

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА БРЮСТЕРА

Цель работы – изучение состояния поляризации лазерного излучения; экспериментальное определение угла Брюстера и показателя преломления стекла.

1. Теоретические основы работы

Как известно, световые электромагнитные волны поперечны. Это означает, что векторы напряженности электрического поля \vec{E} и магнитного поля \vec{H} электромагнитной волны перпендикулярны вектору ее скорости \vec{v} . В связи с этим возможно такое явление, как поляризация света.

Поляризованным называется свет, в котором колебания светового вектора (вектора напряженности электрического поля) каким-либо образом упорядочены. Приборы, которые используются для поляризации света, называются поляризаторами, а приборы, предназначенные для исследования поляризованного света, – анализаторами. Поляризаторы и анализаторы при прохождении через них естественного или поляризованного света пропускают только колебания светового вектора, параллельные определенной плоскости, которая называется плоскостью поляризатора или анализатора.

В линейно поляризованном свете колебания светового вектора происходят в строго определенной плоскости, проходящей через ось светового луча. Эта плоскость называется плоскостью поляризации (в некоторой литературе по историческим причинам эта плоскость называется плоскостью колебаний, а плоскостью поляризации называется перпендикулярная ей плоскость).

Для выделения поляризованного света из естественного света используются физические явления, обусловленные взаимодействием электромагнитных волн с веществом.

- 1). Избирательное поглощение света средами, анизотропными относительно направления колебания вектора напряженности электрического поля, называемое дихроизмом. На этом явлении основано действие поляроидных пленок или поляроидов. Поляроид представляет собой тонкую пленку (толщиной $\sim 0,05$ мм), на которую нанесены мелкие, ориентированные вдоль одного направления кристаллы герпатита. Такую пленку помещают между двумя пластинками стекла или прозрачного пластика. Достоинство поляроидов заключается в том, что они имеют малую толщину и могут иметь большую поверхность;
- 2). Поляризация при отражении и преломлении света на границе раздела двух диэлектриков. Это явление используется в таких поляризационных приборах, как стопа Столетова и черное зеркало;
- 3). Явление двойного лучепреломления при прохождении света через анизотропные кристаллы. Поляризационный прибор, в котором используется это явление, называется призмой Николя.

При прохождении через идеальный анализатор линейно поляризованного света с амплитудой светового вектора E_0 (см. рис. 1), плоскость поляризации которого составляет угол φ с анализатора, анализатор пропускает только компонент светового вектора $E_{||}$, параллельный оси пропускания:

$$E = E_{||} = E_0 \cos \varphi.$$

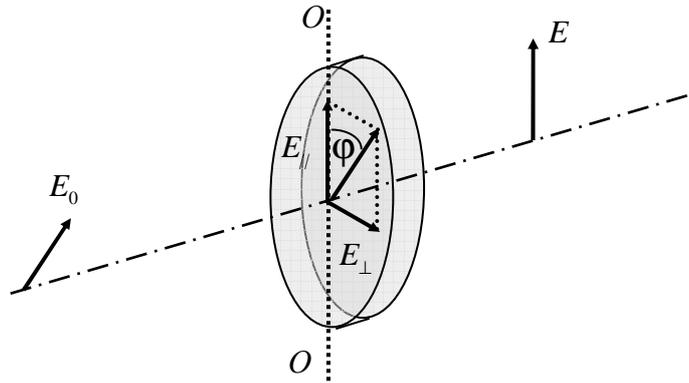


Рис. 1 Прохождение поляризованного света через анализатор

Интенсивность света пропорциональна квадрату напряженности электрического поля. Поэтому зависимость интенсивности I линейно поляризованного света, прошедшего через анализатор, от угла φ между плоскостью поляризации и плоскостью анализатора имеет вид

$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность линейно поляризованного света. Соотношение (1) носит название закона Малюса.

Если свет поляризован частично, то его интенсивность можно представить как сумму интенсивности $I_{0п}$ линейно поляризованного света и интенсивности $I_{0е}$ естественного света. Интенсивность такого света после прохождения через анализатор будет

$$I = 0,5I_{0е} + I_{0п} \cos^2 \varphi. \quad (2)$$

При угле φ , равном нулю, интенсивность проходящего света будет максимальной, а при $\varphi = 90^\circ$ – минимальной (но не равной нулю). Степень поляризации света, прошедшего поляризатор, определяется выражением:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}. \quad (3)$$

Степень поляризации естественного света $P = 0$, линейно поляризованного $P = 1$, частично поляризованного $0 < P < 1$.

Рассмотрим подробнее поляризацию света при отражении и преломлении на границе раздела двух диэлектриков. При падении естественного света на стеклянную пластинку под некоторым углом β преломленный и отраженный свет оказывается частично поляризованным, причем в отраженном свете преобладают колебания вектора напряженности электрического поля в плоскости, перпендикулярной плоскости падения (см. рис.2), а в преломленном – в плоскости падения.

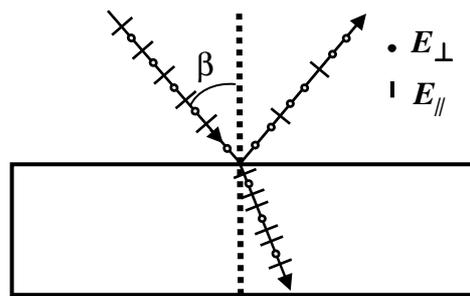


Рис. 2 Поляризация света при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков

При некотором угле падения световой волны на стеклянную пластинку отраженный свет оказывается линейно поляризованным. Это происходит в том случае, когда тангенс угла падения равен относительному показателю преломления стекла. Такой угол называется углом полной поляризации или углом Брюстера:

$$\operatorname{tg} \beta_{\text{Б}} = n. \quad (4)$$

При угле падения, равном углу Брюстера, направления отраженного и преломленного лучей взаимно перпендикулярны (см. рис. 3).

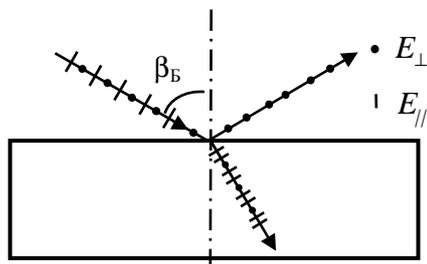


Рис. 3 Полная поляризация света при угле падения, равном углу Брюстера

Преломленный свет при любом угле падения остается частично поляризованным.

2. Описание экспериментальной установки

Для определения состояния поляризации лазерного излучения используется установка, схема которой приведена на рис. 4.

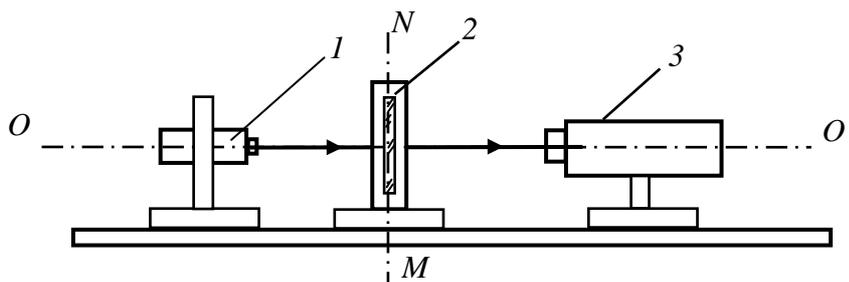


Рис. 4 Схема экспериментальной установки для изучения закона Малюса

Установка состоит из лазера 1, анализатора 2 и измерителя мощности лазерного излучения 3. При проведении эксперимента измеряют зависимость интенсивности света, прошедшего анализатор от угла поворота плоскости анализатора относительно вертикали MN .

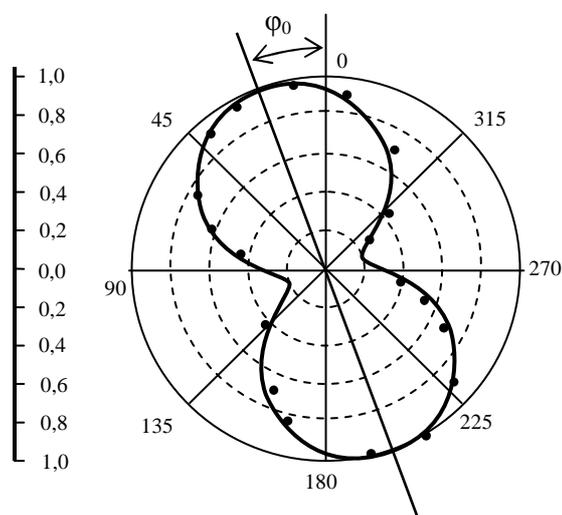


Рис. 6 График зависимости интенсивности света, прошедшего анализатор от угла между вертикалью и плоскостью анализатора (в относительных единицах)

Построив в полярных координатах график этой зависимости (рис. 6), можно определить положение плоскости поляризации лазерного излучения относительно вертикали (угол φ_0) и степень его поляризации.

Для определения угла Брюстера используется установка, схема которой представлена на рис. 6.

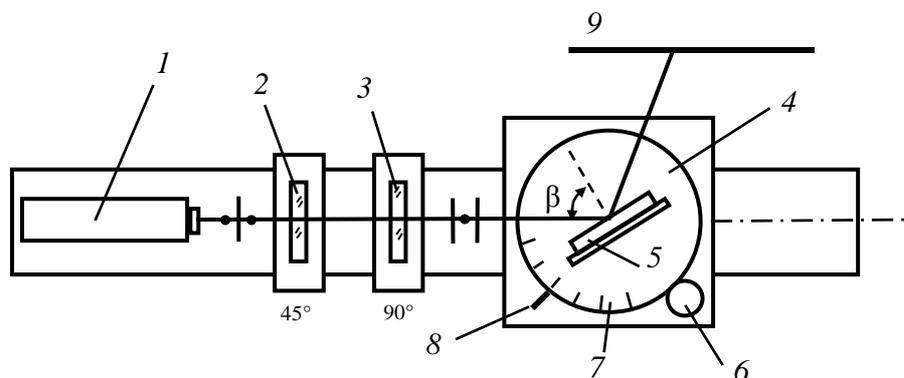


Рис. 6 Схема установки для определения угла Брюстера (вид сверху)

На оптическом рельсе расположены лазер 1, поляризаторы 2 и 3, поворотный столик 4. В касете поворотного столика установлена стеклянная пластинка 5. Винтом 6 производится поворот столика и стекла 5, угол поворота отсчитывается по шкале 7 относительно индекса 8.

При повороте столика изменяется угол β падения лазерного пучка на стеклянную пластинку. С помощью поляризаторов 2 и 3 осуществляется поворот плоскости поляризации лазерного излучения так, чтобы свет, падающий на стеклянную пластинку, был поляризован в горизонтальной плоскости (в плоскости падения).

Отраженный от стеклянной пластинки свет попадает на экран 9, на котором наблюдается световое пятно, яркость которого изменяется при изменении угла падения. Если на стеклянную пластинку падает свет, линейно поляризованный в плоскости падения, то при угле падения, равном углу Брюстера, свет от пластинки не отражается. Поэтому при угле падения, равном углу Брюстера, интенсивность отраженного света будет минимальной. Это обстоятельство используется для экспериментального определения угла Брюстера.

3. Порядок выполнения работы

Заполните табл. 1 спецификации измерительных приборов и запишите данные установки.

Таблица 1

Спецификация измерительных приборов

Название прибора и его тип	Пределы измерения	Цена деления	Инструментальная погрешность

Данные установки

Длина волны лазерного излучения $\lambda =$ нм.

1. Измерьте зависимость интенсивности лазерного излучения от угла между вертикалью и плоскостью анализатора, для чего:

- установите на оптическом рельсе фотоприемник. Включите лазер и измеритель мощности лазерного излучения. Убедитесь, что лазерный луч попадает в центр входного окна измерителя мощности. При необходимости проведите юстировку оптической системы;

- установите на оптическом рельсе анализатор согласно схеме, приведенной на рис. 5, и, вращая его вокруг оптической оси, наблюдайте визуально и по показаниям измерителя мощности изменение интенсивности света, прошедшего анализатор. Если излучение лазера поляризовано, то определите плоскость поляризации – она соответствует ориентации плоскости анализатора, при которой показания измерителя мощности (интенсивность света) максимальны. Запишите значения угла (относительно вертикали) плоскости поляризации излучения, которое равно углу установки плоскости анализатора;
- установите плоскость анализатора вертикально (значение угла на отсчетном устройстве равно нулю). Запишите в табл. 2. значения мощности излучения, прошедшего анализатор, при изменении угла установки его плоскости от 0 до 360 градусов с шагом 15 градусов. После завершения измерений выключите измеритель мощности лазерного излучения.

Таблица 2

Зависимость интенсивности света, прошедшего анализатор, от угла φ между вертикалью и плоскостью анализатора

$\varphi, ^\circ$	$P, \text{ мВт}$	$P/P_{\text{макс}}$

2. Определите угол падения лазерного пучка на стеклянную пластинку, равный углу Брюстера, для чего:

- установите на оптическом рельсе поворотный столик со стеклянной пластинкой, а между лазером и столиком – поляризаторы 2 и 3 согласно схеме, приведенной на рис. 6.
- установите плоскость поляризатора 3 в горизонтальное положение;
- включите лазер и, поворачивая плоскость поляризатора 2, добейтесь максимальной интенсивности света, падающего на стеклянную пластинку;
- поворачивайте стеклянную пластинку 5 с помощью винта 6 таким образом, чтобы отраженный от нее свет попал на экран, расположенный параллельно оптическому рельсу. Определите положение пластинки, при котором световое пятно на экране имеет минимальную яркость. Немного поворачивая в том или другом направлении поляризатор 3, добейтесь полного исчезновения светового пятна на экране;
- установите плоскость пластинки перпендикулярно оси пучка лазерного излучения. Для этого, поворачивая пластинку вокруг вертикальной оси, добейтесь совмещения на поверхности поляризатора 3, обращенной к пластинке, световых пятен, соответствующих следам падающего на пластинку и отраженного от пластинки пучков света. По отчетному устройству считайте угол β_1 установки плоскости пластинки и запишите его значение в табл. 3. Измерение угла β_1 проведите три раза;
- поверните стеклянную пластинку 5 с помощью винта 6 таким образом, чтобы отраженный от нее свет попал на экран, расположенный параллельно оптическому рельсу. Определите положение пластинки, при котором световое пятно на экране исчезает. По отчетному устройству считайте угол β_2 установки плоскости пластинки и запишите его значение в табл. 3. Повторите измерения, каждый раз поворачивая плоскость пластинки и добиваясь исчезновения светового пятна.

3. Выключите лазер.

Таблица 3

Измерения угла Брюстера

$\beta_1, ^\circ$	$\beta_2, ^\circ$	$\beta_B, ^\circ$

$$\beta_B = \beta_2 - \beta_1$$

4. Обработка результатов измерений

1. Среди измеренных значений мощности излучения (табл. 2) найдите максимальное значение $P_{\text{макс}}$. Затем каждое значение показаний измерителя мощности разделите на $P_{\text{макс}}$ и запишите полученные результаты в табл. 2.

2. Постройте в полярных координатах график зависимости относительной мощности излучения, прошедшего анализатор $P/P_{\text{макс}}$ от угла φ между плоскостью анализатора и вертикалью.

3. Проведите аналитическую аппроксимацию экспериментальных точек кривой, уравнение которой

$$y = C_1 + (1 - C_1) \cos^2(x + C_2) \quad (5)$$

является записью закона Малюса (2) для частично поляризованного света. Физический смысл переменных и коэффициентов, входящих в уравнение (5) заключается в следующем:

y – относительная интенсивность лазерного излучения, прошедшего анализатор;

x – угол поворота плоскости анализатора относительно вертикали;

$C_1 = 0,5I_{0e}$ – половина относительной интенсивности естественного света в излучении лазера;

$(1 - C_1) = I_{0л}$ – относительная интенсивность линейно поляризованного света в излучении лазера;

C_2 – угол отклонения плоскости поляризации лазерного излучения от вертикальной плоскости.

4. Используя коэффициенты C_1 и C_2 , полученные в результате аппроксимации, запишите выражение для интенсивности лазерного излучения после прохождения анализатора (закон Малюса).

5. Определите по формуле (3) степень поляризации лазерного излучения, учитывая, что максимальная относительная интенсивность света равна 1, а минимальная – C_1 .

6. Рассчитайте среднее значение угла Брюстера по формуле $\beta_{\text{Бр}} = \beta_2 - \beta_1$, а затем по формуле (3) определите показатель преломления стекла.

5. Контрольные вопросы

1. Какой свет называется поляризованным?
2. Какие типы поляризации Вы знаете?
3. Какие физические явления используются для поляризации света?
4. Объясните качественно поляризацию света при отражении от диэлектрика.
5. Напишите выражение для степени поляризации.
6. Как зависит интенсивность поляризованного света, прошедшего поляризатор, от угла между плоскостью поляризации и плоскостью анализатора?
7. Как с помощью двух поляризаторов повернуть плоскость поляризации света на 90 градусов?
8. Как отличить естественный свет от линейно поляризованного света?
9. Как отличить естественный свет эллиптически поляризованного света?