

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)**  
**Кафедра физики**

**ОТЧЕТ**  
**по лабораторной работе №6**  
**по дисциплине «физика»**  
**Тема: «Исследование линейно поляризованного света»**

Студент гр. 0402

Акимов Н.А.

Преподаватель

Лоскутников В.С.

Санкт-Петербург

2021

## Лабораторная работа 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНО ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА

**Цели работы:** проверка закона Малюса; определение степени поляризации света.

**Экспериментальная установка** (рис. 6.1) 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.

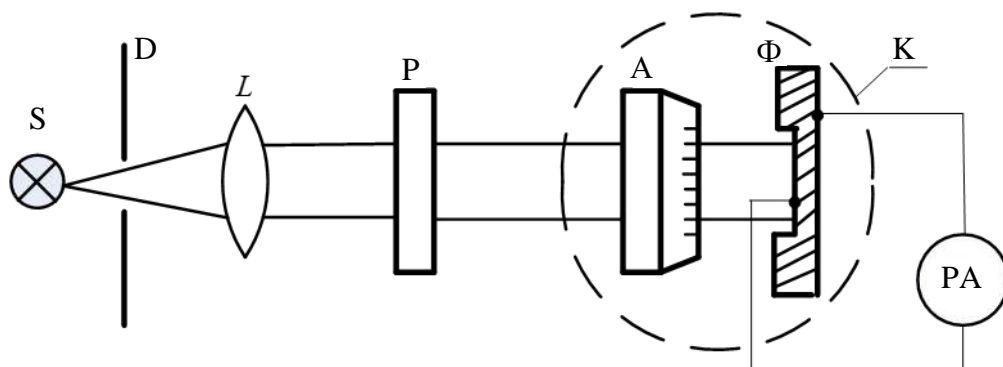


Рис. 6.1. Установка для проверки закона Малюса

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

### Общие сведения

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  $\mathbf{k}$ , – *плоско-*

*стью 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 перпен-

дикулярны. 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  $\mathbf{E}$  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  $A'C$ .

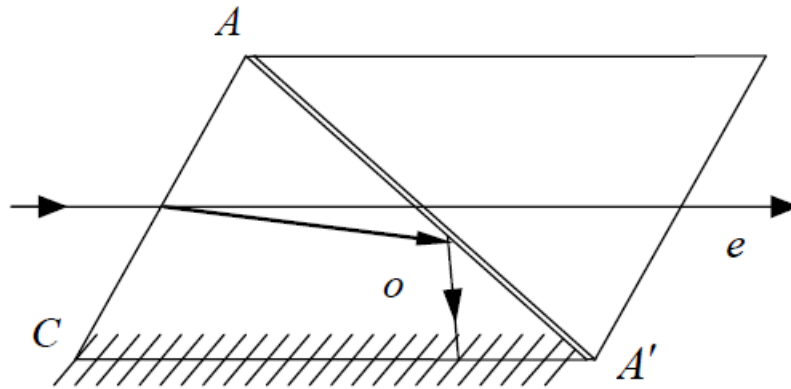


Рис. 6.2. Поляризатор (призма Николя)

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 по-

ляризатора угол  $\varphi$  (рис. 7.2). 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.

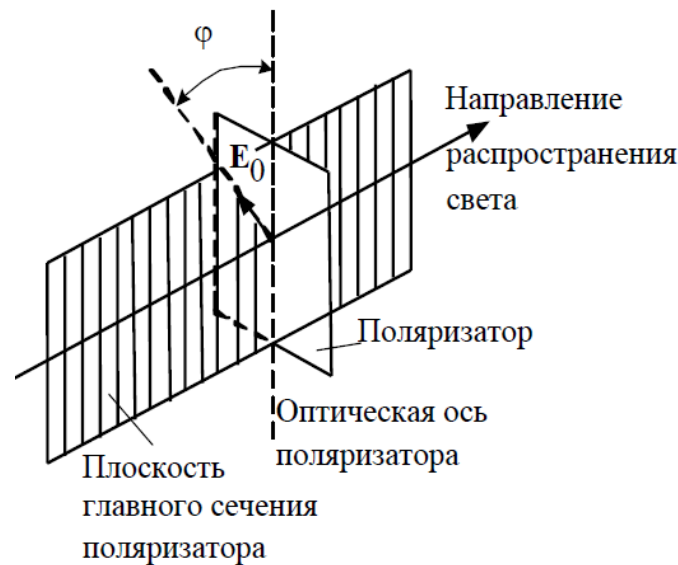


Рис. 6.3. К обоснованию закона Малюса

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  $\langle \cos^2 \varphi \rangle = 1/2$ . 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  $I_0/2$ . Если после первого поляризатора установить второй однотипный поляризатор, называемый анализатором, то интенсивность на выходе анализатора будет изменяться по закону Малюса (6.1):

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi = (I_0/2) \cos^2 \varphi,$$

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  $I_{\parallel}$  и  $I_{\perp}$ . 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:

$$P = I_{\parallel} / (I_{\parallel} + I_{\perp})$$

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  $I_{\max} = I_{\parallel} + I_{\perp}/2$  до  $I_{\min} = I_{\perp}/2$  при параллельных ( $\varphi = 0^\circ$ ) и взаимно перпендикулярных ( $\varphi = 90^\circ$ ) 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:

$$I(\varphi) = I_{\parallel} \cos^2 \varphi + I_{\perp} \langle \cos^2 \varphi \rangle = I_{\parallel} \cos^2 \varphi + I_{\perp}/2 \quad (6.2)$$

Выразив  $I_{\parallel} = I_{\max} - I_{\min}$  и  $I_{\perp} = 2I_{\min}$  через  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$ , получим

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

Для плоско поляризованного света  $I_{\min} = 0$  и  $P = 1$ .

Лабораторная работа №6  
 Протокол наблюдений

Таблица 6.1

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	97°	0°	83	305	90°	35	0,5 дел
2	228°	181°	83	145	98	35	
3	49°	2°	83	310	263	35	
4	229°	182°	83	144	97	35	
5	48°	1°	83	307	260	35	
6	230°	183	83	147	100	35	

Таблица 6.2

Проверка закона Малюса.  $I_T = 6$  дел

$\beta, \dots$	0	10	20	30	40
$\varphi =  \beta - \beta_{max1} , \dots$	49	37	27	17	7
$I(\varphi), \text{ дел}$	62	69	75	79	80
$I(\varphi)_{\text{эксп}} = I(\varphi) - I_T, \text{ дел}$	56	63	69	73	74
$y_3(\varphi) = I(\varphi)_{\text{эксп}} / \bar{I}_{max}$	0,67	0,76	0,83	0,88	0,89
$b = \bar{I}_{min} / \bar{I}_{max} = 0,42, a = \bar{I}_0 / \bar{I}_{max} = 1 - b = 0,58$					
$y_T(\varphi) = \frac{I(\varphi)_{\text{теор}}}{\bar{I}_{max}} = a \cos^2 \varphi + b$	0,68	0,79	0,88	0,95	0,99

Bobol

50	60	70	80	90	100	110	120
3	13	23	33	43	53	63	73
79	77	75	67	59	51	43	36
73	71	67	61	53	45	37	30
0,88	0,86	0,81	0,73	0,64	0,54	0,45	0,36
0,99	0,97	0,91	0,83	0,73	0,63	0,54	0,47

130	140	150	160	170	180	190	200
83	93	103	113	123	133	143	153
32	34	38	45	53	60	68	74
26	29	32	39	47	54	62	68
0,31	0,34	0,39	0,47	0,57	0,65	0,75	0,82
0,43	0,42	0,45	0,51	0,59	0,69	0,79	0,88

210	220	230	240	250	260	270	280
163	173	183	193	203	213	223	233
78	80	79	77	73	66	59	50
72	74	73	71	69	60	53	44
0,87	0,89	0,88	0,86	0,83	0,72	0,64	0,53
0,95	0,99	0,99	0,97	0,91	0,83	0,73	0,63



290	300	310	320	330	340	350	360
243	253	263	273	283	293	303	313
42	36	33	34	37	42	51	60
36	30	27	28	31	36	45	54
0,43	0,36	0,33	0,34	0,37	0,43	0,54	0,65
0,54	0,47	0,43	0,42	0,45	0,51	0,59	0,69

## Обработка косвенных измерений выборочным методом

### Максимальные и минимальные интенсивности

$$N = 6, P = 95\%, t_{P,N} = 2,6, \beta_{P,N} = 0,40$$

Таблица 1.

Формула	$\bar{I} = \frac{1}{N} \sum I_i$	$S_I = \sqrt{\frac{\sum (I_i - \bar{I})^2}{N(N-1)}}$	$\Delta I = t_{P,N} S_I$	$R_I = I_{max} - I_{min}$
$I_{max} =$	83	0	0	0
$I_{min} =$	35	0	0	0

Таблица 2.

$\Delta I_\beta = \beta_{P,N} R_I$	$\theta_I = \frac{1}{N} \sum \theta_{Ii}$	$\Delta \bar{I} = \sqrt{\Delta I^2 + \theta_I^2}$	$I = \bar{I} \pm \Delta \bar{I}$	$\delta I = \frac{\Delta \bar{I}}{\bar{I}} 100\%$
0	0,5	0,5	$83,0 \pm 0,5$	0,6
0	0,5	0,5	$35 \pm 0,5$	1,4

### Расчет степени поляризации света

Таблица 3.

$\bar{P} = \frac{\bar{I}_{max} - \bar{I}_{min}}{\bar{I}_{max} + \bar{I}_{min}}$	$\Delta \bar{P} = \frac{2\sqrt{(\bar{I}_{min}\Delta\bar{I}_{max})^2 + (\bar{I}_{max}\Delta\bar{I}_{min})^2}}{(\bar{I}_{max} + \bar{I}_{min})^2}$	$P = \bar{P} \pm \Delta \bar{P}$	$\delta P = \frac{\Delta \bar{P}}{\bar{P}} 100\%$
0,41	$6,5 \times 10^{-3}$	$0,41 \pm 0,01$	2,44

График зависимости  $y(\varphi)$

