

И.Н. Фетисов

**ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТОВЫХ ВОЛН С РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ***Методические указания к выполнению лабораторной работы О-67 по курсу общей физики*

Москва 2010

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ****1. Гармонические колебания и волны**

Колебания называются *гармоническими*, если физическая величина  $\xi$  изменяется по закону синуса или косинуса (рис. 1)

$$\xi(t) = A \cos 2\pi t/T = A \cos 2\pi \nu t = A \cos \omega t,$$

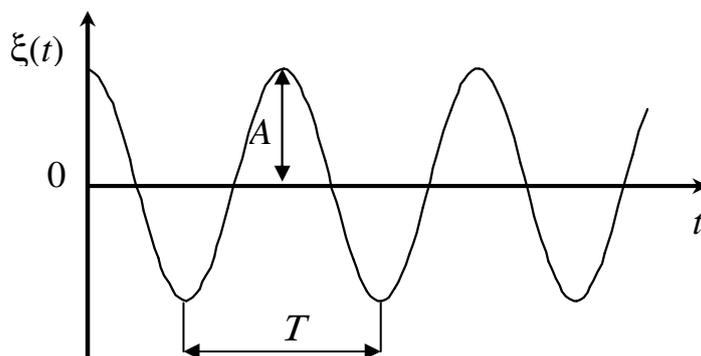


Рис. 1. Гармоническое колебание

где  $A$  - наибольшее отклонение от положения равновесия (амплитуда),  $T$  - период колебаний,  $\nu = 1/T$  - частота, Гц;  $\omega = 2\pi\nu$  - циклическая (круговая) частота,  $\text{с}^{-1}$ . Величина  $\omega t$  называется *фазой* колебаний; в общем случае фаза включает в себя начальную фазу  $\varphi$  и равна  $(\omega t + \varphi)$ .

При различной физической природе колебательные и волновые процессы имеют общие закономерности. Поэтому при изучении световых волн полезно сначала рассмотреть более наглядные механические волны в веществе.

Пусть пластина, например диффузор громкоговорителя, колеблется в воздухе. Колебания пластины приводят к колебаниям частиц воздуха вблизи пластины. Тогда в воздухе возникает *процесс распространения колебаний*, называемый *упругой волной*. Возмущение, происшедшее в некоторой точке среды, проявляется спустя определенное время в другой точке, т. е. передается с определенной скоростью.

Предположим, что пластина колеблется по гармоническому закону, имеющему особую роль среди различных колебаний и волн. Рассмотрим распространение волны вдоль оси  $X$ , проведенной перпендикулярно к пластине. Смещение  $\xi$  частиц среды из положения равновесия является функцией координаты и времени, т. е.  $\xi = f(x, t)$ . Уравнение гармонической волны имеет вид [1-3]

$$\xi(x, t) = A \cos \omega(t - x/u), \quad (1)$$

где  $A$  – амплитуда волны,  $u$  – фазовая скорость волны. Величина  $x/u$  в аргументе функции (1) равна времени, затраченному на прохождения волной расстояния  $x$  от источника волн.

Волна (1) периодична во времени и в пространстве, поскольку косинус имеет период  $2\pi$ . Период во времени (период колебаний) равен

$$T = 2\pi / \omega.$$

Из периодичности в пространстве  $\omega\Delta x/u = 2\pi$  находим  $\Delta x = 2\pi u/\omega = uT$ . Расстояние  $\Delta x$  называют *длиной волны*  $\lambda$ . Таким образом, длина волны – это расстояние между ближайшими точками среды, колеблющимися с разностью фаз  $2\pi$ . Другими словами, это расстояние, на которое распространяется волна за время, равное периоду колебаний  $T$ :

$$\lambda = uT.$$

Поскольку  $T = 1/\nu$ , длину волны можно представить в виде

$$\lambda = u/\nu.$$

Уравнение гармонической волны (1) принято записывать в более удобном виде

$$\xi(x, t) = A \cos (\omega t - k x), \quad (2)$$

где

$$k = 2\pi/\lambda = \omega/u$$

называют *волновым числом*.

Уравнения (1) и (2) описывают плоскую, незатухающую, гармоническую, бегущую волну. В плоской волне волновые поверхности (на них точки среды колеблются в одинаковой фазе) имеют вид плоскостей. Звуковая волна будет плоской, если длина волны много меньше размеров диффузора и расстояния от динамика. Дальше рассматриваются волны (2).

Наглядными являются волны на длинном шнуре или на поверхности воды. «Фотографии» таких волн схематически изображены на рис. 2. На нем представлена зависимость смещения  $\xi$  от координаты  $x$  для двух близких моментов време-

ни, разделенных промежутком  $\Delta t$ . За это время волна смещается на расстояние  $u\Delta t$ .

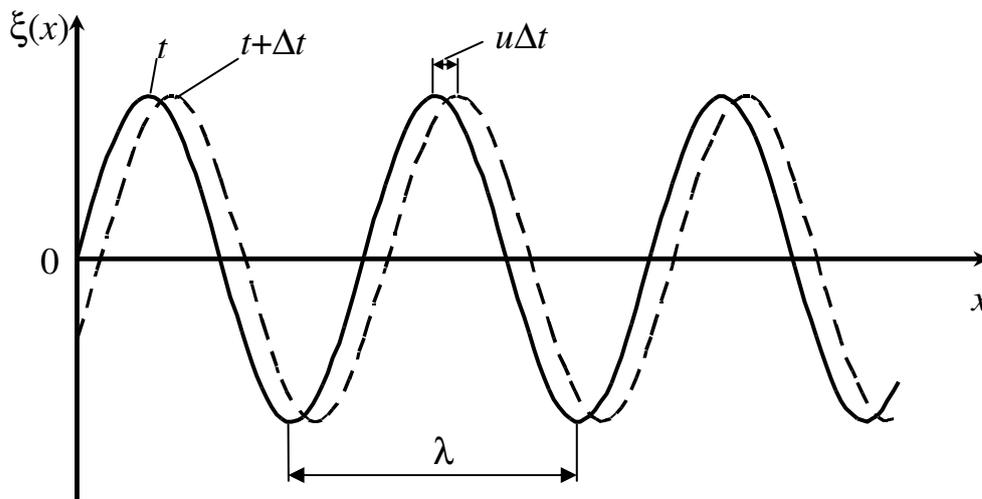


Рис. 2. Гармоническая волна

## 2. Интерференция волн

Рассмотрим сложение двух гармонических волн одинаковых частоты и направления колебаний. Для наглядности будем считать, что волны - звуковые и испускаются двумя громкоговорителями, к которым подключен источник переменного тока (рис. 3).

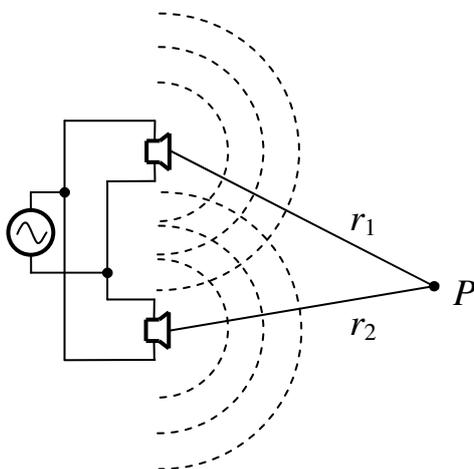


Рис. 3. Схема интерференции звуковых волн с одним источником переменного тока

Волны обладают способностью свободно проходить друг через друга. В местах пересечения волн происходит сложение колебаний частиц среды. Пусть в некоторой точке колебания от двух источников волн описываются уравнениями

$$\xi_1(t) = A_1 \cos \omega t, \quad (3)$$

$$\xi_2(t) = A_2 \cos (\omega t + \delta), \quad (4)$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – амплитуды колебаний, а  $\delta$  – разность фаз двух колебаний. В результате сложения двух колебаний образуется гармоническое колебание той же частоты. Амплитуду результирующего колебания легко найти с помощью векторной диаграммы (рис. 4) и теоремы косинусов:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos \delta. \quad (5)$$

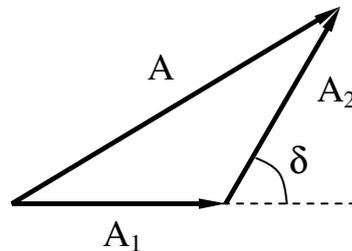


Рис. 4. Векторная диаграмма сложения двух колебаний

Если разность фаз  $\delta$  как-то изменяется во времени, то такие колебания (и волны) называются *некогерентными*. Когда  $\delta$  хаотически изменяется, причем так, что среднее по времени значение  $\langle \cos \delta \rangle = 0$ , то последнее слагаемое в (5) обращается в нуль и остается

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2.$$

Перейдем от амплитуды к интенсивности волны. Интенсивность  $I$  равна энергии (Дж), переносимой волной за единицу времени (с), через площадку  $S = 1 \text{ м}^2$ , расположенную перпендикулярно направлению распространения волны. Единица измерения интенсивности  $\text{Вт/м}^2$ . Интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды

$$I \sim A^2.$$

Тогда в результате сложения некогерентных волн получаем правило сложения интенсивности двух волн:

$$I = I_1 + I_2. \quad (6)$$

Если же разность фаз  $\delta$  постоянна во времени, то такие колебания (и волны) называются *когерентными*. В случае сложения когерентных волн интенсивность результирующего колебания, согласно (5),

$$I = I_1 + I_2 + 2 (I_1 I_2)^{1/2} \cos \delta. \quad (7)$$

Последнее слагаемое в формулах (5) и (7) называют *интерференционным членом*. Рассмотрим его влияние на результирующую интенсивность. В точках пространства, где

$$\cos \delta > 0, I > I_1 + I_2;$$

там же, где

$$\cos \delta < 0, I < I_1 + I_2.$$

Другими словами, при сложении когерентных волн происходит перераспределение интенсивности  $I$  (энергии) в пространстве: в одних местах возникают максимумы, в других – минимумы интенсивности. Это явление называют *интерференцией волн*.

Особенно отчетливо интерференция проявляется тогда, когда  $I_1 = I_2$ . Тогда, согласно (7),

$$I = 4 I_1$$

в максимумах интенсивности и

$$I = 0$$

в минимумах. Для некогерентных волн при  $I_1 = I_2$  интенсивность  $I$  всюду одинакова и, согласно (6),

$$I = 2 I_1.$$

Волны от двух излучателей звука на рис. 3 когерентны и создают интерференционное звуковое поле: громкость звука изменяется при переходе из одного места в другое.

Обозначим разность расстояний  $r_2$  и  $r_1$  от источников волн до интересующей нас точки  $P$  как  $\Delta = r_2 - r_1$  (рис. 3). Эту величину называют *разностью хода*. Разность фаз  $\delta$  и разность хода  $\Delta$  связаны соотношением

$$\delta = 2\pi \Delta / \lambda.$$

Если разность хода равна целому числу длин волн, т. е.

$$\Delta = m\lambda, m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \quad (8)$$

то колебания, возбуждаемые в точке  $P$  обеими волнами, будут происходить в фазе (число  $m$  называют *порядком интерференции*). Таким образом, (8) есть условие возникновения интерференционных максимумов. В точках же, для которых разность хода равна полужелому числу длин волн

$$\Delta = \pm \lambda/2, \pm 3\lambda/2, \pm 5\lambda/2, \dots, \quad (9)$$

образуются минимумы.

Если же громкоговорители подключить к двум независимым генераторам переменного напряжения одинаковой частоты (рис. 5), то добиться когерентных волн трудно. По многим причинам частота генераторов изменяется (и систематически, и хаотически), поэтому изменяется разность фаз двух колебаний, что приводит к разрушению интерференции.

Если частоты двух генераторов отличаются на  $\Delta\omega = 2\pi\Delta\nu$ , то это эквивалентно следующей ситуации: частоты точно одинаковые, но разность фаз  $\delta$  двух колебаний нарастает со временем  $t$  по закону

$$\delta = (\Delta\omega) t = 2\pi (\Delta\nu) t.$$

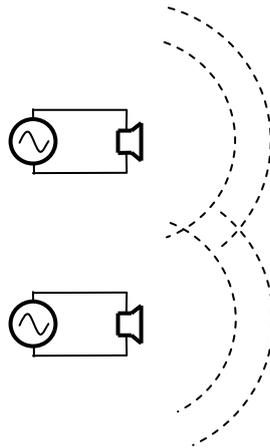


Рис. 5. Схема интерференции звуковых волн с двумя источниками переменного тока

Предположим, что за время  $t$  возникнет разность фаз  $\delta = \pi$ . Тогда в данной точке максимум сменится на минимум (и наоборот) за время  $t = 1/(2\Delta\nu)$ , которое назовем «временем когерентности»:

$$t_{\text{ког}} = 1/(2\Delta\nu). \quad (10)$$

Ясно, что интерференцию можно будет наблюдать в течение времени  $t < t_{\text{ког}}$ . Возьмем для примера время наблюдения  $t_{\text{набл}} = t_{\text{ког}}/10$ . Тогда частоты двух генераторов не должны отличаться больше, чем на  $\Delta\nu = 1/(20 t_{\text{набл}})$ . Для  $t_{\text{набл}} = 50$  с получаем  $\Delta\nu = 10^{-3}$  Гц. Этот пример показывает, что для получения интерференции в случае двух независимых источников волн частоты генераторов должны быть очень стабильными.

### 3. Интерференция световых волн

Свет представляет собой *электромагнитную волну*, которая характеризуется векторами напряженности электрического  $\mathbf{E}$  и магнитного  $\mathbf{H}$  полей. Векторы  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  перпендикулярны друг к другу и направлению распространения волны, т. е. свет является *поперечной* волной. Поскольку практически все действия света связаны с вектором  $\mathbf{E}$ , принято говорить о *световом векторе*, имея в виду вектор  $\mathbf{E}$ .

Скорость света в вакууме  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с, а скорость  $u$  в веществе – меньше.

Отношение

$$n = c/u$$

называют *показателем преломления* среды. Для твердых и жидких веществ типичное значение  $n$  около 1,5; для воздуха  $n$  очень близко к единице.

В вакууме длины волн видимого света простираются от  $\lambda = 400$  нм (фиолетовое излучение) до  $\lambda = 760$  нм (красное). В веществе длина волны  $\lambda^* = uT = cT/n = \lambda/n$ . Таким образом, длина волны света в среде с показателем преломления  $n$  равна

$$\lambda^* = \lambda/n.$$

Световые волны обычных источников (не лазеров) существенно отличаются от механических (звуковых) волн, причем не только физической природой, но и

*структурой* волны. Свет складывается из волн, испускаемых атомами. Излучение отдельного атома продолжается порядка  $10^{-8}$  с и представляет собой, как говорят, *цуг волн* протяженностью в среднем порядка 3 м. Излучив, атом через некоторое время, придя в возбужденное состояние, излучает опять и т. д. Одновременно излучает множество атомов. Такая структура волны существенно влияет на интерференцию света. Даже при одинаковой частоте, огромное количество цугов волн никак не связаны между собой ни по направлению светового вектора, ни по фазе; они не когерентны.

Для получения интерференционной картины необходимо исходную световую волну расщепить подходящим способом на две части, которые, пройдя различные расстояния, затем складываются в определенном месте. Две части одного цуга волн в некоторой степени когерентны и могут интерферировать.

Для разделения волны на части предложено несколько схем, первая из них – схема Юнга (рис. 6). В ней солнечные лучи падают на узкую щель  $S$ , на выходе которой вследствие дифракции возникает расходящаяся волна. Она освещает две узкие близкие щели  $S_1$  и  $S_2$ , которые действуют как вторичные когерентные источники волн. Испускаемые щелями расходящиеся волны, перекрываясь, дают на экране Э систему интерференционных полос.

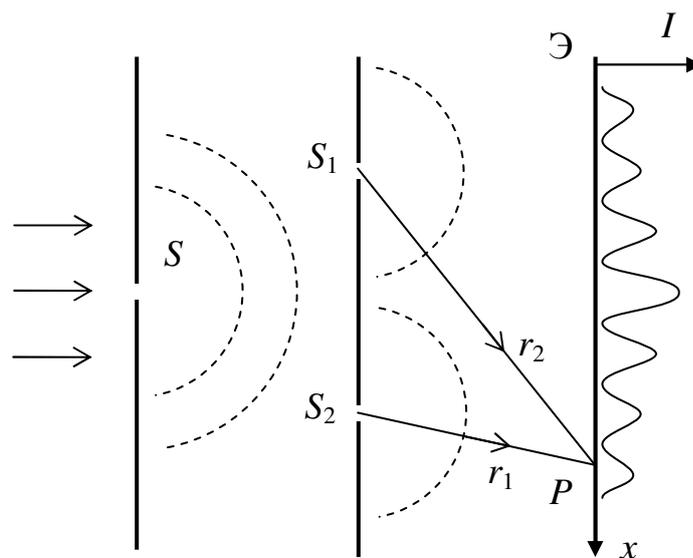


Рис. 6. Интерференция света (схема Юнга с двумя щелями): в правой части рисунка показана зависимость интенсивности света  $I$  от координаты  $x$  на экране

До некоторой точки  $P$  на экране разность хода двух волн равна  $\Delta = r_2 - r_1$ . Максимум интерференции (светлая полоса) будет в местах, удовлетворяющих условию (8), а минимум (темная полоса) – условию (9).

Можно провести аналогию между двумя схемами получения когерентных волн, представленных на рис. 3 и 6. В обоих случаях имеется общий первичный колебательный процесс. Различие между схемами в том, что для света разделение на две волны происходит в самом волновом процессе, а для звука – в электрической цепи, до преобразования электрических колебаний в волны.

#### 4. Интерференция в воздушном клине

Пусть две стеклянные хорошо отполированные пластинки образуют между ними тонкую клиновидную прослойку воздуха с очень малым углом раствора  $\alpha$  (рис. 7). На пластинки падает монохроматическая световая волна от протяженного источника света. Рассмотрим случай, когда свет падает практически по нормали к пластинкам. На каждой границе воздух – стекло происходит частичное отражение света. На рисунке показаны только волны 1 и 2, отраженные от внутренних поверхностей стекол. Другие отраженные волны не участвуют в интерференции по причине, которая будет разъяснена дальше.

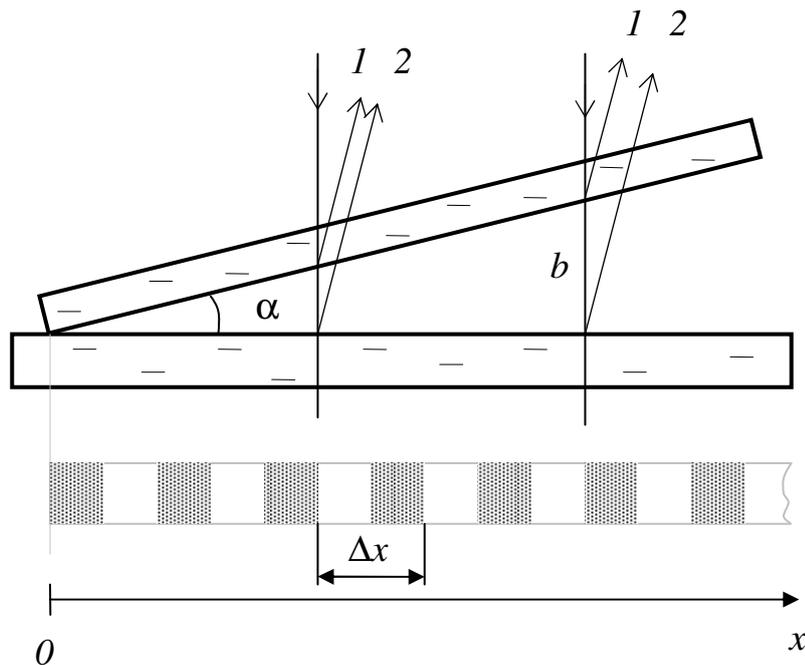


Рис. 7. Интерференция света в воздушном клине

С классической точки зрения, отраженные волны 1 и 2 являются «частями» одного цуга и поэтому когерентны при определенных условиях. Разность хода  $\Delta$  этих волн равна удвоенной толщине  $b$  воздушной прослойки клина в данном месте:  $\Delta = 2b$ . Следует также учесть, что при отражении от нижней пластины (т. е. от среды с большим показателем преломления, чем у воздуха) происходит скачок фазы на  $\pi$  у отраженной волны; поэтому к разности хода добавим полволны:

$$\Delta = 2b + \lambda/2. \quad (11)$$

Отраженные волны 1 и 2 интерферируют. Максимумы отражения (светлые полосы) будут наблюдаться при условии

$$\Delta = m\lambda, \quad (12)$$

а минимумы (темные полосы) там, где

$$\Delta = (2m - 1) \lambda / 2 . \quad (13)$$

Здесь  $m$  – номер полосы ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ).

Светлые и темные полосы параллельны ребру клина. Каждая из таких полос возникает в результате отражений от участков клина с одинаковой толщиной воздушной прослойки, поэтому их называют *полосами равной толщины*. Локализованные вблизи поверхности пластинки, интерференционные полосы можно наблюдать непосредственно глазом, фокусируя его на поверхность пластинки, либо с помощью лупы для увеличения размеров полос. Наблюдаемая картина схематически показана на рис. 7 внизу.

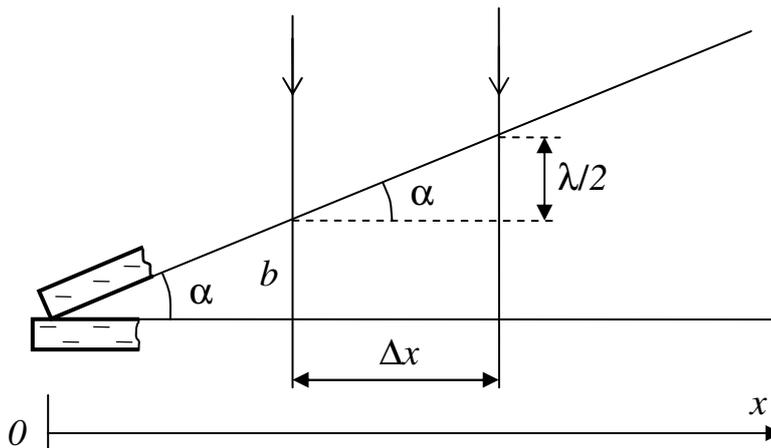


Рис. 8. Воздушный клин (к выводу формулы (14))

Ширина полосы  $\Delta x$ , включающая в себя светлую и темную части, зависит от угла  $\alpha$  и длины волны  $\lambda$ . Для нахождения связи между ними рассмотрим воздушный клин на рис. 8, где  $x$  - расстояние от вершины клина, а  $\Delta x$  - расстояние между соседними максимумами (ширина полосы). При переходе от одного максимума к следующему толщина клина увеличивается на  $\lambda/2$ . Из рисунка видно, что

$$\Delta x = \lambda / 2 \alpha, \quad (14)$$

где малый угол  $\alpha$  выражен в радианах (напомним, что для малых углов  $\text{tg } \alpha \approx \alpha$ ).

## 5. Когерентность волн

Вернемся еще раз к когерентности. Когерентностью называют *согласованное* протекание колебательных (волновых) процессов. Степень согласованности называют *степенью когерентности*: чем выше степень согласованности, тем выше степень когерентности.

Различают *длину* и *ширину* когерентности волны. Длина когерентности связана с расстоянием *вдоль* направления распространения волны, на котором имеется согласованность колебаний, а ширина когерентности – то же самое в *поперечном* направлении, по фронту волны.

Рассмотрим длину когерентности  $l_{\text{ког}}$  на примере клина. Опыты показывают, что интерференционные полосы, хорошо видимые у вершины клина, постепенно размываются и исчезают по мере удаления от вершины. Это означает, что степень когерентности волн уменьшается с увеличением разности хода. Далее, в свете одной какой-либо окраски, например, красном, видно больше полос, чем в белом свете; следовательно, когерентность связана со спектром излучения.

Строго монохроматический свет – это идеализация. Реальный свет представляет собой набор монохроматических компонент (рис. 9) в некотором конечном интервале длин волн ( $\lambda, \lambda + \Delta\lambda$ ). Величина

$$M = \lambda / \Delta\lambda \quad (15)$$

характеризует *степень монохроматичности* света: чем она больше, тем больше и степень монохроматичности.

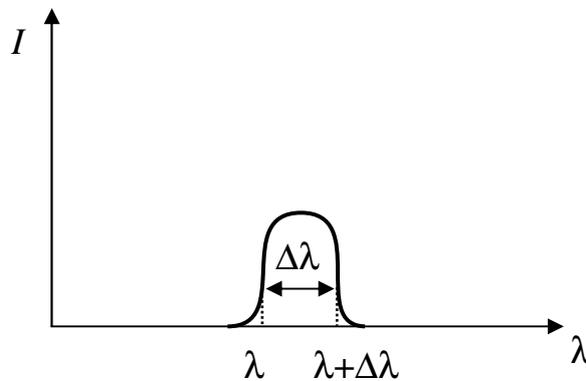


Рис. 9. Зависимость интенсивности света от длины волны (спектр)

Как видно из формулы (14), ширина интерференционных полос пропорциональна длине волны  $\Delta x \sim \lambda$ . Следовательно, в некогерентном свете наблюдаемая интерференционная картина получается в результате наложения полос различной ширины, соответствующих компонентам различной длины волны. На рис 10 показаны интерференционные полосы для длины волны  $\lambda$  (a), для длины волны  $\lambda + \Delta\lambda$  (b) и для обеих волн (c). Рассмотрен случай:  $\lambda / (\lambda + \Delta\lambda) = 8/9$ . У вершины клина (слева на рисунке) полосы для двух длин волн практически совпадают и поэтому наблюдается отчетливая интерференционная картина. Дальше от вершины темные полосы от большей длины волны «налезает» на светлые полосы более короткой длины волны и интерференция постепенно исчезает. В нашем примере интерференция исчезает приблизительно при  $m \approx 4 \dots 5$ . С учетом промежуточных длин волн (между  $\lambda$  и  $\lambda + \Delta\lambda$ ), интерференция дальше по клину снова не возникает.

С помощью рис. 10 и формул (12), (13) можно заключить, что полосы исчезнут там, где

$$m\lambda \approx (2m - 1) (\lambda + \Delta\lambda) / 2.$$

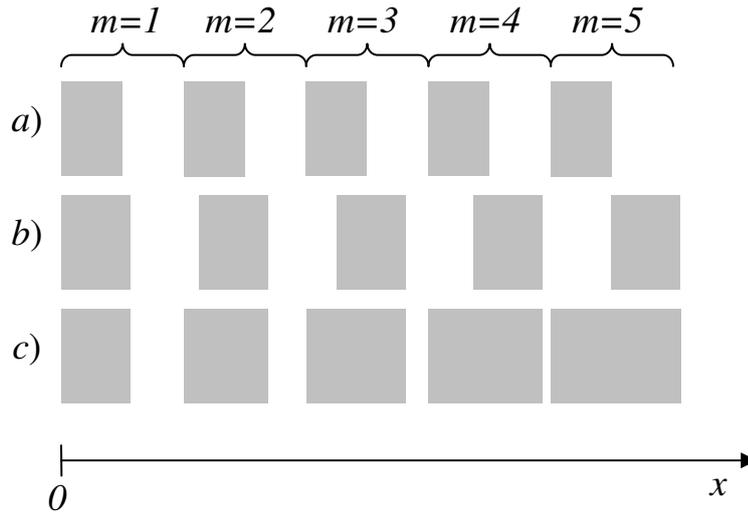


Рис. 10. Интерференционные полосы: *a* - для длины волны  $\lambda$ ; *b* - для длины волны  $\lambda + \Delta\lambda$ ; *c* - для обеих длин волн вместе; на рисунке  $\lambda/(\lambda + \Delta\lambda) = 8/9$

Отсюда следует

$$2m - 1 \approx \lambda/\Delta\lambda.$$

Пренебрегая единицей, получаем выражение,

$$m \approx \lambda/2\Delta\lambda.$$

По своему содержанию, величина  $m$  – приближенная, поэтому множителем «два» пренебрегают [1-3]. *Предельный порядок* интерференции, начиная с которого полосы исчезают, принимают равным

$$m \approx \lambda/\Delta\lambda. \quad (16)$$

Найденному предельному значению  $m$  соответствует предельная разность хода  $m\lambda$ , при которой интерференционные полосы исчезают. Эту предельную разность хода принимают за *длину когерентности*

$$l_{\text{ког}} \approx m\lambda \approx \lambda^2/\Delta\lambda. \quad (17)$$

Мы видим, что длина когерентности световой волны непосредственно связана со степенью монохроматичности  $M = \lambda/\Delta\lambda$  (см. (15)): чем больше последняя, тем больше и длина когерентности.

Для солнечного света  $l_{\text{ког}} \approx 5\lambda$ ; для лучших (не лазерных) источников света с высокой степенью монохроматичности удалось получить  $l_{\text{ког}}$  порядка нескольких десятков сантиметров. Для обычных источников света длина когерентности не может быть больше длины цуга, т. е. примерно 3 м. Лазеры позволили получить

гигантскую длину когерентности, достигающую нескольких километров. Это достигнуто благодаря другому механизму излучения света атомами – *вынужденному излучению*, при котором волновые цуги отдельных атомов «сшиваются» без разрыва фазы в длинную волну с одинаковым направлением светового вектора.

Итак, мы можем утверждать, что для получения интерференционной картины необходимо, чтобы разность хода складываемых волн была меньше длины когерентности:

$$\Delta < l_{\text{ког}}. \quad (18)$$

Это требование касается всех установок, с помощью которых мы хотим наблюдать интерференцию. Теперь понятно, почему в обычных условиях освещения интерференция наблюдается только в очень тонких пленках – мыльных пузырях, нефтяных пленках на воде и т. д. Радужная окраска мыльных пузырей возникает в результате интерференции белого света в тонком слое воды [1-3]. Для белого света ( $l_{\text{ког}} \approx 5\lambda$ ) толщина мыльной пленки не должна превышать примерно  $2\lambda \approx 1$  мкм. В пузырях на обычной воде, без моющих средств, толщина пленки больше длины когерентности, поэтому интерференционной окраски нет.

Рассматривая выше интерференцию на воздушном клине между двумя стеклянными пластинками, мы исключили волны, отраженные от внешних поверхностей, так как для них разность хода больше длины когерентности.

В заключение заметим, что длина когерентности (17) связана с так называемым *временем когерентности*  $t_{\text{ког}}$  - промежутком времени, в течение которого случайные изменения фазы световой волны в данной точке достигают значения порядка  $\pi$ . За это время волна распространяется на расстояние порядка

$$l_{\text{ког}} = ct_{\text{ког}}.$$

Выразим время когерентности с учетом (17)

$$t_{\text{ког}} = l_{\text{ког}} / c = \lambda^2 / c\Delta\lambda.$$

Заменим разность длин волн на разность частот, взяв дифференциалы от выражения  $\lambda = c/v$  (знак «минус» опускаем):

$$\Delta\lambda = c v^{-2} \Delta v.$$

Тогда для времени когерентности получаем

$$t_{\text{ког}} = 1/\Delta v.$$

Это выражение совпадает с (10), полученным для случая интерференции волн, создаваемых двумя генераторами с различающейся частотой.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 1. Экспериментальная установка

Воздушный клин для изучения интерференции света имеет следующее устройство. Две стеклянные пластинки размером в несколько см склеены между собой. Пластика с лицевой стороны изготовлена из прозрачного стекла, а с тыльной - из темного. В одном из углов пластинки склейка нарушилась и образовался воздушный клин, что схематически показано на рис. 11.

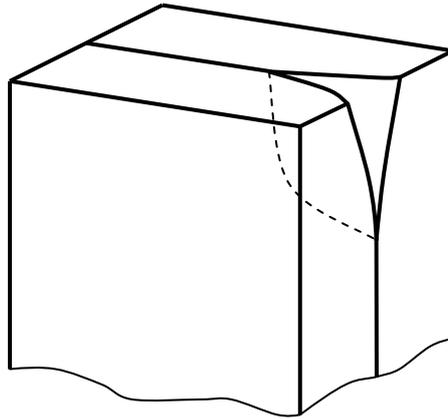


Рис. 11. Воздушный клин

Схема прибора в плане изображена на рис. 12. Одна из трех ламп (4) освещает через матовое стекло 3 клин 1. На клин падает рассеянный свет. Интерференционные полосы видны невооруженным глазом. Для улучшения условий наблюдения и измерений служит объектив 2, который используется в качестве лупы с увеличением в несколько раз. Для выполнения измерений на пластинке с клином имеется миллиметровая линейка, ориентированная поперек полос.

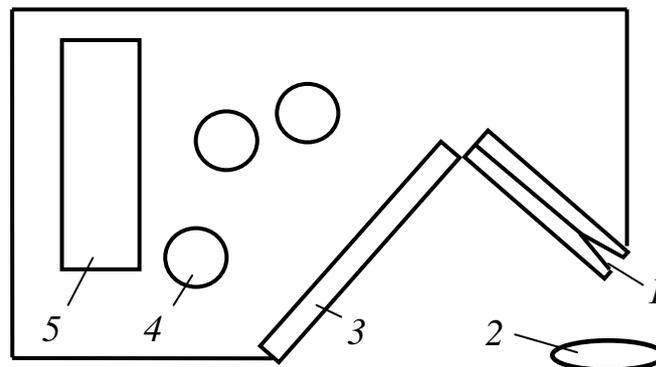


Рис. 12. Схема установки в плане: 1 - воздушный клин; 2 - объектив; 3 - матовое стекло; 4 - лампы (натриевая, красная и белая); 5 - устройство питания натриевой лампы

В установке имеются три лампы, различающиеся спектром и, соответственно, степенью монохроматичности и длиной когерентности (см. (15) и (17)).

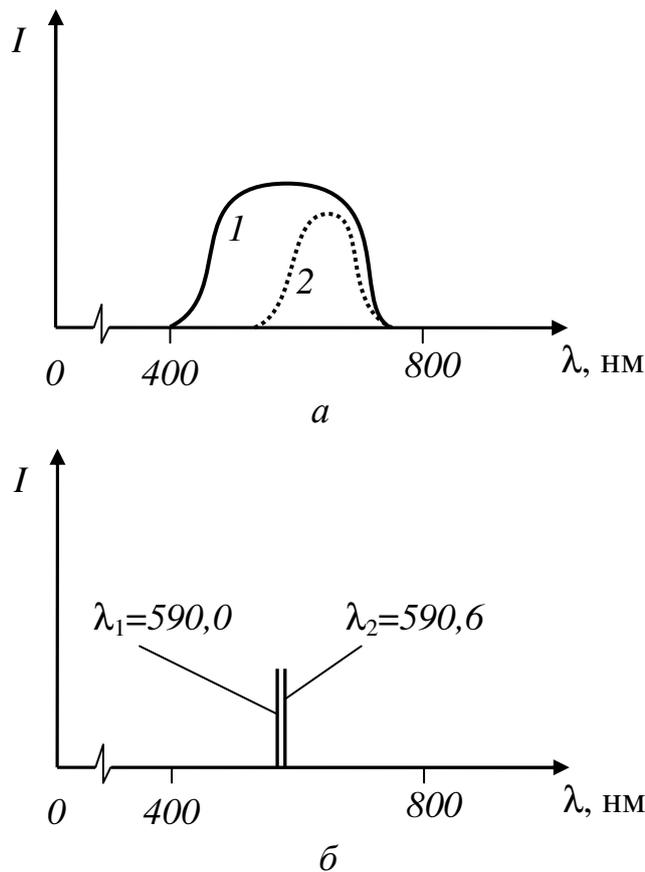


Рис. 13. Спектры излучения (зависимость интенсивности от длины волны): *a* - ламп накаливания (1 – белая; 2 – с красным фильтром); *б* - натриевой спектральной

Одна из ламп – обычная лампа накаливания белого света. Для нее зависимость от длины волны интенсивности видимого глазом излучения («спектр») схематически показана на рис. 13, *a* (кривая 1). Длину когерентности белой лампы примем такой же, как и для солнечного света:

$$l_{\text{ког}} \approx 5\lambda \approx 3 \text{ мкм}, \quad (19)$$

где  $\lambda$  - средняя длина волны, равная примерно 600 нанометров ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ).

Вторая лампа накаливания имеет красное стекло, пропускающее преимущественно желтый и красный свет, т. е. примерно половину видимого спектра (кривая 2 на рис. 13, *a*). Следовательно, для красной лампы со средней длиной волны  $\lambda \approx 700 \text{ нм}$  длина когерентности примерно в два раза больше, чем для белой лампы, и составляет

$$l_{\text{ког}} \approx 10\lambda \approx 7 \text{ мкм}. \quad (20)$$

Как видим, в обоих случаях степень когерентности невысокая.

Для наблюдения интерференции в монохроматическом свете используется специальная спектральная натриевая лампа типа ДNaС-18. В ней происходит газовый разряд в парах натрия низкого давления. Она испускает желтый свет, состоящий из двух монохроматических волн с очень близкими длинами: 590,0 нм и 590,6 нм (рис. 13, б). Разности длин волн  $\Delta\lambda = 0,6$  нм соответствуют степень монохроматичности  $\lambda/\Delta\lambda \approx 1000$  и длина когерентности

$$l_{\text{ког}} \approx \lambda^2 / \Delta\lambda \approx 1000\lambda \approx 0,6 \text{ мм.} \quad (21)$$

## 2. Выполнение работы

1. Ознакомиться с установкой. Внутри корпуса находятся пластинка с клином, три лампы и блок питания натриевой лампы. На передней стенке расположены объектив, три тумблера включения ламп и общий выключатель сети с индикаторной лампой.

2. Выключить все тумблеры. Вставить сетевую вилку в розетку, включить тумблер «СЕТЬ», при этом должен загореться световой индикатор. Включить натриевую лампу, которая разгорается в течение нескольких минут.

3. Интерференционную картину рассматривайте через объектив, который должен находиться близко к глазу. Вращая оправу объектива, добейтесь резкости миллиметровой шкалы.

4. Зарисовать интерференционную картину.

5. Если имеется фотокамера, попытайтесь сделать снимки для всех условий освещения.

6. Подсчитать полное число полос  $m$ . По миллиметровой линейке на поверхности пластины с клином измерить длину  $L$ , на которой укладываются все полосы. Результаты измерений  $m$  и  $L$  записать в табл. 1.

Таблица 1

### Интерференция в свете натриевой лампы ( $\lambda = 590$ нм)

$m$	$L$ , мм	$\langle \Delta x \rangle$ , мм	$\alpha$ , рад

7. Обсудим результаты наблюдений. Интерференционная картина, фотография которой приведена на рис. 14, в целом согласуется с результатами теоретического рассмотрения. Наблюдаемые небольшие отличия (непостоянство ширины интерференционных полос и их искривления) могли возникнуть по следующим причинам: а) воздушный клин не идеален, он не имеет постоянного угла расходимости; б) свет падает на клин не по нормали.

8. Выключить натриевую лампу. (**Внимание!** Лампа не должна гореть без надобности. Срок службы лампы мал, а стоимость и сложности приобретения велики.)

9. Вычислить среднюю ширину полосы  $\langle \Delta x \rangle = L / m$ , результат записать в табл. 1.

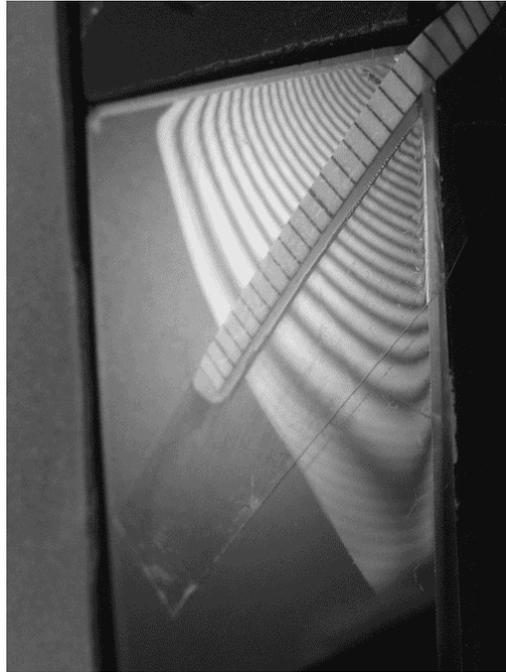


Рис. 14. Интерференция на клине в свете натриевой лампы (фото)

10. Оценить (найти приближенное значение) угла  $\alpha$  по формуле (14). Результат записать в табл. 1.

11. Включить красную лампу. Зарисовать интерференционную картину. Подсчитать максимальное число наблюдаемых полос  $m$ . Вычислить длину когерентности  $l_{\text{ког}}$  и сравнить ее с длиной (20). Результаты записать в табл. 2.

Таблица 2

### Интерференция в красном и белом свете

Свет	$m$	$l_{\text{ког}}$ , МКМ	$l_{\text{ког}}$ , МКМ (см. (19), (20))
Красный			
Белый			

12. Включить белую лампу. Зарисовать интерференционную картину. Объяснить радужную окраску полос. Подсчитать максимальное число наблюдаемых полос  $m$ . Вычислить длину когерентности  $l_{\text{ког}}$  и сравнить ее с длиной (19). Результаты записать в табл. 2.

13. Сделать выводы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют волной?
2. Напишите и поясните уравнение гармонической волны.
3. Что такое интерференция волн?
4. Какие волны называют когерентными?
5. При каких условиях наблюдаются максимумы и минимумы интерференции?

6. Какие особенности имеют световые волны, влияющие на интерференцию?
7. Как получить две когерентные световые волны?
8. Что называют длиной когерентности и как она связана со степенью монохроматичности?

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Литвинов О.С., Горелик В.С.* Электромагнитные волны и оптика: Учебное пособие. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 448 с.
2. *Иродов И.Е.* Волновые процессы. Основные законы: Учеб. пособие для вузов. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001 – 256 с.
3. *Савельев И.В.* Курс общей физики. Т. 2. М.: Наука, 1978, 480 с.