

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4-5: Проверка закона Малюса

Студент \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_

Допуск \_\_\_\_\_ Выполнение \_\_\_\_\_ Защита \_\_\_\_\_

**Цель работы:** экспериментальная проверка закона Малюса.

**Приборы и принадлежности:** установка, состоящая из фотоэлемента, двух поляроидов, ламповый выпрямитель, микроамперметр.

### Описание установки

В металлическом корпусе размещены перед фотоэлементом два поляроида: сначала поляризатор  $P$ , затем анализатор  $A$ . Анализатор может вращаться относительно поляризатора с помощью ручки, на которой нанесена визирная линия. Отсчет углов между главными плоскостями поляроидов производится по лимбу, укрепленному неподвижно на корпусе прибора.

Цепь фотоэлемента состоит из микроамперметра и выпрямителя, включаемого в сеть 220 В (см. рис. 1.). Источник света  $S$  располагается перед поляризатором.

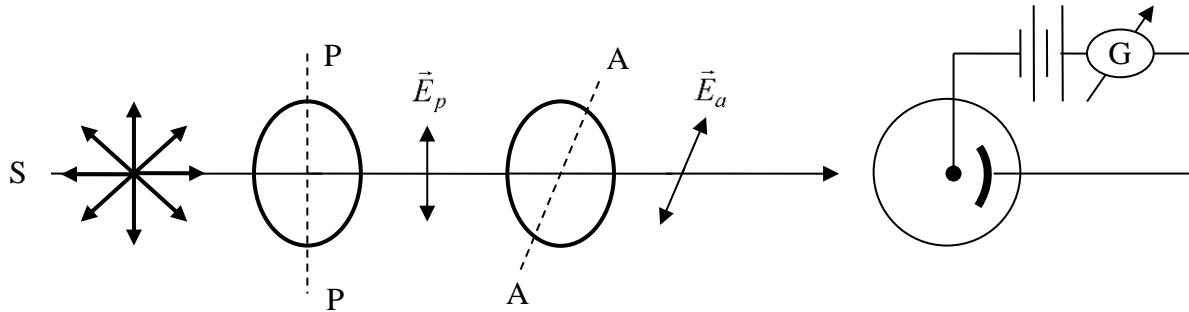


Рис. 1.

Из законов для внешнего фотоэффекта известно, что величина фототока  $I$  прямо пропорциональна интенсивности падающего на фотоэлемент света. Если между источником света и фотоэлементом разместить два поляроида (поляризатор и анализатор), то интенсивность света, падающего на фотоэлемент, будет ослаблена в соответствии с законом Малюса в  $\cos^2 \varphi$  раз, где  $\varphi$  - угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора. Следовательно, уменьшится в  $\cos^2 \varphi$  раз и величина фототока в фотоэлементе.

**Цель данной лабораторной работы состоит в проверку закона Малюса для линейно поляризованного света:**

*интенсивность света, прошедшего через анализатор  $I_a$ , равна интенсивности линейно поляризованного света, падающего на анализатор  $I_p$ , умноженной на квадрат косинуса угла  $\varphi$  между плоскостью поляризации падающего на анализатор света и плоскостью пропускания анализатора*

$$I_a = I_p \cos^2 \varphi.$$

### Порядок выполнения работы

1. Включите в сеть (220 В) выпрямитель и осветитель. Вместе с анализатором вращается диск, на котором нанесены деления, соответствующие углу поворота плоскости поляризации анализатора. Поворачивая анализатор, добейтесь того, чтобы микроамперметр показывал минимальную величину фототока. Это будет означать, что плоскости поляризатора и анализатора оказались взаимно перпендикулярными, то есть, угол между ними равен  $90^\circ$  (то есть  $\varphi = 90^\circ$ ). В этот момент посмотрите на визирную линию. Значение, которое она будет показывать на шкале примите за  $\varphi = 90^\circ$ .

2. Отметьте на неподвижном лимбе точку, соответствующую углу поворота  $90^\circ$ .
3. С помощью ручки «установка нуля» установите стрелку микроамперметра в нулевое положение (так как согласно закону Малюса, фототок при  $\varphi = 90^\circ$  должен быть равен нулю ( $\cos 90^\circ = 0$ )).
4. Далее, поворачивая анализатор на  $10^\circ$  относительно отмеченной на неподвижном лимбе точки, соответствующей углу  $\varphi = 90^\circ$ , снимайте показания микроамперметра через каждые  $10^\circ$ .
5. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

**Таблица 1.** Зависимость фототока  $I$  в фотоэлементе от угла  $\varphi$  между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора

$I, \text{ мкA}$										
$\varphi$	$90^\circ$	$80^\circ$	$70^\circ$	$60^\circ$	$50^\circ$	$40^\circ$	$30^\circ$	$20^\circ$	$10^\circ$	$0^\circ$
$\cos \varphi$										
$\cos^2 \varphi$										

6. Постройте график зависимости  $I = f(\cos^2 \varphi)$  (то есть, по оси Y откладывается величина фототока  $I$ , а по оси X откладывается квадрат косинуса угла фи  $\cos^2 \varphi$ ).
7. Анализируя график, сделайте вывод о справедливости закона Малюса (согласно этому закону зависимость между интенсивностью света, прошедшего через анализатор, и квадратом косинуса угла  $\cos^2 \varphi$  должна быть линейной).

### Контрольные вопросы

1. Свет и его природа. Современные представления о природе света.
2. Какой свет называется естественным, поляризованным, плоско поляризованным?
3. Способы получения линейно поляризованного света.

**ВНИМАНИЕ:** для защиты лабораторной работы необходимо её оформить, провести расчёты согласно результатам эксперимента для Вашей бригады, грамотно заполнить таблицы, проверить размерность формул, грамотно записать ответы и ответить в письменном виде на контрольные вопросы.

Сфотографируйте Вашу работу, а так же ответы на контрольные вопросы, и пришлите фотографии мне на WhatsApp по тел. +79092075972

Не забудьте подписать лабораторную работу.

Тому, кто выполнит все требования, я зачу лабораторную работу. УДАЧИ.

**Таблица 1.** Зависимость фототока  $I$  в фотоэлементе от угла  $\varphi$  между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора

## Бригада 1 и 6

## Бригада 2 и 7

Бригада 3 и 8

## Бригада 4 и 9

## Бригада 5 и 10

## Ответы на контрольные вопросы

### 1. Свет и его природа. Современные представления о природе света

**Оптическим диапазоном** называются электромагнитные волны с длиной волны  $\lambda = (10^{-8} \div 10^{-4}) \text{ м}$ .

(в него входят **ультрафиолетовое излучение**, **видимый свет** и **инфракрасное излучение**).

**Видимым светом** называются электромагнитные волны с длиной волны от 380 нм до 760 нм, которые воспринимаются органами зрения человека ( $1 \text{ нм}$  (нанометр) =  $10^{-10} \text{ м}$ ).

**Электромагнитной волной** называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.

### Модель электромагнитной волны

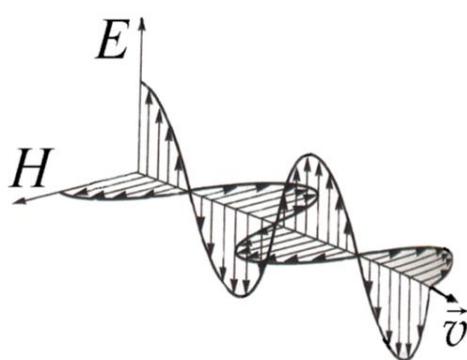


рис. 1

Распределение проекций векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  на направление распространения плоской электромагнитной волны

В электромагнитной волне вектора напряжённости электрического поля  $\vec{E}$  и напряжённости магнитного поля  $\vec{H}$  колеблются в одинаковых фазах во взаимно перпендикулярных плоскостях и одновременно перпендикулярно вектору скорости  $\vec{v}$  распространения волны (перпендикулярно лучу). Причём в любой момент времени выполняется условие  $\epsilon\epsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2$ .

Поскольку  $\vec{E} \perp \vec{H}$ , то при рассмотрении поляризации света достаточно исследовать поведение лишь одного из них.

## Современные представления о свете

Наблюдения показывают, что свет переносит с собой энергию.

Энергию в пространстве могут переносить

- движущиеся частицы (тогда свет – это поток частиц),
- распространяющиеся в пространстве волны (тогда свет - это волна).

Возникает вопрос: что собой представляет свет?

**1.** Свет представляет собой поток особых частиц (**квантов** или **фотонов**), которые по своей природе являются ограниченными в пространстве **электромагнитными волнами**.

Кванты света излучаются атомами вещества при переходе электронов с орбиты с большей энергией на орбиту с меньшей энергией, в результате чего излишек энергии за время перехода ( $\approx 10^{-8} c$ ) излучается в виде кванта света, который представляет собой ограниченный в пространстве, так называемый, **цуг** электромагнитной волны длиной  $\approx 3\text{ м}$ .

**2.** Каждый фотон несёт с собой энергию  $E_\phi = h\nu$ . Фотон существует только в движении и всегда имеет одну и ту же скорость  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ .

Движущийся фотон обладает массой  $m_\phi = \frac{h\nu}{c^2}$  и импульсом  $p_\phi = m_\phi c$ ,

где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$  - постоянная Планка,

$\nu$  (нью) - частота световой волны, Гц.

Так как покоящихся фотонов не существует, то говорят, что масса покоя фотона равна нулю.

**3.** Корпускулярные свойства света проявляются именно в том, что свет всегда излучается, распространяется в пространстве и поглощается веществом только порциями (то есть квантами). Причём поглощается фотон всегда целиком, а не частями. При поглощении фотон исчезает, передав свой импульс и энергию веществу.

## 2. Какой свет называется естественным, поляризованным, плоско поляризованным?

**Поляризацией света** называется физическая характеристика оптического излучения, которая описывает поперечную анизотропию световых волн.

Иногда **поляризацией света** называют процесс получения поляризованного света из естественного или частично поляризованного.

**Поляризованным** называется свет, в котором направления колебаний вектора  $\vec{E}$  каким-либо образом упорядочены.

Различают:

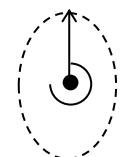
- естественный (или неполяризованный) свет,
- частично поляризованный свет,
- три вида поляризованного света: линейно поляризованный, эллиптически поляризованный и циркулярно поляризованный свет.

Если при распространении волны вектор  $\vec{E}$  колеблется всё время в какой-либо одной плоскости, свет называют **линейно поляризованным** или **плоско поляризованным**.



Плоскость, проходящая через направление колебаний вектора  $\vec{E}$  плоско поляризованного света и направление распространения этой волны, называется **плоскостью поляризации света**.

Если конец вектора  $\vec{E}$  при движении волны описывает эллипс, то свет называют **эллиптически поляризованным**.

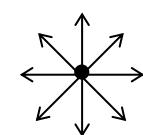


Если конец вектора  $\vec{E}$  при движении волны описывает окружность, то свет называют **циркулярно поляризованным** или **поляризованным по кругу**.

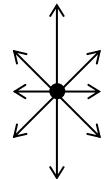


Свет представляет собой поток особых частиц, называемых **квантами** света или **фотонами**, которые представляют собой ограниченные в пространстве цуги электромагнитного поля.

Квант света, испускаемый атомом, всегда линейно поляризован. В реальных источниках света одновременно излучают множество атомов, причём каждый атом излучает квант света с произвольной ориентацией вектора  $\vec{E}$ . Поэтому в результирующей световой волне направление колебаний вектора  $\vec{E}$  в каждый момент времени непредсказуем и все направления перпендикулярные распространению световой волны оказываются равновероятными. Такой свет называется **естественным** или **неполяризованным**.



Чаще всего имеется какое-либо преимущественное направление колебаний вектора  $\vec{E}$ . В этом случае говорят, что свет является **частично поляризованным** в плоскости, проходящей через это направление.



Для получения и анализа поляризованного света применяют специальные приборы: поляризаторы и анализаторы.

**Поляризатором** называется устройство для получения поляризованного света.

Человеческий глаз не отличает естественный свет от поляризованного, поэтому для анализа поляризации света используют устройство, называемое **анализатором**.

### 3. Способы получения линейно поляризованного света

Для получения полностью или частично поляризованного света обычно используют одно из трёх физических явлений:

- поляризация света при его отражении и преломлении на границе раздела двух диэлектриков,
- явление двойного лучепреломления,
- явление линейного дихроизма.

#### Поляризация при отражении и преломлении света на границе раздела двух диэлектриков

При падении естественного света на границу двух диэлектриков (например, воздух и стекло), отражённый и преломлённый лучи оказываются частично поляризованными во взаимно перпендикулярных направлениях, причём, в отражённом луче вектор  $\vec{E}$  совершает колебания преимущественно в плоскости перпендикулярной плоскости падения света, а в преломлённом луче, преимущественно в плоскости падения света.

**Плоскостью падения света** называется плоскость, проходящая через падающий луч и перпендикуляр, восстановленный в точку падения.

Степень поляризации  $P$  этих лучей зависит от их угла падения  $\alpha$  на диэлектрик.

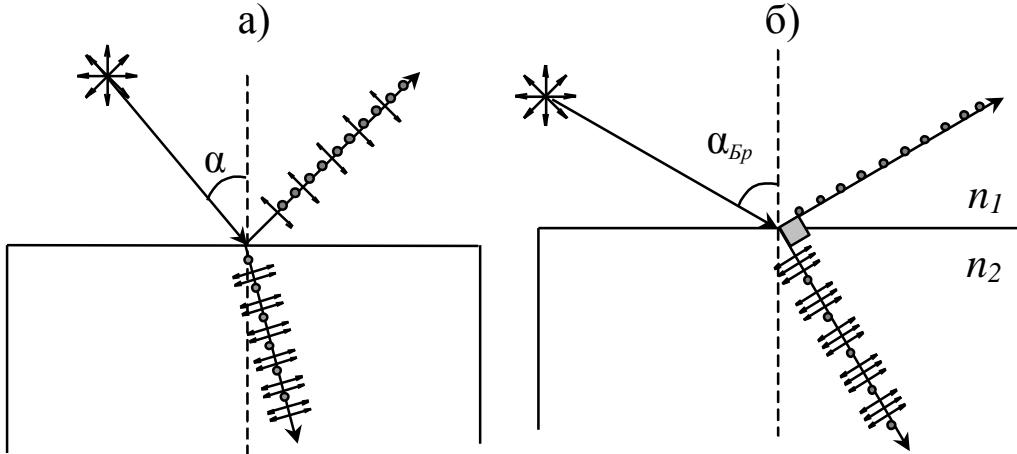


рис. 2

Сначала степень поляризации  $P$  монотонно возрастает с увеличением угла падения  $\alpha$  (см. случай а) на рис. 2 и достигает своего максимального значения  $P_{max}$  при угле  $\alpha_{Br}$ , называемом **углом Брюстера** (см. случай б) на рис. 2), а затем монотонно убывает.

При падении естественного света под углом Брюстера  $\alpha_{Br}$  преломлённый луч достигает своей максимальной степени поляризации и оказывается перпендикулярным к отражённому лучу (см. рис. 2 случай б)).

Угол Брюстера  $\alpha_{Br}$ , при котором наблюдается линейная поляризация отражённого от границы раздела двух диэлектриков света, определяется по **закону Брюстера**:

*Тангенс угла падения Брюстера  $\tg \alpha_{Br}$  равен относительному показателю преломления  $n_{21}$  данных сред*

$$\tg \alpha_{Br} = n_{21},$$

где  $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$  – относительный показатель преломления второй среды относительно первой,

а  $n_1$  и  $n_2$  - абсолютные показатели преломления первой и второй среды соответственно.

## Явление двойного лучепреломления

**Двойным лучепреломлением** называется явление раздвоения падающего на анизотропную среду (например, на прозрачный кристалл) светового луча, обусловленное зависимостью скорости распространения света в этой среде (т.е. показателя преломления среды  $n$ ) от направления колебания вектора  $\vec{E}$  в световой волне.

У кристаллов, обладающих двойным лучепреломлением, существует одно (**одноосные кристаллы**) или два (**двуосные кристаллы**) направления, в которых раздвоения луча не происходит. Это направление называется **оптической осью кристалла**.

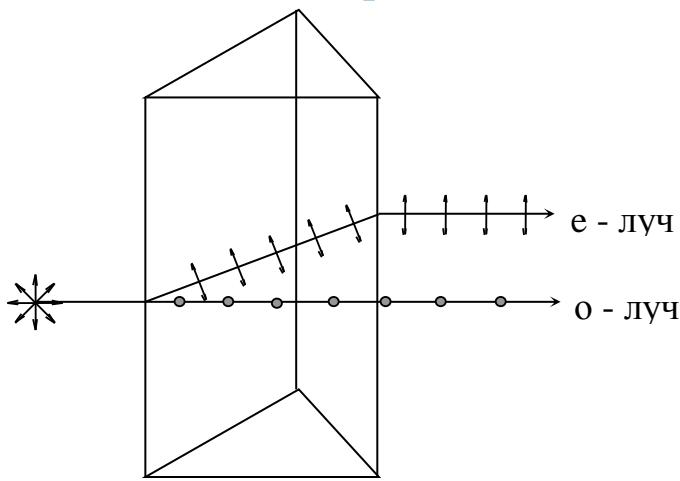


рис. 3

При падении неполяризованной световой волны на одноосный кристалл она расщепляется на два луча со взаимно перпендикулярными плоскостями поляризации.

Один из лучей имеет плоскость поляризации перпендикулярную главному сечению кристалла и подчиняется законам геометрической оптики (этот луч называют **обыкновенным** и обозначают **о – лучом**),

а другой луч имеет плоскость поляризации параллельную главному сечению кристалла и не подчиняется законам геометрической оптики (поэтому этот луч называют **необыкновенным** и обозначают **е – лучом**).

Таким образом, при выходе из кристалла оба луча оказываются линейно поляризованными во взаимно перпендикулярных плоскостях (см. рис 3).

**Главным сечением** кристалла называется плоскость, проходящая через направление падающего светового луча и оптическую ось кристалла.

## Явление линейного дихроизма

**Линейным дихроизмом** называется явление, при котором среды, обладающие двойным лучепреломлением, неодинаково поглощают лучи с разными плоскостями поляризации.

Например, пластинка из кристалла **турмалина** толщиной всего в 1 мм уже пропускает свет только одного направления колебаний вектора  $\vec{E}$  и полностью поглощает свет всех других направлений.

Поэтому такие пластиинки раньше использовали в качестве поляризаторов.

**Главной плоскостью поляризатора** (плоскостью пропускания поляризатора) называется плоскость, в которой колеблется вектор  $\vec{E}$ , прошедшего через поляризатор линейно поляризованного света (аналогичное определение для **главной плоскости анализатора**).

Если на анализатор падает линейно поляризованный свет интенсивностью  $I_p$ , то интенсивность света, вышедшего из анализатора  $I_a$ , можно определить по **закону Малюса**:

*Интенсивность света, прошедшего через анализатор  $I_a$ , равна интенсивности линейно поляризованного света, падающего на анализатор  $I_p$ , умноженной на квадрат косинуса угла  $\varphi$  между плоскостью поляризации падающего на анализатор света и плоскостью пропускания анализатора*

$$I_a = I_p \cos^2 \varphi$$

**Степенью поляризации света** называют величину равную

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

где  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$  соответственно максимальная и минимальная интенсивности света, пропускаемого анализатором.

- для естественного света  $I_{\max} = I_{\min}$  и, следовательно,  $p = 0$ ,
- для линейно поляризованного света  $I_{\min} = 0$  и, следовательно,  $p = 1$ ,
- для частично поляризованного света  $I_{\max} \neq I_{\min}$  и, следовательно,  $0 < p < 1$ .