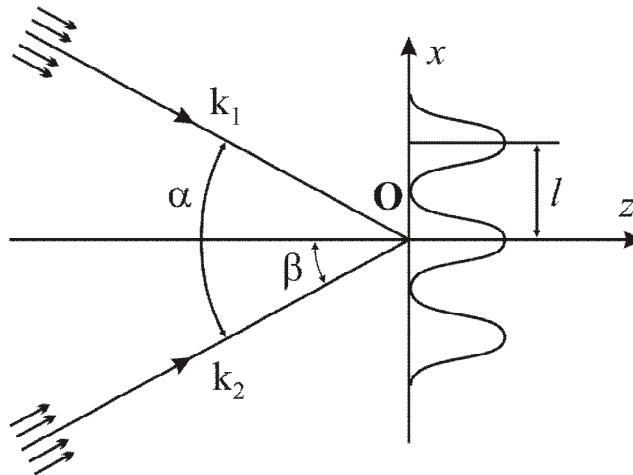


**Интерференция света. Бипризма Френеля. Определение параметров бипризмы Френеля по интерференционной картинке**

В интерференции и дифракции проявляются волновые свойства света. Различными способами (преломлением, отражением, расщеплением) можно наложить один световой пучок на другой. Если выполняется принцип суперпозиции, то каждый пучок будет проходить через область перекрытия так, как если бы другого пучка не было.



**Рис. 1.** Наложение двух лучей сходящихся под углом  $\alpha$

Пусть два пучка складываются в пространстве (см. рис. 1). Напряженность электрического поля, создаваемая первым пучком в произвольной точке области перекрытия,  $\mathbf{E}_1$ , а вторым –  $\mathbf{E}_2$ . Согласно принципу суперпозиции, результирующая напряженность в той же точке  $A$ , создаваемая обоими пучками, будет представляться векторной суммой  $\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$ .

Пусть складывающиеся пучки света представляют собой две плоские волны, имеющие одинаковы амплитуды и частоты. Тогда

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_1(\mathbf{r}, t) &= \mathbf{E}_0 \cos(\omega t - \mathbf{k}_1 \mathbf{r}), \\ \mathbf{E}_2(\mathbf{r}, t) &= \mathbf{E}_0 \cos(\omega t - \mathbf{k}_2 \mathbf{r}) \end{aligned} \quad (4.1)$$

где  $k_1 = k_2 = k = 2\pi/\lambda$ . Найдем теперь интенсивность света в интересующей нас точке. Учитывая что  $I \sim \langle \mathbf{E}^2 \rangle$ , где угловые скобки означают усреднение по времени, получим

$$I = I_1 + I_2 + I_{12}. \quad (4.2)$$

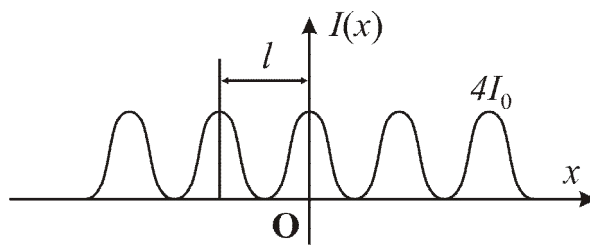
Здесь  $I_1 = I_2 = I_0 \sim E_0^2$ , а интерференционный член  $I_{12}$  имеет вид

$$I_{12} = 4I_0 \langle \cos(\omega t - \mathbf{k}_1 \mathbf{r}) \cos(\omega t - \mathbf{k}_2 \mathbf{r}) \rangle = 2I_0 \cos[(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) \mathbf{r}]. \quad (4.3)$$

В нашем случае (см. рис. 1)  $\alpha = 2\beta$  – угол схождения пучков. Тогда  $(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2) \mathbf{r} = 2kx \sin \beta$ , где координата  $x$  отсчитывается от начала отсчета  $O$ . Имеем

$$I = 2I_0 [1 + \cos(2kx \sin \beta)] = 4I_0 \cos^2(kx \sin \beta) \quad (4.4)$$

Зависимость интенсивности от координаты  $x$  можно изобразить на графике (см. рис. 2).

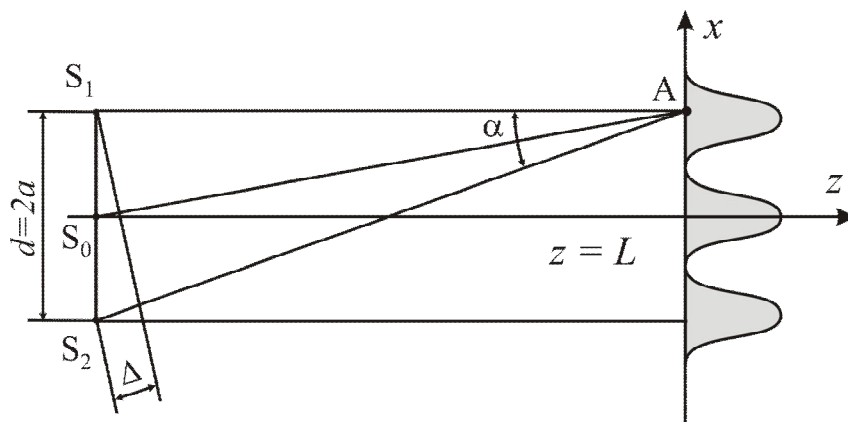


**Рис. 2.** Распределение интенсивности света в интерференционной картине по оси  $x$

Нетрудно видеть, что возникает чередование максимальной и минимальной интенсивности, т.е. возникает интерференционная картина период которой

$$l = \frac{\pi}{k \sin \beta} = \frac{\lambda}{2 \sin \beta} = \frac{\lambda}{2 \sin(\alpha/2)}. \quad (4.5)$$

для малых углов  $l \approx \lambda / \alpha$ .



**Рис. 3.** Наложение света в точке  $A$

Чередование максимальной и минимальной интенсивностей в области пересечения пучков является интерференцией. Схема опыта по интерференции дана на рис. 3. Если в пространстве при  $z = L$  поставить экран наблюдения, то мы увидим интерференционную картину, в которой в направлении  $x$  интенсивность меняется по закону (4.4). Эта интерференционная картина будет иметь вид чередующихся светлых и темных полос.

Наиболее удобным источником света для наблюдения интерференции является лазер. Это возможно в силу специальных свойств лазерного света – его когерентности. Можно считать, что цуг излучения лазера столь велик, что в результате временного усреднения картина интерференции не замазывается, а остается четкой. Длина цуга света должна быть больше разности хода  $\Delta$  двух интерферирующих лучей.

В случае белого света для наблюдения интерференционной картины возможна разность хода  $\Delta$  двух интерферирующих лучей величиной лишь в несколько длин волн  $\lambda$  (зеленый свет  $\lambda = 5 \cdot 10^{-5}$  см). Для лазерного света она составляет сантиметры и для специальных лазеров может достигать километров.

Разность хода  $\Delta$  в схеме интерференционного опыта (рис. 3) от двух источников  $S_1$  и  $S_2$  определяется как  $\Delta = 2a \sin \alpha$ . Для малых углов  $\sin \alpha \approx \alpha \approx 2a/L = d/L$ , где  $d$  – расстояние между источниками  $S_1$  и  $S_2$ ;  $L$  – расстояние от источника до плоскости наблюдения;  $\lambda$  – длина волны;  $l$  – период интерференционной полосы.

Интерференционная картина (см. рис. 2) с периодом  $l$  наблюдается при схождении лучей под углом. Если расстояние между источниками  $S_1$  и  $S_2$  и геометрия опыта таковы, что обеспечивается угол схождения лучей равный  $\alpha = \lambda/l$ , то условия возникновения интерференции выполнены, т.е. выполняется соотношение

$$\frac{d}{L} = \frac{\lambda}{l} \quad (4.6)$$

Допустимая разность хода между интерферирующими лучами может быть оценена как

$$\Delta \approx 2a \sin \alpha \approx d\alpha \approx d \frac{\lambda}{l} \quad (4.7)$$

Поскольку в тоже время должно выполняться соотношение  $\Delta \approx d^2/L$ , то расстояние  $L$  должно быть не менее  $ld/\lambda$  т.е.

$$L \approx \frac{ld}{\lambda} \quad (4.8)$$

Это позволяет считать, что при наличии излучения с длиной волны  $\lambda$  от двух источников  $S_1$  и  $S_2$  с расстоянием между ними  $d$  на расстоянии  $L$  от них будет наблюдаться интерференционная картина с размером полосы

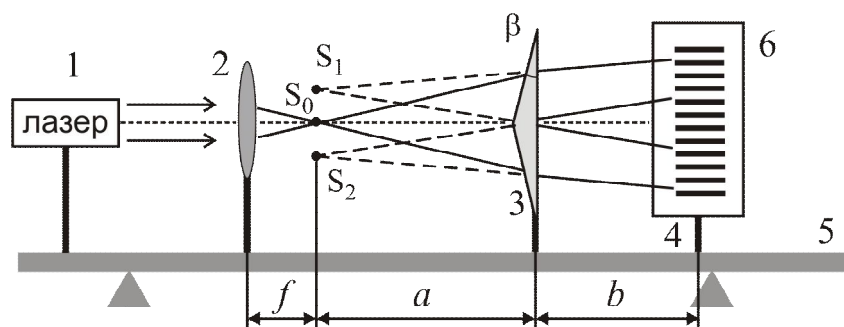
$$l \approx \frac{\lambda}{d} L \approx \frac{\lambda}{\alpha} \quad (4.9)$$

### **Цель работы**

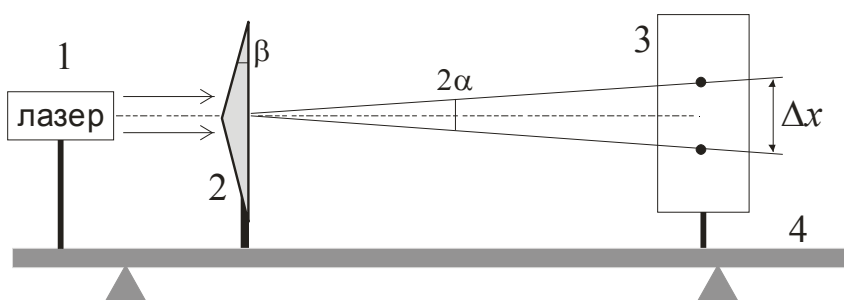
В работе изучается интерференция красного лазерного света полупроводникового лазера. Интерференционная картина получается с помощью бипризмы Френеля. По интерференционной картине и по отклонению луча лазера бипризмой находят параметр бипризмы Френеля – преломляющий угол  $\beta$ . Результаты сравниваются.

### **Принадлежности**

Полупроводниковый лазер с длиной волны 670 нм (красный) и мощностью излучения 1 мВт, направляющая, набор рейтеров, короткофокусная линза, бипризма Френеля.



**Рис. 4.** Схема опыта по интерференции лазерного света на бипризме Френеля. 1 – Лазер. 2 – Линза. 3 – Бипризма Френеля. 4 – Экран наблюдения. 5 – Наравляющая. 6 – Интерференционная картина



**Рис. 5.** Схема опыта по прохождению лазерного луча через бипризму Френеля. 1 – Лазер. 2 – Бипризма Френеля. 3 – Экран наблюдения. 4 – Наравляющая

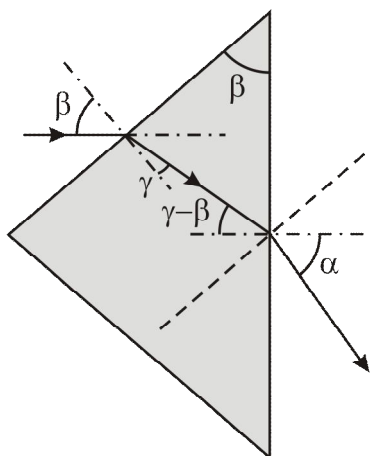
### Методика проведения

Интерференционная картина появляется при сложении двух когерентных пучков света. В работе складываются два пучка, полученные путем деления (расщепления) луча лазера на два пучка с помощью бипризмы Френеля на схеме рис 4. Измеряется период интерферирующей картины и находится параметр бипризмы – преломляющий угол  $\beta$ . Из опыта по схеме рис 5 при непосредственном определении угла  $\alpha$ , на который отклоняет бипризма падающий на нее луч, находится преломляющий угол  $\beta$  бипризмы Френеля. Сравниваются значения угла  $\beta$  полученные двумя способами. Оцениваются ошибки.

Бипризма Френеля состоит [3] из двух стеклянных призм с малыми преломляющими углами  $\beta$  сложенных своими основаниями. Источником света является (см. рис. 4) сфокусированное в точку  $S_0$  лазерное излучение. После преломления в бипризме падающий пучок света разделяется на два когерентных пучка с вершинами в мнимых изображениях  $S_1$  и  $S_2$  источника  $S_0$ . В области экрана пучки перекрываются и дают систему параллельных интерференционных полос. В работе:  $\beta$  – преломляющий угол бипризмы,  $n$  – показатель преломления бипризмы (для расчетов считать  $n$  равным коэффициенту преломления стекла),  $a$  и  $b$  – расстояния от бипризмы до источника излучения  $S_0$  и до экрана наблюдения соответственно.

Каждая половина бипризмы отклоняет луч на угол  $\alpha = (n-1)\beta$ . Расстояние  $d$  между мнимыми источниками  $S_1$  и  $S_2$  равно  $d = S_1S_2 = 2a(n-1)\beta$ . Угловое расстояние между мнимыми источниками  $\alpha = d/(a+b)$ . Ширина интерференционной полосы (период интерференционной картины)

$$l = \frac{\lambda}{\alpha} = \frac{\lambda(a+b)}{2a(n-1)\beta}. \quad (4.10)$$



**Рис. 6.** Ход лучей в бипризме Френеля

Ход лучей через бипризму Френеля показан на рис. 6. Используя закон преломления Снеллиуса и малость величины углов падения и преломления можно записать

$$\gamma = \beta \frac{n_0}{n},$$

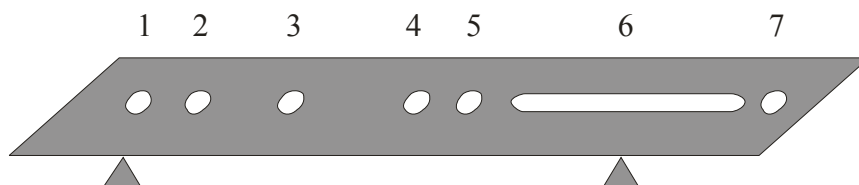
$$\gamma' = \beta - \gamma = \beta \left(1 - \frac{n_0}{n}\right)$$

Бипризма отклоняет падающий на нее луч на угол

$$\alpha = \gamma' \frac{n_0}{n} = \beta \left(\frac{n_0}{n} - 1\right) \quad (4.11)$$

Считая для воздуха  $n_0 = 1$ , можно записать, что угол, на который бипризма отклоняет падающий на нее луч, равен

$$\alpha = \beta(n-1). \quad (4.12)$$



**Рис. 7.** Схема направляющей скамьи

**Задание**

1. Соберите схему согласно по рис.4. Для этого лазер в оправе и на рейтере ставится в положение 1 направляющей (см. рис. 7), бипризма в оправе и на рейтере ставится в положение 3 направляющей 5. Экран наблюдения Э, помещается на рейтере в положение 7 направляющей. На экране закрепляется лист бумаги для зарисовки интерференционной картины. В луч лазера перед бипризмой ставится в положение 2 линза ( $f = 25 \text{ мм}$ ). Она создает источник  $S_0$  и расширяет пучок. Линзу устанавливают так, чтобы ее фокус был перед бипризмой (точка  $S_0$ ). Далее расходящийся пучок делится бипризмой на два расходящихся пучка. На экране наблюдения эти пучки перекрываются. Область излучения полупроводникового лазера представляет собой светящуюся щель. Лазер вращают в оправе и устанавливают его так, чтобы область излучения была параллельна ребру бипризмы. Бипризма в оправе стоит так, что ее ребро перпендикулярно к плоскости стола. На экране наблюдения возникает ряд параллельных полос, направление которых параллельно ребру призмы. Выполняя несложную настройку схемы, добиваются четкой интерференционной картины на экране. Карандашом на листке бумаги зарисуйте интерференционную картину. Сосчитайте число полос между карандашными пометками. Затем бумага сдвигается, и картинка отмечается снова. После нескольких передвижений бумага снимается, измеряется расстояние между метками с помощью линейки. С помощью линейки измеряют расстояние между элементами схемы (линзы, бипризмы, экрана). Зная фокусное расстояние линзы, определяются расстояния  $a$  и  $b$ . Размер интерференционной области и число полос определяют несколько раз. После этого находят средний размер периода интерференционной картины  $l$ . Зная размер периода интерференционной картины и геометрию опыта (величины  $a$  и  $b$ ), используя соотношение находят (4.10) параметр бипризмы (преломляющий угол  $\beta$ )

$$\beta = \frac{\lambda(a+b)}{2la(n-1)} \quad (4.13)$$

2. Соберите схему согласно рисунку 5. Для этого лазер в оправе и на рейтере ставится в положение 1 направляющей. Бипризма в оправе и на рейтере ставится в положение 3. Экран наблюдения Э, помещается на рейтере в положение 7 направляющей. На экране закрепляется лист бумаги для зарисовки интерференционной картины. Лазер и бипризма выставляются так, чтобы ребро бипризмы расщепляло луч лазера на две части. Эти два пучка лазера падают на экран наблюдения. Карандашом на листке бумаги делают зарисовки двух лазерных пятен на экране. Лист бумаги передвигают и делают несколько зарисовок. С помощью линейки измеряют расстояние  $L$  от бипризмы до экрана. Бумагу с экрана снимают и с помощью линейки измеряют на зарисовках расстояние  $\Delta x$  между лучами лазера. Зная расстояние  $L$  и величину  $\Delta x$ , определяют величину отклонения луча лазера  $\alpha$  после прохождения бипризмы Френеля. Используя выражение (4.12), находят значение величины параметра бипризмы Френеля

$$\beta = \frac{\alpha}{n-1}. \quad (4.14)$$

3. Определите среднее значение параметра бипризмы и ошибки опыта в упражнениях 1 и 2. Сравните результаты определения параметра  $\beta$  обоими способами по формулам (4.13) и (4.14).
4. Соберите схему (рис.4). Поместите экран последовательно в положение 7 в паз 6 (дальнее положение от лазера) и в паз 6 - ближнее положение от лазера. Для трех значений  $b$  найдите величину периода  $l$  интерференционной картины. Считая величину  $\beta$  определенной и используя полученные выше значения  $\beta$ , проверьте правильность соотношения (4.10).

## Литература

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т. IV. Оптика. – М.: Наука, 1980. гл. III. §§ 26,27.
2. Горелик Г.С. Колебания и волны – М.:Физматгиз, 1959, гл.V. §§2,6.
3. Ландсберг Г.С. Оптика – М..Наука, 1976, гл.IV, §§ 11-16.

### Дополнение к лабораторной работе 4 «Определение параметров бипризмы. Бипризма Френеля».

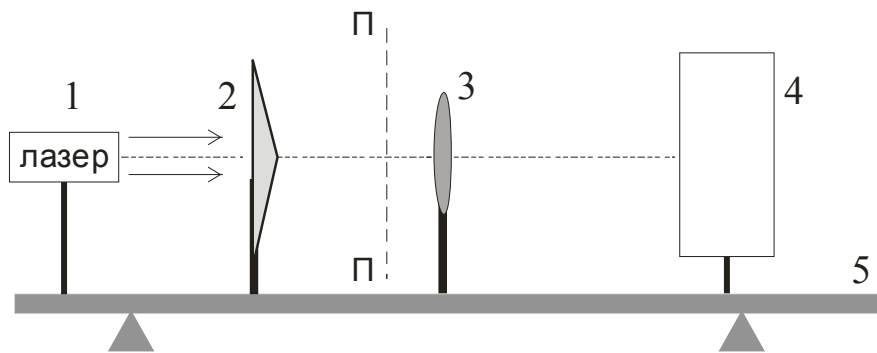
**Методика работы.** Опыт с бипризмой Френеля может быть осуществлен двумя способами.

#### Способ 1.

Интерференция в расходящемся пучке лазера. Схема опыта дана на рис.4 описания. В опыте лазер помещается в положение 1 направляющей. Короткофокусную линзу Л4 устанавливают в положение 2 направляющей. Бипризму Френеля помещают в положение 3 направляющей (см. рис. 7). Небольшой экран устанавливают в положение 7 направляющей. Измерение периода интерференционной картины можно вести на экране 4 или на удаленном экране. Удаленный экран наблюдения ставят на расстоянии 2-3 метра.

#### Способ 2.

Интерференция в параллельном луче лазера. Схема опыта дана на рис. 4а. Лазер помещают в паз 6 направляющей. Экран ставят в положение 1 направляющей. Лазер передвигают к краю паза 6, удаленному от экрана. Вносят в паз 6 бипризму Френеля и передвигают ее как можно ближе к лазеру. Затем за бипризмой по ходу луча ставят короткофокусную линзу. Бипризму располагают на таком расстоянии, чтобы плоскость ПП наблюдения интерференционной картины была спроектирована на экран.



**Рис. 4а.** 1 – Лазер. 2 – Бипризма Френеля. 3 – Линза. 4 – Экран наблюдения. 5 – Наравляющая. ПП – плоскость наблюдения

Для линзы с  $f = 25$  мм расстояние от бипризмы до линзы около 65 или 93 мм. Для линзы с  $f = 15$  мм расстояние от бипризмы до линзы около 57 или 100 мм. Короткофокусная линза носит вспомогательную роль и является проекционной линзой. Она картину в плоскости наблюдения ПП проецирует на экран в увеличенном масштабе.

Измерения периода интерференционной картины ведутся по зарисовкам на экране с помощью линейки. Зная фокусное расстояние линзы  $f$  и расстояние  $L$  от линзы до экрана, определяют коэффициент увеличения интерференционной картины на экране. Затем вычисляют размер интерференционных полос. Определение параметра бипризмы аналогично ранее описанному в методическом руководстве.