

симости от поворота николя мы видим полосы, создаваемые то вертикальными, то горизонтальными компонентами атомных осцилляторов.

Опыты С. И. Вавилова подтверждают модель атома или молекулы как излучающего диполя. Следует отметить, что иногда наблюдаются случаи слабого квадрупольного излучения (два навстречу направленных диполя), также обнаруживаемого методом С. И. Вавилова.

Мы увидим, что и в квантовой теории света атом сохраняет черты классического излучающего диполя. Пользуясь указанной моделью, можно вычислить *оптическое сечение* атома. Под оптическим сечением атома понимают площадь, с которой атом перехватывает энергию падающей на него световой волны.

При резонансе между световой волной и собственными колебаниями атома оптическое сечение атома равно примерно квадрату длины световой волны  $\lambda^2$ . Так как длина световой волны порядка  $10^{-5}$  см, оптическое сечение атома порядка  $10^{-10}$  см<sup>2</sup>, что в миллион раз превышает газокинетическое сечение атома, равное примерно  $10^{-16}$  см<sup>2</sup>.

Опытные данные качественно подтверждают такую большую величину оптического сечения атома или молекулы. В частности, эти сечения определяют величину коэффициента поглощения. Расчеты, основанные на квантовой теории, приводят к значениям оптического сечения атома, которые количественно согласуются с экспериментальными данными (§ 73).

## § 48. Эффект Вавилова — Черенкова

Световые волны могут возникать не только в результате внутриатомных колебаний. Любое ускоренное движение электрических зарядов должно сопровождаться отшнуровыванием силовых линий, т. е. возникновением электромагнитных волн. При соответствующих условиях получается достаточно коротковолновое излучение — видимый свет и рентгеновы лучи. Например, при резком торможении пучка быстрых электронов возникает интенсивное рентгеново излучение со сплошным «белым» спектром.

До 1934 г. необходимым условием возникновения световых волн считалось ускоренное движение зарядов. Однако в 1934 г. П. А. Черенков, работавший под руководством С. И. Вавилова, открыл принципиально новый тип свечения, названный впоследствии *эффектом Вавилова — Черенкова*. Свечение Вавилова — Черенкова с феноменологической точки зрения не связано с ускоренным движением электрических зарядов. Эксперименты Черенкова были довольно просты по своей методике. Пучок жестких гамма-лучей от радиоактивного препарата пропускался сквозь сосуд с жидкостью (рис. 179). При этом наблюдалось очень слабое, видимое только хорошо адаптированным в темноте глазом свечение. Опытами с магнитом было установлено, что свечение связано

не непосредственно с гамма-лучами, а вызвано быстрыми электронами, выбитыми гамма-лучами из атомов вещества.

Оказалось, что свечение поляризовано, причем электрический вектор направлен вдоль возбуждающего пучка. Но самым неожиданным свойством свечения Вавилова — Черенкова оказалась его направленность. Оно направлено вперед в виде конуса с меньшей интенсивностью излучения вдоль его оси (рис. 180). При повторении опытов Черенкова с пучком электронов, однородным по скоростям, все излучение оказалось сосредоточенным в очень тонком световом конусе.

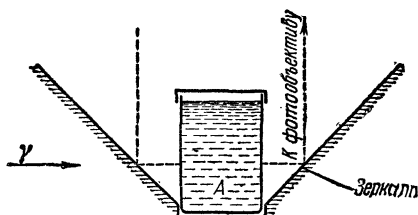


Рис. 179. Схема опыта Черенкова.

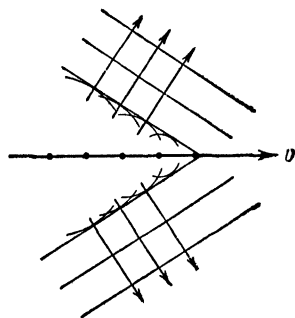


Рис. 180. Направленность излучения Черенкова.

И. Е. Тамм и И. М. Франк дали полную теорию этого замечательного явления. Они обратили внимание на то, что в данном случае имеет место движение электронов в среде со скоростью, превышающей фазовую скорость света в этой же среде. Поскольку скорость света в среде  $\left(\frac{c}{n}\right)$  меньше скорости света в вакууме  $c$ , такое соотношение не противоречит теории относительности. Электрон, летящий со сверхсветовой скоростью, сходен с пулей, летящей со сверхзвуковой скоростью. Известно, что пуля при этом звучит — «поет», поэтому и появился термин «поющий электрон».

Теория эффекта Вавилова — Черенкова может быть построена формально путем решения уравнений Максвелла. Однако более наглядны рассуждения, основанные на молекулярных представлениях.

Рассуждениями, аналогичными динамической теории дисперсии, нетрудно показать, что в данных условиях действительно должно наблюдаться свечение, обладающее всеми свойствами эффекта Вавилова — Черенкова.

Пусть по направлению стрелки (рис. 181) летит электрон с постоянной скоростью  $v$ ; своим полем он вызовет вынужденные когерентные колебания в молекулах среды, лежащих на его пути. В этом смысле действие электрона будет подобно действию первичной волны при распространении света в среде. Наблюдаемое

свечение представляет просто результат интерференции когерентных волн, испускаемых молекулами среды. При этом существенно, что, в отличие от случая дисперсии света, в данном случае эти волны распространяются в среде со скоростью, меньшей, чем скорость движения возмущающей молекулы фактора (электрона). При дисперсии света эти обе скорости, очевидно, равны между собой, поскольку возмущающим фактором является такая же световая волна.

За время  $t$ , пока электрон из точки  $A$  продвинуется в точку  $B$ , световая волна, испущенная молекулой, оказавшейся в  $A$ , дойдет до точки  $C$ , находящейся на расстоянии  $\frac{c}{n}t$ . Все молекулы, находящиеся в промежуточных точках между  $A$  и  $B$ , дадут волны, очевидно, касающиеся прямой  $CB$ . Все эти волны образуют плоскую световую волну, распространяющуюся в пространстве под углом  $\vartheta$ . Это построение напоминает нахождение фронта преломленной волны на основании принципа Гюйгенса — Френеля. Мы видим, что в результате движения электрона с *постоянной* скоростью в среде возникает световая волна. Угол  $\vartheta$  определится из треугольника  $ABC$  следующим простым соотношением:

$$\cos \vartheta = \frac{AC}{AB} = \frac{c}{vn}. \quad (13)$$

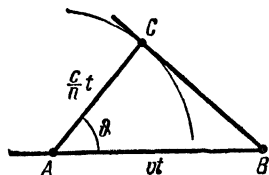


Рис. 181. К теории явления Черенкова.

Так как косинус всегда меньше единицы или равен единице, то угол  $\vartheta$  будет действительным только при  $v \geq \frac{c}{n}$ . Случай  $v = \frac{c}{n}$  соответствует  $\vartheta = 0$ , т. е. излучению в направлении падающего пучка. Такой случай, в частности, наблюдается при дисперсии света.

При эффекте Вавилова — Черенкова  $v > \frac{c}{n}$ , угол  $\vartheta$  имеет конечную величину, чем и объясняются указанные выше особенности явления.

Формула (13) оказалась в прекрасном количественном согласии с экспериментальными данными. Например, для бензола эксперимент дал  $\vartheta = 38^\circ 30'$ , а формула (13) дает  $\vartheta = 38^\circ 40'$ . За последние годы эффект Вавилова — Черенкова приобрел очень важное практическое применение в ядерной физике для регистрации быстрых частиц (§ 108). При этом измерения угла  $\vartheta$  служат для точного определения скорости регистрируемых частиц.

Эффект Вавилова — Черенкова безусловно принадлежит к числу самых замечательных открытий в области оптики за последние 25 лет.