

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

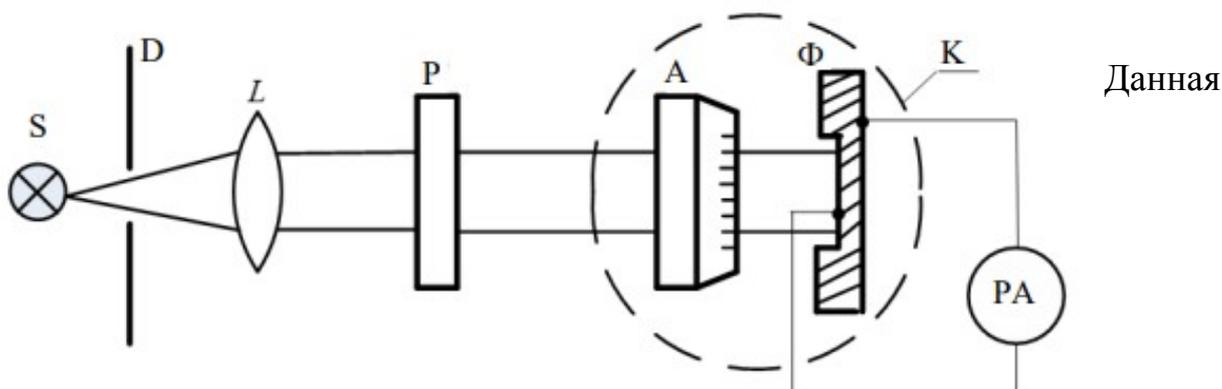
Санкт-Петербург

## 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  $\Phi$  и микроамперметра  $PA$ . Угол  $\varphi$  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  $A'C$ .

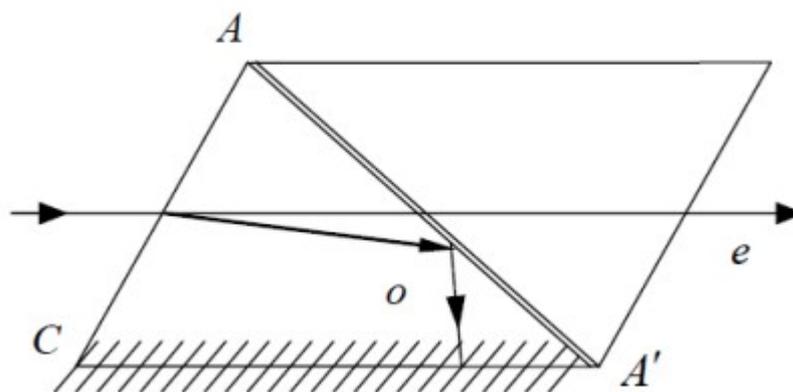


Рис. 6.2. Поляризатор (призма Николя)

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  $\varphi$  (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.

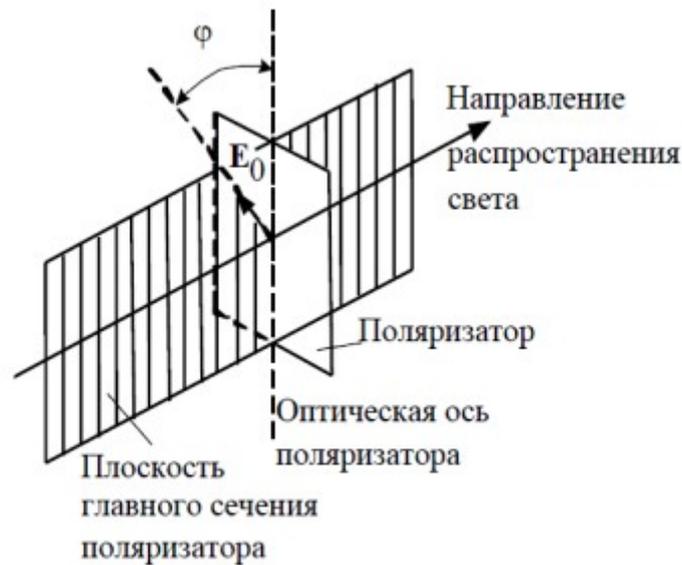


Рис. 6.3. К обоснованию закона Малюса

Если на поляризатор падает естественный свет с интенсивностью  $I_0$ , то все значения  $\varphi$  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;  $\varphi$  – 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	$\beta_{max}$	$\varphi_{max} =  \beta_{max} - \beta_{max1} $	$I_{max}$	$\beta_{min}$	$\varphi_{min} =  \beta_{min} - \beta_{max1} $	$I_{min}$	$\theta_1$
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
-----	-----	-----	-----	-----	-----

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

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

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