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. рис1.). Источник света S располагается перед поляризатором.

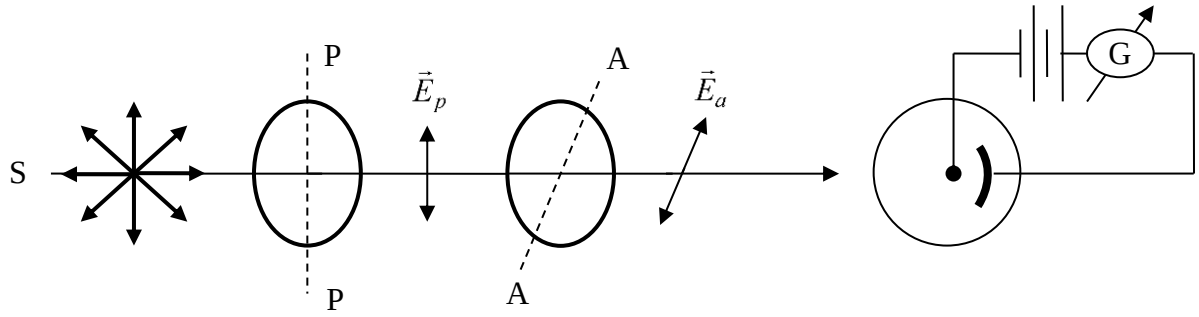


Рис. 1.

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 φ - 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 φ 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° (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°.
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° относительно отмеченной на неподвижном лимбе точки, соответствующей углу $\varphi = 90^\circ$, снимайте показания микроамперметра через каждые 10°.
5. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1. Зависимость фототока I в фотоэлементе от угла φ между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора

I, мкА										
φ	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
$\cos\varphi$										
$\cos^2\varphi$										

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 зачту лабораторную работу. УДАЧИ.

Таблица 1. Зависимость фототока I в фотоэлементе от угла φ между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора

Бригада 1 и 6

I, *мкА*	0	0,20	0,56	1,08	1,79	2,43	3,09	3,61	4,01	4,11
φ	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
$\cos\varphi$										
$\cos^2\varphi$										

Бригада 2 и 7

I, *мкА*	0	0,18	0,51	0,98	1,52	2,13	2,42	3,05	3,43	3,58
φ	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
$\cos\varphi$										
$\cos^2\varphi$										

Бригада 3 и 8

I, *мкА*	0	0,16	0,42	0,81	1,38	1,84	2,39	2,81	3,09	3,21
φ	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
$\cos\varphi$										
$\cos^2\varphi$										

Бригада 4 и 9

I, *мкА*	0	0,14	0,38	0,69	1,21	1,68	2,18	2,50	2,78	2,85
φ	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
$\cos\varphi$										
$\cos^2\varphi$										

Бригада 5 и 0

I, *мкА*	0	0,12	0,36	0,67	1,09	1,33	1,95	2,23	2,49	2,53
φ	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
$\cos\varphi$										
$\cos^2\varphi$										

Ответы на контрольные вопросы

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

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

(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 *нм* (нанометр) = 10^{-10} м).

Электромагнитной волной называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.

Модель электромагнитной волны

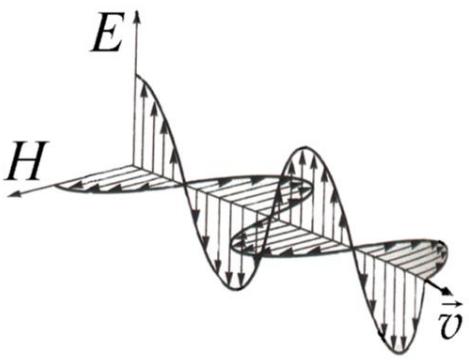


рис. 1

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 $\varepsilon\varepsilon_0 E^2 = \mu\mu_0 H^2$.

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 $\approx 3 м$.

2. Каждый фотон несёт с собой энергию $E_ф = h\nu$. Фотон существует только в движении и всегда имеет одну и ту же скорость $c = 3 \cdot 10^8 \, м/с$. Движущийся фотон обладает массой $m_ф = \dfrac{h\nu}{c^2}$ и импульсом $p_ф = m_ф c$,

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

ν (ню) - 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.

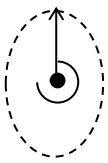
Поляризованным называется *свет, в котором направления колебаний вектора* $\vec{E}$ *каким-либо образом упорядочены.*

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

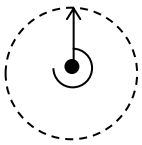
Если при распространении волны вектор $\vec{E}$ колеблется всё время в какой-либо одной плоскости, свет называют ***линейно поляризованным*** или ***плоско поляризованным***.

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***.

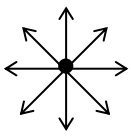


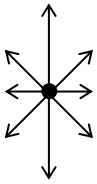
Если конец вектора $\vec{E}$ при движении волны описывает окружность, то свет называют ***циркулярно поляризованным*** или ***поляризованным по кругу***.



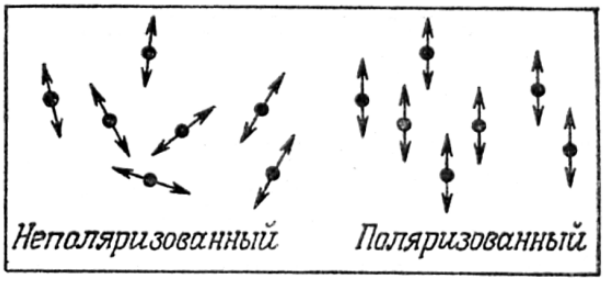
Свет представляет собой поток особых частиц, называемых **квантами** света или **фотонами**, которые представляют собой ограниченные в пространстве цуги электромагнитного поля.

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***.

Поляризатором и анализатором может служить один и тот же прибор в зависимости от того, для каких целей его используют: для получения поляризованного света или для его анализа.

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 α на диэлектрик.

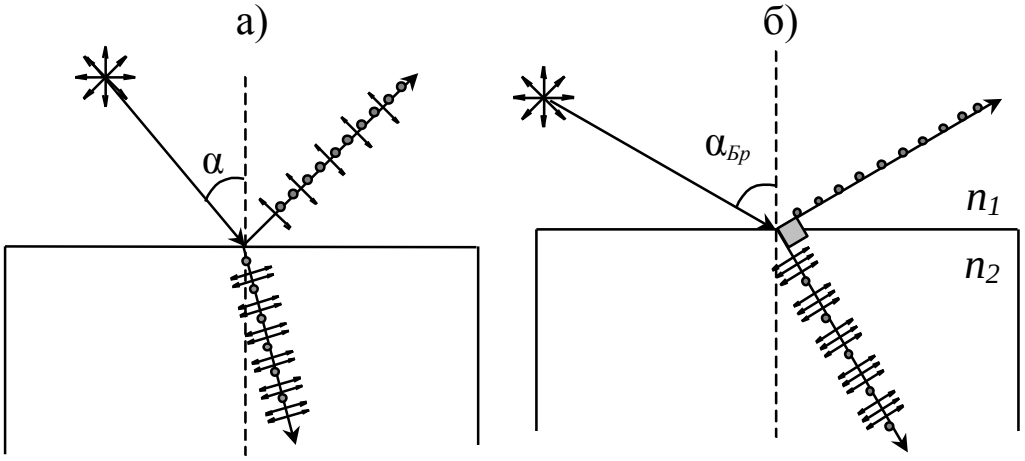


рис. 2

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

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

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

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

$$tg\,\alpha_{Бр} = n_{21},$$

где $n_{21} = \dfrac{n_2}{n_1}$ – 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***.

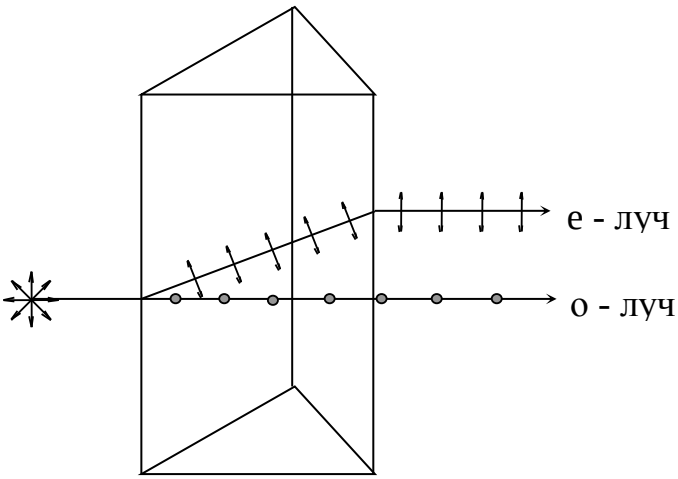


рис. 3

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.

Скорость распространения **о-луча** а, следовательно, и его показатель преломления n_o не зависят от направления распространения этого луча в кристалле, (т.е. $n_o = \text{const}$), а скорость **е-луча** и, следовательно, n_e зависят от его направления распространения в кристалле (т.е. $n_e \neq \text{const}$).

При распространении света вдоль оптической оси кристалла $n_o = n_e$, поэтому явление двойного лучепреломления не наблюдается.

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 пластинки 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 φ 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, $0 < p < 1$.