельзя войти?

Этот вопрос сумела разрешить механика. Она создала особые механические устройства — дистанционные манипуляторы, заменившие руки человека. Экспериментатор управляет манипуляторами, и они выполняют все его желания почти так же хорошо, как и его собственные руки. Своими «пальцами» они могут захватывать нежную стеклянную химическую посуду, переливать растворы, производить взвешивание на весах...

Те, кто бывал на ВДНХ, видели такую горячую камеру и, вероятно, с восхищением наблюдали за работой искусственных рук — дистанционных манипуляторов.

Нередко интенсивность излучений оказывается столь значительной, что непосредственное наблюдение за экспериментом через окно становится невозможным. Тогда на помощь приходит телевидение. Телевизионная камера заменяет глаз ученого.

Вы помните о простейшем опыте с двумя перьями или с двумя спичками. На этом опыте мы убедились, как велика разница между зрением одним глазом и двумя глазами. Именно вследствие этой разницы при-



Оператор управляет дистанционным манипулятором с помощью стереоскопической телевизионной установки.

менение обычной «одноглазой» телевизионной установки в горячей камере не даст возможности правильно управлять дистанционным манипулятором, хотя и позволит наблюдать за ходом эксперимента.

Поэтому телевизионные установки, применяемые в таких случаях, делаются стереоскопическими. От обычных они отличаются тем, что камера и приемник двоянные. Одна камера и один приемник передают изображение для левого глаза, а другая камера и приемник — для правого.

Но и это еще не все. В некоторых случаях очень важны сведения о цвете. Тогда стереоскопическая телевизионная установка делается еще и цветной.

---

## ПОСЛЕСЛОВИЕ

Вот, читатель, мы и подошли к концу книги о девяти цветах радуги.

И теперь, у финиша, я задумался: о чем же все-таки мне удалось написать? О девяти цветах радуги? О глазе человека? О том, как люди сумели вооружить его разными мудрыми устройствами?

Да, об этом здесь было многое написано. Но только ли об этом хотелось рассказать вам? Конечно, нет.

Мне хотелось еще рассказать о том, как развивалась целая область науки и техники; какие преграды и трудности вставали и стоят на пути; как люди, скованные законами природы, стесненные ими до крайности, познавая эти законы и пользуясь ими же, завоевывают свободу и власть над природой. Мне хотелось показать, что не было еще таких задач, которые рано или поздно не решил бы человеческий гений. И в то же время я старался провести мысль, что количество этих нерешенных задач будет не убывать с развитием науки и техники, а расти.

Но и это не все, о чем мне хотелось сказать. Ведь наука и техника не родились и не развивались сами по себе. Они — порождение человека. Они — сам человек. По необходимости в книге мало говорилось о людях, но они присутствуют во всем, о чем ни шла бы здесь речь: и рабочие, и инженеры, и ученые. Мне хотелось бы, чтобы книга поведала не только о девяти цветах радуги, не только о законах оптики, но и о профессиях.

О тех профессиях, которые можете выбрать и вы, читатели.

До чего же интересны они! Вот хотя бы древняя профессия шлифовальщика оптических стекол. Какой строгий, умный и точный труд! А разве менее интересен труд создателей киноаппаратуры, или кинооператоров, или же труд работников телевидения?!

Часто о рабочем говорят: «Золотые руки!» Это считается похвалой. Это и в самом деле похвала. Но мне она не особенно нравится. Тот, у кого «золотые руки», обязательно имеет и «золотую» голову. Так не лучше ли сказать: «Мастер — золотая голова!»?

В самом деле, только ли руками действовали те мастера, которые шлифовали зеркало симензского рефлектора; только ли руки нужны тем, кто изготавливает микроскопы, монтирует схемы телевизионных установок, собирает и отлаживает агрегаты ракет и кораблей-спутников?

По существу, все профессии, все специальности, позволяющие творить, хороши. И все одинаково трудны и одинаково поглощают все силы, если человек хочет быть действительно «золотоголовым». Значит, дело в интересе, в удовлетворении, которое дает работа. Иначе говоря, дело в самом человеке. Одному нравится одно, иному — другое.

Каждому из вас открыты все пути. Это правда. Та культура, которую прививают вам в школе, одинакова у всех: и будущий рабочий, и будущий академик учатся по одним и тем же книгам и сидят нередко за одной партой. После же школы все зависит от самого человека. И все-таки не на любом пути можно добиться равного успеха. Важно правильно выбрать свой путь, суметь найти его. Для этого прежде всего надо знать, какие вообще есть пути. Вот о некоторых из них я тоже пытался рассказать. В сущности, любое устройство, которое было описано или упомянуто здесь, связано с одной или несколькими специальностями.

И, конечно, мне хотелось рассказать о том, что такое свет и как человеку удастся использовать его. Ведь кем бы вы ни стали, эти знания расширят ваш кругозор, позволят выработать более правильный взгляд на окружающий мир.

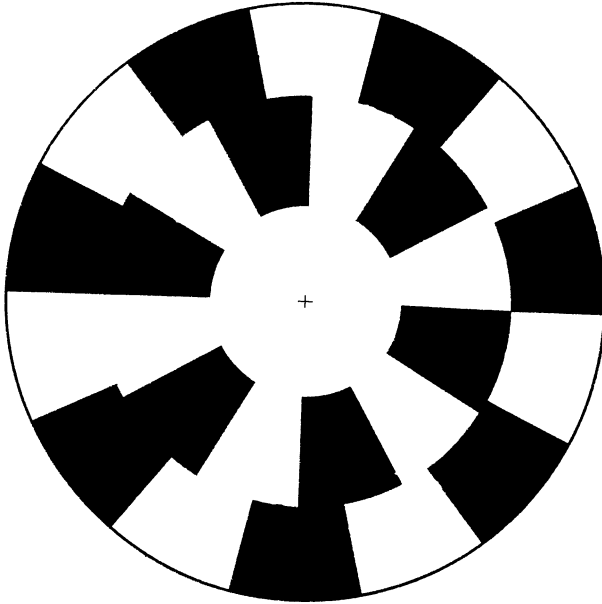
Тем же, кто захочет трудиться в одной из областей, связанных со светом и его приложениями в различных отраслях техники, мне хотелось бы посоветовать еще одно — перечитать эту книгу спустя некоторое время, а затем приняться за другие интересные и более серьезные книги.

В этой книге я не затронул такого важного вопроса, как оптические спектры. Но это еще не все. По существу, ни слова здесь не было сказано о том, как рождается свет, каков механизм его излучения.

К большому моему сожалению, рассказать здесь обо всем этом было невозможно. А между тем именно в области техники излучения света за последние месяцы 1961 года свершилась подлинная революция. Ученые и инженеры сумели создать источники света, яркость которых во много миллионов раз больше яркости солнца! Еще несколько лет назад человека, заявившего о возможности создать такой источник света, большинство, возможно, сочло бы сумасшедшим. Но эти источники созданы — их называют оптическими квантовыми генераторами или лазерами.

Лазеры могут принести человечеству огромную пользу; считают, что только с их помощью удастся осуществлять связь на далеких космических расстояниях. Но в то же время в американских журналах уже обсуждаются и другие цели применения лазеров — для создания «лучей смерти».

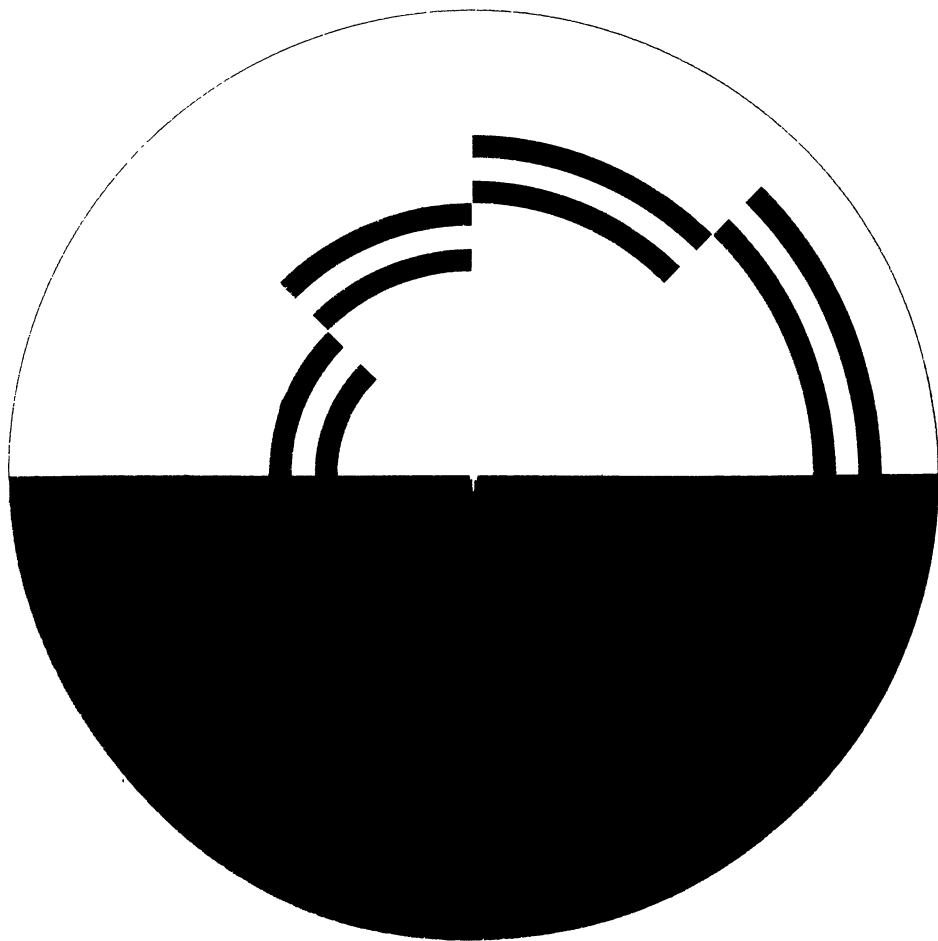
Но я уверен, что мирная наука восторжествует и вам уже придется использовать достижения науки и техники только для мирных и благородных целей.



Вырежьте диск, наклейте на картон и сделайте юлу.  
Попробуйте вращать ее при дневном свете, при свете  
обычной электрической лампы и при свете люмине-  
сцентной лампы.







Диск Бенхема. Вырежьте его, наклейте на картон и сделайте юлу.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

### СВЕТ

Кусок стекла . . . . .	6
О простых опытах, которые объяснили очень сложные явления и даже радугу . . . . .	8
Вопросы и ответы . . . . .	14
На каком языке говорит наука . . . . .	17
Слово из словаря . . . . .	19
Вольный сын эфира . . . . .	23
За и против . . . . .	25
О поисках и снова о звонках . . . . .	28
Тень и свет . . . . .	33
Свет и электричество . . . . .	36
Два открытия . . . . .	39
Спектр электромагнитных колебаний . . . . .	41
Необыкновенные хвосты . . . . .	47
Мельчайшие из мельчайших . . . . .	49
Фотоэффект . . . . .	56
Вместо паузы . . . . .	63
После кризиса . . . . .	65

### ГЛАЗ И ЗРЕНИЕ

Вместо вступления . . . . .	73
Наши глаза . . . . .	74
Свойства человеческого глаза . . . . .	83
Цвета . . . . .	102
От фактов к теории . . . . .	112
Необъяснимые явления . . . . .	114

### ТЕЛЕСКОП И МИКРОСКОП

Телескопы . . . . .	122
Микроскопы . . . . .	154

### ФОТОГРАФИЯ И КИНЕМАТОГРАФИЯ

Запечатленный свет . . . . .	174
Луч света в темной комнате . . . . .	176
Фотоны, серебро и химия . . . . .	181
Конкуренты или друзья . . . . .	187
Всевидящее око . . . . .	191
Трехкомпонентная теория в действии . . . . .	203
Автографы невидимок . . . . .	205
Запечатленное движение . . . . .	207
Остановись, мгновение... . . . .	210
Кинематографическая пушка . . . . .	215

### СВЕТ И ЭЛЕКТРОНИКА

Электронные колбочки . . . . .	222
Принцип умножения . . . . .	225
Чувствительные глаза . . . . .	229
Судьба затерявшихся фотонов . . . . .	234
Новые пути . . . . .	236
Усилитель света . . . . .	239
Фабрика электричества . . . . .	240
Тайна шифра . . . . .	241
Электронный глаз . . . . .	246

### ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Телепередача из космоса . . . . .	263
Новое в старом . . . . .	271
Телеглаз в воздухе . . . . .	274
Помощники диспетчера . . . . .	278
Телевидение и рабочий . . . . .	281
В глубины морей и океанов . . . . .	284
Глаза и руки экспериментатора . . . . .	287
Послесловие . . . . .	289
Приложение . . . . .	294

## К ЧИТАТЕЛЯМ

*Издательство просит отзывы об этой книге присылать по адресу: Москва, А-47, ул. Горького, 43. Дом детской книги.*

Для восьмилетней школы

*Штейнгауз Александр Израилевич*  
ДЕВЯТЬ ЦВЕТОВ РАДУГИ

Ответственный редактор *Н. М. Беркова*  
Художественный редактор *Л. Д. Бирюков*  
Технический редактор *М. А. Кутузова*  
Корректоры *Л. И. Гусева* и *Т. Ф. Юдичева*  
Сдано в набор 10/VIII 1962 г. Подписано к печати 6/IV 1963 г. Формат 70×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 19<sup>1</sup>/<sub>2</sub> печ. л. = 22,82 усл. печ. л. (уч.-изд. л. 20,67+8 вкл.=21,03 л.)  
Тираж 40 000 экз. А04547 ТП 1962 № 682.  
Цена 90 коп.

Детгиз. Москва, М. Черкасский пер., 1  
Полиграфкомбинат, г. Калинин, пр. Ленина, 5.  
Заказ 936.

## ОПЕЧАТКА

В таблице на стр. 85 по вине типографии допущена опечатка: третья строка сверху в среднем столбце (5—10<sup>16</sup> люкса) относится к звезде 24-й величины

Цена 90 коп.