

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КУРС ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Решение задач по оптике
(интерференция света)

Учебно-методическое пособие

Составители:
А. Е. Гриднев,
А. В. Меремьянин,
В. Е. Рисин

Воронеж
Издательский дом ВГУ
2015

Цель данного учебно-методического пособия – помочь студентам освоить приёмы решения задач по теме «интерференция света». Изложен минимум теоретического материала, необходимого для решения задач. Даны примеры решения характерных задач, приведены тексты задач [1] для самостоятельного решения.

Убедительная просьба к студентам: соблюдайте последовательность проработки учебного материала!

Признаком интерференции, возникающей при наложении когерентных волн, является *неравенство* суммарной интенсивности I сумме интенсивностей отдельных волн: $I \neq I_1 + I_2$.

При двухлучевой интерференции монохроматических волн с одинаковыми частотами ω : $E_1 = E_{01} \cos(\omega t - \mathbf{k}_1 \mathbf{r}_1)$, $E_2 = E_{02} \cos(\omega t - \mathbf{k}_2 \mathbf{r}_2)$, суммарная интенсивность

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\mathbf{k}_2 \mathbf{r}_2 - \mathbf{k}_1 \mathbf{r}_1), \quad (1)$$

где $2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\mathbf{k}_2 \mathbf{r}_2 - \mathbf{k}_1 \mathbf{r}_1)$ – интерференционный член, $\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2$ – волновые векторы, $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$ – радиус-векторы, проведённые от соответствующих источников в точку наложения волн.

В зависимости от разности фаз колебаний $[(\omega t - \mathbf{k}_1 \mathbf{r}_1) - (\omega t - \mathbf{k}_2 \mathbf{r}_2)]$

$$-1 \leq \cos(\mathbf{k}_2 \mathbf{r}_2 - \mathbf{k}_1 \mathbf{r}_1) \leq +1.$$

$$I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2},$$

$$I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2}.$$

Чем больше I_{\max} и меньше I_{\min} , тем заметнее интерференция. Качество интерференционной картины, её заметность характеризуется *функцией видимости*

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad 0 \leq V \leq 1.$$

Очевидно, функция видимости максимальна, когда $I_1 = I_2 = I_0$. В

ции в направлении θ будет излучаться *узкий* пучок с высокой концентрацией энергии. Если при этом менять α , то пучок будет менять направление, сканируя пространство. Примерно таков принцип действия радиолокационных станций с *фазированной решёткой*.

Различные реальные источники излучают свет независимо друг от друга, и их излучение является некогерентным. Поэтому для наблюдения интерференции поступают следующим образом. Излучение одного источника с помощью различных оптических приспособлений делят на два пучка. Эти пучки затем сводят в одну область пространства, где они накладываются и интерферируют. В настоящее время известно множество интерференционных схем, построенных таким образом.

Рассмотрим для примера схему с бипризмой Френеля, которая представлена на рисунке 3.

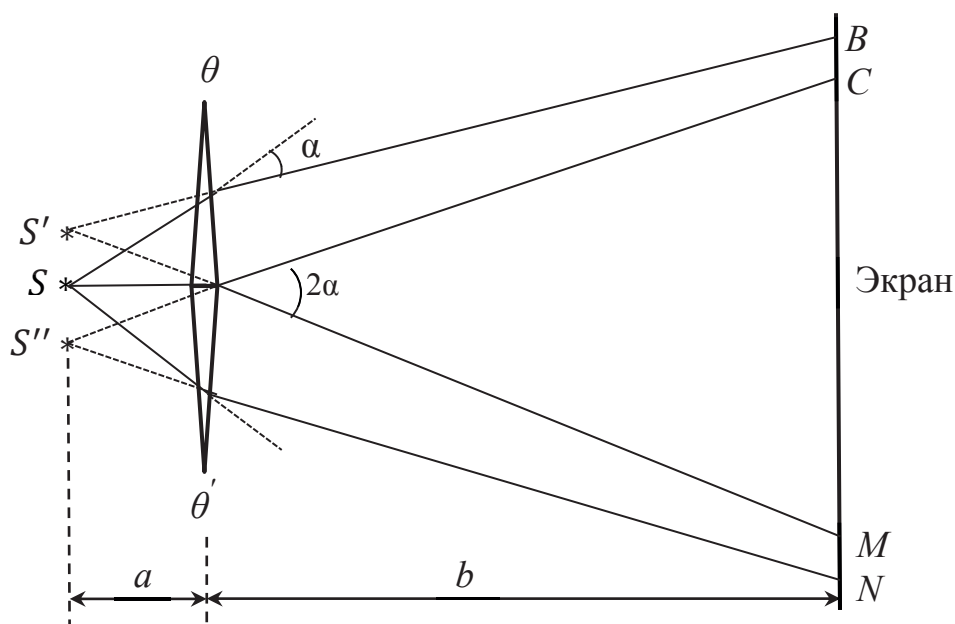


Рис. 3. Интерференционная схема с бипризмой Френеля

Две призмы с малыми преломляющими углами θ и θ' склеены основаниями. Источник S в виде светящейся нити (или щели), перпендикулярной плоскости рисунка. Для малых преломляющих углов φ (когда $\sin\varphi \approx$

φ) угол отклонения луча призмой α не зависит от угла падения и определяется выражением:

$$\alpha = \theta(n - 1), \quad (4)$$

где n — показатель преломления стекла призмы; угол θ задаётся в *радианах*. Лучи из источника S , падающие на верхнюю половину бипризмы, будут отклоняться вниз на угол α . Эти лучи будут приходить в область BM экрана и как бы исходить из мнимого источника S' . Лучи падающие на нижнюю половину бипризмы будут приходить в область CN экрана и как бы исходить из мнимого источника S'' .

Таким образом, бипризма обеспечивает деление волнового фронта излучения источника S на два когерентных пучка. В области перекрытия этих пучков CM будет наблюдаться интерференция. На экране увидим систему параллельных светлых и тёмных полос, перпендикулярных плоскости рисунка. Область перекрытия когерентных пучков называется *полем интерференции*.

Множество различных интерференционных схем сводится к задаче с двумя когерентными источниками и экраном, где наблюдается интерференция. Решим такую задачу.

Задача 2. На рисунке 4 S_1 и S_2 — когерентные источники одинаковой интенсивности в виде тонких светящихся нитей (перпендикулярных плоскости рисунка), расстояние между которыми обозначим $2l$. Параллельно светящимся нитям на расстоянии D от них располагается экран, на котором наблюдается интерференционная картина. Найти распределение интенсивности на экране и ширину интерференционных полос.

Для произвольной точки P экрана разность хода лучей $\Delta = r_2 - r_1$.

Из рисунка видно, что $r_2^2 = D^2 + (h + l)^2$, $r_1^2 = D^2 + (h - l)^2$. Откуда следует: $r_2^2 - r_1^2 = \Delta \cdot (r_2 + r_1) = 4hl$.

Обычно размер интерференционной картины невелик, $h \ll D$, кроме того $2l \ll D$, поэтому можем положить $(r_2 + r_1) = 2D$. Тогда для разности хода получим:

$$\Delta = 2l \cdot h/D.$$

Подставляя это выражение в формулу (2), получим распределение интенсивности в зависимости от координаты экрана

$$I = 2I_0[1 + \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{2l \cdot h}{D}\right)].$$

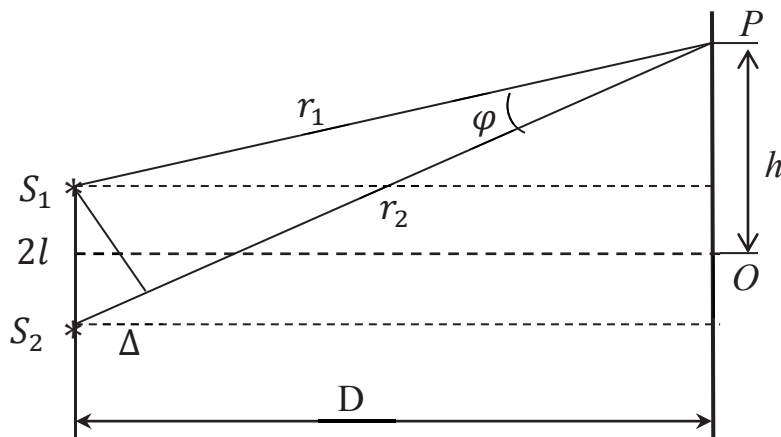


Рис. 4. Интерференционная схема с двумя когерентными источниками

Координаты интерференционных максимумов найдём из условия $\Delta = 2l \cdot h/D = \pm m\lambda$.

$$h_{max} = mD\lambda/2l. \quad (5)$$

Расстояние между соседними максимумами (или минимумами) δh называется *шириной интерференционной полосы*

$$\delta h = D\lambda/2l. \quad (6)$$

Сделаем важную оценку. Зададим $D = 0,4$ м; $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м. Если мы хотим, чтобы ширина интерференционных полос была хотя бы 2 мм, то из (6) получим необходимое расстояние между когерентными источниками: $2l = 0,1$ мм.