

§ 2.4. ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В ОПТИКЕ. ДЛИНА СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ

Для того чтобы при наложении световых волн наблюдалась устойчивая интерференционная картина, необходимо, чтобы волны были когерентны, т. е. имели одинаковую длину волны и постоянную разность фаз.

Идея Огюстена Френеля

Для получения когерентных источников света французский физик Огюстен Френель (1788—1827) нашел в 1815 г. простой

* Исключения составляют квантовые генераторы света — лазеры, созданные в 1960 г. О лазерах мы расскажем в дальнейшем.

и остроумный способ. Надо свет от одного источника разделить на два пучка и, заставив их пройти различные пути, свести вместе. Тогда цуг волн, испущенных отдельным атомом, разделится на два когерентных цуга. Так будет для цугов волн, испускаемых *каждым* атомом источника. Свет, испускаемый одним атомом, дает определенную интерференционную картину. При наложении этих картин друг на друга получается достаточно интенсивное распределение освещенности на экране: интерференционную картину можно наблюдать.

Имеется много способов получения когерентных источников света, но суть их одинакова. С помощью деления пучка на две части получают два мнимых источника света, дающих когерентные волны. Для этого используют два зеркала (бизеркала Френеля), бипризму (две призмы, сложенные основаниями), билинзу (разрезанную пополам линзу с раздвинутыми половинами) и др. Мы подробно рассмотрим одно устройство.

Бипризма Френеля

Бипризма состоит из двух призм с малыми преломляющими углами, сложенных вместе, как показано на рисунке 2.9. Свет от источника S падает на левые (по рисунку) грани бипризмы, и после преломления возникают два световых пучка.

Продолжения лучей, преломленных верхней и нижней призмами, пересекаются в двух точках S_1 и S_2 , представляющих собой мнимые изображения источника S . При малых значениях преломляющих углов θ призмы источник и оба изображения лежат практически в одной плоскости. Волны в обоих пучках когерентны, так как фактически они испущены одним источником.

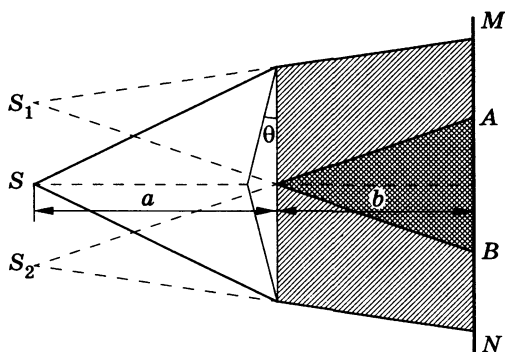


Рис. 2.9

Оба пучка налагаются друг на друга и интерферируют. Возникает интерференционная картина, описанная в предыдущем параграфе.

Очень наглядным доказательством того, что мы имеем дело именно с интерференцией, служит простое изменение опыта. Если одну половину бипризмы прикрыть непрозрачным экраном, то интерференционная картина исчезает, так как наложения волн не происходит. Расстояние между интерференционными полосами (2.3.13) зависит от длины волны λ , расстояния b от бипризмы до экрана и расстояния l между мнимыми источниками. Вычислим это расстояние.

Для вычисления l проще всего рассмотреть ход луча, падающего на призму нормально (рис. 2.10). Такого луча в действительности нет, но его можно построить, мысленно продолжив преломляющую грань призмы. Продолжения всех лучей, падающих на грань призмы, пересекаются в точке S_1 — мнимом источнике. Как видно из рисунка, $\alpha = \theta$ и $SA = a\theta$, где a — расстояние от источника до бипризмы. Согласно закону преломления для малых углов $\beta = n\theta$. (Углы малы при малом преломляющем угле призмы и при a , много большем размеров бипризмы.) Расстояние

$$AS_1 = \frac{l}{2} + a\theta \approx a\beta \approx a\theta n.$$

Отсюда $l = 2a\theta(n - 1)$. Расстояние между интерференционными полосами согласно (2.3.13) равно

$$\Delta h = \frac{\lambda D}{l} = \frac{\lambda(a + b)}{2a\theta(n - 1)}. \quad (2.4.1)$$

Здесь b — расстояние бипризмы до экрана.

Чем меньше преломляющий угол призмы θ , тем больше расстояние между интерференционными максимумами. Соответственно интерференционную картину легче наблюдать. Именно поэтому бипризма должна иметь малые преломляющие углы.

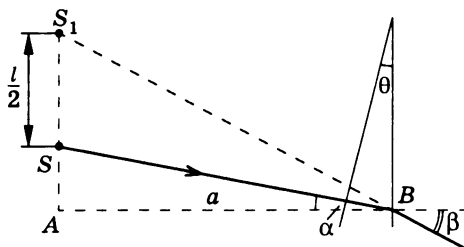


Рис. 2.10

Размеры источника

Для наблюдения интерференции с помощью бипризмы и подобных ей устройств геометрические размеры источника света должны быть малы. Дело в том, что группы атомов левой, к примеру, части источника дают свою интерференционную картину, а правой — свою. Эти картины смещены друг относительно друга (рис. 2.11). При больших размерах источника максимумы одной картины совпадут с минимумами другой и в результате интерференционная картина размажется (освещенность станет равномерной).



Рис. 2.11

Длина световой волны

Интерференционная картина позволяет определить длину световой волны. Это можно сделать, в частности, в опытах с бипризмой. Зная расстояния a и b , преломляющий угол θ бипризмы, ее показатель преломления n и измеряя расстояние Δh между интерференционными максимумами, можно найти длину световой волны λ с помощью формулы (2.4.1).

При освещении бипризмы белым светом только центральный максимум остается белым. Все остальные максимумы имеют радужную окраску. Ближе к центру картины появляется фиолетовая окраска, а дальше — красная. Согласно формуле (2.3.12), это означает, что длина волны красного цвета максимальна, а фиолетового минимальна. Расстояние интерференционного максимума от центра картины

$$h_k = \frac{D\lambda}{l} k. \quad (2.4.2)$$

Лишь при $k = 0$ $h_k = 0$ для всех длин волн.

Зависимость цвета от длины волны легко обнаружить, помещая на пути белого света, падающего на бипризму, различные светофильтры. Расстояния между максимумами для лучей красного цвета больше, чем для желтого, зеленого и всех других.

Измерения дают для красного света $\lambda_k \approx 8 \cdot 10^{-7}$ м, а для фиолетового $\lambda_\phi \approx 4 \cdot 10^{-7}$ м. Длины волн, соответствующие другим цветам спектра, имеют промежуточные значения.

Для любого цвета длина световой волны очень мала. Некоторое наглядное представление о длине волны можно получить из такого сравнения: если бы длина морской волны (несколько метров) увеличилась во столько раз, во сколько надо увеличить длину световой волны, чтобы она сравнялась с шириной страницы этой книги, то на всем Атлантическом океане (от Нью-Йорка в Америке до Лиссабона в Европе) уместилась бы лишь одна волна. Но все же длина световой волны примерно в тысячу раз больше диаметра атома (10^{-10} м).

Длина волны и цвет

Явление интерференции не только доказывает наличие у света волновых свойств, но и позволяет измерить длину световой волны. Одновременно выясняется, что подобно тому, как высота звука определяется его частотой, цвет света определяется длиной волны (или частотой колебаний, так как $\nu = \frac{c}{\lambda}$).

Зная, от какой физической характеристики световой волны зависит цвет, можно дать более глубокое, чем в § 2.2, определение дисперсии света. Дисперсией называется зависимость показателя преломления света от частоты колебаний (или длины волны).

Вне нас в природе нет никаких красок, есть лишь волны разной длины. Глаз — сложный физический прибор, способный различать незначительную (около 10^{-6} см) разницу в длине световых волн. Интересно, что большинство животных, в том числе и собаки, неспособны различать цвета, а различают лишь интенсивность света. Они видят черно-белую картину, как в обычном (не цветном) кино или на экране телевизора. Не различают цвета также дальтоники — люди, страдающие цветовой слепотой.