

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ
ФАКУЛЬТЕТ ПРОГРАММНОЙ ИНЖЕНЕРИИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ**

**ОТЧЁТ
ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №4
«Исследование поляризации лазерного луча»**

Проверил:
Пшеничнов В.Е. _____
«_____» _____ 2019г.

Выполнил:
Студент группы Р3255
Федюкович С. А. _____

Санкт-Петербург
2019

Цель работы

Исследование характера поляризации лазерного излучения и экспериментальная проверка закона Малюса.

Теоретические основы лабораторной работы

Поперечные волны обладают особым, присущим только им, свойством, известным под названием поляризация. Под этим понимается пространственное соотношение между направлением распространения светового луча и направлением колебания вектора напряженности электрического \vec{E} (или магнитного \vec{H}) поля. Теория Максвелла для электромагнитной волны утверждает только, что векторы напряженности электрического и магнитного полей лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения света, но не накладывает никаких ограничений на их поведение в этой плоскости. Друг относительно друга вектора \vec{E} и \vec{H} ориентированы взаимно перпендикулярно. Поэтому для описания колебаний в световой волне достаточно указывать один из них. Исторически таким вектором выбран вектор напряженности электрического поля \vec{E} , который также называют световым.

Если при распространении световой волны направление колебаний электрического вектора \vec{E} бессистемно, хаотически изменяется с равной амплитудой и, следовательно, любое его направление в плоскости, перпендикулярной распространению волны, равновероятно, то такой свет называют неполяризованным, или естественным. Если колебания электрического вектора фиксированы строго в одном направлении, свет называется линейно- или плоскополяризованным.

Плоскость, образованная направлением распространения электромагнитной волны и направлением колебаний вектора напряженности электрического поля, называется плоскостью поляризации электромагнитной волны.

Поляризация света наблюдается при отражении и преломлении света на границе прозрачных изотропных диэлектриков. Если угол падения естественного света на границу раздела двух прозрачных диэлектриков отличен от нуля, то отраженный и преломленный пучки оказываются частично-поляризованными. В отраженном свете преобладают колебания вектора \vec{E} , перпендикулярные к плоскости падения, а в преломленном свете — параллельные плоскости падения. Степень поляризации обеих волн (отраженной и преломленной) зависит от угла падения. Соответствующую зависимость в 1815 г. установил шотландец Дэвид Брюстер. Как показали опыты, при некотором значении угла падения светового луча на границу раздела двух сред с показателями преломления n_1 и n_2 соответственно, угол между отраженным и преломленным лучом становится равен 90° . При таком условии отраженный луч оказывается полностью поляризован (колебания вектора \vec{E} в нем перпендикулярны плоскости падения). Прошедший луч поляризован частично и содержит преимущественно параллельную составляющую вектора \vec{E} . Тогда значение угла, соответствующего полной поляризации отраженного луча, определяется из закона преломления:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin (90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

Степень поляризации преломленной волны при угле падения, равном углу Брюстера, достигает максимального значения, однако эта волна остается лишь частично поляризованной. Так как коэффициент отражения света в данном случае значительно меньше единицы (около 0,15 для границы раздела воздух-стекло), можно использовать преломленный свет, повышая его степень поляризации путем ряда последовательных отражений и преломлений. Это осуществляют с помощью, так называемой стопы, состоящей из нескольких одинаковых и

параллельных друг другу пластинок, установленных под углом Брюстера к падающему свету. При достаточно большом числе пластинок проходящий через эту систему свет будет практически полностью линейно-поляризованным. И интенсивность прошедшего через такую стопу света (в отсутствие поглощения) будет равна половине падающего на стопу естественного света.

Эта идея нашла высокоэффективное использование в лазерах, где торцы разрядной трубки представляют собой плоскопараллельные стеклянные пластинки, расположенные под углом Брюстера к оси трубки. Поэтому излучение, распространяющееся вдоль оси трубки между зеркалами и поляризованное в плоскости падения на пластинки, многократно проходит сквозь них практически беспрепятственно, не испытывая отражения. В результате из лазера выходит луч, поляризованный в этой плоскости, что и показано на рисунке. Другая составляющая излучения, плоскость поляризации которой перпендикулярна плоскости падения, почти полностью удаляется из пучка благодаря отражениям.

Для получения, обнаружения и анализа плоскополяризованного света используют приспособления, называемые поляризаторами. Поляризаторы могут быть сконструированы на основе рассмотренного отражения и преломления света на границе раздела двух сред, также на основе двойного лучепреломления (призмы Николя), на основе явления дихроизма. Поляризаторы свободно пропускают колебания вектора \vec{E} , параллельные плоскости, которую называют плоскостью пропускания поляризатора. Колебания же, перпендикулярные к этой плоскости, задерживаются полностью или частично. Широкое распространение для получения плоскополяризованного света имеют поляризаторы, действие которых основано на явлении дихроизма — селективного поглощения света в зависимости от направления колебаний электрического вектора световой волны. Сильным дихроизмом обладают кристаллы турмалина.

Для получения плоско-поляризованного света применяются также поляроиды — пленки на которые, как правило, наносятся кристаллики герпатита — двоякопреломляющего вещества с сильно выраженным дихроизмом в видимой области. Так, при толщине $\approx 0,1$ мм такая пленка полностью поглощает лучи с перпендикулярными к плоскости падения колебаниями \vec{E} в видимой области спектра, являясь в таком тонком слое хорошим поляризатором. Недостаток поляроидов по сравнению с поляризационными призмами — их недостаточная прозрачность, селективность поглощения при разных длинах волн и небольшая термостойкость.

Поляризаторы можно использовать и в качестве анализаторов — для определения характера и степени поляризации интересующего нас света. Пусть на анализатор падает линейно-поляризованный свет, вектор \vec{E}_1 которого составляет угол φ с плоскостью пропускания P . Анализатор пропускает только ту составляющую вектора \vec{E}_1 , которая параллельна его плоскости пропускания P , т.е. $E_2 = E_1 \cdot \cos \varphi$. Интенсивность пропорциональна квадрату модуля светового вектора ($I \sim E^2$), поэтому интенсивность прошедшего света:

$$I_2 = I_1 \cdot \cos^2 \varphi, \quad (2)$$

где I_1 — интенсивность падающего плоскополяризованного света. Это соотношение было установлено в 1810 г. французским физиком Этьеном Луи Малюсом и носит название закона Малюса.

Ход работы

1. Включить источник (лазер) и вольтметр.
2. Аккуратно убрать поляроид из хода луча лазера. Записать показания вольтметра (соответствует интенсивности I_0).
3. Вставить поляроид в ход луча, зафиксировав его между направляющими стержнями. Вращая поляроид, следить за изменения показаний вольтметра. Найти таким образом положение максимума пропускания и, начиная с него провести измерения интенсивности прошедшего через поляроид излучения в зависимости от угла поворота поляроида. Таким образом, с шагом в 10° , записывать показания вольтметра пока не будет сделан целый оборот поляроида вокруг светового пучка. Данные измерений занести в таблицу (1).

Таблица 1: Экспериментальные данные

Угол поворота $\varphi, ^\circ$	Интенсивность $I, \text{мА}$	$I/I_{\max}, \text{мА}$	$\cos^2(\varphi - \varphi_m)$

4. Проанализировав записанные показания вольтметра, найти максимальное I_{\max} , соответствующее углу φ_m , и разделить каждое из экспериментальных значений I на I_{\max} . Результаты занести в таблицу (1).
5. Построить график зависимости нормированной интенсивности I/I_{\max} от угла φ , соединив полученные экспериментальные точки аппроксимирующей кривой. На той же координатной плоскости построить график зависимости $\cos^2(\varphi - \varphi_m)$ от угла поворота поляроида φ :
6. Найти коэффициенты пропускания использованного поляроида для параллельной и перпендикулярной ориентации его плоскости пропуская по отношению направлению колебаний вектора \vec{E} в излучении лазера:

$$k_{\parallel} = I_{\max}/I_0 =$$

$$k_{\perp} = I_{\min}/I_0 =$$

Вывод

В ходе выполнения данной работы мной был проведён эксперимент по изучению поляризации и проверке закона Малюса, в результате которого я подтвердил свои теоретические знания практическим путём. Также по построенному графику видно, что графики кривых почти совпадают, из чего следует, что закон Малюса верен, а небольшие расхождения вызваны погрешностью измерений.

Рис. 1: Зависимость интенсивности и квадрата косинуса от угла поворота

