

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ"

ФАКУЛЬТЕТ ФИЗИКИ

**ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ**  
**"ПОЛЯРИЗАЦИЯ"**  
по курсу "Оптика"

Выполнила:

Фазлиахметова Олеся Камилевна

БФ3193

2 курс

Проверила:

Готовко С. К.

Москва  
26 апреля 2021 г.

# Содержание

<b>1. Цель работы</b>	<b>2</b>
<b>2. Оборудование</b>	<b>2</b>
<b>3. Теоретическое описание</b>	<b>2</b>
3.1. Поляризация . . . . .	2
3.2. Получение плоско-поляризованного света . . . . .	3
<b>4. Выполнение работы</b>	<b>4</b>
4.1. Определение поляризации света от источника. . . . .	4
4.2. Проверка справедливости закона Малюса. . . . .	4
4.3. Определение главных направлений пластинки по отношению к входному поляризатору . .	5
4.3.1. Пластинка $\lambda/2$ : . . . . .	5
4.3.2. Пластинка $\lambda/4$ : . . . . .	5
4.4. Определение степени поляризации после прохождения пластинок . . . . .	5
4.4.1. Пластинка $\lambda/2$ : . . . . .	5
4.4.2. Пластинка $\lambda/4$ : . . . . .	6
4.5. Определение типа пластинок . . . . .	6
4.5.1. Пластинка №1 . . . . .	6
4.5.2. Пластинка №2 . . . . .	6
4.6. Определение положения разрешенного направления в поляризаторе и угла Брюстера . .	6
4.7. Проверка справедливости формул Френеля . . . . .	7
<b>5. Вывод</b>	<b>8</b>

## 1. Цель работы

Перед началом выполнения работы были поставлены следующие цели:

### 1) Поляризация

- а) Определить поляризацию света от источника.
- б) Проверить справедливость закона Малюса.
- в) Определить главные направления пластинок  $\lambda/2$  и  $\lambda/4$  по отношению к входному поляризатору.
- г) Определить степень поляризации света после прохождения пластинок  $\lambda/2$  и  $\lambda/4$ , одна из осей которых повернута под углом  $45^\circ$  по отношению ко входному поляризатору. Для линейно поляризованного света определить также направление поляризации по отношению к разрешенному направлению входного поляризатора. Повторить для нескольких углов поворота пластинок.
- д) Определить тип ( $\lambda/2$  или  $\lambda/4$ ) для неизвестной пластинки.

### 2) Угол Брюстера и формулы Френеля

- а) С помощью черного зеркала (зеркала Ллойда) или стеклянной пластины определить положение разрешенного направления в поляризаторе.
- б) Определить величину угла Брюстера для черного зеркала или стеклянной пластинки и коэффициент преломления.
- в) Измерить интенсивность отраженного излучения для черного зеркала или стеклянной пластинки для различных углов падения и двух поляризаций (s и p). Проверить справедливость формул Френеля.

## 2. Оборудование

- 1) Лазер;
- 2) Поляризатор;
- 3) Пластины ( $\lambda/2$  и  $\lambda/4$ );
- 4) Подставки и крепления для элементов оптической схемы;
- 5) Линейки.
- 6) Черное зеркало

## 3. Теоретическое описание

### 3.1. Поляризация

Свет — это электромагнитная волна. Такие волны - поперечные, в них направления векторов  $E$  и  $H$  взаимно перпендикулярны и располагаются в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. При этом положение векторов  $E$  и  $H$  в световой волне в пространстве может различным

образом меняться со временем. Характер этого изменения говорит о поляризации света. Далее, для простоты будем следить только за вектором электрического поля  $E$ .

В простейшем случае направление вектора  $E$  в пространстве может меняться со временем случайным образом. Это справедливо для большинства обычных источников света, в которых излучение создается большим количеством некогерентно испускающих свет атомов. В таком случае говорят об **естественном или неполяризованном свете**.

Возможен также случай, когда ориентация вектора  $E$  не меняется со временем. Такой свет называется **линейно поляризованным** или, иначе, плоско поляризованным. В линейно поляризованной волне плоскость, в которой находятся вектор  $E$  и вектор направления распространения волны, называется плоскостью колебаний.

Колебания электрического поля в плоско поляризованной волне можно разложить на две взаимно перпендикулярных компоненты. В этом случае сдвиг фаз между колебаниями каждой из компонент равен нулю (или целому кратному  $\pi$ ). Однако, в самом общем случае, сдвиг фаз между ними может быть произвольным, тогда вектор  $E$  со временем будет описывать эллипс в пространстве. В этом случае говорят об эллиптически поляризованном свете. Если разность фаз колебаний составляет  $\pi/2$  (или кратен  $\pi/2$ ), вектор  $E$  описывает окружность и в этом случае говорят о **круговой поляризации света**.

Важно отметить отличие между эллиптически поляризованного и неполяризованного света. Несмотря на то, что в обоих случаях наблюдаются колебания электрического поля в любых взаимно перпендикулярных направлениях, в первом случае эти колебания происходят согласованно, с фиксированной разностью фаз. Во втором же случае эти колебания не согласованы.

Плоско-поляризованный свет обычно получают с помощью специальных устройств — поляризаторов. После прохождения естественного света через поляризатор, получается линейно поляризованный свет. Направление колебаний электрического вектора в полученном линейно поляризованном свете называется **разрешенным направлением поляризатора**. Также поляризатор можно использовать не только для получения света определенной поляризации, но и для определения его поляризации. В этом случае поляризатор могут называть анализатором.

### 3.2. Получение плоско-поляризованного света

Существует несколько способов получения плоско-поляризованного света.

На практике часто используются поляризаторы, чей принцип действия основан на явлении дихроизма, состоящее в различном поглощении света веществом в зависимости от поляризации. У некоторых кристаллов (например, у турмалина) различие коэффициента поглощения для света с перпендикулярными направлениями поляризации может быть настолько сильным, что даже при небольшой толщине кристалла при прохождении поглощается полностью одна из компонент. В итоге, на выходе получается линейно поляризованный свет.

Рассмотрим пластинку, изготовленную из материала, обладающего свойством двулучепреломления, стороны которой параллельной оптической оси материала. Из-за различия коэффициентов преломления свет с поляризацией вдоль оси и перпендикулярной ей проходит сквозь пластинку за разное время. Поэтому после прохождения пластинки появится разность фаз между по-разному поляризованными волнами. Если разность фаз после прохождения пластинки меняется на  $\pi/2$ , то ее называют четверть-волновой пластинкой или пластинкой  $\lambda/4$ . Если же изменение составляет  $\pi$ , то это полуволновая пластинка или пластинка  $\lambda/2$ . Важно отметить, что подобное справедливо только для определенной длины волны падающего света. Для других длин волн разность фаз будет отличаться: для больших длин волн разность фаз будет меньше, и наоборот, для меньших длин волн разность фаз будет больше.

## 4. Выполнение работы

### 4.1. Определение поляризации света от источника.

Если свет является суммой неполяризованного и линейно поляризованного, то его можно охарактеризовать степенью поляризации  $P$ , которой называется величина:

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (1)$$

где  $I_{max}$  и  $I_{min}$  – максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света, пропускаемого анализатором. Для естественного света она равна 0, для плоско поляризованного 1. Эллиптически поляризованный свет этой величиной характеризовать не принято.

Значения  $I_{min}$  и  $I_{max}$  для нашего лазера:  $I_{min} = 73 \pm 0.4$  мкВт,  $I_{max} = 638 \pm 3$  мкВт. Тогда  $P = 0.79 \pm 0.01$ . Вывод: наш свет не является естественным или плоско-поляризованным, он смешанный.

### 4.2. Проверка справедливости закона Малюса.

Интенсивность линейно поляризованного света  $I_0$ , после прохождения через анализатор, разрешенное направление которого составляет угол  $\alpha$  к плоскости колебаний, задается законом Малюса:

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

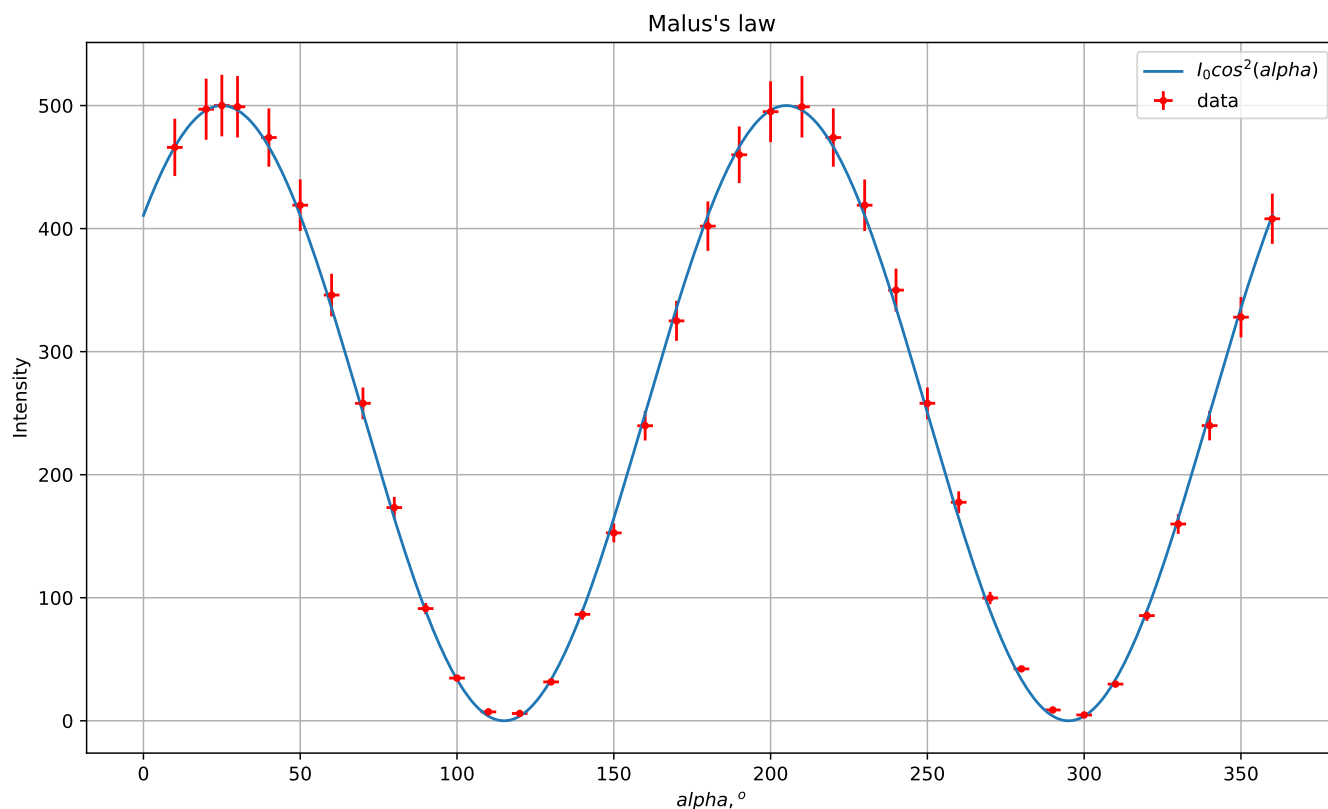


Рис. 1. Закон Малюса.

### 4.3. Определение главных направлений пластинки по отношению к входному поляризатору

#### 4.3.1. Пластика $\lambda/2$ :

Направление максимума:

Угол, °	Мощность, мкВт
$195 \pm 5$	$476 \pm 2$
$285 \pm 5$	$476 \pm 2$

Направление минимума:

Угол, °	Мощность, мкВт
$330 \pm 5$	$8.8 \pm 0.01$
$60 \pm 5$	$6.6 \pm 0.01$

#### 4.3.2. Пластика $\lambda/4$ :

Четвертьволновая пластина создает фазовый сдвиг величиной в четверть длины волны. Если входной пучок линейно поляризован, и плоскость поляризации расположена под углом  $45^\circ$  к быстрой или медленной оси волновой пластины, то выходное излучение будет поляризовано циркулярно.

Направление максимума:

Угол, °	Мощность, мкВт
$260 \pm 5$	$533 \pm 3$
$350 \pm 5$	$530 \pm 2$

Направление минимума (круговая поляризация):

Угол, °	Мощность, мкВт
$305 \pm 5$	$380 \pm 2$
$215 \pm 5$	$354 \pm 2$

### 4.4. Определение степени поляризации после прохождения пластинок

#### 4.4.1. Пластика $\lambda/2$ :

Для линейно поляризованного света определим направление поляризации по отношению к разрешенному направлению входного поляризатора:

Угол пластинки, °	Угол анализатора, °
$15 \pm 5$	$30 \pm 5$
$30 \pm 5$	$60 \pm 5$
$45 \pm 5$	$90 \pm 5$

Вывод: угол поляризации после прохождения пластинки в два раза больше угла поляризации после прохождения поляризатора.

Определим степень поляризации света после прохождения пластинки, ось которой повернута под углом  $45^\circ$  по отношению ко входному поляризатору:

$$\begin{aligned} I_{max} &= 466 \pm 3 \text{ мкВт} \\ I_{min} &= 6 \pm 0.01 \text{ мкВт} \end{aligned}$$

$$P = 0.97$$

#### 4.4.2. Пластика $\lambda/4$ :

Для линейно поляризованного света определим направление поляризации по отношению к разрешенному направлению входного поляризатора:

Угол пластинки, °	Угол анализатора, °
$90 \pm 5$	180
$90 \pm 5$	360
$180 \pm 5$	0

Определим степень поляризации света после прохождения пластинки, ось которой повернута под углом  $45^\circ$  по отношению ко входному поляризатору:

$$I_{max} = 301 \pm 2 \text{ мкВт}$$

$$I_{min} = 195 \pm 1 \text{ мкВт}$$

$$P = 0.21 \pm 0.01$$

### 4.5. Определение типа пластинок

#### 4.5.1. Пластика №1

Угол пластинки, °	Интенсивность, мкВт
$325 \pm 5$	$470 \pm 3$
$10 \pm 5$	$281 \pm 1$
$55 \pm 5$	$537 \pm 3$

#### 4.5.2. Пластика №2

Угол пластинки, °	Интенсивность, мкВт
$350 \pm 5$	$510 \pm 3$
$35 \pm 5$	$325 \pm 2$
$80 \pm 5$	$498 \pm 3$

Обе пластинки  $\lambda/4$

### 4.6. Определение положения разрешенного направления в поляризаторе и угла Брюстера

Определить направление разрешенных колебаний поляроида проще всего с помощью черного зеркала. При падении света на отражающую поверхность под углом Брюстера свет в отраженном луче полностью поляризован, а вектор **E** параллелен отражающей поверхности (р-поляризация). Луч света, прошедший поляроид и отразившийся от черного зеркала, имеет минимальную интенсивность при выполнении двух условий: во-первых, свет падает на отражающую поверхность под углом Брюстера, во-вторых, в падающем пучке вектор **E** лежит в плоскости падения. Вращая поляроид вокруг направления луча и черное зеркало вокруг направления оси, перпендикулярной лучу, находим минимальную яркость луча, отраженного от зеркала, и таким образом определяем разрешенное направление поляроида и угол Брюстера.

Соответственно, величина угла Брюстера связана с показателем преломления материала:

$$\tan \theta_i = n \quad (3)$$

Положение определенного направления в поляризаторе:

$$\alpha = 260 \pm 5^\circ$$

Угол Брюстера

$$\theta = 52 \pm 1^\circ$$

$$n = \operatorname{tg} 52 \pm 1^\circ = 1.28 \pm 0.05$$

#### 4.7. Проверка справедливости формул Френеля

В общем случае, прохождение и отражение света описывается формулами Френеля. Согласно этим соотношениям, коэффициент отражения зависит от поляризации падающей электромагнитной волны. Принято выделять s-поляризацию, когда вектор электрического поля перпендикулярен плоскости падения, и p-поляризацию, когда вектор электрического поля лежит в плоскости падения.

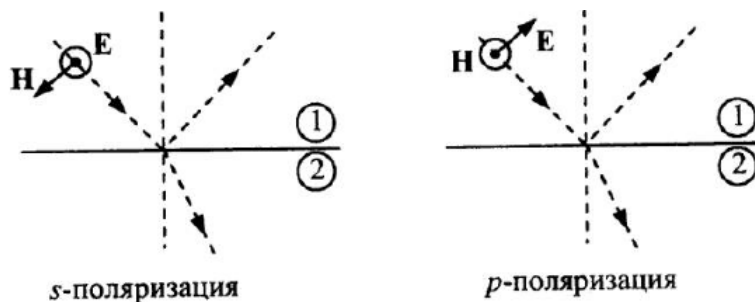


Рис. 1.7.1. Векторы  $E$  и  $H$  в падающей волне в некоторый момент времени: слева — s-поляризованная волна, справа — p-поляризованная волна. На рисунке кружок с точкой означает, что соответствующий вектор направлен «на нас»

Рис. 2.

Тогда, для случая падения электромагнитной волны из среды с показателем преломления  $n_1$  на плоскую границу со средой с показателем преломления  $n_2$  коэффициенты отражения равны:

$$R_s = \left| \frac{n_1 \cos \alpha - n_2 \cos \gamma}{n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \gamma} \right|^2 \quad (4)$$

$$R_p = \left| \frac{n_1 \cos \gamma - n_2 \cos \alpha}{n_1 \cos \gamma + n_2 \cos \alpha} \right|^2 \quad (5)$$

где  $\alpha$ ,  $\gamma$  — соответственно угол падения и угол прохождения.

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma_s = 0.06$$

$$\sigma_p = 0.03$$



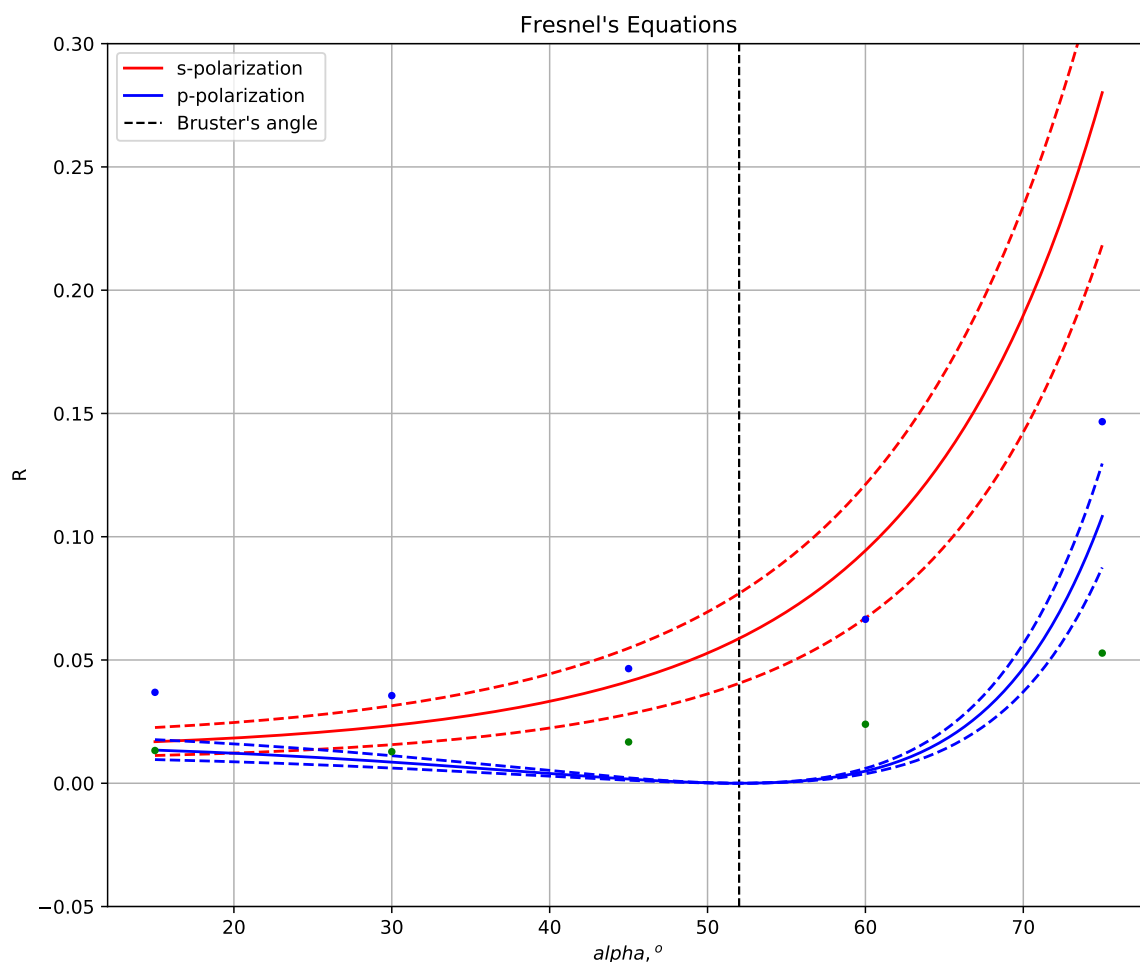


Рис. 3. Уравнения Френеля

## 5. Вывод

В ходе работы мы

### 1) Поляризация

- а) Определили поляризацию света от источника.
- б) Проверили справедливость закона Малюса.
- в) Определили главные направления пластинок  $\lambda/2$  и  $\lambda/4$  по отношению к входному поляризатору.
- г) Определили степень поляризации света после прохождения пластинок  $\lambda/2$  и  $\lambda/4$ , одна из осей которых повернута под углом  $45^\circ$  по отношению ко входному поляризатору. Для линейно поляризованного света определили также направление поляризации по отношению к разрешенному направлению входного поляризатора. Повторили для нескольких углов поворота пластинок.

д) Определили тип ( $\lambda/2$  или  $\lambda/4$ ) для неизвестной пластинки.

### 2) Угол Брюстера и формулы Френеля

- а) С помощью черного зеркала (зеркала Ллойда) определили положение разрешенного направления в поляризаторе.
- б) Определили величину угла Брюстера для черного зеркала и коэффициент преломления.
- в) Измерили интенсивность отраженного излучения для черного зеркала для различных углов падения и двух поляризаций (s и p). Проверили справедливость формул Френеля.