

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессиональ-
ного образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор-директор ФТИ

_____ В.П.Кривобоков
« __ » _____ 2012 г.

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА

Методические указания к выполнению лабораторной работы
О-26 по курсу «Общая физика»
для студентов всех специальностей

Составитель **А.В.Чернов**

Издательство
Томского политехнического университета
2012

УДК 53.01

Изучение поляризованного света. Методические указания к работе

О-26 по курсу «Общей физики» для студентов всех специальностей / сост. А.В. Чернов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 12 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
теоретической и экспериментальной физики ФТИ.

«___» _____ 2012 г.

Зав. кафедрой ТиЭФ
доктор физ.-мат. наук,
профессор

_____ *В.Ф. Пичугин*

Председатель
учебно-методической комиссии

_____ *С.И. Борисенко*

Рецензент

Кандидат физ.– мат. наук,
доцент кафедры ТиЭФ ТПУ
Н.С. Кравченко

© Составление. ГОУ ВПО «Национальный
исследовательский Томский политехниче-
ский

университет», 2012

© Чернов А.В. составление, 2012

Цель работы: изучить поляризацию света при отражении, найти угол Брюстера и показатель преломления стекла; установить зависимость интенсивности прошедшего поляроида света от угла между плоскостью колебаний светового вектора и плоскостью поляризатора; проверить соответствие этой зависимости закону Малю.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья, полупроводниковый лазер, лампа накаливания, поляроид, образец (черное зеркало), гониометр, фотоприемник, микроамперметр.

ВВЕДЕНИЕ

Если возбудить с помощью зарядов переменное электрическое поле, в окружающем пространстве возникнет последовательность взаимных превращений электрического и магнитного полей, распространяющихся от точки к точке. Этот процесс представляет собой волну. Электромагнитные волны *поперечны* – векторы напряженности электрического поля \vec{E} и магнитного поля \vec{H} перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны (рис. 1).

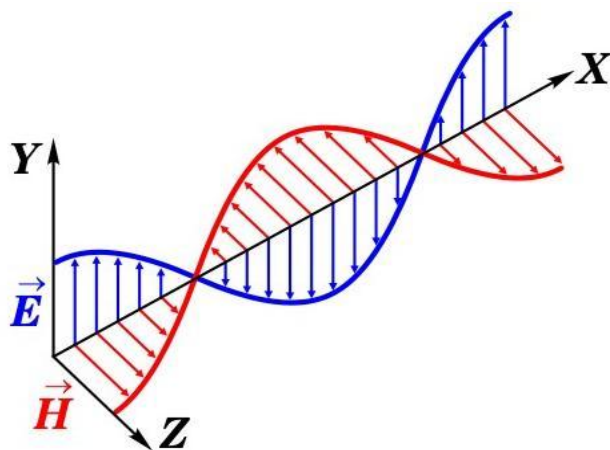


Рис. 1.

Во всех оптических явлениях свет представляет собой электромагнитные волны. Практически все действия света вызываются векто-

ром \vec{E} . Поэтому его называют *световым вектором*, а \vec{H} в оптических явлениях не рассматривают. В естественном свете колебания вектора \vec{E} происходят беспорядочно в произвольных направлениях, перпендикулярных лучу (рис. 2). Волну, в которой колебания светового вектора \vec{E} каким-либо образом упорядочены, называют *поляризованной волной*.

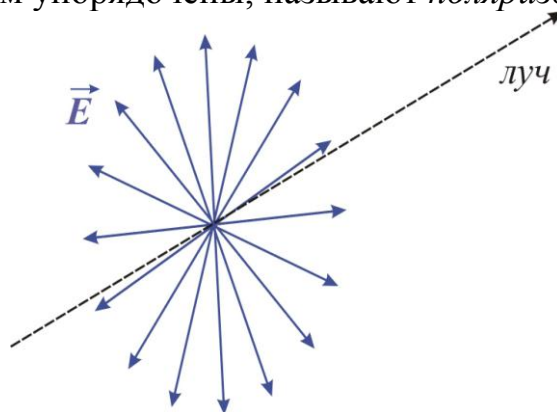


Рис. 2.

Если колебания вектора \vec{E} происходят только в одной плоскости, проходящей через луч, то волна называется *линейно-* или *плоскополяризованной*. Плоскость, в которой вектор \vec{E} колеблется, называется *плоскостью поляризации*. Из естественного света можно получить плоскополяризованный с помощью приборов – *поляризаторов*.

Они свободно пропускают колебания, параллельные некоторой плоскости (плоскость пропускания поляризатора) и задерживают частично или полностью перпендикулярные ей колебания (рис. 3).

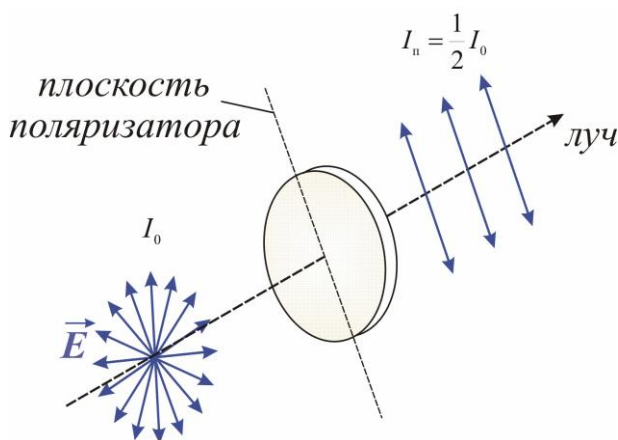


Рис. 3.

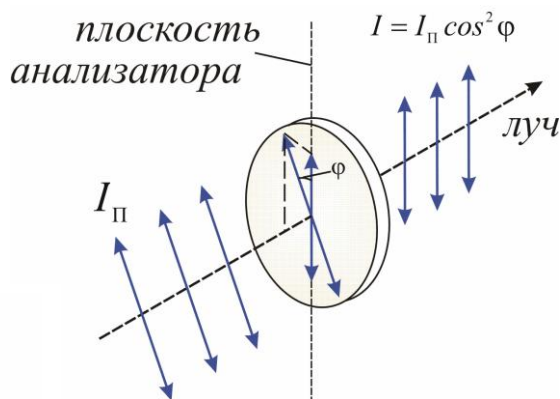


Рис.4.

Для анализа поляризованного света используют поляризаторы, которые в этом случае называют *анализаторами*.

Поворачивая анализатор, можно определить, в какой плоскости поляризован свет, падаю-

щий на него.

КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Пусть на анализатор падает плоскополяризованный свет амплитуды E_0 и интенсивности I_0 (рис. 4). Сквозь прибор пройдет составляющая колебаний с амплитудой $E = E_0 \cos \varphi$, где φ – угол между плоскостью колебаний падающего света и плоскостью поляризатора. Следовательно, интенсивность прошедшего света I определяется выражением

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

Соотношение (1) носит название закона Малю (Malus), из которого видно, что при вращении поляризатора вокруг направления плоскополяризованного луча интенсивность прошедшего света пропорциональна $\cos^2 \varphi$.

Если на анализатор падает естественный свет (где все значения φ равновероятны), доля света, прошедшего через поляризатор, будет равна среднему значению $\cos^2 \varphi$, т.е. $\frac{1}{2}$.

Обычно поляризатор не является идеальным, и задерживает перпендикулярные к его плоскости колебания только частично. В этом случае на выходе из поляризатора получается частично поляризованный свет, в котором колебания одного направления преобладают над колебаниями других направлений. Такой свет можно рассматривать как смесь естественного и плоскополяризованного. Для его характеристики используют величину *степень поляризации* P :

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где I_{\min} и I_{\max} – минимальное и максимальное значение интенсивности света на выходе из поляризатора при вращении его вокруг направления частично поляризованного луча.

Другой способ получения поляризованного света – поляризация при отражении. Пусть световой луч падает на границу раздела двух диэлектриков (например, на стеклянную пластину) под некоторым углом α (рис. 5а) и преломляется под углом β . Отраженный и преломленный лучи частично поляризуются. В отраженном луче преобладают колебания, перпендикулярные к плоскости падения; в преломленном – параллельные плоскости падения.

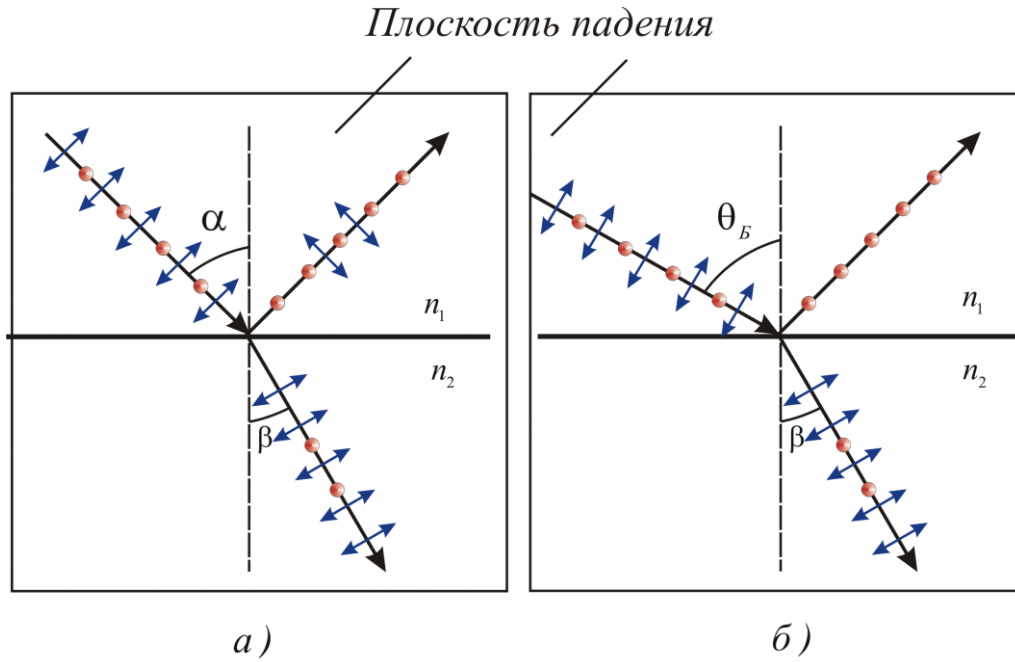


Рис. 5. Поляризация света при отражении и преломлении. \downarrow – колебания светового вектора, параллельные плоскости падения, \bullet – колебания перпендикулярные плоскости падения.

Соотношения между амплитудами колебаний перпендикулярных (E_{\perp}) и параллельных (E_{\parallel}) плоскости падения в отраженном и преломленном лучах можно получить из уравнений Максвелла с учетом граничных условий. Эти соотношения называются формулами Френеля:

$$E_{\perp}^{omp} = -E_{\perp}^{nao} \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (3)$$

$$E_{\perp}^{npe} = E_{\perp}^{nao} \frac{2 \sin \beta \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (4)$$

$$E_{\parallel}^{omp} = E_{\parallel}^{nao} \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}, \quad (5)$$

$$E_{\parallel}^{npe} = E_{\parallel}^{nao} \frac{2 \sin \beta \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha - \beta)}, \quad (6)$$

где E_{\perp}^{nad} , E_{\perp}^{omp} , E_{\perp}^{nrel} – амплитуды составляющей светового вектора, перпендикулярной к плоскости падения, соответственно, в падающем, отраженном и преломленном лучах;

E_{\parallel}^{nad} , E_{\parallel}^{omp} , E_{\parallel}^{nrel} – аналогичные величины для составляющей, параллельной плоскости падения. Из формулы (5) следует, что, если при некотором угле падения сумма углов $\alpha + \beta = \pi/2$, то амплитуда колебаний E_{\parallel}^{omp} , параллельных плоскости падения для отраженного луча обращается в нуль. Отраженный луч оказывается полностью поляризованным и содержит только колебания E_{\perp}^{omp} , перпендикулярные плоскости падения. Степень поляризации преломленного луча при этом достигает наибольшего значения.

Интенсивность волны пропорциональна квадрату амплитуды $I \sim E^2$, поэтому все следствия из тригонометрических соотношений, входящих в (1), (2), (3) и (4) для интенсивности остаются справедливыми.

Закон преломления света имеет вид:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}, \quad (7)$$

где n_{21} – относительный показатель преломления. Если $\alpha + \beta = \pi/2$, то $\sin \beta = \cos \alpha$. С учетом этого из (7) получим соотношение:

$$\operatorname{tg} \theta_B = n \quad - \text{закон Брюстера (Brewster)} \quad (7)$$

Угол падения в этом случае называется углом Брюстера θ_B .

Таким образом, если свет падает на поверхность диэлектрика под углом Брюстера, отраженный луч полностью поляризован в плоскости перпендикулярной плоскости падения (рис. 4б.), а тангенс угла падения равен показателю преломления данного диэлектрика. Следовательно, измеряя угол Брюстера, можно определить показатель преломления.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка для изучения закона Малю показана на рис. 6.

Излучение лазеров в силу специфики процесса генерации всегда обладает 100 % поляризацией. В подавляющем большинстве серийных лазеров генерируется линейно поляризованное излучение. Таким образом, в установке плоскополяризованный пучок света от лазера I па-

дает на поляроид¹ 2, который пропускает только составляющую колебаний параллельную плоскости поляризатора.

Интенсивность света, прошедшего поляризатор, в соответствии с законом Малю зависит от угла φ между плоскостью колебаний светового вектора и плоскостью поляризатора. Поляроид закреплен во вращающейся оправе (направление плоскости поляризатора отмечено точками на оправе поляризатора). Оправа с поляроидом может вращаться в держателе, снабженном круговой шкалой. Шкала проградуирована в градусах.



Рис. 6. Экспериментальная установка для изучения закона Малю. 1 – полупроводниковый лазер, 2 – поляроид, 3 – фотоприемник, 4 – микроамперметр

У последнего зависимость фототока от освещенности (световая характеристика) соответствует *прямой пропорциональности*. Поэтому выходной сигнал тока с фотоприемника в работе измеряется микроамперметром, и для простоты в единицы интенсивности не пересчитывается.

Экспериментальная установка для изучения поляризации отраженного света приведена на рис. 7. Естественный свет от лампы нака-

¹ Поляроид – один из типов оптических линейных поляризаторов; действие основано на неодинаковом поглощении двух линейно поляризованных перпендикулярно одна к другой составляющих падающего на них света (линейный дихроизм)

ливания I падает на поляроид 2, который поляризует свет. Далее плоскополяризованный пучок направляется на черный стеклянный образец 3, установленный на столике гониометра 4. Угол падения света можно менять, поворачивая столик гониометра. Свет, отраженный от поверхности образца, регистрируется наблюдателем сбоку от оптической оси установки. Если образец установлен под углом Брюстера, в отраженном свете отсутствуют колебания светового вектора, параллельные плоскости падения (наблюдается минимум света). По положению образца, соответствующему минимуму отраженного света, определяется угол Брюстера и показатель преломления.

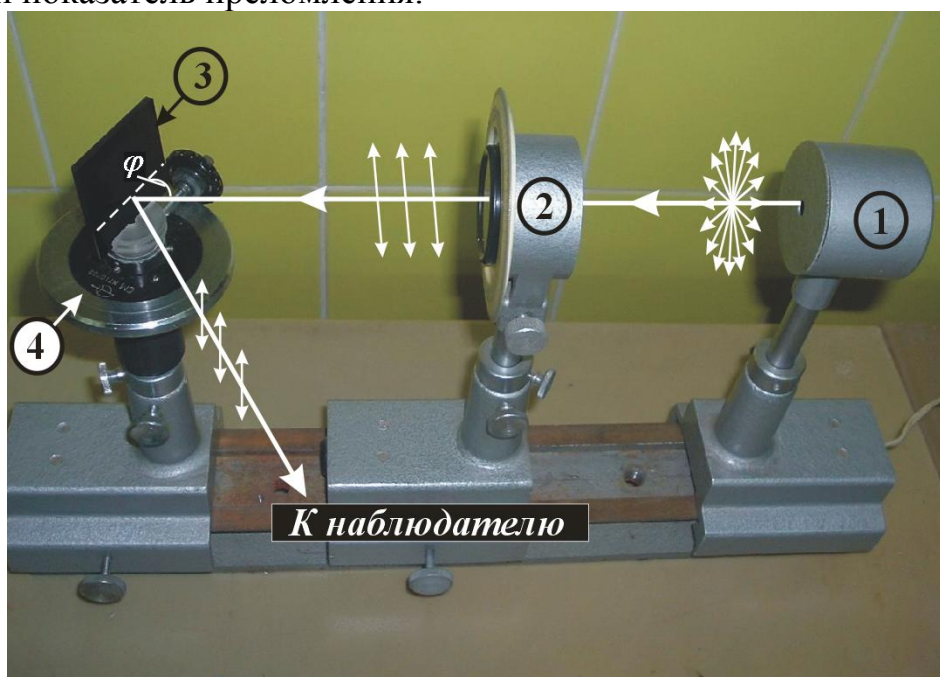


Рис. 7. Экспериментальная установка для изучения поляризации отраженного света.

1 – лампа накаливания, 2 – поляроид, 3 – образец, 4 – гониометр

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Опыт 1. Проверка закона Малю.

- 1.1 Собрать установку в соответствии с рис. 6.
- 1.2 Включить лазер. **ВНИМАНИЕ! КАТЕГОРИЧЕСКИ ЗАПРЕЩАЕТСЯ НАПРАВЛЯТЬ ЛУЧ ЛАЗЕРА В ГЛАЗА!**
- 1.3 Отъюстировать установку, направив луч лазера через центр поляроида в окно фотоприемника.

- 1.4 Измерить зависимость интенсивности прошедшего поляризованного света от угла между плоскостью колебаний светового вектора и плоскостью поляризатора. Предварительно, вращая поляризатор, установить его в положение $\varphi = 0$ (интенсивность максимальна). Затем, поворачивая поляризатор, измерить силу тока микроамперметром через 10° в пределах от 0° до 90° . Результаты измерений занести в таблицу 1. Измеренное значение интенсивности I содержит поляризованную $I_{\text{п}}$ и неполяризованную $I_{\text{нп}}$ составляющие: $I = I_{\text{п}} + I_{\text{нп}}$. Неполяризованная составляющая $I_{\text{нп}}$ определяется при $\varphi = 90^\circ$ (плоскость колебаний светового вектора и плоскость поляризатора взаимно перпендикулярны). Вычислить $I_{\text{п}}$ и занести в таблицу.

Таблица 1

φ°	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\cos^2 \varphi$										
I										
$I_{\text{п}}$										

- 1.5 Повторить измерения для φ в пределах от 90° до 180° . Данные занести в таблицу, аналогичную таблице 1.
- 1.6 Построить в полярных координатах зависимость $I_{\text{п}} = f(\varphi)$.
- 1.7 Построить графики зависимости $I_{\text{п}} = f(\cos^2 \varphi)$ в декартовых координатах и убедиться в их соответствии закону Малю.

Опыт 2. Изучение поляризации света при отражении.

- 2.1. Собрать установку в соответствии с рис. 7.
- 2.2. Отъюстировать установку, направить луч от лампы через поляризатор в центр образца; плоскость образца расположить перпендикулярно оси светового пучка; установить нуль круговой шкалы гониометра по ходу падающего луча.
- 2.3. Поворачивая образец вокруг вертикальной оси (меняя угол φ , см. рис. 5), наблюдать в отраженном от поверхности образца свете изображение нити накала, и добиться ее минимальной яркости. Глаз располагать в горизонтальной плоскости, проходящей через падающий и отраженный лучи параллельно плоскости стола. Изображение нити накала постоянно должно находиться в центре об-

разца. Вращая поляроид вокруг оси, добиться минимальной яркости изображения. Поворачивая образец вокруг вертикальной оси, снова добиться минимальной яркости отраженного света. Затем последовательно уточнить положение поляроида и образца. В таком положении образец не отражает свет. Это означает, что зеркало установлено под углом Брюстера, и что в падающей на зеркало световой волне световой вектор лежит в плоскости падения (горизонтальной плоскости). Измерить угол Брюстера.

- 2.4.** Установку на минимум провести не менее 5 раз по обе стороны оси установки. Следить, чтобы изображение оси накала всегда было в центре зеркала. Результаты измерений угла Брюстера занести в таблицу 2.

Таблица 2

№	слева					справа					$\tilde{\alpha}_B$
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
α_B											

- 2.5. Вычислить показатель преломления n стекла.
 2.6. Рассчитать погрешность измерения n , используя метод оценки прямых и косвенных измерений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой свет называется естественным, плоскополяризованным, частично поляризованным?
2. Что такое поляризатор?
3. Что называют плоскостью поляризатора?
4. Сформулируйте закон Малю.
5. Как проверяется закон Малю в данной работе?
6. Чему равна интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор?
7. Как поляризован луч, отраженный от диэлектрика?
8. Сформулируйте закон Брюстера.
9. Показать, что при падении света под углом Брюстера, отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны.
10. Как измеряется угол Брюстера в данной работе.
11. Какими способами можно получить плоскополяризованный свет.
12. Где применяется явление поляризации?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландсберг Г.С. *Оптика*. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.
2. Сивухин Д.В. *Общий курс физики. Оптика*, т. 4 – М.: Наука : Физматлит, 2002. – 792 с.
3. Зайдель А.Н. *Погрешности измерений физических величин*. – Л.: Наука, 1985. – 112 с.

Учебное издание

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА

Методические указания к выполнению лабораторной работы 0-26

Составитель Чернов Александр Владимирович

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати _____ 2012. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.

Заказ . Тираж _____ экз.

Национальный исследовательский Томский поли-
технический университет

Система менеджмента качества

Томского политехнического университета серти-
фицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту



