

переход. Таким образом, если проградировать такой клин, нанеся вдоль него температуру в градусах, можно по месту перехода одного цвета в другой сразу оценивать температуру накаливаемого тела. Точность такого метода определения температур порядка 10 %. Пирометрический клин нашел себе широкое применение в металлургии.

§ 47. Атом как элементарный излучатель света

Источник радиоволн — антенна радиопередатчика — по своим свойствам эквивалентен колеблющемуся электрическому диполю (т. II, § 90). Точно так же элементарный излучатель световых волн — атом или молекула — представляет собой миниатюрный колеблющийся электрический диполь. Причиной, вызывающей появления световых волн, является ускоренное колебательное движение электронов в атоме или молекуле вдоль прямой, характеризующей направление этого диполя. Как мы уже говорили выше, такой светящийся атом испускает сферические световые волны. Но следует помнить, что в случае излучающего диполя сфера будет геометрическим местом точек с одинаковой фазой, а отнюдь не с одинаковой амплитудой колебания. В связи с поперечностью электромагнитных волн диполь ничего не излучает в направлении своей оси, т. е. в направлении колебаний электрона.

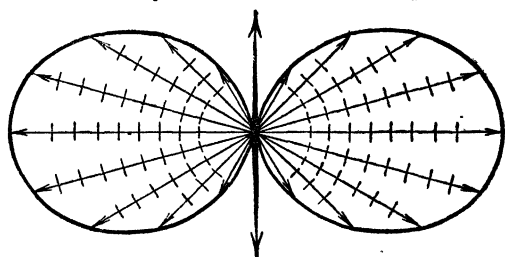


Рис. 176. Угловая диаграмма излучения диполя.

На рис. 176 изображена полярная диаграмма излучения диполя. На ней в качестве радиусов-векторов отложены величины векторов Умова — Пойнтинга, характеризующие потоки излучения по соответствующим направлениям. Таким образом на «полюсах» каждой сферической волновой поверхности, испускаемой электрическим диполем, имеются как бы два темных пятнышка, соответствующих направлению самого диполя. Справедливость такой картины для излучения радиоволн подтверждена многочисленными опытами, которые не слишком сложны по своей методике.

На рис. 176 изображена полярная диаграмма излучения диполя. На ней в качестве радиусов-векторов отложены величины векторов Умова — Пойнтинга, характеризующие потоки излучения по соответствующим направлениям. Таким образом на «полюсах» каждой сферической волновой поверхности, испускаемой электрическим диполем, имеются как бы два темных пятнышка, соответствующих направлению самого диполя. Справедливость такой картины для излучения радиоволн подтверждена многочисленными опытами, которые не слишком сложны по своей методике.

Так же обстоит дело с излучением световых волн отдельными атомами или молекулами. Любой реальный источник света состоит из огромного числа атомов с хаотически расположенными осями элементарных диполей в них. Поэтому кажется, что практически невозможно экспериментально проверить справедливость диаграммы рис. 176 для отдельного атома. Однако это не так. С. И. Вавилов предложил изящный экспериментальный метод, решивший эту трудную проблему.

Метод С. И. Вавилова основан на использовании *широкоугольной интерференции света*. Дело заключается в том, что когерентны между собой только те световые колебания, которые испущены *одним и тем же* атомом за *одну и ту же* световую вспышку, т. е. при одном определенном положении атомного диполя. Между колебаниями, испущенными различными атомами, и даже между колебаниями, испущенными одним и тем же атомом, но при последовательных вспышках, будет существовать хаотическая изменяющаяся разность фаз. Таким образом, если мы каким-то способом разделим весь свет, испускаемый источником, на две части и затем опять соединим эти две части вместе, то каждая часть волны, испущенной одним атомом, «узнает» другую часть волны, одновременно испущенной тем же атомом. Наличие миллиардов волн, испущенных другими атомами, ничего при этом не изменит. Каждая из них опять-таки будет «узнавать» только свою когерентную часть.

С. И. Вавилов в качестве источника света использовал микроскопический кристаллик азотнокислого урана. Это вещество под действием света само начинает светиться зеленоватым светом (§ 74). Кристаллик был помещен перед объективом микроскопа (рис. 177). Для получения интерференции использовалась схема, близкая к схеме звездного интерферометра Майкельсона (§ 34). Объектив микроскопа закрывался непрозрачной диафрагмой с двумя отверстиями на краях. Два луча света, проходившие через эти отверстия, интерферировали между собой, и в поле зрения микроскопа возникали интерференционные полосы. Так как эти полосы были очень частыми, вместо окуляра применялся второй микроскоп. Малые размеры кристаллика нужны были, чтобы полосы от разных точек источника не слились в результате наложения (§ 16). Чем больше было расстояние между отверстиями в диафрагме, т. е. чем больше был угол α между интерферирующими лучами, тем менее четкой становилась интерференционная картина.

При достаточно большом угле между интерферирующими лучами интерференционные полосы исчезали совсем, но при наблюдении сквозь николю появлялись опять. Вращение николя приводило к смещению интерференционных полос — темные полосы становились светлыми и наоборот.

Нетрудно показать, что такое своеобразное поведение интерференционной картины есть непосредственное следствие свойств атома как излучающего диполя. Следуя С. И. Вавилову, заменим реальную

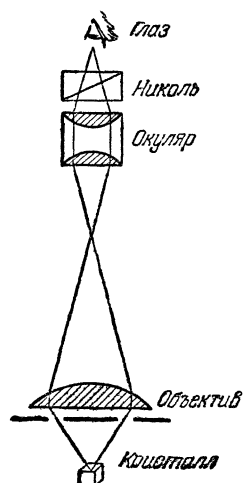


Рис. 177. Схема опыта Вавилова по наблюдению широкоугольной интерференции.

схему его опыта упрощенной. Возьмем предельный случай, когда интерферирующие лучи образуют угол 180° , т. е. направлены в противоположные стороны. Для интерференции таких лучей придется применить два зеркала, поставленных под углом 45° к направлению лучей. Поместим строго посредине между зеркалами излучающий атом. Поскольку кристалл мал, интерференционные картины отдельных атомов практически совпадут друг с другом. Направление дипольного момента атома вообще ориентировано произвольно по отношению к направлению лучей. Но всякое линейное колебание можно представить как сумму трех взаимно-перпендикулярных линейных колебаний. Пусть два из этих диполей направлены так, как

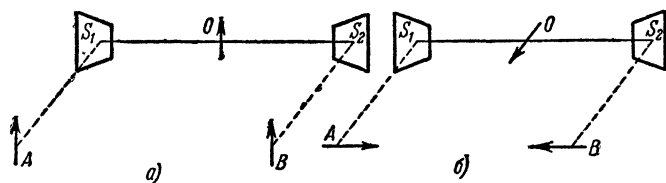


Рис. 178. Упрощенная схема опыта Вавилова.

a — диполь перпендикулярен к плоскости S_1AS_2B ; *б* — диполь параллелен плоскости S_1AS_2B .

это изображено на рис. 178, а третий параллелен направлению лучей. Согласно сказанному выше третий диполь не будет ничего излучать в направлении интерферирующих лучей; следовательно, он не участвует в создании интерференционной картины.

Рассмотрим интерференционные картины, создаваемые каждым из первых двух диполей. Предполагается, конечно, что имеется еще линза, в фокальной плоскости которой и сходятся интерферирующие лучи. Вертикальный диполь, очевидно, даст интерференционную картину со светлой полосой в центре, так как там разность хода равна нулю и электрические векторы параллельны друг другу. Горизонтальный диполь, наоборот, даст интерференционную картину с темной полосой в центре. Разность хода и здесь, конечно, равна нулю, но несмотря на это, электрические векторы, повернувшиеся при отражении от зеркал на прямые углы, направлены навстречу друг другу.

Все светлые полосы одной картины совпадут с темными полосами другой картины, и в результате получится совершенно равномерно освещенное поле. Но, согласно сказанному, это поле будет обладать полосатой поляризацией. В одних местах электрическое поле направлено вертикально (светлые полосы вертикального диполя), в других — горизонтально (светлые полосы горизонтального диполя). Достаточно поставить николю, чтобы обнаружилась эта структура поля и появились интерференционные полосы. В зави-

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 λ^2 . Так как длина световой волны порядка 10^{-5} см, оптическое сечение атома порядка 10^{-10} см², что в миллион раз превышает газокинетическое сечение атома, равное примерно 10^{-16} см².

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