

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

## **КУРС ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

### **Лабораторный практикум по оптике**

*Учебно-методическое пособие*

Составитель В. Е. Рисин

Воронеж  
Издательский дом ВГУ  
2019

## Лабораторная работа №8

### ИЗУЧЕНИЕ ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ВОЗДУХ-СТЕКЛО. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ

#### Отражение и преломление света. Формулы Френеля

В однородных изотропных средах свет распространяется вдоль прямых, перпендикулярных волновому фронту и называемых лучами. На границе раздела двух прозрачных диэлектриков (с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$ ) происходит отражение и преломление света в соответствии с хорошо известными законами:

1. Луч падающий, отражённый и преломлённый лежат в одной плоскости – *плоскости падения*;
2. Угол отражения  $\varphi_1$  равен углу падения  $\varphi$ ;
3. Направление преломлённого луча (угол  $\varphi_2$ ) определяется законом

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Расчёт интенсивностей отражённой  $I_1$  и преломлённой  $I_2$  волны при заданной интенсивности падающей световой волны  $I_0$  и заданной границе раздела ( $n_1$  и  $n_2$ ) можно провести с использованием *формул Френеля*.

Эксперименты показывают, что при заданных значениях  $I_0$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  и  $\varphi$  интенсивности  $I_1$  и  $I_2$  зависят ещё и от *характера поляризации световой волны падающей на границу раздела*.

Чтобы учесть эту зависимость, свет с любой поляризацией представляют в виде суперпозиции двух волн, линейно поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Одну из этих волн выбирают так, чтобы вектор  $\mathbf{E}$  колебался в плоскости падения (её называют *параллельная компо-*

света на границу раздела воздух–стекло. Зададим показатель преломления воздуха  $n_1 = 1$ , показатель преломления стекла  $n_2 = 1,5$ .

При  $\varphi = 0$

$$R_{\parallel} = \frac{(I_1)_{\parallel}}{(I_0)_{\parallel}} = R_{\perp} = \frac{(I_1)_{\perp}}{(I_0)_{\perp}} = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} = 0,04.$$

Чем больше различаются  $n_1$  и  $n_2$ , тем сильнее отражение. Причём неважно, идёт ли свет из первой среды во вторую, или из второй в первую.

При  $\varphi \neq 0$ :

$$R_{\parallel} = \frac{(I_1)_{\parallel}}{(I_0)_{\parallel}} = (r_{\parallel})^2 = \frac{tg^2(\varphi - \varphi_2)}{tg^2(\varphi + \varphi_2)}.$$

С ростом угла падения  $\varphi$  растёт и числитель и знаменатель. Однако сначала знаменатель растёт быстрее, и при  $(\varphi + \varphi_2) = \pi/2 \Rightarrow tg(\varphi + \varphi_2) = \infty$ .

Таким образом, параллельная компонента не отражается ( $R_{\parallel} = 0$ ,  $(I_1)_{\parallel} = 0$ ) при выполнении условия:

$$(\varphi + \varphi_2) = \pi/2. \quad (4)$$

Угол падения  $\varphi$ , для которого выполняется соотношение (4), называется *углом Брюстера*, а само соотношение (4) называется *условием Брюстера*.

Условие Брюстера можно записать и в ином виде, если использовать закон преломления и условие (4). Учтём, что в этом случае  $\sin \varphi_2 = \sin(\pi/2 - \varphi)$ .

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_2} = \frac{\sin \varphi}{\sin(\frac{\pi}{2} - \varphi)} = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = tg \varphi = \frac{n_2}{n_1}.$$

Таким образом, другой вид *условия Брюстера*:

$$tg \varphi_6 = n_2/n_1. \quad (5)$$

При заданных выше значениях  $n_1 = 1$ ,  $n_2 = 1,5$ , угол Брюстера  $\varphi_6 = 56,3^\circ$ .

При дальнейшем увеличении угла падения  $\varphi > \varphi_6$  знаменатель  $R_{\parallel}$  начинает уменьшаться, а числитель продолжает расти. Поэтому  $R_{\parallel}$  начинает расти и при  $\varphi = \pi/2$  коэффициент отражения  $R_{\parallel} = 1$  (скользящий луч).

Исследуем теперь зависимость  $R_{\perp}(\varphi)$ , где

$$R_{\perp} = \frac{(I_1)_{\perp}}{(I_0)_{\perp}} = (r_{\perp})^2 = \frac{\sin^2(\varphi - \varphi_2)}{\sin^2(\varphi + \varphi_2)}. \quad (6)$$

С ростом угла  $\varphi$ ,  $R_{\perp}$  *монотонно растёт*, так как числитель растёт быстрее знаменателя. При  $\varphi = \varphi_6 = 56,3^\circ$ , например, энергетический коэффициент отражения  $R_{\perp} = 0,15$ , а при  $\varphi = \pi/2$   $R_{\perp} = 1$ .

Графики зависимостей энергетических коэффициентов отражения  $R_{\parallel}(\varphi)$  и  $R_{\perp}(\varphi)$  для границы раздела двух диэлектриков ( $n_1 = 1$ ,  $n_2 = 1,5$ ) приведены на рисунке 1.

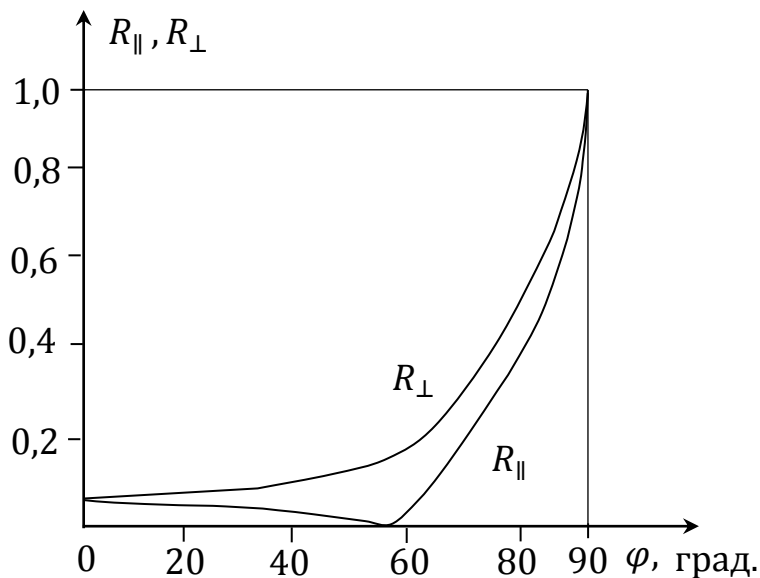


Рис. 1. Зависимости  $R_{\parallel}(\varphi)$  и  $R_{\perp}(\varphi)$  для границы раздела воздух-стекло.

Если на границу раздела падает неполяризованный свет, то при  $\varphi = \varphi_6$  отражённая световая волна будет *линейно поляризована*. При всех других углах падения, кроме  $\varphi = 0$  и  $\varphi = \pi$ , отражённая и преломлённая волна будут *частично поляризованы*.

## Экспериментальная установка

Лабораторная работа выполняется на модульной экспериментальной установке ЛКО-1 (см. рис. 2). Источником оптического излучения является полупроводниковый лазерный диод «1» с длиной волны излучения  $\lambda = 650$  нм, который находится внутри кожуха ЛКО. Блок питания лазера имеет два режима работы, соответствующих максимальной и минимальной интенсивности лазерного пучка (переключатель на блоке питания имеет положения, соответственно, «Max» и «Min»). Лазерный пучок отклоняется зеркалом «2» на угол  $90^\circ$  и проходит вдоль оптической скамьи «3» с измерительной шкалой, на которой устанавливаются дополнительные элементы (модули) необходимые для проведения измерений. Юстировка лазерного пучка по горизонтали и вертикали осуществляется винтами «4.1» и «4.2».

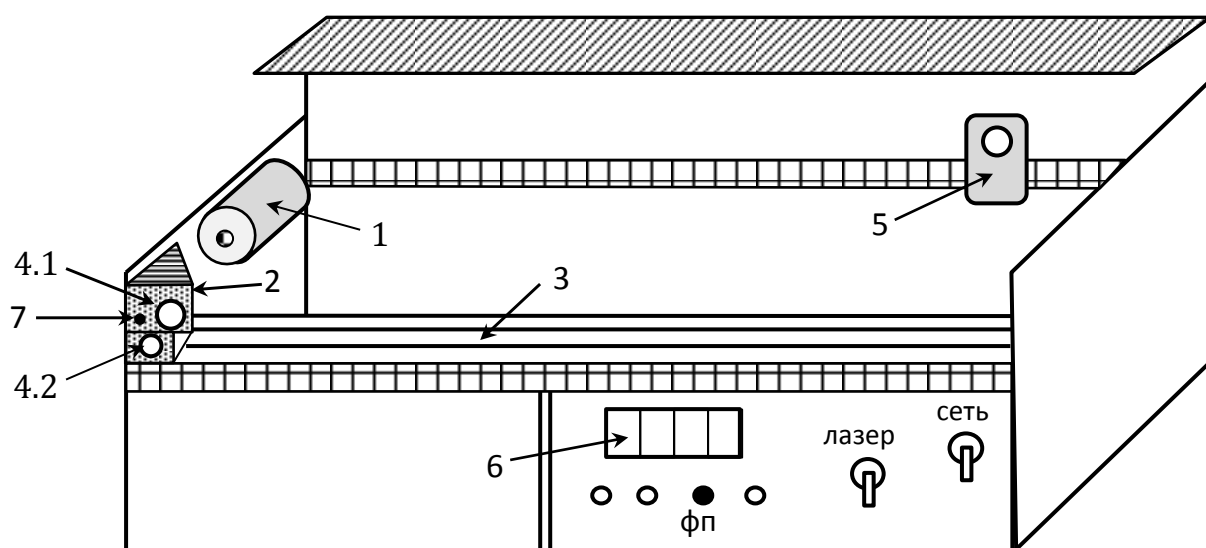


Рис. 2. Модульная экспериментальная установка ЛКО-1.

Для измерения светового потока оптического излучения используется фотоприёмник «5», сигнал с которого поступает на регистрирующий цифровой прибор «6».

Для выполнения данной лабораторной работы необходимо получить у лаборанта следующие дополнительные элементы:

- 1) поляризатор – модуль **12**;
- 2) поворотный столик – модуль **13**;
- 3) стеклянную треугольную призму – вставка **9**.

*Внутри корпуса ЛКО-1 находится ещё один, He-Ne лазер, который в данной работе не используется. Поэтому прежде чем включать кабель питания ЛКО в сеть, следует проверить, чтобы тумблеры «сеть» и «лазер» были в положении «выключено», а рукоятка «7» находилась в горизонтальном положении.*

### **Задание 1. Определение показателя преломления стекла призмы по углу Брюстера**

В этом задании необходимо определить показатель преломления стекла треугольной призмы (вставка «9»). Схема опыта представлена на рис. 3.

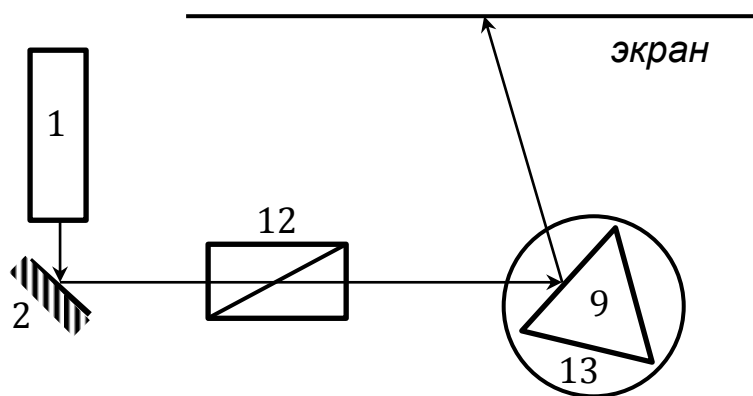


Рис. 3. Схема опыта по определению показателя преломления стекла. 1 – лазерный диод; 2 – поворотное зеркало; 12 – поляризатор; 9 – стеклянная призма на поворотном столике 13.

Как указывалось выше, параллельная компонента (линейно поляризованный свет, вектор  $\mathbf{E}$  колеблется в плоскости падения) не отражается при падении света на границу раздела двух диэлектриков под углом Брюстера.

Если зафиксировать угол падения, при котором отражение параллельной компоненты не происходит, то можно исходя из формулы (5) определить отношение показателей преломления для границы раздела двух диэлектриков. В нашем случае это граница раздела воздух-стекло ( $n_1 = 1$ ,  $n_2 = n_{\text{ст}}$ ). Таким образом, показатель преломления стекла призмы

$$n_{\text{ст}} = \operatorname{tg} \varphi_{\text{бр}}. \quad (7)$$

### Порядок выполнения задания 1

1. Снять фотоприёмник «5» с направляющей полосы задней стенки макета ЛКО-1 и положить его на дно макета (в этом задании фотоприёмник не используется).

2. Включить в розетку блок питания полупроводникового лазера и перевести переключатель блока питания в положение «Мах». **Осторожно**, по очереди вращая винты «4.1» и «4.2» добиться, чтобы пучок лазерного излучения попадал в центр предметного креста на правой боковой стенке ЛКО.

3. Установить на оптическую скамью поляризатор (модуль «12») и зафиксировать его винтом на отметке  $\approx 5$  см. Конструкция модуля «12» позволяет поворачивать поляризатор вокруг падающего на него пучка оптического излучения. *Плоскость поляризатора*, т. е. плоскость в которой колеблется вектор  $\mathbf{E}$  пропущенного поляризатором света, соответствует ориентации рукоятки поворота поляризатора.

Для получения параллельной компоненты *следует установить поляризатор на отметку  $0^\circ$*  круговой шкалы (вектор  $\mathbf{E}$  пропущенного поляризатором света будет колебаться в горизонтальной плоскости).

4. Установить на оптическую скамью поворотный столик (модуль «13») и зафиксировать его положение на отметке 30 см винтом. Установить стеклянную треугольную призму на поворотном столике (вставка «9»).