

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

**Цель работы:** ознакомление с явлением поляризации света, определение вращательной способности кварцевой пластинки.

**Приборы и принадлежности:** поляризационный прибор, осветитель, красный светофильтр, кварцевая пластинка.

#### Введение

Световая волна - это электромагнитная волна в оптическом диапазоне частот спектра.

Явление поляризации, так же как и интерференция и дифракция, выявляет волновую природу света и подтверждает то, что свет представляет собой поперечные волны. В соответствии с электромагнитной теорией Максвелла, световая волна описывается двумя векторами  $E$  и  $H$ . Вектор напряженности электрического поля (световой вектор)  $E$  перпендикулярен направлению распространения луча света или его скорости  $v$  (ось  $x$  на рисунке 1). Вектор напряженности магнитного поля  $H$  также перпендикулярен вектору  $v$  и перпендикулярен вектору  $E$ . Таким образом, векторы  $E$  и  $H$  находятся в плоскости, перпендикулярной вектору  $v$ .

Естественный свет имеет сложную микроструктуру. Каждый атом источника излучает волны света несогласованно с другими. Это длящееся очень короткое время ( $\sim 10^{-8}c$ ) излучение называется цугом волн. Атом снова начинает излучать лишь после того, как получит извне новый запас энергии. Естественный свет представляет собой очень сложную систему весьма большого количества элементарных волн, излучаемых отдельными атомами. Колебания векторов  $E$  и  $H$  в световом луче, перпендикулярны к направлению его распространения, но вследствие громадного количества независимо излучающих атомов в естественном свете нет преимущественного направления, в котором бы совершались эти колебания. Взаимное расположение векторов  $E$  естественного света, падающего на наблюдателя, показано на рис. 2 а.

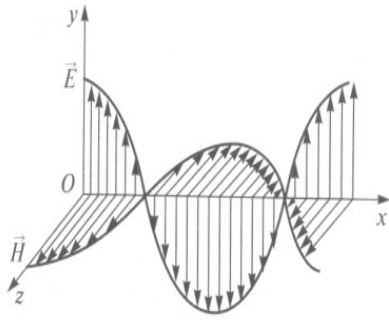


Рис. 1: Устройство электромагнитной волны

Если упорядочить направление колебаний электрического и магнитного векторов падающего на нас света, так как это сделано на рис. 2 б, мы получим плоскополяризованный свет. В таком света колебания вектора  $\vec{E}$  совершаются только в одной плоскости, а колебания вектора  $\vec{H}$  в плоскости ей перпендикулярной. Плоскость колебаний вектора  $\vec{H}$  называется плоскостью поляризации. На рис 1 изображена плоско поляризованная волна, для которой

$$\vec{E} = \vec{E}_m \sin \omega t; \quad \vec{H} = \vec{H}_m \sin \omega t,$$

где  $\vec{E}_m, \vec{H}_m$  - амплитудные значения векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$ ,  $\omega$  - круговая частота колебаний,  $t$  - время, отсчитываемое с момента излучения волны.

Плоскополяризованный свет может быть получен тремя способами:

- 1) путем отражения естественного света от поверхности диэлектрика,
- 2) последовательным преломлением через стопку стеклянных пластинок,
- 3) при прохождении естественного света через некоторые кристаллы (поляризация при двойном лучепреломлении).

Поэтому для получения поляризованного света в качестве поляризатора применяют или плоское зеркало, например, стеклянную пластинку, или стопу стеклянных пластинок, или призму, изготовленную из прозрачного двулучепреломляющего кристалла. На основе этих же способов изготавливают приборы (анализаторы), предназначенные для исследования поляризованного света.

Явление двойного лучепреломления заключается в том, что луч естественного света, преломляясь в кристалле, распадается на два луча обыкновенный ( $o$ ) и необыкновенный ( $e$ ). Оба эти луча поляризованы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

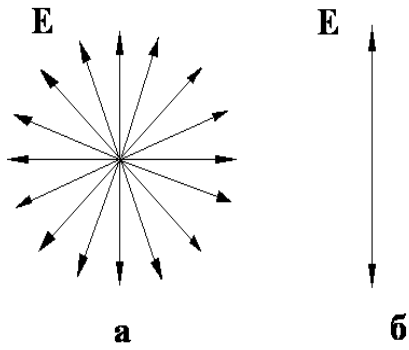


Рис. 2: Естественный и плоскополяризованный свет

Каждому лучу соответствует свое значение показателя преломления  $n$ . Разность этих значений  $n_e - n_o$  служит мерою величины двойного лучепреломления. Величина двойного лучепреломления зависит от направления распространения света в кристалле. В каждом кристалле есть такое направление, в котором двойного лучепреломления нет. Это направление носит название оптической оси кристалла. Следует иметь в виду, что оптическая ось это не одна прямая, а все прямые, параллельные определенному направлению в кристалле. Так для кварца в желтом свете натриевой лампы ( $\lambda = 0,589$  микрон) показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей имеют величину  $n_e = 1,554, n_o = 1,553$ , при этом луч перпендикулярен оптической оси кварца. При уменьшении угла между лучом и оптической осью двойное лучепреломление уменьшается. При этом изменяется показатель преломления необыкновенного луча, а  $n_o$  сохраняет неизменное значение. Наконец, когда луч параллелен оптической оси,  $n_e = n_o$  и двойного лучепреломления нет.

Луч естественного света, пройдя кристалл в направлении оптической оси, остается неполяризованным. Поляризованный луч при прохождении в направлении оптической оси сохраняет свою поляризацию.

Есть кристаллы, которые вращают плоскость поляризации луча: для таких кристаллов плоскости поляризации падающего луча и прошедшего сквозь кристалл в направлении оптической оси образуют между собой угол, величина которого пропорциональна длине пути луча внутри кристалла. Внутри кристалла плоскость поляризации как бы закручивается, образуя винтовую поверхность. Для наблюдателя, который смотрит навстречу лучу, направление вращения может быть как по ходу вращения часовой стрелки, так и наоборот. Соответственно с этим

различают правовращающие и левовращающие кристаллы. Способностью вращать плоскость поляризации обладают также некоторые растворы. Вещества, вращающие плоскость поляризации, называют оптически активными. Вращательную способность кристалла оценивают углом поворота плоскости поляризации при прохождении лучом пути в 1 мм в направлении оси. Величина угла вращения плоскости поляризации зависит от следующих факторов:

а) от природы кристалла - для различных кристаллов в одних и тех же условиях она различна.

б) от длины пути луча в кристалле в направлении оптической оси. Если вырезать из кристалла пластинку плоскостями, перпендикулярными оптической оси, то при нормальном падении луча угол вращения плоскости поляризации пропорционален толщине пластинки.

в) от длины волны света. Чем короче длина волны, тем обычно больше угол вращения. Так, для синего луча угол вращения в кварце больше, чем для красного. Поэтому белый поляризованный луч, пройдя через кристаллическую пластину, распадается на систему монохроматических лучей, плоскости поляризации которых повернуты на различные углы относительно плоскости падающего луча. Это явление носит название вращательной дисперсии.

В настоящей работе предоставляется определить вращательную способность правовращающего кварца.

### **Приборы и методы измерений**

Для наблюдения явлений вращения и измерения угла служит поляризационный прибор. Этот прибор (см. рис. 3) представляет собой совокупность следующих деталей:

1. Поляризатор - пластинка из толстого прозрачного стекла, укрепленная в рамке, вращающейся вокруг горизонтальной оси. Лимб служит для отсчета величины угла отражения. Пластинка поляризует свет при отражении.

2. Поляризованный пучок лучей направляется вверх вдоль вертикальной оси прибора.

3. Предметный столик для кварцевой пластинки и светофильтра.

4. Лимб с поляроидом-анализатором.

Осветителем служит электрическая лампочка, заключенная в камеру с матовым стеклом. На поляризатор должен падать свет, рассеянный

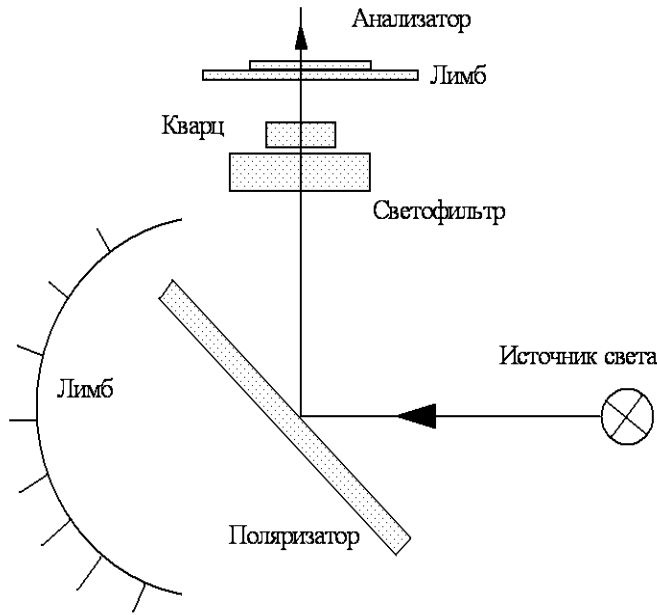


Рис. 3: Схема установки

матовым стеклом. Через полярOID-анализатор наблюдатель видит изображение поверхности матового стекла.

### Порядок выполнения работы

1. Поставить сбоку от прибора осветитель.
2. Расположить пластинку-полярizador примерно горизонтально. Вращением полярOID-анализатора убедиться, что освещенность поля зрения остается одинаковой. Это значит, что свет не поляризован.
3. Повернуть пластинку-полярizador под некоторым углом к боковому освещению. Вновь вращая полярOID, найти такое положение полярOIDа, при котором поле зрения прибора кажется более темным. Объяснить, почему наблюдается потемнение поля зрения.
5. Оставив полярOID в этом положении, изменять угол наклона полярOIDа и наблюдать, как освещенность поля зрения меняется при изменении угла падения. Найти положение пластинки, при котором затемнение наибольшее. Это положение соответствует падению света под углом полной поляризации  $i_b$ . Его величина связана с показателем преломления  $n$  диэлектрика законом Брюстера  $tg i_b = n$ .

6. Вновь вращать анализатор, наблюдая изменение интенсивности света. Определить, на какой угол надо повернуть поляроид, чтобы перейти от наибольшей яркости к наибольшему затемнению. Определить направление, в котором поляроид пропускает колебания.

### **Ознакомление с явлением вращательной дисперсии**

1. Поставить пластинку-поляризатор под углом полной поляризации, найденном в первом упражнении, и в продолжении всей дальнейшей работы это положение не изменять.

2. Установить поляроид на полное затемнение и поставить на столик кварцевую пластинку.

3. Объяснить причину просветления и появления окраски кварцевой пластинки.

4. Вращая анализатор по часовой стрелке, проследить и объяснить смену цветов в поле зрения.

### **Определение угла вращения плоскости поляризации**

1. Поставить светофильтр на предметный столик.

2. Установить, по возможности точнее, анализатор на полное затемнение и сделать отсчет угла  $\alpha$  по лимбу. Сбить установку и снова получить затемнение. Измерения повторить 10 раз. Результаты записать в таблицу.

3. Поставить на предметный столик кварцевую пластинку со светофильтром, снова тщательно установить анализатор на полное затемнение поворотом по стрелке часов и сделать отсчет угла  $\beta$  по лимбу. Повторить эти измерения 10 раз.

### **Обработка результатов измерений**

Угол вращения плоскости поляризации получить как разность:

$$\varphi = \alpha - \beta.$$

Найти среднее из десяти измерений значений угла. Дать оценку точности его измерения, вычислить среднюю квадратичную ошибку полученного результата. Вращательная способность кварца для красных лучей находится делением среднего угла вращения плоскости поляризации на толщину пластинки. Толщина пластинки известна и указана на ее оправе.

### ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ

№ опыта	$\alpha$	$\beta$	$\varphi$	$\Delta i = \varphi_{cp} - \varphi_i$	$(\Delta i)^2$
1					
2					
3					
...					
10					

Результат измерения:

$$\varphi = \varphi_{cp} \pm m,$$

где  $m$  - средняя квадратичная ошибка среднего значения  $\varphi$

$$m = \sqrt{\frac{\sum (\Delta i)^2}{n - 1}}.$$

Толщина кварцевой пластинки:  $d = \dots$

Вращательная способность кварца для красных лучей ...

### Вопросы

1. Что такое естественный свет? Что такое линейно-поляризованный свет?
2. Как получить линейно-поляризованный свет?
3. Чему равен угол полной поляризации при отражении?
4. Свет поляризован отражением, укажите, в какой плоскости совершаются колебания в отраженном луче.
5. Что такое поляризатор и анализатор? Какова роль этих приборов в исследованиях по поляризации света?

6. В чем заключается закон Малюса?
7. Расскажите о явлении вращения плоскости поляризации.

### **Литература**

1. И. В. Савельев, Курс общей физики, т. 2, 1988, § 134-141.
2. Т. И. Трофимова, Курс физики, 1985, § 191-196.
3. Н. П. Калашников, М. А. Смондырев, т. 2, 2003, § 26.1.