

Дисперсия света

Занимаясь усовершенствованием телескопов, Ньютон обратил внимание на то, что изображение, даваемое объективом, по краям окрашено. Он заинтересовался этим и первый «исследовал разнообразие световых лучей и проистекающие отсюда особенности цветов, которых до того времени никто даже не подозревал» (слова из надписи на надгробном памятнике Ньютону). Радужную окраску изображения, получаемого с помощью линзы, наблюдали, конечно, и до него. Было замечено также, что радужные края имеют предметы, рассматриваемые через призму. Пучок световых лучей, прошедших через призму, окрашивается по краям.

Опыт Ньютона был гениально прост. Ньютон догадался направить на призму световой пучок малого поперечного сечения. Пучок солнечного света проходил в затемненную комнату через маленькое отверстие в ставне. Падая на стеклянную призму, он преломлялся и давал на противоположной стене удлиненное изображение с радужным чередованием цветов. Стилизованное изображение опыта Ньютона показано на рисунке 8.42. Следуя многовековой традиции, согласно которой радуга считалась состоящей из семи основных цветов, Ньютон тоже выделил семь цветов: фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый и красный. Саму радужную полосу Ньютон назвал **спектром**.

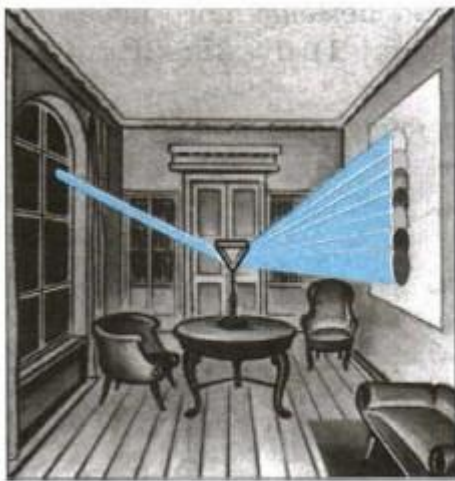


Рис. 8.42

Закрыв отверстие красным стеклом, Ньютон наблюдал на стене только красное пятно, закрыв синим стеклом — синее пятно и т. д. Это означало, что не призма окрашивает белый свет, как предполагалось раньше. Призма не изменяет свет, а лишь разлагает его на составные части. Белый свет имеет сложный состав. Из него можно выделить пучки различных цветов, и лишь совместное их действие вызывает у нас впечатление белого цвета. В самом деле, если с помощью второй призмы, повернутой на 180° относительно первой, собрать все пучки спектра, то опять получится белый свет. Выделив

какую-либо часть спектра, например, зеленую, и заставив свет пройти еще через одну призму, мы уже не получим дальнейшего изменения окраски.

Другой важный вывод, к которому пришел Ньютон, был сформулирован им в трактате «Оптика» следующим образом: «Световые пучки, отличающиеся по цвету, отличаются по степени преломляемости» (для них стекло имеет различные показатели преломления). Наиболее сильно преломляются фиолетовые лучи, меньше других — красные. Зависимость показателя преломления света от его цвета Ньютон назвал дисперсией¹.

¹ От латинского слова *dispersio* — рассеяние.

Показатель преломления зависит и от скорости света в веществе. Абсолютный

показатель преломления $n = \frac{c}{v}$. Луч красного цвета преломляется меньше из-за того, что красный свет имеет в веществе наибольшую скорость, а луч фиолетового цвета преломляется больше, так как скорость для фиолетового света наименьшая. Именно поэтому призма и разлагает свет. В пустоте скорости света разного цвета одинаковы. Если бы это было не так, то, к примеру, спутник Юпитера Ио, который наблюдал Рёмер, казался бы красным в момент выхода спутника из тени. Но этого не наблюдается.

Впоследствии была выяснена зависимость цвета от физической характеристики световой волны: ее частоты колебаний ν (или длины волны λ). Поэтому можно дать более глубокое определение дисперсии, чем то, к которому пришел Ньютон. **Дисперсией** называется зависимость показателя преломления среды от частоты световой волны.

Зная, что белый свет имеет сложный состав, можно объяснить удивительное многообразие красок в природе. Если предмет, например, лист бумаги, отражает все падающие на него лучи различных цветов, то он будет казаться белым. Покрывая бумагу слоем красной краски, мы не создаем при этом свет нового цвета, но задерживаем на листе некоторую часть имеющегося. Отражаться теперь будут только красные лучи, остальные же поглотятся слоем краски. Трава и листья деревьев кажутся нам зелеными потому, что из всех падающих на них солнечных лучей они отражают лишь зеленые, поглощая остальные. Если посмотреть на траву через красное стекло, пропускающее только красные лучи, то она будет казаться почти черной.

Явление дисперсии, открытое Ньютоном, — первый шаг к пониманию природы цвета. Основательно понять дисперсию смогли лишь после того, как была выяснена зависимость цвета от частоты колебаний (или длины световой волны).

ЗАДАНИЕ

1. Изучить тему и письменно ответить на вопросы:

1. На тетради написано красным карандашом «отлично» и зеленым — «хорошо». Имеется два стекла — зеленое и красное. Через какое стекло надо смотреть, чтобы увидеть слово «отлично»?
2. Почему только узкий световой пучок дает спектр после прохождения сквозь призму, а у широкого пучка окрашенными оказываются лишь края?
3. Что такое дисперсия света?

Интерференция механических волн

Любому волновому движению присущи явления интерференции и дифракции, с которыми мы начинаем сейчас знакомиться. Для того чтобы убедиться в том, что свет имеет волновую природу, необходимо было найти экспериментальные доказательства интерференции и дифракции света.

Чтобы лучше понять явление интерференции света, мы вначале остановимся на интерференции механических волн.

Сложение волн

Очень часто в среде одновременно распространяется несколько различных волн. Например, когда в комнате беседуют несколько человек, то звуковые волны накладываются друг на друга. Что при этом происходит?

Проще всего проследить за наложением механических волн, наблюдая волны на поверхности воды. Если мы бросим в воду два камня, образовав тем самым две круговые волны, то можно будет заметить, что каждая волна проходит сквозь другую и ведет себя в дальнейшем так, как будто другой волны совсем не существовало. Точно так же любое число звуковых волн может одновременно распространяться в воздухе, ничуть не мешая друг другу. Множество музыкальных инструментов в оркестре или голосов в хоре создает звуковые волны, одновременно улавливаемые нашим ухом. Причем ухо может отличить один звук от другого.

Теперь посмотрим более внимательно, что происходит в местах, где волны накладываются одна на другую. Наблюдая волны на поверхности воды от двух брошенных в воду камней, можно заметить, что некоторые участки поверхности не возмущены, в других же местах возмущение усилилось. Если две волны встречаются в одном месте своими гребнями, то в этом месте возмущение поверхности воды усиливается. Если же, напротив, гребень одной волны встречается с впадиной другой, то поверхность воды не будет возмущена.

Вообще же в каждой точке среды колебания, вызванные двумя волнами, просто складываются. Результирующее смещение любой частицы среды представляет собой алгебраическую сумму смещений, которые происходили бы при распространении одной из волн в отсутствие другой.

Интерференция

Сложение в пространстве волн, при котором образуется постоянное во времени распределение амплитуд результирующих колебаний частиц среды, называется интерференцией¹.

¹ От латинских слов *inter* — взаимно, между собой и *ferio* — ударяю, поражаю.

Выясним, при каких условиях наблюдается интерференция волн. Для этого рассмотрим более подробно сложение волн, образующихся на поверхности воды.

Можно одновременно возбудить две круговые волны в ванне с помощью двух шариков, укрепленных на стержне, которые совершают гармонические колебания (рис. 8.43). В любой точке M на поверхности воды (рис. 8.44) будут складываться колебания, вызванные двумя волнами (от источников O_1 и O_2). Амплитуды колебаний, вызванных в точке M обеими волнами, будут, вообще говоря, различаться, так как волны проходят различные пути d_1 и d_2 . Но если расстояние l между источниками много меньше этих путей ($l \ll d_1$ и $l \ll d_2$), то обе амплитуды можно считать практически одинаковыми.



Рис. 8.43

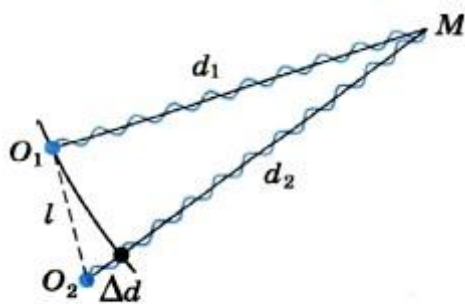


Рис. 8.44

Результат сложения волн, приходящих в точку M , зависит от разности фаз между ними. Пройдя различные расстояния d_1 и d_2 , волны имеют разность хода $\Delta d = d_2 - d_1$. Если разность хода равна длине волны λ , то вторая волна запаздывает по сравнению с первой на один период (именно за период волна проходит путь, равный ее длине

волны λ). Следовательно, в этом случае гребни (как и впадины) обеих волн совпадают.

Условие максимумов

На рисунке 8.45 изображена зависимость от времени смещений x_1 и x_2 , вызванных двумя волнами при $\Delta d = \lambda$. Разность фаз колебаний равна нулю (или, что тоже самое, 2π , так как период синуса равен 2π). В результате сложения этих колебаний возникают результирующие колебания с удвоенной амплитудой. Колебания результирующего смещения x на рисунке показаны цветной штриховой линией. То же самое будет происходить, если на отрезке Δd укладывается не одна, а любое целое число длин волн.

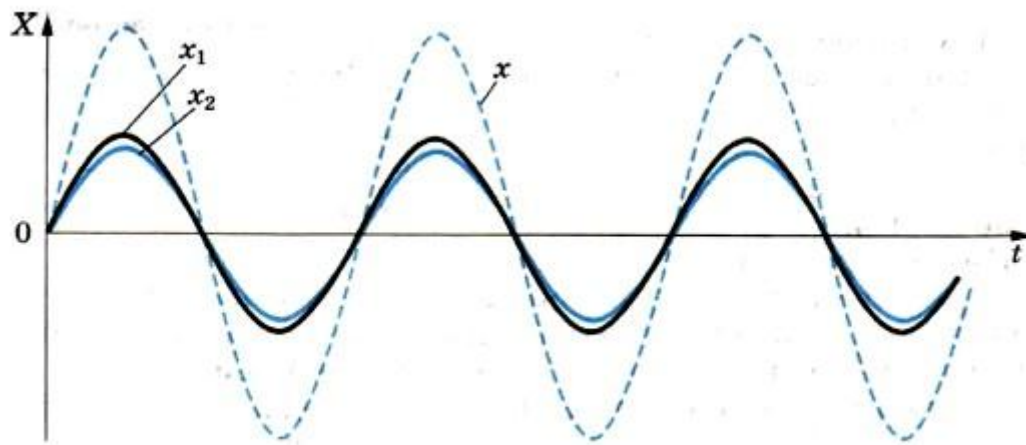


Рис. 8.45

Амплитуда колебаний частиц среды в данной точке максимальна, если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна целому числу длин волн:

$$\Delta d = \pm k\lambda, \quad (8.14)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots$

Условие минимумов

Пусть теперь на отрезке Δd укладывается половина длины волны. Очевидно, что при этом вторая волна отстает от первой на половину периода. Разность фаз оказывается равной π , т. е. колебания будут происходить в противофазе. В результате сложения этих колебаний амплитуда результирующих колебаний равна нулю, т. е. в рассматриваемой точке колебаний нет (рис. 8.46). То же самое произойдет, если на отрезке укладывается любое нечетное число половин.

Амплитуда колебаний частиц среды в данной точке минимальна, если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна нечетному числу половин:

$$\Delta d = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (8.15)$$

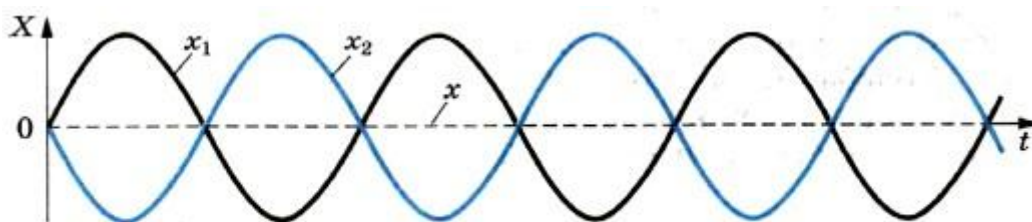


Рис. 8.46

Если разность хода $d_2 - d_1$ принимает промежуточное значение между λ и $\frac{\lambda}{2}$, то и амплитуда результирующих колебаний принимает некоторое промежуточное значение между удвоенной амплитудой и нулем. Но важно то, что амплитуда колебаний в любой точке не меняется с течением времени. На поверхности воды возникает определенное, неизменное во времени распределение амплитуд колебаний, которое называют **интерференционной картиной**. На рисунке 8.47 показана фотография интерференционной картины для двух круговых волн от двух источников (черные кружки). Белые участки в средней части фотографии соответствуют максимумам колебаний, а темные — минимумам.

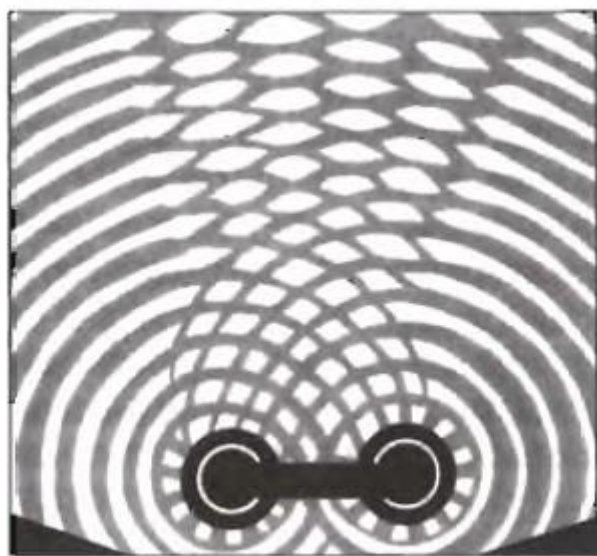


Рис. 8.47

Когерентные волны

Для образования устойчивой интерференционной картины необходимо, чтобы *источники волн имели одинаковую частоту и разность фаз их колебаний была постоянной*.

Источники, соответствующие этим двум условиям, называются **когерентными**¹. Когерентными называют и созданные ими волны. Только при сложении когерентных волн образуется устойчивая интерференционная картина.

¹ От латинского слова *cohaerere* — взаимосвязанный.

Если же разность фаз колебаний источников не остается постоянной, то в любой точке среды разность фаз колебаний, возбуждаемых двумя волнами, будет меняться с течением времени. Поэтому амплитуда результирующих колебаний с течением времени будет непрерывно изменяться. В результате

максимумы и минимумы перемещаются в пространстве, и интерференционная картина размывается.

Распределение энергии при интерференции

Волны несут энергию. Что же с этой энергией происходит при гашении волн друг другом? Может быть, она превращается в другие формы, и в минимумах интерференционной картины выделяется тепло? Ничего подобного!

Наличие минимума в данной точке интерференционной картины означает, что энергия сюда не поступает совсем. Вследствие интерференции происходит перераспределение энергии в пространстве. Она не распределяется равномерно по всем частицам среды, а концентрируется в максимумах за счет того, что в минимумы не поступает вовсе.

Обнаружение интерференционной картины доказывает, что мы наблюдаем волновой процесс. Волны могут гасить друг друга, а сталкивающиеся частицы никогда не уничтожают друг друга целиком. Интерферируют только когерентные (согласованные) волны.

ЗАДАНИЕ

1. Изучить тему и письменно ответить на вопросы:

1. Какие волны называют когерентными?
2. Что называют интерференцией?

2. Посмотреть видеоурок по ссылке:

<https://www.youtube.com/embed/m7fIgPFcpro>

3. Адрес моей электронной почты: elenakutuzova8@yandex.ru