

Профессор, к.т.н Лукьянов Г.Д.

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.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Светом (или видимым излучением) называются электромагнитные волны, воспринимаемые органами зрения человека ($\lambda = (0.4 \div 0.7) \text{ мкм}$).

Электромагнитной волной называется распространяющееся в пространстве переменное электромагнитное поле.

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.

Понятие «поляризация света» ввёл в физику английский учёный И. Ньютон в 1704 г.

Поляризация света нашла своё объяснение в электромагнитной теории света английского физика Дж. Максвелла. Из этой теории следует, что электромагнитная волна является поперечной (см. рис 1).

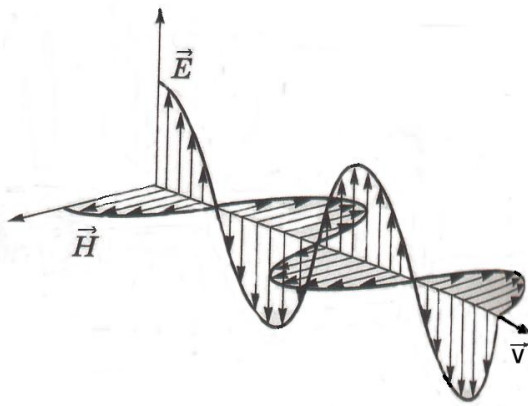


рис. 1

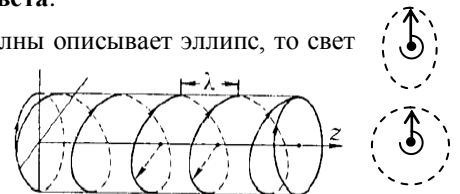
В электромагнитной волне вектора напряжённости электрического поля \vec{E} и напряжённости магнитного поля \vec{H} колеблются в одинаковых фазах во взаимно перпендикулярных плоскостях и одновременно перпендикулярно вектору скорости \vec{v} распространения волны (перпендикулярно лучу). Поскольку $\vec{E} \perp \vec{H}$, то при рассмотрении поляризации света достаточно исследовать поведение лишь одного из них. Наблюдения показывают, что физиологические, фотохимические, фотоэлектрические и другие свойства света обусловлены колебаниями электрического вектора \vec{E} в световой волне. Поэтому вектор \vec{E} называют обычно световым вектором и исследуют только его. *Свет, в котором направления колебаний вектора \vec{E} каким-либо образом упорядочены, называется поляризованным.*

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

Плоскость, проходящая через направление колебаний вектора \vec{E} плоскополяризованного 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 непредсказуемо 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 анализа.

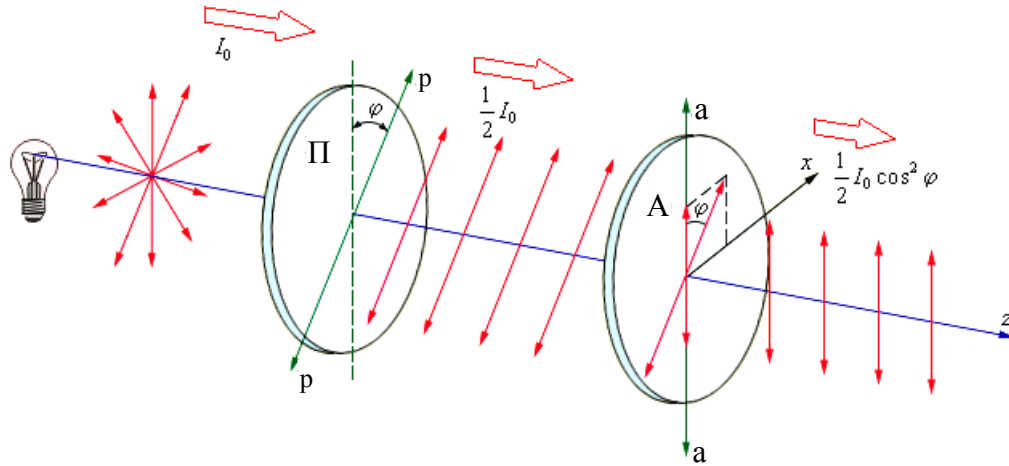


Рис. 1

На рис. 1 поляризатор Π преобразует падающий на него естественный свет интенсивностью I_0 в плоскополяризованный, интенсивность которого при прохождении через поляризатор уменьшается в два раза, то есть,

$I_p = \frac{1}{2} I_0$, а затем этот свет проходит через анализатор A , который, в свою очередь ослабляет свет ещё в $\cos^2 \varphi$, где φ

- это угол между главными плоскостями поляризатора $p - p$ и анализатора $a - a$.

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 линейнополяризованного света, падающего на анализатор I_p , умноженной на квадрат косинуса угла 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, $0 < P < 1$.

Способы получения линейно поляризованного света

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

- поляризация при отражении и преломлении света на границе раздела двух диэлектриков,
- явление двойного лучепреломления,
- линейный дихроизм.

Поляризация при отражении и преломлении света на границе раздела двух диэлектриков

При падении на границу двух диэлектриков (например, воздух и стекло) естественного света, 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.

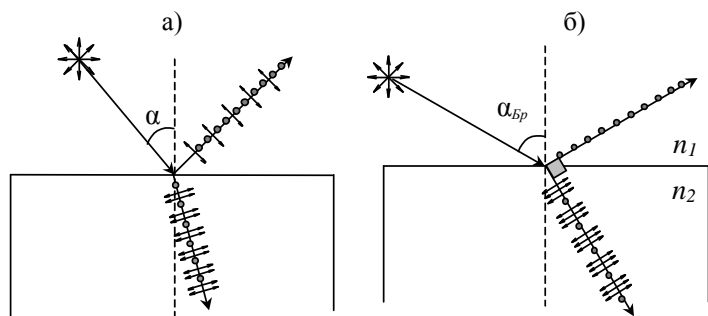


рис. 2

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

Степень поляризации этих лучей зависит от угла падения α света на диэлектрик. Она сначала монотонно возрастает с увеличением угла падения α (см. случай а) на рис. 2), достигает максимального значения 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

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**:

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

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, прозрачный кристалл) светового луча, обусловленное зависимостью скорости распространения света в среде

(т.е. показателя преломления среды) 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**.

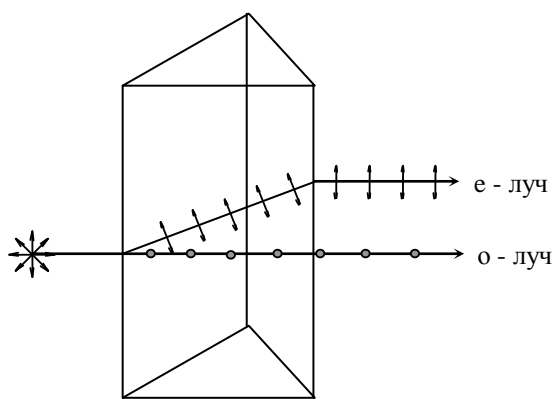


рис. 3

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 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 луча света 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 (т.е. $n_e \neq \text{const}$).

При распространении света вдоль оптической оси кристалла $n_o = n_e$, поэтому двойное лучепреломление не наблюдается.

Линейный дихроизм.

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

Например, пластинка из кристалла **турмалина** толщиной в 1 мм пропускает свет только одного направления колебаний вектора \vec{E} и полностью поглощает свет всех других направлений. Поэтому такие пластинки раньше использовали в качестве поляризаторов.

Описание установки

Из законов для внешнего фотоэффекта известно, что величина фототока 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, а значит и интенсивность прошедшего через поляроиды света.

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. Если визирную линию совместить с делением "0" на лимбе, то главные плоскости поляроидов параллельны.

Цепь фотоэлемента состоит из микроамперметра и выпрямителя, включаемого в сеть 220В (рис 3.). Источник света S располагается перед поляризатором.

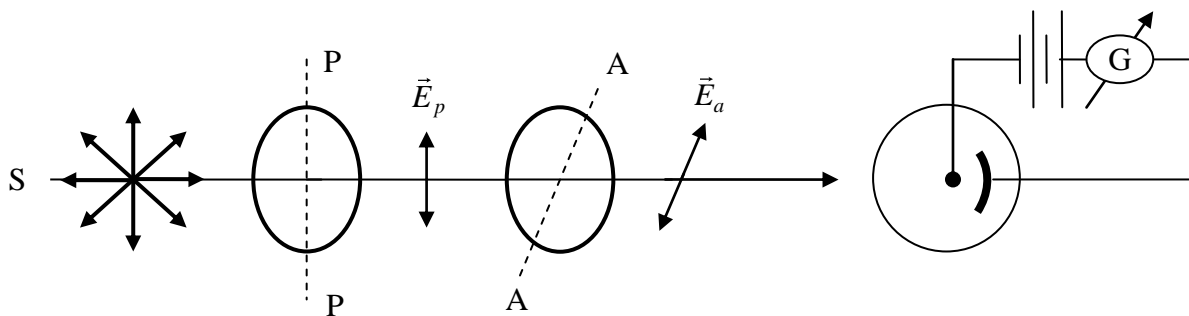


Рис 3.

Порядок выполнения работы

1. Включите в сеть (220 В) выпрямитель и осветитель. Поворачивая анализатор, добейтесь того, чтобы микроамперметр показывал минимальную величину фототока. Это значит, что плоскости поляризатора и анализатора перпендикулярны. ($\alpha = 90^\circ$). В этот момент необходимо посмотреть на визирную линию. Значение, которое будет на шкале принять за $\alpha = 90^\circ$. Ручкой чувствительность выведите стрелку микроамперметра на ноль. Вместе с анализатором вращается диск, на котором нанесены деления, соответствующие углу поворота плоскости поляризации анализатора.
2. Отметьте на неподвижном лимбе точку, соответствующую углу поворота 90° .
3. С помощью ручки «установка нуля» установите стрелку микроамперметра в положение «0»
4. Далее, поворачивая анализатор на 10° относительно отмеченной на неподвижном лимбе точки, снимайте показания микроамперметра через каждые 10° .
5. Результаты измерений занесите в таблицу 1.
6. Построить график зависимости $I = f(\cos^2 \alpha)$.
7. Анализируя график, сделайте вывод о справедливости закона Малюса.

Таблица 1

$I, \text{ мкА}$										
α	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
$\cos \alpha$										
$\cos^2 \alpha$										

Контрольные вопросы

1. Свет и его природа.
2. Какой свет называется естественным, поляризованным, плоскополяризованным?
3. Что называют плоскостью поляризации света?
4. Что такое степень поляризации света?
5. Дайте понятие об оптической оси и главном сечении поляризатора?
6. Расскажите о способах получения плоскополяризованного света.
7. Сформулируйте закон Малюса и закон Брюстера.