



Глава 3

Оптика

«Солнце, небо, звезд сиянье,
море в блеске голубом,
Всю природу и созданья мы
лишь в свете познаем».

М. И. Чайковский

§ 14. Электромагнитная природа света

- С античных времен считалось, что свет практически мгновенно преодолевает любые расстояния. Вопрос о природе света долгое время также оставался открытым. Какими свойствами обладает свет? Как была измерена скорость его распространения?



Чем меньше скорость распространения света в среде, тем среда является оптически более плотной.

Оптика — раздел физики, в котором изучается физическая природа и свойства света, а также его взаимодействие с веществом. Соответственно световые явления часто называют оптическими явлениями. Слово оптика произошло от греч. *олτικός* (оптикос) — видимый, зрительный, поскольку основную часть информации о природе и происходящих в ней явлениях человек получает посредством зрительных ощущений, возникающих под действием света.



Под **светом** в оптике понимают электромагнитные волны, длины волн которых находятся в диапазоне от 2,0 мм до 10 нм. Этот диапазон делится на инфракрасный (2,0 мм—0,75 мкм), видимый (от 750 нм до 380 нм) и ультрафиолетовый (380 нм—10 нм) диапазоны.

Современная оптика основана на электромагнитной теории света. Как вам известно (см. § 12), во второй половине XIX в. Дж. Максвелл доказал возможность распространения электромагнитных волн в вакууме. Согласно выводам из его теории свет имеет электромагнитную природу,

поскольку скорость его распространения равна скорости электромагнитных волн в вакууме.

Первые попытки измерения скорости света, предпринятые в начале XVII в. Г. Галилеем и другими учеными, не увенчались успехом в силу недостаточной точности измерения времени (хронометрирования). Из результатов этих экспериментов Галилей сделал вывод, что измерить модуль скорости света на малых расстояниях практически невозможно, поскольку свет преодолевает их мгновенно в силу большого значения скорости распространения.

Декарт одним из первых предложил использовать для измерения модуля скорости света огромные (астрономические) расстояния, на преодоление которых свету потребуется значительное время, которое можно измерять с достаточной точностью.

Исторически первое экспериментальное определение модуля скорости света в вакууме в 1672 г. сделал датский астроном Олаф Рёмер, который проводил систематические наблюдения в телескоп затмений спутника Юпитера — Ио. Примерно через полгода после начала наблюдений он заметил, что момент затмения спутника Ио запаздывает почти на 16 мин по сравнению с вычисленным значением. Рёмер объяснил это запаздывание конечностью скорости распространения света. Действительно, поскольку за полгода Земля переместилась из положения I (рис. 82) в положение II, то свету необходимо пройти добавочное расстояние, примерно равное диаметру земной орбиты. А при конечности скорости света для этого необходимо больше времени.

На основании имевшихся в то время данных о диаметрах орбит Земли и Юпитера он получил для скорости света значение:

$$c = 2,12 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

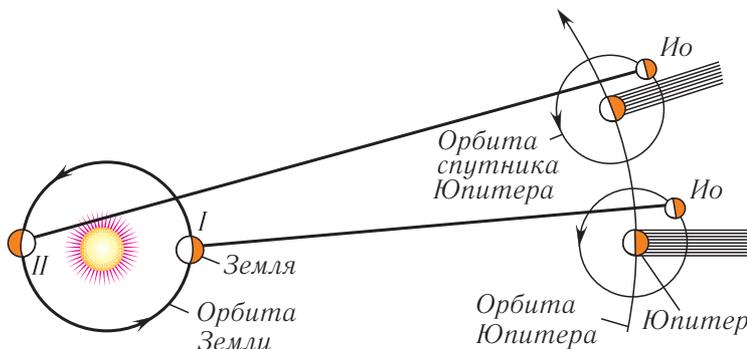


Рис. 82. Схема наблюдений Рёмера

Американский физик Альберт Майкельсон в 1926 г. для измерения скорости света использовал установку, в которой свет проходил между двумя горными вершинами. Он получил значение скорости света, близкое к современным данным:

$$c = (299796 \pm 4) \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

В 1972 г. скорость света была определена на основе независимых измерений длины волны и частоты света. Это позволило значительно повысить точность измерений. В качестве источника был выбран гелий-неоновый лазер. Таким образом, было получено значение скорости света, превосходящее по точности все ранее известные значения более чем на два порядка. Ввиду этого в 1983 г. на 17-й Генеральной конференции по мерам и весам значение скорости света в вакууме принято равным

$$c = 299\,792\,458 \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ (точно).}$$

Заметим, что при решении задач, как правило, используют приближенное значение модуля скорости света:

$$c \approx 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Именно это значение скорости распространения света c связывает длину волны λ в вакууме с периодом ее колебаний T :

$$\lambda = cT$$

и с частотой ν :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

Результаты измерений показали, что скорость света v в различных веществах всегда меньше, чем скорость света c в вакууме. В 1862 г. французский физик Жан Фуко измерил скорость распространения света в воде и получил значение $2,23 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Через несколько лет Майкельсон определил скорость распространения света в сероуглероде — $1,71 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Следовательно, в воде скорость распространения света уменьшается в 1,33 раза по сравнению с вакуумом, а в сероуглероде — в 1,64 раза.

Из курса физики 8-го класса вам известно, что чем меньше скорость распространения света в среде, тем среда считается оптически более плотной. Мерой оптической плотности вещества является его *абсолютный показатель преломления*, который обозначается латинской буквой n .

Абсолютный показатель преломления n вещества характеризует его оптические свойства и показывает, во сколько раз скорость распространения света в данном веществе меньше скорости распространения света в вакууме:

$$n = \frac{c}{v}. \quad (1)$$

Так как скорость распространения света в любом веществе всегда меньше, чем в вакууме, то абсолютный показатель преломления вещества всегда больше единицы ($n \geq 1$). Абсолютный показатель преломления зависит как от свойств вещества, т. е. его химического состава, агрегатного состояния, температуры, давления, так и от частоты света.

Исходя из соотношения (1), можно записать формулу для нахождения модуля скорости распространения света в веществе:

$$v = \frac{c}{n}, \quad (n > 1). \quad (2)$$

Кроме того, из соотношения (1) следует, что для любых сред:

$$n_1 v_1 = n_2 v_2 = \dots = c, \quad (3)$$

где n_1, n_2 — абсолютные показатели преломления сред, v_1, v_2 — скорости распространения света в средах.

Подставим в соотношение (3) выражение $v = \lambda \nu$, связывающее модуль скорости распространения света v в веществе с длиной волны λ и частотой ν . Так как при переходе электромагнитной волны из вакуума в вещество или из одного вещества в другое **частота колебаний** напряженности \vec{E} электрического поля и индукции \vec{B} магнитного поля **не изменяется** ($\nu = \text{const}$), то:

$$n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2 = \dots = \lambda,$$

где λ_1, λ_2 — длины световых волн в средах, λ — длина волны в вакууме.

Отсюда следует, что *длина световой волны* λ_n при переходе из одного вещества в другое *изменяется*.

Длина световой волны λ_n **в веществе**, абсолютный показатель преломления которого n , определяется по формуле:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n}. \quad (4)$$

Таким образом, при переходе света из одного вещества в другое частота остается неизменной, а изменяется скорость распространения световой волны и ее длина волны.

Белый свет представляет собой совокупность электромагнитных волн всевозможных частот видимого диапазона. Волна одной определенной частоты называется **монохроматической** (от греч. *μονος* (монос) — один и *χρῶμα* (хрома) — цвет, т. е. одноцветный).

Как показали результаты многочисленных экспериментов, световое ощущение у человека вызывают лишь электромагнитные волны определенного диапазона ($4,0 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$) Гц, которому соответствуют длины волн от $\lambda_1 = 0,76$ мкм до $\lambda_2 = 0,40$ мкм, воспринимаемые глазом человека.

Каждой частоте соответствует свое цветовое ощущение. Так, например, свет частотой $\nu_1 = 4,0 \cdot 10^{14}$ Гц вызывает ощущение красного цвета, а $\nu_2 = 7,5 \cdot 10^{14}$ Гц — фиолетового. Поскольку при переходе света из одной среды в другую частота не изменяется, то при этом не изменяется и его цветовое восприятие.

► Скорость распространения света в вакууме обозначается латинской буквой *c* (от лат. *celeritas* — скорость).

В соответствии с резолюцией на 17-й Генеральной конференции по мерам и весам в 1983 г. принято новое определение метра как расстояния, проходимого светом в вакууме за $1/(299\,792\,458)$ долю секунды.

Результаты измерений показывают, что 47 % своей энергии Солнце посылает в виде инфракрасных лучей, 44 % энергии приходится на видимую часть спектра, а оставшиеся 9 % энергии солнечного излучения — на ультрафиолетовый диапазон.



1. Что изучает оптика?
2. Что такое свет? Чему равна скорость распространения света в вакууме?
3. Что характеризует абсолютный показатель преломления вещества?
4. Как изменяются частота, скорость распространения и длина волны света при переходе света из одной среды в другую?
5. Электромагнитные волны какого частотного диапазона вызывают зрительное цветовое ощущение у человека?
6. Какое излучение называется монохроматическим?

Пример решения задачи

Монохроматический свет с длиной волны $\lambda_0 = 550$ нм переходит из стекла в воздух. Определите, на сколько $\Delta\lambda$ при этом увеличивается длина волны света, если абсолютный показатель преломления стекла

равен $n = 1,40$. Найдите скорость v распространения света в стекле, если скорость распространения света в воздухе $c = 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Дано:

$$\lambda_0 = 550 \text{ нм} = 5,50 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$n = 1,40$$

$$c = 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\Delta\lambda - ? \quad v - ?$$

Решение

Учитывая, что частота света не изменяется при переходе из одной среды в другую, запишем

$$\lambda_0 = \frac{v}{\nu}, \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (2)$$

где v — скорость света в стекле, λ — длина волны света в воздухе.

Из соотношений (1) и (2) следует:

$$\lambda = \frac{c}{v} \lambda_0.$$

Учитывая, что $n = \frac{c}{v}$, находим:

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{c-v}{v} \lambda_0 = \lambda_0 (n - 1), \quad \Delta\lambda = (1,40 - 1) \cdot 5,50 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 2,20 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$$

$$v = \frac{c}{n}, \quad v = \frac{c}{n} = \frac{3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1,40} = 2,14 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: $\Delta\lambda = 0,220 \text{ мкм}$, $v = 2,14 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Упражнение 10

1. Какой промежуток времени τ необходим свету, чтобы дойти от Солнца до Земли, расстояние между которыми $l = 1,48 \cdot 10^8 \text{ км}$?
2. Определите скорость распространения света v в кварце, абсолютный показатель преломления которого $n = 1,54$.
3. Скорость распространения света в воде $v_1 = 2,250 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$, а в стекле — $v_2 = 1,982 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Определите отношение k показателей преломления стекла и воды.
4. Определите промежуток времени τ , за который свет проходит расстояние $l = 450 \text{ км}$ в воде, показатель преломления которой $n = 1,33$.
5. Наблюдатель услышал гром через промежуток времени $\tau = 5,0 \text{ с}$ после вспышки молнии. Найдите, на каком расстоянии l от наблюдателя произошел грозовой разряд. Скорость распространения звука в воздухе $v_g = 3,4 \cdot 10^2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

6. При переходе света из вакуума в некоторое вещество длина волны уменьшилась на 20 %. Определите показатель преломления n данного вещества.

§ 15. Интерференция света

- Импульс тела можно скомпенсировать импульсом, имеющим противоположное направление. А можно ли погасить свет светом? При каких условиях два световых пучка при наложении друг на друга образуют темные и светлые полосы? Как осуществить такой эксперимент?



Принцип суперпозиции электрических полей: напряженность \vec{E} электрического поля системы точечных зарядов q_1, q_2, \dots, q_n в некоторой точке пространства равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых в этой точке каждым из этих зарядов по отдельности, причем поле каждого не зависит от полей других:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n.$$

Рассмотрим процесс наложения световых волн длиной λ , возбуждаемых точечными источниками света S_1 и S_2 (рис. 83). В той области, где эти волны встречаются, происходит их наложение.

Так как световые волны имеют электромагнитную природу, для них так же, как и для электрических и магнитных полей, выполняется принцип суперпозиции (от лат. *superposition* — добавление). Согласно этому принципу колебания, вызванные волнами, складываются таким

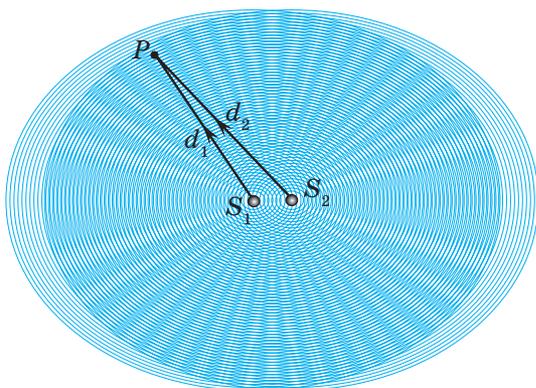


Рис. 83. Процесс наложения когерентных волн. Светлые сектора — максимумы, темные — минимумы

образом, что результирующее электромагнитное поле равно векторной сумме полей, созданных каждой из них: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$, $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$. При этом каждая из волн распространяется независимо от другой. В области, где волны перекрываются, возникает достаточно сложная картина (см. рис. 84). Однако, выйдя из этой области, волны распространяются так, как будто они свободно «проходят друг сквозь друга» и при этом никак не взаимодействуют между собой.

Если в точку P от монохроматических источников частоты ω пришли две волны, прошедшие разные расстояния d_1 и d_2 (рис. 84), то разность расстояний $\Delta d = d_2 - d_1$ называют *разностью хода*. Поскольку при разности хода $\Delta d = \lambda$ разность фаз $\Delta\varphi = 2\pi$, то можно составить пропорцию $\frac{\Delta\varphi}{\Delta d} = \frac{2\pi}{\lambda}$. Из этого соотношения находим:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta d}{\lambda}. \quad (1)$$

Следовательно, разность фаз $\Delta\varphi$ определяется разностью хода Δd .

Волны одинаковых частот, разность фаз колебаний которых в каждой точке пространства не изменяется с течением времени, называются **когерентными** (когерентность от лат. *cohaerens* — связанный, сцепленный). Соответственно, свойство, характеризующее согласованность протекания в пространстве и времени нескольких колебательных или волновых процессов, называется **когерентностью**.

Предположим, что приходящие волны будут иметь в точке P напряженности электрического поля:

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{01} \sin(\omega t + \alpha_1), \quad \vec{E}_2 = \vec{E}_{02} \sin(\omega t + \alpha_2), \quad (2)$$

где E_{01} , E_{02} — амплитуды, α_1 , α_2 — начальные фазы колебаний в каждой из волн в точке P .

Напряженность результирующего электрического поля согласно принципу суперпозиции в данной точке в любой момент времени равна векторной сумме напряженностей \vec{E}_1 и \vec{E}_2 каждой волны по отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2. \quad (3)$$

Если разность хода волн от источников S_1 и S_2 кратна длине волны $\Delta d = m\lambda$, ($m = 0, 1, 2, \dots$), то $\Delta\varphi = 2\pi m$, и колебания, возбуждаемые волнами в точке C (рис. 85, *a*), происходят в одинаковой фазе. При этом

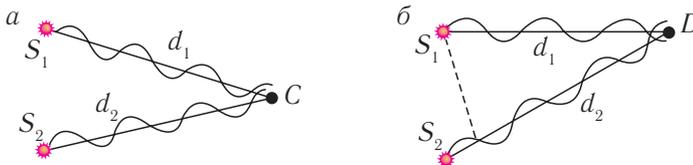


Рис. 85. Сложение монохроматических колебаний двух волн:
a — максимальная амплитуда в точке C ; *b* — минимальная амплитуда в точке D

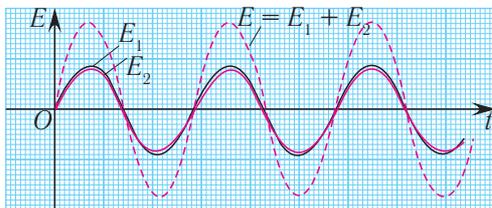


Рис. 86. Наложение волн одинаковых по фазе

$$E_{\max} = E_1 + E_2. \quad (4)$$

Если же разность хода волн в точке D (рис. 85, б) равна нечетному числу полуволен $\Delta d = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$, ($m = 0, 1, 2, \dots$), то $\Delta\varphi = \pi(2m + 1)$, и колебания происходят в противофазе. При этом гребень одной волны накладывается на впадину другой.

Таким образом, в этом случае амплитуда результирующего колебания равна модулю разности амплитуд накладываются волн и оказывается минимальной (рис. 87):

$$E_{\min} = |E_1 - E_2|. \quad (5)$$

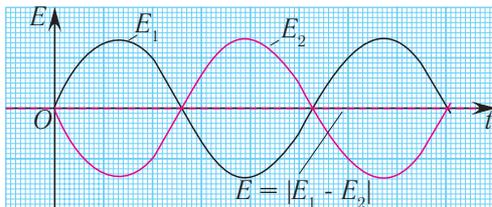


Рис. 87. Наложение волн, противоположных по фазе

Заметим, что во всех других точках амплитуда A результирующего колебания имеет промежуточное значение

$$E_{\min} \leq E \leq E_{\max}.$$

Приемники излучения фиксируют не саму световую волну, а энергию, принесенную волной в данную

область пространства. Параметром, характеризующим эту энергию, является интенсивность световой волны, которая обозначается латинской буквой I .

► Согласно теории электромагнетизма интенсивность электромагнитной волны прямо пропорциональна квадрату амплитуды вектора напряженности ее электрического поля $I \sim \langle E^2 \rangle$. Символ $\langle \rangle$ означает усреднение по времени. Аналогичное усреднение можно сделать и для вектора индукции магнитного поля \vec{B} .

Исходя из соотношений (4) и (5), видно, что $I_{\max} \sim (E_1 + E_2)^2$, $I_{\min} \sim (E_1 - E_2)^2$, т. е. интенсивность результирующей волны не равна сумме интенсивностей исходных волн. Это означает, что волны интерферируют друг с другом.

Вследствие зависимости разности фаз (1) от точки наблюдения, в пространстве получается сложная картина распределения интенсивности результирующей волны. Устойчивое во времени распределение амплитуд колебаний в пространстве при интерференции называется **интерференционной картиной**.

Таким образом, **интерференция** (от лат. *inter* — взаимно, между собой и *ferio* — ударяю, поражаю) — явление возникновения устойчивой во времени картины чередующихся максимумов и минимумов амплитуд результирующей волны при сложении двух (или нескольких) когерентных волн.

Подчеркнем, что закономерности интерференции справедливы для волн любой природы (рис. 88) (электромагнитных, звуковых, волн на поверхности воды и т. д.), т. е. носят универсальный характер.

При рассмотрении интерференции света (электромагнитных волн) следует учесть, что длина волны света в веществе изменяется в зависимости от показателя преломления вещества. Если одна волна распространяется в веществе с показателем преломления n_1 , а другая — с показателем преломления n_2 , то разность фаз колебаний:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\delta}{\lambda},$$

где

$$\delta = n_2 d_2 - n_1 d_1 = c \left(\frac{d_2}{v_2} - \frac{d_1}{v_1} \right). \quad (7)$$

Здесь δ — **оптическая разность хода** волн от источников до точки наблюдения, а величина nd — **оптическая длина пути**. Эта величина определяется расстояниями d_1 и d_2 , пройденными световыми волнами с учетом их различных модулей скоростей v_2 и v_1 распространения в этих средах с показателями преломления n_1 и n_2 .

Таким образом, если оптическая разность хода (7) равна целому числу длин волн в вакууме, то **условие максимума интерференции**:

$$\delta = 2m \frac{\lambda}{2} = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (8)$$

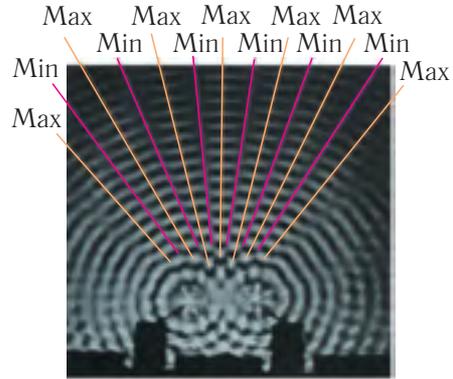


Рис. 88. Интерференционная картина поперечных волн на поверхности воды

Волны приходят в точку P (см. рис. 85) синфазно, поскольку разность фаз в этом случае кратна 2π :

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} m\lambda = 2\pi m.$$

Если оптическая разность хода (7) равна нечетному числу полуволен, то условие минимума интерференции:

$$\delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (9)$$

Волны приходят в точку P в противофазе, и разность фаз колебаний в этом случае равна:

$$\Delta\varphi = (2m + 1)\pi.$$

Для наблюдения интерференции света необходимы когерентные источники, излучающие волны с постоянной во времени разностью фаз. Распространенные обычные источники света (лампы накаливания, лампы дневного света, свечи и т. д.) не являются когерентными. Для того чтобы можно было наблюдать от них интерференцию света, свет от одного и того же источника необходимо разделить на два пучка и затем свести их вместе.

Для получения интерференционной картины пользуются классической **интерференционной схемой (схемой Юнга)**, где пучок света от небольшого отверстия A в экране разделяется на два когерентных пучка с помощью небольших отверстий B и C в следующем экране (рис. 89). Поскольку эти пучки созданы одним и тем же источником A , они являются когерентными. Поэтому на третьем экране в области DE перекрытия пучков наблюдается интерференционная картина.

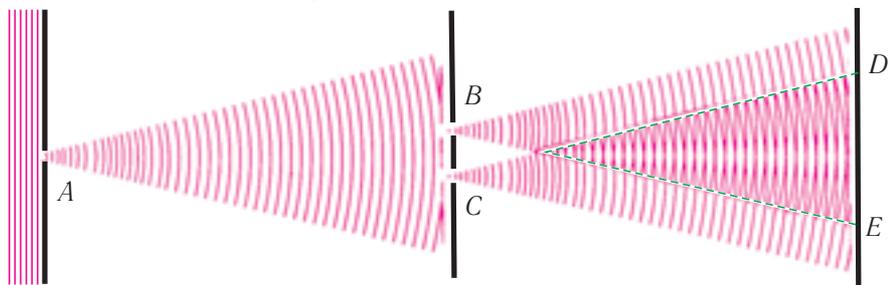


Рис. 89. Схема эксперимента Юнга по интерференции света

Изобретение и распространение когерентных источников излучения — *лазеров* — сделало демонстрацию явления интерференции достаточно простой.

Наиболее известное проявление интерференции, с которым мы часто встречаемся в повседневной жизни — радужное окрашивание мыльных пузырей (рис. 90) или тонких пленок бензина (нефти) на воде или асфальте. Радужные цвета возникают на этих пленках вследствие интерференции света, отраженного двумя поверхностями пленки.



Рис. 90. Интерференция света в мыльном пузыре

► Английский ученый Томас Юнг в 1801 г. провел классический эксперимент по интерференции света (см. рис. 89). Это позволило ему убедительно подтвердить волновую природу света и измерить длину световой волны. Отметим еще один распространенный случай интерференции — сложение волн одинаковой частоты, распространяющихся в противоположных направлениях (например, падающей и отраженной волны), приводящее к образованию в пространстве устойчивой картины чередования максимумов амплитуды колебаний — «пучностей» и минимумов — «узлов» (рис. 91). Волна, возникающая в результате сложения двух волн одинаковой частоты, распространяющихся в противоположных направлениях, называется стоячей волной.

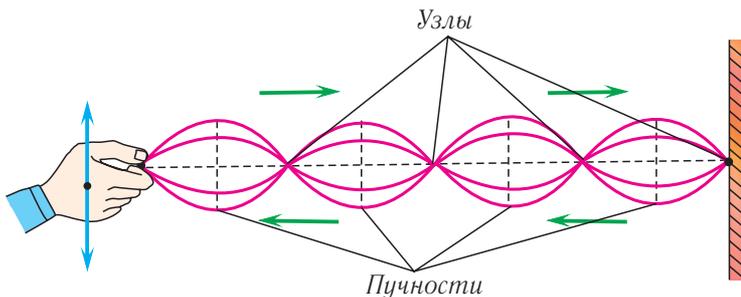


Рис. 91. Стоячая волна



1. Что такое когерентность? Какие волны называются когерентными?
2. Что называют интерференцией волн? При каких условиях происходит это явление?

3. Что называют разностью хода волн? Оптической разностью хода волн?
4. Запишите условия образования интерференционных максимумов и минимумов. Какой должна быть оптическая разность хода двух волн, чтобы их интерференция приводила к ослаблению (усилению) результирующего сигнала?
5. Почему не возникает интерференционной картины от света двух фар автомашины?
6. Если две волны интерферируют друг с другом, то влияет ли одна волна на распространение другой?
7. Почему мыльный пузырь на солнце играет всеми цветами радуги?
8. Почему в тонком слое бензина, плавающем на поверхности воды, возникают радужные полосы?



Пример решения задачи

Определите положения максимумов и минимумов интерференционной картины на экране, находящемся на расстоянии $L = AO = 2,0$ м от двух одинаковых когерентных источников света S_1 и S_2 , которые расположены в вакууме на расстоянии $d = 5,0$ мм друг от друга (рис. 92). Длина волны излучения источников $\lambda = 600$ нм. Найдите расстояние Δx между соседними максимумами.

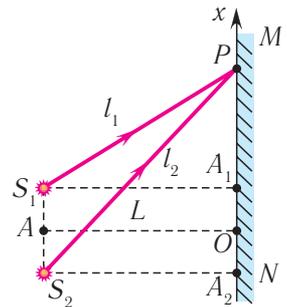


Рис. 92

Дано:

$$d = 5,0 \text{ мм} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$L = 2,0 \text{ м}$$

$$\lambda = 600 \text{ нм} = 6,00 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Δx — ?

Решение

До некоторой точки P на экране каждая из волн проходит различный путь l_1 и l_2 . Максимумы и минимумы будут наблюдаться при выполнении условий соответственно:

$$\delta = l_2 - l_1 = m\lambda,$$

$$\delta = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}, \text{ где } m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Из треугольников S_1PA_1 и S_2PA_2 по теореме Пифагора находим:

$$l_1^2 = L^2 + \left(x_m - \frac{d}{2}\right)^2, \quad (1)$$

$$l_2^2 = L^2 + \left(x_m + \frac{d}{2}\right)^2, \quad (2)$$

где x_m — координата точки P .

Откуда, вычитая из соотношения (2) соотношение (1), получаем:

$$l_2^2 - l_1^2 = 2x_m d.$$

С учетом того что $d \ll L$ и $l_1 + l_2 \approx 2L$, находим:

$$(l_1 + l_2)(l_1 - l_2) \approx 2L(l_1 - l_2) = 2x_m d \Rightarrow l_1 - l_2 = \delta = \frac{x_m d}{L}.$$

Из условия максимумов следует:

$$m\lambda = x_{m\max} \frac{d}{L}.$$

Тогда расстояние от центра экрана до m -й светлой полосы находится из соотношения:

$$x_{m\max} = m\lambda \frac{L}{d}.$$

Из условия для минимумов находим положение темных полос:

$$(2m + 1) \frac{\lambda}{2} = x_{m\min} \frac{d}{L}.$$

Откуда

$$x_{m\min} = (2m + 1) \frac{\lambda L}{2d}.$$

Расстояние между соседними максимумами:

$$\Delta x = x_{(m+1)\max} - x_{m\max} = \lambda \frac{L}{d},$$

$$\Delta x = 6,00 \cdot 10^{-7} \text{ м} \frac{2,0 \text{ м}}{5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Из полученной формулы видно, что расстояние Δx увеличивается при уменьшении расстояния d между когерентными источниками.

Ответ: $x_{m\max} = m\lambda \frac{L}{d}$, $x_{m\min} = (2m + 1) \frac{\lambda L}{2d}$, $\Delta x = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}$.

Упражнение 11

1. Что будет наблюдаться в некоторой точке пространства в результате интерференции двух когерентных волн длиной волны $\lambda = 400 \text{ нм}$, оптическая разность хода которых $\delta = 2,25 \text{ мкм}$?
2. Сколько длин волн N монохроматического излучения частотой $\nu = 800 \text{ МГц}$ укладывается на отрезке длиной $l = 2,0 \text{ м}$?
3. Экран MN освещен когерентными монохроматическими источниками S_1 и S_2 (см. рис. 92), период колебаний которых T . Усиление или ослабление света будет наблюдаться в точке P , если от источника S_2 свет в нее приходит позже на промежуток времени $\tau = 2,5T$, чем от источника S_1 ?

