

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)»

кафедра физики

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № 6

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНО
ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА»**

Выполнил

Группа

Преподаватель

Санкт-Петербург

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: проверка закона Малюса; определение степени поляризации света

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: установка для исследования линейно поляризованного света.

ЭСКИЗ ИЛИ СХЕМА УСТАНОВКИ:

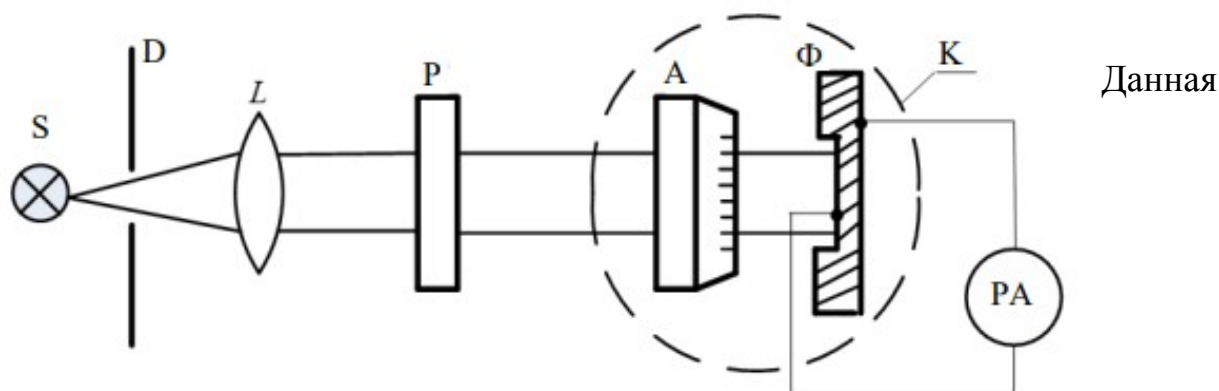


Рис. 6.1. Установка для проверки закона Малюса

установка состоит из источника естественного света S (лампа накаливания), диафрагмы D , линзы L , сменных светофильтров C , поляризатора P , анализатора A , фотоэлемента Φ и микроамперметра $РА$. Угол φ между главными сечениями поляризатора и анализатора можно изменять вращением анализатора вокруг оси, совпадающей с оптической осью установки. Угловое положение главного сечения анализатора определяется по шкале, находящейся на его корпусе.

Сила тока в цепи фотоэлемента пропорциональна интенсивности света I , падающего на фотоэлемент. Интенсивность света, прошедшего через анализатор, измеряется в условных единицах (делениях шкалы микроамперметра).

ИССЛЕДУЕМЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

В электромагнитной волне, распространяющейся в безграничном пространстве, векторы напряженности электрического \mathbf{E} и магнитного \mathbf{H} полей перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, определяемому волновым вектором \mathbf{k} , т.е. электромагнитная волна является поперечной. Плоскость, в которой лежат векторы \mathbf{E} и \mathbf{k} , называется *плоскостью колебаний*, а перпендикулярная ей плоскость, в которой лежат векторы \mathbf{H} и \mathbf{k} , – *плоскостью поляризации*.

Если положение плоскости колебаний неизменно во времени, то волна называется плоско или линейно поляризованной. Возможны и другие типы поляризации поперечной волны, при которых колебания вектора \mathbf{E} , оставаясь в плоскости, перпендикулярной направлению распространения, имеют более сложный характер (конец вектора описывает эллипс или окружность). Волна имеет тогда *эллиптическую* или *круговую поляризацию*.

Световые волны суть электромагнитные волны с длинами волн от 400 до 760 нм. Свет от обычных (не лазерных) источников (например, от нити накаливания ламп) представляет собой совокупность большого числа *волновых пакетов* (*цугов* волн), каждый из которых является результатом единичного акта испускания электромагнитного излучения атомом вещества. Электромагнитная волна в каждом волновом пакете линейно поляризована. Отсутствие взаимосвязи между актами испускания различных атомов приводит к тому, что плоскости колебаний различных волновых пакетов ориентированы случайным образом. Такой распространяющийся от источника свет называется *естественным*. В естественном свете все ориентации взаимно перпендикулярных векторов \mathbf{E} и \mathbf{H} в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, равновероятны и плоскость поляризации меняется хаотически. Если положение плоскости колебаний в световой волне каким-либо образом упорядочено, то свет *поляризован* (*частично поляризован*).

Получение поляризованного света возможно при разнообразных физических эффектах – прохождении света через анизотропные среды, отражении от диэлектриков и др. Устройства для получения поляризованного света называются поляризаторами. Поляризаторы пропускают колебания, параллельные плоскости, называемой плоскостью поляризатора, и полностью или частично задерживают колебания, перпендикулярные этой плоскости.

Поляризация при двойном лучепреломлении. Если электромагнитная волна падает на границу раздела двух *изотропных* сред, то во второй среде имеется только одна волна, распространяющаяся по «обычным» законам преломления. Если вторая среда *анизотропна*, т.е. ее свойства (в частности, диэлектрическая проницаемость) различны вдоль разных направлений, то во второй среде распространяются *две* различно преломленных волны (*обыкновенная* и *необыкновенная*) с разными скоростями. Это явление называется *двойным лучепреломлением*. Обыкновенная и необыкновенная волны линейно поляризованы, и плоскости их колебаний взаимно перпендикулярны. Эффект двойного лучепреломления света наблюдается в прозрачных анизотропных кристаллах. У одноосных кристаллов (исландский шпат, турмалин) имеется направление (*оптическая ось*), вдоль которого обе

волны распространяются с одинаковой скоростью. Плоскость, проведенная через оптическую ось кристалла и направление распространения света, называется главным сечением кристалла. Колебания вектора E в обыкновенной волне перпендикулярны плоскости главного сечения кристалла, в необыкновенной – совершаются в плоскости главного сечения.

Одним из широко распространенных поляризаторов света является *призма Николя* (рис. 6.2), изготовленная специальным образом из исландского шпата так, что необыкновенная e волна проходит через призму, а обыкновенная o претерпевает на прослойке AA' из канадского бальзама полное отражение и поглощается зачерненной гранью $A'C$.

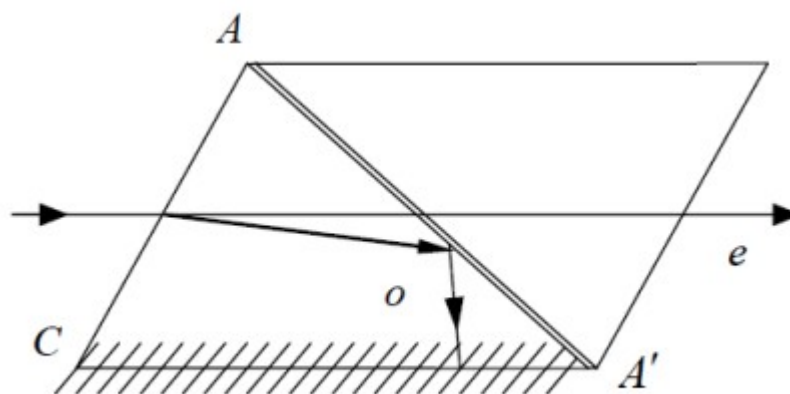


Рис. 6.2. Поляризатор (призма Николя)

В некоторых кристаллах одна из преломленных волн поглощается больше, чем другая (*явление дихроизма*). Турмалин, например, поглощает почти полностью обыкновенную волну в слое толщиной 1 мм. Явление дихроизма положено в основу *поляроидов* – одного из видов поляризаторов. Используемые в лаборатории поляроиды представляют собой тонкие целлулоидные пленки с введенными в них и одинаковым образом ориентированными кристалликами сульфата йодистого хинина. В таких поляроидах одна из плоско поляризованных волн поглощается при толщине пленки около 1 мм. Пленка защищена от механических повреждений и действия влаги пластинками из стекла.

Закон Малюса. Пусть на анализатор падает плоско поляризованная волна с амплитудой напряженности электрического поля E_1 , плоскость колебаний которой (волны) образует с плоскостью главного сечения поляризатора угол φ (рис. 6.3). Интенсивность волны пропорциональна квадрату напряженности электрического поля. На выходе анализатора амплитуда напряженности электрического поля будет равна $E_1 \cos \varphi$, а интенсивность света пропорциональна $(E_1 \cos \varphi)^2$.

Таким образом,

$$I = I_1 \cos^2 \varphi \quad (6.1)$$

Соотношение (6.1) представляет собой закон Малюса.

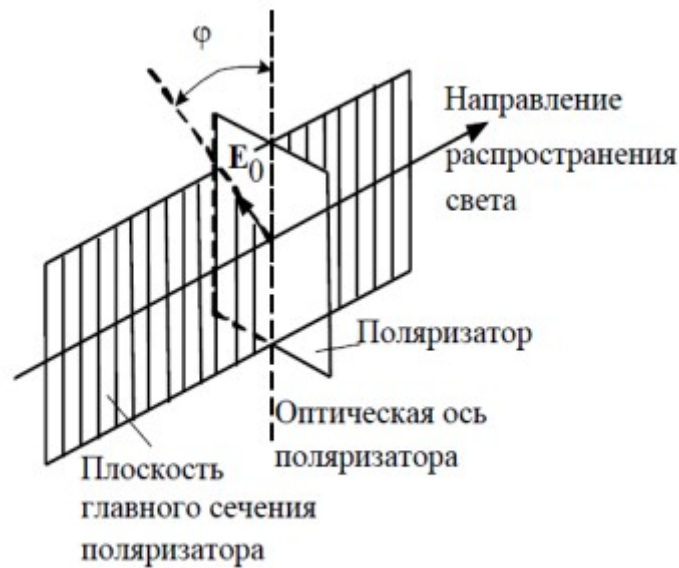


Рис. 6.3. К обоснованию закона Малюса

Если на поляризатор падает естественный свет с интенсивностью I_0 , то все значения φ равновероятны и доля света, прошедшего через поляризатор, будет равна среднему значению $\langle \cos^2 \varphi \rangle = \frac{1}{2}$. При вращении поляризатора вокруг направления естественного луча интенсивность света остается постоянной, а изменяется лишь направление плоскости колебаний света, выходящего из прибора. Интенсивность прошедшего света, регистрируемая детектором, при этом остается постоянной и равной $\frac{I_0}{2}$. Если после первого поляризатора установить второй однопольный поляризатор, называемый анализатором, то интенсивность на выходе анализатора будет изменяться по закону Малюса (6.1):

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi = \frac{I_0}{2} \cos^2 \varphi,$$

где I_0 и I_1 – интенсивности естественного и линейно поляризованного света на входе первого и второго поляризаторов соответственно; φ – угол между плоскостями поляризатора и анализатора.

Частично поляризованный свет. Степень поляризации. Идеальных поляризационных устройств не бывает, и полученные с помощью реальных поляризационных устройств световые пучки всегда частично поляризованы, то есть представляют смесь поляризованного и неполяризованного света с интенсивностями I_n и I_e . Для характеристики частично поляризованных световых пучков вводят понятие *степени поляризации*, под которой

понимают отношение интенсивности поляризованной составляющей к полной интенсивности светового пучка на выходе поляризатора:

$$P = \frac{I_n}{I_n + I_e}$$

Этому выражению можно придать другой вид. Если такой частично поляризованный свет пропустить через анализатор, то при вращении прибора вокруг направления луча интенсивность света на его выходе будет изменяться в пределах от $I_{max} = I_n + I_e/2$ до $I_{min} = I_e/2$ при параллельных ($\varphi = 0$) и взаимно перпендикулярных ($\varphi = 90$) плоскостях поляризатора и анализатора соответственно. При этом учтен тот факт, что поляризованная и естественная составляющие при прохождении через анализатор линейно поляризованы и изменяются в соответствии с законом Малюса:

$$I(\varphi) = I_n \cos^2 \varphi + I_e \langle \cos^2 \varphi \rangle = I_n \cos^2 \varphi + \frac{I_e}{2} \quad (6.2)$$

Выразив $I_n = I_{max} - I_{min}$ и $I_e = 2I_{min}$ через I_{max} и I_{min} , получим

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (6.3)$$

Для плоско поляризованного света $I_{min} = 0$

ПРОТОКОЛ НАБЛЮДЕНИЙ
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА

Значения I_{max} и I_{min} в пределах полного оборота анализатора

| N | β_{max} | $\varphi_{max} = \beta_{max} - \beta_{max1} $ | I_{max} | β_{min} | $\varphi_{min} = \beta_{min} - \beta_{max1} $ | I_{min} | θ_1 |
|---|---------------|--|-----------|---------------|--|-----------|------------|
| 1 | | | | | | | 0,5 дел |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |

Проверка закона Малюса

| $\beta = \zeta$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
|---|----|----|----|-----|-----|----|
| $\varphi = \beta - \beta_{max1} $ | | | | | | |
| $I(\varphi)$, дел | | | | | | |
| $I(\varphi)_{эксн} = I(\varphi) - I_T$, дел | | | | | | |
| $y_э(\varphi) = \frac{I(\varphi)_{эксн}}{I_{max}}$ | | | | | | |
| $b = \frac{I_{min}}{I_{max}} = , a = \frac{I_n}{I_{max}} = 1 - b = \zeta$ | | | | | | |
| $y_T(\varphi) = \frac{I(\varphi)_{теор}}{I_{max}} = a \cos^2 \varphi$ | | | | | | |
| 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | |

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| $b = \frac{I_{min}}{I_{max}} = , a = \frac{I_n}{I_{max}} = 1 - b = i$ | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| $b = \frac{I_{min}}{I_{max}} = , a = \frac{I_n}{I_{max}} = 1 - b = i$ | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| $b = \frac{\bar{I}_{min}}{\bar{I}_{max}} = , a = \frac{\bar{I}_n}{\bar{I}_{max}} = 1 - b = \dot{i}$ | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| $b = \frac{\bar{I}_{min}}{\bar{I}_{max}} = , a = \frac{\bar{I}_n}{\bar{I}_{max}} = 1 - b = \dot{i}$ | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 240 | 250 | 260 | 270 | 280 | 290 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| $b = \frac{\bar{I}_{min}}{\bar{I}_{max}} = , a = \frac{\bar{I}_n}{\bar{I}_{max}} = 1 - b = \dot{i}$ | | | | | |
| | | | | | |

| | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 300 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 360 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| $b = \frac{\bar{I}_{min}}{\bar{I}_{max}} = , a = \frac{\bar{I}_n}{\bar{I}_{max}} = 1 - b = \dot{i}$ | | | | | | |
| | | | | | | |