

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.19

## ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ

*Цель работы:* измерение угла полной поляризации и определение электрической проницаемости стекла поляризационным методом; проверка закона Малюса.

*Приборы и принадлежности:* гониометр с поляроидом и черным зеркалом, осветитель, светофильтр, два поляроида во вращающихся оправках, осветитель, гальванометр с фотоэлементом (люксметр).

### ЧАСТЬ I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ СТЕКЛА ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

#### ВВЕДЕНИЕ

Как известно, коэффициент отражения линейно поляризованного света от диэлектрического зеркала зависит от угла падения и от того, как расположен электрический вектор световой волны относительно плоскости падения. Если электрический вектор падающей волны перпендикулярен плоскости падения, то энергетический коэффициент отражения равен:

$$R_{\perp} = \frac{\sin^2(\phi - \psi)}{\sin^2(\phi + \psi)}, \quad (1)$$

где  $\phi$  – угол падения,  $\psi$  – угол преломления; отражение происходит при любом угле падения.

Если же электрический вектор параллелен плоскости падения, то коэффициент отражения равен:

$$R_{\parallel} = \frac{\operatorname{tg}^2(\phi - \psi)}{\operatorname{tg}^2(\phi + \psi)}. \quad (2)$$

Выражения (1) и (2) называют **формулами Френеля**.

Используя закон преломления, легко найти угол падения, при котором отражение в случае (2) отсутствует:

$$\operatorname{tg} \phi_{\text{Бр}} = n, \quad (3)$$

где  $n$  – показатель преломления данного диэлектрика.

Это соотношение носит название закона Брюстера; угол падения  $\phi_{\text{Бр}}$ , при котором отражение отсутствует, называют **углом Брюстера** или **углом полной поляризации**. Зная угол полной поляризации, можно определить электрическую проницаемость данного диэлектрика из условия

$$\varepsilon = n^2 = \operatorname{tg}^2 \phi_{\text{Бр}}. \quad (4)$$

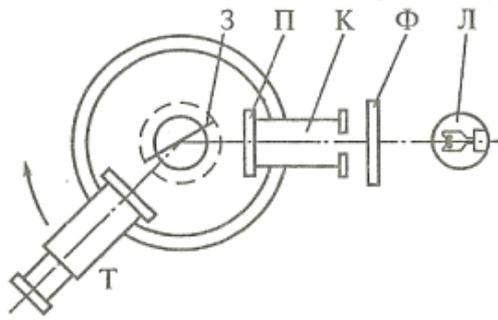
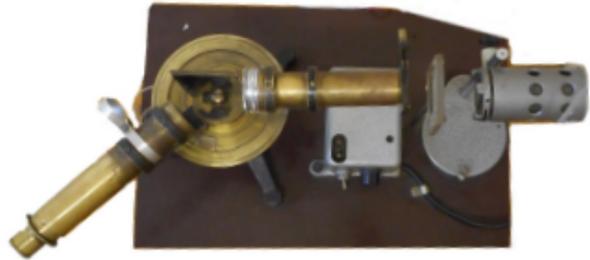


Рис. 3.19.1



### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

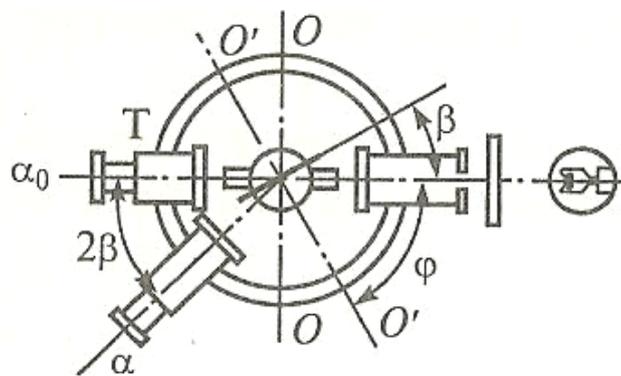


Рис. 3.19.2

В предлагаемой работе для определения угла полной поляризации служит гониометр (рис. 3.19.1), на коллиматоре  $K$  которого установлен поляризатор, способный вращаться относительно оптической оси коллиматора. После прохождения через поляризатор естественный свет становится линейно поляризованным. Вращая поляризатор, можно менять плоскость колебаний электрического вектора выходящего из коллиматора света. На столике гониометра установлено диэлектрическое зеркало  $З$ , при повороте которого относительно вертикальной оси меняется угол падения луча. Отраженный от зеркала луч улавливается зрительной трубой, по положению которой можно рассчитать угол падения луча на зеркало. Спектр излучения лампы можно изменить с помощью фильтра.

### ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Установите зеркало  $З$  параллельно оптической оси коллиматора и, совместив изображение щели с крестом нитей в трубе, отсчитайте по лимбу нулевое положение трубы  $\alpha_0$ . Далее поверните трубу на небольшой угол (10-15 градусов) и установите зеркало так, чтобы изображение щели снова совпало с крестом нитей трубы. Вращая поляризатор, наблюдайте изменение интенсивности отраженного от зеркала пучка. Проведите аналогичные наблюдения, увеличивая угол поворота трубы. Когда яркость изображения щели начнет меняться заметным образом, угол поворота трубы следует увеличивать понемногу ( $\Delta\alpha \sim 5^\circ$ ). Достигнув

значений  $\alpha$ , при которых поворотом анализатора можно добиться почти полного гашения отраженного пучка, следует изменять угол не более чем на  $1^\circ$ .

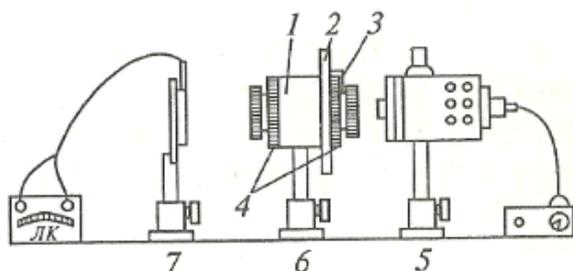


Рис. 3.19.3

*Задание.* Выявите несколько близких значений  $\alpha$ , для которых при некотором положении поляризатора интенсивность отраженного пучка близка к нулю, найдите среднее значение  $\alpha_{\text{ср}}$  и вычислите угол полной поляризации, исходя из следующего (рис. 3.19.2): если зеркало повернуть на угол  $\beta$ , то изображение щели попадает в трубу, повернутую на угол  $\alpha = 2\beta$ . Тогда угол падения луча на зеркало будет определяться так:  $\phi = 90^\circ - \beta = 90^\circ - \alpha/2$ .

Зная начальное положение трубы  $\alpha_0$  и новое положение  $\alpha$ , можно найти  $\phi = 90^\circ - (\alpha_0 - \alpha)/2$ . Пользуясь формулой (4), найдите электрическую проницаемость стекла, из которого сделано зеркало. Результаты вычислений представьте в виде таблицы.

Таблица 1

$\alpha_0$	$\alpha$	$\alpha_{\text{ср}}$	$\phi_{\text{Бр}}$	$\text{tg } \phi_{\text{Бр}}$	$n$	$\varepsilon$

## ЧАСТЬ II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ ПОЛЯРОИДОВ И ПРОВЕРКА ЗАКОНА МАЛЮСА

### ВВЕДЕНИЕ

Если пучок естественного света проходит через идеальный поляризатор, то в силу статистической симметрии колебаний вектора  $\mathbf{E}$  интенсивность света при этом уменьшается в два раза, а свет превращается в линейно поляризованный. Интенсивность света, прошедшего два идеальных поляризатора, связана с первоначальной интенсивностью  $I_0$  соотношением

$$I = \frac{I_0}{2} \cos^2 \theta, \quad (6)$$

где  $\theta$  – угол между плоскостями колебаний, пропускаемых каждым из поляризаторов (закон Малюса). В (6) не учтено отражение при входе света в поляририд.

В случае реальных поляризационных приспособлений связь между  $I_0$  и  $I$  будет несколько иной, во-первых, из-за того, что невозможно добиться строго линейной поляризации, и,

во-вторых, вследствие неизбежного поглощения света веществами каждого из поляризаторов (сверх предусмотренных теорией 50% естественного света, падающего на первый поляризатор).

В работе предлагается экспериментально исследовать изменение интенсивности света, проходящего сначала через один, а затем через два поляризатора. Меняя угол между плоскостями колебаний, пропускаемых каждым поляризатором (осями поляризаторов), можно экспериментально проверить закон Малюса (6).

Исследуемыми поляризаторами служат так называемые **поляроиды** – тонкие пленки анизотропного вещества (например, поливинила, обработанного иодом), поглощающие одну из компонент вектора  $E$  падающей волны.

Об изменении интенсивности света можно судить по изменению освещенности фотоэлемента, в цепь которого включен гальванометр. Шкала гальванометра часто градуируется непосредственно в единицах освещенности – люксах (в этом случае прибор носит название **люксметра**).

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Установка для определения коэффициента пропускания поляроидов и проверки закона Малюса изображена на рисунке 3.19.3. Она состоит из осветителя 5, устройства для крепления поляроидов 6 со шкалой 4 и стойки для фотоэлемента 7. В работе использован фотоэлемент люксметра, позволяющего измерять освещенность непосредственно в люксах. Люксметр имеет несколько пределов измерений, при выполнении работы следует пользоваться пределом “0 – 100 лк”.

Устройство для крепления поляроидов состоит из несущего цилиндра 1 и двух откидывающихся колец 2 с закрепленными в них поляроидами. Верхнее, рабочее положение колец с поляроидами фиксируется шариком.

Поляроиды могут вращаться в оправках; на оправе одного из поляроидов укреплена стрелка 3, позволяющая измерять угол поворота поляроида по шкале 4.

### ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

**Задание 1. Определение коэффициента пропускания поляроидов.**



Убедитесь в том, что ручка регулировки накала лампы находится в крайнем левом

положении (повернута до отказа против часовой стрелки). Укрепите фотоэлемент на стойке 7, поставьте переключатель пределов измерения люксметра в положение “0 – 100 лк”.

Откиньте оба кольца с поляроидами, включите осветитель и, увеличивая накал лампы, доведите освещенность фотоэлемента до  $E_0 = 80$  лк (для точной установки определенной освещенности удобно пользоваться диафрагмой осветителя).

Поставив в рабочее положение один из поляроидов, измерьте освещенность  $E_1$ , затем поставьте в рабочее положение второй поляроид и измерьте освещенность  $E_2$  при параллельных осях поляроидов.

Повторите измерения, изменив порядок введения поляроидов и выбрав другое значение начальной освещенности. По данным измерений определите коэффициент пропускания поляроидов – одного ( $E_1/E_0$ ) и двух вместе ( $E_2/E_0$ ).

Результаты измерений запишите в таблицу 2.

**Таблица 2**

$E_0$ , лк	$E_1$ , лк	$E_2$ , лк	$E_1/E_0$	$E_2/E_0$

**Задание 2. Проверка закона Малюса.**

Регулируя накал лампы и используя диафрагму осветителя, установите освещенность фотоэлемента (при параллельных осях поляроидов)  $E_{\max} = 80$  лк. Задание можно выполнять при произвольном начальном положении параллельных осей поляроидов относительно шкалы. Но удобнее ориентировать поляроиды так, чтобы отсчет по шкале непосредственно давал бы значение угла  $\theta$ , фигурирующего в законе Малюса.

Поворачивая поляроид, на оправе которого закреплена стрелка, измерьте освещенность  $E_\theta$  при десяти значениях угла  $\theta = 0^\circ; 10^\circ; 20^\circ; \dots; 90^\circ$ . Повторите измерения, меняя угол  $\theta$  от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ . По окончании измерений необходимо закрыть фотоэлемент крышкой и (при съемной конструкции) уложить его в футляр люксметра.

Усреднив результаты двух серий измерений, вычислите десять значений отношения  $E_\theta/E_{\max}$  ( $E_{\max}$  – значение освещенности при параллельных осях поляроидов). Результаты измерений запишите в таблицу 3. Постройте график зависимости  $E_\theta/E_{\max} = I_\theta/I_{\max} = f(\theta)$ .

На том же графике постройте теоретическую кривую  $\cos^2 \theta = f(\theta)$  и сравните полученные кривые.

**Таблица 3**

$\theta$	$E_1$ , лк	$\theta$	$E_2$ , лк	$E_{\text{ср}}$ , лк	$E_{\text{ср}}/E_{\text{max}}$	$\cos \theta$	$\cos^2 \theta$
0°		180°					
10°		170°					
20°		160°					
30°		150°					
40°		140°					
50°		130°					
60°		120°					
70°		110°					
80°		100°					
90°		90°					

## ВОПРОСЫ И УПРАЖНЕНИЯ

1. Какие теоретические предпосылки позволяют получить выражения (1) и (2)? Изобразите на рисунке направления электрического и магнитного полей падающего, отраженного и преломленного лучей при падении света на границу раздела с оптически более плотной средой, если падающий луч поляризован: а) в плоскости падения, б) перпендикулярно плоскости падения.
2. Каковы значения энергетических коэффициентов отражения  $R_{\parallel}$  и  $R_{\perp}$  для случая нормального падения света на диэлектрик?
3. Укажите состояния поляризации отраженного пучка для случаев падения на диэлектрик под углом Брюстера: естественного света; света, поляризованного в плоскости падения; света, поляризованного в плоскости, перпендикулярной плоскости падения.
4. Получите выражение для зависимости угла Брюстера от показателей преломления сред.
5. Покажите, что при падении света (произвольной поляризации) на диэлектрик под углом Брюстера преломленный луч перпендикулярен отраженному.
6. Как оценить степень поляризации частично поляризованного света?
7. Как найти (практически) для данного поляризатора плоскость колебаний пропускаемого им света?
8. На чем основано действие поляризационных призм (призма Николя и др.)?
9. Объясните, почему при некотором угле падения света определенной поляризации на диэлектрическое зеркало след отраженного пучка на экране исчезает. Будет ли исчезать след отраженного пучка в случае использования металлического зеркала?