

НАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ КУЛЬТУРЫ



Л. С. ЕРМОЛАЕВ

# ПРИРОДА СВЕТА

7

1961

НАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ КУЛЬТУРЫ

Кандидат технических наук

Л. С. ЕРМОЛАЕВ

# ПРИРОДА СВЕТА

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЗНАНИЕ“

Всесоюзного общества по распространению  
политических и научных знаний

---

Москва — 1961

## О ЧЕМ РАССКАЗЫВАЕТСЯ В ЭТОЙ КНИЖКЕ

	<i>Стр.</i>
Роль света в жизни на Земле . . . . .	3
Волновые свойства света . . . . .	9
Корпускулярные свойства света . . . . .	20
Приложение: «Интересно, полезно знать»	
Знаете ли вы, что . . . . .	38
Попробуйте решить . . . . .	39
Советуем прочитать . . . . .	39
Краткий словарь к тексту брошюры . . . . .	40

---

**Автор Лев Сергеевич Ермолаев**

**Редактор А. С. Нехлюдова**

**Техн. редактор А. С. Назарова**

**Корректор Э. А. Шехтман**

**Обложка художника Р. Г. Алеева**

---

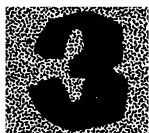
Сдано в набор 12/VII 1961 г.    Подписано к печати 31/VIII 1961 г. Изд. № 226.    Формат бум. 84×108 <sup>1</sup> / <sub>32</sub> .    Бум. л. 0,625.    Печ. л. 1,25. (Условно 2,05).    Уч.-изд. л. 1,94.    А 8804.    Цена 6 коп. Тираж 11 000.	Заказ 2342.
--	-------------

---

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

---

## РОЛЬ СВЕТА В ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ



начение света для жизни на Земле огромно. Его роль трудно переоценить. Все живое на Земле обязано своим существованием свету. Свет, приходящий на Землю от Солнца,

действует на мертвую неорганическую природу, вызывает протекание процессов, которые создают условия, необходимые для жизни растительного и животного мира. Солнечный свет обуславливает смену времен года, смену дня и ночи, вызывает круговорот воды на Земле и перемещения воздуха, определяет погоду.

Тела растений и животных построены из органических веществ, важнейшую роль в которых играет углерод. Дыхание всех живых существ сопровождается окислением углерода, входящего в состав их тела. Углерод, сгорая в процессе дыхания, т. е. окисляясь, превращается в углекислоту. В результате этого процесса высвобождается энергия, которая используется животными при их движении. Главным источником энергии, который использует человек в технике, является органическое топливо, сгорание которого — опять-таки процесс окисления углерода.

Для продолжения жизни, для пополнения запасов топлива необходимо восстанавливать запасы органических веществ и кислорода. Однако обратный процесс расщепления углекислоты на углерод и кислород требует затраты энергии. Эту энергию приносит солнечный свет. Под действием света в зеленых частях растений происходит фотохимический процесс, приводящий к расщеплению воды и образованию органических веществ. Таким обра-

зом, благодаря свету осуществляется «великий круговорот углерода» в природе. Энергия, принесенная солнечным светом, запасается в виде внутренней энергии органических веществ.

Животные, поедая растения, используют растительные органические вещества и их энергию для обеспечения и поддержания своей жизни. Человек, употребляя животную и растительную пищу, сжигая топливо, использует запасы той же энергии. Вся энергия, которую использует человек на Земле, практически имеет своим первоисточником энергию солнечного света. Не случайно поэтому уже в древние времена на заре своего развития люди боготворили Солнце, воспевали благие действия Солнца для человека и всего живого.

В наше время человек начинает непосредственно использовать энергию солнечного света, превращая ее в энергию электрического тока. Это делается при помощи полупроводниковых солнечных батарей, в разработке и применении которых ведущая роль принадлежит советским ученым. Солнечные батареи, установленные в советских космических лабораториях, питают электрическим током их бортовую аппаратуру и приборы.

Это позволило послать автоматическую лабораторию к Венере. Недалеко то время, когда советские космические корабли отправятся в еще более далекие путешествия.

Значение света для человека не ограничивается только использованием его энергии. В большинстве применений света главную роль играет не количество приносимой им энергии, а его специальные особенности, его многообразные и удивительные свойства. Свет позволяет человеку видеть мир, в котором он живет, помогает ему в труде.

Большое влияние оказывает освещение рабочего места на производительность труда и здоровье человека. Поэтому в нашей стране уделяется особое внимание созданию правильного освещения на заводах, фабриках, в школах, вузах и учреждениях.

Свет помогает человеку раскрывать великие тайны природы, познавать ее законы и использовать их в своих интересах.

Познание законов природы очень сложный процесс. Органы чувств доставляют человеку необходимые све-

дения. Но, кроме органов чувств, человек в отличие от животных имеет также и разум. С помощью разума человек исследует то, о чем ему рассказали органы чувств. Постигая разумом природу света и его свойства, человек сумел понять многое из того, о чем рассказывает луч света. Именно свет позволил нам заглянуть в беспредельный космос, узнать многое о жизни Солнца и еще более далеких звезд.

С другой стороны, луч света является важнейшим ключом к изучению физических свойств вещества на самой Земле. Свет рассказал нам о строении атомов и молекул. Свет помог открыть около двух десятков новых химических элементов, не известных ранее.

Правильное понимание природы света позволяет советским ученым успешно бороться с идеалистическим толкованием многих новых явлений природы, открытых физикой в последнее время.

Значение света далеко не исчерпывается тем, что мы о нем рассказали. Но и этого достаточно, чтобы понять важность изучения природы и свойств света.

## **Сто миллионов Куйбышевских ГЭС**

Благодаря солнечному свету возникла и поддерживается жизнь на Земле. Сколько же света получает Земля от Солнца? Как оценить количество света, приходящего на Землю? Какой мерой его измерять? На эти вопросы нельзя ответить, если не учесть основные, коренные свойства света, определяющие его природу.

Свет приносит на Землю энергию Солнца. Свет, следовательно, обладает энергией. Это положение очевидно для каждого и не вызывает никаких сомнений. В самом деле, всем известно, что солнечный свет, падая на тела, нагревает их, т. е. увеличивает энергию этих тел. Следовательно, количество света можно характеризовать величиной присущей ему энергии.

Измерения показывают, что при отвесном падении солнечных лучей каждый квадратный сантиметр поверхности Земли (с учетом поглощения лучей атмосферой) получает каждую минуту энергию, равную двум калориям, или 0,033 калории в секунду. Если учесть, что одновременно освещается только половина земного шара и что не все солнечные лучи падают отвесно земной поверх-

ности, то окажется, что вся Земля получает каждую секунду энергию приблизительно равную  $4,3 \cdot 10^{16}$  калорий ( $4,3$  умноженное на  $1$  с  $16$  нулями). Иначе говоря, мощность солнечного света, падающего на Землю, равна  $18 \cdot 10^{16}$  ватт. Эта мощность приблизительно равна мощности ста миллионов электростанций таких, как Куйбышевская ГЭС.

## Давление света

Современной физике хорошо известно, что энергией могут обладать только материальные объекты. Энергия это одна из основных, одна из важнейших характеристик материи. Любое материальное тело обладает определенным запасом энергии. Опираясь на это положение, даже не зная никаких других свойств света, можно уже утверждать, что свет, обладая энергией, является материальным объектом, что свет — один из видов материи, одна из ее форм.

Другой не менее важной характеристикой всех материальных объектов является их масса. Любое материальное тело обладает определенной массой. Если свет материален, то и он должен обладать массой. То, что свет имеет массу, не является таким очевидным, как то, что свет обладает энергией. В этом случае нельзя поставить простой опыт и убедиться в наличии массы у света. Поэтому долгое время не догадывались о наличии массы у света. Когда же наука теоретически предсказала, что свет должен обладать массой, то многие этому не поверили. Однако факт наличия массы у света был доказан опытным путем. Впервые это удалось сделать известному русскому физiku П. Н. Лебедеву.

Наш жизненный опыт говорит о том, что всякое движущееся материальное тело или материальный поток (например, поток воды) оказывает давление на другие тела, встречающиеся на пути их движения. Из законов механики следует, что если вы захотите остановить за время  $t$  движущееся тело или какой угодно поток, оказывающий давление, вам придется «уравновесить» его силой, величина которой определяется по формуле:

$$F = \frac{m \cdot v}{t},$$

где  $m$  — масса тела, или масса, приносимая потоком;

$v$  — скорость тела или потока.

Если свет материален и обладает массой, то к световому потоку тоже применимы приведенные рассуждения и формула. Только в случае светового потока скорость  $v = c$  (скорость света), поэтому формула для определения силы давления света будет иметь немного другой вид, а именно:

$$F = \frac{m \cdot c}{t}.$$

Тонкими и исключительно трудными опытами П. Н. Лебедев в 1900 году доказал, что свет, падая на черную пластинку, полностью ею поглощается и давит на нее с силой, которая определяется формулой Лебедева:

$$F = \frac{E}{t \cdot c},$$

где  $E$  — энергия света, поглощенного за  $t$  секунд;  
 $c$  — скорость света.

Подсчет показывает, что в яркий солнечный день свет, падая на черную поверхность размером в один квадратный метр, действует на нее с силой всего лишь около 0,2 миллиграмма. Это очень маленькая сила, поэтому так трудно было измерить давление света. Однако на весь земной шар свет давит с силой 60 тысяч тонн. Это уже большая сила, но на Землю она заметного действия не оказывает, так как сила, с которой Солнце притягивает Землю, в 60 000 миллиардов раз больше силы светового давления.

Из формулы Лебедева и предыдущей формулы можно получить равенство

$$\frac{m \cdot c}{t} = \frac{E}{t \cdot c},$$

из которого масса света, поглощенного черной пластинкой, получается равной

$$m = \frac{E}{c^2}.$$

Эта формула определяет массу света  $m$ , обладающего энергией  $E$ <sup>1</sup>. Позднее известный физик Эйнштейн показал, что эта формула является универсальной, т. е. она

---

<sup>1</sup> Вывод, приводимый в тексте, представляет небольшое видоизменение вывода С. И. Вавилова.



определяет взаимосвязь между массой и энергией любого материального объекта, любого материального тела, и в настоящее время является одним из важнейших законов физики.

### Два килограмма света

Давайте воспользуемся законом взаимосвязи массы и энергии и подсчитаем массу солнечного света, падающего на Землю в одну секунду. Для этого нужно учесть, что его энергия  $E = 4,3 \cdot 10^{16}$  калорий  $= 18 \cdot 10^{23}$  эргов, а скорость света  $c = 300\,000$  км/сек  $= 3 \cdot 10^{10}$  см/сек. Тогда получим:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{18 \cdot 10^{23}}{9 \cdot 10^{20}} = 2000 \text{ г} = 2 \text{ кг.}$$

Земля каждую секунду получает в среднем 2 килограмма солнечного света. Такую же массу имеют 2 литра воды. Приблизительно столько воды потребляет один человек в течение одного дня. А за счет 2 килограммов света в секунду живет вся Земля. Легко подсчитать, что Земля в течение суток получает 173 тонны солнечного света.

Таким образом, солнечные лучи несут с собой не только энергию, но и солнечную массу. «Свет — не бестелесный посланник Солнца, а само Солнце, часть его, долетевшая до нас в форме света» (С. И. Вавилов).

Солнце, испуская свет, непрерывно теряет часть своей массы. Расчет показывает, что каждую секунду Солнце в результате светового излучения теряет примерно 5 миллионов тонн своей массы. Это огромная величина. Однако для Солнца такие потери не страшны, и опасаться, что оно быстро «похудеет», нет оснований. При такой «щедрости» Солнца нужно не менее 6 тысяч миллиардов лет, чтобы его масса уменьшилась в 2 раза.

### Поток частиц или волны?

От Земли до Солнца около 150 миллионов километров. Пассажирский поезд шел бы до Солнца около трехсот лет. Свет распространяется с огромной скоростью, которая равна 300 тысячам километров в секунду. Поэтому он проходит путь от Солнца до Земли всего за 8 минут. Свет несет от Солнца к Земле энергию, преодолевая это огромное расстояние.

Известны два способа передачи энергии на расстояние. Во-первых, энергию можно перебросить с одного места на другое вместе с веществом. Самый простой пример такого способа переноса энергии — выстрел. Энергия, полученная при взрыве пороха, переносится летящей пулей от стрелка к цели. Этот же способ позволяет осуществить непрерывный перенос энергии потоком частиц вещества, например потоком воды, потоком воздуха и т. п. Во-вторых, энергию можно переносить при помощи волн, т. е. волнового движения вещества той среды, в которой распространяются волны. Например, морская волна, поднятая ветром или созданная землетрясением или мощным взрывом, проходит большое расстояние и затем обрушиваясь на корабль или берег, отдает им свою энергию. Однако каждый знает, что волна, перемещаясь, не увлекает за собой воду, вода только колеблется (колеблется) на одном месте вверх и вниз. Энергия передается от одного слоя к другому без передвижения воды. То же самое происходит при распространении звука в воздухе. Звуковая волна — это не ветер, а последовательное колебание слоев воздуха. В безвоздушном пространстве звук не распространяется и не может переносить энергию. Следовательно, для передачи энергии на расстояние волнами нужна промежуточная материальная среда, в рассмотренных примерах — вода и воздух. Других способов передачи энергии наука не знает. Поэтому свет, несущий энергию от Солнца к Земле, должен быть либо потоком материальных световых частиц, либо волнами в некоторой материальной среде, либо и тем и другим одновременно.

Что же представляет собой свет: поток частиц или волны? Дать ответ на такой вопрос непросто. Это трудный вопрос. Ответ на него был получен в процессе сложного и длительного пути развития учения о свете.

## ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА



Солнечный свет кажется нам белым. Однако очень простой опыт, известный людям с давних времен, показывает, что луч солнечного света состоит из цветных лучей. На пути солнечного света поставим непрозрачный экран с небольшим отверстием. Через это отверстие пройдет узкий луч

солнечного света. На пути этого луча поставим стеклянную трехгранную призму (клин, сделанный из стекла). Тогда, как показано на рис. 1, луч света, проходя через призму, расщепляется на цветные лучи, которые по-разному отклоняются к основанию призмы. Фиолетовый луч

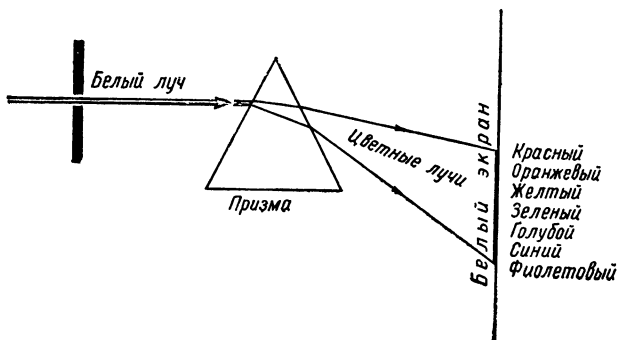


Рис. 1. Прохождение луча белого света через стеклянную призму. После прохождения белый свет разлагается на составные цвета. Образуется цветной спектр.

отклоняется больше всего, а красный меньше всего. На белом экране, поставленном за призмой, мы увидим цветную полосу, цвет которой постепенно изменяется сверху вниз от красного до фиолетового. Такую цветную полосу называют спектром белого света.

Аналогичное явление происходит при образовании радуги. Только в случае радуги разложение белого солнечного света на цветные лучи производится капельками воды, которые всегда имеются в воздухе и которых особенно много после дождя.

Если все цветные лучи снова собрать вместе, то опять получится белый свет. В этом легко убедиться, если на пути цветных лучей, полученных при помощи призмы, поставить вторую трехгранную призму, но только основанием вверх.

Описанный опыт наглядно показывает, что белый свет является сложным. Впервые понятие о спектральном составе света ввел Ньютон. Если вы сможете проделать сами опыт с призмой или в следующий раз, наблюдая радугу, попробуйте подсчитать, сколько различных цветов вы видите. Ваши усилия будут напрасны. Вы не смо-

жете выполнить это задание. Почему? Да потому, что между известными вам соседними цветами нет резких границ, между ними вы увидите много переходных тонов и оттенков, не все из которых имеют даже названия. Как же различать цветные лучи, если некоторые цвета даже не имеют названий? Это будет нетрудно сделать, если выяснить, от чего зависит, чем определяется цвет светового луча.

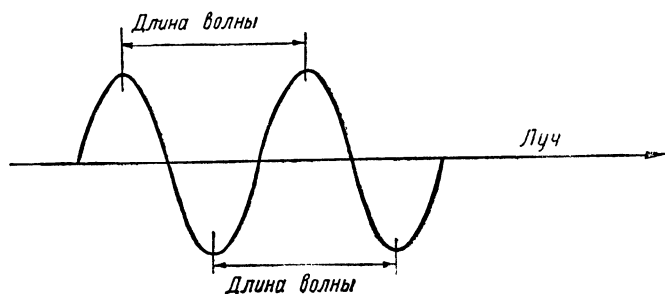


Рис. 2. Условное изображение световой волны.

Луч — это только направление движения световой волны. Волна любой природы характеризуется расстоянием между соседними гребнями (или впадинами). Это расстояние называется длиной волны. На рис. 2 показано условное изображение волны и обозначена длина волны греческой буквой  $\lambda$  (лямбда).

Если свет имеет волновую природу, то световая волна должна характеризоваться определенной длиной. Физики установили, что длина световой волны у лучей разного цвета различна. Красный свет имеет длину волны примерно 0,8 микрона, а фиолетовый около 0,4 микрона. Следовательно, нет необходимости придумывать огромное число различных названий для разных цветов и оттенков света. Цветные лучи можно просто и точно характеризовать длиной волны света.

Цветной спектр белого луча, полученный при помощи стеклянной призмы, содержит самые разнообразные цвета, постепенно переходящие один в другой. Это говорит о том, что в белом свете имеются лучи с любой длиной волны от 0,4 до 0,8 микрона.

Волны любой природы, в том числе и световые, рас-

пространяются в пространстве с определенной скоростью. Световые лучи любого цвета в пустоте имеют одинаковую скорость. Эта скорость очень большая. Световые волны в течение одной секунды пробегают расстояние, которое в 400 тысяч миллиардов раз больше длины волны красного света.

Если скорость света разделить на длину его волны, то мы узнаем число перемен, испытываемых световым лучом в одну секунду, т. е. число гребней (или число впадин) световой волны. Это число называется частотой света. Частота света равна числу волн, созданных источником света в одну секунду. Обозначим частоту света греческой буквой  $\nu$  (ню), а скорость света в пустоте буквой  $c$ , тогда, зная длину волны, легко подсчитать частоту света по формуле

$$\nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Поскольку длина волны фиолетового света в 2 раза меньше длины волны красного света, фиолетовый свет имеет частоту в 2 раза большую, чем красный, т. е. 800 тысяч миллиардов колебаний в одну секунду. Чем больше длина волны света, тем меньше его частота, и наоборот. Поэтому вместо длины волны можно применять другую, столь же точную характеристику цветных лучей — частоту света. Иногда удобно применять одну характеристику света, а иногда другую.

Лучи разного цвета в веществе имеют разную скорость, и она несколько меньше, чем в пустоте. В стекле призмы скорость у красных лучей больше, чем у фиолетовых. Поэтому лучи по-разному преломляются, проходя через призму. Это и приводит к разложению белого света в цветной спектр, когда он проходит через стеклянную призму. В разных веществах скорость у света различна. Поэтому у цветного луча при переходе из одного вещества в другое несколько изменяется длина волны. Таким образом, длина волны зависит от вещества, в котором распространяется свет. Это делает ее не всегда удобной характеристикой света. Частота же света не зависит от вещества, это делает ее очень важной количественной характеристикой самого света, именно его цветности.

## Свет + свет = темнота

Все мы знаем, что если от одной электрической лампочки в комнате недостаточно светло, то можно исправить положение, включив вторую лампочку. При работе двух лампочек в комнате всегда будет светлее, чем при работе одной из них. Значит, складывая свет, выпускае-

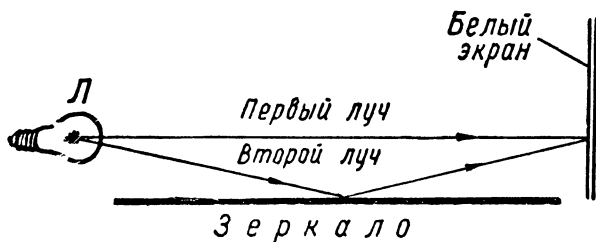


Рис. 3. Схема опыта Ллойда по наблюдению интерференции света.

мый одной лампочкой, со светом другой, мы всегда получим увеличение света. А может ли случиться так, чтобы свет погасил свет и вместо усиления света получилась бы темнота? Оказывается, что возможно. Правда, не всегда. Чтобы при сложении света получилась темнота, нужно выполнить некоторые условия. Например, погасить друг друга могут только лучи, созданные одним источником света. Вот почему нельзя получить темноты при сложении света, идущего от двух разных лампочек.

Если вы захотите убедиться на опыте в том, что свет может погасить свет, то произведите опыт, который был впервые сделан Ллойдом. Нужно взять зеркало, белый экран и лампочку с цветным стеклом, например красным, чтобы иметь лучи с одинаковой длиной волны (это второе необходимое условие). В каждую точку экрана будут приходить два луча (рис. 3). Их путь до экрана различен. Поэтому на пути первого и второго лучей уложится разное число длин волн. В некоторых местах на экране волна первого луча будет иметь гребень, а волна второго луча — впадину. В этих местах волны погасят друг друга. В рядом расположенных местах волны усилят друг друга. На экране будут видны светлые и темные полосы.

Описанное явление называется интерференцией. Оно

может наблюдаться только у волн. Явление интерференции волн можно наблюдать, например, на воде, когда рядом движутся два катера. В тех местах, где встречаются два гребня волн, вода взлетает вверх; при встрече гребня с впадиной поверхность воды остается спокойной. Только волны, встречаясь друг с другом, могут в одном месте усилить друг друга, а в другом — погасить. Поэтому явление интерференции света служит доказательством того, что свет — это волны.

Если в опыте Ллойда взять лампочку с белым стеклом, то вместо темных и светлых полос на экране появляются цветные полосы, похожие на радугу. Это объясняется тем, что лучи разного цвета имеют разные длины волн, и в тех местах, где лучи одного цвета гасят друг друга, лучи другого цвета будут усиливать друг друга. Поэтому вместо равномерного белого света на экране получаются цветные полосы.

Каждый из вас видел на лужах после дождя цветные радужные полосы. Они возникают, когда на поверхности лужи образуется тонкая пленка бензина или керосина. Солнечные белые лучи отражаются от верхней и нижней поверхности пленки, образуя первый и второй лучи, которые, приходя в наш глаз, складываются, создавая цветную интерференционную картину радужных полос.

Явление интерференции света имеет большое практическое значение. Его используют в разнообразных оптических приборах. Такими приборами, например, контролируют на производстве качество поверхностей обрабатываемых деталей, точно измеряют размеры деталей. Используя интерференцию света, удалось измерить размеры далеких звезд.

### Когда исчезает тень

С древних времен известно, что свет распространяется прямолинейно. Поэтому от света можно загородиться непрозрачным телом, спрятаться в его тень. Всегда ли это возможно? Не может ли тень исчезнуть? Оказывается, может. В этом легко убедиться при помощи простого опыта.

Между источником света и белым экраном поместим небольшой непрозрачный шарик, как это показано на рис. 4. При обычных условиях на экране образуется круг-

лая тень от шарика. В точке  $A$ , которая находится в центре тени, будет темнота. Но если расстояние  $D$  между шариком и экраном сделать значительно больше диа-

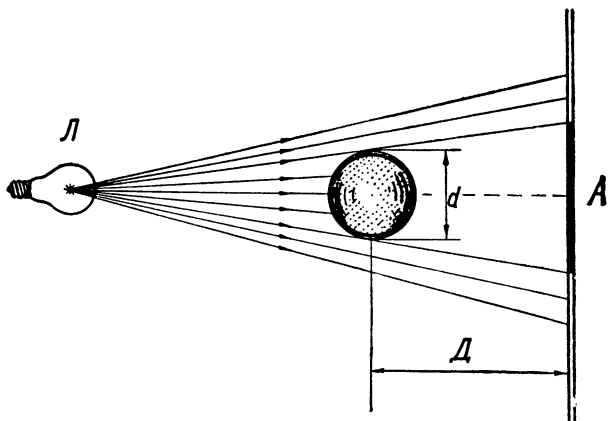


Рис. 4. От непрозрачного шарика на экране образуется тень.

метра шарика  $d$ , тень на экране исчезнет. Если лампочка  $L$  из цветного стекла, то вместо тени мы увидим темные и светлые кольца, примерно такие, как показано на рис. 5. Причем в точке  $A$  может быть даже светлое пятнышко.

Чтобы попасть в область тени, лучи света должны искривиться. Поэтому данный опыт можно объяснить только тем, что световые волны, как и волны любой другой природы, при некоторых условиях могут огибать препятствия, встречающиеся на их пути. Свойство волн огибать препятствие называется дифракцией.

Если вместо цветной лампочки в опыте с шариком взять обычную, дающую белый свет, то вместо тени мы увидим радужную картину цветных колец. Это говорит о том, что цветные лучи огибают препятствия по-разному.

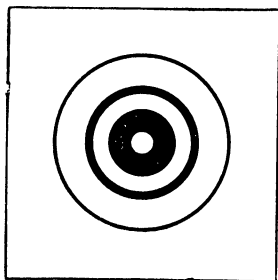


Рис. 5. Условное изображение дифракционной картины, полученной при огибании светом непрозрачного шарика.



Меняют свое направление световые лучи, проходя и через узкую щель; они отклоняются к ее краям, как показано на рис. 6. Красные лучи отклоняются больше, чем

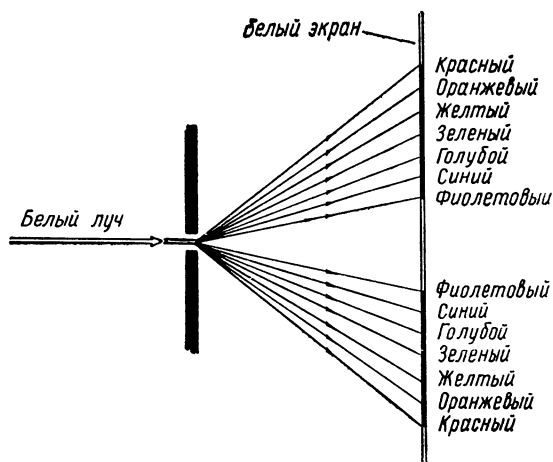


Рис. 6. Белый луч света, проходя через узкую щель, отклоняется и расщепляется на цветные лучи. Образуются цветные спектры.

желтые, зеленые и фиолетовые. Чем больше длина волны света, тем больше отклоняется луч, проходя через узкую щель. А это значит, что стеклянную призму можно заменить узкой щелью, если нам нужно будет разложить белый свет в цветной спектр. Белый луч света, пройдя через щель, образует на экране два цветных спектра, один спектр будет выше щели, а другой ниже.

Проще всего явление дифракции можно наблюдать, если посмотреть на обычную лампочку прищуренными глазами. Прищурив глаза (из-за наличия ресниц), мы смотрим на источник света через узкие щели-решетки. Вместо источника в виде светящейся точки мы увидим длинную светлую полосу, состоящую из радужных цветных полос — спектров (правда, они получаются очень узкими).

Ньютон после тщательного исследования установил, что дифракция не зависит от того, из какого материала сделана щель или огибаемый предмет и, следовательно, зависит только от свойств самого света. Дифракция —

опытный факт. Наряду с интерференцией она служит убедительным доказательством того, что свет имеет волновые свойства. Явление дифракции часто встречается в природе и имеет большое значение в технике.

Почему небо голубое? Объяснить это нам поможет опыт с шариком и его тенью, который мы уже рассмотрели. Свет огибает шарик и попадает туда, куда он, казалось бы, не должен был попадать. Чем меньше шарик, тем сильнее его огибает свет. Шарик, оказавшись на пути световых лучей, как бы сбивает их с прямолинейного пути, т. е. рассеивает свет. Если частицы, рассеивающие свет, очень малы, то более всего они рассеивают лучи с короткими длинами волн, т. е. синие и фиолетовые. Цвет неба определяется цветом рассеянных солнечных лучей. Белые солнечные лучи рассеиваются молекулами воздуха. Молекулы — очень маленькие частицы, поэтому они рассеивают в основном голубую часть солнечного спектра. Желтые и красные лучи рассеиваются воздухом слабо. Поэтому они доходят до нас сохранившимися лучше, чем голубые лучи, и придают солнечному свету желтоватый оттенок.

Если бы у Земли не было атмосферы, то мы видели бы небо черным. Юрий Гагарин, вернувшись из первого космического полета, рассказывал, что он видел черное небо с очень яркими звездами на нем. Это понятно. Полет космического корабля «Восток» проходил в верхних слоях атмосферы, где она сильно разрежена и где дифракционное рассеяние света воздухом практически отсутствует.

Более крупные частицы, чем молекулы, хорошо рассеивают и более длинные волны. Поэтому свет, рассеянный более крупными частицами, содержит лучи всех цветов и кажется нам белым. В правильности этого положения легко убедиться, закулив папиросу. Цвет дыма папиросы, выходящего из горящего конца, голубой, а со стороны мундштука — белый. Объясняется это тем, что частицы дыма, выходящие из мундштука, проходят толщу табака, слипаются и становятся более крупными. Рассеянный свет облаков, состоящих из капелек влаги, более крупных, чем молекулы воздуха, тоже белый.

В оптических приборах дифракция является вредной. Она, например, ограничивает увеличение, которое может дать микроскоп. Дифракция не позволяет различать

сколь угодно малые детали предмета, рассматриваемого с помощью оптического прибора. Она не позволяет также получать сколь угодно узкие пучки света. Зато узкие щели и специальные дифракционные решетки широко применяются для разложения света в спектр.

### Невидимый свет

Если термометр выставить на Солнце, мы увидим как столбик ртути начнет подниматься. Это означает, что солнечные лучи нагревают термометр. Для нас в этом опыте нет ничего удивительного. Свет обладает энергией, поэтому, падая на термометр и поглощаясь им, свет нагревает его, температура термометра повышается. Если же при помощи стеклянной призмы или узкой щели разложить солнечный свет в цветной спектр и поместить термометр в области красного, желтого, зеленого или любого другого цвета спектра, то термометр тоже будет нагреваться. И этот опыт для нас ясен. Если белый свет состоит из цветных лучей и в то же время обладает энергией, значит и цветные лучи обладают энергией.

Но вот в 1800 году Гершель поместил термометр в темноту за красным краем солнечного спектра. Термометр заметно нагрелся. Значит, в эту темную область приходят лучи, не видимые глазом, но вызывающие нагревание, т. е. обладающие энергией. Эти невидимые световые лучи были названы инфракрасными лучами. Изучение инфракрасных лучей показало, что они по своим свойствам ничем не отличаются от обычных световых лучей, за исключением того, что мы их не видим. Длина волны инфракрасных лучей больше длины волны красного света, и они простираются в спектре очень далеко. В настоящее время обнаружены невидимые лучи с длиной волны от 0,8 до 300 микрон.

А что делается с другой стороны спектра, за его фиолетовой границей? Термометр здесь заметно не нагревается. Но ведь свет можно обнаруживать не только по его нагреванию. Свет можно обнаружить по любому другому его действию. Мы знаем, например, что засвеченная фотопластинка при проявлении темнеет. Если поместить фотопластинку в темную область спектра за фиолетовыми лучами, то она при проявлении потемнеет. Это означает, что в темную область и по другую сторону видимого спектра приходят невидимые лучи света. Их

назвали ультрафиолетовыми лучами. Как и инфракрасные лучи, они во всем похожи на обычные световые лучи, только длина волны у них меньше, чем у фиолетовых лучей. В настоящее время обнаружены ультрафиолетовые лучи с длиной волны от 0,4 до 0,01 микрона (одна сотая доля микрона).

### **Свет — электромагнитные волны**

В первой половине XIX века волновая теория света, созданная трудами Гюйгенса, Френеля и других ученых, победила корпускулярную теорию истечения Ньютона. Она с безукоризненной качественной и количественной точностью объяснила все волновые свойства света. Однако у этой теории было одно очень слабое место. Она считала световые волны механическими упругими волнами в мировом светоносном эфире. Но как физики ни старались, они не могли доказать, существует эфир на самом деле или нет. Появлялось все больше сомнений в реальности мирового эфира.

Совсем неожиданно волновая теория получила сильную поддержку. Изучая электрические и магнитные явления, английский физик Максвелл в середине XIX века пришел к заключению о том, что должны существовать электромагнитные волны, о которых раньше ничего не знали и природа которых совершенно отличается от всех уже известных волн. Эти волны представляют собой передачу из одних мест пространства в другие колебаний электрического и магнитного полей, создаваемых электрическими зарядами и токами. Электромагнитные волны — волнообразное колебание магнитных и электрических сил, которое, подобно волнам на воде, передается в пространстве все дальше и дальше с огромной скоростью. Для распространения этих волн вещество не обязательно. Они могут распространяться всюду, в том числе и в пустоте, т. е. в пространстве, где нет атомов и молекул вещества. Расчеты Максвелла показали, что электромагнитные волны должны распространяться со скоростью света. Поэтому Максвелл решил, что свет — это тоже электромагнитные волны. Однако многие ученые того времени не поверили Максвеллу, так как у него не было опытных доказательств правильности его выводов.

Несколько позднее, в 1888 году немецкий физик Герц получил на опыте волны, предсказанные Максвеллом.

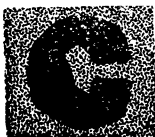
Герц, Лебедев и другие исследователи, изучив электромагнитные волны, установили, что они обладают всеми известными тогда свойствами света: они отражались, преломлялись, интерферировали, обнаруживали дифракцию и т. д. Это служило доказательством того, что свет — электромагнитные волны.

Из теории Максвелла следовало, что пределов для длины волны у электромагнитных волн нет. Они могут быть как длиннее, так и короче световых. В настоящее время получены и изучены электромагнитные волны, имеющие длину волны от одной десятиллионной доли микрона ( $10^{-11}$  сантиметра) до нескольких километров. Электромагнитные волны, длина волны у которых больше, чем у инфракрасных лучей, называются радиоволнами (см. рис. 16).

В 1924 году советский физик Глаголева-Аркадьева получила волны в одну десятую миллиметра (100 микрон), которые можно считать и радиоволнами, и инфракрасными лучами. Таким образом, с длинноволновой стороны световой спектр сомкнулся со спектром радиоволн. По другую сторону светового спектра за ультрафиолетовыми лучами расположены рентгеновские лучи, открытые в 1895 году Рентгеном. За рентгеновскими лучами идут гамма-лучи с самыми малыми длинами волн. Гамма-лучи испускаются радиоактивными веществами.

Границы между различными излучениями весьма условны: при изменении длины волны одни лучи непрерывно переходят в другие и даже отчасти перекрывают друг друга. Это говорит об их общей природе. Все они являются электромагнитными волнами. Видимый свет составляет лишь небольшую долю общего спектра электромагнитных волн. Все остальные лучи не видимые для человеческого глаза.

### КОРПУСКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА



вет идет к нам от Солнца. Но Солнце не единственный источник света. Пылающий костер тоже излучает свет. Всякое раскаленное тело светится. Но не следует думать, что свет рождается только в горячих телах. Есть и холодные источники света: светятся гнилушки в лесу, жучки-светлячки, маленькие рачки, живущие в морях, светятся

циферблаты часов и многие другие тела, оставаясь при этом холодными. Однако во всех случаях светятся тела, свет всегда исходит от вещества. Значит, свет рождается в веществе. Вещество порождает и видимый свет, и инфракрасный, и ультрафиолетовый, и рентгеновские, и гамма-лучи. С другой стороны, свет, встречаясь с веществом, взаимодействует с ним. Вещество отражает, преломляет и, наконец, поглощает свет. Поглощаясь, свет исчезает в веществе.

Солнечный свет белый. Свет электрической лампочки желтоватый, а газ, сгорая в кухонной плите, имеет голубое свечение. Почему источники дают разный по цвету свет? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно выяснить, как рождается свет и как он взаимодействует с веществом.

### Ультрафиолетовая катастрофа

Обычные тела и предметы в темноте не светятся.

Если же любое тело нагреть, оно будет светиться само. Чем сильнее нагрето тело, тем ярче оно светится. По мере нагревания изменяется цвет свечения тел от красного до желтого и, наконец, до белого. Мы так и говорим, что тело нагрето до «красного каления» или до «белого каления». «Белое каление» получается при большей температуре тела. Электроплитка светит гораздо хуже электрической лампочки потому, что температура спирали плитки много ниже температуры нити лампы. Спираль нагрета только до красного каления, а нить почти до белого. Следовательно, излучение тел зависит от их температуры.

Кроме видимого света, нагретые тела излучают и невидимые инфракрасные и ультрафиолетовые лучи. При слабом напряжении в электросети спираль электроплитки разогревается хуже и вообще не светится. В этом случае она излучает только невидимые инфракрасные лучи. Инфракрасные лучи излучают все тела, так как все тела, окружающие нас, нагреты. Когда мы называем одни тела теплыми, а другие холодными, то делаем это условно, по отношению к температуре нашего тела. Совершенно охладить тело — это значит остановить движение его частиц. Такое охлаждение возможно только при температуре минус 273 градуса по Цельсию (абсолютный нуль темпера-

туры). На Земле же все теплое, все тела нагреты, и поэтому все светится видимыми или невидимыми лучами. Светится и сам человек.

На опыте легко обнаружить, что разные тела, нагретые одинаково, светятся по-разному. Значит, способность тел излучать свет зависит не только от их температуры. Оказалось, что лучше излучают свет те тела, которые при комнатной температуре имеют черный цвет. Белые тела излучают значительно хуже. Сразу трудно согласиться с таким утверждением. Но в этом легко убедиться на опыте. Нужно найти черепок от белой фарфоровой или фаянсовой посуды с черным рисунком и нагреть его в некопящем пламени до высокой температуры. В темноте будет видно, что рисунок светится ярче белого фарфора.

Кирхгоф, изучая поглощение и излучение света разными телами, открыл закон, говорящий о том, что чем лучше тело поглощает свет, тем оно лучше его излучает, если его нагреть.

Из закона Кирхгофа следует, что лучше всего должно излучать свет абсолютно черное тело. Абсолютно черное тело — это такое тело, которое полностью поглощает все падающие на него лучи. Модель такого тела нетрудно сделать самим. Возьмите полый шар (можно консервную банку) с небольшим отверстием. Внутреннюю поверхность шара надо зачернить сажей или покрасить черной краской. Тогда луч света, войдя через отверстие внутрь шара, упадет на его черную внутреннюю поверхность и почти полностью поглотится. Непоглотившаяся часть луча отразится и снова попадет на черную поверхность, как это показано на рис. 7, где опять луч почти полностью поглотится, и т. д. В результате назад из шара луч света не выйдет. Поэтому можно утверждать, что отверстие является абсолютно черным. Шар попробуйте снаружи тоже выкрасить в черный цвет, и тогда вы увидите, что какую бы черную краску вы ни применили, отверстие всегда будет казаться более черным, чем покрашенная внешняя поверхность.

Черным по цвету абсолютно черное тело кажется только тогда, когда его температура низкая. Если черное тело сильно нагреть, оно будет ярко светиться, даже ярче, чем любые другие тела при равной температуре.

Абсолютно черное тело является не только лучшим поглотителем света, но и лучшим его излучателем.

Если свет, испускаемый черным телом, раскаленным добела, пропустить через призму или узкую щель, то, как мы уже знаем, произойдет разложение этого света в цветной спектр. Помещая термометр в разные участки

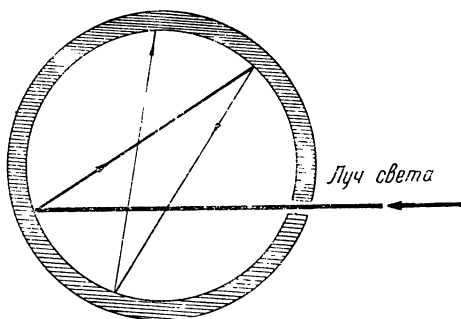


Рис. 7. Модель абсолютно черного тела.

спектра по степени его нагревания, можно судить о величине энергии, которую несут лучи разного цвета, в том числе и невидимые глазом. Таким образом можно измерить распределение энергии в спектре излучения черного тела и изобразить его при помощи графика. На рис. 8 показано несколько таких графиков для разных температур черного тела.

Из приведенных графиков видно, что только небольшая часть энергии, излучаемой черным телом, приходится на видимый свет. Большая часть энергии излучения достается невидимым лучам. Чем больше температура, тем больше излучается энергия и тем большая ее доля падает на видимый свет. Наибольшую энергию видимые лучи несут от черного тела, когда его температура около 6000 градусов.

Ученые, создатели и сторонники волновой теории света пытались научно объяснить, почему энергия излучения черного тела распределяется по длинам волн именно так, как это следует из опыта. Им удалось это сделать только для инфракрасных лучей. Для ультрафиолетовых лучей



никакого объяснения они дать не смогли. Многие ученые даже стали говорить об «ультрафиолетовой катастрофе» в физике.

Ликвидировать «ультрафиолетовую катастрофу», т. е. полностью объяснить распределение энергии в спектре

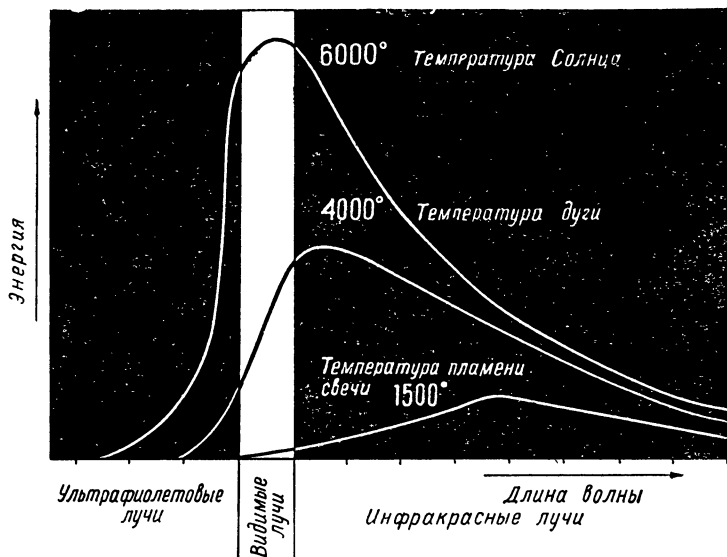


Рис. 8. График распределения энергии в спектре излучения черного тела при различных температурах.

излучения черного тела, удалось немецкому физiku Планку лишь в 1900 году. Но для этого Планк вынужден был предположить, что свет, т. е. электромагнитные волны, излучаются и поглощаются веществом только определенными порциями — квантами. Причем энергия кванта света, как показал Планк, тем больше, чем больше его частота. Для определения энергии кванта света Планк дал формулу

$$E = h \cdot \nu,$$

где  $h$  — постоянная Планка, всегда постоянная очень малая величина ( $6,6 \cdot 10^{-27}$  эргов в секунду, т. е. 6,6, деленное на единицу с 27 нулями). Открытие Планка означало революцию в учении о свете и сыграло в физике

огромную роль. Из формулы Планка видно, что чем больше частота света, тем больше энергия квантов и тем заметнее проявляется «зернистость» света. За время после открытия Планка найдено большое число доказательств его справедливости. В настоящее время это твердо установленная истина.

### Солнце — абсолютно черное тело

Мы уже раскладывали белый солнечный луч в спектр цветных лучей. Сделаем это еще раз и при помощи термометра определим, как распределена энергия в спектре Солнца.

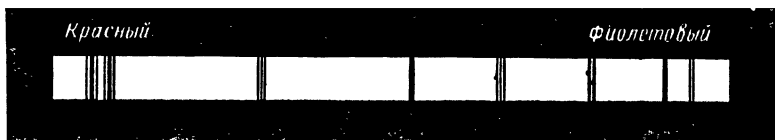


Рис. 9. Солнечный спектр с фраунгоферовыми линиями поглощения.

Подобный опыт показал, что спектр Солнца такой же, как у абсолютно черного тела в том случае, когда это тело нагрето до 6000 градусов. О чем это говорит? Это говорит о том, что Солнце является естественным абсолютно черным телом.

Совпадение спектра Солнца со спектром черного тела, нагретого до температуры 6000 градусов, позволяет утверждать, что поверхность Солнца, излучающая свет, имеет столь же высокую температуру. Таким путем удалось измерить температуру поверхности Солнца.

Хотя солнечный спектр и очень похож на спектр сильно нагретого искусственного абсолютно черного тела, между ними есть и различие, которое долгое время ускользало от внимания ученых. Ньютон, который первым много занимался изучением солнечного спектра, не заметил, что спектр Солнца испещрен тонкими черными линиями, как показано на рис. 9. Это впервые заметил в 1802 году Волластон. Позднее темные линии на ярком фоне солнечного спектра подробно изучил Фраунгофер. После этого их стали называть фраунгоферовыми линиями. Таким образом, более тщательное исследование спектра Солнца показало, что некоторые его цветные лучи

приносят к нам почему-то меньше энергии, чем лучи, рядом расположенные в спектре. А некоторые цветные лучи вовсе отсутствуют. Графики распределения энергии в спектре разогретого черного тела «гладкие», они изо-

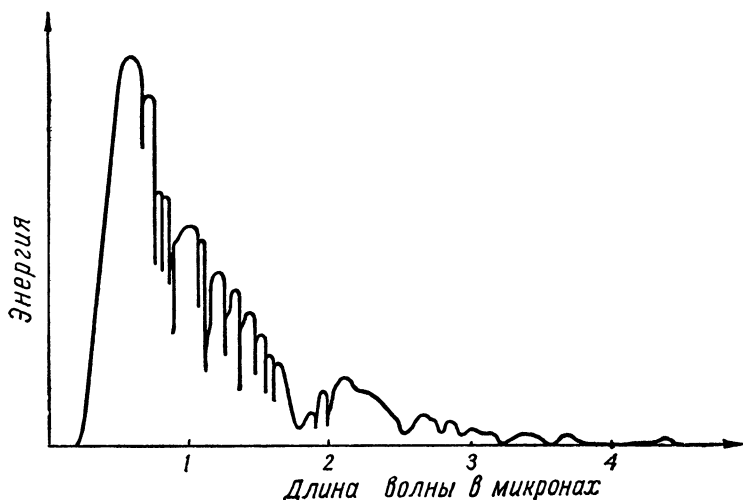


Рис. 10. Распределение энергии в спектре Солнца.

бражаются, как было показано на рис. 8, плавными кривыми. Аналогичный график для солнечного спектра имеет «провалы» и «зазубрины» как раз в тех местах, где расположены линии Фраунгофера (рис. 10).

### Голос атомов

Мы познакомились со спектром света, испускаемого раскаленным черным телом. Он оказался сплошным, т. е. содержащим все цветные лучи. Подобный сплошной спектр имеют и все другие твердые и жидкие тела. Но, кроме них, в природе существуют еще и газы, которые тоже светятся, если их нагреть. Простые опыты говорят о том, что разные газы светятся по-разному и не так, как твердые или жидкие тела. Пламя спички (светящийся газ) имеет желтый цвет. Пламя обычного светильного газа при полном его сгорании почти бесцветно. Если светильный газ сгорает неполностью, его пламя имеет голубой цвет.

Попробуйте в пламя газовой горелки ввести кусочек обычной поваренной соли. Пламя окрасится ярко-желтым цветом. Поваренная соль — это химическое соединение двух простых веществ — натрия и хлора. В газовом пламени соль разлагается на составные части. Об этом можно догадаться по неприятному запаху хлора. Хлор — газ. Натрий — металл, но он плавится при 97 градусах, а при температуре около 750 градусов натрий становится газом. Пламя газовой горелки имеет температуру больше 750 градусов. Поэтому твердая поваренная соль в этом пламени превращается в газ хлор и газообразный натрий. Один из этих газов и светится ярко-желтым цветом, что легко установить, если порознь вводить в пламя хлор и натрий. Другие химические вещества, будучи превращены пламенем горелки в газ, светятся и окрашивают пламя иначе.

Наблюдать свечение многих веществ в газовом пламени не удастся, так как его температура не очень большая. Для этих целей лучше воспользоваться электрической дугой, где температура достигает 4000 градусов. При такой высокой температуре любое вещество превращается в пар, т. е. становится газом.

Газы при комнатных температурах состоят из молекул. В молекуле объединяется по нескольку атомов.

При температуре электрической дуги молекулы любого газа распадаются на отдельные атомы. Раскаленный газ оказывается состоящим не из молекул, а из атомов. Значит, свечение атомов различных химических веществ окрашивает пламя в разные цвета.

По окраске пламени можно быстро узнавать, какой химический состав имеет то или иное сложное вещество. Не нужно проделывать очень сложную и кропотливую работу, которую приходилось выполнять химикам, чтобы выяснить состав сложных веществ. Однако оказалось, что некоторые разные вещества окрашивают пламя в одинаковый цвет. Так по крайней мере кажется на глаз. Например, пары металла лития и пары металла стронция придают пламени одинаковый малиново-красный цвет.

Если свет, испускаемый раскаленным газом, пропустить через стеклянную призму или узкую щель, то он должен разложиться в спектр. Это позволит выяснить, какие цветные лучи содержит свет тех или иных атомов.

Когда это проделали, то увидели, что спектр газов, состоящих из атомов, содержит лишь отдельные цветные линии. На черном фоне экрана загорались в разных местах по несколько цветных линий. Такие спектры, состоящие из отдельных линий, называли линейчатыми. На рис. 11 условно показаны спектры, которые дают пары натрия, лития и стронция.

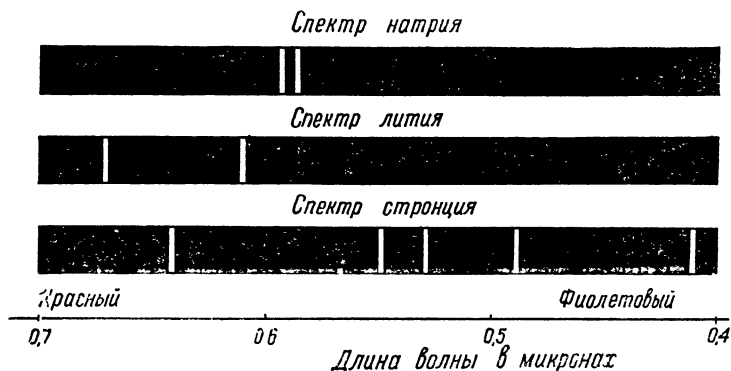


Рис. 11. Линейчатые спектры испускания натрия, лития и стронция.

Каждый цветной луч преломляется в призме по-своему и занимает в спектре свое, определенное место. Поэтому каждую спектральную линию образует луч определенного цвета, т. е. имеющий определенную длину волны. В спектре натрия оказались только две желтые линии, расположенные рядом (длина волны приблизительно 0,59 микрона). В спектре лития оказались тоже две линии, но одна из них красная (длина волны  $\lambda = 0,67$  микрона), а другая оранжевая ( $\lambda = 0,61$  микрона). Спектр стронция содержит много линий, среди которых есть красная ( $\lambda = 0,64$ ), желтая ( $\lambda = 0,55$ ), зеленая ( $\lambda = 0,526$ ), голубая ( $\lambda = 0,487$ ) и фиолетовая ( $\lambda = 0,41$ ). Но и в спектре лития и в спектре стронция красные линии самые яркие. Поэтому испускаемый ими свет и кажется одинаковым.

Исследования показали, что все раскаленные газы испускают свет, состоящий из отдельных цветных лучей, причем у различных газов цветные лучи разные. Линейчатые спектры нагретых газов называли спектрами испус-

кания. У каждого сорта атомов свой особый линейчатый спектр испускания. Поэтому их образно называют «голосом» атомов. По этим «голосам» ученые безошибочно узнают о том, атомы каких химических элементов имеются в любом сложном веществе. Этот метод анализа сложных веществ получил название спектрального анализа, Спектральный анализ позволяет в одну-две минуты определить состав, например, стали и судить о качестве металла, из которого сделана та или иная деталь машины. Советские инженеры широко используют этот метод для молниеносного контроля качества металлов на металлургических и машиностроительных заводах.

Спектральный анализ позволил ученым открыть около двух десятков новых химических элементов, не известных ранее. Среди них такие редкие элементы, как рубидий, цезий, индий, галлий и другие. Все эти элементы встречаются в природе в очень малых количествах, и поэтому их не могли открыть обычными химическими средствами. «Услышав» сначала «голоса» атомов этих элементов, химики начали тщательные поиски, и, наконец, получили их в чистом виде.

По закону Кирхгофа, тела, хорошо излучающие свет, хорошо его и поглощают. Может быть, атомы тоже подчиняются этому закону? Тогда атомы, очевидно, должны хорошо поглощать те цветные лучи, которые они излучают. Опыт подтвердил это положение. Если свет от раскаленного добела металла пропустить через призму, получится, как мы уже знаем, сплошной спектр, содержащий лучи любого цвета. Но если на пути белого луча перед призмой поставить прозрачный стеклянный сосуд с известным газом, температура которого низкая и сам газ не светился, то картина сплошного спектра сразу изменится. На нем появятся темные линии, как раз на том месте, где получаются светлые линии спектра испускания того же газа. Значит, атомы охлажденного газа «вырвали» из сплошного спектра белого луча и поглотили как раз те цветные лучи, которые они сами способны излучать в раскаленном состоянии. Новые спектры, состоящие из темных линий на ярком фоне сплошного спектра, называли спектрами поглощения.

Спектры испускания и поглощения как бы дополняют друг друга, они оказались обращенными по отношению друг к другу. Зная один из этих спектров, можно

судить о характере другого спектра того же вещества. Легко догадаться, что спектральный анализ сложных веществ можно производить и по спектрам поглощения газов, при этом газы нагревать не нужно. Это открытие значительно расширило возможности спектрального анализа и привело к открытию таких новых элементов, как празеодима, неодима, самария, гольмия, тербия и другие.

Теперь мы можем легко объяснить, почему в сплошном спектре Солнца имеются темные линии Фраунгофера. Белый солнечный свет, созданный раскаленным солнечным веществом, прежде чем дойти до нас, проходит через газы, которые и поглощают отдельные цветные его лучи. Газы солнечный луч на своем пути встречает дважды: проходя атмосферу Солнца (хромосферу) и проходя атмосферу Земли.

Изучая фраунгоферовы линии в солнечном спектре, удалось установить, какие химические элементы имеются в его атмосфере. В настоящее время в атмосфере Солнца таким способом уже обнаружено свыше 60 элементов. Очень интересна история открытия одного из элементов — гелия (по-русски это название означает солнечный). Гелий был обнаружен сначала на Солнце в 1868 году по его спектру поглощения. Его поиски на Земле долгое время были безуспешны. Думали даже, что гелий встречается только на Солнце, а на Земле его нет. Некоторые ученые начали вообще сомневаться в существовании гелия. Наконец, через 27 лет, в 1895 году, гелий все-таки нашли на Земле, в норвежском минерале клевеите. Гелий — легкий газ, самый легкий после водорода.

Спектральный анализ света, идущего от звезд, позволил определить состав этих звезд. Оказалось, что весь звездный мир состоит из тех же химических элементов, какие имеются на Земле. Из этого следует, что бесконечная в своем разнообразии вселенная едина по природе.

### **Как рождается свет?**

Выше говорилось о том, что свет рождается в веществе. Теперь мы знаем, что он является «голосом» атомов. Следовательно, свет порождается атомами вещества. Атомы могут излучать не только видимый свет, но и невидимый. Как они это делают? Что происходит в атомах

при излучении света? Чтобы понять, как рождается свет, нужно знать устройство атомов.

Строение атомов очень сложное. Любой атом состоит из ядра и электронов, которые движутся вокруг ядра на разных от него расстояниях по замкнутым путям, которые называются орбитами. Для простоты можно считать, что орбиты электронов являются окружностями, центр которых там, где находится ядро атома. Вращаясь по орбитам, электроны образуют электронную оболочку атома.

Электронные орбиты располагаются в атоме по слоям — одни слои ближе к ядру, другие дальше. У самых тяжелых атомов таких элементов, как радий, уран, семь электронных слоев. Больше семи слоев не бывает. Электроны, расположенные в самом дальнем от ядра слое, называются внешними электронами (рис. 12). Вот эти внешние электроны при определенных условиях и создают видимый свет.

В нормальном состоянии атома электроны вращаются по своим обычным орбитам, не излучая и не поглощая света. При этом они имеют вполне определенную энергию. Чем дальше от ядра находится электрон, тем больше его энергия.

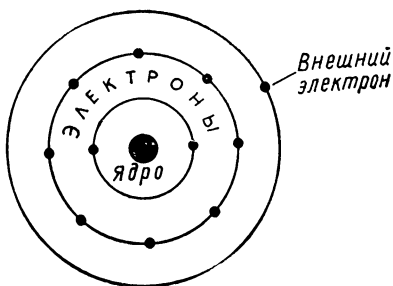


Рис. 12. Упрощенная схема атома натрия.

В газах молекулы все время беспорядочно движутся, они носятся в самых различных направлениях, часто сталкиваясь и отскакивая одна от другой. При нагревании газа его молекулы ускоряют свое беспорядочное движение, и при некоторой температуре их столкновения приводят к тому, что они разбивают друг друга на отдельные атомы. Атомы газа, как и молекулы, беспорядочно движутся и тоже сталкиваются друг с другом. Пока газ нагрет несильно, соударения атомов не нарушают порядка в расположении электронов в атомах. Но чем выше поднимается температура, тем быстрее движутся атомы газа и тем более сильные удары они испытывают при столкновениях друг с другом. Наконец, наступает такой момент, когда соударения атомов не проходят для них



бесследно. От ударов внешние электроны приобретают дополнительную энергию и «перескакивают» на орбиты, более удаленные от ядра, которые называют возбужденными орбитами. Чем большую дополнительную энергию получает электрон, тем на более далекую возбужденную орбиту он «перескочит».

Оказалось, что электроны не могут иметь любую энергию. Они могут изменять свою энергию только определенными порциями — квантами. Поэтому возбужденные орбиты имеют строго определенные радиусы, но все же их много. Получив сравнительно небольшую порцию энергии, электрон с нормальной орбиты перейдет на первую возбужденную орбиту (рис. 13). Если же порция до-

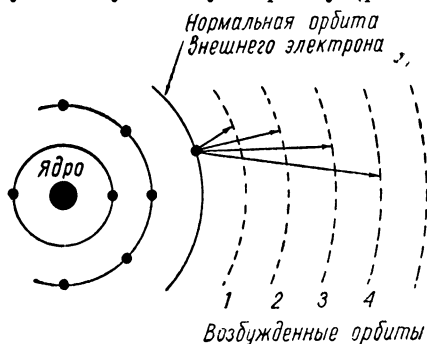


Рис. 13. Условно показаны возможные перескоки внешнего электрона на возбужденные орбиты при получении им дополнительной энергии.

полнительной энергии достаточно велика, то электрон может сразу перескочить на вторую, третью или более удаленную орбиту. Однако на возбужденной орбите электрон долго оставаться не может. Спустя малые доли секунды электрон снова возвращается на свою нормальную орбиту или сразу, или делая

короткие «остановки» на промежуточных орбитах. При перескоке с удаленной орбиты на более близкую к ядру электрон освобождается от излишка энергии, излучая квант света (рис. 14). Энергия кванта света по формуле Планка равна  $E = h\nu$ . Чем больше изменяется энергия электрона, тем более энергичный квант излучается им. А чем больше энергия кванта, тем больше частота света  $\nu$  и, следовательно, меньше длина его волны  $\lambda$ .

В каждом сорте атомов электроны имеют строго определенные орбиты, дозволенные квантовыми законами. Поэтому атомы каждого химического элемента излучают свои характерные для них цветные лучи. У каждого сорта атомов получается свой особый голос (линейчатый спектр испускания), не похожий на голоса атомов других элементов. Так рождается свет.

Рождение света в атомах можно сравнить с возникновением звука в музыкальном инструменте. Гитара не издает звука, пока не ударят по ее струнам, т. е. пока струнам не сообщат дополнительную энергию. Гитара создает много различных звуковых тонов, но все же это определенные тона, и промежуточных тонов гитара создать не может. У нее, как и у атома, линейчатый спектр звуковых волн. Атомы испускают много различных квантов света, но все же это кванты с определенной энергией, и промежуточных квантов атомы данного сорта не испускают.

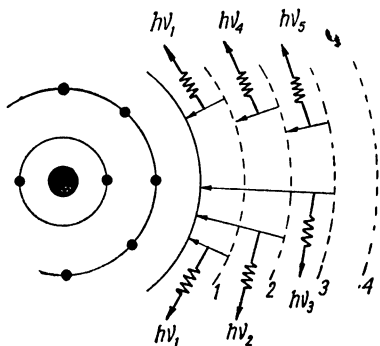


Рис. 14. Условно показаны возможные перескоки внешнего электрона при возвращении его на нормальную орбиту. Каждый перескок сопровождается излучением кванта определенной энергии.

Как уже говорилось, для перескока электрона на возбужденную орбиту нужно, чтобы электрон получил дополнительную энергию. Эту энергию он может приобрести не только при соударении атомов, но и поглотив квант света. Из рассказанного ясно, что поглощать атом может только такие кванты, какие он может излучать. Это значит, что атом может поглощать свет только определенного цвета, такого, какого он может испускать. Поэтому линейчатые спектры поглощения и испускания у атомов обратимы по отношению друг к другу.

Было бы, однако, совершенно неверно представлять себе, что квант, поглотившись атомом, «сидит» в этом возбужденном атоме, а затем при излучении «выскакивает» из него. Нужно считать, что атом и квант света, взаимодействуя, превращаются в возбужденный атом, а при обратном процессе, при излучении, возбужденный атом превращается в две другие частицы — нормальный атом и квант света.

При излучении и поглощении света атомом строго соблюдаются законы сохранения энергии и массы.

Если отдельные атомы могут излучать только отдель-

ные определенные цветные лучи, то как же получается сплошной спектр у раскаленного твердого тела, в котором имеются все цвета непрерывно, как в радуге, переходящие один в другой. Твердое тело, как и газ, состоит из атомов. В газе атомы находятся сравнительно далеко друг от друга, не связаны друг с другом и каждый «живет» сам по себе. Атомы газа взаимодействуют друг с другом только при столкновении. Поэтому атомы газа подобны одинаково настроенным гитарам. В твердом теле атомы находятся значительно ближе друг к другу. Между ними действуют большие силы притяжения, которые делают твердое тело прочным. Соседние атомы влияют друг на друга, сильно искажают пути движения внешних электронов и изменяют их энергию. Атомы твердого тела можно уподобить гуде расстроенных гитар, которые, зазвучав все вместе, наполняют воздух хаосом самых разнообразных звуков. Излучающий инструмент атомов в твердом теле «расстроен».

Физики изучают не только самые спектры, но и законы их изменений. По изменениям спектров можно узнать о тех условиях, в которых находятся излучающие атомы. По тому, как изменяются в звездных спектрах знакомые линии известных элементов, узнают, какова температура звезд, какое в них давление, как ионизированы атомы в звездах, как движутся звезды и многое другое.

### **Свет — поток частиц**

Изучая различные действия света на вещество, ученые убедились в правильности открытия Планка. Все действия света на вещество происходят так, как будто бы частицы вещества могут поглощать и испускать свет только целыми квантами. Прерывный квантовый характер действия света проявляется всюду: при нагревании вещества, при электрических и химических действиях света, при люминесценции и т. д. Объем брошюры не позволяет нам рассказать о многих явлениях и опытах, подтверждающих открытие Планка.

Несколько позднее (в 1904 г.) Эйнштейн, изучая фотоэффект, открытый Герцем и подробно изученный Столетовым, пришел к выводу, что свет не только излучается и поглощается порциями — квантами, но и распространяется в виде потока частиц — фотонов,

Известному советскому физику С. И. Вавилову удалось на опыте доказать, что свет является потоком частиц. Оказалось, что человеческий глаз при слабых световых потоках замечает прерывистость света. Глаз человека обладает исключительно большой чувствительностью к свету. Вавилов в своем опыте и воспользовался удивительной чувствительностью человеческого глаза.

Идею опыта Вавилова можно пояснить простым примером. Пусть через широкую трубку сыплется поток дробинок. Если дробинок очень много, то поток покажется нам сплошным, непрерывным. Если в какой-то момент времени проскочит на десяток-другой дробинок больше или меньше, мы этого не заметим. Другое дело, если дробины высыплются через узкую трубку по 2—3 штуки. Мы легко заметим, что поток дробинок не сплошной, а прерывистый. Если теперь в какой-то момент времени проскочит на несколько дробинок больше или меньше, мы это сразу увидим. Аналогично получается и в случае слабого светового потока. Опыт Вавилова, который позволил прямым, самым наглядным образом убедиться в фотонной структуре света, был одним из самых замечательных физических экспериментов нашего века.

Световые частицы — фотоны обладают энергией, обладают и массой. Энергия фотона является энергией кванта, которую мы уже умеем вычислять. Так, энергия фотона красного света, длина волны которого  $\lambda = 0,66$  микрона, равна

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{сек} \cdot 3 \cdot 10^{10} \text{ см/сек}}{6,6 \cdot 10^{-5} \text{ см}} = 3 \cdot 10^{-12} \text{ эрга} \approx$$

$\approx 10^{-5}$  калорий (одна стотысячная доля калории).

Массу фотона легко определить, если вспомнить о законе взаимосвязи между массой и энергией. Масса того же красного фотона равна

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c} = \frac{6,6 \cdot 10^{-27} \text{ эрг} \cdot \text{сек}}{6,6 \cdot 10^{-5} \text{ см} \cdot 3 \cdot 10^{10} \text{ см/сек}} \approx 3 \cdot 10^{-33} \text{ г}$$

(3 деленное на единицу с 33 нулями).

Фотоны отличаются от обычных частиц вещества тем, что они не могут быть неподвижными; они всегда движутся со скоростью света. «Остановка» света приводит к исчезновению всех его свойств, свет, как таковой,

перестает существовать. Это, впрочем, совершенно понятно, ибо «остановка» света означает его поглощение веществом. Если фотон попытаться остановить, поставив на его пути какое-либо тело, фотон «исчезнет», так как будет поглощен одним из атомов вещества, из которого сделано тело, помешавшее фотону двигаться.

\*       \*

\*

Краткое и далеко не полное изложение свойств света и явлений взаимодействия света и вещества приводит нас к выводу, что свет — это сложное природное явление, обладающее в одно и то же время свойствами частиц и свойствами волн. Волновые и корпускулярные свойства света неотрывны, неразделимы и взаимопроникают друг в друга. Такая двойственная природа света отражает одно из основных диалектических свойств всей материи — единство противоположностей.

Свет материален, он представляет собой материю со всеми ее неотъемлемыми свойствами: массой, весом, способностью двигаться с конечной скоростью и переносить энергию. Но вместе с тем свет является особым видом материи, отличным от материи в виде вещества, представляемой электронами, атомами, молекулами и вообще обычными телами, каждое из которых может существовать и при движении, и при остановке. Свет является электромагнитной формой или видом материи.

---

# Интересно, полезно знать

## Чувствительность человеческого глаза

Глаз человека приспособлен не к самому Солнцу, а к солнечному свету, рассеянному от окружающих тел. Лучше всего глаз видит зеленый свет, длина волны которого 0,555 микрона (рис. 15). Красный свет с длиной волны 0,76 микрона человек видит в 17 тысяч раз хуже.

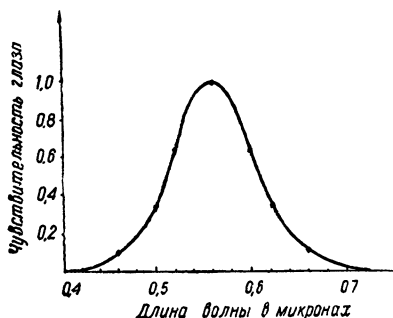


Рис. 15. Чувствительность глаза по отношению к лучам разного цвета. За единицу принята наибольшая чувствительность глаза к зеленому цвету.

## Почему мы не видим ультрафиолетовых и инфракрасных лучей

Ультрафиолетовые лучи химически разрушают органические вещества и могут убивать живые организмы, например бактерии. Хрусталик глаза сильно поглощает ультрафиолетовые лучи и тем самым защищает сетчатку глаза от их губительного действия.

Инфракрасные лучи излучаются всеми теплыми телами, в том числе и человеком, температура которого 37 градусов. Если бы мы могли видеть инфракрасные лучи, то глаз внутри засветился бы внутренним светом, по сравнению с которым потухло бы Солнце и все окружающее. Человек видел бы только внутренность своего глаза и ничего больше, а это равносильно слепоте.

# Шкала электромагнитных волн (Логарифмический масштаб)

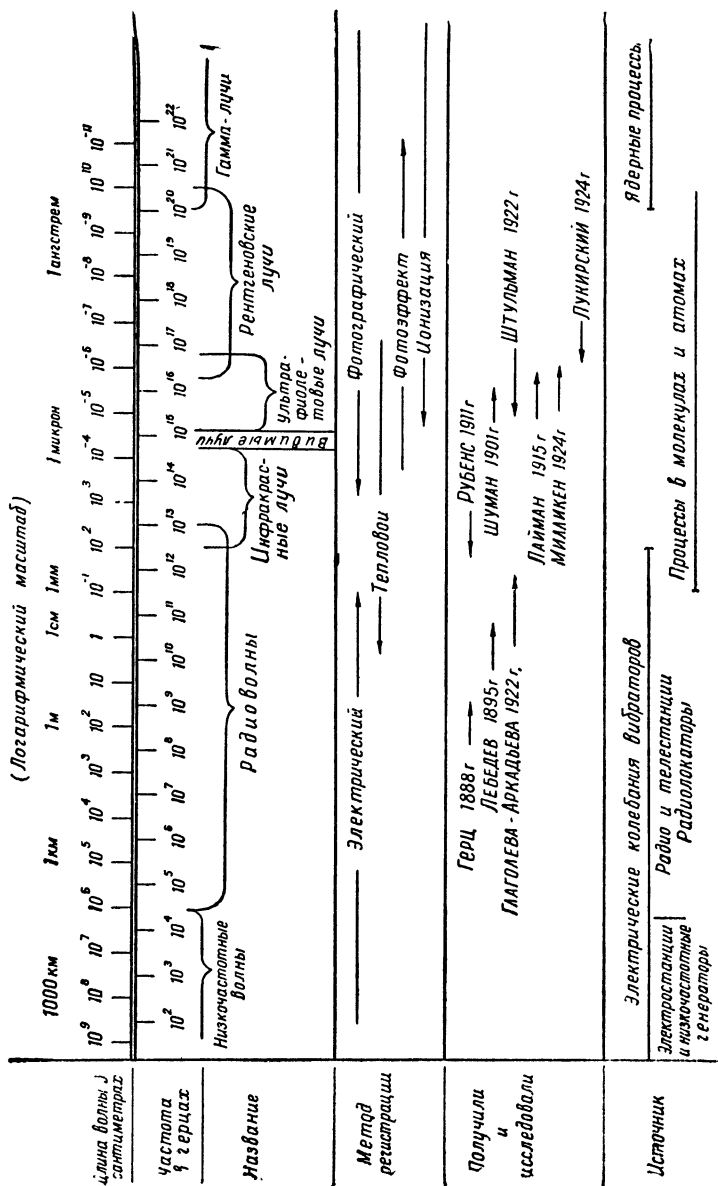


Рис. 16. Шкала электромагнитных волн в логарифмическом масштабе.

## Попробуйте решить

1. Почему цвет ткани можно определить более правильно при освещении ее лампой дневного света, чем при освещении лампой накаливания?

2. На заводах очень быстро (за 2 минуты) могут определить при помощи спектрального анализа марку кусков стали. Как это можно сделать, если твердые тела дают только сплошной спектр?

3. Определить, с какой силой действовал на зачерненную круглую пластинку световой поток в опытах Лебедева, если этот поток на каждый сантиметр освещаемой поверхности приносил энергию в 1,5 калорий в минуту. Диаметр круглой пластинки был равен 5 мм. Считать, что весь свет полностью поглощался пластинкой.

4. Два луча с длиной волны 0,75 микрона сходятся в одной точке. Что будет наблюдаться в точке схождения, если один луч проходит путь на 0,75 миллиметра больше, чем другой?

5. Глаз человека воспринимает свет длиной волны 0,5 микрона, если световые лучи, попадающие в глаз, несут энергию не менее  $5 \cdot 10^{-18}$  калорий в секунду. Какое количество световых квантов попадает в секунду в этом случае в глаз?

6. Какова длина волны, если соответствующий ей квант несет энергию  $10^{-10}$  эрга? К какой части спектра принадлежит эта длина волны?

7. Сколько фотонов испускает в 1 секунду нить лампочки мощностью 1 ватт, если средняя длина волны излучения равна 1 микрону.

## Советуем почитать

*Вавилов С. И. Глаз и Солнце. О «теплом» и «холодном» свете.* М., 1961. 160 стр., с илл. (Акад. наук СССР).

Академик С. И. Вавилов показывает, как материалистическая наука раскрыла свойства солнечного света, изучила строение и работу глаза, доказала приспособление органов зрения к солнечному свету.

На смену теплomu свету, излучаемому раскаленными телами, приходит и все больше укрепляет свои позиции искусственный холодный свет. Подробно о холодном свечении также говорится в этой книге.

*Суворова С. Г. О чем говорит луч света.* 3-е изд. М., Гостехиздат. 1953. 64 стр., с илл.

Автор объясняет, каковы природа и свойства света, что такое спектральный анализ и как он применяется в астрономии, физике, химии и технике. Отдельные главы посвящены «невидимому свету» — радиоволнам, рентгеновским лучам.

*Ашкенази Г. И. Цвет в природе и технике.* 2-е, дополненное изд. М.-Л., Госэнергоиздат. 1959. 87 стр. с илл.

Книга рассказывает о физической природе цвета, о его восприятии человеческим глазом, дает представление о приборах для измерения цвета. Описывается применение цвета в различных отраслях техники. Изложены достижения в передаче цвета в фотографии, кино, телевидении и в полиграфии.



## Краткий словарь к тексту брошюры

- Атом** — частица вещества, наименьшая часть химического элемента, являющаяся носителем его химических свойств. Каждому химическому элементу соответствует определенный род атомов.
- Ангстрем** — единица длины.  $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$  (одна стомиллионная доля сантиметра).
- Ватт** — единица мощности.  $1 \text{ вт} = 10^7 \text{ эрг/сек.}$
- Герц** — единица частоты периодических колебаний.  $1 \text{ герц} = 1 \text{ колебанию в секунду.}$
- Дисперсия** (латинское — разброс) — разложение света в спектр.
- Дифракция** (латинское — огибание, загибание) — отклонение света от прямолинейного распространения.
- Инфра** — латинское — ниже, под.
- Микрон** — единица длины.  $1 \text{ микрон} = 10^{-3} \text{ мм}$  (одна тысячная доля миллиметра).
- Калория** — единица измерения энергии. 1 калория равна энергии, которую необходимо затратить, чтобы нагреть 1 кубический сантиметр воды на 1 градус.
- Квант** — (латинское — порция) — наименьшее количество энергии, которое способен излучить или поглотить атом.
- Корпускула** (латинское — «тельце»). Корпускулами называют разного рода частицы.
- Оптика** (греческое) — раздел физики, изучающий свойства света.
- Спектр оптический** — (латинское — представление, образ) — совокупность световых волн, расположенных по мере уменьшения длины волны.
- Ультра** — за.
- Фотон** — частица электромагнитного излучения, частица света.
- Эрг** — единица энергии.  $1 \text{ эрг} = 24 \cdot 10^{-9} \text{ калорий}$  (24 миллиардных доли калории).
-

6 коп.

