

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Цель работы

Цель лабораторной работы заключается в изучении явления поляризации световых волн и угла вращения плоскости поляризации света раствором сахара и определении процентного содержания сахара в растворе.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Математическое представление плоских волн

Свет представляет собой электромагнитные волны, распространяющиеся в вакууме со скоростью $3 \cdot 10^8$ м/с. Световые волны делятся по форме волнового фронта (фронт волны – поверхность равных фаз) на плоские, сферические и др.

Если точка наблюдения расположена на значительном удалении от источника, то на ограниченных участках световая волна любой формы может быть приближено представлена как плоская электромагнитная волна. В этом случае векторы напряженностей электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей расположены в плоскости, перпендикулярной направлению распространения \vec{N} :

$$\frac{\varepsilon v}{c} \vec{E} = [\vec{H} \vec{N}], \quad \frac{\mu v}{c} \vec{H} = [\vec{N} \vec{E}], \quad (1)$$

где v – скорость света в среде с диэлектрической постоянной ε и магнитной проницаемостью μ , а c – скорость света в вакууме.

Введенная математическая запись отражает основные свойства плоской монохроматической световой волны – пространственное взаимно-перпендикулярное расположение векторов \vec{N} , \vec{E} и \vec{H} , поперечность электромагнитных волн, линейную связь скоростей

$$v = c \cdot (\varepsilon \mu)^{-1/2} \quad (2)$$

и длин векторов \vec{E} и \vec{H}

$$\mu^{1/2} \cdot |\vec{H}| = \varepsilon^{1/2} \cdot |\vec{E}|. \quad (3)$$

Это равенство показывает, что электрическое E и магнитное H поля изменяются так, что они одновременно проходят через максимум и минимум, т.е. E и H в плоской волне колеблются в одной и той же фазе. Согласно теории электромагнитного поля напряженности E и H находятся из решения волнового уравнения. В общем виде решение волнового уравнения может быть представлено в виде

$$s = f\left(t - \frac{\vec{N}\vec{r}}{v}\right), \quad (4)$$

где f – произвольная функция времени t и радиус-вектора точки наблюдения \vec{r} , v – фазовая скорость, т.е. скорость распространения фронта волны.

Аргумент функции $\left(t - (\vec{N}\vec{r})/v\right)$ определяет фазу волны. В любой фиксированный момент времени $t = t_0$ поверхность равных фаз определяется соотношением $t_0 - (\vec{N}\vec{r})/v = \text{const}$, откуда следует нормальное уравнение плоскости

$$(\vec{N}\vec{r}) = \text{const}. \quad (5)$$

Таким образом, поверхность равных фаз (фронт волны) – это плоскость нормальная к единичному вектору направления распространения волны \vec{N} .

Частным решением волнового уравнения являются плоские монохроматические (гармонические) волны (функции синуса или косинуса при постоянной амплитуде и фазе)

$$s = a \sin \omega \left(t - \frac{\vec{N}\vec{r}}{v}\right), \quad (6)$$

где a – амплитуда, $\omega = 2\pi\nu$ – круговая частота, а $\psi = \omega\left(t - \vec{N}\vec{r}/v\right)$ – фаза колебания. Причем длина волны и частота связаны соотношением $\lambda\nu = v$.

Если свет распространяется в среде с показателем преломления $n = c/v$ вдоль оси z , то $(\vec{N}\vec{r}) = z$ и для фазы волны получается выражение

$$\psi = \omega \left(t - \frac{\vec{N}\vec{r}}{v}\right) = \omega \left(t - \frac{z}{v}\right) = \omega \left(t - \frac{nz}{c}\right) = \omega t - \frac{\omega}{c} nz. \quad (7)$$

Удобство представления волн в виде монохроматических определяется тем фактором, что при рассмотрении более общей задачи о распространении светового некогерентного импульса, т.е. импульса произвольного спектрального состава, задаваемого некоторой функцией $f(t)$, последний может быть разложен на монохроматические волны. Математически это означает, что любая функция $f(t)$ может быть представлена в виде суперпозиции синусов и косинусов (разложение в ряд или интеграл Фурье).

Поляризация света и ее типы

В соответствии с уравнением (7) напряженности электрического E и магнитного H полей принимают вид:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin \omega \left(t - \frac{\vec{N} \vec{r}}{v} \right), \quad \vec{H} = \vec{H}_0 \sin \omega \left(t - \frac{\vec{N} \vec{r}}{v} \right) \quad (8)$$

Введем некоторые определения. Плоскостью колебаний световой волны называется плоскость, которая проходит через электрический вектор \vec{E} и направление распространения волны \vec{N} . Эта плоскость также называется плоскостью поляризации (рис. 1).

Линейной или плоско поляризованной волной называется световая волна, у которой плоскость колебаний и, следовательно, плоскость поляризации не меняют своего положения в пространстве. В этом случае конец электрического вектора в любой точке пространства со временем описывает прямую линию, перпендикулярную направлению распространения волны.

Если конец электрического вектора \vec{E} в любой заданной точке с течением времени описывает окружность, то волна называется поляризованной по кругу или циркулярно поляризованной, если эллипс – то поляризованной по эллипсу или эллиптически поляризованной.

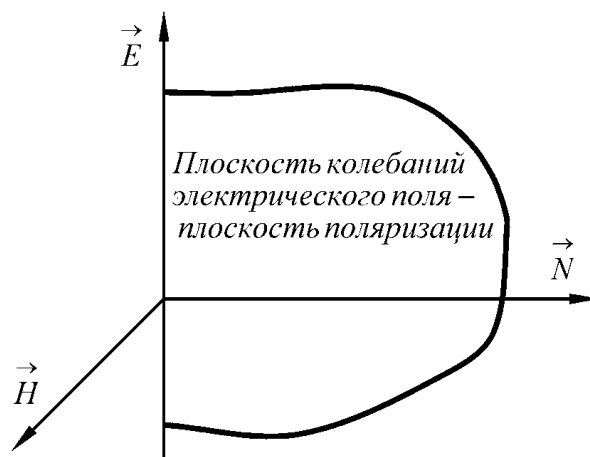


Рис. 1. Взаимное расположение векторов электрического и магнитного полей в плоско поляризованной волне

Свет, испускаемый реальным источником - естественный свет, не является поляризованным в силу того, что любой такой источник состоит из большого числа атомов, излучающих свет в различные промежутки времени, с различными фазами, амплитудами и различными направлениями колебаний электрического вектора. Таким образом, для естественного света все направления колебаний, расположенные в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения, являются равноправными, т.е. среди всех возможных плоскостей колебаний нельзя выбрать какую-либо преимущественную плоскость, как это имеет место для линейно поляризованного света.

Естественный свет есть совокупность световых волн со всеми возможными направлениями колебаний, быстро и беспорядочно сменяющимися друг друга. При такой хаотической смене колебаний во времени среднее значение по времени квадрата составляющей электрического вектора по любому направлению в плоскости,

перпендикулярной к направлению распространения, равно среднему значению квадрата составляющей по любому другому направлению. В частности, если систему координат выбрать так, чтобы ось z совпала с направлениями распространения (рис. 2), то

$$\langle E_x^2 \rangle = \langle E_y^2 \rangle, \quad (9)$$

где угловые скобки означают среднее значение по времени.

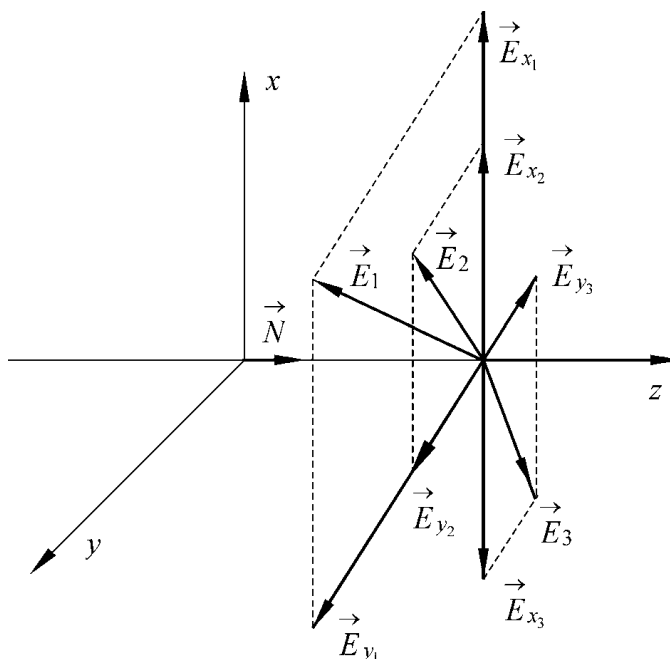


Рис. 2. Всевозможные направления колебаний электрического поля в волне естественного света

В случае если $\langle E_x^2 \rangle \neq \langle E_y^2 \rangle$, свет называется частично поляризованным. Для частично поляризованного света одно из направлений колебаний является преимущественным, хотя и не исключительным, как для линейно поляризованного света.

Распространение света в анизотропной среде. Двойное лучепреломление

При прохождении через среду или при отражении от границы раздела двух сред естественный свет может быть превращен либо в частично, либо в полностью поляризованный. Поляризация естественного света при прохождении через анизотропную среду неразрывно связана с так называемым двойным лучепреломлением, заключающимся в разделении падающего луча на два, обладающих различными оптическими свойствами.

Под анизотропной средой мы понимаем среду, имеющую неодинаковые электрические и оптические свойства по различным направлениям. Если же эти свойства являются тождественными для любых направлений, то среда называется изотропной. Изотропная среда характеризуется тем, что вектор электрического смещения \vec{D} и вектор напряженности \vec{E} коллинеарны: $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$, где ϵ -

диэлектрическая проницаемость. В анизотропной среде \vec{D} и \vec{E} по направлению не совпадают, поэтому связь между ними является иной и при определенном выборе системы координат может быть записана так:

$$D_x = \varepsilon_1 E_x, \quad D_y = \varepsilon_2 E_y, \quad D_z = \varepsilon_3 E_z, \quad (10)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - диэлектрические проницаемости, не равные друг другу и указывающие, что электрические свойства среды являются различными по различным направлениям. Если $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon$, то среда, очевидно, будет изотропной.

При прохождении через анизотропную среду луч света разделяется на два луча. Один из них называют обыкновенным, а другой необыкновенным. Скорость обыкновенного луча постоянна и не зависит от направления распространения света в среде. И для него выполняются все законы преломления.

Необыкновенный луч отличается от обыкновенного. Во-первых, его скорость зависит от направления распространения и, вообще говоря, не равна скорости обыкновенного луча. Во-вторых, такой луч может выходить из плоскости падения и при перпендикулярном падении на границу раздела двух сред угол преломления может быть отличен от нуля, т.е. не выполняются законы преломления.

Необходимо отметить, что для любой анизотропной среды в любой точке всегда можно найти одно или два направления, называемые оптическими осями, по которым обыкновенный и необыкновенный лучи распространяются с одинаковой скоростью. В первом случае кристаллы называются одноосными, во втором – двуосными. Подчеркнем, что оптическая ось представляет собой определенное направление в среде, а не какую-то избранную линию.

Всякая плоскость, проходящая через оптическую ось и падающий луч, носит название главного сечения или главной плоскости кристалла.

Призма Николя. Закон Малюса

Как обыкновенный, так и необыкновенный лучи являются линейно поляризованными. При этом вектор напряженности электрического поля \vec{E} обыкновенного луча перпендикулярен главной плоскости, а необыкновенного – лежит в этой плоскости.

Если каким-либо способом удастся выделить один из этих лучей, например, заставив другой поглотиться, то в результате получается полностью поляризованный свет. Такое выделение за счет естественного поглощения обыкновенного луча наблюдается в кристалле турмалина. По выходе из кристалла свет оказывается линейно поляризованным и представляет собой необыкновенный луч. В настоящее время изготавливают специальные полимерные пленки, обладающие таким избирательным поглощением. Оптические элементы – кристаллические пластины или полимерные пленки, поглощающие лучи света с одним направлением колебаний и пропускающие лучи с ортогональным направлением колебаний, называются *поляроидами*.

Одним из кристаллов, обладающих выраженным двойным лучепреломлением, является исландский шпат. Однако он является одинаково прозрачным как для обыкновенного, так и для необыкновенного лучей, поэтому приходится принимать специальные меры для выделения необыкновенного луча.

Николь добился этого следующим образом: длинный кусок исландского шпата спиливается у обоих концов (как показано на рис. 3) так, что угол D диагональной плоскости становится равным 68° . Затем проводится разрез по линии AC , перпендикулярно к полученной плоскости и обе половины склеиваются канадским бальзамом. Этот разрез не должен непременно проходить через угол A . Обычно выбирают кусок, в котором отношение длины и ширины таково, что AC не соединяет

оба тупых угла. Оптическая ось в кристалле проходит под углом 48° к боковой грани AB .

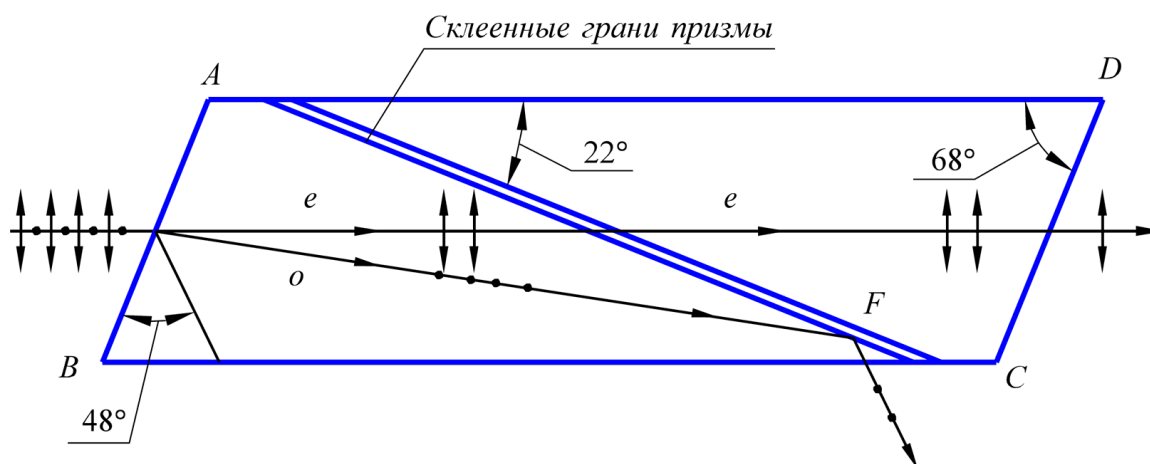


Рис. 3. Ход линейно поляризованных лучей света в призме Николя

Луч, падающий на поверхность AB , разделяется в призме на два. Обыкновенный луч o отклоняется больше, т.к. исландский шпат является для него показателем преломления большим, чем для необыкновенного луча e . В точке F он падает под большим углом. Прохождение канадского бальзама представляет для него переход из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим показателем ($n_0 > n_{кб} > n_e$). Углы призмы подбираются таким образом, чтобы обыкновенный луч испытывал в точке F полное внутреннее отражение. После этого луч поглощается в черном покрытии, нанесенном на поверхность призмы.

Необыкновенный луч после пересечения всего кристалла выходит параллельно падающему лучу. Он линейно поляризован и его электрический вектор совершает колебания в главной плоскости кристалла. Таким образом, свет, выходящий из призмы Николя, вдвое слабее падающего, так как содержит одно слагаемое, но зато он полностью поляризован. Каждый “николь” может служить как поляризатором, так и анализатором. Он может или поляризовать свет, или анализировать его при одновременном употреблении призм в каком-нибудь приборе.

Рассмотрим прохождение пучка света последовательно через две призмы Николя и кристаллическую пластинку, помещенную между ними (рис. 4). Пусть S – источник света, N_1 – николь-поляризатор, пропускающий световые колебания, лежащие в главной плоскости, N_2 – николь-анализатор. Рассмотрим сначала случай, когда отсутствует кварцевая пластинка.

Если главные плоскости николей N_1 и N_2 параллельны, то свет, вышедший из поляризатора N_1 и имеющий интенсивность I_0 , полностью проходит через анализатор N_2 . Если же главные плоскости николей перпендикулярны друг другу, то свет полностью задерживается в анализаторе N_2 и поле зрения делается темным. В общем случае интенсивность прошедшего света подчиняется закону Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \alpha, \quad (11)$$

где α - угол между главными плоскостями N_1 и N_2 .

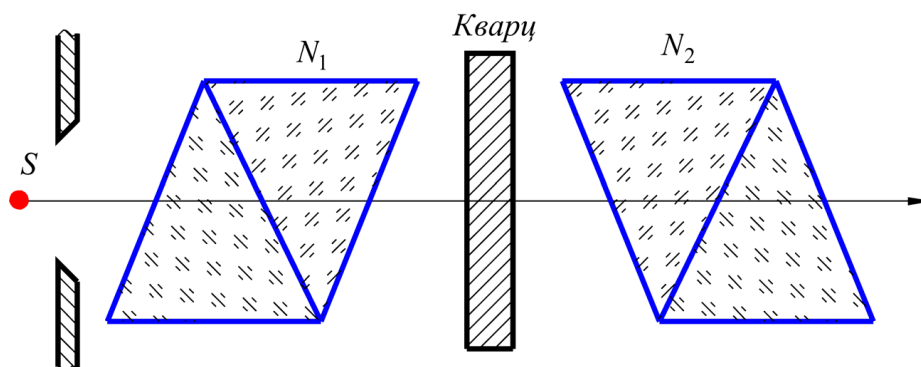


Рис. 4. Прохождение пучка света последовательно через две призмы Николя и кристаллическую пластинку, помещенную между ними

Вращение плоскости поляризации

При помощи устройства, изображенного на рисунке 4, Араго обнаружил вращение плоскости поляризации света, так называемое явление оптической активности.

Если между скрещенными николями N_1 и N_2 поместить пластинку кварца, оптическая ось которой параллельна падающему лучу, то анализатор не должен пропустить свет, и поле наблюдения должно быть темным. Однако на опыте поле наблюдения оказалось просветленным. И только при повороте анализатора N_2 на угол α удалось добиться полного затемнения поля. Это, очевидно, означает, что при прохождении света через кварцевую пластину плоскость поляризации, т.е. плоскость колебаний электрического поля, поворачивается на определенный угол α , причем волна все время остается линейно поляризованной.

Наблюдения оптической активности в кварце показали, что существует две модификации кварца: правовращающий, или положительный, дающий поворот электрического вектора по часовой стрелке, и левовращающий, или отрицательный (вращение против часовой стрелки). При этом величина вращения в обоих случаях при прочих равных условиях одинакова. По-видимому, и другие оптически активные кристаллы существуют в двух модификациях, хотя не во всех случаях их удалось обнаружить.

Вращение плоскости поляризации наблюдается также и в некристаллических телах. К ним принадлежат, например, скипидары, метиловые эфиры жирных кислот, растворы сахара, камфары и т.д. Это означает, что данное явление не связано с анизотропией в противоположность двойному лучепреломлению. В настоящее время известны тысячи активных веществ, обладающих весьма различной вращающей способностью.

Вращательная дисперсия

Вращательной дисперсией называют зависимость угла поворота плоскости поляризации от длины волны $\alpha = \alpha(\lambda)$. Особенность вращательной дисперсии состоит в том, что она намного больше, чем дисперсия показателя преломления. В первом приближении угол α обратно пропорционален квадрату длины волны $\alpha = A/\lambda^2$. Почти в три раза изменяется угол α при переходе от красного края спектра к

фиолетовому. Кварцевая пластина толщиной в 1 мм производит следующие вращения: $12,65^\circ$ ($\lambda = 759,4$ нм); $21,72^\circ$ ($\lambda = 589,3$ нм); $42,59^\circ$ ($\lambda = 430,8$ нм).

Направим на кварцевую пластину, толщиной в несколько миллиметров, пучок белого света, поляризованный вдоль направления PO (рис. 5). Тогда векторы колебаний, соответствующие различным длинам волн, будут при выходе из пластинки располагаться веерообразно, как показано на рис. 5.

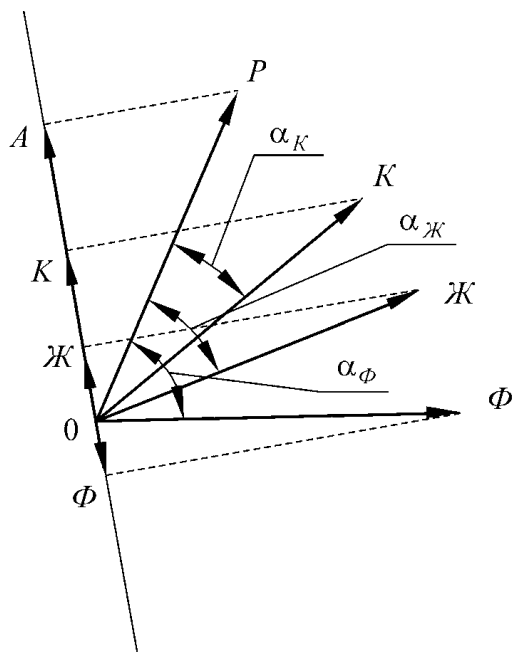


Рис. 5. Влияние вращательной дисперсии оптически активной среды на цвет прошедшего анализатор пучка света

Если на пути такого пучка установить анализатор A , с направлением поляризации OA , то через анализатор пройдут только составляющие векторов поляризации, направленные вдоль OA (OK , OZh , $OPhi$). Эти составляющие неодинаковые, поэтому световой пучок на выходе из анализатора оказывается окрашенным. Фиолетовые и голубые лучи сильно ослабляются по сравнению с красными и желтыми, поэтому прошедший свет будет оранжевого цвета. При вращении анализатора изменяются цветовые оттенки прошедшего света.

Если анализатор установить нормально к одному из векторов колебаний, например OK , то в прошедшем свете будет отсутствовать красный свет. Возникающая при этом окраска получила название *чувствительного оттенка*. Каждому чистому цвету соответствует свой чувствительный оттенок, определяемый суммой остальных цветов.

В оптике широкое распространение нашло устройство, называемое бикварцем Солейля (рис. 6). Бикварц состоит из двух пластин левого и правого кварца толщиной около 4 мм. На рис. 7 показаны два веера колебаний, возникающих на выходе из бикварца, когда на него падает белый цвет, поляризованный вдоль OP . Если анализатор OA параллелен поляризатору OP , то обе половины бикварца имеют одинаковый чувствительный оттенок. При повороте анализатора на малый угол θ возникает различие в чувствительных оттенках кварцевых пластин. Достаточным является поворот на несколько угловых минут, чтобы глаз заметил различие в оттенках. Бикварц Солейля позволяет устанавливать анализатор параллельно колебанию OP , направление которого неизвестно, с точностью, превышающей точность установки анализатора на полное затемнение.



Рис. 6. Бикварц Солейля

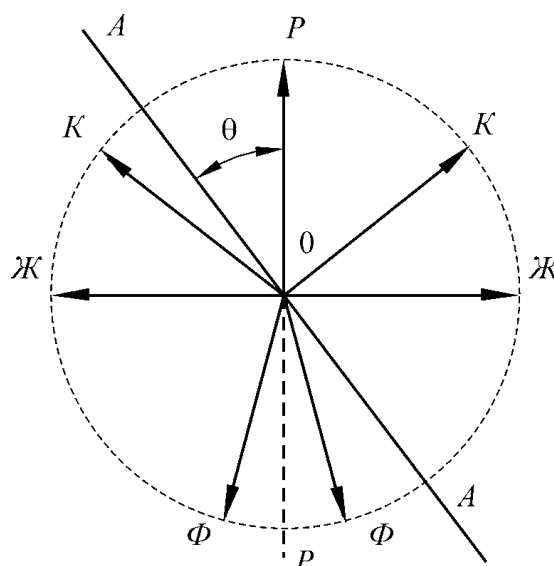


Рис. 7. Направления колебаний в световых лучах разного цвета на выходе из бикварца Солейля

Теория вращения плоскости поляризации (теория Френеля)

Теория вращения плоскости поляризации пучка света впервые была дана Френелем. Френель основывался на предположении, что оптически активные вещества обладают особым типом двойного лучепреломления, заключающимся в разложении линейно поляризованного светового колебания на два колебания, поляризованных по правому и левому кругу. При этом лучи, поляризованные по правому и левому кругу, имеют различные скорости распространения v_n и v_l .

Показатели преломления для таких лучей будут различны $n_n = c/v_n$, $n_l = c/v_l$, и при прохождении среды толщиной l между лучами возникает разность хода $\Delta = (n_n - n_l)l$, и соответствующая разность фаз

$$\Delta\psi = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta = \frac{2\pi (n_n - n_l)l}{\lambda_0}. \quad (12)$$

Свяжем разность фаз $\Delta\psi$ с углом поворота вектора поляризации. Для этого воспользуемся тем фактом, что любое линейно поляризованное колебание $s = a \sin\left(\omega\left(t - \frac{z}{c}n\right)\right)$ (на рис. 8, a – колебание вдоль оси OX) может быть разложено в любой точке пространства z на два колебания, поляризованных по левому и правому кругу с амплитудами $a/2$ и равными фазами $\psi = \omega\left(t - \frac{z}{c}n\right)$. Для циркулярно поляризованных колебаний фаза имеет смысл углов поворота векторов \overline{OM}_2 и \overline{OM}_1 , соответственно, против часовой стрелки и по часовой стрелки. Действительно, как видно из рисунков 8,а, 8,б и 8,в, в любой момент времени t суммарный вектор $\overline{OM} = \overline{OM}_1 + \overline{OM}_2$ представляет собой колебание, направленное вдоль прямой OX .

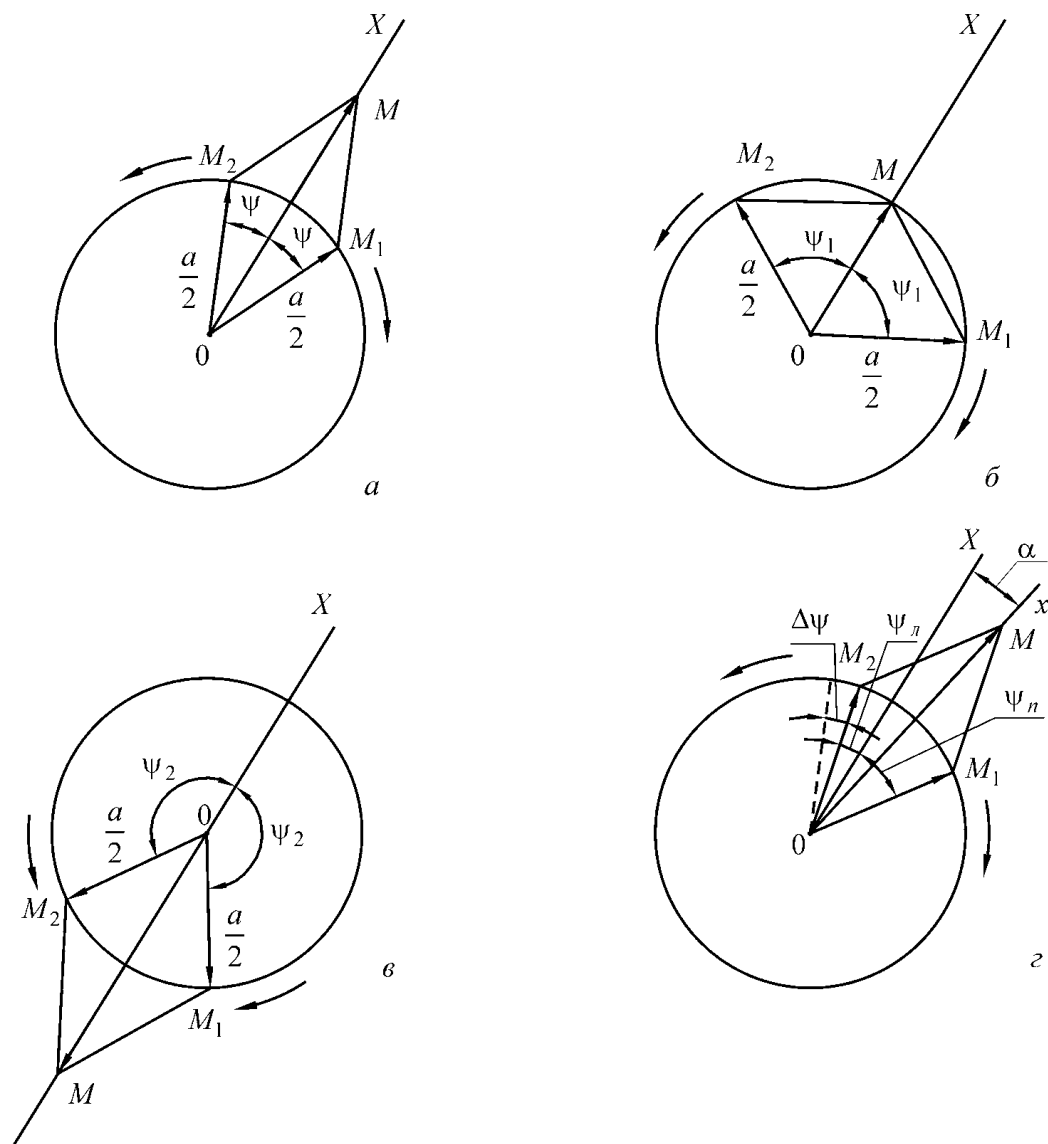


Рис. 8. Разложение линейно поляризованной волны на циркулярно поляризованные волны, распространяющиеся с одинаковыми скоростями в неактивной среде (а, б, в) и различными скоростями в оптически активной среде (г)

В результате распространения циркулярно поляризованных колебаний в активной среде фазы этих колебаний (углы поворота) становятся неодинаковыми из-за различия показателей преломления n_n и n_l . Поэтому на выходе из активной среды толщиной l углы поворота векторов \overline{OM}_2 и \overline{OM}_1 будут различаться на величину разности фаз:

$$\Delta\psi = \psi_n - \psi_l = \omega \left(t - \frac{l}{c} n_n \right) - \omega \left(t - \frac{l}{c} n_l \right) = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_n - n_l) l, \quad (13)$$

где $\lambda_0 = c/\nu$ - длина световой волны в вакууме.

Предположим для определенности, что показатель преломления для левого колебания больше показателя преломления для правого колебания. Это означает, как видно из выражения (7) для фазы, что угол поворота левого колебания меньше угла поворота правого колебания. Тогда на выходе из активной среды результирующие

линейно поляризованного колебания \overline{OX}_1 (сумма $\overline{OM}_2 + \overline{OM}_1$) оказывается повернутым по часовой стрелке по отношению к первоначальному направлению \overline{OX} на угол. Вычислим этот угол. Из рисунка видно, что \overline{OX}_1 , будучи биссектрисой угла M_1OM_2 , составляет с направлением OM_1 угол $\angle X_1OM_1 = \frac{\psi_l + \psi_n}{2}$, откуда для угла α получаем

$$\alpha = \psi_n - \frac{\psi_l + \psi_n}{2} = \frac{\psi_n - \psi_l}{2} = \frac{\Delta\psi}{2} = \frac{\pi(n_l - n_n)l}{\lambda_0}. \quad (14)$$

Закон Био

Как следует из формулы (14), при заданной длине волны λ_0 угол поворота вектора поляризации пропорционален толщине слоя активного вещества

$$\alpha = \alpha_0 l, \quad (15)$$

где коэффициент пропорциональности α_0 равен по величине углу поворота при единичной толщине слоя.

Если оптически активное вещество находится в нейтральном растворе, то, как установил Био на опыте, угол поворота вектора поляризации пропорционален толщине слоя l и концентрации C активного вещества, т.е. числу молекул на пути луча

$$\alpha = [\alpha] Cl. \quad (16)$$

Коэффициент $[\alpha]$ носит название удельного вращения. Закон Био применим к растворам, содержащим несколько активных веществ. Вращение, вызванное смесью, равно сумме вращений, соответствующих отдельным изолированным компонентам смеси

$$\alpha = [\alpha_1] C_1 l + [\alpha_2] C_2 l + \dots \quad (17)$$

Явление оптической активности замечательно во многих отношениях и находит большое практическое применение. Оно более чувствительно к изменениям структуры молекул, к межмолекулярному взаимодействию, к влиянию растворителя и т.д., чем любое другое оптическое явление. Изучение оптической активности сыграло исключительно важную роль не только в физике, но и в химии и биологии. Создание стереохимии основано на открытии оптической изометрии молекул, тождественных во всех отношениях, за исключением того, что одна вращает плоскость поляризации влево, а другая – вправо на тот же угол. Биологическое значение явления связано со способностью, впервые открытой Пастером, ряда микроорганизмов питаться только определенным оптическим изомером того или иного вещества и существенными отличиями в биологической активности правых и левых изомеров биологически важных веществ.

Применение закона Био позволяет определить концентрацию C активного вещества в растворе с известным удельным вращением $[\alpha]$ путем измерения вращения α . Такой метод называется поляриметрическим методом количественного анализа. Этот метод одновременно и точнее и быстрее, чем химические методы количественного анализа.

Поляриметрический метод постоянно применяется в химических лабораториях для оценки чистоты веществ, для анализа протекания химических реакций и разделения фракций.

Поляриметр. Сахариметр

В опытах, описанных выше, угол поворота плоскости поляризации определяется в результате двух установок на темноту: в отсутствие и в присутствии активного вещества. Такая установка относительно груба и, как правило, заменяется более точной. Широкое применение для определения угла поворота плоскости поляризации нашли полутеневые устройства – поляриметры, в которых установка производится не на темноту, а на равное освещение двух половин поля зрения. Благодаря физиологическим особенностям глаза, точность такой установки оказывается очень высокой.

Типичная схема поляриметра представлена на рис. 9. Свет от источника S , проходя через оптическую часть прибора (Z_1, S, Z_2, F), попадает в поляризатор, состоящий из двух призм P и P' , главные сечения которых повернуты на небольшой угол 2β . Призмы создают два линейно поляризованных колебания OP и OP' , разделенных углом 2β (рис. 10). Призма P' делит поле зрения, ограниченное круглой диафрагмой T , на две равные половины. Световой пучок в отсутствие кюветы с исследуемым веществом K непосредственно падает на анализатор A и в глаз наблюдателя. Так как плоскости световых колебаний в обеих половинах пучка составляют угол 2β , то обе половины зрения будут освещены в общем случае не одинаково (рис. 11, *а, в*). Одинаковая освещенность устанавливается в том случае, когда главное сечение анализатора A будет расположено параллельно (или перпендикулярно) биссектрисе AB угла между колебаниями OP и OP' (рис. 11, *б*).

Следует заметить, что в силу закона Малюса, интенсивности колебаний OP и OP' будут различаться. Чтобы сделать это различие минимальным, угол 2β выбирается малым, тогда $\cos 2\beta$ практически остается равным единице.

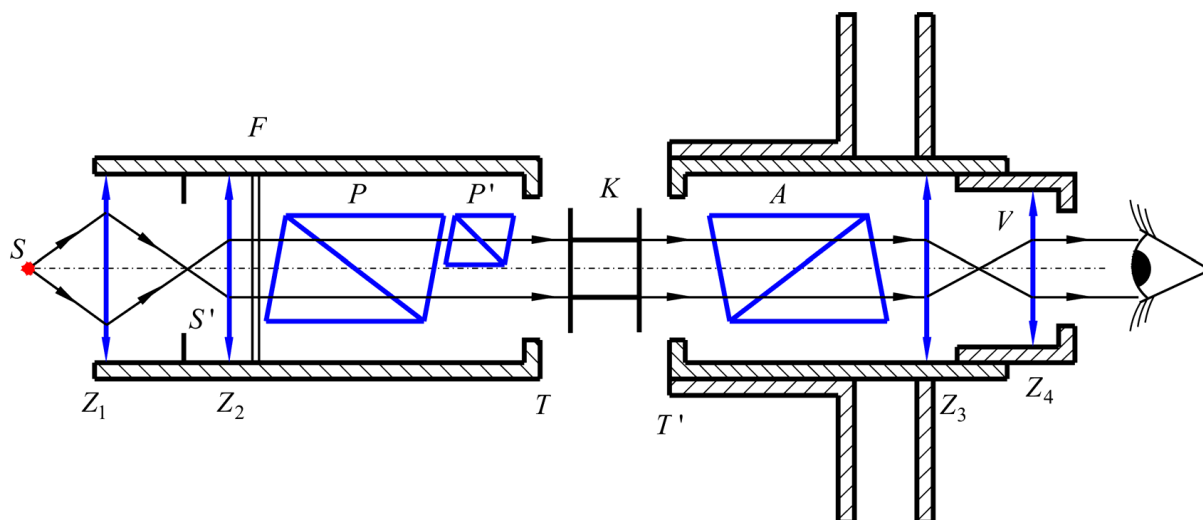


Рис. 9. Оптическая схема поляриметра

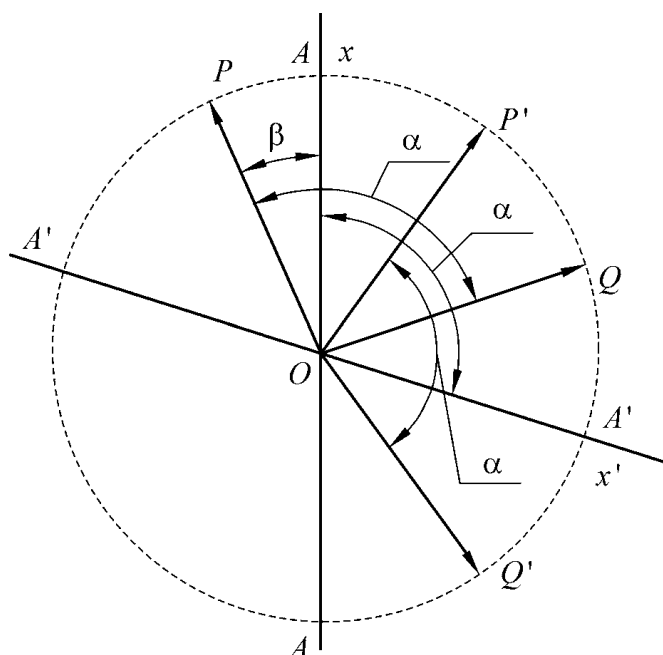


Рис. 10. Векторная диаграмма направлений колебаний в пучках света до и после кюветы с оптически активным веществом

С помощью только глаза трудно установить равенство освещенностей полей, когда они разделены очень тонкой линией. Эту установку осуществляют с помощью зрительной трубы V , состоящей из объектива Z_3 и окуляра Z_4 . Зрительную трубу настраивают на выходную грань поляризатора P' , в плоскости которой происходит разделение пучка на два световых поля. Важно выполнить очень тщательно эту настройку с помощью окуляра зрительной трубы и установить при этом равенство освещенностей до начала измерений.

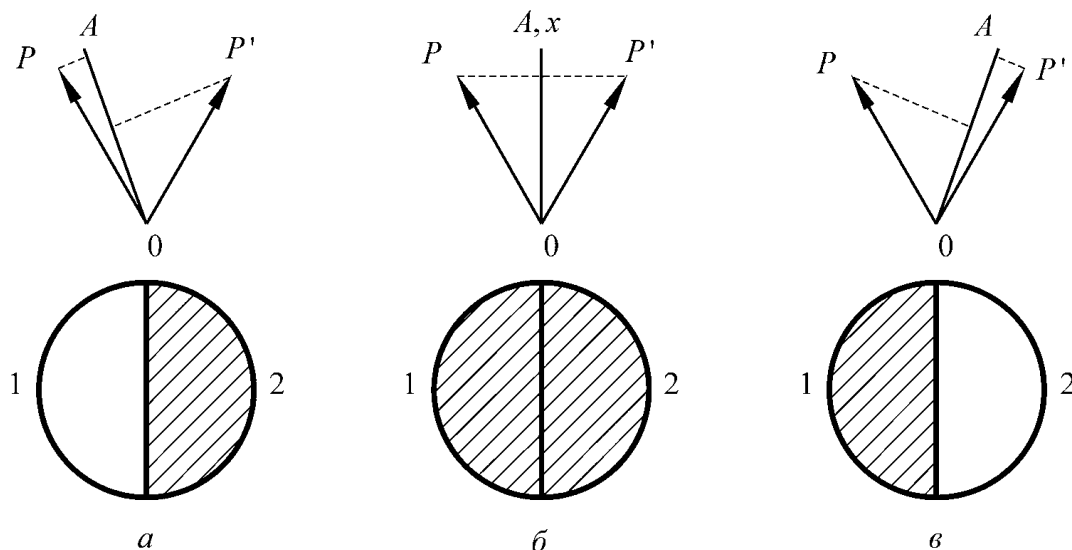


Рис. 11. Вид поля зрения в поляриметре при различных настройках анализатора

Если теперь на пути светового пучка поместить кювету K' , заполненную активным веществом, то колебания OP и OP' повернутся в одном направлении на угол

α ($OP \rightarrow OQ$, $OP' \rightarrow OQ'$). Световые поля окажутся освещенными не одинаково. Поворачивая анализатор A на тот же угол α ($OA \rightarrow OA'$), восстанавливается одинаковая освещенность. Угол поворота анализатора, отсчитанный по шкале прибора, служит мерой оптической активности исследуемого вещества.

Существуют поляриметры, в которых анализатор остается неподвижным, а равенство освещенностей восстанавливается с помощью компенсатора Солейля. Компенсатор устанавливают перед неподвижным анализатором и компенсируют им поворот плоскости поляризации по часовой стрелке. Такие приборы очень удобны при исследовании растворов сахара, так как сахар является правовращающим веществом. По этой причине поляриметры, содержащие неподвижный анализатор и компенсатор Солейля, называют *сахариметрами*.

Устройство компенсатора Солейля показано на рис. 12. Он включает в себя два правовращающих кварцевых клина G и G' , один из которых G' неподвижен, а второй G может перемещаться, изменяя толщину кварца. Толщина всегда остается отличной от нуля. Для того чтобы прибор позволял компенсировать угол поворота до нуля, дополнительно устанавливают левовращающую кварцевую пластину D .

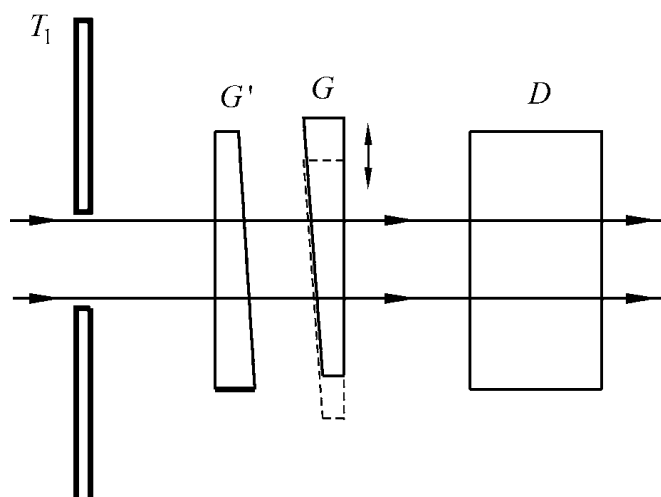


Рис. 12. Компенсатор Солейля, включающий два правовращающих кварцевых клина и левовращающую кварцевую пластину

Из-за наличия вращательной дисперсии точные измерения угла вращения должны производиться для монохроматического света (например, для линии ртутного спектра). В более грубых измерениях довольствуются цветными светофильтрами. При исследовании сахара в сахариметре можно использовать белый свет, так как вращательная дисперсия сахара приблизительно равна дисперсии кварца. Измерения в белом свете производят тогда, когда в поляриметре используется бикварц Солейля, которым заменяют призму P' . При работе с бикварцем установку производят на совпадение оттенков обеих половин поля зрения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Задание 1. Определение удельного вращения сахара

Поместить перед прибором источник света, установить окуляр так, чтобы была ясно видна линия раздела поля зрения, затем анализатор привести в нулевое положение, при котором обе половинки поля имеют одинаковое затемнение. Сделав отсчет на круге, повернуть анализатор немного в сторону, вновь привести его в нулевое положение и сделать новый отсчет на круге. Эту операцию повторить несколько раз, после чего найти среднее нулевое положение анализатора на круге.

В камеру K поместить трубку с раствором сахара известной концентрации и анализатор поворачивается настолько, чтобы получить равенство затемнения обеих половин поля. Эту операцию повторить несколько раз, всякий раз отводя анализатор в сторону и приводя его опять в нулевое положение. Взяв среднее из приведенных отсчетов, оценить угол α , на который плоскость поляризации была повернута раствором.

Из полученных результатов вычисляют удельное вращение сахара. Толщину слоя l измеряют в дециметрах, а концентрацию c - в граммах вещества, заключающегося в 1 см^3 ; часто вместо c берут C - количество вещества, заключающегося в 100 см^3 раствора, так, что $C = 100c$, и таким образом:

$$\alpha = [\alpha] \frac{Cl}{100}, \quad \text{откуда } [\alpha] = \frac{100\alpha}{Cl}. \quad (18)$$

Эта формула служит для определения удельного вращения сахара в растворе, если известна величина его вращения α при определенных C и l . Вместо концентрации C иногда дают плотность раствора ρ и процентное содержание вещества p в растворе. Тогда на 100 г раствора приходится p граммов вещества и, следовательно,

в 1 см^3 раствора заключается $\rho \frac{p}{100}$ граммов, поэтому $\alpha = [\alpha] \frac{\rho lp}{100}$, откуда

$$[\alpha] = \frac{100\alpha}{\rho lp}. \quad (19)$$

Задание 2. Нахождение концентрации сахара в растворе

Повторить те же измерения для раствора сахара неизвестной концентрации и из данных наблюдений вычислить процентное содержание сахара в каждом растворе по формуле (19).

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните принцип действия призмы Николя. Какая часть энергии падающего света проходит через призму Николя, если падающий свет: а) линейно поляризован, б) циркулярно поляризован, в) естественный?
2. Нарисуйте ход лучей в полутеневом сахариметре (с указанием направления колебаний электрического вектора). Как поле зрения разделяется на две части?
3. Как объясняется в теории Френеля явление вращения плоскости поляризации света в оптически активных веществах?
4. Выведите формулу для угла поворота плоскости поляризации в оптически активной среде.

Литература

1. Ландсберг Г.Г. Оптика. М.: Наука, 1976.
2. Бутиков Е.И. Оптика. М.: Высшая школа, 1986.