

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 3.2.4

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА
ПРИ ОТРАЖЕНИИ ОТ ТВЕРДЫХ ТЕЛ***

* Степанова Л.Ф. Волновая оптика: Методические указания к выполнению лабораторных работ по физике / Л.Ф. Степанова, В.В. Некрасов, М.М. Яблоновская. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1988. – 36 с.

Теоретические положения

Световые волны представляют собой совокупность периодических электрических и магнитных полей, распространяющихся в пространстве со скоростью света. В вакууме эта скорость равна $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Уравнение световой волны представляет собой систему двух уравнений, описывающих изменение векторов напряженности электрического и магнитного полей E и H во времени и в пространстве. Уравнения плоской монохроматической волны имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} E &= E_0 \sin 2\pi \left(\nu t - \frac{r}{\lambda} \right); \\ H &= H_0 \sin 2\pi \left(\nu t - \frac{r}{\lambda} \right), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где E_0, H_0 – амплитудные значения напряженностей электрического и магнитного полей;

ν – частота колебаний электрического и магнитного полей;

λ – длина световой волны.

Векторы E и H взаимно перпендикулярны и перпендикулярны направлению распространения волны. Т.е. \vec{E} , \vec{H} и \vec{v} образуют правовинтовую систему. Графическое изображение плоской монохроматической волны представлено на рис.1. Из сказанного следует,

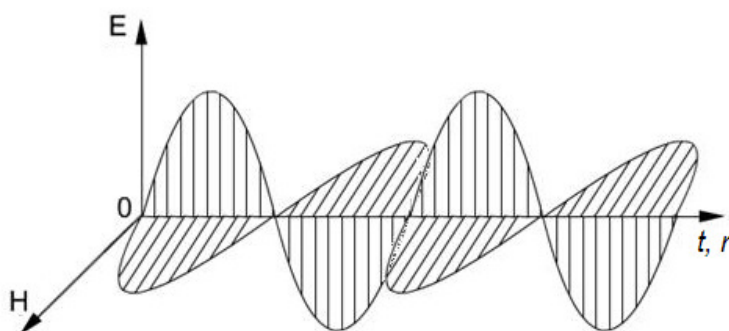


Рисунок 1 – Плоскополяризованная волна

что световые волны поперечны. Поперечным волнам свойственно явление поляризации. Если в поперечной волне колебания происходят в одной какой-либо плоскости, то такая волна называется поляризованной и свет в этом случае называется поляризованным. Плоскость, в которой колеблется вектор H , называют плоскостью поляризации, а перпендикулярную к ней плоскость, в которой колеблется вектор E , – плоскостью колебаний. Изображения на рисунке 1 волна является плоскополяризованной.

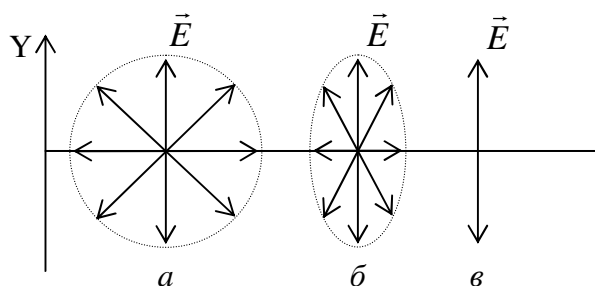


Рисунок 2 – Естественный, частично-поляризованный и полностью поляризованный свет

Обычно источники света (солнце, звезды, электрические лампочки и др.) излучают свет, в котором векторы напряженности электрического (и магнитного) полей ориентированы в пространстве различным образом. Такой свет называется естественным. В естественном свете все направления колебаний перпендикулярны к

лучу и равновероятны, все амплитуды одинаковы. Если в некоторых направлениях колебания каким-либо образом ослаблены, то такой свет называют частично поляризованным. На схеме (рис.2) показано расположение векторов напряженности электрического поля (E) в естественном (а), частично поляризованном (б) и полностью поляризованном свете (в). Предполагается, что луч распространяется по оси z , то есть перпендикулярно к плоскости рисунка. Поляризация наблюдается при прохождении света через некоторые прозрачные тела, например турмалин, исландский шпат и др. Поляризация происходит также при отражении и преломлении естественного света. В этом случае поляризация является следствием того, что коэффициент отражения света зависит от ориентации вектора напряженности электрического поля световой волны относительно плоскости отражения. В большей степени отражаются те волны, у которых вектор E параллелен отражающей плоскости. Таким образом, отраженные и преломленные лучи оказываются частично поляризованным. Степень поляризации отраженных лучей зависит от материала отражающих поверхностей и угла падения.

Степень поляризации определяется соотношением

$$P = \frac{E_y^2 - E_x^2}{E_y^2 + E_x^2} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (2)$$

где I_{\max} , I_{\min} – интенсивности световых потоков соответствующих составляющим E_y и E_x .

При отражении света от диэлектриков зависимость степени поляризации света от угла падения выражена очень ярко. Угол падения, при котором отраженный луч полностью поляризован, называется углом полной поляризации или углом Брюстера. Для этого угла выполняется закон Брюстера

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n, \quad (3)$$

где n – относительный показатель преломления двух сред.

Нетрудно доказать, что в этом случае (для угла Брюстера) $\alpha_B + \beta = \pi/2$, то есть угол между преломленным и отраженным лучом равен $\pi/2$. На рисунке 3 изображены лучи: падающий, отраженный и преломленный. Схематично принято колебания светового характера, происходящие в плоскости чертежа, изображать черточками, а колебания, перпендикулярные плоскости чертежа, – точками. В естественном (падающем) луче число черточек и точек одинаково; интенсивность компонентов по двум взаимно перпендикулярным направлениям одинакова; в отраженном луче колебания происходят только в плоскости, перпендикулярной чертежу, в преломленном преобладают колебания в плоскости чертежа. Как уже отмечалось, поляризованный свет можно получить, пропуская естественный свет через некоторые кристаллы. При этом наблюдается двойное лучепреломление, то есть разделение луча на два, идущих по разным направлениям в кристалле. Один из них называется обыкновенным, другой – необыкновенным. Обыкновенный

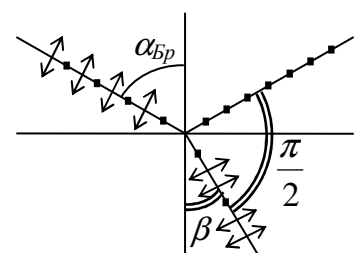


Рисунок 3 – Угол Брюстера

луч подчиняется известным законам преломления. Для необыкновенного луча показатель преломления и скорость распространения зависят от направления распространения луча в кристалле. Оба луча полностью поляризованы во взаимно перпендикулярных плоскостях. Во всяком кристалле существует хотя бы одно направление, распространяясь вдоль которого, луч не испытывает двойного лучепреломления, так как в этом направлении скорости обыкновенного и необыкновенного лучей одинаковы. Это направление называется оптической осью кристалла. Плоскость, проходящая через падающий луч и через оптическую ось, называется главным сечением кристалла. В обыкновенном луче колебания светового вектора E перпендикулярны главному сечению (главной плоскости) кристалла, а в необыкновенном луче колебания происходят в плоскости главного сечения. Если каким-либо образом исключить один лучей, то кристалл становится поляризатором, то есть прибором, позволяющим получить поляризованный свет. Существуют кристаллы, в которых по-разному поглощаются обыкновенный и необыкновенный лучи. Это явление называется дихроизмом. Дихроизм сильно выражен в кристаллах турмалина, серо-кислого йодистого хинина, последний широко используется для поляроидов. В поляризационной призме Николя обыкновенный луч исключают посредством полного внутреннего отражения. Наш глаз не способен отличить поляризованный луч от естественного. Для анализа поляризованного света служат анализаторы. В качестве анализаторов используются такие же приборы, как и для поляризаторов (призма Николя, турмалин и др.).

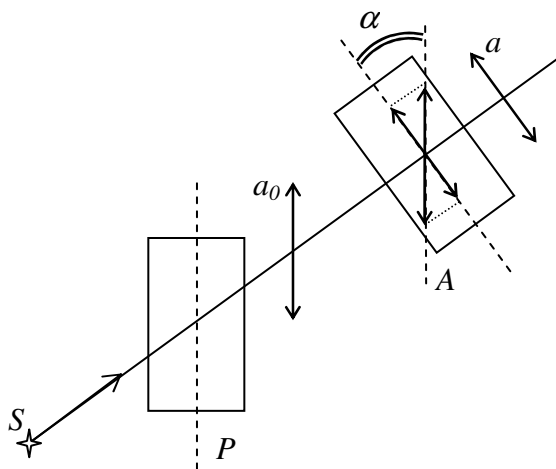


Рисунок 4 – Прохождение света через поляризатор и анализатор

На рисунке 4 показаны последовательно расположенные поляризатор P и анализатор A , пунктирные линии – направления оптических осей. От источника S свет проходит сначала через поляризатор P , становится поляризованным, то есть колебания вектора E (а также H) будут происходить в одной плоскости с амплитудой a_0 . Такой поляризованный свет доходит до второго поляроида – анализатора A , главное сечение которого составляет некоторый угол α с главным сечением поляризатора.

Амплитуда (a) прошедших через анализатор световых колебаний будет равна проекции a_0 на направление оптической оси анализатора:

$$a = a_0 \cos \alpha ,$$

Интенсивность I света пропорциональна квадрату амплитуды, следовательно, между интенсивностями падающего на анализатор и прошедшего через анализатор света должно выполняться соотношение

$$I = I_0 \cos^2 \alpha , \tag{4}$$

Интенсивность света, выходящего из анализатора I , прямо пропорциональна интенсивности света, вышедшего из поляризатора, I_0 и квадрату косинуса угла α между главными сечениями поляризатора и анализатора (закон Малюса). Прохождение плоскополяризованного света через некоторые оптически активные вещества сопровождается изменением ориентации плоскости поляризации (и плоскости колебаний), то есть поворотом этой плоскости на некоторый угол. К таким веществам относятся кварц, нефть, скипидар, винная кислота, раствор сахара и т. д. Вращение плоскости поляризации у различных веществ различно по величине и направлению. Если поворот плоскости колебаний вектора E для наблюдателя, смотрящего навстречу проходящему лучу, совершается по часовой стрелке, то вещество называется правовращающим, если против часовой стрелки, - левовращающим (рис.5). Поворот плоскости колебаний вызывается молекулами оптически активного вещества, поэтому очевидно, что угол поворота пропорционален числу активных молекул, встречающихся на пути луча. Если, например, оптически активное вещество – (сахар) растворено в неактивном веществе – в воде, то угол поворота плоскости колебаний φ пропорционален длине пути света в растворе l и концентрации раствора C . Кроме того, угол поворота φ зависит от природы активного вещества, от частоты световых колебаний и немного от температуры.

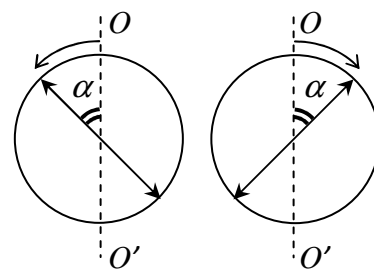


Рисунок 5 – Поворот плоскости поляризации

Эта зависимость выражается формулой

$$\varphi = \varphi_0 l C, \quad (5)$$

где φ_0 - постоянная вращения (удельное вращение), величина, зависящая от рода вещества, длины волны (частоты) и температуры, а также от выбора единицы измерения.

Определив из опыта три величины, входящее выражение (5), можно найти четвертую. Чаще всего опытным путем определяют φ , φ_0 , l и по формуле (5) находят концентрацию оптически активного вещества.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА ПРИ ОТРАЖЕНИИ ОТ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Цель работы – изучение поляризации света при отражении от диэлектриков и металлов, определение степени поляризации отраженного света и показателя преломления диэлектриков.

Описание установки и метода измерения

Принципиальная схема установки приведена на рисунке 6. На столике гониометра крепится исследуемый образец в виде двух склеенных пластин, одна из которых изготовлена из эбонита, другая из никеля. Свет от источника S_1 через линзу l падает на поверхность образца O . Отраженный частично поляризованный свет через регулируемую щель S_2 попадает в визирную трубу и, проходя через поляризатор P , падает на селеновый фотоэлемент Φ . Фотоэлемент замкнут на гальванометр. Фототок, а следовательно, и отклонение светового штриха гальванометра будут пропорциональны интенсивности света, прошедшего через поляризатор. Поляризатор и фотоэлемент смонтированы в одной обойме, насаженной на визирную трубу. Обойма имеет возможность вращаться вокруг проходящего луча. Угол падения луча на образец определяется по шкале гониометра.

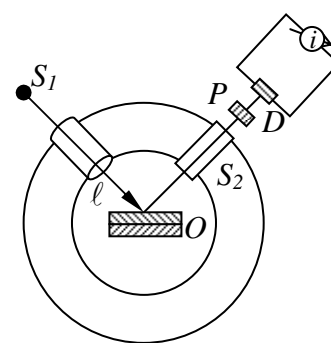


Рисунок 6 – Схема лабораторной установки

Используя формулы (2) и (3), можно определить степень поляризации для лучей, отраженных от диэлектрика и металла в зависимости от угла падения α и показателя преломления n диэлектрика.

Интенсивности света I_{\max} , I_{\min} соответствуют проекциям напряженности электрического поля световой волны в двух взаимно перпендикулярных направлениях y и x . Колебания ослаблены в плоскости падающего и отраженного лучей (см. рис.2,б), то есть в направлении x . Поляризатор P , служащий в данном случае анализатором, пропускает колебания светового вектора в плоскости своего главного сечения. При повороте поляризатора поворачивается и его плоскость главного сечения. Когда эта плоскость совпадает с направлением y , то поляризатор пропускает свет интенсивностью I_{\max} , когда же она параллельна направлению x , то он пропускает свет интенсивностью I_{\min} .

Очевидно, что угол Брюстера будет соответствовать максимальному значению степени поляризации, в идеальном случае P должно равняться 1 или 100%.

Порядок выполнения работы и обработки результатов измерений

1. Ознакомиться с методом отсчета углов по гониометру. Составить две таблицы для записи результатов (для эбонита и никеля) по образцу таблицы 1.

Таблица 1 – Результаты измерений

№ п/п	α , град	I_{\max} , дел.	I_{\min} , дел.	$I_{\max}-I_{\min}$	$I_{\max}+I_{\min}$	P , %

2. Включить осветитель гальванометра и убедиться, что при включенном источнике света S_I зайчик гальванометра стоит на нуле. В противном случае попросить преподавателя или лаборанта установить зайчик на нуль.

3. Включить источник света (лампу накаливания). Поставить эбонитовый образец, так чтобы перпендикуляр к его плоскости проходил через 0 гониометра. Установить коллиматорную трубу с источником света под углом 70° (угол падения), под таким же углом должна быть установлена визирная труба с поляридом и фотоэлементом. Меняя ширину входной щели визирной трубы и поворачивая обойму поляриода с фотоэлементом, добиться отклонения зайчика гальванометра при максимуме на 15...18 см шкалы.

4. Установить для первого измерения угол падения $\alpha = 30^\circ$. Медленно вращая обойму фотоэлемента и поляриода, найти I_{\max} и I_{\min} и записать в табл. 1. Аналогичные изменения произвести для всех остальных углов падения через каждые 5° от 30° до 75° .

5. Перевернуть исследуемую пластину, взяв в качестве второго образца никель, и произвести подобные измерения через каждые 10° (от 30° до 70°).

6. Рассчитать степень поляризации для эбонита и никеля и построить график зависимости $P = f(\alpha)$ в одних координатных осях.

7. Определить показатель преломления эбонита.

8. Оценить возможные абсолютную и относительную погрешности в определении степени поляризации для угла максимальной поляризации диэлектрика:

$$\frac{\Delta P}{P} = \sqrt{\left(\frac{2\Delta I}{I_{\max} - I_{\min}}\right)^2 + \left(\frac{2\Delta I}{I_{\max} + I_{\min}}\right)^2} \quad (6)$$

В выражении (6) ΔI можно принять равным пяти меньшим делениям шкалы гальванометра.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается различие между светом естественным, поляризованным и частично поляризованным?
2. От чего зависит степень поляризации отраженного от диэлектрика света?
3. Что такое угол Брюстера и как его практически можно определить?
4. Можно ли без фотоэлемента с помощью поляриода определить поляризован ли отраженный от пластинки свет?

Литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика.- М.: Наука, 1976.- 926 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2.-М.: Наука, 1978.-480 с.
3. Трофимова Т.И. Курс физики.- М.: Высш. шк., 1985.-432 с.

4. Шубин А.С. Курс общей физики.- М.: Высш. шк., 1976.- 480 с.