

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №256

ПРОВЕРКА ЗАКОНА МАЛЮСА

Цель и содержание работы

Целью работы является ознакомление с явлением поляризации света. Работа состоит в исследовании зависимости интенсивности линейно-поляризованного света, прошедшего через анализатор, от угла между плоскостями поляризации и анализатора, то есть в проверке закона Малюса.

Краткая теория

Электромагнитные волны, в том числе и световые волны, являются поперечными. Это означает, что вектор напряженности электрического поля $\vec{E}$ и вектор напряженности магнитного поля $\vec{H}$, характеризующие электромагнитную волну, перпендикулярны вектору скорости распространения волны (рис. 1). Плоскости, в которых колеблются векторы $\vec{E}$ и $\vec{H}$, всегда взаимно перпендикулярны. Плоскость, перпендикулярная к плоскости колебаний называется плоскостью поляризации. Для вектора $\vec{E}$ плоскостью поляризации является плоскость колебаний вектора $\vec{H}$.

Действие света на глаз, фотоэлемент вызывается колебаниями электрического поля световой волны, поэтому в дальнейшем все выводы будут касаться только вектора $\vec{E}$, который обычно называют *световым вектором*.

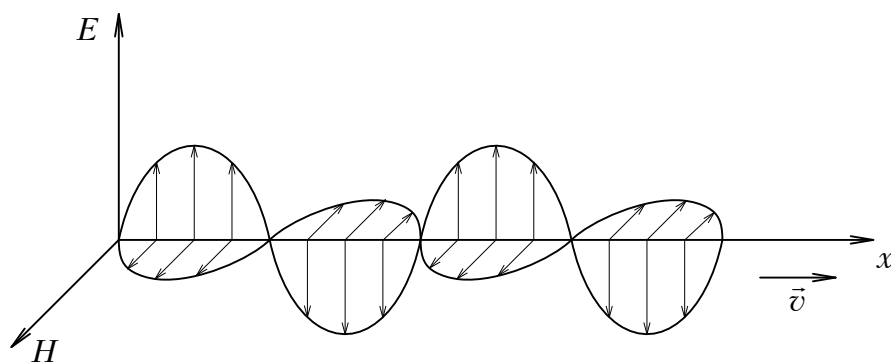


Рис.1. Схематическое представление световой волны.

В свете, испускаемом обычными источниками (дневной свет, свет от лампы накаливания, ртутной лампы) имеются колебания, совершающиеся в самых различных направлениях, перпендикулярных к лучу (рис. 2). Излучение светящегося тела складывается из волн, испускаемых его атомами. Процесс излучения отдельного атома продолжается примерно 10^{-8} с. За это время успевает образоваться последовательность горбов и впадин (или, как говорят, цуг волн) протяженностью примерно 3 м. «Погаснув», атом через некоторое время «вспыхивает» вновь. Одновременно «вспыхивает» множество атомов. Возбужденные ими цуги волн, налагаясь друг на друга, образуют испускаемую телом световую волну. Плоскость колебаний для каждого цуга ориентирована случайным образом. Поэтому в результирующей волне колебания различных направлений представлены с равной вероятностью.

В *естественном* свете колебания различных направлений быстро и беспорядочно сменяют друг друга. Свет, в котором направления колебаний упорядочены каким-либо образом, называется *поляризованным*. Если колебания светового вектора происходят только в одной, проходящей через луч плоскости, свет называется *полностью линейно- (или плоско-) поляризованным* (рис. 1). Существует также частичная линейная поляризация света, когда колебания одного направления преобладают над колебаниями других направлений. Мы не будем рассматривать этот случай. Равно как и *эллиптическую (круговую)* поляризацию.

Для того чтобы получить полностью поляризованный свет, применяют специальные оптические устройства, называемые *поляризаторами*. Действие поляризатора может быть основано на различных оптических явлениях: на отражении света при определенных условиях, на явлении двойного лучепреломления, дихроизма или рассеяния.

В настоящее время широко используются поляризаторы, в которых для получения поляризованного света используется явление *дихроизма*. Это явление состоит в следующем. При прохождении света через некоторые кристаллы световой луч разделяется на два луча, происходят, как говорят, двойное *лучепреломление*. Каждый из этих лучей, называемых *обыкновенным* или *необыкновенным*, является полностью линейно-поляризованным, причем колебания векторов $\vec{E}$ в этих лучах происходит во взаимно перпендикулярных плоскостях, т.е. они поляризованы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

В большинстве кристаллов оба луча поглощаются примерно одинаково. Однако существуют такие кристаллы, в которых поглощение этих лучей оказывается неодинаковым. Различное поглощение веществом обыкновенного и необыкновенного лучей называется дихроизмом. При некоторой толщине дихроичного кристалла один из лучей может

быть практически полностью поглощен. Луч, прошедший через кристалл, будет полностью линейно-поляризованный. Поляризаторы, действие которых основано на явлении дихроизма, называются *поляроидами*.

При использовании отдельного дихроичного монокристалла требуется кристалл большего размера и хорошего качества, то есть без оптических дефектов. Поэтому обычно применяются поляроидные пленки, которые получают либо путем нанесения на пленку мелких ориентированных параллельно друг другу кристалликов дихроичного вещества (герапатита), либо сильным растяжением в одном направлении пленки поливинилового спирта, окрашенной раствором йода в йодистом калии.

Поляроиды обладают рядом преимуществ перед другими поляризаторами: с помощью поляроидной пленки можно получить поляризованный световой пучок большого диаметра; малая толщина поляроида позволяет устанавливать его в любом месте оптической системы; поляроиды пропускают свет большего диапазона длин волн.

Если на пути линейно-поляризованного света, полученного с помощью какого-либо поляризатора, поставить второй поляризатор (который называется в этом случае *анализатором*), то второй поляризатор, так же как и первый, будет пропускать свет, в котором вектор $\vec{E}$ колеблется только в какой-то определенной плоскости.

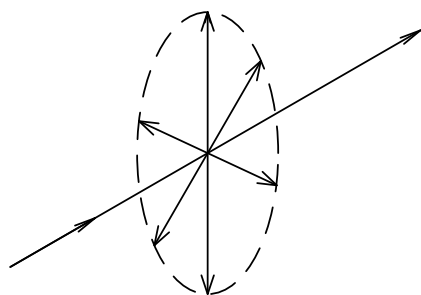


Рис. 2 Схематическое изображение луча естественного света

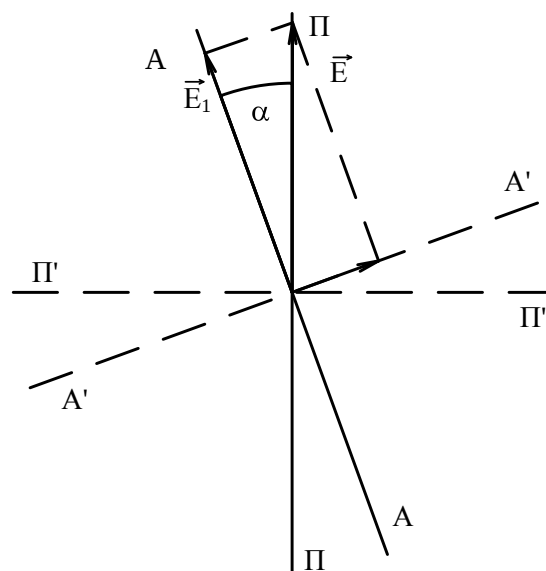


Рис.3 Направление колебаний света, вышедшего из поляризатора (ПП) и анализатора (АА)

Пусть луч, вышедший из поляризатора и направленный перпендикулярно плоскости чертежа, падает на анализатор (рис. 3). ПП – направление колебаний вектора $\vec{E}$, вы-

шедшего из поляризатора; AA – направление колебаний, пропускаемых анализатором; $A'A' \perp AA$, $П'П' \perp ПП$. Разложим вектор $\vec{E}$ света, прошедшего через поляризатор, на две составляющие $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$. Из рисунка видно, что анализатор будет пропускать только составляющую $\vec{E}_1$, которая по величине $E_1 = E \cos \alpha$, где α – угол между плоскостями колебаний вектора $\vec{E}$, пропускаемых поляризатором и анализатором.

Так как интенсивность света пропорциональна квадрату амплитуды светового вектора, то интенсивность света, прошедшего через анализатор J_A будет равна:

$$J_A = J_{\Pi} \cos^2 \alpha \quad (1)$$

Где J_{Π} – интенсивность света, вышедшего из поляризатора и падающего на анализатор. Выражение (1) носит название *закона Малюса*.

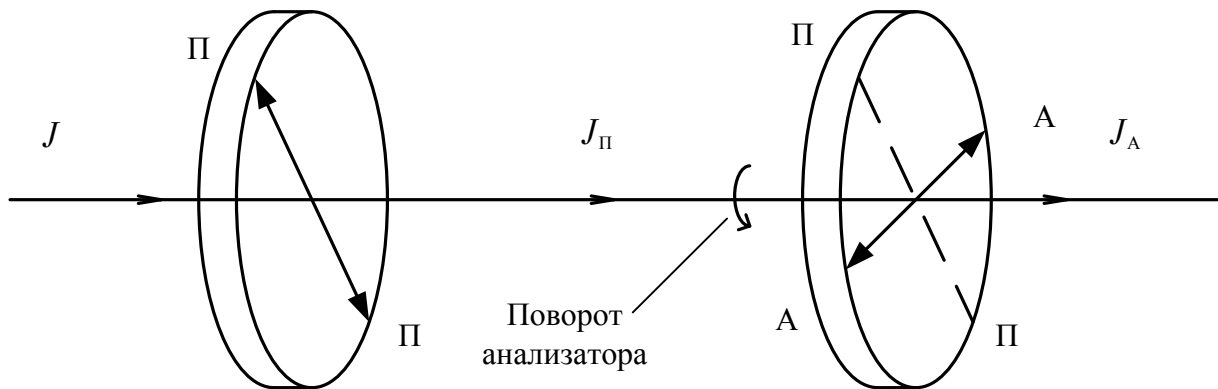


Рис. 4. Прохождение света через поляризатор и анализатор.

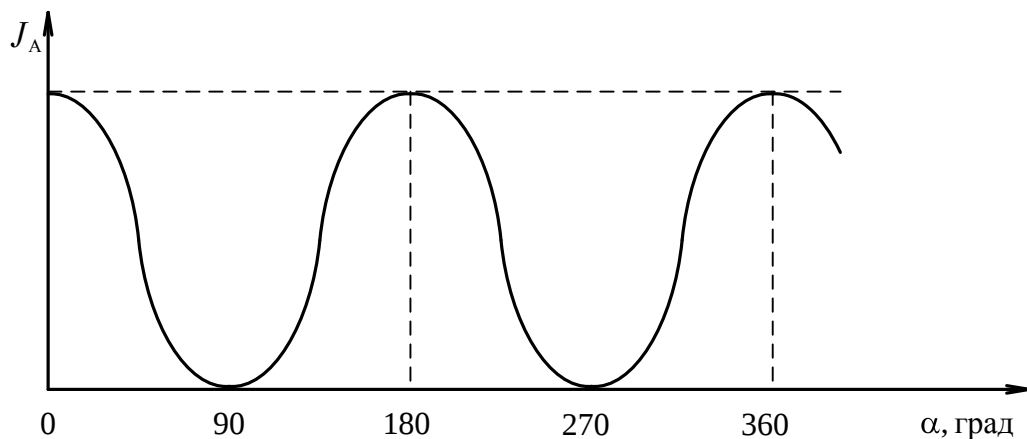


Рис. 5. Изменение интенсивности линейно-поляризованного света в зависимости от угла между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора.

Из формулы (1) следует, что при $\alpha = 0$, т.е. когда плоскости колебаний вектора $\vec{E}$, пропускаемых поляризатором и анализатором, совпадают, анализатор будет полностью пропускать падающий на него линейно-поляризованный свет.

Если $\alpha = 90^\circ$, то есть плоскости колебаний вектора $\vec{E}$, пропускаемых поляризатором и анализатором, взаимно перпендикулярны, то анализатор не будет пропускать падающий на него свет. В этом случае говорят, что анализатор и поляризатор скрещены.

Таким образом, если поворачивать анализатор относительно неподвижного поляризатора (или наоборот), то есть менять угол α (рис. 4), то интенсивность света, проходящего через анализатор, будет меняться пропорционально $\cos^2 \alpha$ (см. рис. 5).

Порядок выполнения работы

Экспериментальная установка и оборудование.

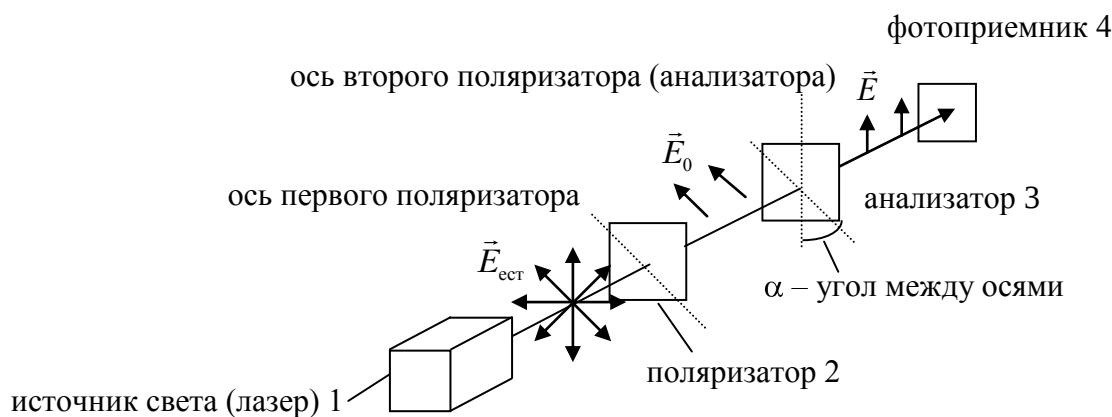


Рис. 7

Общая схема установки представлена на рис.7. Установка смонтирована на оптической скамье. В качестве поляризатора 2 и анализатора 3 используются поляроиды, одинаковые по конструкции. Свет от источника света 1 (лазер) проходит поляризатор 2 и анализатор 3 и попадает на фотоприемник 4, роль которого выполняет фотодиод, на выходе которого установлен амперметр. Электрический ток через фотодиод прямо пропорционален интенсивности светового потока. Анализатор может свободно вращаться в плоскости, перпендикулярной лучу света и снабжен лимбами с угломерной шкалой в градусах. Ось поляризатора при проведении эксперимента остается неизменной и зафиксирована винтом.

Порядок выполнения работы

1. Включить источник света 1.
2. Отрегулировать по высоте положение анализатора (3), поляризатора (2) и фотодиода (4) так, чтобы луч от источника проходил через их оптические центры.

3. Наблюдая за показаниями микроамперметра, медленно поворачивать анализатор 3 (рис. 7) в ту и другую сторону так, чтобы показание микроамперметра было максимальным. Это означает, что свет, вышедший из поляризатора, полностью пропускается анализатором, то есть плоскости поляризации поляризатора и анализатора совпадают.

4. Измерить максимальное значение силы фототока I . Полученный результат занести в таблицу.

5. Не меняя положения поляризатора 2 повернуть анализатор 3 на 10° . Измерить силу фототока. Данные записать в таблицу.

6. Поворачивая анализатор каждый раз на 10° вплоть до значения угла 90° , измерить соответствующие значения силы фототока. Данные записать в таблицу.

Таблица

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

Обработка результатов измерений

1. Построить график зависимости силы фототока I от угла α .
2. Найти значения $\cos \alpha$ и вычислить значения $\cos^2 \alpha$. Результаты записать в таблицу.
3. Построить график зависимости силы тока I от $\cos^2 \alpha$ в пределах углов от 0° до 90° . Согласно закону Малюса, на графике должна получиться прямая линия.

Контрольные вопросы

1. Как направлены векторы напряженности электрического и магнитного полей в световой волне по отношению к вектору фазовой скорости? (Сделать рисунок).
2. Какой свет называется естественным, частично-поляризованным, линейно-поляризованным? Во сколько раз изменяется напряженность электрического поля световой волны при прохождении естественного света через поляризатор?
3. В чем состоит явление двойного лучепреломления?
4. Расскажите о явлении дихроизма. Как называются поляризаторы, действие которых основано на явлении дихроизма?
5. Что собой представляет поляроид? Какими преимуществами обладают поляроиды по сравнению другими поляризаторами?
6. Получите закон Малюса. Что собой представляет угол α ?
7. Проанализируйте закон Малюса. В каком случае интенсивность света на выходе анализатора минимальна?
8. Расскажите о порядке выполнения работы. Как определить совпадение плоскостей поляризации поляризатора и анализатора?
9. Каким образом в данной работе определяется интенсивность света?

Литература

И.В.Савельев. Курс физики. т.4.