

## Работа № 4

### ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА

Цель работы: исследование поляризации света при отражении от диэлектрика, определение угла полной поляризации. Исследование прохождения света через поляриды.

Оборудование: специальная установка, осветитель, вольтметр, линза.

#### Описание метода измерений

Из электромагнитной теории света следует, что световая волна является поперечной, то есть три вектора: напряженность электрического поля  $E$ , напряженность магнитного поля  $H$  и скорость распространения света  $c$  взаимно перпендикулярны. Свет от обычных источников состоит из множества цугов волн, световой вектор  $E$  которых ориентирован случайным образом, а колебания различных направлений равновероятны. Такой свет называется естественным.

Свет, в котором направления колебаний каким-либо образом упорядочен, называется *поляризованным*, процесс получения поляризованного света называется *поляризацией*. Если колебания вектора происходят в одной плоскости относительно луча, то свет считается *плоскополяризованным*.

*Частично поляризованный* свет - свет, в котором имеется преимущественное направление колебаний вектора  $E$ . Эти случаи схематически изображены на рис. 1 (луч перпендикулярен плоскости рисунка).

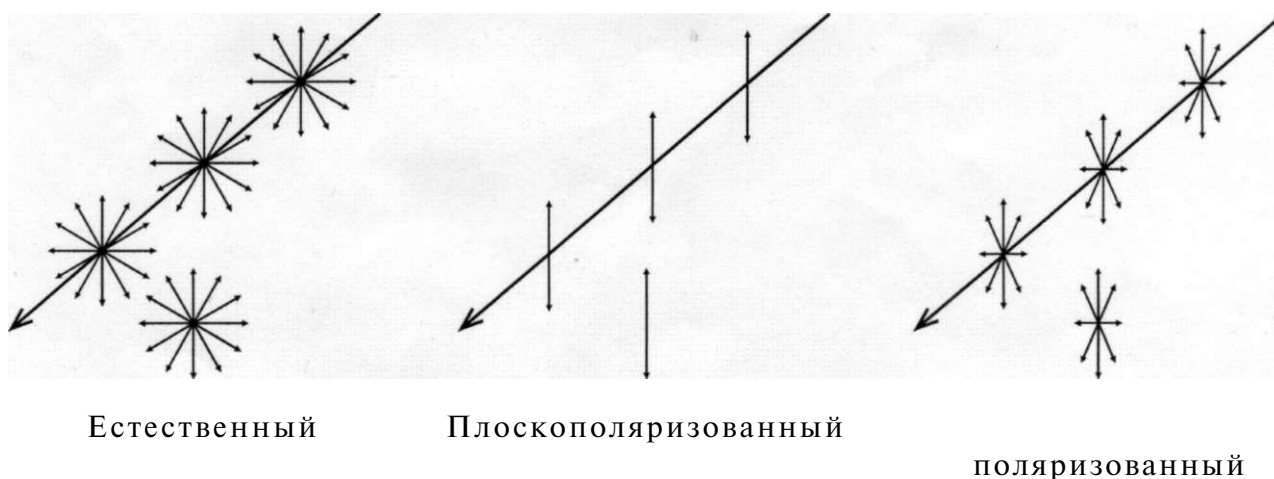


Рис. 1

Плоскость, в которой колеблется электрический вектор  $\vec{E}$ , называется *плоскостью колебаний*, или плоскостью поляризации.

Поляризация света наблюдается при отражении, преломлении и при прохождении света через анизотропные вещества. Приборы для получения поляризованного света называются *поляризаторами*. Визуально поляризованный свет нельзя отличить от неполяризованного. Анализ поляризованного света делают с помощью поляризатора, через который пропускают исследуемый свет. В таких случаях поляризатор называют *анализатором*.

Для явления поляризации справедливы следующие законы.

1. При отражении световых лучей от поверхности изотропных диэлектриков, например от поверхности стекла, воды и так далее, отраженные лучи оказываются частично поляризованными в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. Степень поляризации отраженных лучей меняется при изменении угла падения. Отраженный луч будет *плоскополяризован только* в том случае, *если* угол падения имеет определенную величину ( $p\theta_p$ , называемую *углом полной поляризации*). Теория и опыт показывают, что угол полной поляризации в этом случае удовлетворяет условию

$$\operatorname{tg} p\theta_p = n \quad (1)$$

где  $n$  - относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Это *закон Брюстера*.

Преломленный свет всегда частично поляризован.

2. Если на анализатор падает плоскополяризованный свет, плоскость поляризации которого составляет угол  $\alpha$  с плоскостью поляризации лучей, пропускаемых анализатором, то интенсивность пропущенного им света  $I_A$  будет определяться соотношением

$$I_A \sim I_{\text{п}} \cos^2 \alpha \quad (2)$$

Здесь  $I_{\text{п}}$  - интенсивность света, падающего на анализатор.

Это *закон Малюса*.

Если частично поляризованный свет пропускать через анализатор, то интенсивность  $I^A$  прошедшего света будет меняться в зависимости от положения плоскости поляризации анализатора (ППА). Она достигает максимального значения  $I^{\max}$ , если ППА и плоскость преимуществен-

ных колебаний частично поляризованного света совпадает. Если эти плоскости перпендикулярны друг другу, то интенсивность света, прошедшего через поляризатор, будет минимальной  $I^{min}$ .

Для характеристики поляризованного света вводится величина, называемая *степенью поляризации* света  $P$ ,

$$P = \frac{I^{max} - I^{min}}{I^{max} + I^{min}}$$

Очевидно, что  $0 < P < 1$ . Для естественного света  $P = 0$ , так как  $I^{min} = I^{max}$ , а для плоскополяризованного света  $P = 1$ , так как  $I^{min} = 0$ .

### Описание установки

Для исследования закона Брюстера и Малюса используется специальная установка, которая крепится на оптической скамье. Схема ее приведена на рис. 2.

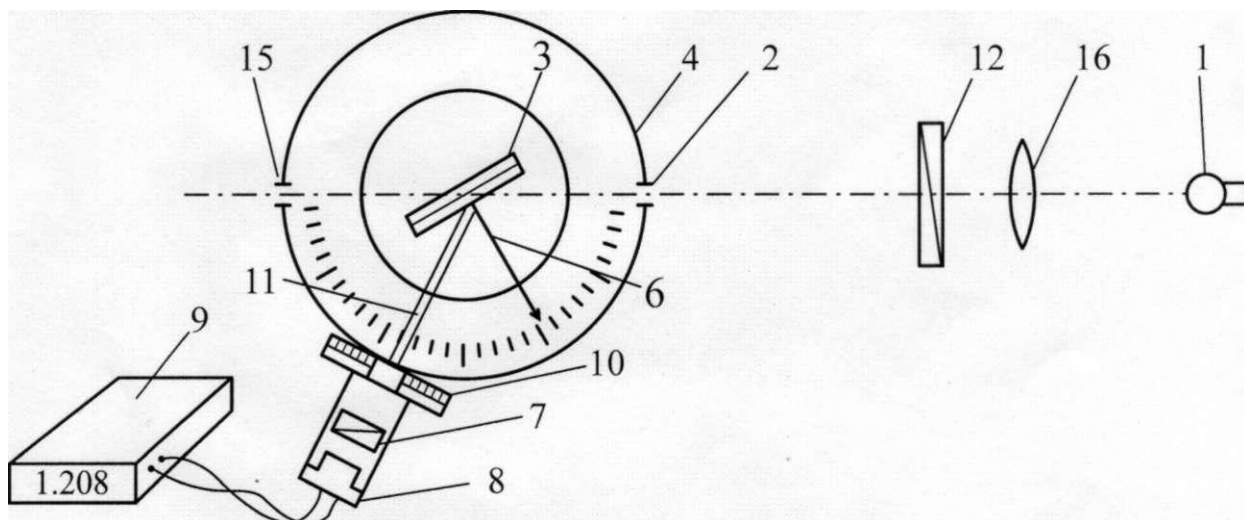


Рис. 2

Свет от лампы 1 через отверстие в корпусе лампы падает на стеклянную пластину 3, помещенную в тиски поворотного столика. Изменение угла падения света осуществляется поворотом ручки держателя стеклянных пластин. Стрелка 6 на крышке держателя (при правильной настройке прибора!) указывает угол падения света, к установке прилагается набор съемных стеклянных пластин, закреплённых в обоймы (по 2, 4, 7, 12 штук). Отраженный от пластины частично поляризованный свет через анализатор 7 попадает на фотоэлемент 8, подключенный к измерителю интенсивности света (ИИС) 9.

Показания ИИС пропорциональны световому потоку, попадающему на фотоэлемент. Положение плоскости поляризации анализатора отмечается по шкале  $10$  с помощью указателя.

Узел анализатор-фотоэлемент закреплён на коромысле  $11$ , которое может поворачиваться вокруг вертикальной оси на угол от  $50^\circ$  до  $180^\circ$ .

Отражающая пластина  $3$  может вращаться вокруг вертикальной оси, и у отраженного от нее частично поляризованного света плоскость преимущественных колебаний вертикальна. На фотоэлемент  $8$  попадает световой поток, зависящий от положения ППА  $7$  - он будет максимальным (показание вольтметра  $9$  максимально), если ППА вертикальна, и минимальным, если ППА горизонтальна. Как следует из теоретических представлений интенсивность этих двух составляющих (а следовательно, и

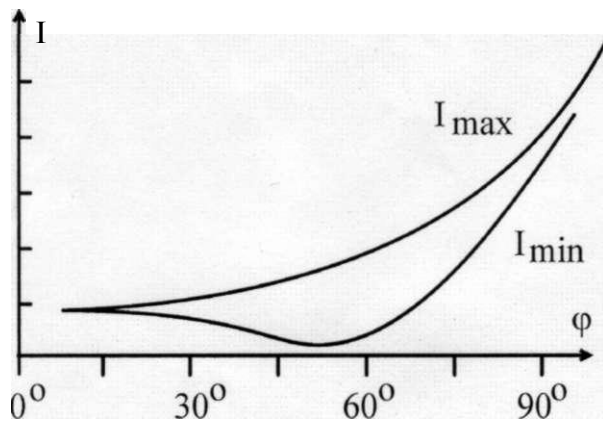


Рис. 3

показания вольтметра), поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях, будет меняться в зависимости от угла падения света  $\phi$  в соответствии с графиком на рис.3.

Изменяя угол падения света на пластину и отмечая показания вольтметра, можно найти *угол полной поляризации* или *угол Брюстера*.

Для изучения закона Малюса используется дополнительный поляризатор  $12$ .

### Знакомство с установкой и подготовка установки к работе

1. Разобраться с основными узлами и элементами установки:
  - а) изменение угла падения света на пластину;
  - б) изменение положения ППА;
  - в) узел анализатор- фотоэлемент.
2. Включить источник света и вращая его вокруг вертикальной оси, добиться чтобы световой луч был направлен вдоль оптической скамьи.
3. Закрепить в держателе обойму с четырьмя пластинами. Установить держатель таким образом, чтобы указатель угла поворота стоял на нулевом делении и отраженный световой луч был направлен вдоль оптической скамьи.

*Контролировать правильность установки осветителя дополнительно можно по отраженному от пластины свету: пятно света, отраженное на внутреннюю поверхность корпуса, должно быть симметрично относительно входного отверстия.*

4. Ознакомиться с устройством и работой анализатора и датчика интенсивности света. Для этого повернуть коромысло узла анализатора так, чтобы свет, прошедший через пластину, попал на анализатор и фотоэлемент. Включить ИИС и подключить к нему фотоэлемент. Меняя положение ППА от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ , отмечаем, что величина сигнала на практически не меняется. Следовательно, свет, прошедший через пластину, неполяризован.

5. Повернув отражающую пластину, задать угол падения света  $\phi = 25^\circ-80^\circ$ . Поворачивая коромысло, добиться попадания отраженного света на фотоэлемент.

## УСТАНОВКА ГОТОВА К РАБОТЕ!

### Упражнение I. *Исследование поляризации отраженного света*

1. Вставляем в держатель обойму с четырьмя пластинами и устанавливаем угол падения света  $25^\circ$ .

Поворачивая коромысло, добиться попадания на фотоэлемент отраженного света. Измерить интенсивность света при положениях ППА  $0^\circ$  и  $90^\circ$ . Аналогичные измерения проводим для других углов падения (указаны в таблице) и результаты заносим в табл. 1.

2. Повторяем все измерения еще дважды и находим среднее значение показаний ИИС для каждого угла падения.

3. Для каждого угла падения рассчитываем степень поляризации отраженного света

$$P = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$$

Таблица 1

Угол падения Φ,град		25	30	35	40	45	50	53	55	57	59	62	65	70	75
^тах' мВ	1														
	2														
	3														
среднее															
^min' мВ	1														
	2														
	3														
среднее															
Степень поляриза- ции, Р															
Угол Брюстера φ <sub>Бр</sub> =		Показатель преломления n =													

4. Строим графики зависимости:  $I_{max} = J'(\langle P \rangle) / I_{max} = -f''(P) >$ ,  $P = f(P) < n^0$   
 которым находим угол Брюстера.

5. По формуле (1) рассчитываем показатель преломления n материала пластины (стекла).

Делаем выводы.

#### Упражнение 2. Исследование поляризации прошедшего через пластину света

1. Вставляем обойму с двумя пластинами (N=2) и устанавливаем угол падения света, равный углу Брюстера, найденному в упражнении 1.

2. Устанавливаем фотоэлемент для регистрации интенсивности прошедшего через пластины света.

3. Измеряем интенсивность прошедшего через пластины света при двух положениях ППА:  $I_{max}$  - при  $90^\circ$  и  $I_{min}$  - при  $0^\circ$ .

4. Аналогичные измерения проводим для N=4, 7, 12 пластин. Результаты всех измерений заносим в табл. 2.

Таблица 2

Число пластин N	Показания вольтметра, мВ		Степень поляризации, P
	$\hat{\alpha}_{\text{тах}}$	$\hat{\alpha}_{\text{min}}$	
2			
4			
7			
12			

6. Рассчитываем степень поляризации света для всех случаев и строим график  $P - f(N)$ .

7. Делаем выводы.

### Упражнение 3. Изучение закона Малюса.

1. Снимаем с установки обойму с пластинами, коромысло узла анализатор-фотоэлемент устанавливаем в положение  $180^\circ$ , между источником света и установкой помещаем поляризатор 12 ( $\Phi_{\text{ППП}} = 0^\circ$ ).

2. Устанавливаем ППА на  $0^\circ$  и, меняя положение ППА ( $\Phi_{\text{ППА}}$ ) от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  через  $15^\circ$ , отмечаем показания ИИС 1<sup>п</sup> (интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор).

Результаты всех измерений заносим в Табл. 3.

Таблица 3

$\Phi = 0^\circ$	$\hat{\alpha}_{\text{ППА}}$	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
	In													
$\cos^2 \Phi$		0,00	0,07	0,25	0,50	0,75	0,93	1,00	0,93	0,75	0,50	0,25	0,07	0,00
$\text{In}^2$														

4. Проводим расчеты, необходимые для заполнения таблицы.

5. Строим график зависимости  $\frac{I}{I_0} = \cos^2(p)$

6. Делаем вывод.

## Вопросы

1. Чем отличается естественный свет от плоскополяризованного и частично поляризованного?
2. Могут ли продольные волны быть плоскополяризованными ?
3. Перечислите способы получения поляризованного света.
4. В чем состоит явления двойного лучепреломления?
5. Сформулируйте закон Брюстера.
6. Укажите положение плоскостей поляризации отраженного и преломленного света.
7. Покажите, что отраженный и преломленный лучи при соблюдении условия Брюстера будут взаимно перпендикулярны.
8. Сформулируйте закон Малюса.
9. Почему при любом положении анализатора частично поляризованный свет проходит через него?