

На пути лучей, прошедших через вращающийся прерыватель установки, изображенной на рис. 1.155, ставилась двойная щель Юнга  $D_2$  (рис. 1.157). За щелью располагался экран  $E$  с двумя отверстиями: одно из них приходилось на темную полосу в интерференционном поле, другое — на соседнюю светлую полосу. Наблюдалась и измерялась количественно флуктуации яркости световой полосы. Темная полоса оставалась все

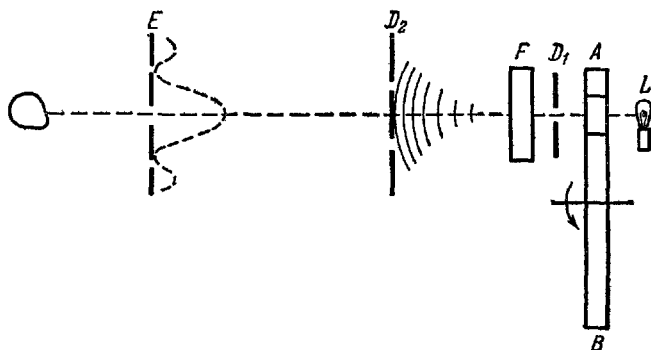


Рис. 1.157.

время темной. Как указывает Вавилов, «перед наблюдателем в этом опыте с особенной наглядностью проявляется корпускулярно-волновая двойственность светового процесса».

Действительно, в этих опытах наблюдалась интерференционная картина, создаваемая отдельными фотонами. Каждый фотон проходит через обе щели и затем интерферирует «сам с собой», никогда не попадая далее в участки экрана, на которых, согласно законам интерференции волн, интенсивность света должна равняться нулю. В «расщеплении» фотона на отдельные лучи, проходящие через обе щели Юнга одновременно, нет ничего странного, так как фотон не твердое тело и обладает совсем другими свойствами.

Если в показанном на рис. 1.157 приборе закрыть одну из двух щелей Юнга, то интерференция фотона прекращалась и флуктуации интенсивности наблюдались одинаково в обоих участках экрана  $E$ .

### § 38. Природа света

Подведем теперь некоторые итоги изложенных в §§ 30—37 многочисленных опытов и наблюдений, пришедших в противоречие с простыми классическими представлениями о чисто волновой природе света, и попробуем сформулировать, что же такое свет и электромагнитное излучение вообще.

Волновые свойства излучения проверены на огромном экспериментальном материале для всей доступной науке области — от длинноволнового, многометрового радиоизлучения и до коротковолнового рентгеновского и  $\gamma$ -излучения с длиной волны менее чем  $10^{-10}$  см.

Корпускулярные свойства излучения также проверены от самых жестких космических и  $\gamma$ -лучей до радиоизлучения.

Что же такое излучение — корпускулы или волны? Точнее — в каком смысле могут быть совмещены эти понятия?

Следует, во-первых, выяснить, как обстоит дело с рядом доказательств приведенных выше опытов, «однозначно» решавших задачу о природе света. Так, например, рассмотрение преломления света по корпускулярной теории Ньютона и волновой теории Гюйгенса при сопоставлении с опытами по исследованию скорости света в веществе позволяет, казалось бы, судить с определенностью о правильности волновой картины, а, скажем, рассеяние рентгеновских лучей в веществе — о правильности корпускулярной картины \*). Однако детальный анализ показывает, что такой вывод слишком поспешен, что в действительности оба представления гораздо более всеобъемлющи.

Так, при исследовании преломления по Ньютону исходят из того, что при прохождении частицы в оптически более плотную среду импульс световой частицы возрастает и, полагая его, как и для классической частицы, равным

$$p = mv, \quad (38.1)$$

приходят к результату, противоречащему опыту: с ростом  $p$  возрастает и скорость  $v$ . Однако если написать правильное выражение для импульса фотона:

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}, \quad (38.2)$$

то результат будет совсем иной. Действительно, в (38.2)  $h$  — постоянная,  $\nu$  — частота, не меняющаяся при переходе из одной среды в другую. Меняется лишь средняя скорость фотона  $\bar{c}$  и соответственно длина волны  $\lambda$ . Но теперь в выражении импульса она стоит не в числителе, а в знаменателе: с ростом  $p$  скорость  $\bar{c}$  уменьшается, что соответствует опыту. Таким образом, и корпускулярная теория может дать правильное объяснение явлениям преломления света. Но теперь это уже не примитивная корпускулярная теория Декарта — Ньютона, — она глубоко, органически связана с волновыми представлениями. Это видно хотя бы из

\*) Хотя импульс рассеянных рентгеновских фотонов в опытах Комптона также определялся по их частоте (длине волны) с помощью дифракции на кристаллах.

того, что в выражение для импульса (38.2) входит частота  $\nu$  (или  $\lambda$ ) — величина, чуждая «чистой» корпускулярной теории.

Точно так же можно получить правильное выражение и для других явлений, пользуясь одним из представлений, однако каждый раз, как и выше, правильный результат будет получен, если это представление будет не «чистым», только волновым или только корпускулярным.

Таким образом, обе картины — корпускулярная и волновая — выступают как равноправные, точнее, неразрывно связанные.

Нам следует теперь детально разобраться в том, что подразумевается под волновыми и корпускулярными свойствами фотонов, ибо в рамках обычных представлений эти качества несовместимы.

Для этого необходимо, во-первых, отдать себе ясный отчет в том, что такое волны и что такое корпускулы в обычном понимании, в рамках тех представлений, которые выработались в классической физике и стали привычными и наглядными.

### В о л н ы

1. Волна, рассматриваемая в классической физике, есть процесс, всегда связанный с какой-то материальной средой, несущей волну: звуковые волны в воздухе, упругие волны в жидкости и т. д. Волны, следовательно, можно определить как с о с т о я н и е несущей их материальной среды.

2. Волна не может быть локализована в области пространства, соизмеримой с длиной волны. Можно говорить о волновом процессе, определяемом фиксированной с достаточной точностью длиной волны  $\lambda$ , только если волны тянутся на длину, много большую  $\lambda$  (см. § 6). Точно так же и ширина потока волн должна быть велика по сравнению с длиной волны, иначе, в силу дифракции, теряется возможность говорить о направлении распространения потока волн.

3. Волна дробима, ее можно разделить на части, и такое деление ничем не ограничено. Так, если на пути волн поставить под углом ряд полупрозрачных для волн преград, то мы получим множество отраженных волн. При прохождении через дифракционную решетку волна дробится на ряд направлений и т. д.

### К о р п у с к у л ы

1. С корпускулами связывается представление о малых частицах вещества, занимающих определенный объем в пространстве. В пределе это — «материальная точка».

2. Положение корпускулы в пространстве всегда точно определяется заданием ее координат. Никаким другим движением,

например, вращением вокруг собственной оси, она обладать не может.

3. Изменение ее состояния заключается в перемещении вдоль траектории — никаких внутренних изменений она претерпевать не может: корпускула — бесструктурна.

Привычным в классической физике представлением материи является вещество, состоящее из корпускул, между которыми действуют силы «дальнего действия», осуществляющие взаимодействие между корпускулами «через пустоту», без всякого материального носителя.

Таким образом, с понятием материи связывалось представление о мельчайших частицах — крупинках материи — корпускулах, взаимодействующих на расстоянии, а волны рассматривались как состояние движения материальной среды.

Естественной и исторически обусловленной явилась и теория Декарта — Ньютона, в которой свет рассматривался как поток корпускул, и теория Гюйгенса о световых волнах в мировом эфире. Однако ни то, ни другое представление не могло полностью объяснить всего богатства фактов, установленных экспериментом.

Открытие дифракции и интерференции привело к крушению примитивной корпускулярной теории Декарта — Ньютона.

Невозможность построить удовлетворительную теорию эфира, и, наконец, исследования Майкельсона и других ученых привели к крушению примитивную волновую теорию.

К каким же заключениям о природе света (электромагнитного излучения) приводят все эти факты?

Свет не является волнами в эфире. Он материален сам по себе, как и любое электромагнитное поле (см. т. II, § 49). Он обладает волновыми свойствами, сказывающимися при интерференции и дифракции.

Выше уже отмечалось (§ 10), что все частицы светящегося тела испускают свет друг от друга независимо. Следовательно, волны, отвечающие любым двум фотонам светового пучка, некогерентны. Стало быть, дуг волн, отвечающих одному фотону, может интерферировать лишь сам с собой. Это прямо подтверждается опытами Вавилова (флуктуации в интерференционном поле).

В результате интерференции на дифракционной решетке волна разбивается на несколько волн, идущих по разным направлениям. Вот здесь-то и проявляются корпускулярные свойства фотона. *Волна, отвечающая одному фотону, не может разделиться, а будет распространяться в одном из направлений, разрешенных волновой теорией.* В каком именно — на этот вопрос теория ответа не дает. Здесь можно указать лишь в е р о я т н о с т ь того или иного возможного направления. К обсуждению этого вопроса мы

еще вернемся в связи с проблемой природы электрона и других частиц вещества (§ 46).

Следует четко представлять себе, что корпускулярная природа фотона не означает, что его можно трактовать как «материальную точку». Материальная точка не может обладать волновыми свойствами.

Под корпускулярными свойствами фотона следует понимать его неделимость при любых взаимодействиях.

Фотон как целое проходит все щели дифракционной решетки, интерферируя сам с собой. Точно так же как целое он поглощается затем фотопластинкой, оставляя на ней след в виде одной черной точки. Эта точка будет расположена в одном из тех мест пластинки, которое указывается волновой теорией. Суммарная же картина дифракции получается в результате того, что различные фотоны потока попадут в различные точки пластинки и в целом дадут привычную картину интерференции. Тот факт, что интерференционная картина не зависит от взаимодействия фотонов между собой, но определяется дифракцией фотона самого с собой, означает, что интенсивность пучка можно сколь угодно ослаблять, увеличивая соответственно время экспозиции. Под конец в приборе будет двигаться не множество фотонов, но отдельные фотоны поочередно. Равное их число дает одинаковую картину, независимо от того, двигались ли они вместе или проходили прибор поочередно. Экспериментально это было подтверждено весьма точными опытами венгерского физика Л. Яноши в 1958 г.

Все сказанное не создает еще достаточно наглядного представления о природе фотонов. Несмотря на многочисленные попытки, никому еще не удалось дать наглядную интерпретацию двойственной корпускулярно-волновой природы фотонов.

---