

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Общая физика»

ПРОВЕРКА ЗАКОНА МАЛЮСА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 36
для студентов направлений 231000.62, 151900.62, 150700.62,
220700.62, 220400.62, 280700.62, 221700.62, 140400.62, 190600.62,
190700.62, 090303.65, 190110.65, 190109.65

Курган 2015

Кафедра: «Общая физика»

Дисциплина: «Физика»

(направления 231000.62, 151900.62, 150700.62, 220700.62, 220400.62, 280700.62, 221700.62, 140400.62, 190600.62, 190700.62, специальности 090303.65, 190110.65, 190109.65).

Составили: канд. физ.-мат. наук, доцент Т.Н. Новгородова,
канд. физ.-мат. наук, доцент В.М. Овсянов.

Утверждены на заседании кафедры «06» февраля 2015 г.

Рекомендованы методическим советом университета «19» декабря 2014 г.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1 Ознакомление с методами получения поляризованного света.
- 2 Проверка закона Малюса.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

- 1 Оптическая скамья.
- 2 Источник света.
- 3 Два поляроида.
- 4 Фотоэлемент.
- 5 Гальванометр.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Согласно электромагнитной теории свет представляет собой поперечную электромагнитную волну.

Если в какой-либо области пространства распространяется электромагнитная волна, то в каждой точке этой области векторы напряженности электрического поля \vec{E} и индукции магнитного поля \vec{B} совершают гармонические колебания во взаимно перпендикулярных направлениях в плоскости перпендикулярной направлению распространения волны (вектору скорости \vec{v}).

Плоскость, в которой происходят колебания вектора \vec{E} , называется *плоскостью колебаний* или *плоскостью поляризации волны*.

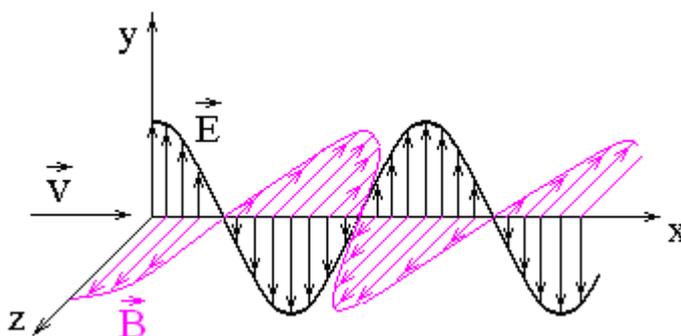


Рисунок 1 – Взаимная ориентация векторов напряженности электрического поля и индукции магнитного поля в электромагнитной волне

Любой источник света содержит огромное число атомов и молекул, которые при переходе из возбужденного состояния в основное излучают свет с различными начальными фазами и с различной ориентацией направлений колебаний вектора \vec{E} в пространстве. Свет, в котором колебания вектора \vec{E} происходят во всевозможных направлениях, перпендикулярных лучу, называется *естественным*.

Поляризованным называется свет, в котором направления колебаний каким-либо образом упорядочены. Если колебания одного направления преобладают над колебаниями других направлений, то свет – *частично поляризован*.

Плоско поляризованным (линейно поляризованным) называется свет, в котором колебания вектора \vec{E} совершаются в одной плоскости.

Для получения линейно поляризованного света применяют специальные оптические приспособления – поляризаторы. Поляризатор – это устройство, пропускающее колебания только одного определенного направления и полностью задерживающие колебания, совершающиеся в перпендикулярном направлении. Главной плоскостью поляризатора (плоскостью пропускания) называется плоскость колебаний электрического вектора в волне, вышедшей из этого поляризатора.

Рассмотрим, как изменится амплитуда плоско поляризованной световой волны при прохождении через поляризатор, главная плоскость которого составляет угол φ с плоскостью поляризации падающей волны.

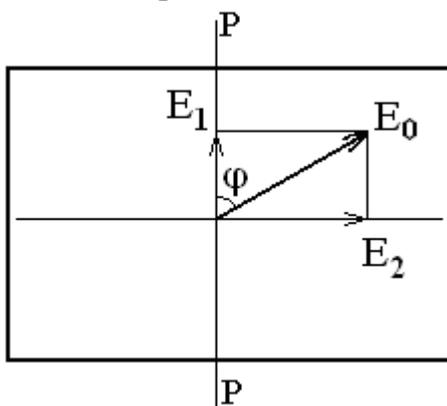


Рисунок 2 – К расчету интенсивности света при прохождении через поляризатор

Пусть пластина поляризатора расположена в плоскости листа, а луч идет за лист (рисунок 2). PP – плоскость пропускания поляризатора.

Амплитуду E_0 поляризованного света, падающего на поляризатор, разложим на составляющие E_1 и E_2 . Интенсивность света, вышедшего из поляризатора, пропорциональна квадрату амплитуды E_1 , т.е.

$$I = kE_1^2,$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Из рисунка 2 следует, что $E_1 = E_0 \cdot \cos \varphi$.

Тогда $I = kE_0^2 \cdot \cos^2 \varphi$.

Так как интенсивность падающего на поляризатор света $I_0 = kE_0^2$, то

$$I = I_0 \cos^2 \varphi. \quad (1)$$

Уравнение (1) отражает **закон Малюса**.

Если на поляризатор падает естественный свет, то интенсивность прошедшего луча будет равна $I = \frac{1}{2} I_{\text{ест}}$. В естественном свете все значения угла φ равновероятны, следовательно, доля естественного света, прошедшего через

поляризатор, равна среднему значению $\cos^2 \varphi$, то есть $1/2$. При вращении поляризатора вокруг направления луча интенсивность прошедшего света изменяться не будет. Поляризатор из естественного света делает свет плоско поляризованным.

Если на пути луча поставить второй поляризатор, который в этом случае называется *анализатором*, и вращать его вокруг направления луча, то интенсивность света, прошедшего через две пластинки, меняется в зависимости от угла φ между главными плоскостями поляризаторов по закону Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi,$$

где I_0 и I – соответственно интенсивности света, падающего на анализатор и вышедшего из него.

Следовательно, **закон Малюса** можно сформулировать следующим образом: *интенсивность света, прошедшего через анализатор, равна произведению интенсивности падающего на него (анализатор) света и квадрата косинуса угла между главными плоскостями поляризатора и анализатора.*

Методы получения поляризованного света

Поляризованный свет можно получить несколькими способами: при отражении от поверхности диэлектрика; при преломлении и рассеянии; при двойном лучепреломлении в анизотропных кристаллах.

Поляризация при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков

Если угол падения естественного света на границу раздела двух диэлектриков (например, воздух и стекло) не равен нулю, то отраженный и преломленный лучи оказываются частично поляризованными.

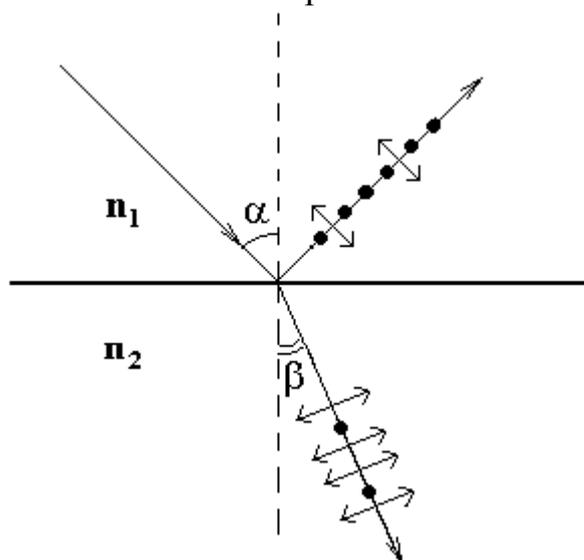


Рисунок 3 – Поляризация при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков

В отраженном луче преобладают колебания перпендикулярные к плоскости падения (на рисунке 3 эти колебания обозначены точками). В преломленном луче колебания преимущественно параллельны плоскости падения (на рисунке 3 они изображены черточками).

Степень поляризации отраженного и преломленного лучей зависит от показателя преломления диэлектрика и от угла падения α . Если свет падает под таким углом α_B , что тангенс его равен относительному показателю преломления n_{21} , т.е.

$$\operatorname{tg}\alpha_B = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (2)$$

то отраженный луч будет полностью поляризован, а преломленный – поляризован максимально, но не полностью. В этом случае угол между отраженным и преломленным лучом равен 90° (рисунок 4).

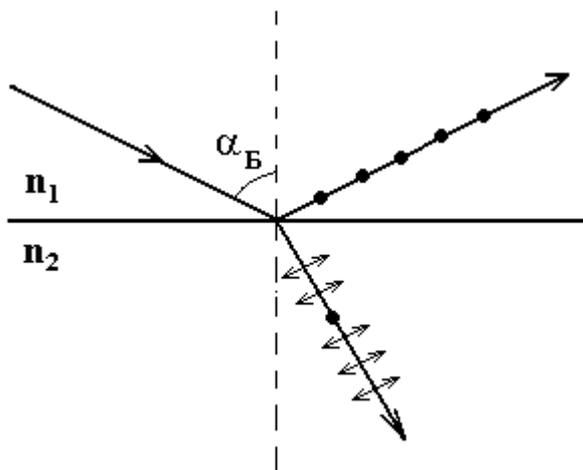


Рисунок 4 – Падение света под углом Брюстера

Угол α_B , определяемый уравнением (2) называется углом полной поляризации или углом Брюстера. Равенство (2) выражает закон Брюстера.

При падении света на диэлектрик под углом полной поляризации преломленный луч будет поляризован не полностью. Для увеличения степени поляризации преломленного луча используют стопу стеклянных пластинок (стопа Столетова), расположенных под углом Брюстера к падающему свету. В этом случае можно получить практически полностью поляризованный как отраженный, так и преломленный лучи.

Поляризация при двойном лучепреломлении

При прохождении света через анизотропные кристаллы (структура и свойства которых в различных направлениях различны) наблюдается явление двойного лучепреломления – естественный луч разделяется на два луча. Оптической анизотропией, например, обладают кристаллы турмалина, исландского

шпата, кварца, слюды. На рисунке 5 показано прохождение света через кристалл исландского шпата.

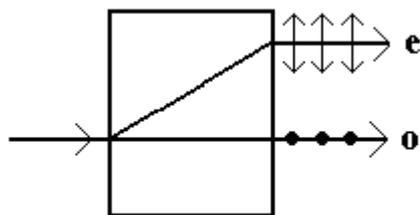


Рисунок 5 – Схема наблюдения явления двойного лучепреломления в анизотропном кристалле

Естественный луч разделяется в кристалле на два луча. Луч (e) называется *необыкновенным лучом*, так как его показатель преломления зависит от направления распространения луча, и, следовательно, в различных направлениях в кристалле необыкновенный луч распространяется с различными скоростями, поэтому закон преломления для него не выполняется. Луч (o) называется *обыкновенным лучом*, так как скорость его в кристалле не зависит от направления и он подчиняется закону преломления.

Оба вышедших из кристалла луча являются плоско поляризованными. Колебания вектора \vec{E} в необыкновенном луче совершаются в плоскости главного сечения кристалла (луч отмечен черточками), а в обыкновенном луче – в плоскости, перпендикулярной главному сечению (луч отмечен точками).

В одноосных анизотропных кристаллах имеется одно направление, в котором не происходит разделение на обыкновенный и необыкновенный лучи. Такое направление называется оптической осью кристалла. Плоскость, содержащая падающий луч и оптическую ось кристалла называется главной плоскостью (главным сечением) кристалла.

Чтобы использовать такие поляризованные лучи для технических целей, их надо отделить один от другого. Это осуществляется, например, в призме Николя. Для изготовления призмы Николя кристалл исландского шпата вырезают определенным образом, затем кристалл распиливают по линии АВ (рисунок 6), и обе половины склеивают «канадским бальзамом» (смолой канадской сосны).

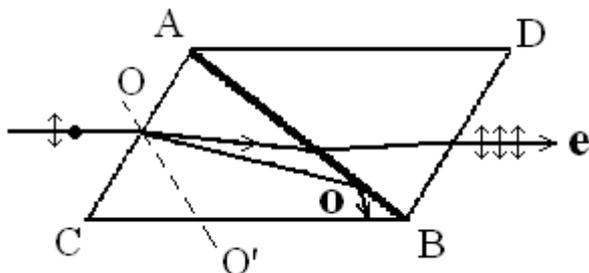


Рисунок 6 – Ход лучей в призме Николя

Обыкновенный луч (o), дойдя до слоя канадского бальзама АВ, испытывает полное внутреннее отражение (рисунок 6), так как показатель преломления

исландского шпата для обыкновенного луча больше показателя преломления канадского бальзама. Таким образом, обыкновенный луч отводится в сторону и поглощается в оправе николя.

Необыкновенный луч (е) проходит сквозь слой канадского бальзама, так как показатель преломления исландского шпата для необыкновенного луча меньше показателя преломления «канадского бальзама». Из призмы Николя выходит один плоско поляризованный луч.

Поглощение света в дихроических пластинках

У некоторых анизотропных кристаллов (например, турмалин) коэффициенты поглощения света для обыкновенного и необыкновенного лучей отличаются настолько сильно, что уже при небольшой толщине кристалла один из лучей поглощается практически полностью и из кристалла выходит линейно поляризованный пучок света. Это явление называется *дихроизмом*.

В настоящее время дихроические пластинки изготавливают искусственно в виде тонких пленок – поляроидов. В большинстве случаев они состоят из множества маленьких (толщиной до 0,3 мм) параллельно ориентированных кристаллов сернокислого йодистого хинина – герапатита, находящихся внутри связующей среды – прозрачной пленки.

Поляризация света позволяет изучать состояние поверхностных пленок, структуру и расположение излучающих частиц, определить длительность пребывания их в возбужденном состоянии. Методами поляриметрии, основанными на определении степени поляризации и оптической активности, исследуются изменения строения вещества и межмолекулярного взаимодействия при наличии примесей.

Поляризация света дает возможность изучить анизотропию вещества, строение кристаллов, распределение напряжений в деталях машин, проводить анализ минералов и горных пород.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для проверки закона Малюса используется установка, схема которой приведена на рисунке 7.

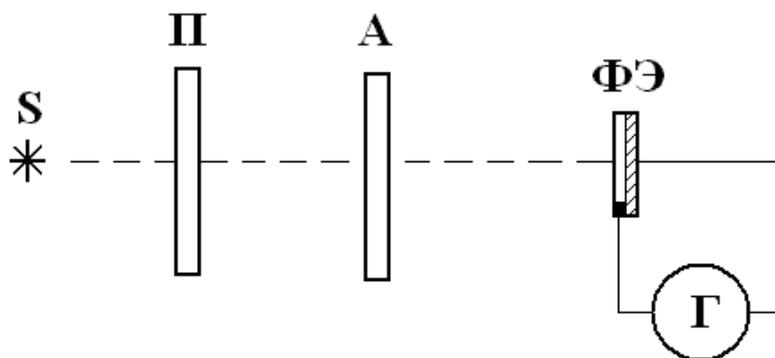


Рисунок 7 – Схема экспериментальной установки

Поляризатор Π и анализатор A , представляющие собой поляроидные стекла, устанавливаются в специальных держателях – штативах и помещаются на пути лучей лампы S . Анализатор A может вращаться вокруг горизонтальной оси, угол его поворота отсчитывается по лимбу.

Об интенсивности света, прошедшего через анализатор, можно судить по показаниям гальванометра Γ , соединенного с полупроводниковым фотоэлементом $\Phi Э$, так как сила фототока прямо пропорциональна освещенности фотоэлемента.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Включите источник света.

2 Установите поляризатор и анализатор так, чтобы их плоскости пропускания совпали ($\varphi = 0$), при этом интенсивность прошедшего света должна быть наибольшей.

3 Вращая анализатор вокруг горизонтальной оси и отсчитывая угол поворота по лимбу, запишите в таблицу показания гальванометра для каждого угла от 0 до 360° с шагом 30° . Измерения повторите 3 раза и рассчитайте среднее значение фототока. Результаты запишите в таблицу 1.

4 По формуле (1) рассчитайте теоретическое значение фототока для каждого угла. В качестве I_0 выберите максимальное экспериментальное значение показаний гальванометра.

5 Постройте график зависимости среднего значения фототока I от угла φ .

6 В тех же координатах постройте график зависимости $I_{\text{теор.}}$ от угла φ .

7 Сопоставляя графики, сделайте вывод о соответствии закона Малюса полученным экспериментальным данным.

Таблица 1 – Результаты измерений

| Угол поворота $\varphi, ^\circ$ | Показания гальванометра | | | Среднее значение фототока $I, \text{мкА}$ | Теоретическое значение фототока $I_{\text{теор.}}, \text{мкА}$ |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|---|--|
| | $I_1, \text{мкА}$ | $I_2, \text{мкА}$ | $I_3, \text{мкА}$ | | |
| 0 | | | | | |
| 30 | | | | | |
| 60 | | | | | |
| ... | | | | | |
| 360 | | | | | |

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Какова природа света?
- 2 Какой свет называется естественным, плоско поляризованным?
- 3 В чем заключается закон Брюстера?
- 4 В чем состоит явление двойного лучепреломления? Каковы свойства обыкновенного и необыкновенного лучей?
- 5 В чем заключается явление дихроизма? Где это явление используется?
- 6 Сформулируйте закон Малюса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Трофимова, Т. И. Курс физики [Текст] / Т. И. Трофимова. – М. : Высшая школа, 2003.
- 2 Федосеев, В. Б. Физика [Текст] / В. Б. Федосеев. – Ростов н/Д. : Феникс, 2009.
- 3 Шкиль, Т. В. Конспект лекций по физике [Текст] / Т. В. Шкиль. – Ростов н/Д. : Феникс, 2014.
- 4 Савельев, И. В. Курс физики [Текст] / И. В. Савельев. – Т. 1-5. – М. : АКТ, 2005.

Новгородова Татьяна Назаровна
Овсянов Виктор Михайлович

ПРОВЕРКА ЗАКОНА МАЛЮСА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы № 36
для студентов направлений 231000.62, 151900.62, 150700.62,
220700.62, 220400.62, 280700.62, 221700.62, 140400.62, 190600.62,
190700.62, 090303.65, 190110.65, 190109.65

Редактор Е.А. Могутова

| | | |
|-----------------------------|-------------------|----------------------------|
| Подписано в печать 23.09.17 | Формат 60x84 1/16 | Бумага 65 г/м ² |
| Печать цифровая | Усл. печ. л. 0,75 | Уч.-изд. л. 0,75 |
| Заказ 374 | Тираж 100 | Не для продажи |

РИЦ Курганского государственного университета.
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.