

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана

А.Г. Андреев, А.В. Семиколенов, И.Н. Фетисов

## Поляризация световых волн

*Методические указания к выполнению лабораторной работы О-73*

Москва

2014

## ВВЕДЕНИЕ

Волны подразделяют на продольные и поперечные. В продольной волне направление колебаний совпадает с направлением распространения волны. Примером продольных волн служат звуковые волны в газах. В поперечной волне колебания происходят в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны. Наглядный пример поперечных волн – волна на поверхности воды. Электромагнитные (световые) волны – поперечные. Это свойство электромагнитных волн приводит к огромному количеству различных физических эффектов и их практическому применению. Совокупность этих явлений относится к разделу физики «Поляризация электромагнитных волн».

*Цель работы* – ознакомиться с явлением поляризации света, получить поляризованный свет и изучить его свойства.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1. Понятие о поляризации света

В плоской электромагнитной волне векторы напряженности электрического поля  $\vec{E}$  и индукции магнитного поля  $\vec{B}$  в каждой точке и в каждый момент времени образуют с волновым вектором  $\vec{k}$ , совпадающим с направлением распространения волны, правую тройку векторов (рис. 1). Это известное свойство *поперечности* электромагнитных волн.

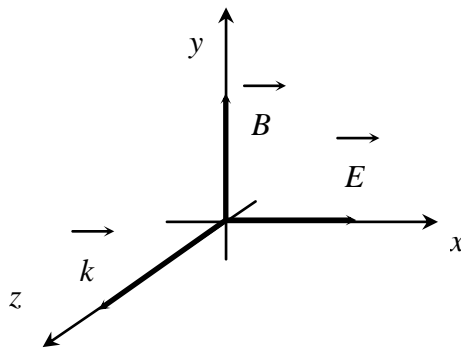


Рис. 1

Обычные источники света в естественных условиях представляют собой совокупность огромного числа атомов или молекул, испускающих световые волны в течение  $10^{-8} \dots 10^{-10}$  с, независимо друг от друга с хаотическими начальными фазами колебаний и ориентациями векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$ . По этой причине суммарное излучение всех атомов не имеет какого-либо выделенного направления колебаний векторов из-за хаотического характера излучения. Поэтому такой свет называют *неполяризованным*, или *естественным*.

Таким образом, основное свойство естественного света состоит в том, что в плоскости, перпендикулярной направлению луча, все направления колебаний векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  оказываются равноправными. Условно это изображают, как показано на рис. 2 слева.

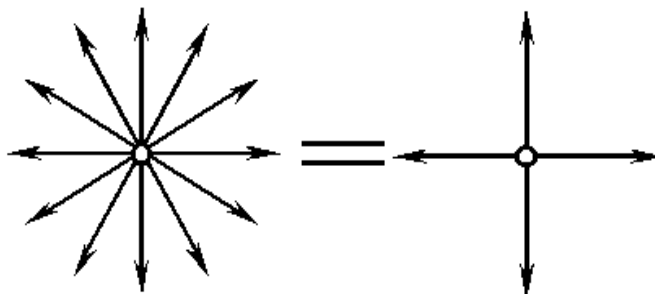


Рис. 2

При помощи специальных устройств, называемых *поляризаторами*, направление колебаний векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  в неполяризованной волне может быть упорядочено. В результате получают свет, который называют поляризованным [1– 5].

Различают несколько видов поляризованных волн.

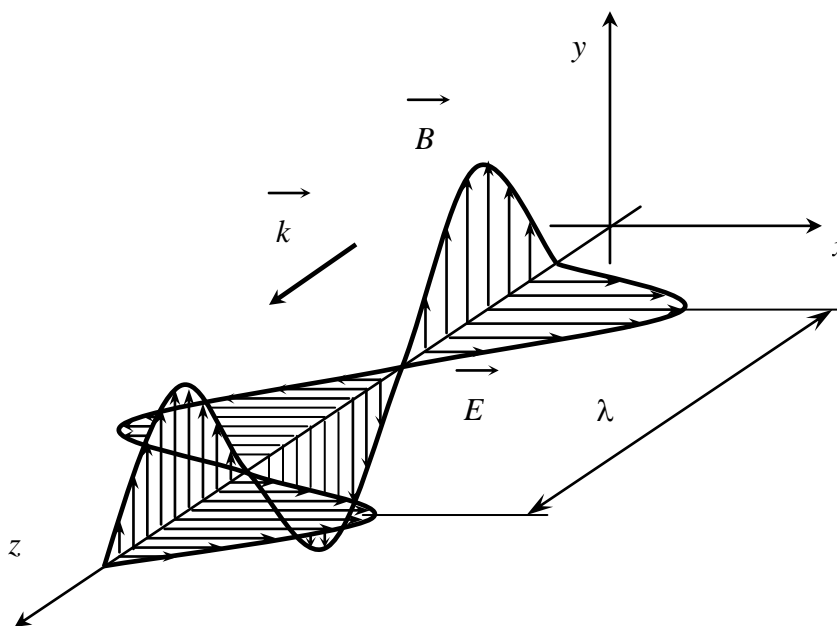


Рис. 3

В *линейно-поляризованной (плоскополяризованной)* световой волне пара векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  не изменяет с течением времени своей ориентации. Мгновенный «снимок» такой волны, распространяющейся вдоль оси  $z$ , показывает направление колебаний векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  в разных точках оси  $z$  в один и тот же момент времени (рис. 3). Плоскость, в которой лежит вектор напряженно-

сти  $\vec{E}$  электрического поля и волновой вектор  $\vec{k}$ , называют *плоскостью поляризации*, или *плоскостью колебаний*.

Поскольку векторы  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  электромагнитной волны взаимно перпендикулярны, для полного описания состояния поляризации светового пучка требуется знать поведение одного из них. Обычно выбирают для этой цели вектор  $\vec{E}$ , так как действия света на вещество (фотоэлектрическое, физиологическое и др.) вызываются колебаниями электрического вектора – *светового вектора*.

Наиболее общим типом поляризации является *эллиптическая поляризация*. В такой волне траектория конца вектора  $\vec{E}$  в плоскости, перпендикулярной лучу, представляет собой эллипс. Рассмотрим предельные случаи эллиптической поляризации:

а) линейную поляризацию, соответствующую вырождению эллипса поляризации в отрезок прямой линии, определяющей положение плоскости поляризации;

б) *круговую (циркулярную)* поляризацию, когда эллипс поляризации представляет собой окружность. Световая волна называется поляризованной по правому (или левому) кругу, если вектор  $\vec{E}$  вращается по (или против) ходу часовой стрелки при наблюдении вращения навстречу распространения этой волны.

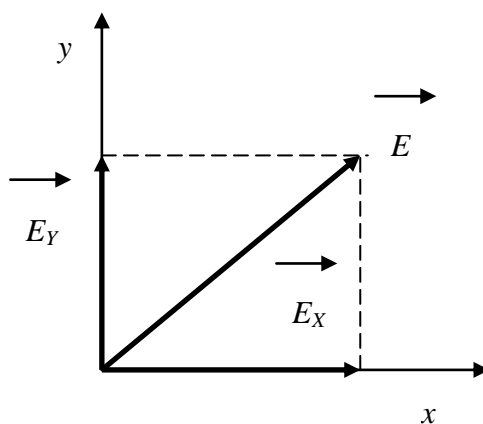


Рис .4

Для анализа состояния поляризации световой волны, распространяющейся для определенности вдоль оси  $z$ , удобно проецировать вектор  $\vec{E}$  этой волны в каждой точке пространства на два взаимно перпендикулярных направления (рис. 4). В этом случае, если световая волна монохроматическая, каждый из векторов  $\vec{E}_x$  и  $\vec{E}_y$  связывается с одной из двух взаимно когерентных линейно-поляризованных волн, записываемых в виде

$$\vec{E}_x = \vec{E}_{x0} \cos(\omega t - k z);$$

$$\vec{E}_y = \vec{E}_{y0} \cos(\omega t - k z + \delta),$$

где  $\vec{E}_{x0}$  и  $\vec{E}_{y0}$  – амплитуды,  $\delta$  – разность начальных фаз, не зависящая от времени. Значения  $\delta$  лежат в интервале между  $-\pi$  и  $+\pi$ . (Напомним, что когерентными называются волны, для которых разность фаз в каждой точке пространства остается постоянной.)

В результате сложения двух ортогональных когерентных волн  $\vec{E}_x$  и  $\vec{E}_y$  в общем случае получается волна эллиптической поляризации.

Отношение длин осей соответствующего эллипса поляризации суммарной волны определяется разностью фаз  $\delta$  и отношением амплитуд  $|\vec{E}_{x0}|/|\vec{E}_{y0}|$  составляющих ее волн. Ориентация эллипса поляризации суммарной волны в плоскости  $xu$  определяется разностью начальных фаз  $\delta$ . Необходимо отметить, что положительный (или отрицательный) знак разности фаз  $\delta$  соответствует суммарной волне, в которой вектор  $\vec{E}$  вращается по ходу (или против) часовой стрелки.

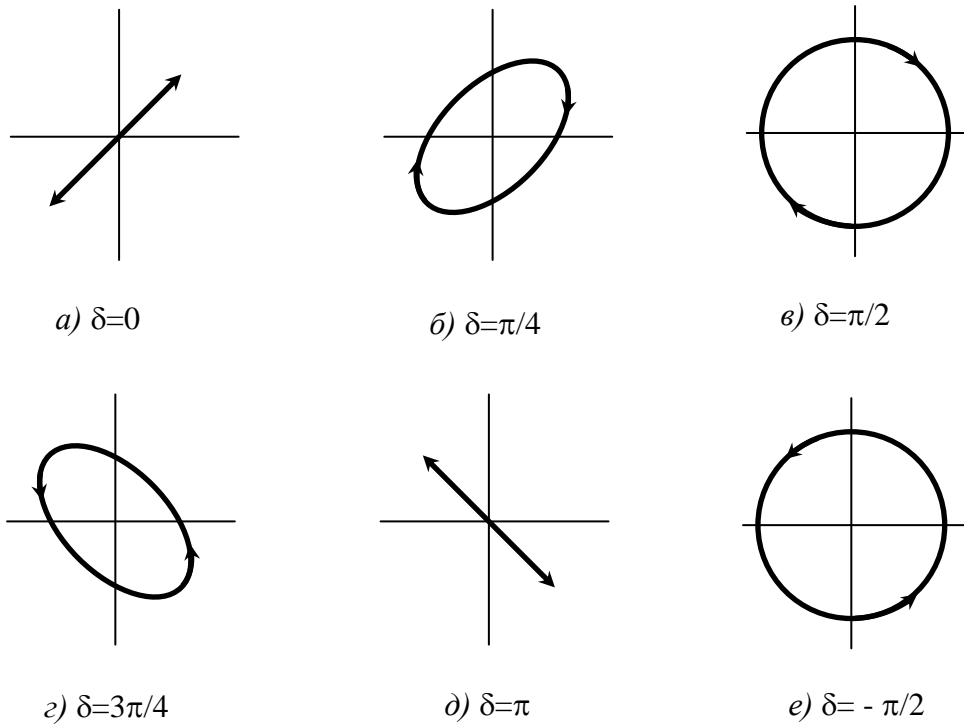


Рис. 5

На рис. 5 приведены примеры поляризационных состояний светового луча при одинаковых амплитудах ортогональных компонент и различных значениях разности фаз  $\delta$ . При  $\delta = 0$  поляризация линейная (рис. 5, а). При  $\delta = \pi$  поляризация также линейная, но электрический вектор имеет другое направление (рис. 5, д). При  $\delta = \pi/2$  и  $\delta = -\pi/2$  поляризация круговая с противоположными направлениями вращения (рис. 5, в, е). При промежуточных значениях  $\delta$  световой вектор описывает эллипс (рис. 5 б, г).

Приведенные на рис. 5 эллипсы поляризации аналогичны фигурам Лиссажу на экране осциллографа, которые получают в результате сложения взаимно перпендикулярных колебаний электронного луча.

Электрический вектор  $\vec{E}$  волны, поляризованной по кругу, в разных точках оси  $z$  в один и тот же момент времени показан на рис. 6. Концы векторов  $\vec{E}$  для разных значений  $z$  лежат на винтовой линии. Световой вектор совершает один оборот за период колебаний.

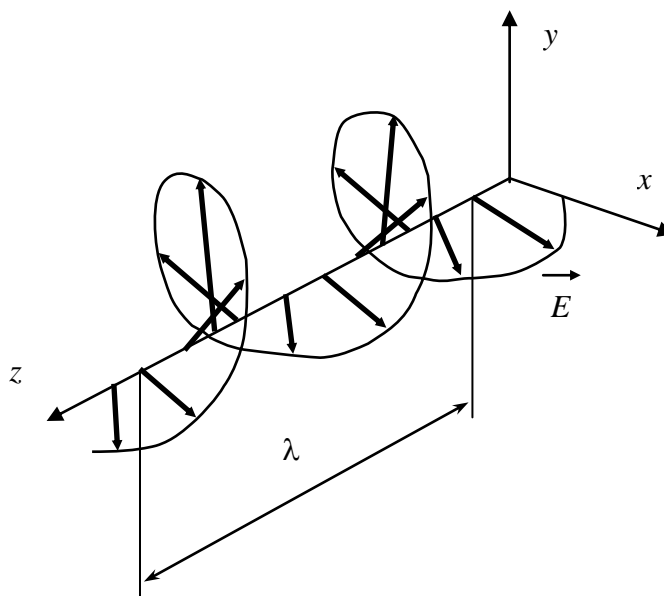


Рис. 6

Естественный свет, в котором колебания светового вектора происходят в различных направлениях, условно изображают, как показано на рис. 2, слева (направление распространения света перпендикулярно плоскости рисунка). Такой свет также можно представить как наложение (сумму) двух плоскополяризованных волн с взаимно ортогональными плоскостями поляризации, что и показано на рис. 2 справа. Однако в этом случае разность фаз  $\delta$  этих двух волн испытывает быстрые хаотические изменения, их колебания некогерентны. Ориентация этих двух ортогональных компонент совершенно несущественна. Такое представление естественного света значительно упрощает анализ многих вопросов.

## 2. Получение и анализ линейно-поляризованного света

Для получения из естественного света линейно-поляризованного света служат оптические приборы, называемые *поляризаторами*. В них используется одно из трех физических явлений: дихроизм, двойное лучепреломление и поляризация при отражении и преломлении света на границе раздела двух изотропных сред с различными показателями преломления. В первых двух случаях свет проходит через вещество, обладающее *оптической анизотропией*, т. е. разли-

чем оптических свойств среды в зависимости от направления светового луча и светового вектора.

Физическая природа анизотропии вещества связана с особенностями строения его молекул или особенностями самой кристаллической решетки, в узлах которой находятся атомы или молекулы.

### 2.1. Линейный дихроизм. Закон Малюса.

Некоторые кристаллы (турмалин), а также искусственно полученные полимерные пленки имеют сильно различающийся коэффициент поглощения для света с различным направлением колебаний электрического вектора. Это явление называется *линейным дихроизмом*.

Дихроизм используется в наиболее простом и распространенном поляризаторе – *поляроиде*. Он представляет собой тонкую поляризующую пленку, в которой дихроизм обусловлен анизотропией особых нитевидных молекул полимера, введенных в прозрачную матрицу из пластмассы и пространственно однородно ориентированных в ней. Ориентацию осуществляют с помощью растяжения пленки или иной специальной технологии.

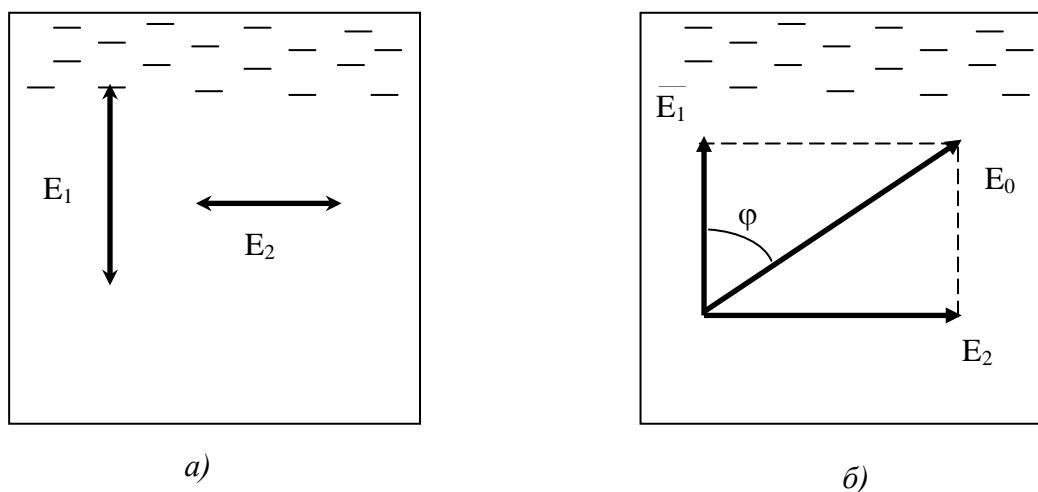


Рис. 7

Если на поляроид падает волна с направлением колебаний  $\vec{E}_2$ , т. е. вдоль молекул, показанных штрихами на рис. 7, а, то она практически полностью поглощается. Волна с направлением колебаний  $\vec{E}_1$ , т. е. поперек нитевидных молекул, проходит через поляроид с незначительным ослаблением. Поляроид свободно пропускает волны с направлением колебаний светового вектора, параллельным *разрешенному направлению поляризатора* (плоскости пропускания поляризатора). Нитевидные молекулы на рис. 7 перпендикулярны плоскости пропускания.

**Закон Малюса.** Пусть на поляроид (или поляризатор другого типа) падает линейно-поляризованная волна амплитуды  $\vec{E}_0$ , направление колебаний которой составляет угол  $\varphi$  с раз-

решенным направлением (см. рис. 7, б). Вектор  $\vec{E}_0$  можно разложить на две ортогональные составляющие – вдоль ( $\vec{E}_2$ ) и поперек молекул ( $\vec{E}_1$ ). Компонента  $\vec{E}_2$  поглощается, а компонента  $\vec{E}_1$ , равная  $E_1 = E_0 \cos \varphi$ , проходит через поляроид. Следовательно, интенсивность прошедшего через поляроид света  $I$ , представляющая собой энергетическую величину, пропорциональную квадрату амплитуды, определяется выражением

$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \quad (1)$$

где  $I_0$  – интенсивность падающего на поляроид света. Соотношение (1) носит название *закона Малюса*.

Если на поляризатор падает естественный свет, то на выходе из поляризатора свет будет линейно-поляризованным. В естественном свете все значения угла  $\varphi$  равновероятны. Поэтому 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 остается постоянной, изменяется лишь ориентация плоскости колебаний светового вектора волны, выходящей из поляризатора.

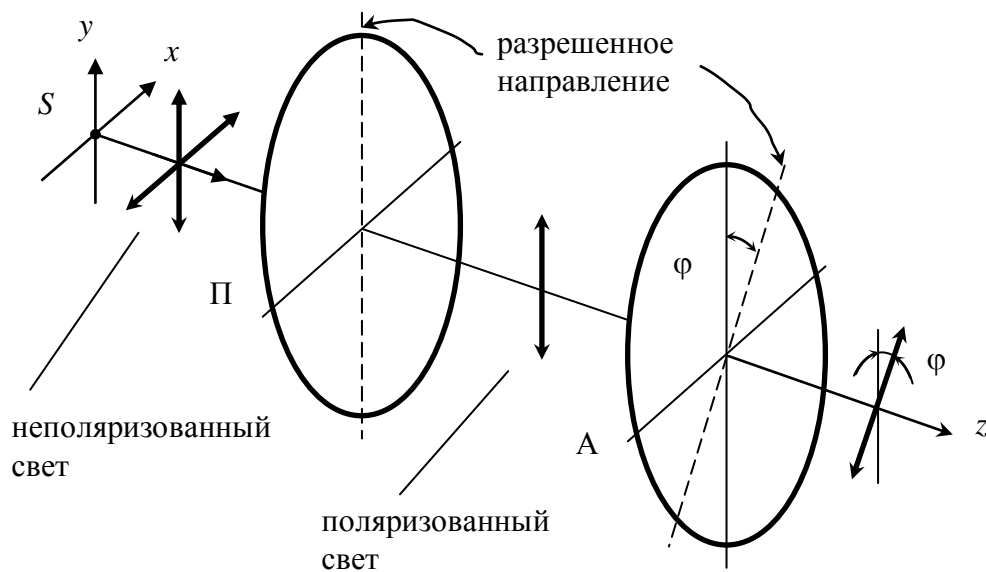


Рис. 8

Поставим на пути луча от источника  $S$  естественного света два поляроида –  $\Pi$  и  $A$ , угол  $\varphi$  между разрешенными направлениями которых можно изменять (рис. 8). Из первого поляроида выйдет линейно-поляризованный свет, интенсивность которого  $I_0$  составит половину интенсивности естественного света  $I_{\text{ест}}$ . Согласно закону Малюса, из второго поляроида выйдет свет интенсивности

$$I_0 \cos^2 \varphi.$$

Таким образом, интенсивность света, прошедшего через два поляроида,



$$I = 0,5 I_{\text{ест}} \cos^2 \varphi. \quad (2)$$

Максимальную интенсивность получаем при  $\varphi = 0$  и  $\varphi = \pi$  (в этих случаях разрешенные направления двух поляроидов *параллельны*). Если  $\varphi = \pi / 2$  или  $\varphi = 3\pi / 2$ , то говорят, что поляроиды скрещенные, при этом свет через них не проходит. Таким образом, при изменении угла от нуля до  $2\pi$  свет два раза будет погашен и два раза достигнет максимума.

На рис. 8 первый от источника света поляроид (П) служит *поляризатором* света, а второй *анализатором* (А). Если при вращении анализатора наблюдается полное гашение света, то свет перед анализатором имеет линейную поляризацию. Если на анализатор падает естественный свет, то интенсивность прошедшего света не изменяется при вращении анализатора.

Поляризатор, задерживающий перпендикулярные к его разрешенному направлению колебания только частично, будем называть несовершенным. Просто поляризатором будем называть идеальный поляризатор, полностью задерживающий колебания, перпендикулярные к его разрешенному направлению, и не ослабляющий колебаний вдоль разрешенного направления. Формулы (1) и (2) верны для идеальных поляризаторов. Поляроиды нельзя считать идеальными, так как в скрещенном положении они не гасят свет полностью, а в параллельном положении несколько ослабляют свет.

На выходе из несовершенного поляризатора получается свет, в котором колебания одного направления преобладают над колебаниями других направлений. Такой свет называют *частично поляризованным*. Его можно рассматривать как смесь естественного и линейно-поляризованного света.

Если пропустить частично поляризованный свет через идеальный поляризатор, то при вращении поляризатора вокруг направления луча интенсивность прошедшего света будет изменяться в пределах от  $I_{\text{макс}}$  до  $I_{\text{мин}}$ . Величину

$$P = (I_{\text{макс}} - I_{\text{мин}}) / (I_{\text{макс}} + I_{\text{мин}})$$

называют *степенью поляризации*. Для линейно-поляризованного света  $I_{\text{мин}} = 0$ , поэтому  $P = 1$ . Для естественного света интенсивность не изменяется при вращении поляризатора ( $I_{\text{макс}} = I_{\text{мин}}$ ), для него  $P = 0$ .

## 2.2. Двойное лучепреломление в кристаллах

Кристаллы анизотропны: в кристалле свойства (механические, электрические, оптические) не одинаковые в различных направлениях. Для световых волн свойства кристаллов зависят как от направления луча, так и от направления колебаний светового вектора. Поведение света в кристаллах рассматривается в разделе «Кристаллооптика» [1 – 5].

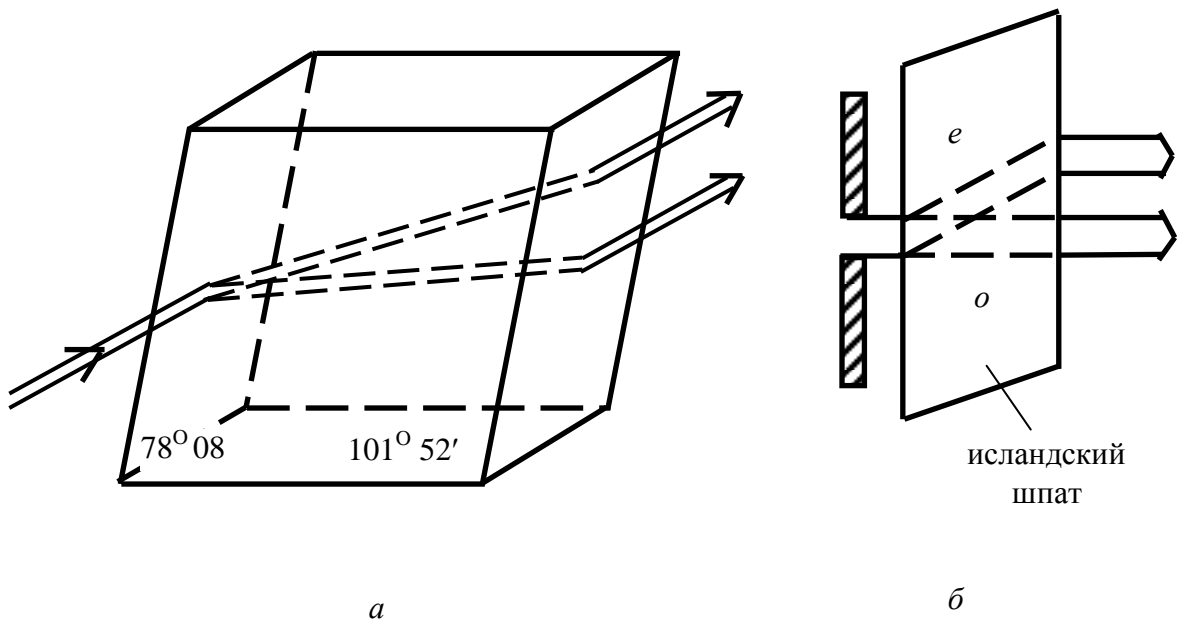


Рис. 9

Одним из ярких явлений кристаллооптики является двойное лучепреломление. Особенно выразительно оно в кристалле исландского шпата. При падении на такой кристалл пучка естественного света происходит образование двух преломленных пучков несколько различных направлений распространения (рис. 9). Если кристалл достаточно толстый, а падающий пучок света узкий, то из кристалла выходят два разделенных в пространстве пучка, направленных параллельно падающему. Даже в том случае, когда световой пучок падает на грань кристалла перпендикулярно его поверхности (рис. 9, б), преломленный пучок разделяется на два. Из пучка неполяризованного света образуются два пучка линейно-поляризованного света, причем направления колебаний светового вектора в них взаимно перпендикулярны. Это свойство исландского шпата лежит в основе действия поляризаторов, например, призмы Николя [1–5].

### 2.3. Поляризация света при отражении и преломлении в диэлектрике

Естественный свет, отраженный от границы раздела двух изотропных диэлектриков, например воздуха и стекла, частично поляризован. Однако существует такой угол падения, называемый *углом Брюстера*  $i_B$ , при котором отраженный луч полностью поляризован. В этом случае угол между отраженным и преломленным лучами равен  $\pi/2$  (рис. 10). Отсюда, с учетом закона преломления света, следует связь между углом Брюстера и показателями преломления двух сред (*закон Брюстера*):

$$\operatorname{tg} i_B = n_2 / n_1, \quad (3)$$

где  $n_2$  и  $n_1$  – показатели преломления второй и первой сред соответственно. Например, свет распространяется в воздухе ( $n_1=1$ ) и отражается от стеклянной пластинки ( $n_2 = 1,5$ ); в этом случае угол Брюстера  $i_B = 56^\circ$ .

Отраженный и преломленные лучи для случая падения под углом Брюстера показаны на рис. 10. Естественный, неполяризованный свет, падающий на границу раздела диэлектриков, представим в виде двух ортогональных некогерентных компонент. Компонента 1 лежит в плоскости падения, она показана на рис. 10 стрелками. Компонента 2, перпендикулярная плоскости падения, показана точками. При угле Брюстера частично отражается только компонента 2, поэтому отраженный луч полностью поляризован и его световой вектор перпендикулярен плоскости падения.

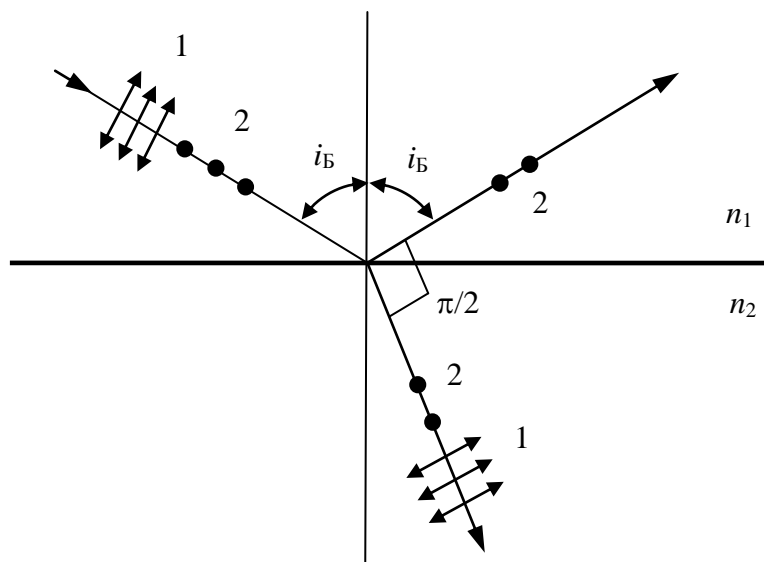


Рис. 10

Преломленный луч содержит полностью компоненту 1 и частично компоненту 2, поэтому он поляризован всегда частично, с преобладанием компоненты в плоскости падения. Наибольшая степень поляризации преломленного луча будет в случае падения под углом Брюстера.

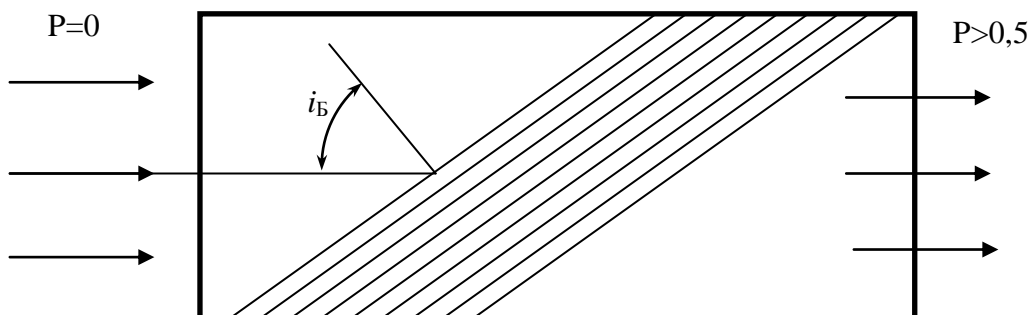


Рис. 11

Но даже тогда степень поляризации невелика. Степень поляризации прошедшего света можно увеличить, пропустив свет через стопку из большого числа параллельных стеклянных

пластинок под углом падения, равным углу Брюстера. Такая группа пластинок называется *стойкой* (рис. 11) и может служить поляризатором или анализатором.

### 3. Получение света эллиптической и круговой поляризации

Свет эллиптической и круговой поляризации получают из линейно-поляризованного света, пропуская его через специальную кристаллическую пластинку, которая вносит сдвиг фаз между ортогональными компонентами электрического вектора. В плоскости пластинки имеются два взаимно перпендикулярных *главных направления*, обозначенные на рис. 12 осями  $x$  и  $y$ . Линейно-поляризованные волны с направлением колебаний, параллельными оси  $x$  и оси  $y$ , распространяются в пластинке с различными скоростями, соответственно равными  $v_x$  и  $v_y$ . Следовательно, для этих волн кристалл имеет различные показатели преломления:  $n_x = c / v_x$  и  $n_y = c / v_y$ .

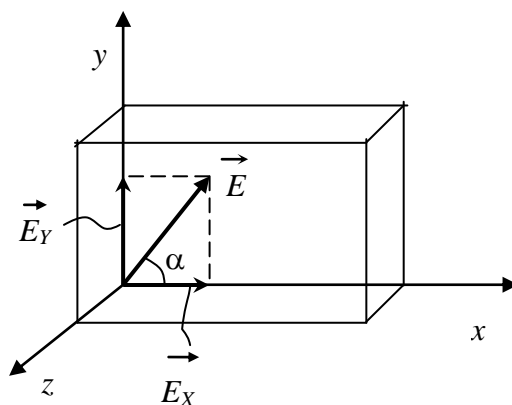


Рис. 12

Направим на пластинку монохроматическую линейно-поляризованную волну, электрический вектор  $\vec{E}$  которой ориентирован под некоторым углом  $\alpha$  к оси  $x$  (см. рис. 12). Разложим вектор  $\vec{E}$  на составляющие  $\vec{E}_x$  и  $\vec{E}_y$ . На входе пластинки векторы  $\vec{E}_x$  и  $\vec{E}_y$  находятся в фазе, а на выходе между ними появляется сдвиг фаз  $\delta$ , возникающий из-за различия скоростей распространения:

$$\delta = (2\pi / \lambda) d (n_y - n_x), \quad (4)$$

где  $\lambda$  – длина волны в вакууме,  $d$  – толщина пластинки.

Таким образом, на выходе пластинки получаем две ортогональные когерентные линейно-поляризованные волны, сдвинутые по фазе. Как отмечалось выше, такие волны образуют эллиптически-поляризованную волну, а при некоторых разностях фаз  $\delta$  – ее частные случаи: круговую (циркулярную) и линейную поляризации (см. рис. 5).

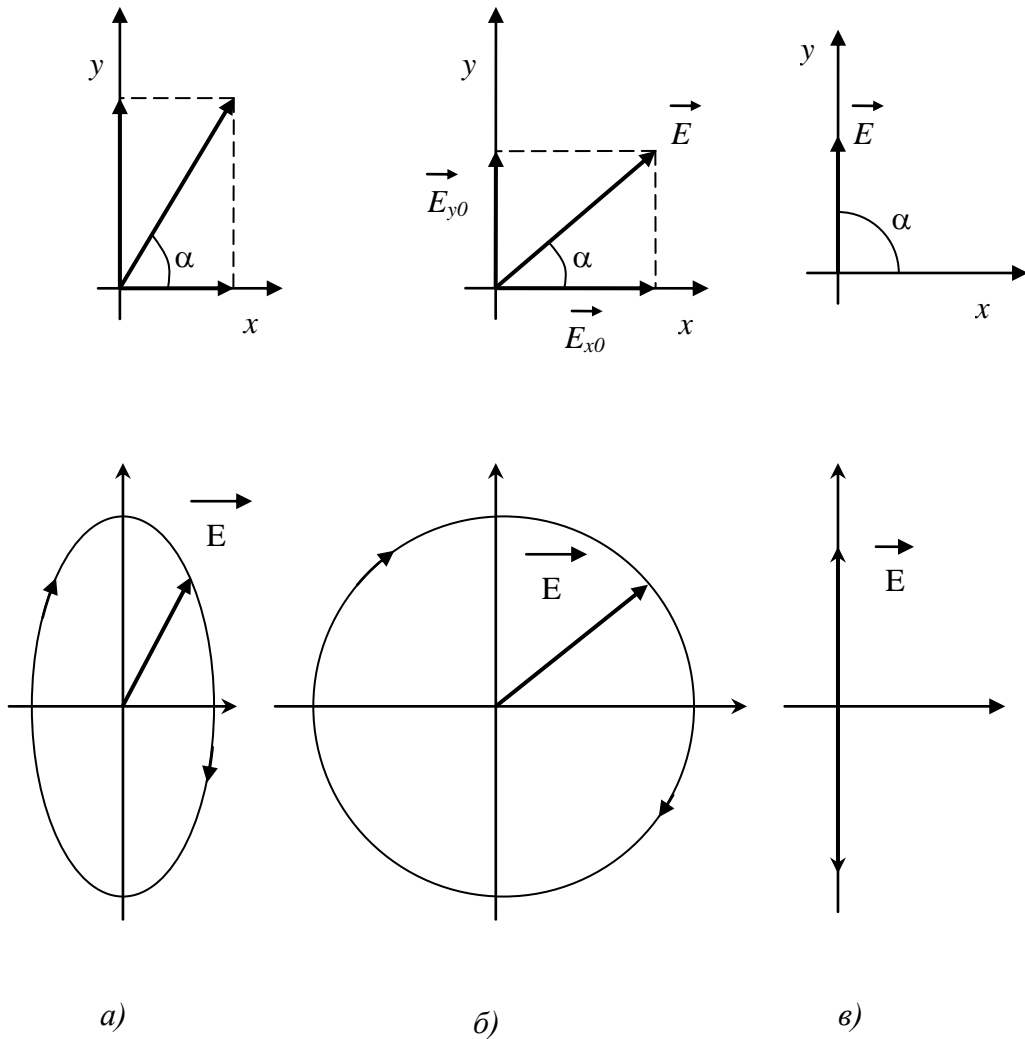


Рис. 13

Рассмотрим важный случай, когда пластинка создает сдвиг фаз  $\delta = \pi / 2$ . Такую пластинку называют «пластинкой  $\lambda/4$ ». При таком сдвиге фаз свет, прошедший через пластинку, будет эллиптически-поляризованным, причем эллипс будет приведен к осям  $x$  и  $y$  (рис. 13, *а*).

Если вектор  $\vec{E}$  линейно-поляризованной волны составляет с осью  $x$  угол  $\alpha = 45^\circ$ , то амплитуды ортогональных компонент одинаковые, и на выходе из пластинки мы получим волну с круговой поляризацией – эллипс вырождается в окружность (рис. 13, *б*).

Если направление колебаний в падающей на пластинку волне совпадает с одним из главных направлений, например с осью  $y$ , то в этом случае одна из двух ортогональных компонент отсутствует ( $\vec{E}_{x0} = 0$ ) и волна, прошедшая через пластинку, остается линейно-поляризованной в той же плоскости, что и перед пластинкой (рис. 13, *в*). В этом случае эллипс вырождается в прямую.

Таким образом, с помощью четвертьволновой пластинки из линейно-поляризованного света можно получить свет с эллиптической или круговой поляризацией, а также оставить поляризацию света неизменной.

Пластинку  $\lambda/4$  изготавливают из кварца. Можно изготовить пластинку  $\lambda/4$  из слюды толщиной  $d = 38$  мкм, которая создает необходимую разность фаз  $\pi/2$  для красного света длиной волны  $\lambda = 0,65$  мкм.

Пленки из различных полимеров также могут быть использованы для получения пластинки  $\lambda/4$ . В процессе изготовления (прокатка, растяжение) пленка приобретает анизотропные для света свойства. Методом проб можно подобрать пленку, которая ведет себя как пластинка  $\lambda/4$ .

Для получения поляризованного по кругу света из естественного света применяют циркулярный поляризатор, который состоит из соединенных вместе поляроида и пластинки  $\lambda/4$  (рис. 14). Свет должен проходить сначала через поляроид, а затем через пластинку  $\lambda/4$ . Циркулярный поляризатор, используемый при фотографировании, можно приобрести в магазине.

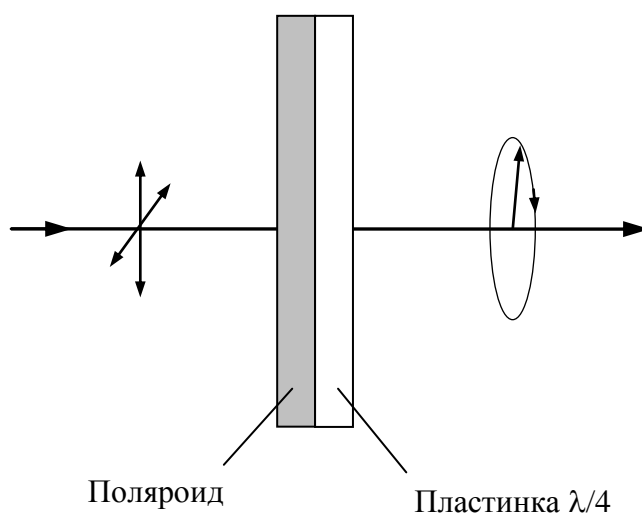


Рис. 14

#### 4. Оптическая активность

Некоторые вещества, называемые *оптически активными*, обладают способностью вращать плоскость поляризации проходящего через них линейно-поляризованного света. Это явление было открыто в 1811 г. французским физиком Д.Ф. Араго в кварце. Оптической активностью обладают не только кристаллы (кварц, киноварь и др.), но также чистые жидкости (скипидар, никотин и др.) и растворы многих, главным образом органических, веществ.

Если смотреть навстречу лучу и при этом плоскость поляризации поворачивается веществом по ходу часовой стрелки, то среда называется *правовращающей*; при повороте против хода часовой

стрелки имеют дело с *левовращающим* веществом. Опыт показывает, что кварц встречается как право-, так и левовращающий, причем оба вида кварцев отличаются и по своей внешней кристаллической форме: один из них является зеркальным отображением другого.

Жидкие оптически активные среды также могут встречаться в двух модификациях: лево- и правовращающей.

Французский ученый Ж.Б. Био в 1815 г. установил, что в растворах угол вращения плоскости поляризации пропорционален пути света в растворе  $l$  и концентрации активного вещества  $c$ :

$$\varphi = [\alpha]cl. \quad (5)$$

Величина  $[\alpha]$  называется *удельной постоянной вращения*. Удельная постоянная вращения различна для разных веществ, зависит от длины волны света, температуры, состава растворителя. Принято выражать  $\varphi$  в градусах,  $l$  в дециметрах (дм) и  $c$  в г/мл.

Методика определения концентрации вещества путем измерения угла вращения широко используется в производстве таких веществ, как камфара, кокаин, никотин и, особенно, сахаристых веществ. Для этого разработаны специальные приборы – поляриметры, сахариметры. В таких приборах источником света часто служит газоразрядная натриевая лампа, испускающая монохроматическое излучение с длиной волны  $\lambda = 589$  нм. На этой длине волны для водных растворов свекловичного, или тростникового, сахара (сахарозы) при температуре  $20^\circ\text{C}$  удельная постоянная вращения в формуле (5)  $[\alpha] = 66^\circ,46$ , если длину  $l$  выразить в дм, а концентрацию  $c$  – в г/мл.

Био установил, что вращательная способность примерно обратно пропорциональна квадрату длины волны, т.е.

$$[\alpha] \sim 1/\lambda^2. \quad (6)$$

Если для определения концентрации раствора сахара используется излучение гелий-неонового лазера с длиной волны  $\lambda = 633$  нм, то, согласно формуле (6),  $[\alpha] = 57^\circ,5$ .

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 1. Описание лабораторной установки

Лабораторное оборудование состоит из нескольких установок и набора оптических деталей.

**ВНИМАНИЕ!** С лабораторным оборудованием необходимо обращаться бережно: не трогать оптические поверхности руками, не протирать их, держать принадлежности в коробках.

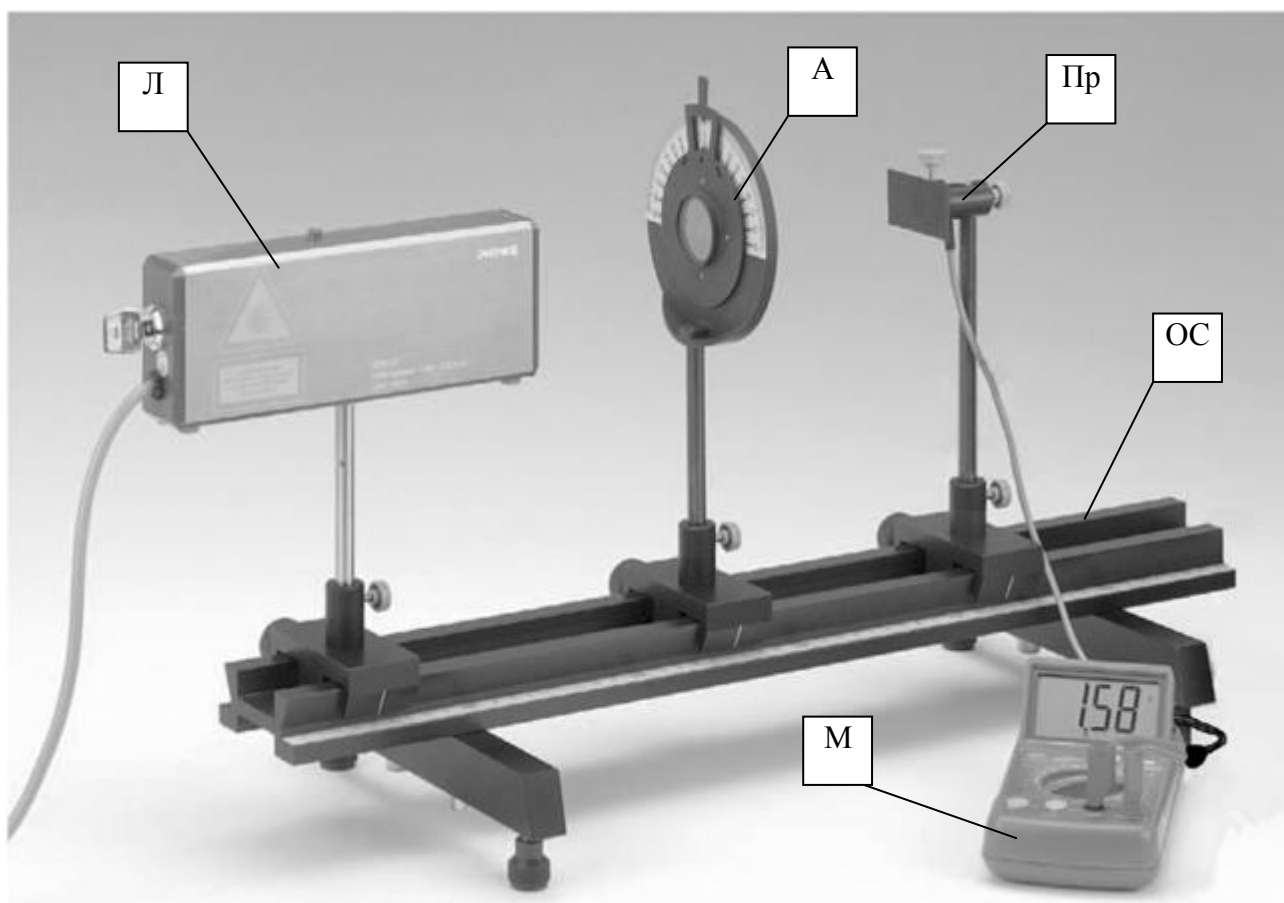


Рис. 15

**Установка № 1** (рис. 15) производства фирмы Phywe включает в себя: гелий-неоновый лазер Л, который является источником красного монохроматического света с длиной волны 633 нм; анализатор А; приемник света Пр. Перечисленное оборудование установлено на оптической скамье ОС. Силу тока приемника измеряют мультиметром М.

Излучение лазера линейно-поляризовано. Световой вектор направлен примерно вертикально; отклонение светового вектора от вертикали составляет несколько градусов.

Анализатор представляет собой тонкую пленку поляроида, вставленную в угломерное устройство. Анализатор можно поворачивать вокруг лазерного луча на углы от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$ . В по-



ложении  $0^\circ$  разрешенное направление анализатора близко к вертикальному, т.е. примерно совпадает со световым вектором лазера. При угле  $0^\circ$  анализатор пропускает почти максимальную энергию света лазера, а при углах, близких к  $\pm 90^\circ$  – практически полностью свет поглощает.

Если бы установка была изготовлена тщательно, по угломерной шкале анализатора можно было бы непосредственно определять угол между световым вектором волны лазера и направлением пропускания анализатора. К сожалению, эта шкала сдвинута на несколько градусов от правильной.

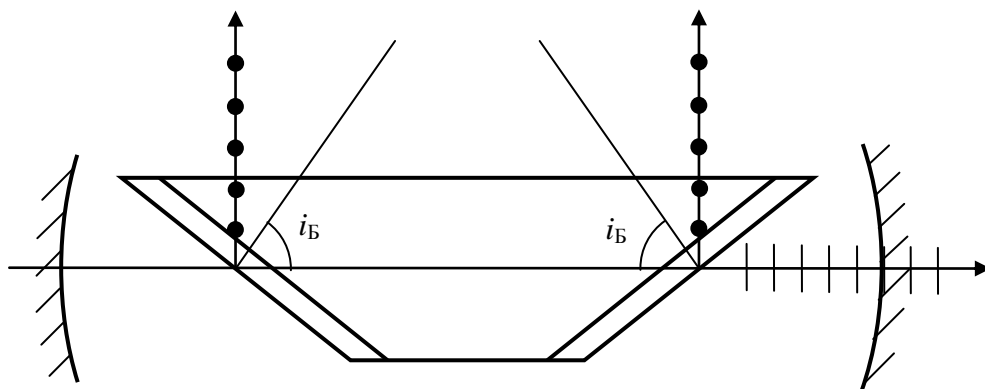


Рис. 16

Поясним механизм получения поляризованного света в лазере. Газовый лазер схематически показан на рис. 16. В трубке, наполненной газом, возникает вынужденное излучение при протекании электрического тока через газ. Излучение многократно проходит через трубку, отражаясь от вогнутых зеркал. Одно зеркало (левое на рис. 16) отражает свет полностью, а правое зеркало – полупрозрачное, свет через него частично выходит наружу. Для получения поляризованного света стеклянные торцы трубки развернуты таким образом, что свет падает на них под углом Брюстера (см. рис. 10). По этой причине их называют окнами Брюстера. При этом компонента, поляризация которой перпендикулярна плоскости падения (показана точками), частично отражается в сторону и частично проходит. После большого числа проходов через окна эта компонента практически полностью удаляется из пучка благодаря отражениям. Компонента с поляризацией, параллельной плоскости падения, полностью проходит, так как при угле Брюстера коэффициент отражения для этой компоненты равен нулю. В конечном итоге половина света пропадает, а вторая половина выходит из лазера полностью линейно-поляризованной (см. рис. 16).

Приемником света служит кристалл кремния размером  $5 \times 5$  мм, содержащий  $p-n$  – переход. Принцип действия приемника такой же, как солнечной батареи: при освещении приемник вырабатывает электрический ток. Сила тока при малом сопротивлении нагрузки (т. е. ток короткого замыкания) пропорциональна интенсивности падающего на приемник света. Силу тока из-

меряют мультиметром. *Примечание:* выходное напряжение приемника при большом сопротивлении нагрузки нелинейно зависит от интенсивности света, поэтому измерение напряжения вместо тока недопустимо.

В комплект установки входит щелевая насадка для приемника. На торцевую пластинку насадки наклеен кусочек белой бумаги, которую используют в качестве экрана для визуальных наблюдений.

При работе с приемником необходимо исключить его засветку посторонними источниками. Для этого на приемник необходимо надеть бленду в виде трубки или U-образной шторки.

**Установка № 2.** Для выполнения демонстрационных заданий служит установка № 2. Она состоит из лампы накаливания с колбой из молочного стекла и анализатора (поляроида). Между лампой и анализатором имеются вертикальные направляющие, в которые можно вставлять различные оптические детали: поляроид, пластинку  $\lambda/4$  и т. д.

К лабораторной установке прилагаются дополнительные поляроиды, которые легко распознать, поскольку они пропускают свет частично. Поляроиды могут быть защищены с обеих сторон стеклянными пластинками. Оправа некоторых поляроидов, предназначенных для фотографии, состоит из двух колец. Одно из них с помощью резьбы закрепляется на пластине, а кольцо с насечкой можно поворачивать вместе с поляроидом. На вращающееся кольцо нанесены две точки на одном диаметре. Соединяющую точки линию условно назовем линией двух точек. Направление пропускания таких поляроидов перпендикулярно линии двух точек

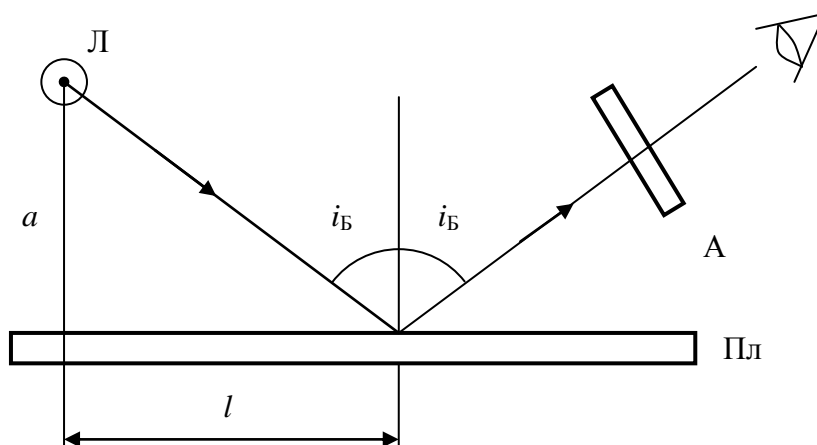


Рис. 17

**Установка № 3** предназначена для изучения поляризации света при отражении от диэлектрика и измерения угла Брюстера (рис. 17). Установка состоит из темной стеклянной пластинки Пл и лампы накаливания Л с прямой нитью. Яркость свечения лампы можно изменять с помощью переключателя. Рядом с пластинкой находится измерительная линейка, штрихи которой

параллельны изображению нити лампы в отраженном свете. При выполнении опыта отраженный от пластинки свет рассматривают через анализатор (поляроид), держа его в руках.

**Установка № 4** представляет собой портативный поляриметр П-161 М – прибор для измерения концентрации водных растворов сахара. Оптическая схема поляриметра показана на рис. 18. Свет лампы проходит через оптическую систему, содержащую светофильтр  $\Phi$  для получения узкой полосы частот желтого света, поляризатор  $\Pi$ , кварцевую пластинку КП, кювету К с исследуемым раствором, анализатор А и зрительную трубку ЗТ. Анализатор можно вращать и с помощью отсчетного устройства ОУ измерять углы вращения.

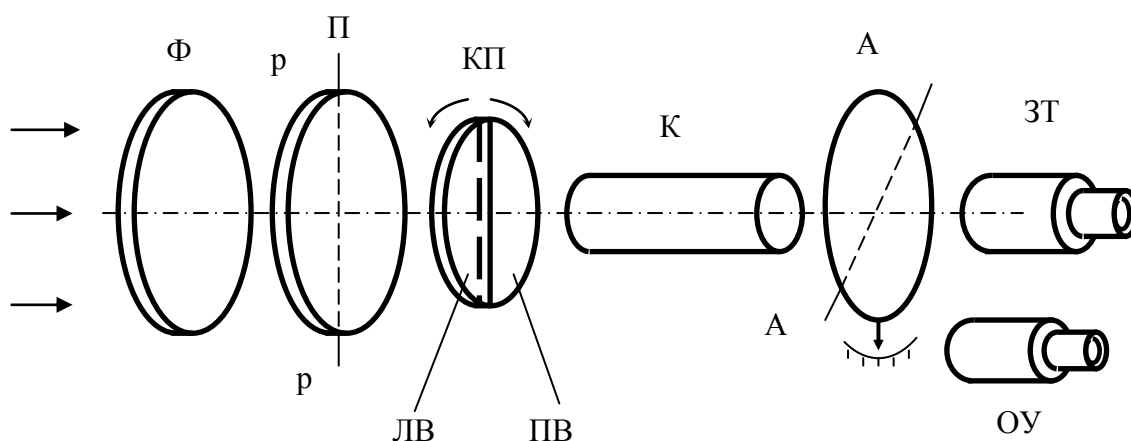


Рис. 18

В приборе применен полутеневого метод измерения для уменьшения погрешности измерения концентрации сахара. Для этого кварцевая пластинка состоит из двух склеенных половинок, отличающихся направлением вращения плоскости колебаний. Одна из них (ЛВ) сделана из левовращающего кварца, другая (ПВ) – из правовращающего кварца. Обе половинки поворачивают плоскость колебаний на одинаковый небольшой угол  $\gamma$ . Плоскость склейки находится на оптической оси установки, совпадает с плоскостью колебаний  $pp$  света, вышедшего из поляризатора, и делит поле зрения на две половины – левую и правую.

Рассмотрим случай, когда кювета отсутствует или наполнена оптически неактивной чистой водой. На рис. 19,а показаны амплитуды-векторы:  $\vec{E}$  для света, вышедшего из поляризатора,  $\vec{E}_Л$  и  $\vec{E}_П$  для света, прошедшего кварцевую пластину через левую и правую половинки соответственно. Анализатор повернут так, чтобы его разрешенное направление  $aa$  было перпендикулярно разрешенному направлению  $pp$  поляризатора. При этом для прошедшего через всю установку света амплитуды векторов  $\vec{E}_Л^a$  и  $\vec{E}_П^a$  одинаковые и поэтому одинаковая яркость обеих половинок поля зрения. Этому положению анализатора соответствует нуль угломерной шкалы отсчета.

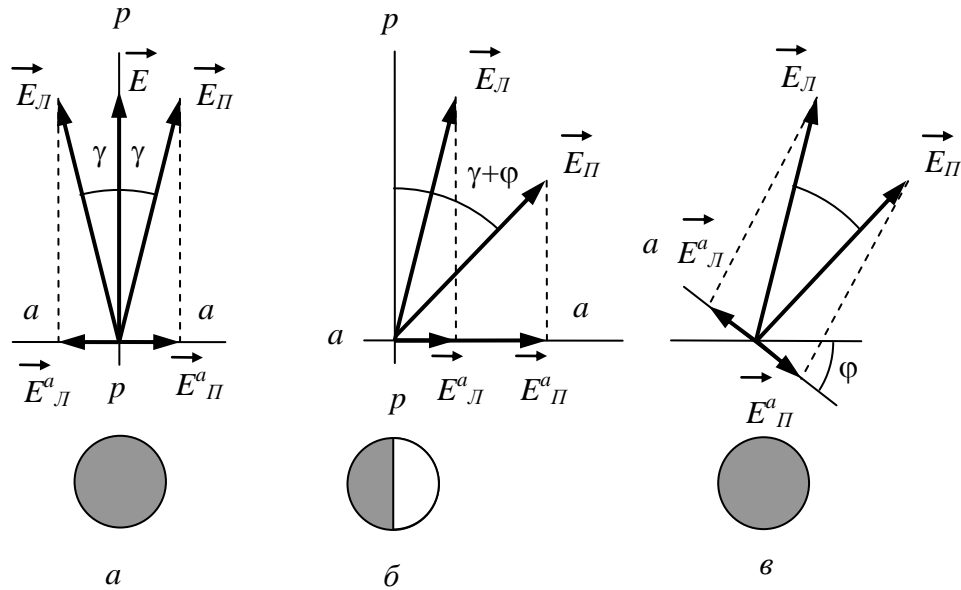


Рис. 19

Если между кварцевой пластинкой и анализатором ввести оптически активный раствор, поворачивающий вправо плоскость поляризации на угол  $\varphi$ , то, как видно из рис. 19,б, равенство яркостей частей поля зрения нарушится, так как  $\vec{E}_{Л}^a$  не равно  $\vec{E}_{П}^a$ . Для восстановления одинаковой яркости необходим поворот анализатора на угол  $\varphi$  в том же направлении, что и поворот раствором (рис. 19,в). Угол  $\varphi$  регистрируют отсчетным устройством.

Портативный поляриметр П-161М изображен на рис. 20. В нижней части поляриметра находятся светофильтр, поляризатор и кварцевая пластина. Головка анализатора 3 состоит из зрительной трубки с окуляром 4, неподвижного лимба с градусной шкалой и совместно вращающихся частей: анализатора, нониуса и отсчетной лупы 5. В соединительную трубку 2 помещают кювету 6 с раствором.

На неподвижном лимбе вправо и влево от нуля нанесено 20 делений (показано на рис. 20 слева). Цена деления лимба  $1^\circ$ . В плоскости лимба на подвижной втулке имеются два нониуса – левый и правый. Каждый нониус разделен на 10 делений. С помощью нониуса углы можно измерять с погрешностью  $0,1^\circ$ . На рис. 20 результат измерения угла равен  $1,8^\circ$ .

Поляриметр установлен и закреплен на корпусе с осветительной лампой.

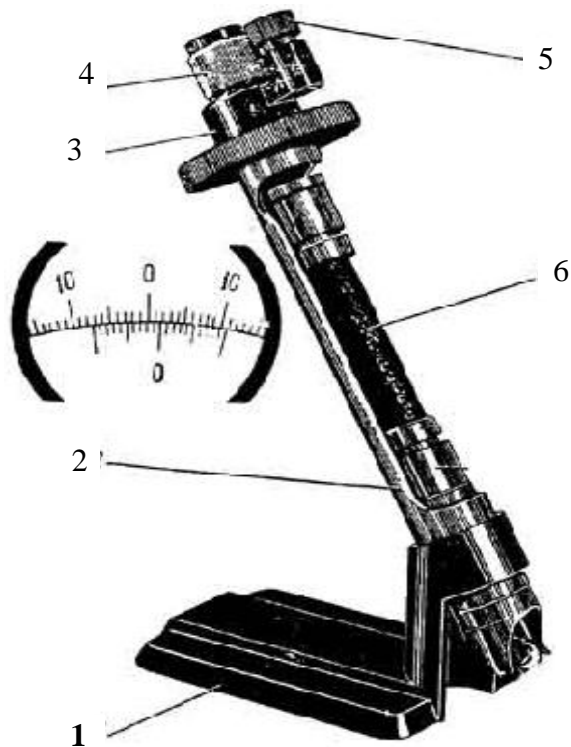


Рис. 20

## 2.Выполнение лабораторной работы

**Задание 1.** Исследовать состояние поляризации различных источников света.

Порядок выполнения задания.

Посмотреть на источник света через поляроид. Поляроид можно снять с оптической скамьи установки с лазером. Если при вращении поляроида интенсивность света не изменяется, то свет не поляризован. Если при некоторых положениях поляроида свет практически полностью гаснет, то поляризация линейная; если же гашение неполное, то свет поляризован частично.

Исследовать различные источники света: лампы (накаливания, люминесцентные, светодиодные); излучение неба. Исследовав излучение дисплея мультиметра, телефона, компьютера т.д., легко заметить, что в них используется поляризованный свет.

По результатам работы составить отчет.

**Задание 2.** Получить и проанализировать линейно-поляризованный свет с помощью поляроидов.

*Примечание.* Задания 2–4 выполнять на демонстрационной установке № 2. Если данная установка отсутствует в лаборатории, все демонстрации также можно выполнить, но при этом все оптические детали приходится держать в руках. Источником неполяризованного света служат лампа накаливания или светодиодные лампы над рабочим местом, а также белый лист бумаги.

Порядок выполнения задания.

1. Естественный свет лампы  $S$  проходит через два поляроида (см. рис. 8). Первый поляроид служит поляризатором (П), второй – анализатором (А). Наблюдения выполняют визуально.

*Примечания.* В установке № 2 анализатор постоянно встроен в установку, а поляризатор (поляроид) вмонтирован в пластину размером 70x70 мм, которую необходимо вставить в направляющие (ближайшие к лампе).

2. Медленно вращая анализатор, наблюдать изменение интенсивности света.

3. Ответить на вопрос: согласуется ли качественно изменение интенсивности света при вращении анализатора с законом Малюса (см. формулу (2)).

4. По результатам работы составить отчет.

**Задание 3.** Наблюдать поляризацию света при отражении от диэлектрика и прохождении через стопу стеклянных пластинок.

Порядок выполнения задания.

1. Рассматривать через поляроид свет лампы, отраженный от стеклянной пластинки. Вращая поляроид, наблюдать изменение интенсивности отраженного света. Наибольшее изменение интенсивности отраженного света будет при угле падения, равном углу Брюстера. Согласно формуле (3), для стекла с показателем преломления 1,5 угол Брюстера  $i_B = 56^\circ$ . Следовательно, угол между падающим и отраженным лучами будет  $112^\circ$ .

Наблюдать поляризацию света при прохождении через стопу стеклянных пластинок (см. рис. 11). Свет лампы проходит сначала через стопу, а затем через поляроид. Оценить качественно степень поляризации прошедшего света.

2. Квалифицированные фотографы при съемке некоторых объектов надевают на объектив поляроид. Вращая поляроид, наблюдают объект на экране монитора. В некотором положении поляроида производят съемку. Вопрос: в каких случаях это делают и зачем?

**Задание 4.** Наблюдать явление двойного лучепреломления и проанализировать поляризацию двух пучков света.

Порядок выполнения задания.

1. Двойное лучепреломление наблюдают на небольшом кристалле исландского шпата (см. рис. 9). Кристалл освещают неполяризованным светом со стороны маленького отверстия. Со стороны большого отверстия наблюдают через анализатор (поляроид) два пучка света. Если входное отверстие не очень маленькое, два пучка света могут частично перекрываться.

2. С помощью анализатора изучить поляризацию света. Убедиться в том, что свет в пучках поляризован, а плоскости колебаний в них взаимно перпендикулярны.

3. По результатам работы составить отчет.

**Задание 5.** Изучить закон Малюса.

Задание выполняют на установке №1, в которой лазер служит источником линейно-поляризованного света, падающего на анализатор. Экспериментально проверяя закон Малюса  $I = I_0 \cos^2 \varphi$  (см. формулу (1)), необходимо измерять угол  $\varphi$  между направлением светового вектора лазера и направлением пропускания анализатора. Как отмечалось выше, по небрежности фирмы-изготовителя лабораторной установки угловая шкала анализатора не соответствует строго этому условию, она «сбита» в сторону на несколько градусов. Этот недочет необходимо исправить при выполнении данного задания.

**Внимание!** Прямое или зеркально отраженное излучение лазера опасно для глаза.

Порядок выполнения задания.

1. Собрать установку (см. рис. 15). Угломерную шкалу анализатора развернуть в сторону лазера.
2. Приемник света подключить к мультиметру, который используется в режиме измерения постоянного тока (предел измерений – 2 миллиампера).
3. Насадка с белым экраном на входном окне приемника должна отсутствовать.
4. Включить лазер. Для этого вставить сетевую вилку в розетку 220 В и повернуть ключ на лазере.
5. Установить анализатор в положение  $\varphi = 0$ .
6. Настроить установку таким образом, чтобы узкий лазерный луч попадал в центр кристалла приемника. Тщательно закрепить все настроечные винты. При выполнении задания следить за тем, чтобы лазер не развернулся в сторону.
7. Для исключения посторонней засветки приемника надеть на приемник бленду в виде трубки или U-образной шторки. Включить питание мультиметра.
8. Оценить влияние посторонней засветки приемника. Для этого измерить силу тока приемника ( $I_{max}$ ) при  $\varphi = 0$  и силу тока засветки ( $I_0$ ), когда свет перекрыт вблизи лазера. Необходимо, чтобы выполнялось условие:  $I_0 \ll I_{max}$ . Значение  $I_0$  записать в заголовок табл. 1.
9. Медленно вращая анализатор вблизи угла  $90^\circ$ , найти такое его положение, при котором ток приемника минимален. Этому положению анализатора необходимо приписать угол  $\varphi = 90^\circ$ . Измерить силу тока приемника при  $\varphi = 90^\circ$ . Результат измерения записать в табл. 1.

Таблица 1

### Закон Малюса

Сила тока засветки  $I_0 = \dots$

$\varphi, ^\circ$	Сила тока $I$ , мА	$I - I_0$ , мА	$\frac{I - I_0}{(I - I_0)_{\max}}$	$\cos^2 \varphi$

*Примечание:* таблица должна содержать 10 строк.

10. Повернуть анализатор на  $10^\circ$  в направлении уменьшения угла. Этому положению анализатора будет соответствовать угол  $\varphi = 80^\circ$ . Измерить силу тока приемника при  $\varphi = 80^\circ$ . Результат измерения записать в табл. 1.

11. Повторить измерения п. 10, уменьшая каждый раз угол  $\varphi$  на  $10^\circ$  до конечного угла  $\varphi = 0^\circ$ . Результаты измерений записать в табл. 1.

12. Выключить лазер.

Обработка результатов измерений в задании 5.

1. Из результатов измерений силы тока  $I$  исключить ток засветки  $I_0$ , вычислив значение  $I - I_0$ .

2. Вычислить отношение  $\frac{I - I_0}{(I - I_0)_{\max}}$ , в котором знаменатель – результат измерения при  $\varphi = 0$ . Это отношение есть интенсивность света, прошедшего через анализатор, в относительных единицах.

3. Вычислить значение  $\cos^2 \varphi$ .

4. По результатам измерений построить на миллиметровой бумаге графическую зависимость величины  $\frac{I - I_0}{(I - I_0)_{\max}}$  от  $\cos^2 \varphi$ . Нанести на график экспериментальные точки (отчетливыми значками) и провести через них и начало координат наилучшую прямую линию.

5. Сделать вывод: получено ли согласие с законом Малюса (см. формулу (1)).

**Задание 6.** Наблюдать деполяризацию света лазера при отражении от матовой поверхности.

В результате взаимодействия поляризованного света со средой в ряде случаев происходит уменьшение степени поляризации. Это явление называется *деполяризацией* света. Причины деполяризации могут быть различные. К деполяризации приводит, например, рассеяние света в мутной среде или при отражении от матовой поверхности.

Порядок выполнения задания.

1. Задание выполняют на установке с лазером (см. рис. 15). Надеть на приемник насадку с экраном из белой бумаги.



2. Снять с оптической скамьи анализатор и рассматривать через него светлую точку на экране.
3. Вращая анализатор, оценить состояние поляризации света, рассеянного бумагой.
4. По результатам работы составить отчет.

**Задание 7.** Наблюдать оптическую активность раствора сахара и оценить его концентрацию.

Задание выполнять на установке с лазером (см. рис. 15). Установка содержит лазер, анализатор и белый экран. К установке прилагается кювета с раствором сахара в воде.

Порядок выполнения задания.

1. Подготовить табл. 2 для записи результатов измерений.
2. Угломерную шкалу анализатора развернуть в сторону лазера.
3. Включить лазер и направить его луч на белый экран.
4. В отсутствие кюветы вращением анализатора максимально ослабить свет на экране. Это произойдет при угле, близком к  $+90^\circ$ . Отличие от угла  $90^\circ$  возникает вследствие того, что световой вектор лазера немного смещен от вертикали. При наибольшем затемнении на экране заметить положение риски отсчета на угломерной шкале. *Примечание:* положение риски может выйти за пределы угловой шкалы на несколько градусов.
5. Внести кювету с раствором сахара между лазером и анализатором. При этом возрастет яркость света на экране вследствие поворота плоскости поляризации при прохождении света через раствор.
6. Поворотом анализатора на угол, который обозначим  $\varphi$ , восстановить наибольшее затемнение света на экране. Измерить угол  $\varphi$ . Результат измерения записать в табл. 2. Угол  $\varphi$  принять равным углу вращения плоскости поляризации при прохождении света через раствор.
7. Определить направление вращения плоскости поляризации при прохождении света через раствор. Это направление совпадает с направлением вращения анализатора. Например, если анализатор был повернут по ходу часовой стрелки, если смотреть навстречу хода луча, то оптическая активность – правовращающая.
8. Записать в табл. 2 длину кюветы  $l$ , которая приведена на кювете.
9. Вычислить концентрацию сахара  $c$  по формуле (5), где  $[\alpha] = 57^\circ,5$ . Результат вычисления привести в табл. 2.

Таблица 2

#### Изучение оптической активности раствора сахара

Длина кюветы $l$ , дм	$\varphi,^\circ$	Направление враще-	Концентрация $c$ , г/мл
-----------------------	------------------	--------------------	-------------------------

		ния	

**Задание 8.** Получить свет эллиптической и круговой поляризации.

Свет круговой поляризации обычно получают из естественного света, пропуская его через *циркулярный поляризатор*. Циркулярный поляризатор состоит из соединенных вместе поляроида, который превращает естественный свет в линейно-поляризованный, и пластинки  $\lambda/4$ , осуществляющей сдвиг фаз ортогональных компонент на  $\pi/2$  (см. рис. 14). Свет проходит сначала через поляроид, а затем через пластинку  $\lambda/4$ .

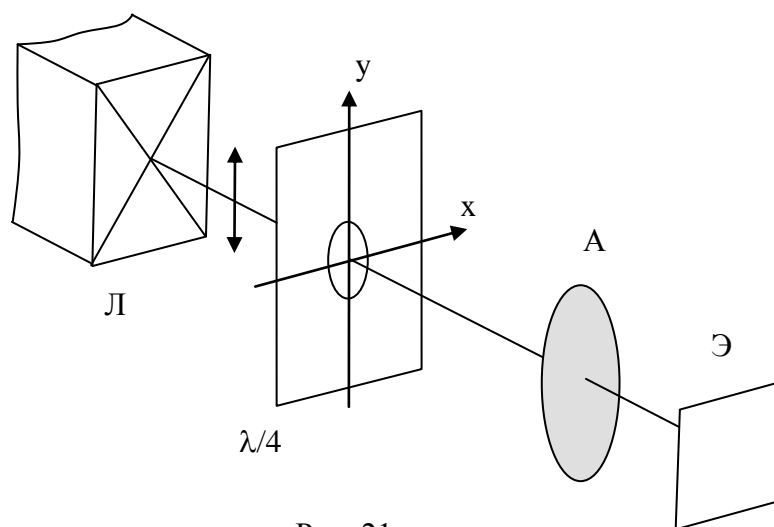


Рис. 21

Оптическая схема опыта для получения света эллиптической (и круговой) поляризации представлена на рис. 21. В качестве источника света используется лазер Л. Поскольку лазер испускает линейно-поляризованный свет, поляроид не нужен. Световой вектор лазера направлен примерно вертикально. Затем свет проходит через пластинку  $\lambda/4$ , которая имеет два главных направления – оси  $x$  и  $y$  (см. рис. 12 и 21). Поворотом пластинки  $\lambda/4$  вокруг луча света можно изменять угол  $\alpha$  между световым вектором линейно-поляризованной волны лазера и осью  $x$  (на рис. 21 показан случай, когда  $\alpha = \pi/2$ ). В зависимости от угла  $\alpha$  получают свет с различной поляризацией (см. рис. 13).

За пластинкой  $\lambda/4$  стоят анализатор А (поляроид) и белый экран Э. Интенсивность света на экране оценивают визуально. Если при вращении анализатора интенсивность света не изменяется, то поляризация круговая. Если интенсивность света изменяется (но не до почти полного затемнения), то свет имеет эллиптическую поляризацию. Если при вращении анализатора свет можно погасить практически полностью, то поляризация осталась линейной.

Порядок выполнения задания.

1. Установить насадку с белым экраном на приемник.

2. Включить лазер, направить его луч на экран.
3. Повернуть анализатор до практически полного гашения света на экране.
4. Пластинка  $\lambda/4$ , изготовленная из полимерной пленки или листочка слюды, вмонтирована в квадратную рамку. Главные направления пластинки ( $x$  и  $y$ ), показанные на рамке, примерно параллельны сторонам рамки. Рамку с пластинкой  $\lambda/4$  держать в руках, прислонив ее к торцу корпуса лазера.
5. Повернуть пластинку  $\lambda/4$  так, чтобы ось  $x$  была горизонтальна. Вращая пластинку на очень небольшие углы в одном и в другом направлениях найти положение наибольшего затемнения на экране. При этом световой вектор лазера будет совпадать с направлением оси  $y$  (см. рис. 13, *в*). В этом случае свет, прошедший через пластинку  $\lambda/4$ , сохраняет линейную поляризацию. Вращением анализатора убедиться в этом.
6. Повернуть пластинку  $\lambda/4$  так, чтобы ось  $x$  была вертикальна. Небольшими вариациями углового положения пластинки опять добиться наибольшего затемнения. Теперь световой вектор направлен вдоль оси  $x$ . Вращением анализатора проверить состояние поляризации, которая должна остаться линейной.
7. Повернуть пластинку так, чтобы угол между осью  $x$  и горизонталью составлял примерно  $10 \dots 20^\circ$  (см. рис. 13, *а*). В этом случае возникает эллиптическая поляризация, и при вращении анализатора интенсивность света должна изменяться в небольших пределах.
8. Для получения круговой поляризации ось  $x$  должна составлять угол  $45^\circ$  с горизонталью (см. рис. 13, *б*). Если при вращении анализатора интенсивность света практически не изменяется, то поляризация круговая.
9. Если при вращении анализатора (см. п. 8) происходят небольшие изменения интенсивности света, то поляризация близка к круговой. В этом случае следует немного изменить угловое положение пластинки с целью получения круговой поляризации.
10. По результатам работы составить отчет.
11. *Контрольный вопрос.* Предположим, что свет выходит из «черного ящика», устройство которого неизвестно. Анализ показал, что при вращении поляроида его интенсивность не изменяется. Следовательно, свет либо естественный (неполяризованный), либо поляризованный по кругу. С помощью какого дополнительного устройства (детали) и каким опытом можно сделать правильный выбор?

**Задание 9.** Измерить угол Брюстера.

Порядок выполнения задания.

1. В установке № 3 (см. рис. 17) включить лампу. Тумблером установить наибольшую яркость.

2. Состояние поляризации света определяют с помощью анализатора А (поляроида), который держат перед глазом. Убедиться в том, что прямой свет лампы не поляризован, а отраженный от стекла поляризован, и его интенсивность зависит от угла наблюдения.

3. Наблюдая отражение света под большими углами падения и при этом вращая поляроид, найти положение, при котором интенсивность отраженного света минимальна. В этом положении поляроида, изменяя наклоном головы углы наблюдения и слегка вращая поляроид в обе стороны, найти угол падения света, при котором отраженный свет можно практически полностью погасить поляроидом. Это будет угол Брюстера.

4. Убрать руку с поляроидом и заметить, против какого деления линейки расположено изображение нити лампы. Это значение будет соответствовать величине  $l$  в оптической схеме на рис. 17. Измерить значение  $l$  и записать результат в табл. 3.

5. Измерить расстояние  $a$  от нити лампы до стекла (см. рис. 17) и записать результат в табл. 3.

6. Вычислить угол Брюстера по формуле

$$i_B = \arctg(l/a).$$

7. Вычислить показатель преломления стекла (см. формулу (3))

$$n_2 = n_1 \operatorname{tg} i_B = l/a,$$

где  $n_1 = 1$  есть показатель преломления воздуха.

8. Результаты опыта представить в табл. 3.

Таблица 3

### Определение угла Брюстера

$l$ , см	$a$ , см	$i_B$ , град	$n_2$

9. Отраженный от диэлектрика свет удобно использовать для нахождения направления пропускания поляроида. Как видно из рис. 10, при отражении под углом Брюстера световой вектор перпендикулярен плоскости падения. Наблюдая отраженный свет через поляроид, определить направление пропускания поляроида. Сравнить это направление с линией двух точек на оправе.

10. По результатам работы составить отчет.

**Задание 10.** Измерить концентрацию сахара в растворе.

Целью данного задания является ознакомление с поляриметром – прибором для измерения концентрации вещества, обладающего оптической активностью. В задании определяют концентрацию сахара в водном растворе путем измерения угла вращения плоскости поляризации при прохождении линейно-поляризованного света через раствор.

При выполнении данного задания используется метод относительных измерений, который заключается в измерении угла вращения  $\varphi_3$  для эталонного раствора с известной концентрацией  $C_3$  и угла вращения  $\varphi_x$  для раствора с неизвестной концентрацией  $C_x$ . В обоих случаях длины кювет одинаковые. Поскольку углы поворота пропорциональны концентрациям (см. формулу (5)), то

$$C_x = C_3 \varphi_x / \varphi_3.$$

Порядок выполнения задания.

1. Подготовить табл. 4 для записи результатов измерений.

Таблица 4

### Измерение концентрации сахара

$C_3 = \dots$  г/мл;  $C_x = \dots$  г/мл

Номер измерения	$\varphi_3$	$\varphi_x$
1		
2		
3		
Среднее значение	$[\varphi_3] =$	$[\varphi_x] =$

2. Подготовить поляриметр к измерениям (см. рис. 20). Включить лампу. Если в соединительной трубке есть кювета, убрать ее. Вращением окуляра 4 зрительной трубки получить резкое изображение линии раздела поля зрения (см. рис. 19, б).
  3. Перемещением (но не вращением) оправы лупы 5 произвести установку на резкость изображения угловой шкалы.
  4. Записать в заголовок табл. 4 значение концентрации  $C_3$  эталонной кюветы. В соединительную трубку 2 поляриметра поместить кювету с раствором сахара известной концентрации  $C_3$  и установить окуляр 4 на резкое изображение разделяющей линии поля зрения.
  5. Поворачивая анализатор 3, установить равенство яркостей частей поля зрения и определить по отсчетному устройству с нониусом значение угла  $\varphi_3$ . Измерения угла  $\varphi_3$  повторить два раза и записать результаты табл. 4. Вычислить среднее значение угла  $[\varphi_3]$ .
- Примечание.* Вращением анализатора 3 уравнивают яркости двух половинок поля зрения в таком положении анализатора, чтобы незначительное смещение анализатора вызывало резкое нарушение равенства яркостей двух частей поля.
6. Поместить кювету с раствором сахара неизвестной концентрации  $C_x$  и измерить три раза угол  $\varphi_x$ . Вычислить среднее значение  $[\varphi_x]$ .
  7. Рассчитать концентрацию неизвестного раствора по формуле

$$C_x = C_3 [\varphi_x] / [\varphi_3].$$

Полученное значение  $C_x$  записать в табл. 4.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается свойство поперечности электромагнитных волн?
2. В каком случае говорят, что свет имеет линейную поляризацию?
3. Как на опыте можно определить, имеет ли исследуемый свет линейную поляризацию?
4. Какие физические явления используются для получения линейно-поляризованного света из света естественного?
5. Что такое круговая, эллиптическая поляризации?
6. Как получить поляризованный по кругу свет?
7. Как отличить поляризованный по кругу свет от света неполяризованного (естественного)?
8. Под каким углом (в градусах) падает солнечный свет на поверхность воды ( $n = 1,33$ ), если отраженный луч имеет степень поляризации  $P = 1$ ?
9. Что такое оптическая активность?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Литвинов О.С., Горелик В.С.* Электромагнитные волны и оптика: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 448с.
2. *Иродов И.Е.* Волновые процессы. Основные законы: Учеб. пособие для вузов. М., 2001.
3. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики: Учеб. пособие для втузов. М., 1999.
4. *Савельев И.В.* Курс общей физики. В 3 т. Т. 2. М., 1978.
5. *Ландсберг Г.С.* Оптика. М., 1976.