

## 24. Способы получения интерференции света: метод Юнга, зеркала Френеля, бипризма Френеля. Интерференция света в опыте Юнга: положение максимумов и минимумов освещенности. Пространственная когерентность, радиус когерентности

### Интерференция света

*Свет* – электромагнитные волны.

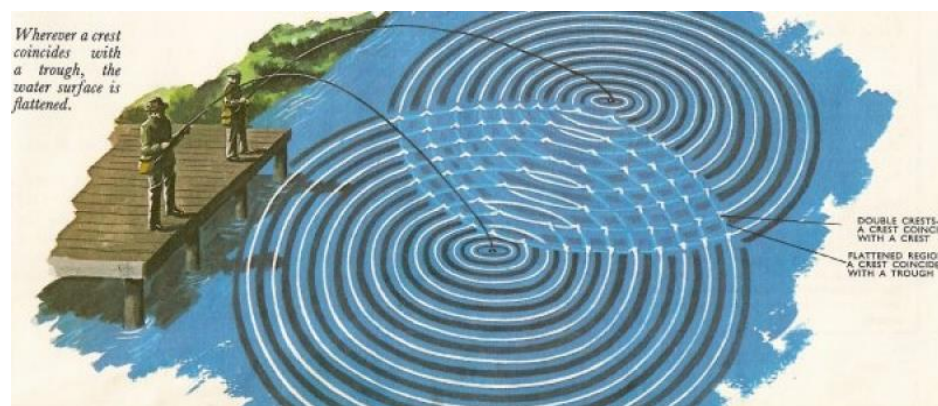
На практике в реальных средах могут распространяться одновременно несколько волн. В результате сложения волн наблюдается ряд интересных явлений: *интерференция, дифракция, отражение и преломление волн* и т. д.

Эти волновые явления характерны не только для механических волн, но и электрических, магнитных, световых и т. д.

Явление наложения когерентных световых волн, в результате которого наблюдается чередование усиления света в одних точках пространства и ослабления в других, называют *интерференцией света*.

Необходимым условием интерференции света является *когерентность* складываемых синусоидальных волн. Волны называют *когерентными*, если не изменяется с течением времени разность фаз складываемых волн, т. е.  $\Delta\varphi = \text{const}$ .

В силу поперечности электромагнитных (световых) волн условие когерентности является недостаточным для получения устойчивой интерференционной картины. Достаточное условие заключается в том, чтобы колебания, складываемых электромагнитных полей совершались вдоль одного и того же или близких направлений.



*Water Wave Interference*

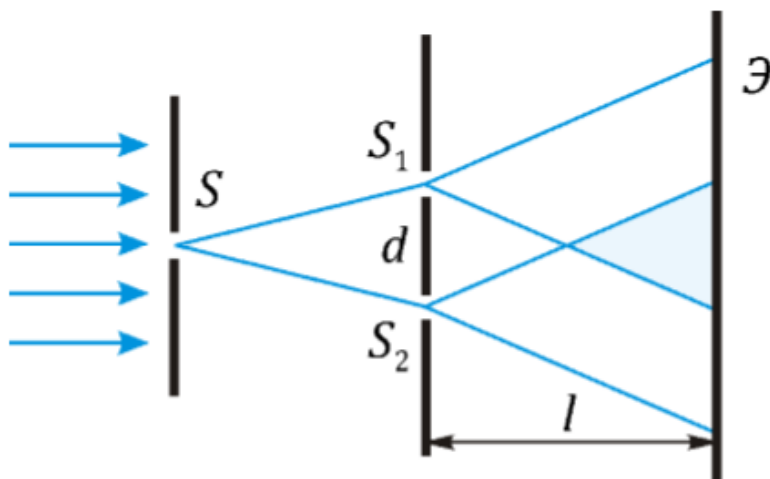


Цветные разводы возникают за счет интерференции – сложения световых волн, отраженных верхней и нижней поверхностями пленки

## Способы получения интерференции света

Для осуществления интерференции света необходимо получить когерентные световые пучки, для чего применяются различные приемы. До появления лазеров во всех приборах для наблюдения интерференции света когерентные пучки получали разделением и последующим сведением световых лучей, исходящих из одного и того же источника. Практически это можно осуществить с помощью экранов и щелей, зеркал и преломляющих тел. Рассмотрим некоторые из этих методов.

1. **Метод Юнга.** Источником света служит ярко освещенная щель  $S$ , от которой световая волна падает на две узкие равноудаленные щели  $S_1$  и  $S_2$ , параллельные щели  $S$ . Таким образом, щели  $S_1$  и  $S_2$  играют роль когерентных источников.

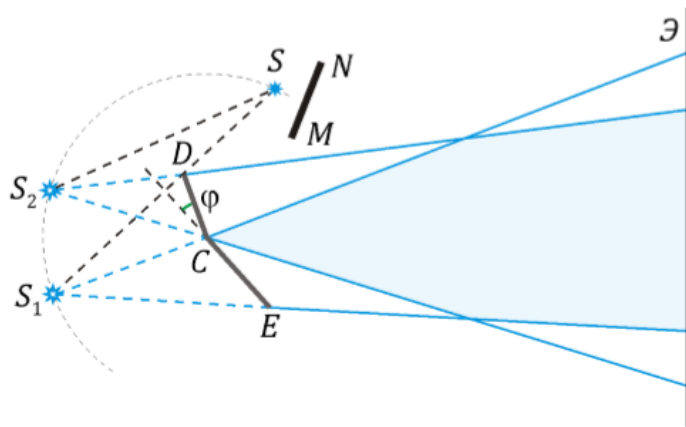


$S, S_1, S_2$  – щели,

$\mathcal{E}$  – экран.

Интерференционная картина (закрашенная область) наблюдается на экране ( $\mathcal{E}$ ), расположенном на некотором расстоянии параллельно  $S_1$  и  $S_2$ . Юнгу принадлежит первое наблюдение явления интерференции.

2. **Зеркала Френеля.** Свет от источника  $S$  падает расходящимся пучком на два плоских зеркала  $DC$  и  $CE$ , расположенных относительно друг друга под углом, лишь немного отличающимся от  $180^\circ$  (угол  $\varphi$  мал). Используя правила построения изображения в плоских зеркалах, можно показать, что и источник, и его изображения  $S_1$  и  $S_2$  (угловое расстояние между которыми равно  $2\varphi$ ) лежат на одной и той же окружности радиуса  $r$  с центром в  $C$  (точка соприкосновения зеркал).

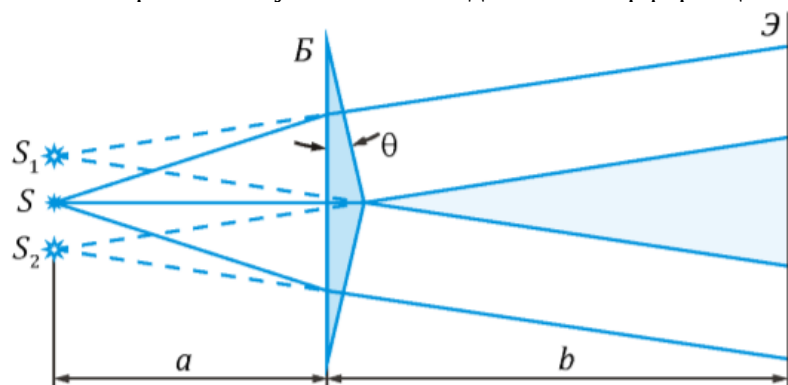


$S$  – прямолинейный источник света,  
 $S_1, S_2$  – мнимые источники,  
 $CD, CE$  – плоские зеркала,  $MN$  – ширма,  
 $\mathcal{E}$  – экран.

Световые пучки, отразившиеся от обоих зеркал, можно считать выходящими из мнимых источников  $S_1$  и  $S_2$ , являющихся мнимыми изображениями  $S$  в зеркалах.

Мнимые источники  $S_1$  и  $S_2$  взаимно когерентны, и исходящие из них световые пучки, встречаясь друг с другом, интерферируют в области взаимного перекрытия (закрашенная область). Можно показать, что максимальный угол расхождения перекрывающихся пучков не может быть больше  $2\varphi$ . Интерференционная картина наблюдается на экране ( $\mathcal{E}$ ), защищенном от прямого попадания света заслонкой  $MN$ .

3. **Бипризма Френеля.** Она состоит из двух одинаковых, сложенных основаниями призм с малыми преломляющими углами. Свет от источника  $S$  преломляется в обеих призмах, в результате чего за бипризмой распространяются световые лучи, как бы исходящие из мнимых источников  $S_1$  и  $S_2$ , являющихся когерентными. Таким образом, на поверхности экрана (в заштрихованной области) происходит наложение когерентных пучков и наблюдается интерференция.



$S$  – прямолинейный источник света,  
 $S_1, S_2$  – мнимые источники,  $\mathcal{E}$  – экран.  
 Расстояние между  $S_1, S_2$   $d = 2a(n-1)\theta$

## Интерференция света в опыте Юнга: положение максимумов и минимумов освещенности

Максимальное усиление света наблюдается в тех точках пространства, для которых разность хода световых лучей  $\Delta$  равна целому числу длин волн или четному числу полуволин:

$$\Delta_{\max} = m\lambda = 2m\frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots - \text{порядок интерференции}).$$

Минимум интенсивности при ослаблении света наблюдается при условии, если разность хода  $\Delta$  равна полуцелому числу длин волн или нечетному числу полуволин

$$\Delta_{\min} = (m + \frac{1}{2})\lambda = (2m + 1)\frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad - \text{длина волны в среде}$$

*Ширина интерференционной полосы* –  
расстояние между соседними минимумами

*Расстояние между интерференционными полосами* –  
расстояние между двумя соседними максимумами

$$\Delta x = \frac{l}{d} \lambda$$

При  $\delta^{\max} = 2m\frac{\lambda}{2}$  получаем, что координата максимума интерференции в точке наблюдения

$$y^{\max} = m \lambda \frac{L}{d},$$

где  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , – порядок интерференции.

При  $\delta^{\min} = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$  находим, что координата минимума интерференции в точке наблюдения

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

Таким образом, на экране будет наблюдаться интерференционная картина в виде чередующихся светлых (максимум) и темных (минимум) полос. Ширина максимума и минимума интерференции в методе щелей Юнга одинакова.

## Пространственная когерентность, радиус когерентности

Формулы максимума и минимума интерференции не налагают никаких ограничений на величину оптической разности хода.

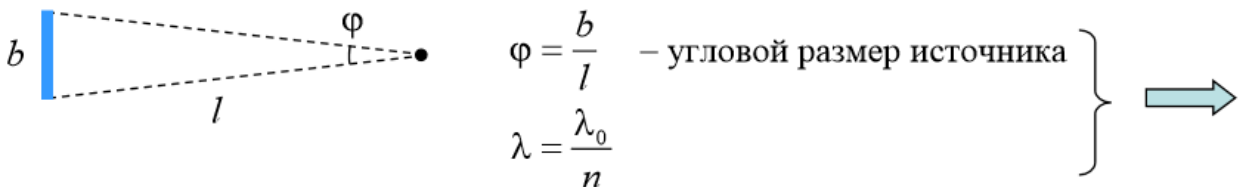
Однако интерференционную картину можно наблюдать лишь при некоторых значениях оптической разности хода  $\Delta$ . С увеличением  $\Delta$  интерференционная картина ухудшается и затем исчезает совсем.

Причина заключается в том, что реальные источники света не дают идеального монохроматического излучения, а испускают лишь квазимонохроматические волны, которые обладают некоторой шириной спектральных линий:

Для получения интерференционной картины от двух когерентных источников монохроматического света необходимо, чтобы размеры источников не превосходили определенного предела, зависящего от расстояния между ними, взаимного расположения их и от положения экрана.

*Пространственная когерентность* – когерентность колебаний, совершаемых в один и тот же момент времени, но в разных точках пространства.

Расстояние между точками, в которых случайные изменения разности фаз достигают значения равного  $\pi$ , называют *длиной пространственной когерентности*. Два источника, размеры и взаимное расположение которых позволяют наблюдать интерференцию от монохроматического света, называют *пространственно когерентными*.



Интерференция возможна, если  $\phi < \frac{\lambda}{d}$

$d < \frac{\lambda}{\phi}$  – условие когерентности колебания в области щелей

*Радиусом когерентности* (или *длиной пространственной когерентности*) называется максимальное поперечное направлению распространения волны расстояние, на котором возможно проявление интерференции. Таким образом, пространственная когерентность определяется радиусом когерентности.

$r_{\text{ког}} \approx \frac{\lambda}{\phi}$  где  $\lambda$  – длина волны света,  
 $\phi$  – угловой размер источника.

Радиус когерентности:  $r_{\text{ког}} \sim 0.05 \text{ мм}$

При использовании Солнца в качестве источника света для наблюдения отчетливых интерференционных полос в опыте Юнга нужно брать  $d \sim 0,02 \text{ мм}$ .