

ОТЧЕТ
по лабораторно-практической работе № 6
«Исследование линейно-поляризованного света»

Выполнила Зазуля А.Ю.

Факультет КТИ

Группа № 0371

Преподаватель Басей В.Я.

Оценка лабораторно-практического занятия					
Выполнение ИДЗ	Подготовка к лабораторной работе	Отчет по лабораторной работе	Коллоквиум		Комплексная оценка

Выполнено “ ____ ” _____

Подпись преподавателя _____

Лабораторная работа № 6

Исследование линейно-поляризованного света

Цель работы: проверка закона Малюса и определение степени поляризации света.

Общие сведения

В электромагнитной волне, распространяющейся в безграничном пространстве, векторы напряжённости 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, более сложные 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, нити накаливания ламп) представляет собой совокупность большого числа так называемых *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. её свойства (в частности диэлектрическая проницаемость) различны вдоль разных направлений, то во второй среде распространяются *две* различно преломлённых 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, проведённая 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 распространённых поляризаторов света является *призма Николя* (рис. 6.1), 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 зачернённой гранью $A'C$.

В некоторых кристаллах одна из преломлённых волн поглощается больше чем другая (*явление дихроизма*). Турмалин, например, поглощает почти полностью обыкновенную волну в слое толщиной

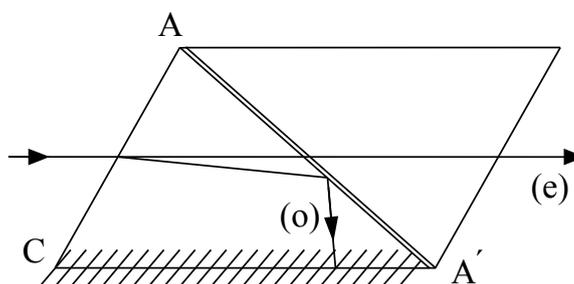


Рис. 6.1. Поляризатор (призма) Николя

1 мм. Явление дихроизма положено в основу *поляроидов* – одного из видов поляризаторов. Используемые в лаборатории поляроиды представляют собой тонкие целлулоидные плёнки с введёнными в них и одинаковым образом ориентированными кристалликами сульфата йодистого хинина. В таких поляроидах одна из плоскополяризованных волн поглощается при толщине плёнки около 0,1 мм. Плёнка защищена от механических повреждений и действия влаги пластинками из стекла.

Закон Малюса. Пусть на поляризатор падает плоскополяризованная волна с амплитудой напряжённости электрического поля E_1 , плоскость колебаний которой (волны) образует с плоскостью главного сечения поляризатора угол φ (рис. 6.2). Интенсивность падающей волны пропорциональна квадрату напряжённости электрического поля $I_1 \sim E_1^2$. В световой волне на выходе поляризатора амплитуда напряжённости электрического поля будет равна $E_1 \cos \varphi$, а интенсивность света, соответственно, пропорциональна $(E_1 \cos \varphi)^2$. Таким образом,

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

Соотношение (6.1) отображает *закон Малюса*.

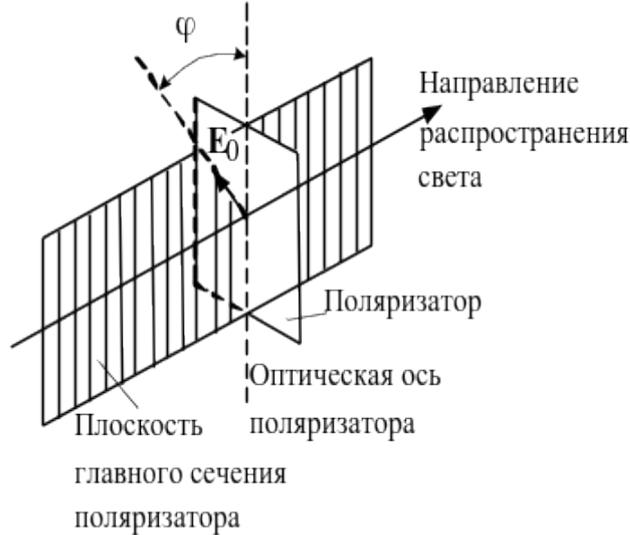


Рис. 6.2. К обоснованию закона Малюса

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 $\cos^2 \varphi$, т. е. $1/2$. При вращении поляризатора вокруг направления естественного луча интенсивность прошедшего света остаётся постоянной, а изменяется лишь ориентация плоскости колебаний света, выходящего из прибора. Интенсивность прошедшего света, регистрируемая детектором, при этом остаётся постоянной и равной $I_0/2$.

Если после первого поляризатора установить второй однопольный поляризатор, называемый анализатором, то интенсивность I_2 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; 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, т. е. представляют собой смесь поляризованного и неполяризованного света с интенсивностями $I_{\text{пол}}$ и $I_{\text{ест}}$. Для характеристики частично поляризованных световых пучков вводят понятие *степени поляризации*, под которой понимают отношение интенсивности поляризованной составляющей к полной интенсивности светового пучка:

$$P = I_{\text{пол}} / (I_{\text{пол}} + I_{\text{ест}}).$$

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 $I_{\max} = I_{\text{пол}} + I_{\text{ест}}/2$ до $I_{\min} = I_{\text{ест}}/2$ при параллельных и взаимно перпендикулярных плоскостях поляризатора и анализатора соответственно. При этом учтён тот факт, что естественная составляющая ослабляется при прохождении через анализатор в два раза, а поляризованная – в соответствии с законом Малюса. Выразив $I_{\text{пол}}$ и $I_{\text{ест}}$ через I_{\max} и I_{\min} , получим другое выражение для степени поляризации:

$$P = (I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min}). \quad (6.2)$$

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

Экспериментальная установка (рис. 6.3) состоит из источника естественного света S (лампа накаливания), диафрагмы D , линзы L , сменных светофильтров C , поляризатора P , анализатора A , фотоэлемента Φ и микроамперметра PA . 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 оправе.

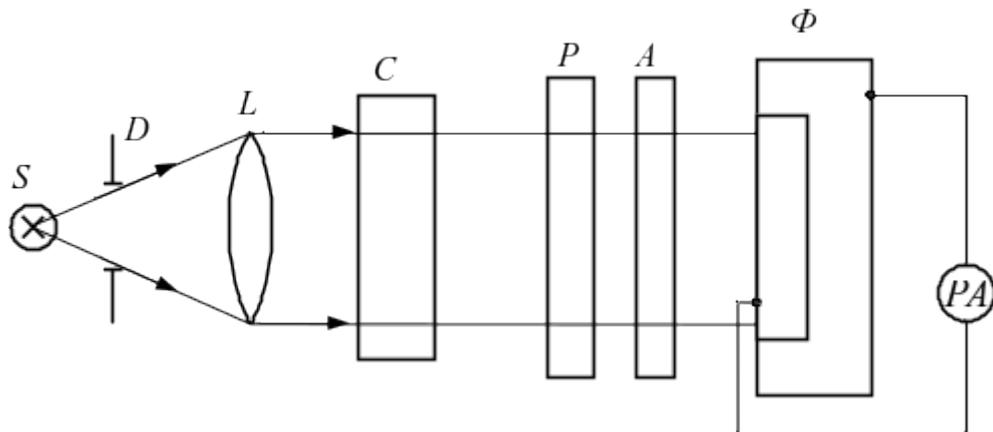


Рис. 6.3. Установка для анализа частично поляризованного света

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

Указания по проведению эксперимента

1. Включить лампу S . Переключатель светофильтров установить в положение без светофильтра. Поворачивая анализатор, найти положения, соответствующие максимальному и минимальному показаниям микроамперметра. Записать значения углов β_{\max} и β_{\min} по шкале анализатора и показания микроамперметра I_{\max} и I_{\min} (в делениях шкалы).
2. Изменяя угол β от 0 до 360° с шагом в 10°, регистрировать показания микроамперметра и результаты наблюдений заносить в табл. 6.1 с учётом I_{\max} , I_{\min} и β_{\max} , β_{\min} .
3. На пути светового пучка установить один из светофильтров. Поворачивая анализатор, наблюдать показания I микроамперметра. Занести в табл. 6.2 максимальное I_{\max} и минимальное I_{\min} показания микроамперметра (в делениях шкалы). Повторить наблюдения 5 раз.
4. Последовательно заменяя светофильтры, повторить наблюдения п. 3.

Таблица 6.1

Проверка закона Малюса

β, \dots°	0	10	20	...	360
$I, \text{дел.}$					
I/I_{\max} (эксперимент)					
$\varphi = \beta - \beta_{\max} , \dots^\circ$					
$\cos^2 \varphi = I/I_{\max}$ (теория)					

Таблица 6.2

Определение степени поляризации света

Светофильтр. Длина волны, нм	№ измерения	I_{\max}	I_{\min}	$\langle I_{\max} \rangle \pm \Delta I_{\max}$ x	$\langle I_{\min} \rangle \pm \Delta I_{\min}$ n	$\langle P \rangle \pm \Delta P$
1. $\langle \lambda \rangle$	1					
	...					
	5					
...	1					
	...					
	5					
4. $\langle \lambda \rangle$	1					
	...					
	5					

5. Выключить лампу. Записать значение «темнового» тока фотоэлемента в делениях шкалы микроамперметра. Исключить эту систематическую погрешность из данных табл. 6.2.

Указания по обработке результатов

1. Поскольку максимальная интенсивность света на выходе анализатора наблюдается при совпадении главных сечений поляризатора и анализатора (т. е. при $\varphi = 0$), определить углы $\varphi = |\beta - \beta_{\max}|$. Результаты представить в табл. 6.1.
2. Рассчитать экспериментальную зависимость I/I_{\max} угла φ и теоретическую по формуле (6.1), данные записать в табл. 6.1. Построить график зависимости $(I/I_{\max})_{\text{теор}} = f_1(\varphi)$, на этом же графике нанести экспериментальные точки $(I/I_{\max})_{\text{эксп}} = f_2(\varphi)$.
3. Сравнить расчётные и экспериментальные данные, дать заключение о справедливости закона Малюса в исследованной ситуации.
4. Для каждого из светофильтров вычислить средние значения $\langle I_{\max} \rangle$, $\langle I_{\min} \rangle$ и доверительные интервалы ΔI_{\max} , ΔI_{\min} . Результаты представить в табл. 6.2.
5. Считая анализатор идеальным, определить исходя из (6.2) степень поляризации света, прошедшего через поляризатор, для исследованных участков спектра:
$$P = (\langle I_{\max} \rangle - \langle I_{\min} \rangle) / (\langle I_{\max} \rangle + \langle I_{\min} \rangle).$$
6. Вывести формулу для доверительного интервала ΔP и вычислить ΔP для исследованных участков спектра.
7. Представить результаты измерения степени поляризации света в табл. 6.2 в стандартной форме.

Контрольные вопросы

1. В чём отличие естественного света от поляризованного?
2. Какой свет называется плоскополяризованным? Поляризованным по кругу; по эллипсу?
3. В чём отличие плоскополяризованного от частично поляризованного света?
4. Что называют степенью поляризации света? Как она определяется?
5. Каково назначение поляризатора и анализатора?
6. Дайте определение понятию «главное сечение поляризатора».
7. Разъясните принцип действия поляроида.

8. Будет ли выполняться закон Малюса при прохождении через анализатор частично поляризованного света?

Протокол наблюдений к лабораторной работе №6

β°	I , дел.	I/I_{\max} (эксперимент)	$\varphi = \beta - \beta_{\max} $	$\cos^2 \varphi$ = I/I_{\max} (теория)	β°	I , дел.	I/I_{\max} (эксперимент)	$\varphi = \beta - \beta_{\max} $	$\cos^2 \varphi$ = I/I_{\max} (теория)
0					190				
10					200				
20					210				
30					220				
40					230				
50					240				
60					250				
70					260				
80					270				
90					280				

10 0					290				
11 0					300				
12 0					310				
13 0					320				
14 0					330				
15 0					340				
16 0					350				
17 0					360				
18 0									

$$\beta_{\max} = \quad I_{\max} = \quad \text{мкА}$$

$$\beta_{\min} = \quad I_{\min} = \quad \text{мкА}$$

$$\beta_{\max} =$$

$$\beta_{\min} =$$

Светофильтр. Длина волны, нм	№ измерения	I_{\max}	I_{\min}	$\langle I_{\max} \rangle \pm \Delta I_{\max}$	$\langle I_{\min} \rangle \pm \Delta I_{\min}$	$\langle P \rangle \pm \Delta P$
1. $\lambda \sim 685$	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
2. $\lambda \sim 626$	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	1					

3.	$\lambda_{\sim 580}$	2					
		3					
		4					
		5					
		1					
4.	$\lambda_{\sim 437}$	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
5.	$\lambda_{\sim 408}$	1					
		2					
		3					
		4					
		5					

$$\Delta I = \text{мкА}$$

$$\Theta I = \text{мкА}$$

$$I_{\text{темн}} = \text{мкА}$$