

Лабораторная работа 4.09

Исследование поляризации света (стопа Столетова)

Выполнил: Коняхин Всеволод Владимирович, М32051

Краткие теоретические сведения

Поляризация света - это свойство света, проявляющееся в пространственно временной упорядоченности ориентации электрического и магнитного векторов процесса получения поляризованного света.

Свет, в котором направление колебаний светового вектора какимто образом упорядочено, называется поляризованным. Если в результате каких-то внешних воздействий появляется преимущественное, но не единственное направление колебаний вектора E , то такой свет называют частично поляризованным.

Свет, в котором вектор E колеблется только в одном выделенном направлении, перпендикулярном лучу, называется линейно поляризованным

Плоскость, проходящая через направление колебаний светового вектора плоскополяризованной волны и направление распространения этой волны, называется плоскостью поляризации.

Естественный свет можно превратить в плоскополяризованный с помощью устройства, которое называют поляризатором.

Закон Малюса

$I = I_0 \cos^2 \phi$, где ϕ - угол между направлениями пропускания поляризатора и направлением колебаний светового вектора, I_0 - интенсивность падающего на поляризатор света, I - интенсивность прошедшего через поляризатор света.

Формулы Френеля

Количественные соотношения между интенсивностями падающего, отраженного и прошедшего света можно получить из граничных условий для напряженностей электрического и магнитного полей на границе раздела двух диэлектриков. Эти соотношения были получены Френелем и носят название формул Френеля.

Коэффициент отражения $R = \frac{I_{refl}}{I_{fal}}$

Если учитывать, что интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды, выразим коэффициенты отражения для продольной и поперечной составляющих:

$$R_{\parallel} = \left(\frac{E_{refl}^{\parallel}}{E_{fal}^{\parallel}} \right)^2 = \frac{\tan^2(\phi - \psi)}{\tan^2(\phi + \psi)}$$

$$R_{\perp} = \left(\frac{E_{refl}^{\perp}}{E_{fal}^{\perp}} \right)^2 = \frac{\sin^2(\phi - \psi)}{\sin^2(\phi + \psi)}$$

Степень поляризации света зависит от угла падения лучей и показателя преломления. Шотландский физик Д. Брюстер (1781-1868) установил закон, согласно которому при угле падения ϕ_{br} (угол Брюстера), определяемом соотношением:

$$\tan \phi_{br} = n_{21},$$

где n_{21} - это показатель преломления второй среды относительно первой, отражённый луч является плоскополяризованным (содержит только колебания, перпендикулярные плоскости падения).

Преломлённый же луч, при угле падения ϕ_{br} поляризуется максимально, но не полностью. Если свет падает на границу раздела под углом Брюстера, то отражённый и преломлённый лучи взаимно перпендикулярны.

$$\tan \phi_{br} = \frac{\sin \phi_{br}}{\cos \phi_{br}}; \quad n_{21} = \frac{\sin \phi_{br}}{\sin \psi}$$

$$\cos \phi_{br} = \sin \psi$$

$$\phi_{br} + \psi = \frac{\pi}{2}$$

Степень поляризации преломленного света может быть значительно повышена многократным преломлением при условии падения света каждый раз на границу раздела под углом Брюстера. Если, например, для стекла $n = 1,53$, степень поляризации преломленного луча составляет $\approx 15\%$, то после преломления на 8-10 наложенных друг на друга стеклянных пластинках, вышедший из такой системы свет будет практически полностью поляризованным. Такая совокупность пластинок называется стопой Столетова. Стопа может служить для анализа поляризованного света как при его отражении, так и при его преломлении.

Цель работы

Изучение поляризованного света и определение показателей преломления.

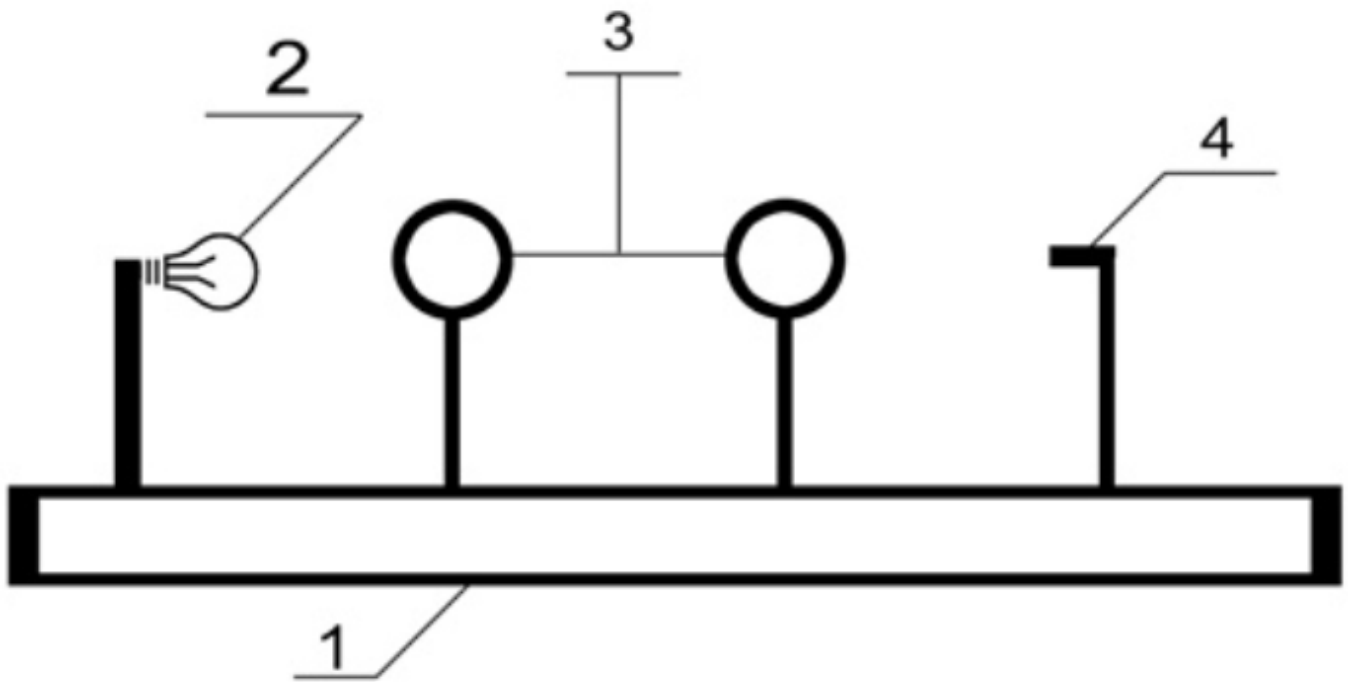
Рабочие формулы и исходные данные

Формулы

$$I = I_0 \cos^2 \phi$$

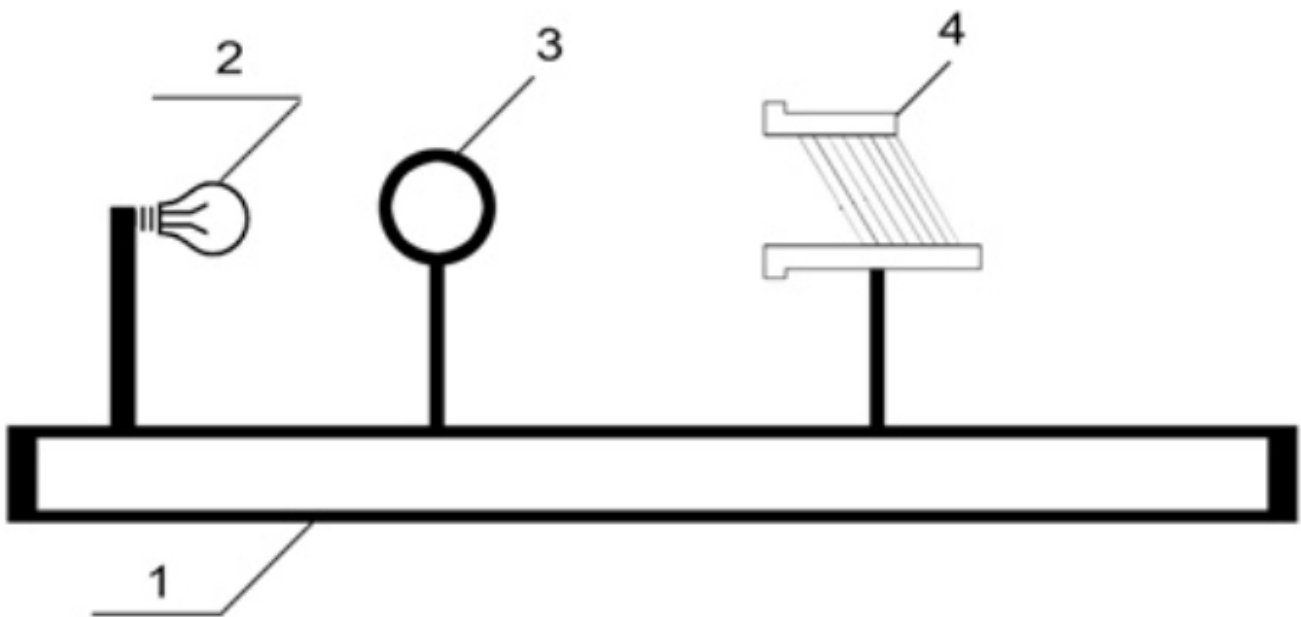
Схема установки

Изучение закона Малюса



1 - Оптическая скамья, 2 - Источник света, 3 - Два рейтера с поляроидами, 4 - Рейтер с фоторезистором

Изучение поляризованного света с помощью стопы Столетова



In [1]:

```
import sympy
import scipy
import numpy as np
import pandas as pd
from scipy.signal import argrelextrema
import matplotlib.pyplot as plt
plt.rcParams["figure.figsize"] = (10,5)
%matplotlib inline
```

Результаты измерений и расчеты

Экспериментальные значения при изучение закона Малюса

α - градус угла поворота анализатора, I - интенсивность света на анализаторе (фототок через фотоприемник)

In [40]:

```
df1 = pd.DataFrame({
    'α, градусы': [i * 10 for i in range(19)],
    'I, мкА': [72.3, 71.3, 65.8, 60.3, 50.1, 39.4, 26.5,
               14.7, 6.5, 2.5, 4.7, 12.3, 24.5, 36.8, 47.4,
               56.8, 64.4, 69.1, 70.4]
})

df1['cos α'] = np.cos(df1['α, градусы'] * np.pi / 180)
df1['cos^2 α'] = np.cos(df1['α, градусы'] * np.pi / 180) ** 2

df1
```

Out[40]:

	α, градусы	I, мкА	cos α	cos ² α
0	0	72.3	1.000000e+00	1.000000e+00
1	10	71.3	9.848078e-01	9.698463e-01
2	20	65.8	9.396926e-01	8.830222e-01
3	30	60.3	8.660254e-01	7.500000e-01
4	40	50.1	7.660444e-01	5.868241e-01
5	50	39.4	6.427876e-01	4.131759e-01
6	60	26.5	5.000000e-01	2.500000e-01
7	70	14.7	3.420201e-01	1.169778e-01
8	80	6.5	1.736482e-01	3.015369e-02
9	90	2.5	6.123234e-17	3.749399e-33
10	100	4.7	-1.736482e-01	3.015369e-02
11	110	12.3	-3.420201e-01	1.169778e-01
12	120	24.5	-5.000000e-01	2.500000e-01
13	130	36.8	-6.427876e-01	4.131759e-01
14	140	47.4	-7.660444e-01	5.868241e-01
15	150	56.8	-8.660254e-01	7.500000e-01
16	160	64.4	-9.396926e-01	8.830222e-01
17	170	69.1	-9.848078e-01	9.698463e-01
18	180	70.4	-1.000000e+00	1.000000e+00

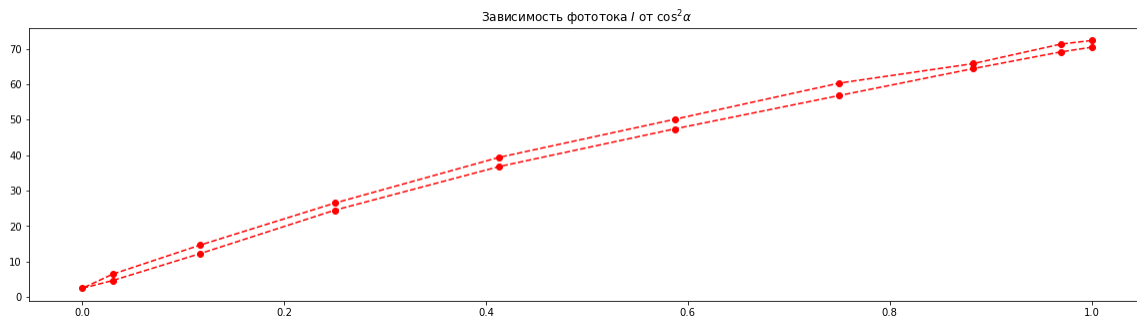
Построение графика фототока I от $\cos^2 \alpha$

In [41]:

```
fig, ax = plt.subplots(figsize=(20, 5))
ax.set_title('Зависимость фототока $I$ от $\cos^2 \alpha$')

ax.scatter(df1['$\cos^2 \alpha$'], df1['$I$, мкА'], c='r')
ax.plot(df1['$\cos^2 \alpha$'], df1['$I$, мкА'], 'r--')

plt.show()
```



Экспериментальные значения при изучении поляризованного света с помощью стопы Столетова

α - угол падения поляризованного луча света из поляризатора к нормали поверхности стопы Столетова,

$i_{refr}^{(p)}$ - интенсивность прошедшего p -поляризованного света

$i_{refl}^{(p)}$ - интенсивность отраженного p -поляризованного света

$i_{refr}^{(s)}$ - интенсивность прошедшего s -поляризованного света

$i_{refl}^{(s)}$ - интенсивность отраженного s -поляризованного света

In [50]:

```
df2 = pd.DataFrame({
    'α, градусы': [i for i in range(5, 90, 5)],
    '$i_{refr}^{(p)}$, мкА': [
        2.75, 3.48, 3.32, 3.05, 2.68, 2.2, 1.7, 1.11, 0.58,
        5.01, 4.22, 0.61, 0.59, 0.65, 0.34, 0.18, 0.12],
    '$i_{refl}^{(p)}$, мкА': [
        3.4, 3.26, 3.34, 3.43, 3.11, 4.11, 4.58, 5.38, 6.35,
        1.4, 1.51, 6.3, 6.77, 6.8, 6.14, 6.17, 6.52],
    '$i_{refr}^{(s)}$, мкА': [
        3.32, 3.24, 3.37, 3.57, 3.83, 4.15, 4.35, 4.73, 5.1,
        5.56, 6.7, 7.13, 7.72, 7.33, 7.83, 7.62, 7.85],
    '$i_{refl}^{(s)}$, мкА': [
        2.83, 2.7, 2.53, 2.28, 2.01, 1.73, 1.71, 1.48, 1.11,
        0.91, 0.65, 0.51, 0.37, 0.33, 0.44, 0.17, 0.1],
})

df2
```

Out[50]:

α , градусы	$i_{refr}^{(p)}$, мкА	$i_{refl}^{(p)}$, мкА	$i_{refr}^{(s)}$, мкА	$i_{refl}^{(s)}$, мкА	
0	5	2.75	3.40	3.32	2.83
1	10	3.48	3.26	3.24	2.70
2	15	3.32	3.34	3.37	2.53
3	20	3.05	3.43	3.57	2.28
4	25	2.68	3.11	3.83	2.01
5	30	2.20	4.11	4.15	1.73
6	35	1.70	4.58	4.35	1.71
7	40	1.11	5.38	4.73	1.48
8	45	0.58	6.35	5.10	1.11
9	50	5.01	1.40	5.56	0.91
10	55	4.22	1.51	6.70	0.65
11	60	0.61	6.30	7.13	0.51
12	65	0.59	6.77	7.72	0.37
13	70	0.65	6.80	7.33	0.33
14	75	0.34	6.14	7.83	0.44
15	80	0.18	6.17	7.62	0.17
16	85	0.12	6.52	7.85	0.10

Построение графика зависимости фототоков $i_{refr}^{(p)}$, $i_{refl}^{(p)}$, $i_{refr}^{(s)}$, $i_{refl}^{(s)}$ от α

In [63]:

```
fig, ax = plt.subplots(figsize=(20, 5))
ax.set_title('Зависимость фототоков  $i_{\text{refr}}^{(p)}$ ,  $i_{\text{refl}}^{(p)}$ ,  $i_{\text{refr}}^{(s)}$ ,  $i_{\text{refl}}^{(s)}$  от  $\alpha$ ')

ax.scatter(df2[' $\alpha$ , градусы'], df2[' $i_{\text{refl}}^{(s)}$ , мкА'], c='r')
ax.plot(df2[' $\alpha$ , градусы'], df2[' $i_{\text{refl}}^{(s)}$ , мкА'], 'r--', label=' $i_{\text{refl}}^{(s)}$ ')

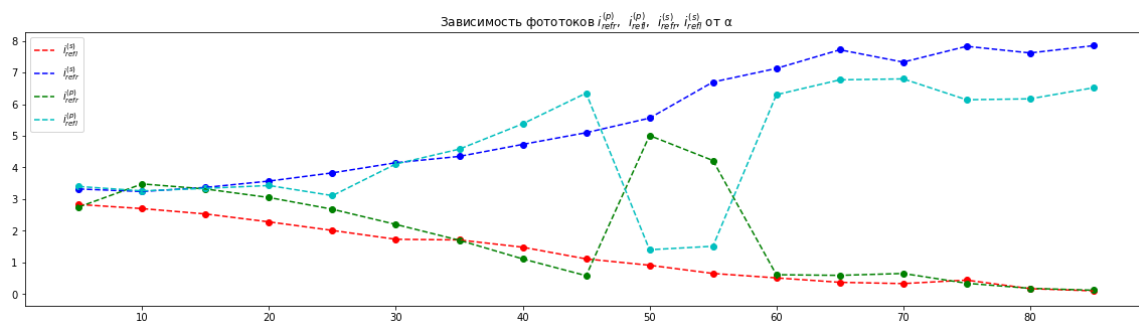
ax.scatter(df2[' $\alpha$ , градусы'], df2[' $i_{\text{refr}}^{(s)}$ , мкА'], c='b')
ax.plot(df2[' $\alpha$ , градусы'], df2[' $i_{\text{refr}}^{(s)}$ , мкА'], 'b--', label=' $i_{\text{refr}}^{(s)}$ ')

ax.scatter(df2[' $\alpha$ , градусы'], df2[' $i_{\text{refr}}^{(p)}$ , мкА'], c='g')
ax.plot(df2[' $\alpha$ , градусы'], df2[' $i_{\text{refr}}^{(p)}$ , мкА'], 'g--', label=' $i_{\text{refr}}^{(p)}$ ')

ax.scatter(df2[' $\alpha$ , градусы'], df2[' $i_{\text{refl}}^{(p)}$ , мкА'], c='c')
ax.plot(df2[' $\alpha$ , градусы'], df2[' $i_{\text{refl}}^{(p)}$ , мкА'], 'c--', label=' $i_{\text{refl}}^{(p)}$ ')

ax.legend()

plt.show()
```



По графику видно, что свет становится поляризованным в промежутке от 50 до 60 градусов.

Тогда $\phi_{br} = 55^\circ$, а значит $n = \tan \phi_{br} = \tan 55^\circ = 1.43$

Выводы и анализ результатов работы

В ходе данной работы было проведено исследование поляризации света.

Первая часть данной лабораторной заключалась в проверки закона Малюса, при установке с двумя поляроидами, первый из которых служил поляризатором проходящего света, а второй анализатором. При вращении анализатора были получены 19 точек, с помощью которых можно проверить зависимость фототока I через анализатор от $\cos^2 \alpha$. Поскольку итоговая зависимость получилась линейной с учетом погрешности, можно утверждать, что закон Малюса выполняется, а именно $I = I_0 \cos^2 \alpha$

Во второй части данной работы предлагалось изучить поляризованный свет с помощью стопы Столетова. Для всевозможных углов падения луча света из поляризатора к нормали поверхности стопы были измерены фототоки отраженного и прошедшего света для s и p компонент поляризованного света. По полученному графику был определен ϕ_{br} , показатель преломления материала n . Значения получились равными 55° градусов и 1.43, соответственно