

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.

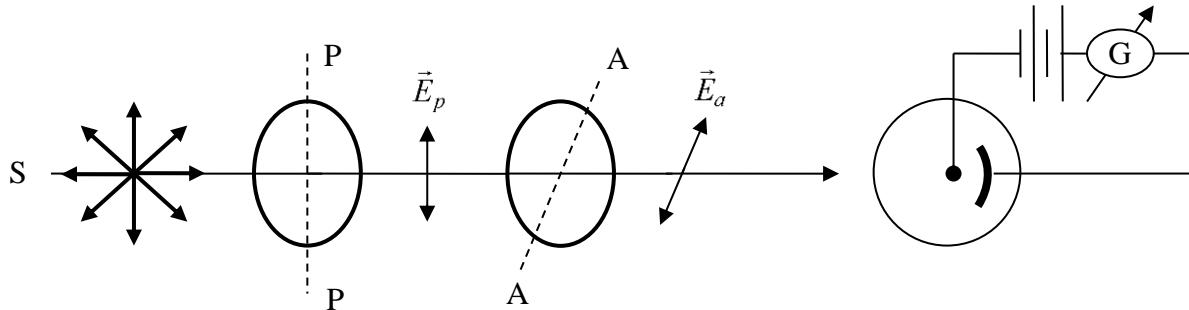


Рис. 1.

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 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. Согласно закона Малюса $I_a = I_p \cos^2 \varphi$ минимальное значение фототока должно быть равно нулю (так как $\cos 90^\circ = 0$). Если минимальное значение фототока окажется больше нуля, то с помощью ручки «установка нуля» установите стрелку микроамперметра в нулевое положение
4. Далее, поворачивая анализатор на 10° относительно значения на неподвижном лимбе, соответствующего углу $\varphi = 90^\circ$ (которое Вы ранее зафиксировали), 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

$I, \mu\text{A}$										
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

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

Ответы на контрольные вопросы

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

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 плоской электромагнитной волны

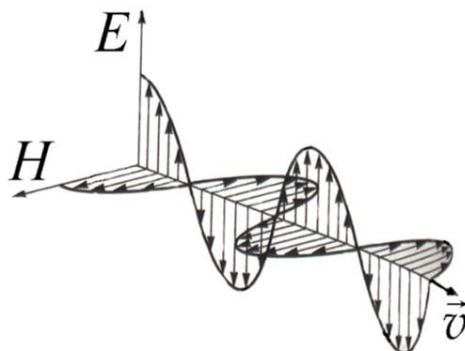


рис.1

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 природе света

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 излишek энергии за время перехода ($\approx 10^{-8} c$) излучается в виде кванта света, который представляет собой ограниченный в пространстве, так называемый, **циуг** 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, ν (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:

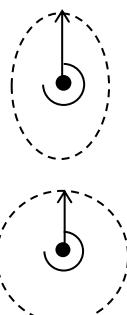
- естественный (или неполяризованный) свет,
- частично поляризованный свет,
- три вида поляризованного света: линейно поляризованный, эллиптически поляризованный и циркулярно поляризованный свет.

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**.

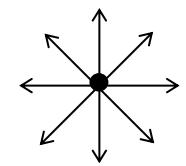
Если конец вектора \vec{E} при движении волны описывает эллипс, то свет называют **эллиптически поляризованным**.



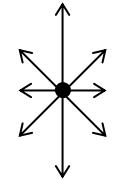
Если конец вектора \vec{E} при движении волны описывает окружность, то свет называют **циркулярно поляризованным** или **поляризованным по кругу**.



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 α на диэлектрик.

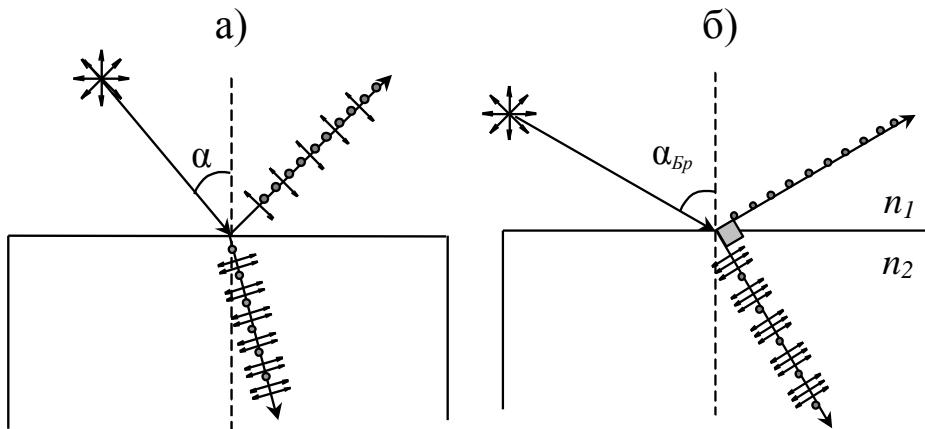


рис. 2

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

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

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

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

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

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**.

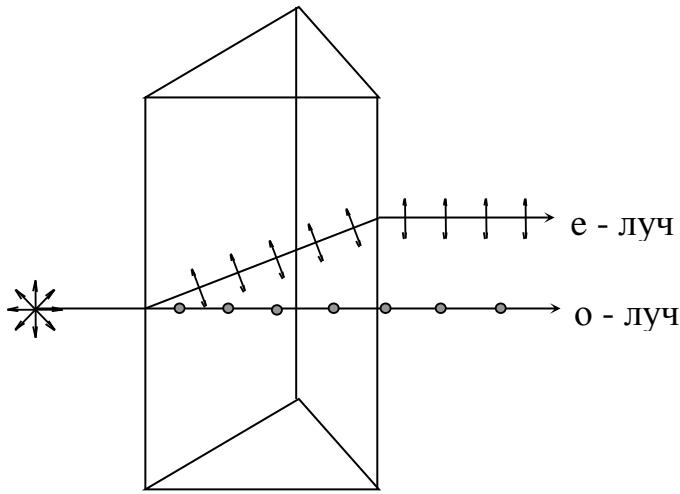


рис. 3

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 φ между плоскостью поляризации падающего на анализатор света и плоскостью пропускания анализатора

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

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