

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
**«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПРОДОВОЛЬСТВИЯ»**

Кафедра физики

**ИЗУЧЕНИЕ ПЛОСКОПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА. ПРОВЕРКА
ЗАКОНА МАЛЮ**

Методические указания к лабораторной работе № 8
по разделу «Оптика» курса общей физики для студентов технологических и
механических специальностей дневной и
заочной формы обучения

Могилев 2012

УДК 532.516

Рассмотрены и рекомендованы к изданию
на заседании кафедры физики
Протокол № 8 от 20.04.2012г.

Составители

кандидат физико-математических наук, доцент УО «МГУП»

В.Л. Малышев

ассистент УО «МГУП»

А.А. Крюковская

Рецензент

кандидат физико-математических наук, доцент УО «МГУП»

А.С. Скапцов

УДК 532.516

©УО «Могилевский государственный
университет продовольствия», 2012

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 ИЗУЧЕНИЕ ПЛОСКОПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА. ПРОВЕРКА ЗАКОНА МАЛЮ

Цель работы: изучение свойств плоскополяризованного света, проверка закона Малю и определение степени поляризации света при преломлении.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья с оптическим фонарем, два поляроида, фотоэлемент, микроамперметр, набор стеклянных пластинок.

Краткая теория

Естественный и поляризованный свет. Как известно, световые волны поперечны: электрический вектор E и магнитный вектор H (или B) взаимно перпендикулярны и располагаются в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны (лучу S). Во всякой данной точке пространства ориентация пары векторов E и H в плоскости, перпендикулярной лучу S , может, вообще говоря, изменяться со временем. В зависимости от характера такого изменения различают естественный и поляризованный свет (рис. 1).

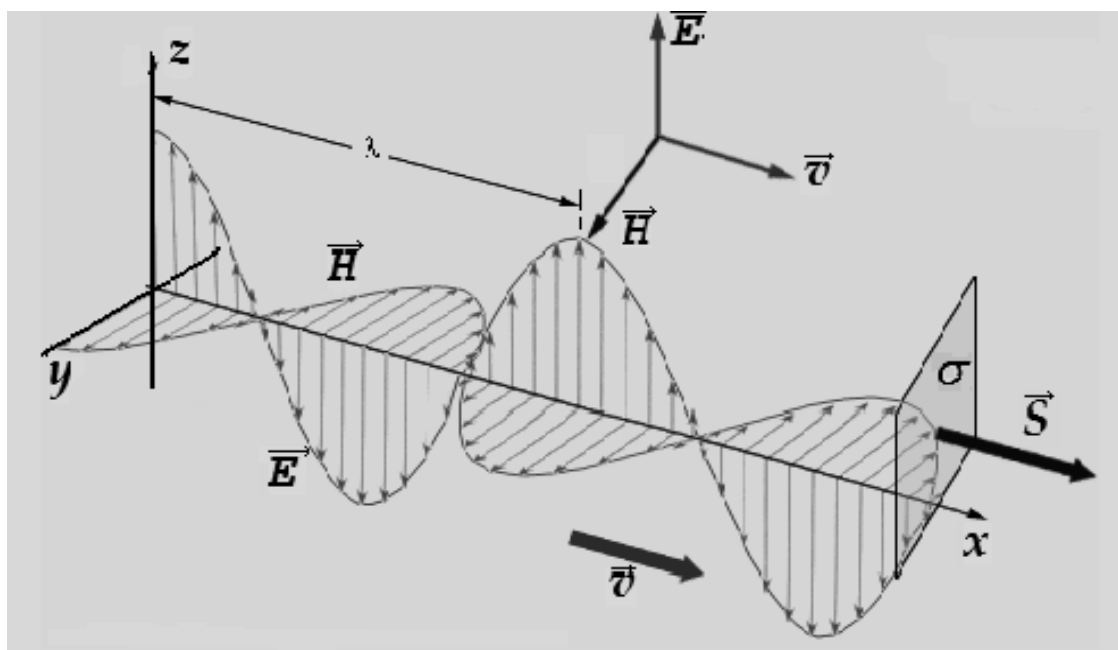


Рисунок 1 – Модель плоской электромагнитной волны

Свет представляет собой электромагнитные волны. Практически все действия света вызываются вектором E , поэтому его называют световым вектором. Основные действия световой волны на вещество (физиологическое, фотохимическое, фотоэлектрическое и т.д.) обусловлены электрическим полем световой волны. Обычные источники света являются совокупностью огромного числа быстро излучающих ($10^{-10} \div 10^{-9}$ с) элементарных источников (атомов или молекул), испускающих свет независимо друг от друга, с разными фазами и с разными ориентациями векторов E и H . Поэтому ориентация векторов E и H в результирующей волне хаотически изменяется во времени, так что в плоскости, нормальной к лучу S , все направления оказываются в среднем равноправными.

Такой свет, излучаемый светящимся телом, называют естественным или неполяризованным.

Волну, в которой колебания светового вектора E каким-либо образом упорядочены, называют поляризованной волной, а сам процесс упорядочения называется поляризацией света. Поляризованный свет получается нарушением в световой волне симметрии колебаний вокруг направления ее распространения. Для этого требуется среда, которая пропускала бы колебания, происходящие в одном направлении, и задерживала бы колебания, происходящие в других направлениях. Рассмотрим характер взаимодействия световой волны с веществом.

Всякий прибор, служащий для получения поляризованного света из естественного, называется *поляризатором*. Тот же прибор, применяемый для исследования уже поляризованного ранее света, называют *анализатором*.

Виды поляризованного света

Волна является линейно поляризованной, или *плоскополяризованной*, если вектор E все время колеблется в одной плоскости (причем эта плоскость называется плоскостью поляризации) и его конец описывает в пространстве прямую линию; если конец вектора E описывает окружность, то волна называется *поляризованной по кругу*. Если результирующий вектор поворачивается вокруг луча, пульсируя по величине (т.е. амплитуда периодически меняется), то он описывает тем самым эллипс. Такой свет называется *эллиптически поляризованным*.

Кроме того, на границе раздела любых двух диэлектрических сред отраженный и преломленный лучи оказываются частично поляризованными (если угол падения $\alpha \neq 0$).

В отраженном свете преобладают колебания, перпендикулярные к плоскости чертежа (точки), в преломленном – параллельные плоскости падения луча (стрелки).

Закон Брюстера

Для каждой пары диэлектриков существует некоторый угол падения естественного света α_{Br} , при котором отраженный луч становится полностью поляризованным, а поляризация преломленного луча достигнет своего максимума, тем не менее оставаясь по-прежнему частичной (рис. 2).

Брюстер (Brewster) показал, что только для этого угла α_{Br} (угла Брюстера) выполняется условие

$$\operatorname{tg} \alpha_{Br} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1)$$

где n_1 и n_2 – показатели преломления среды, из которой падает свет, и вещества, в которое луч преломляется.

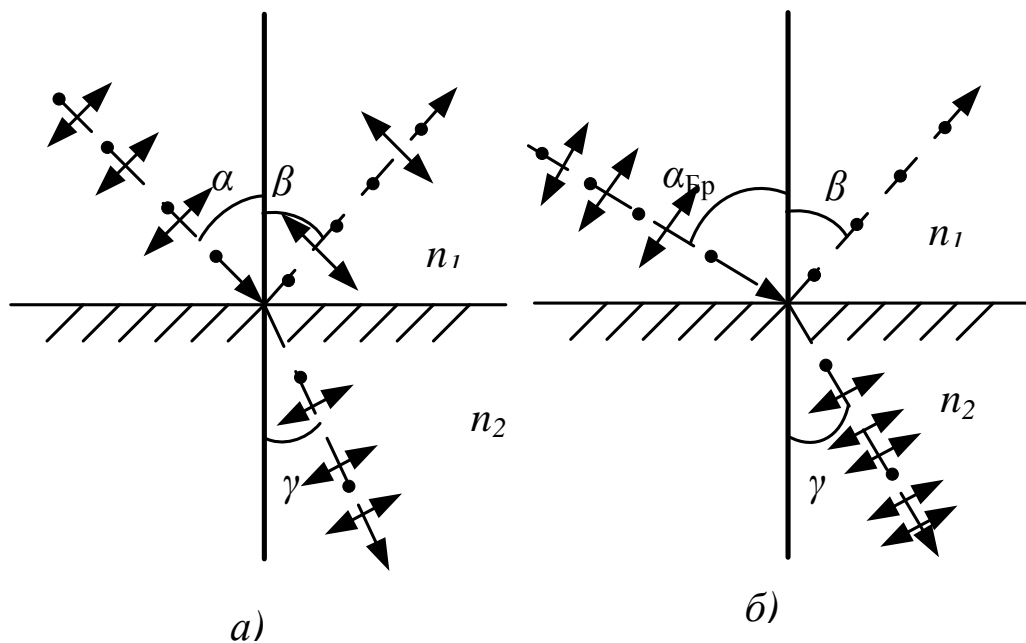


Рисунок 2 – Поляризация света при отражении и преломлении на границе двух диэлектрических сред n_1 и n_2 :

а) – падение естественного луча под произвольным углом α ;

б) – падение естественного луча под углом Брюстера $\alpha_{\text{Бр}}$;

\uparrow – колебания светового вектора, параллельные плоскости чертежа,

\bullet – колебания, нормальные к плоскости чертежа,

β – угол отражения;

γ – угол преломления

Так как из закона Брюстера

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{Бр}} = \frac{\sin \alpha_{\text{Бр}}}{\cos \alpha_{\text{Бр}}} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (2)$$

а из закона преломления

$$\frac{\sin \alpha_{\text{Бр}}}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (3)$$

то $\cos \alpha_{\text{Бр}} = \sin \gamma$.

Это выполнимо при $\alpha_{\text{Бр}} + \gamma = 90^\circ$.

Так как $\alpha_{\text{Бр}} = \beta$ (закон отражения), то $\beta + \gamma = 90^\circ$.

Т.е. при падении естественного света на плоскую границу двух диэлектриков под углом Брюстера отраженный и преломленный лучи оказываются взаимно перпендикулярными.

Стопа Столетова

Можно также добиться, чтобы и преломленный луч был полностью поляризован. Для этого вместо одной пластинки пользуются стопой пластин (стопа Столетова). При падении на неё под углом Брюстера свет, многократно преломляясь, постепенно увеличивает степень своей поляризации до единицы (становится плоскополяризованным).

Показатель преломления

Из теории Максвелла следует, что абсолютный показатель преломления характеризует отношение скорости распространения света в вакууме к его скорости в данной среде (V):

$$n = c / V, \quad (4)$$

где $n = \overline{\varepsilon\mu}$ – показатель преломления вещества;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость вещества;

μ – относительная магнитная проницаемость вещества;

c – скорость света в вакууме.

Для большинства оптически прозрачных веществ магнитная проницаемость $\mu=1$, следовательно, показатели преломления и скорости света связаны с величиной диэлектрической проницаемости среды ε .

Оптическая анизотропия

Свойства изотропных сред одинаковы по всем направлениям. В оптически изотропных средах показатель преломления имеет одно определенное значение. Следовательно, в такой среде показатель преломления для любого направления распространения света с любой поляризацией одинаков.

В природе существуют вещества, обладающие оптической анизотропией – неодинаковостью свойств в различных направлениях (скорость световой волны, показатель преломления). Такими свойствами обладают кристаллы исландского шпата, кварца, турмалина.

Двойное лучепреломление

В анизотропных средах падающий луч разделяется на два – наблюдается явление двойного лучепреломления. Оно является следствием того, что скорость света зависит не только от направления луча, но и от ориентации вектора E . Оба преломленных луча оказываются плоскополяризованными, но во взаимноперпендикулярных направлениях (в плоскости чертежа \uparrow и по нормали к ней \bullet). Один из лучей называется *обыкновенным* (o) – он подчиняется законам геометрической оптики (для него справедлив закон преломления). Другой луч

называется *необыкновенным* (е), т.к. его поведение в преломляющей среде отличается от предполагаемого теоретически (рис. 3).



Поляризационные приборы

На свойстве анизотропного поглощения основано устройство поляроидов (герапатит, турмалин). Так, турмалин полностью поглощает обыкновенный луч и частично необыкновенный. Свет, выходящий из поляроида имеет меньшую интенсивность, чем на входе, но является плоскополяризованным. Устройство поляризационного прибора призмы Николя также основано на поглощении обыкновенного луча, чье поведение предсказуемо, и пропускании необыкновенного, уже поляризованного.

На этом основании полагают, что интенсивность света, прошедшего через поляризационный прибор (I_0) составляет приблизительно половину интенсивности света, падающего на него от источника ($I_{ист}$). Потери света на отражение и поглощение в поляроиде обычно не превышают 5 % и ими можно во многих практических расчетах пренебречь ($\kappa=0$).

Линейно поляризованный свет можно получить при его пропускании через пластинку из двулучепреломляющего кристалла (например, турмалина), вырезанную параллельно оптической оси. В таких пластинках сильно поглощаются лучи, в которых электрический вектор перпендикулярен к оптической оси. Если же электрический вектор параллелен оси, лучи проходят через пластинку почти без поглощения. Такие вещества называются дихроичными.

Для получения линейно поляризованного света используют также клеевые и пленочные поляризаторы (поляроиды или поляроидные пленки). В поляроидную пленку вкраплены одинаково ориентированные микрокристаллы дихроичного вещества. Пленка действует как один кристалл и поглощает световые колебания, электрический вектор которых перпендикулярен оптической оси. Обычно поляроидом служит пленка, в которую внедрены микрокристаллы герапатита (сульфата йодистого хинина), помещенная между двумя тонкими стеклянными пластинками.

Закон Малю

Пусть на анализатор падает плоскополяризованный свет амплитуды E_0 и интенсивности I_0 (рис. 4). Сквозь прибор пройдет составляющая колебаний с амплитудой $E = E_0 \cos \alpha$, где α – угол между плоскостью колебаний падающего света и плоскостью поляризатора. Поскольку интенсивность света I пропорциональна E^2 , то:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha, \quad (5)$$

где I – интенсивность света, прошедшего анализатор;

I_0 – интенсивность света, прошедшего поляризатор.

Соотношение (5) носит название *закона Малю (Malus)*, из которого видно, что при вращении поляризатора вокруг направления плоскополяризованного луча интенсивность прошедшего света пропорциональна $\cos^2 \alpha$.

Если от источника на поляризатор падает неполяризованный свет $I_{\text{ист}}$, то потери в нем энергии световой волны могут быть учтены как

$$I_0 = \frac{I_{\text{ист}}}{2} (1 - \kappa), \quad (6)$$

где κ – коэффициент потерь на отражение и поглощение.

При прохождении поляризованного света через анализатор (закон Малю) потери учитываются аналогичным образом:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \cdot (1 - \kappa). \quad (7)$$

Принимая во внимание наличие потерь в обоих поляроидах, после подстановки (6) в (7) в общем виде получается

$$I = \frac{I_{\text{ист}}}{2} \cos^2 \alpha \cdot (1 - \kappa)^2. \quad (8)$$

Коэффициент потерь

Сравнение интенсивностей света, падающего на поляроид и выходящего из него, позволяет вычислить коэффициент, определяющий потери энергии излучения за счет поглощения и отражения.

Интенсивность света от внешнего источника обозначается как $I_{\text{ист}}$.

Интенсивность светового потока на выходе из поляроида принимается за I_0 .

Потери соответствуют разности между этими величинами:

$$\Delta I = \frac{I_{\text{ист}}}{2} - I_0. \quad (9)$$

Коэффициент потерь представляет собой отношение ΔI к интенсивности исходного светового потока $I_{\text{ист}}$:

$$\kappa = 2 \frac{\Delta I}{I_{\text{ист}}} \quad (10)$$

или после подстановки (9) в (10)

$$k = 1 - 2 \frac{I_0}{I_{\text{ист}}} \quad (11)$$

В этом случае для оценки коэффициента потерь k воспользоваться формулой (11), где I – результат измерения на выходе из поляроида, $I_{\text{ист}}$ – интенсивное излучение источника (без поляроида).

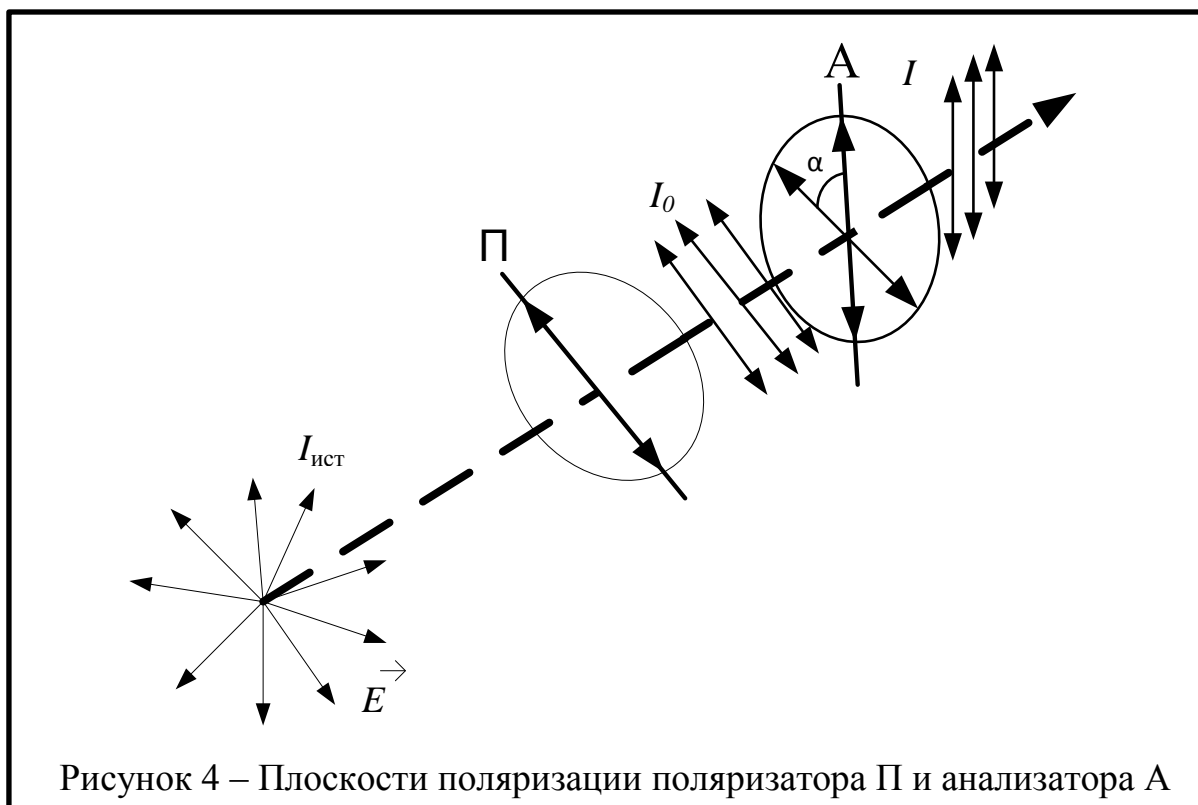
Степень поляризации

Обычно поляризатор не является идеальным и задерживает перпендикулярные к его плоскости колебания только частично. В этом случае на выходе из поляризатора получается частично поляризованный свет, в котором колебания одного направления преобладают над колебаниями других направлений.

Для его характеристики используют величину, называемую степенью поляризации P :

$$P = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}, \quad (12)$$

где I_{min} и I_{max} – минимальное и максимальное значение интенсивности света на выходе из поляризатора, определяемые с помощью анализатора при его вращении вокруг направления луча. Например, в естественном свете $I_{\text{max}} = I_{\text{min}}$, следовательно $P = 0$, а в плоско поляризованном луче $I_{\text{min}} = 0$, значит $P = 1$.



ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Установка (рис. 5) состоит из источника света S , двух поляроидов (Π и A), фотоэлемента $\Phi Э$ и микроамперметра. Величина фототока, измеряемого микроамперметром, пропорциональна интенсивности света, попадающего на фотоэлемент.

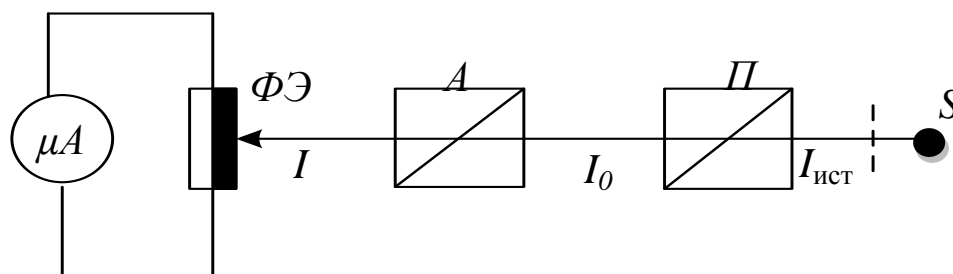


Рисунок 5 – Экспериментальная установка: S – источник света, Π – поляризатор, A – анализатор, $\Phi Э$ – фотоэлемент, μA – микроамперметр, $I_{\text{ист}}$ – интенсивность естественного света, I_0 – интенсивность света, прошедшего поляризатор, I – интенсивность света, прошедшего анализатор

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Упражнение 1 Проверка закона Малю

- 1 Ознакомиться с устройством установки для изучения поляризации.
- 2 Вращая подвижный поляриод (поляризатор), отыскать такое его положение, при котором будет обнаруживаться максимум интенсивности пройденного света. Далее это положение принять за нуль отсчета.
- 3 Вращая анализатор от 0° до 180° по ходу часовой стрелки, а затем против часовой стрелки, через каждые 10° отмечать показания микроамперметра и заносить в таблицу 1.

Таблица 1 – Интенсивность поляризованного света в зависимости от угла между поляризатором Π и анализатором A

$\alpha, ^\circ$	0	10	20	...					180
$I, \text{мкА}$									

- 4 Измерения провести 3 раза и для каждого угла выбрать среднее значение.
- 5 По полученным данным в полярных координатах построить график зависимости интенсивности света (пропорциональна фототоку) от угла поворота анализатора.
- 6 На тех же осях построить теоретическую кривую, соответствующую закону Малю (5), принимая за I_0 максимальное значение интенсивности света, взятое из эксперимента.

Упражнение 2 Расчет степени поляризации частично поляризованного света

- 1 Установить анализатор на оптическую скамью после поляризатора (рис. 5).
- 2 Вращением анализатора найти максимум и минимум интенсивности вышедшего из поляризатора излучения I_{max} и I_{min} .
- 3 Рассчитать степень поляризации по формуле (12).

Упражнение 3 Оценка потерь интенсивности света в поляроидах

- 1 Снять с оптической скамьи поляроиды (поляризатор и анализатор).
- 2 Включить источник света и с помощью фотоэлемента с микроамперметром измерить интенсивность излучения ($I_{ист}$).
- 3 Установить на оптическую скамью один из поляроидов и измерить интенсивность поляризованного света I .
- 4 Определить, какая часть падающего на поляризатор излучения $I_{ист}$ проходит через поляризатор.
- 5 При наличии поглощения света в поляризаторе должно выполняться условие $I_0 < \frac{I_{ист}}{2}$.
- 6 По формуле (11) рассчитать коэффициент потерь k .

Упражнение 4 Изучение поляризации света при преломлении

Используется та же экспериментальная установка, что и в упражнении 1. Отличием является то, что вместо одного из поляроидов (поляризатора) используется стопа стеклянных пластинок. Поскольку воздух и стекло являются диэлектриками, то преломленный на их границе свет оказывается частично поляризованным. Преломляясь многократно на стопе из нескольких пластин, свет увеличивает степень своей поляризации.

- 1 Установить в держателе одну стеклянную пластинку и, вращая анализатор, найти максимальное и минимальное значение фототока, что будет соответствовать минимальной и максимальной интенсивности света (I_{max} и I_{min}).
- 2 Такие же измерения проделать для двух, трех и т.д. пластинок, устанавливая их вплотную друг к другу. Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Степень поляризации света в зависимости от числа пластин в стопе

N	1	2	...		6
I_{max}					
I_{min}					
ΔI					
ΣI					
$P = \Delta I / \Sigma I$					

- 3 Степень поляризации P прошедшего света рассчитать по формуле (12).
- 4 Построить график зависимости степени поляризации от числа пластинок N .
- 5 По графику найти наименьшее число пластинок в стопе m , при котором степень поляризации оказывается больше нуля (преломленный луч становится частично поляризованным).

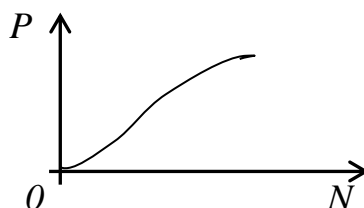


Рисунок 6 – Зависимость степени поляризации света P от количества пластин N

Контрольные вопросы

- 1 Естественный и поляризованный свет, их отличие
- 2 Виды поляризации
- 3 Закон Малю
- 4 Степень поляризации
- 5 Поляризация света при отражении и преломлении
- 6 Закон Брюстера
- 7 Оптическая анизотропия
- 8 Двойное лучепреломление
- 9 Поляризационные приборы (поляризаторы и анализаторы)
- 10 Законы отражения и преломления
- 11 Стопа Столетова

Список использованных источников

- 1 Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики: учебник. В 3-х тт. Т. 3. Оптика. Атомная физика. – Спб.: Лань, 2009. – 656 с.
- 2 Детлаф А. А. Курс физики: учебное пособие. – М.: Академия, 2005. – 720 с.
- 3 Трофимова Т. И. Курс физики: учебн. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2000. – 542 с.
- 4 Савельев И.В. Курс физики: учебник – Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Наука, 1989. – 304 с.
- 5 Зисман Г. А. Курс общей физики: учебное пособие. – Т.3. Оптика. Физика атомов и молекул. Физика атомного ядра и микрочастиц – М.: Наука, 1972. – 496 с.

Учебное издание

**ИЗУЧЕНИЕ ПЛОСКОПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА. ПРОВЕРКА
ЗАКОНА МАЛЮ**

Методические указания

Составители

Малышев Владимир Львович

Крюковская Алла Анатольевна

Редактор А.А. Щербакова

Технический редактор Т.В Багуцкая

Подписано в печать Формат 60x84 1/16 Бумага офсетная.

Гарнитура Таймс. Ризография. Усл. печ. л. Уч.-изд. л.

Тираж __ экз. Заказ ____

Учреждение образования «Могилёвский государственный университет
продовольствия».

ЛИ №02330/0131913 от 08.02.2007.

пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилёв.

Отпечатано в учреждении образования «Могилёвский государственный
университет продовольствия».

пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилёв.