

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Получение и исследование поляризованного света

Цель работы: Ознакомиться с устройством и работой поляризаторов, научиться определять плоскость колебаний светового вектора, степень поляризации света и пользоваться поляризационными приборами.

Оборудование: Источник света (осветитель теневой проекции ОТП с источником питания ВС-4-12), поляризаторы (поляроиды, стопа Столетова), приёмник света (фотоэлемент в приборе для изучения законов фотометрии ПЗФ), гониометр со стеклянной пластиной и фотоприёмником, люксметр Ю116, микровольтмикроамперметр Ф116-2.

Теоретическое введение

Свет – это электромагнитные волны, длины которых находятся в интервале 400÷700 нм. Химическое и биологическое действие света, в основном, связано с электрической составляющей электромагнитной волны. Поэтому вектор напряжённости электрического поля \vec{E} называют световым.

Естественный свет – это совокупность волн, излучаемых множеством атомов и молекул источника. Колебания световых векторов в этом случае происходят в разных направлениях.

Поляризованным называют свет, в котором направление колебаний светового вектора упорядочено каким-либо образом.

При некоторых условиях можно получить свет, в котором плоскость колебаний занимает постоянное положение в пространстве. Такой свет называется плоскополяризованным. Плоскость, в которой происходят колебания вектора напряжённости электрического поля, называется плоскостью поляризации. Поляризованный свет можно получить из естественного (неполяризованного) с помощью поляризаторов. Поляризаторы пропускают колебания, направленные параллельно одной (главной) плоскости, и полностью задерживают колебания, перпендикулярные этой плоскости. Чтобы исследовать, является ли свет после прохождения поляризатора действительно плоскополяризованным, на пути лучей ставят второй поляризатор, который называется анализатором, указывая этим, что он используется не для получения, а для анализа поляризованного света.

Пусть колебания поляризованной световой волны совершаются в плоскости составляющей угол φ с главной плоскостью анализатора.

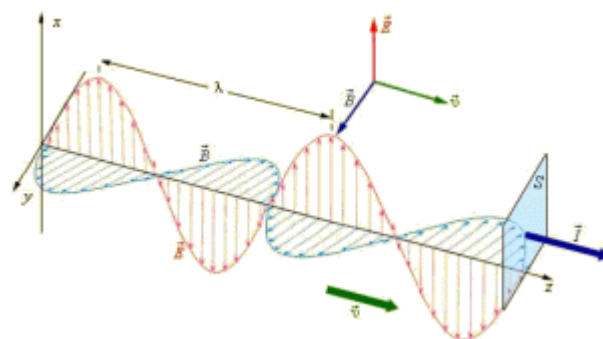


Рис. 8.1. Электромагнитная волна.
 XOZ – плоскость поляризации

Амплитуду A этих колебаний можно разложить на две взаимно перпендикулярные составляющие $A_1 = A \cos \varphi$, $A_2 = A \sin \varphi$. Первая составляющая пройдет через анализатор, вторая будет задержана им.

Так как интенсивность волны $I \sim A^2$, то интенсивность света, прошедшего через анализатор, можно рассчитать по закону Малюса¹

$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \quad (8.1)$$

где I_0 – интенсивность поляризованного света, падающего на анализатор, φ – угол между плоскостью колебаний падающего света и плоскостью анализатора.

После прохождения естественного света через поляризатор, свет становится поляризованным, и его плоскость колебаний совпадает с плоскостью поляризатора. Если плоскости поляризатора и анализатора параллельны, то есть $\varphi = 0(\pi)$, то экран, помещённый за анализатором, будет максимально освещённым. Если $\varphi = \pi/2(3\pi/2)$, то есть поляризатор и анализатор скрещены, то экран будет неосвещённым.

На выходе неидеального поляризатора получается свет, в котором колебания одного направления преобладают над колебаниями других направлений. Такой свет называется частично поляризованным. Если пропустить частично поляризованный свет через анализатор, то при вращении поляризатора вокруг направления распространения луча, интенсивность прошедшего света будет изменяться в пределах от I_{\max} до I_{\min} . За один полный оборот два раза будет достигаться максимальное значение и два раза – минимальное значение интенсивности.

Поляризованность света принято характеризовать степенью поляризации

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}. \quad (8.2)$$

Для плоскополяризованного света $P = 1$, для естественного света $P = 0$. Понятие степени поляризации неприменимо к поляризованному по кругу или эллиптически поляризованному свету.

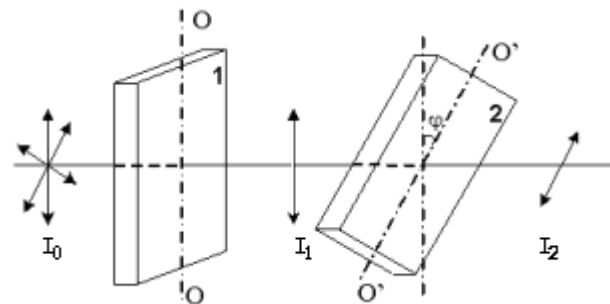


Рис. 8.2. $I_1 = 1/2 I_0$, $I_2 = I_1 \cos^2 \varphi$

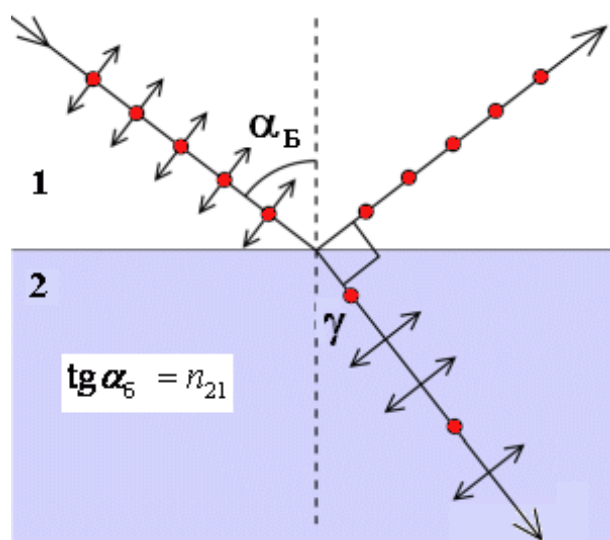


Рис.8.3. $\alpha + \gamma = \pi / 2$

¹Малюс Этьенн Луи (Étienne Louis Malus) (23.07.1775-23.02.1812). Французский физик. Исследовал поляризацию света. Открыл закон, названный его именем.

При падении естественного света на границу раздела двух диэлектриков (например, на поверхность стеклянной пластинки) отражённый и преломлённый лучи оказываются частично поляризованными. В отражённом луче преобладают колебания, перпендикулярные к плоскости падения, а в преломлённом луче – колебания в плоскости падения.

Степень поляризации преломлённого и отражённого лучей зависит от угла падения. Френелем получены формулы для расчёта амплитуды при отражении света от диэлектрика

$$A_{\perp} = A_{0\perp} \frac{\sin(\alpha - \gamma)}{\sin(\alpha + \gamma)}, \quad A_{\parallel} = A_{0\parallel} \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \gamma)}{\operatorname{tg}(\alpha + \gamma)}, \quad (8.3)$$

где A_{\perp} – составляющая напряжённости электрического поля в отражённом свете, перпендикулярная плоскости падения; $A_{0\perp}$ – составляющая в падающем свете, перпендикулярная плоскости падения; A_{\parallel} и $A_{0\parallel}$ – соответственно компоненты напряжённости, лежащие в плоскости падения; α – угол падения; γ – угол преломления. Если $\alpha + \gamma = \pi / 2$, то $A_{\parallel} = 0$ так как $\operatorname{tg}(\alpha + \gamma) \rightarrow \infty$.

Таким образом, при определённом угле падения отражённый луч полностью поляризован, так как содержит только колебания, перпендикулярные к плоскости падения. Этот угол падения называют углом Брюстера² α_B . Для этого угла выполняется закон Брюстера

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n_{21}, \quad (8.4)$$

где n_{21} – относительный показатель преломления.

Степень поляризации преломлённого луча при падении под углом Брюстера достигает наибольшего значения, но он поляризован частично.

Для получения плоскополяризованного света в работе используются поляроиды, которые в настоящее время изготавливают в виде тонких дихроичных пластинок. Дихроизмом называется свойство некоторых двоякопреломляющих кристаллов, заключающееся в сильном различии коэффициентов поглощения для двух взаимно перпендикулярно поляризованных лучей. Эти коэффициенты отличаются столь сильно, что уже при небольшой толщине кристалла один из лучей гасится практически полностью и из кристалла выходит плоскополяризованный свет.

В большинстве случаев поляроиды состоят из множества параллельно ориентированных кристаллов сернокислого йодистого хинина (герапатита), размером до 0,3 мм, находящихся внутри связующей прозрачной пленки.

² Сэр Брюстер Дэвид (Sir David Brewster) (11.12.1781-10.02.1868). Шотландский физик. Исследовал поляризацию света. Установил (1815 г.) закон, названный его именем, открыл круговую поляризацию. Изобрёл калейдоскоп, сконструировал линзы для маяков и усовершенствовал стереоскоп.

Для получения частично поляризованного света необходимо поляроид заменить стопой параллельных стеклянных пластин, расположенных под углом Брюстера (стопа Столетова). При падении света на пластинку под таким углом, проходящий свет максимально поляризован в плоскости падения, но полная поляризация прошедшего света не достигается. Поэтому для увеличения степени поляризации прошедшего света используют систему параллельных стеклянных пластин. В этом случае можно получить практически полностью поляризованный проходящий свет, если число пластин достаточно велико.

Описание установки I

Схема установки для изучения явления поляризации света приведена на рис. 8.4. Источником света является осветитель 1, который формирует направленный пучок. Далее свет проходит через поляризатор 2 и анализатор 3, и падает на фотоэлемент 4. Выходные клеммы фотоэлемента соединены с регистрирующим прибором 5, показания которого пропорциональны интенсивности падающего света.

Поляризаторами света 2 в данной работе является пленочный поляроид (или стопа Столетова). В качестве анализатора 3 используется пленочный поляроид, закрепленный на оправе с лимбом, который предназначен для измерения углов поворота анализатора. Фотоэлемент 4 установлен в светонепроницаемом корпусе со световыми ловушками, снижающими уровень постоянной засветки.

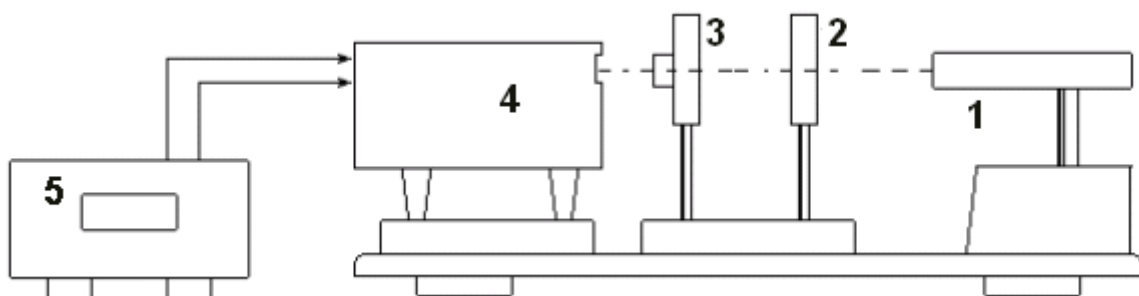


Рис. 8.4. Схема установки для изучения плоскополяризованного и частично поляризованного света

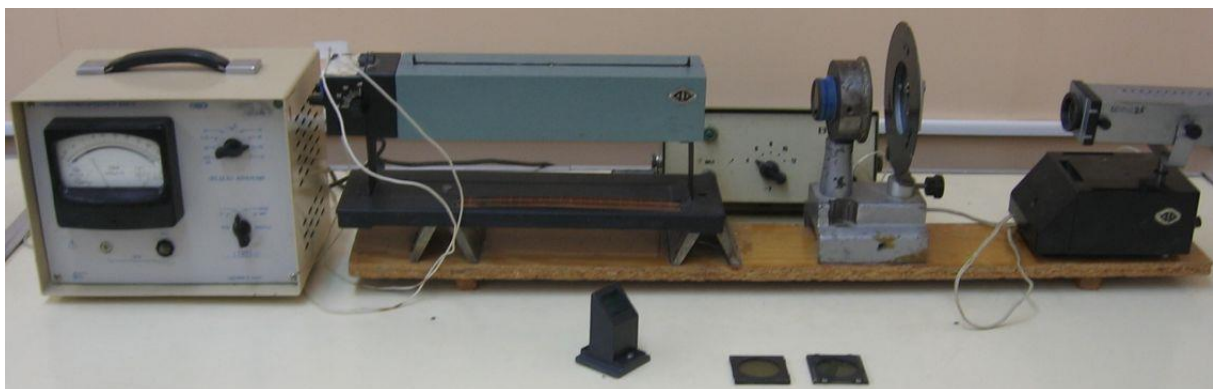


Рис. 8.5. Общий вид установки

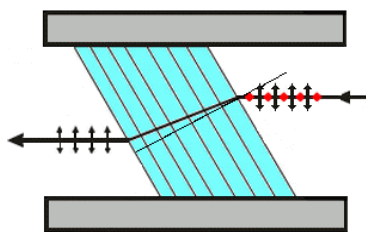


Рис. 8.6 Схема стопы Столетова



Рис. 8.7. Стопа и поляриды

Описание установки II

Схема установки для изучения поляризации света при отражении приведена на рис. 8.8. Параллельный пучок света от источника 1, сформированный коллиматором 2, падает на стеклянную пластину 3, которая может поворачиваться вокруг вертикальной оси. Отражённый свет, пройдя конденсор 6, нормально падает на фотоэлемент 7. Фотоприёмник установлен на подвижном кронштейне и может поворачиваться вокруг вертикальной оси. Фотоэлемент соединён с регистрирующим прибором 8. Степень поляризации отражённого света определяется с помощью анализатора 9, который закреплён на оправе с лимбом, позволяющим вращать поляриод вокруг горизонтальной оси. Цена деления лимба 1° .

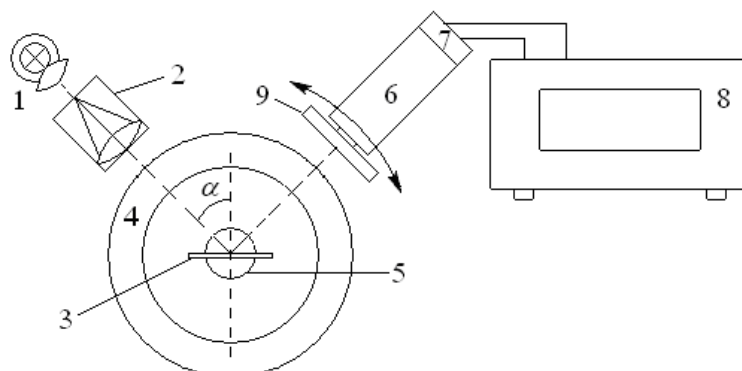


Рис. 8.8. Схема установки для изучения поляризации света при отражении



Рис. 8.9. Общий вид установки

Методика выполнения работы

Внимание! Желательно выключить свет в аудитории!

I. Изучение плоскополяризованного и частично поляризованного света

1. Установить поляроид в оправу 2 установки и включить осветитель.
2. Выставить все приборы по оптической оси.
3. Включить регистрирующий прибор 5 (мВМА Ф116-2), добиться максимальной освещённости фотоэлемента вращением анализатора 3 вокруг оси. Подобрать (переключить) оптимальный предел измерений. В случае необходимости изменить напряжение на осветителе. При необходимости изменить угол наклона фотоэлемента в устройстве 4. Это положение анализатора считать за начало отсчёта ($\alpha = 0$).
4. Вращать анализатор в пределах полного оборота и через каждые 15° записывать показания I регистрирующего прибора. Результаты внести в таблицу 1.
5. Построить график экспериментальной зависимости $f_1(\alpha) = \frac{I}{I_{\max}}$, где I_{\max} – максимальное показание регистрирующего прибора. График строится в полярных координатах. Для этого на каждом луче, проведённом из центра O под углом α , в выбранном масштабе отложить значение $f_1(\alpha)$, соответствующее углу α .
6. Определить из таблицы I_{\max} и I_{\min} и рассчитать степень поляризации света по формуле (8.2).
7. Заменить поляроид в оправе 2 стопой Столетова. Повторить операции 2–6. График аналогичной функции $f_2(\alpha)$ строить на том же чертеже.
8. На этом же чертеже аналогично построить теоретическую зависимость $f(\alpha) = \cos^2 \alpha$.
9. Записать величину степени поляризации с учётом расчёта погрешностей.

II. Изучение поляризации света, отражённого от поверхности стеклянной пластины

II.1 Определение степени поляризации

1. Включить осветитель и регистрирующий прибор.
2. Повернуть фотоприёмник таким образом, чтобы ось конденсора 6 составила угол 150° с осью коллиматора 2.
3. Поворотом столика с пластиной получить максимальное показание прибора. Отражённый луч должен попадать в центр фотоприёмника.
4. Добиться максимальной освещённости фотоэлемента вращением анализатора 9 вокруг оси. Записать показания регистрирующего прибора I_{\max} .

5. В пределах $\frac{1}{2}$ полного оборота вращать анализатор и через каждые 15° записывать показания регистрирующего прибора. Результаты внести в таблицу 2.
6. Повторить пункты 4,5,8 опыта № I.
7. Записать величину степени поляризации с учётом расчёта погрешностей.

II.2 Определение угла Брюстера

1. Уменьшая угол γ между осями коллиматора и конденсора до 90° , через каждые 10° записать только минимальные и максимальные показания прибора при вращении анализатора. При этом необходимо каждый раз поворачивать столик с пластиной так, чтобы отражённый от неё луч максимально попадал в окошко анализатора. Результаты внести в таблицу 3.
2. Рассчитать степень поляризации P для всех углов. Оценить погрешность ΔP .
3. Построить в декартовых координатах график зависимости степени поляризации от половинного угла $P=P(\gamma/2)$.
4. Рассчитать угол Брюстера (показатель преломления стекла принять равным 1,52) и сравнить его с углом, найденным из графика $P(\gamma/2)$.

Контрольные вопросы

1. Какой свет называют линейно поляризованным? Неполаризованным? Поляризованным по кругу?
2. Как рассчитать интенсивность света, прошедшего через поляризатор, анализатор?
3. Какие типы поляризаторов вы знаете?
4. Какую величину называют степенью поляризации?
5. Как изменяется степень поляризации отражённого света при изменении угла падения от 0 до $\frac{\pi}{2}$?

Литература

(см. список литературы)

Лабораторная работа № 8. Лист отчёта
Получение и исследование поляризованного света

Выполнил студент _____
 Факультет _____ курс _____ группа _____
 Проверил _____
 Показания сняты _____
 Зачтено _____

Погрешности измерительных приборов. $\alpha =$ _____ %

Измерительный прибор	ω – цена деления	$\Delta_{\text{окр}}$ – округления	$\Delta_{\text{пр}}$ – приборная	$\Delta_{\text{суб}}$ – субъективная	Единицы измерения
мВмА Ф116-2	1				дел
Люксметр Ю116	1				дел

I. Изучение плоскополяризованного и частично поляризованного света

Таблица 1

α , градусы	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180							360	
I , дел. (поляроид)																					
$f_1(\alpha) = I/I_{\text{max}}$																					
I , дел. (стопа Столетова)																					
$f_2(\alpha) = I/I_{\text{max}}$																					
$f(\alpha) = \cos^2(\alpha)$	1						0							1							1

$P_{\text{поляроида}} =$ _____ \pm _____, $\varepsilon_P =$ _____ %.

Место для построения графиков

$P_{\text{стопы Столетова}} =$ _____ \pm _____, $\varepsilon_P =$ _____ %.

II. Изучение поляризации света, отражённого от поверхности стеклянной пластины

II.1 Определение степени поляризации

Таблица 2

α , градусы	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
I , дел.													
$f_3(\alpha) = I/I_{\text{max}}$													

$P_{\text{при отражении}} =$ _____ \pm _____, $\varepsilon_P =$ _____ %.

II.2 Определение угла Брюстера

Таблица 3

γ , градусы	150	140	130	120	110	100	90
$\gamma/2$, градусы	75	70	65	60	55	50	45
I_{max} , дел.							
I_{min} , дел.							
P							
ΔP							

Угол Брюстера – теоретический – $\alpha_B =$ _____

Угол Брюстера – из графика – $\alpha_B =$ _____