

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емец Валерий Сергеевич  
Должность: Директор филиала  
Дата подписания: 19.10.2023 12:24:21  
Уникальный программный ключ:  
f2b8a1573c931f1098cfe699d1debd94fcff35d7

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Рязанский институт (филиал)  
федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Информатика и информационные технологии»

Е.В. Тинина

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДВУХ ДИЭЛЕКТРИКОВ**

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Рязань  
2022

**УДК 530**  
**ББК 22.3**  
**Т 42**

**Тинина, Е.В.**

**Т 42** Исследование преломления света на границе раздела двух диэлектриков: методические указания по выполнению лабораторной работы / Е.В. Тинина. – Рязань: Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2022. – 24 с.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения, направлений и специальностей, изучающих дисциплину «Физика».

В методических указаниях приведены основные теоретические сведения геометрической и волновой оптики, касающиеся преломления света, методика выполнения лабораторной работы, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы.

Печатается по решению методического совета Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

**УДК 530**  
**ББК 22.3**

© Тинина Е.В., 2022  
© Рязанский институт (филиал)  
Московского политехнического  
университета, 2022

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 4  |
| 1 Цель работы.....  | 5  |
| 2 Техническое оснащение работы.....   | 5  |
| 3 Основные теоретические сведения.....  | 5  |
| 3.1 Законы геометрической оптики.....   | 5  |
| 3.2 Свет как электромагнитная волна.....  | 6  |
| 3.3 Закон преломления света.....  | 8  |
| 3.4 Изменение скорости света на границе раздела двух разных сред.....                           | 10 |
| 3.5 Объяснение преломления света на основе принципа Ферма.....                                  | 11 |
| 3.6 Объяснение преломления света на основе принципа Гюйгенса.....                               | 13 |
| 3.7 Объяснение преломления света на основе представлений о его<br>электромагнитной природе..... | 14 |
| 4 Теория и методика эксперимента.....   | 16 |
| 5 Описание экспериментальной установки.....   | 18 |
| 6 Порядок выполнения работы.....  | 19 |
| 7 Обработка результатов эксперимента.....   | 20 |
| 8 Контрольные вопросы.....  | 21 |
| Библиографический список.....   | 22 |
| Приложение А.....   | 23 |

## **Введение**

Важным элементом учебного процесса является выполнение лабораторных работ, которые позволяют студентам не только закрепить теоретические знания, но и научиться самостоятельно их применять в рамках решения учебных практико-ориентированных задач.

Данное пособие является руководством для подготовки и выполнения лабораторной работы, цель которой – изучение теории и приобретение практических навыков ее применения в рамках дисциплины «Физика» по разделу «Геометрическая и волновая оптика. Преломление света».

В руководстве изложены: цель и техническое оснащение лабораторной работы, основные теоретические сведения, описание экспериментальной установки, теория и методика проведения эксперимента, порядок выполнения работы и обработки результатов, приведены контрольные вопросы и библиографический список.

В процессе выполнения лабораторной работы студенты изучают явление преломления света на основе понятий волновой и геометрической оптики, приобретают практические навыки построения световых лучей на границе раздела двух диэлектриков и расчета характеристик световой волны.

Планируемая трудоемкость лабораторной работы составляет четыре академических часа.

## **1 Цель работы**

Исследование хода лучей в плоскопараллельной пластинке при преломлении света на границе раздела двух диэлектриков и расчет длины световой волны и абсолютного показателя преломления среды.

## **2 Техническое оснащение работы**

В ходе выполнения экспериментальной части работы используются следующие приборы и принадлежности:

- полупроводниковый лазер с длиной волны 0,67 мкм;
- плоскопараллельная пластинка;
- транспортир;
- линейка.

## **3 Основные теоретические сведения**

### **3.1 Законы геометрической оптики**

Видимый свет, который распространяется в любой точке пространства и в любом направлении, представляет собой электромагнитную волну и, одновременно, кванты электромагнитной энергии – фотоны (корпускулярно-волновой дуализм свойств света). Но многие оптические явления и действия некоторых оптических приборов рассматриваются, исходя из представления о световых лучах. Раздел оптики, основывающийся на этом представлении, называется геометрической (лучевой) оптикой. Геометрическая оптика справедлива при условии, что можно пренебречь явлениями интерференции и дифракции световых волн. То есть геометрическая оптика является предельным случаем волновой оптики, когда длина световой волны приближается к нулевому значению. Геометрическая оптика изучает распространение света в оптических системах, включая линзы и призмы, не касаясь вопроса о природе света.

Световой луч является линией, вдоль которой происходит распространение световой энергии, и представляет собой пучок света с толщиной, которая намного меньше, чем расстояние его распространения. При пересечении световые лучи не возмущают друг друга.

Световой луч удобен для схематического и упрощенного представления о световой волне, который просто изобразить на рисунке, например, тень или формирование изображений в оптических приборах. Но световой луч, как и волна, характеризуется скоростью распространения, которая не всегда одинакова, и количеством энергии, которую волна переносит.

Геометрическая оптика базируется на четырех законах, справедливость которых доказана экспериментально:

1) закон прямолинейного распространения света – в условиях однородной прозрачной среды свет распространяется прямолинейно;

2) закон независимости световых лучей – распространение светового пучка в среде не зависит от наличия других пучков, лучи обратимы;

3) закон отражения – отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения луча, при этом угол падения равен углу отражения;

4) закон преломления света – преломленный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения луча, а углы падения и преломления связаны между собой формулой Снеллиуса.

### **3.2 Свет как электромагнитная волна**

Одним из следствий теории Максвелла является тот факт, что свет представляет собой электромагнитную волну со всеми свойствами и характеристиками этих волн. От источника света распространяется световая волна в виде взаимосвязанных переменных электрических и магнитных полей, которые создают и поддерживают друг друга, имея одинаковую частоту и фазу. Эти поля вписываются в трехмерную систему координат *хуз* (рисунок 1). По

оси  $x$  происходит распространение волны – направление вектора скорости  $\vec{v}$  или энергии  $\vec{P}$ . По оси  $z$  идет колебание вектора напряженности  $\vec{E}$  электрической составляющей волны, а по оси  $y$  – вектора напряженности  $\vec{H}$  магнитной составляющей. Проекции векторов напряженности определяются следующими выражениями соответственно

$$E_z = E_{mz} \sin(\omega t - kz), H_y = H_{my} \sin(\omega t - ky), \quad (1)$$

где  $E_{mz}$  и  $H_{my}$  – амплитудные значения векторов напряженности;

$\omega$  – циклическая частота колебаний векторов;

$t$  – время распространения волны по оси  $x$ ;

$k$  – волновое число, которое показывает изменение фазы волны при прохождении метра пути;

$(\omega t - kz)$  – текущая фаза колебаний.

Волновое число определяется по формуле

$$k=2\pi/\lambda,$$

где  $\lambda$  – длина волны.

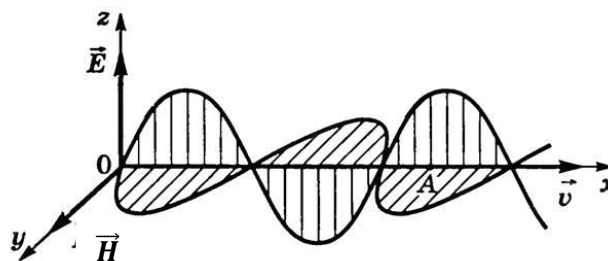


Рисунок 1 – Схематическое изображение световой волны

Каждому волновому фронту будет соответствовать выражение  $(\omega t - kz) = const$ . Волновое число также определяет фазовую скорость волны

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k} \quad (2)$$

Согласно теории Максвелла волновое число связано с электрической постоянной  $\epsilon_0$  и магнитной постоянной  $\mu_0$

$$k = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}. \quad (3)$$

где  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная;

$\mu_0$  – магнитная постоянная.

Соединяя формулы (2) и (3) и подставляя численные значения постоянных, получим значение скорости света в вакууме (воздухе)  $c=3 \cdot 10^8$  м/с. При распространении света в веществе, отличном от вакуума и воздуха, его скорость уменьшается в  $n$  раз ( $n$  – показатель преломления этого вещества – среды). Максвелл также получил, что показатель преломления определяется по формуле

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  – относительная электрическая проницаемость среды;

$\mu$  – относительная магнитная проницаемость среды (в оптической диапазоне электромагнитных волны  $\mu \approx 1$ ).

Соединяя формулы (2), (3), (4), получим скорость света в веществе

$$v = \frac{c}{n}. \quad (5)$$

Из формулы (5) следует, что длина волны  $\lambda$ , которая связана со скоростью  $\lambda=vt$ , тоже будет уменьшаться при переходе из воздуха или вакуума в другую среду.

### 3.3 Закон преломления света

Преломление света – это изменение направления его распространения в неоднородной среде. Неоднородная среда представляет собой среду, в которой происходит изменение показателя преломления, например, при прохождении резкой границы двух сред (граница двух диэлектриков). Преломление обусловлено изменением фазовой скорости света на этой границе.

С точки зрения оптики среда характеризуется показателем преломления. В формулах используются два разных коэффициента.

Абсолютный показатель преломления  $n$  – безразмерная величина, показывающая отношение скорости света в вакууме к скорости распространения в среде,

$$n = \frac{c}{v}. \quad (6)$$



Эта величина показывает, во сколько раз меняется скорость света при переходе из вакуума в другое прозрачное вещество. В приложении А представлены значения показателя преломления для некоторых прозрачных веществ.

Относительный показатель преломления  $n_{12}$  – безразмерная величина, показывающая отношение абсолютных показателей преломления двух сред. Этот показатель указывает на то, во сколько раз изменится скорость распространения луча при переходе из одной среды в другую,

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (7)$$

где  $n_1$  – абсолютный показатель преломления 1-й среды;

$n_2$  – абсолютный показатель преломления 2-й среды.

Основываясь на этих понятиях, формулируется закон преломления света: падающий и преломленный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, проведенный в точке падения луча, лежат в одной плоскости и отношение синуса угла падения  $\alpha$  к синусу угла преломления  $\beta$  равно отношению абсолютных показателей преломления второй среды к первой

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}. \quad (8)$$

Закон был открыт в 1621 году голландским математиком Виллебрордом Снеллиусом, а несколько позднее опубликован и, вероятно, независимо открыт Рене Декартом. С помощью геометрической оптики можно продемонстрировать ход падающего и преломленного лучей на границе раздела двух диэлектриков (рисунок 2).

Из формулы (8) видно, что на угол преломления влияет соотношение между абсолютными показателями преломления двух сред. Свет всегда выбирает кратчайшую по времени траекторию между двумя точками пространства.

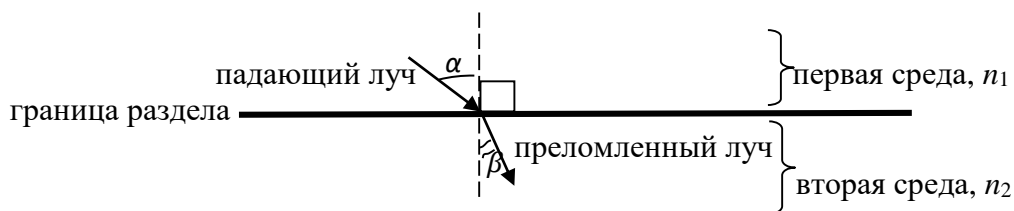
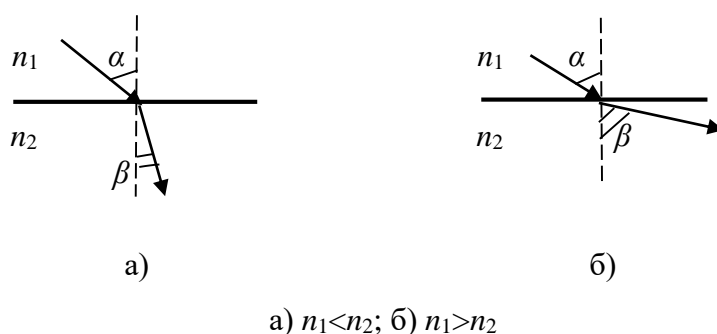


Рисунок 2 – К закону преломления света на границе раздела двух сред

При прохождении неоднородной среды луч изгибается на неоднородностях, искривляясь в сторону большего показателя преломления. То есть, при переходе света из среды с меньшим показателем в среду с большим его значением, скорость уменьшается, и угол преломления меньше угла падения (рисунок 3, а). Если при переходе величина показателя уменьшается, то скорость света увеличивается, и угол преломления больше угла падения (рисунок 3, б).



а)  $n_1 < n_2$ ; б)  $n_1 > n_2$

Рисунок 3 – Ход преломленного луча при разных значениях абсолютного показателя преломления

### 3.4 Изменение скорости света на границе раздела двух разных сред

Согласно формуле (5) скорость света в среде, отличной от вакуума и воздуха, всегда будет уменьшаться в зависимости от абсолютного показателя преломления этой среды. Это связано с различным внутренним строением среды и различным взаимодействием световой волны с ее элементами.

Свет является электромагнитной волной, которая переносит в пространстве энергию ( $E=h\nu$ ). В любом веществе эта волна будет перемещаться со скоростью  $3 \cdot 10^8$  м/с, пока на ее пути не «возникают» электроны атомов

вещества. Электроны (атомы) поглощают энергию волны и вновь излучают ее, что занимает некоторое количество времени (атом переходит в возбужденное состояние, и при переходе снова в основное излучает квант электромагнитной энергии). Это происходит бесконечное количество раз, в результате чего на прохождение разной среды свету требуется разное время: если на то же самое расстояние свет потратит большее время в этой среде, значит, у него стала меньшая скорость. То есть поглощение света частицами среды замедляет его.

Изменение скорости света на границе раздела двух разных сред приводит к изменению его направления, что и выражается законом преломления. Преломление света является его неотъемлемым свойством и одним из фундаментальных законов природы. Теоретически или математически этот закон можно доказать различными способами: на основе геометрической оптики (принципы Ферма и Гюйгенса) и волновой оптики (электромагнитная природа световой волны).

### **3.5 Объяснение преломления света на основе принципа Ферма**

В основу геометрической оптики может быть положен принцип, установленный французским математиком Ферма в середине 17 столетия. Из этого принципа вытекают законы прямолинейного распространения света, отражения и преломления света. В формулировке самого Ферма принцип гласит, что свет распространяется по такому пути, для прохождения которого ему требуется минимальное время.

Луч – кратчайшее расстояние (путь для света) между двумя точками. Если свет распространяется через разные среды, то в оптике используется понятие оптической длины пути: величины, зависящей от показателя преломления среды,

$$L = nS, \quad (9)$$

где  $S$  – геометрический путь светового луча (отрезок в пространстве, который можно непосредственно измерить), м.

Поэтому существуют другие формулировки принципа Ферма:

- оптическая длина луча между двумя точками минимальна по сравнению со всеми другими линиями, соединяющими эти две точки;

- оптическая длина луча между двумя точками является стационарной по отношению к смещению этой линии.

Если оптическую длину луча поделить на скорость света в вакууме, то получим время, необходимое на преодоление расстояния между двумя точками,

$$t = \frac{L}{c}. \quad (10)$$

На основе принципа Ферма можно показать, что падающий луч, перпендикуляр к поверхности и преломленный луч лежат в одной плоскости: любые расстояния вне этой плоскости от источника до точки во второй среде будут больше расстояния, которые находятся на ней, то есть путь, требующий минимального времени.

Рассмотрим рисунок 4. На нем представлены две среды с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$ , разделенные границей  $AB$ . От точечного источника  $Q$  к точке  $O$  (основание перпендикуляра к границе раздела двух сред  $AB$ ) идет падающий луч 1. После преломления возникает луч 2, который идет до точки  $Q'$ .

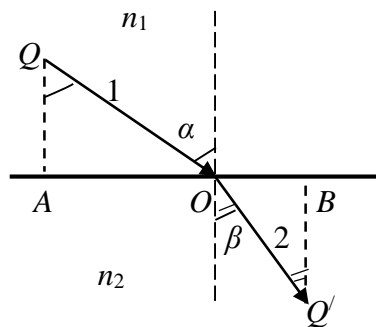


Рисунок 4 – К выводу закона преломления по принципу Ферма

Из точки  $Q$  на границу опустим перпендикуляр  $QA$ , из точки  $Q'$  –  $Q'B$ .  
Время распространения лучей 1 и 2 равно

$$t = \frac{QO}{v_1} + \frac{OQ'}{v_2}.$$

Из геометрии рисунка 4 можно записать

$$t = \frac{\sqrt{QA^2 + AO^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{Q/B^2 + OB^2}}{v_2}.$$

Если обозначить  $AO$  через переменную  $x$ , то можно определить минимальное время распространения лучей как равенство нулю  $\frac{dt}{dx}$ . После преобразований получается следующее выражение

$$\frac{1}{v_1} \frac{x}{\sqrt{QA^2 + x^2}} = \frac{1}{v_2} \frac{AB - x}{\sqrt{Q/B^2 + (AB - x)^2}} \text{ или } \frac{\sin \alpha}{v_1} = \frac{\sin \beta}{v_2}.$$

Запишем последнее равенство с учетом формулы (5)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Таким образом, из принципа Ферма вытекает закон преломления света.

### 3.6 Объяснение преломления света на основе принципа Гюйгенса

Также в 17 веке нидерландский ученый Христиан Гюйгенс, рассматривая механические волны и волны на воде, перевел их теорию на свет, отметив тем самым, что вокруг нас распространяются световые волны.

Принцип Гюйгенса может быть сформулирован следующим образом: любая точка в пространстве, до которой доходит световая волна от источника, является центром вторичных волн, а огибающая этих вторичных волн в некоторый момент времени показывает положение нового волнового фронта этой волны. Используя принцип Гюйгенса, докажем закон преломления.

Рассмотрим плоский фронт волны  $AB$  (рисунок 5), который падает на границу раздела двух сред  $MN$  с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$  соответственно, причем  $n_1 < n_2$ . После преломления направление меняется, и возникает фронт  $A'B'$ . На рисунке отметим углы падения  $\alpha$  и преломления  $\beta$ . В ходе построения получились прямоугольные треугольники  $ABB'$  и  $B'A'A$  с общей гипотенузой  $AB'$ . На основе геометрии рисунка можно также отметить в этих треугольниках углы  $\alpha$  и  $\beta$  и записать их синусы

$$\sin \alpha = \frac{BB'}{AB'} \text{ и } \sin \beta = \frac{A'A}{B'A}.$$

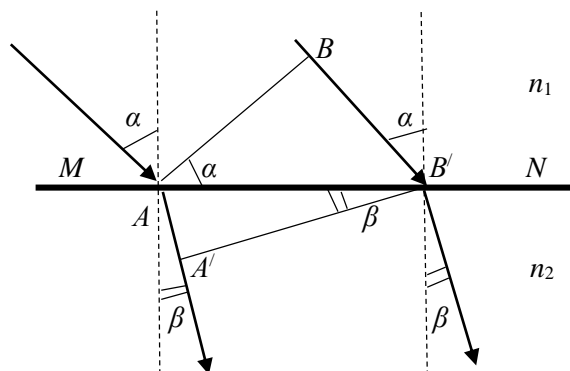


Рисунок 5 – К выводу закона преломления на основе принципа Гюйгенса

Разделим друг на друга эти равенства и получим отношение синуса угла падения к синусу угла преломления

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{BB'}{A'A} \quad (11)$$

Согласно принципу Гюйгенса за одно и тоже время  $t$  свет в первой среде прошел  $BB'$ , а во второй  $A'A$ . Используя формулы (5) и (10), запишем

$$\frac{BB'}{v_1} = \frac{A'A}{v_2}, \quad \frac{BB'}{n_1} = \frac{A'A}{n_2}. \quad (12)$$

Соединим соотношения (11) и (12), получим формулу Снеллиуса

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}.$$

### 3.7 Объяснение преломления света на основе представлений о его электромагнитной природе

Рассмотрим переход световых волн из воздуха (первая среда) в диэлектрик (вторая среда). Согласно теории Максвелла, электромагнитная волна переносит в пространстве определенную энергию и характеризуется скоростью, частотой и длиной волны. На это распространение всегда влияет среда. Попадая в диэлектрик, волна взаимодействует с электрическими зарядами, что приводит к процессу поляризации диэлектрика и возникновению тока смещения. Возникающие явления определяются величинами  $\varepsilon$ ,  $\varepsilon_0$ ,  $\mu$ ,  $\mu_0$ . А явление

преломления рассматривается через напряженность электрического поля световой волны, причем преломление не зависит от поляризации падающей волны.

Теоретически вывести закон преломления световых волн можно через систему уравнений Максвелла и на основе вытекающих из них граничных условий для электромагнитного поля.

Световые волны могут падать под любым углом к поверхности воздух-диэлектрик. Пусть падающая и преломленная волны плоские. Граничные условия для электромагнитного поля состоят в том, что в любой момент времени и в любой точке границы раздела выполняются следующие соотношения для тангенциальных компонент векторов напряженности электрического и магнитного полей:  $\vec{E}_{\tau 1} = \vec{E}_{\tau 2}$  и  $\vec{H}_{\tau 1} = \vec{H}_{\tau 2}$ , где индекс  $\tau$  обозначает тангенциальные компоненты этих векторов, то есть их проекции на границу раздела двух сред. Также вводится единичный вектор  $\vec{s}$ , который определяет направление распространения волны. При переходе из первой среды во вторую с учетом формул (3) и (5) можно записать

$$k_1 = \frac{\omega_1}{v_1} = \frac{\omega_1 n_1}{c}, k_2 = \frac{\omega_2}{v_2} = \frac{\omega_2 n_2}{c}.$$

При теоретическом анализе пользуются комплексной записью уравнений колебаний, которая позволяет определить взаимосвязь между волновым числом и тангенциальной компонентой единичного вектора  $\vec{s}_\tau$  для двух волн

$$k_1 \vec{s}_{1\tau} = k_2 \vec{s}_{2\tau}, \quad (13)$$

и равенство частот падающей и преломленной волны  $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ . В рамках теории строения вещества равенство частот очевиден, так как частоты колебаний зарядов, вынуждаемые электрическим вектором световой волны, совпадают с частотой вынуждающей силы.

Из равенства (13) следует, что единичные векторы находятся в одной плоскости, проходящей через нормаль к границе раздела сред и плоскость падения (рисунок 6). На падающем и преломленном лучах отметим единичные векторы  $\vec{s}_1$  и  $\vec{s}_2$  (которые по модулю равны) и их тангенциальные компоненты

$\vec{s}_{1\tau}$  и  $\vec{s}_{2\tau}$  (вектора параллельны границе раздела сред), а также углы падения  $\alpha$  и преломления  $\beta$ . Из геометрии рисунка 6 можно написать

$$\sin \alpha = \frac{s_{1\tau}}{s_1}, \sin \beta = \frac{s_{2\tau}}{s_2}. \quad (14)$$

Соединим полученные равенства (14) и с учетом формул (2-5) запишем

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{s_{1\tau}}{s_{2\tau}} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

ИЛИ

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Последнее равенство выражает формулу для закона преломления.

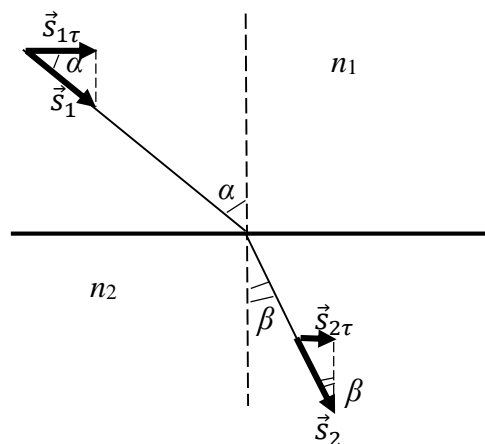


Рисунок 6 – К выводу закона преломления на основе теории электромагнитных волн

## 4 Теория и методика эксперимента

В лабораторной работе исследуется закон преломления света с помощью луча лазера. Луч из воздуха (первый диэлектрик) падает на поверхность прозрачного второго диэлектрика (плоскопараллельная пластинка), преломляется на этой границе и, проходя сквозь этот диэлектрик, выходит снова в воздух. В результате наблюдается два преломления светового луча, то есть луч дважды меняет свое направление.



Плоскопараллельная пластина – это оптически однородный блок, прозрачный для световых лучей и имеющий как минимум две плоские поверхности, параллельные друг другу (рисунок 7).

Если луч падал на одну из параллельных поверхностей, то после выхода из пластины он продолжает движение параллельно пути падающего луча – углы  $\alpha$  на рисунке 7. То есть в эксперименте рассматривается две границы раздела диэлектриков: воздух-диэлектрик и диэлектрик-воздух. При чем показатель преломления диэлектрика больше, чем у воздуха –  $n_1 < n_2$ .

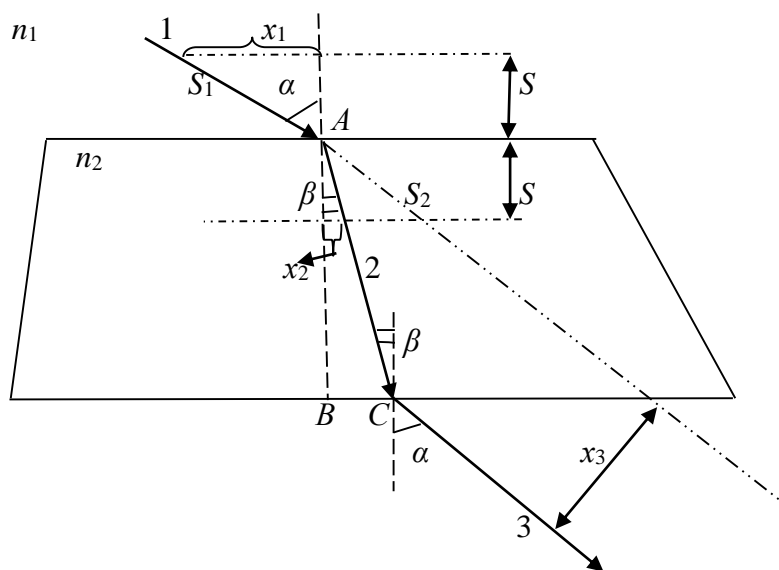


Рисунок 7 – Плоскопараллельная пластинка и ход лучей в ней

Рассмотрим границу раздела воздух-диэлектрик (рисунок 7). В воздухе будет распространяться луч 1, который падает на поверхность в точке A, а в диэлектрике проходит луч 2. AB является перпендикуляром к границе. Выберем время прохождения лучей 1 и 2 в двух средах одинаковым и выделим области распространения S в обеих средах. Используя формулы 6, 9 и 10, запишем

$$\frac{n_1^2 S_1}{c} = \frac{n_2^2 S_2}{c},$$

где  $S_1$  – геометрический путь в воздухе, м;

$S_2$  – геометрический путь в диэлектрике, м.

Так как  $n_1 < n_2$ , то  $S_1 > S_2$ , что и видно из рисунка 7. Из геометрии рисунка 7 получим

$$S_1 = \sqrt{S^2 + x_1^2} \text{ и } S_2 = \sqrt{S^2 + x_2^2}, \quad (15)$$

где  $x_1$  – расстояние от перпендикуляра до точки пересечения луча 1 области  $S$ ;  
 $x_2$  – расстояние от перпендикуляра до точки пересечения луча 2 области  $S$ .

Из уравнений (15) также получается, что луч 1 находится дальше от перпендикуляра, по сравнению с лучом 2:  $x_1 > x_2$ . Это означает, что свет всегда идет по пути, где оптическая длина минимальна (в момент прохождения границы раздела двух диэлектриков), а далее снова идет прямолинейно. На этой границе у света меняется скорость (длина волны) при неизменной частоте, и, как следствие, изменяется направление распространения.

Рассмотрим границу раздела диэлектрик-воздух. На эту границу падает луч 2 под углом падения  $\beta$  и преломляется в точке  $C$ . Преломленный луч 3 выходит под таким же углом  $\alpha$ , по которым упал на диэлектрик луч 1 (рисунок 7). Получается, что лучи 1 и 3 параллельны и смещены в пространстве друг относительно друга на расстояние  $x_3$ .

В воздухе и в веществе длина волны будет определяться  $\lambda_0 = ct$  и  $\lambda = vt$  соответственно. С учетом формулы (6) длина волны света в веществе будет уменьшаться в зависимости от показателя преломления среды

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}. \quad (16)$$

## 5 Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка представляет собой транспортер 1 с креплением для полупроводникового лазера 2 (рисунок 8). Прозрачная пластинка 3 помещается в центр транспортера. Луч от лазера может падать на плоскопараллельную пластинку под различным углом. Разные углы падения обеспечиваются поворотом транспортера вокруг своей оси.

Лазерный луч должен падать на короткую грань пластинки и в центр транспортера. В точке падения луч будет преломляться, а далее выходить из противоположной параллельной грани. Установка обеспечивает отчетливую

видимость падающего луча и преломленных лучей внутри пластинки и после ее прохождения. Вышедший из пластинки луч достигает шкалы транспортира.

С помощью этого транспортира проводится измерение соответствующих углов при включенном лазере.

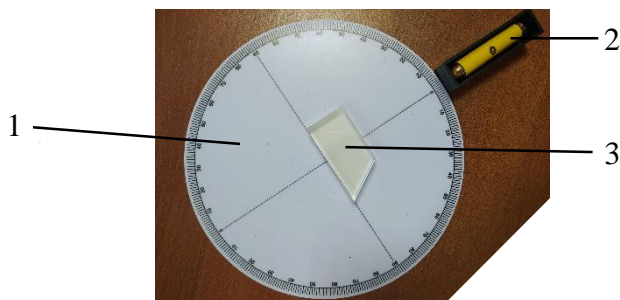


Рисунок 8 – Фотография экспериментальной установки

## 6 Порядок выполнения работы

1. Измерьте линейкой размеры плоскопараллельной пластинки: четыре стороны –  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ .

2. В центр транспортира положите плоскопараллельную пластинку так, чтобы меньшая из ее параллельных сторон лежала на линии  $90^\circ$ - $90^\circ$  и была перпендикулярна линии  $0^\circ$ - $0^\circ$  транспортира (рисунок 8).

3. Согласно таблице 1 поверните транспортир так, чтобы лазер приблизительно находился около требуемого угла  $\alpha$  падения.

4. Включите лазер и проверьте, чтобы луч от лазера падал на пластинку под требуемым углом и были отчетливо видны линии луча на транспортире (луч лазера должен падать на центр транспортира).

5. Измерьте расстояние  $BC$  (рисунок 7).

6. Определите угол  $\gamma$ , на который указывает луч 3 (рисунок 7).

7. Отключите лазер.

8. Результаты измерений запишите в таблицу 1.

9. Пункты 3-8 выполните для всех углов падения.

Таблица 1 – Экспериментальные данные по преломлению света

| № | Угол $\alpha, ^\circ$ | BC, см | Угол $\gamma, ^\circ$ | Угол $\beta, ^\circ$ | Угол $\alpha', ^\circ$ |
|---|-----------------------|--------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| 1 | 40                    |        |                       |                      |                        |
| 2 | 55                    |        |                       |                      |                        |
| 3 | 70                    |        |                       |                      |                        |

## 7 Обработка результатов эксперимента

1. Изобразите плоскопараллельную пластинку (три раза) в отчете в натуральную величину и поставьте на ее поверхности, на которую падал луч от лазера, точку  $A$  – это будет точка падения луча на пластинку. Через точку  $A$  проведите перпендикуляр – пунктирная линия  $AB$  на рисунке 7.

2. По данным таблицы 1 и на основе рисунка 7 выполните чертежи, отображающие ход луча лазера через пластинку при различных углах падения.

3. По чертежам измерьте углы  $\beta$  (преломление луча 2) и  $\alpha'$  (преломление луча 3). Результаты занесите в таблицу 1.

4. По формуле (8) рассчитайте показатель преломления  $n_2$  вещества пластинки для трех углов падения ( $n_1$  – показатель преломления воздуха). Результаты занесите в таблицу 2.

5. Рассчитайте погрешность при определении величины показателя преломления для трех углов падения

$$\Delta n_2 = n_2 \left( \frac{\Delta \alpha}{\sin 2\alpha} + \frac{\Delta \beta}{\sin 2\beta} + \frac{\Delta x}{BC} \right),$$

где  $\Delta \alpha = \Delta \beta = 0,00875$  рад;

$$\Delta x = 0,5 \text{ мм.}$$

6. Рассчитайте средние значения показателя преломления и его погрешности. Все результаты занесите в таблицу 2, а результат расчета показателя преломления вещества плоскопараллельной пластинки запишите в виде:  $n_2 = n_{2\text{ср}} \pm \Delta n_{2\text{ср}}$ .

Таблица 2 – Расчетные данные по преломлению света

| № | Угол $\alpha, ^\circ$ | $n_2$ | $\Delta n_2$ | $n_{2cp}$ | $\Delta n_{2cp}$ | $S_1,$<br>см | $S_2,$<br>см | $x_1,$<br>см | $x_2,$<br>см | $v_2,$<br>м/с | $L_2,$<br>см | $\lambda_2,$ м |
|---|-----------------------|-------|--------------|-----------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|----------------|
| 1 | 40                    |       |              |           |                  |              |              |              |              |               |              |                |
| 2 | 55                    |       |              |           |                  |              |              |              |              |               |              |                |
| 3 | 70                    |       |              |           |                  |              |              |              |              |               |              |                |

7. Произвольно выберете расстояние  $S$  и на чертежах проведите пунктирные линии согласно рисунку 7. Измерьте отрезки  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $x_1$  и  $x_2$ . Результаты занесите в таблицу 2.

8. Используя формулы (6) и (9), рассчитайте скорость света  $v_2$  и оптическую длину пути  $L_2$  внутри пластинки (используйте среднее значение показателя преломления). Результаты занесите в таблицу 2.

9. По формуле (16) рассчитайте длину волны  $\lambda_2$  света внутри пластинки. Результаты занесите в таблицу 2.

10. По среднему значению показателя преломления  $n_{2cp}$  с помощью приложения А определите вещество, из которого сделана пластинка в лабораторной работе.

11. В выводе объясните полученные результаты.

## 8 Контрольные вопросы

1. Чем отличается геометрическая оптика от волновой?
2. Сформулируйте принцип Гюйгенса.
3. Опишите свет как электромагнитную волну.
4. Перечислите характеристики света.
5. В чем суть принципа Ферма?
6. Запишите формулу Снеллиуса.
7. Объясните закон преломления на основе принципа Гюйгенса.
8. Объясните закон преломления на основе принципа Ферма.
9. Объясните закон преломления на основе электромагнитной природы света.
10. Почему при переходе света через границу раздела двух диэлектриков изменяется его скорость?

## **Библиографический список**

1. Оселедчик, Ю.С. Физика: Модульный курс для технических вузов: учеб. пособие для бакалавров / Ю.С. Оселедчик, П.И. Самойленко. – М.: Издательство Юрайт; ИД Юрайт, 2013. – 526 с. – (Серия: Бакалавр. Базовый курс).

2. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. Рек. МО. – 17-е изд., стер. / Т.И. Трофимова. – М.: Издат. центр «Академия»: Высш. шк., 2010. – 560 с.

3. Детлаф, А.А. Курс физики: учеб. пособ. для втузов. Рек. МО. – 6-е изд., стер. / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Издат.центр "Академия", 2009. – 720 с.

## Приложение А

### Значения абсолютного показателя преломления для некоторых веществ

| Вещество               | Показатель преломления |
|------------------------|------------------------|
| Воздух                 | 1,00                   |
| Лед                    | 1,31                   |
| Вода                   | 1,33                   |
| Спирт                  | 1,36                   |
| Различные сорта стекла | 1,47–2,04              |
| Рубин                  | 1,76                   |
| Алмаз                  | 2,42                   |

Учебное издание

**Тинина** Елена Валериевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА  
НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ДВУХ ДИЭЛЕКТРИКОВ**

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Тираж 5 экз.  
Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета  
390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53