

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ПРОВЕРКА ЗАКОНА МАЛЮСА, ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА САХАРА

Цель работы: проверка закона Малюса, определение удельной постоянной и концентрации раствора сахара

1. Поляризация плоских электромагнитных волн. Линейная, циркулярная и эллиптическая поляризация.

Для продольных волн все направления колебаний, параллельные линии их распространения, равнозначны. Для поперечных волн они не эквивалентны. Как было показано ранее (см. теоретическую часть лаб. работы № 2), электромагнитные волны являются поперечными, их свойства зависят от направления колебаний векторов \vec{E} и \vec{B} , характеризуемого понятием поляризации. Если в процессе распространения волн вектор \vec{E} (и \vec{B}) изменяется только в одной плоскости, которая параллельна направлению их распространения, то такие волны называют линейно поляризованными. Плоскость колебаний вектора \vec{E} называют плоскостью поляризации.

Излучение обычных источников не поляризовано. Это так называемый естественный свет, в котором колебания вектора \vec{E} изменяются случайным образом по всем направлениям.

Кроме линейной, возможно также получение циркулярной или эллиптической поляризации. Для того, чтобы представить себе условия возникновения этих видов поляризации, рассмотрим суперпозицию линейно поляризованных волн, имеющих одинаковую частоту ω и распространяющихся в направлении оси OZ , т.е.,

$$E_{1x}(z,t) = E_{0x} \sin(\omega t - kz), \quad E_{1y} = E_{1z} = 0 \quad (1)$$

и

$$E_{2y}(z,t) = E_{0y} \sin(\omega t - kz + \delta), \quad E_{2x} = E_{2z} = 0, \quad (2)$$

где δ — сдвиг фаз между колебаниями. В соответствии с принципом суперпозиции $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. С течением времени конец вектора \vec{E} описывает в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, некоторую замкнутую кривую. Выясним

ее вид. Для этого обозначим $E_{1x}(z,t) = E_x$ и $E_{2y}(z,t) = E_y$ и запишем равенство (2) в виде

$$E_y = E_{0y} \sin(\omega t - kz) \cos \delta - E_{0y} \cos(\omega t - kz) \sin \delta.$$

С помощью (1) исключим величины $\sin(\omega t - kz)$ и $\cos(\omega t - kz)$:

$$E_y = E_{0y} \frac{E_x}{E_{0x}} \cos \delta + E_{0y} \sin \delta \sqrt{1 - \frac{E_x^2}{E_{0x}^2}}.$$

Откуда

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} - 2 \frac{E_x E_y}{E_{0x} E_{0y}} \cos \delta = \sin^2 \delta. \quad (3)$$

Рассмотрим следующие случаи.

$$1. \cos \delta = 0, \text{ т.е. } \delta = \frac{\pi}{2} + m\pi, \text{ где } m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

В таком случае,

$$\frac{E_x^2}{E_{0x}^2} + \frac{E_y^2}{E_{0y}^2} = \pm 1. \quad (4)$$

Если $E_{0x} \neq E_{0y}$, то уравнение (4) будет являться уравнением эллипса с центром в начале координат, причем его полуоси будут равны E_{0x} и E_{0y} и совпадут с осями OX и OY .

При $z=0$ уравнения (1) и (2) примут вид

$$E_{1x} = E_{0x} \sin \omega t, \quad (5)$$

$$E_{2y} = E_{0y} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} + m\pi \right) = E_{0y} (-1)^{m+1} \cos \omega t. \quad (6)$$

Из равенств (5) и (6) видно, что конец вектора \vec{E} вращается с угловой скоростью ω при четном m против часовой стрелки и при нечетном m — по часовой стрелке (рис. 1).

Такой случай поляризации называется эллиптической поляризацией. В частном случае, если $E_{0x} = E_{0y}$, эллипс вырождается в окружность, т.е. конец вектора \vec{E} будет описывать окружность. При таком сложении волн возникает циркулярная поляризация.

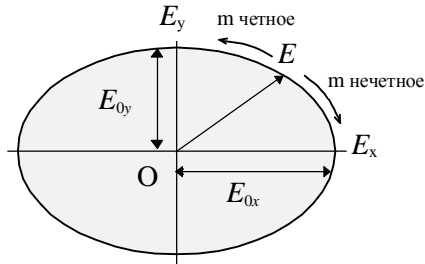


Рис. 1. Возникновение эллиптической поляризации при суперпозиции поляризованных плоских волн, имеющих сдвиг фаз $\delta = \pi/2 + m\pi$

2. $\cos \delta \neq 0$. В этом случае равенство (3) будет описывать эллипс, главные оси которого образуют некоторый угол с осями OX и OY (рис. 2).

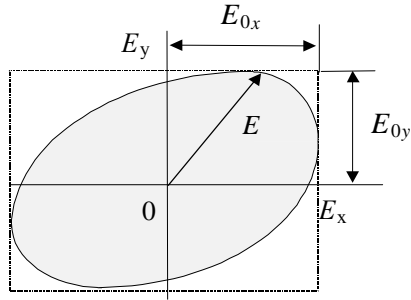


Рис. 2. Возникновение эллиптической поляризации при суперпозиции поляризованных плоских волн (общий случай)

3. $\cos \delta = \pm 1$, $\sin \delta = 0$. С учетом этих условий равенство (3) примет вид

$$\left(\frac{E_x}{E_{0x}} \pm \frac{E_y}{E_{0y}} \right)^2 = 0.$$

Полученное выражение описывает прямые

$$\frac{E_x}{E_{0x}} - \frac{E_y}{E_{0y}} = 0 \quad (7a)$$

и

$$\frac{E_x}{E_{0x}} + \frac{E_y}{E_{0y}} = 0, \quad (7б)$$

причем при $\cos \delta = 1$ результирующее линейное колебание будет осуществляться в первом и третьем (рис. 3а), а при $\cos \delta = -1$ — во втором и четвертом квадранте (рис. 3б).

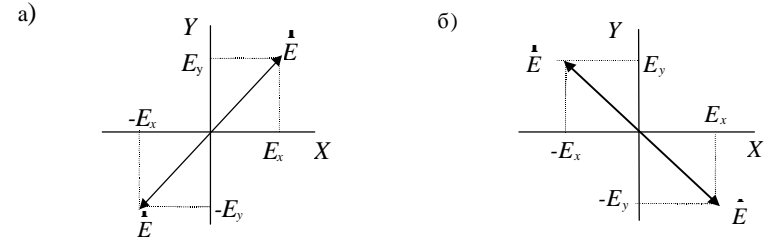


Рис. 3. Вырожденный случай при сложении двух линейно поляризованных волн

На основании изложенного можно сделать вывод, что волна любой поляризации может быть получена в результате суперпозиции двух других, имеющих ортогональную поляризацию, т.е. для электромагнитных волн существуют две независимые взаимно перпендикулярные поляризации.

2. Линейно поляризованная волна как суперпозиция двух циркулярно поляризованных

Рассмотрим суперпозицию волн с левой и правой циркулярной поляризацией. Пусть при некотором $z=0$ векторы \vec{E}_1 и \vec{E}_2 заданы выражениями

$$E_{1x} = E_0 \cos \omega t, \quad E_{1y} = E_0 \sin \omega t, \quad (8)$$

$$E_{2x} = E_0 \cos \omega t, \quad E_{2y} = -E_0 \sin \omega t. \quad (9)$$

Уравнения (8) описывают волну с правой, (9) — с левой циркулярной поляризацией.

В результате суперпозиции волн получим:

$$E_x = E_{1x} + E_{2x} = 2E_0 \cos \omega t$$

и

$$E_y = E_{1y} + E_{2y} = 0,$$

т.е. имеем волну с линейной поляризацией, причем линия колебаний совпадает с осью OX (рис. 4).

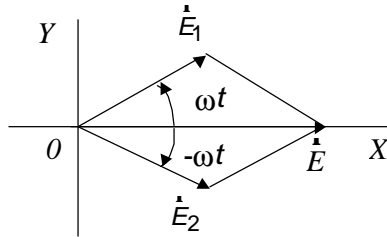


Рис. 4. Образование линейно поляризованной волны в результате сложения двух циркулярно поляризованных

Таким образом, любую линейно поляризованную волну можно представить как суперпозицию двух циркулярно поляризованных.

3. Двойное лучепреломление

Явление двойного лучепреломления заключается в том, что падающая на кристалл волна внутри него разделяется на две, распространяющиеся в общем случае в различных направлениях с различными скоростями и имеющие различную поляризацию. Это явление возникает лишь в оптически анизотропных средах. У двоякопреломляющих веществ имеется одно или два направления, вдоль которых свет с любым направлением светового вектора (вектора \vec{E}) распространяется с одной и той же скоростью. Эти направления называются *оптическими осями*. Для кристаллов с одной оптической осью (одноосных кристаллов) плоскость, проходящая через оптическую ось и нормаль к волновой поверхности (падающий луч), называется *главной плоскостью* (*плоскостью главного сечения*). В таких кристаллах скорость волны, поляризованной перпендикулярно главной плоскости, не зависит от направления их распространения в кристалле. Такую волну называют *обыкновенной*. Волну, световой вектор которой лежит в главной плоскости, и для которой наблюдается зависимость скорости распространения от направления, называют *необыкновенной*.

Рассмотрим некоторые случаи преломления света в одноосных кристаллах. Для этого будем пользоваться построением Гюй-

генса — простым и в то же время достаточно эффективным способом изучения распространения света в анизотропных средах. Поверхности, используемые в этом построении, есть лучевые поверхности, поскольку по правилу Гюйгенса для получения фронта плоской волны проводят плоскость, касательную к поверхности Гюйгенса, а фронт волны касателен именно к лучевой поверхности. Построение Гюйгенса для изотропных сред приведено на рис.5.

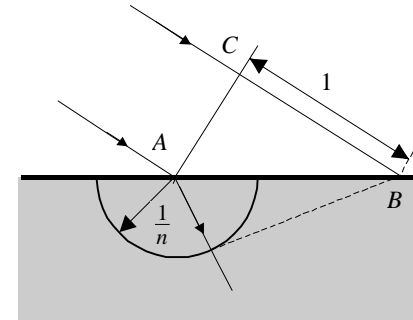


Рис. 5. Построение Гюйгенса для изотропных сред

1. Рассмотрим построение Гюйгенса для положительного кристалла ($v_o > v_e$, $n_o < n_e$), *оптическая ось которого направлена под произвольным углом к поверхности кристалла и лежит в плоскости падения* (рис. 6). Пусть AC — участок волнового фронта падающей волны. Отрезок CB принимается за единицу. Точка A , лежащая на поверхности кристалла, принимается за центр сечения лучевой поверхности. Радиус сечения окружности для обыкновенного луча равен $1/n_o$, а эллиптическое сечение для необыкновенного луча чертится так, чтобы его большая полуось, отложенная в направлении, параллельном оптической оси OO' , была равна $1/n_o$, а малая — $1/n_e$. После этого из точки B проводят касательные к окружности и к эллипсу. Прямые, проведенные из точки A в точки касания, являются искомыми лучами: обыкновенный луч проходит через точку касания, находящуюся на окружности, необыкновенный — на эллипсе.

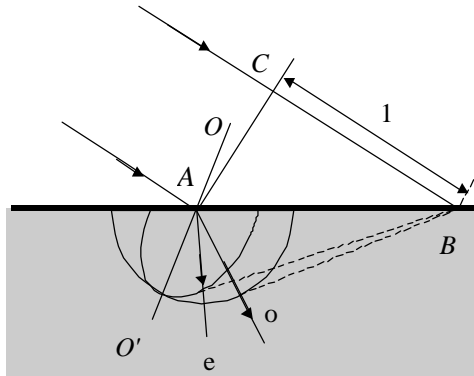


Рис. 6. Построение Гюйгенса для положительного кристалла, оптическая ось которого направлена под произвольным углом к поверхности кристалла и лежит в плоскости падения

1. Оптическая ось параллельна преломляющей грани кристалла. В случае нормального падения обыкновенный и необыкновенный лучи распространяются в кристалле, не преломляясь (рис. 7). Однако волновые фронты волн не совпадают.

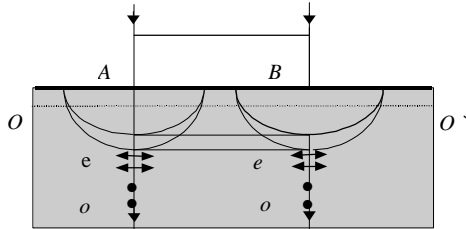


Рис. 7. Построение Гюйгенса для положительного кристалла, оптическая ось которого параллельна преломляющей грани кристалла.

Если кристалл положительный, то фронт обыкновенной волны опережает фронт необыкновенной волны. В результате между ними возникает определенная разность хода. На выходе пластинки разность фаз δ равна

$$\delta = \delta_0 + \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) d. \quad (10)$$

Здесь λ — длина волны, δ_0 — разность фаз между обыкновенной и необыкновенной волнами в момент падения на пластинку.

Рассмотрим несколько наиболее интересных случаев, положив $\delta_0 = 0$.

1. Разность хода между обыкновенной и необыкновенной волнами, создаваемая пластинкой, удовлетворяет условию

$$d(n_o - n_e) = \lambda/4 + m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (11)$$

Такая пластинка называется *пластинкой в четверть длины волны* (пластинкой в $\lambda/4$). На выходе из пластинки разность фаз (с точностью до $2m\pi$) равна $\pm\pi/2$.

Пусть вектор \vec{E} направлен под углом α к одному из главных направлений, параллельных оптической оси пластинки OO' .

Если амплитуда падающей волны \vec{E} , то ее можно разложить на две составляющие: обыкновенную и необыкновенную. Амплитуда обыкновенной волны \vec{E}_{0o} будет равна

$$\vec{E}_{0o} = \vec{E}_0 \cos \alpha,$$

необыкновенной —

$$\vec{E}_{0e} = \vec{E}_0 \sin \alpha.$$

После выхода из пластинки две волны, складываясь в общем случае дают эллиптическую поляризацию. Соотношение осей будет зависеть от угла α . В частности, если $\alpha = 45^\circ$ и амплитуда обыкновенной и необыкновенной волн будет одинаковой, то на выходе из пластинки свет будет поляризован циркулярно. При этом положительное значение разности фаз соответствует поляризации по левому кругу, отрицательное — по правому.

С помощью пластинки в $\lambda/4$ можно выполнить и обратную операцию: превратить эллиптически или циркулярно поляризованный свет в линейно поляризованный. Если оптическая ось пластинки совпадает с одной из осей эллипса поляризации, то в момент падения света на пластинку разность фаз (с точностью до величины, кратной 2π), в соответствии с (10) равна нулю или π . В этом случае обыкновенная и необыкновенная волна, складываясь, дают линейно поляризованный свет.

2. Толщина пластинки такова, что разность хода и сдвиг фаз, создаваемые ей, будут соответственно равны

$$d(n_o - n_e) = \lambda/2 + m\lambda, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (12)$$

$$\text{и} \quad \delta = (\pi + 2m\pi).$$

Выходящий из пластинки свет при этом остается линейно поляризованным, но плоскость поляризации поворачивается против часовой стрелки на угол 2α , если смотреть навстречу лучу.

3. Для пластинки в целую длину волны разность хода

$$d(n_o - n_e) = m\lambda, m = 0, 1, 2, \dots \quad (13)$$

Выходящий свет в этом случае остается поляризованным линейно, причем плоскость колебаний не изменяет своего направления при любой ориентации пластинки.

4. Прохождение света через поляризатор

Линейно поляризованный свет получают с помощью специальных устройств, называемых *поляризаторами*. С помощью поляризаторов можно также изучать, является ли данное излучение линейно поляризованным или нет. Поляризационное устройство, служащее для таких целей, называют *анализатором*. Наибольшее распространение получили поляризационные призмы (призмы Николя, Глана и др.) и поляризационные пленки. Призма Николя (ее часто называют просто николем) изготавливается из исландского шпата. Кристаллы вырезают относительно оптической оси так, как указано на рис. 8, и склеивают канадским бальзамом по поверхности, показанной на рисунке более темным слоем.

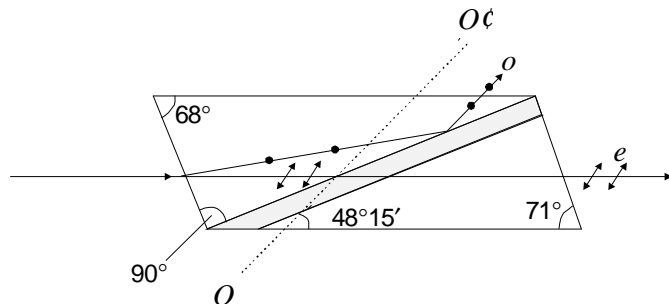


Рис. 8. Принцип действия поляризационной призмы Николя

Коэффициент преломления канадского бальзама $n=1,55$; он имеет числовое значение, заключенное между коэффициентами преломления обыкновенного и необыкновенного лучей. При соответствующем выборе угла падения необыкновенный луч проходит через призму, а обыкновенный луч на поверхности склейки

испытывает полное внутреннее отражение и выводится из призмы или поглощается специально зачерненной оправой.

Рассмотрим прохождение линейно поляризованного света через поляризатор. Пусть плоскость поляризации падающего света, имеющего амплитуду E_0 , составляет угол α с плоскостью поляризатора. В этом случае амплитуда прошедшей через поляризатор волны будет равна проекции E_0 на плоскость поляризатора, т.е. $E_0 \cos \alpha$. Поскольку интенсивность пропорциональна квадрату амплитуды, то интенсивность прошедшей волны I будет равна

$$I = I_0 \cos^2 \alpha, \quad (14)$$

где I_0 — интенсивность падающего на поляризатор линейно поляризованного света. Выражение (14) носит название *закона Малюса*.

5. Анализ состояния поляризации

Поляризаторы и кристаллические пластинки используют также для анализа состояния поляризации. Свет любой поляризации всегда можно представить как суперпозицию двух световых потоков, один из которых поляризован эллиптически (в частном случае — линейно или циркулярно), а другой является естественным. Анализ состояния поляризации сводится к выявлению соотношения между интенсивностями поляризованной и неполяризованной компонентами и определению полюсов эллипса.

На первом этапе анализ проводится с помощью одного поляризатора. При его вращении интенсивность изменяется от некоторого максимального I_{\max} до минимального значения I_{\min} . Поскольку в соответствии с законом Малюса свет не проходит через поляризатор, если плоскость пропускания последнего перпендикулярна к световому вектору, то, если $I_{\min} = 0$, можно заключить, что свет имеет линейную поляризацию. При $I_{\max} = I_{\min}$ (независимо от положения анализатора пропускает половину падающего на него светового потока) свет является естественным или циркулярно поляризованным, а при $I_{\max} \neq I_{\min} \neq 0$ он поляризован частично или эллиптически. Положения анализатора, соответствующие максимуму или минимуму пропускания, отличаются на 90° и определяют положение полюсов эллипса поляризованной компоненты светового потока.

Второй этап анализа производится с помощью пластинки в $\lambda/4$ и анализатора. Пластика располагается так, чтобы на выхо-

де из нее поляризованная компонента светового потока имела линейную поляризацию. Для этого оптическую ось пластинки ориентируют по направлению одной из осей эллипса поляризованной компоненты. (При $I_{\max} = I_{\min}$ ориентация оптической оси пластинки не имеет значения). Поскольку естественный свет при прохождении через пластинку не изменяет состояния поляризации, то из пластинки в общем случае выходит смесь линейно поляризованного и естественного света. Затем этот свет анализируется, как и на первом этапе, с помощью анализатора.

1. Оптическая активность.

Если в пространстве между скрещенными поляризатором и анализатором поместить сосуд с раствором сахара, то в монохроматическом свете наблюдается просветление поля, которое, однако, возможно вновь погасить, вращая анализатор вправо или влево на некоторый угол. Это явление объясняется способностью раствора сахара вращать плоскость поляризации. Известно много веществ, обладающих этим свойством. Их называют *оптически активными*. К ним принадлежит ряд жидких и твердых органических веществ: нефть, винная кислота и др., а также некоторые минералы: кварц, киноварь и др.

Различают вращение правое, или положительное, когда вещество вращает плоскость поляризации по часовой стрелке, и левое, или отрицательное, при вращении плоскости поляризации в обратном направлении.

В случае твердого вещества угол вращения пропорционален толщине проходимого светом слоя, а в случае раствора — кроме толщины слоя он пропорционален еще концентрации активного вещества раствора:

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

где α — угол поворота; l — толщина слоя; c — концентрация раствора; α_0 — коэффициент, который определяет удельное вращение раствора в слое толщиной 10 см при его концентрации $C=1\%$. Кроме того, угол поворота зависит от длины падающего света:

$$\left(\alpha \approx \frac{1}{\lambda^2} \right).$$

8. Измерение оптической активности.

Удельное вращение раствора сахара известной концентрации и процентное содержание сахара в исследуемых растворах измеряются с помощью сахариметра. Простейший сахариметр состоит из двух поляроидов (Π и A), между которыми помещается кювета с раствором (K) (рис. 9).

Устройство промышленного сахариметра в принципе не от-

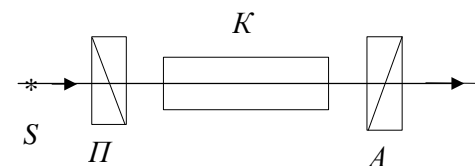


Рис. 9. Оптическая схема простейшего сахариметра

личается от приведенного выше.

Для повышения точности измерения в сахариметрах (поляриметрах) анализаторы устанавливают так, что малые яркости двух (или трех) полей сравнения, на которые разделено поле зрения прибора, одинаковы. С этой целью поляриметры снабжают полутеневыми устройствами — анализаторами или поляризаторами особой конструкции. Простейший полутеневой анализатор можно получить, если обычную поляризационную призму разрезать вдоль по главному сечению, сошлифовать у каждой из половин по клинообразному слою с небольшим углом ($\sim 2^\circ 30'$) и вновь склеить (рис. 10). Поперечное сечение такой призмы вместо первоначального правильного ромба (рис. 10а) будет иметь вид искаженного ромба (рис. 10б).

Если плоскость колебаний PP света, выходящего из поляризатора, перпендикулярна биссектрисе угла между главными направлениями анализатора A_1 и A_2 , то обе половинки будут освещены одинаково: $I_1 = I_2 = I_0 \sin^2 \varphi$, где I_0 — интенсивность света, выходящего из анализатора, I_1 и I_2 — интенсивность света пропускаемая соответственно половинками анализатора (рис. 11).

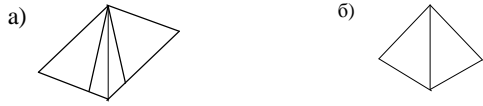


Рис. 10. Устройство простейшего полутеневого анализатора

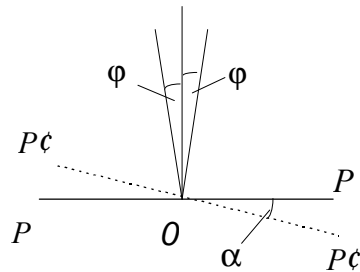


Рис. 11. Принцип действия простейшего полутеневого анализатора

Если плоскость PP повернется на малый угол α в *положение* $P'P'$, то $I_1 = I_0 \sin^2(\varphi + \alpha)$ и $I_2 = I_0 \sin^2(\varphi - \alpha)$. При малом значении угла φ даже небольшой поворот α приводит к заметному нарушению равенства освещенности обоих полей (рис. 12).

Если после установки прибора на равенство освещенностей двух половин анализатора поместить между поляризатором и анализатором исследуемое вещество, то обе половины поля зрения не будут освещены одинаково. Для восстановления равенства освещенностей анализатор необходимо повернуть на угол α , который и будет равен углу поворота плоскости поляризации в исследуемом веществе.

Измерение оптической активности должно производиться для монохроматического света (например, линии ртутной лампы). В более грубых измерениях довольствуются цветными фильтрами.

Как известно, плоско поляризованный луч в анизотропных кристаллах дает начало когерентным обыкновенному и необыкновенному лучам.

Чувствительный оттенок. Так называется цвет, получающийся при хроматической поляризации в особо созданных условиях. Ранее было отмечено, что если преломляющая грань пластинки параллельна оптической оси, то при нормальном падении света обыкновенный и необыкновенный лучи распространяются по одному направлению, не раздваиваясь. При выходе из пластинки они интерферируют, результат интерференции зависит от разности фаз обыкновенного и необыкновенного лучей, которую они приобретают, распространяясь в кристалле.

Можно выбрать кристаллическую пластинку такой толщины, чтобы условие минимума выполнялось для средних (желтых) лучей видимого спектра, для кварца $d=3,75$ мм. Через такую пластинку проходят остальные лучи видимого света, давая красно-фиолетовую окраску, которая и получила название чувствительного оттенка. Дело в том, что малейшее изменение разности фаз лучей переводит окраску в синюю или красную, чем и замечателен «чувствительный оттенок».

Бикварц. Так называют пластинку толщиной 3,75 мм, склеенную из двух половинок, сделанных из правовращающего и левовращающего кварца.

Между параллельными николями она представляется окрашенной в чувствительный цвет. При малейшем повороте анализатора или поляризатора одна половинка приобретает красноватый, а другая — синеватый оттенок, малейшее неравенство цветов очень заметно. При работе с бикварцем установка производится на совпадение оттенков обоих половин поля. Опыт показал, однако, что установление идентичности цветов выполняется менее надежно, чем установка на равенство освещенностей. Поэтому в практических установках в настоящее время бикварц не употребляется, а используются исключительно полутеневые анализаторы. В хороших современных приборах удастся измерить поворот поляризации на $0,01^\circ$.

Компенсатор Солейля. Компенсатор Солейля представляет собой систему, состоящую из пластинки Q , сделанной из правовращающего кварца, и двух клиньев D из левовращающего кварца. Если клинья сдвинуты так, что их общая толщина равна толщине пластинки, то компенсатор в целом не вращает. Но можно клинья сдвинуть так, чтобы их суммарная толщина была боль-

ше или меньше толщины пластинки Q . Тогда соответственно компенсатор поворачивает плоскость поляризации проходящего света или влево, или вправо. Если осуществлять смещение клиньев с помощью винта, связанного со шкалой, то, проградуировав шкалу, можно заранее знать, на какой угол в данном положении клиньев компенсатор поворачивает плоскость поляризации света.

Используемый в настоящей работе сахариметр состоит из объектива O_1 , пропускающего свет от источника в узел поляризатора. В узле поляризатора смонтированы поляризатор P и бикварц B . Узел анализатора состоит из компенсатора Солейля K и анализатора A . Бикварц B рассматривается через окуляр O_2 (рис. 13). Светофильтр $СФ$ используется для выделения участка спектра с длиной волны 585 нм.

Между узлами поляризатора и анализатора имеется кюветная камера, куда помещают трубку T с раствором. С механизмом перемещения компенсатора связана стоградусная шкала, деления которой видны в отсчетный окуляр (на рис. 13 не показан).

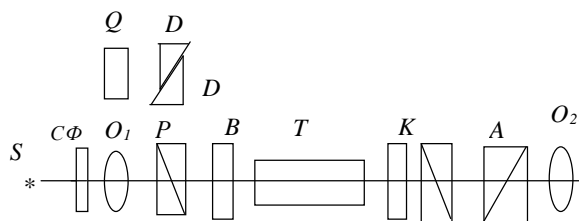


Рис. 13. Оптическая схема промышленного сахариметра

До начала измерений необходимо проверить установку прибора на «нуль». Если прибор подготовлен к работе, то в отсчетный окуляр должно быть видно нулевое деление шкалы, находящееся против стрелки указателя, и одновременно в окуляр должна быть видна бикварцевая пластинка с одинаково затемненными половинами.

Практическая часть

Упражнение 1. Проверка закона Малюса.

Описание установки

В качестве источника света используется гелий-неоновый лазер, дающий линейно поляризованное излучение (рис. 14). На его пути установлены двоякопреломляющая кристаллическая пластинка в $\lambda/4$ K , анализатор A и фотоэлемент $\Phi Э$, сила тока которого измеряется цифровым микроамперметром μA . Все оптические элементы установки размещены на одном оптическом рельсе, что позволяет легко их юстировать.

Анализатор можно поворачивать вокруг оси с помощью лимба, на котором нанесены угловые деления. Пластика ориентирована так, что ее оптическая ось составляет 45° с направлением поляризации лазерного пучка. Для ввода пластинки в световой пучок используется специальная ручка.

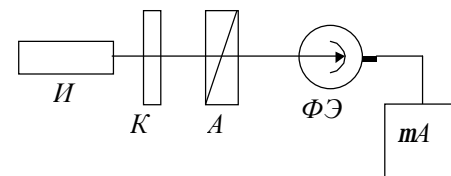


Рис. 14. Оптическая схема лабораторной установки

Порядок выполнения упражнения

1. При выведенной пластинке в $\lambda/4$ провести исследование выходящего из поляризатора света. Для этого, поворачивая анализатор, через каждые 10° регистрировать силу фототока. На участках, где сила фототока приближается к нулю, измерения провести через 5° . Построить в полярных координатах график зависимости силы фототока от угла поворота анализатора. Убедиться, что он согласуется с законом Малюса. Для этого в этой же системе координат построить график функции $I = I_0 \cos^2 \alpha$, где I_0 — максимальное значение силы фототока, α — угол, отсчитываемый от одного из максимумов на экспериментальном графике.

2. Ввести пластинку в $\lambda/4$. Измерить силу фототока при различных углах поворота анализатора. Построить график и объяснить полученный результат.

Упражнение 2. Определение удельной постоянной и концентрации раствора сахара.

Порядок выполнения упражнения

1. Устанавливают обе половинки бикварца на одинаковую затемненность при отсутствии в кожухе прибора кюветы. Определяют нулевой отсчет.

Примечание 1. Угол, соответствующий одинаковой затемненности, может быть определен следующим образом: вращая кремальеру, находят такое положение, когда одна половина поля темная, другая — светлая; наводят на резкость, добываясь отчетливой границы света и тени. Поворачивая кремальеру, находят положение, когда освещенность половин меняется местами. Искомый угол определяют как середину между этими двумя положениями кремальеры.

При отсчете нужно иметь в виду, что нижняя шкала — основная, а верхняя — вспомогательная, по ней определяют десятые доли градуса, число которых равно номеру деления верхней шкалы, совпадающего с любым из делений нижней шкалы.

2. Промывают кювету, заполняют ее исследуемым раствором. Снова устанавливают обе половинки бикварца на одинаковую затемненность и определяют угол поворота α для раствора сахара всех имеющихся концентраций c . (Угол поворота плоскости поляризации определяют как разность между данным и нулевым отсчетом).

3. Построить график $\alpha=f(c)$. По графику с использованием формулы (15) определяют удельную постоянную α_0 сахара и концентрацию c_x неизвестного раствора.

Примечание 2. Заполнение кюветы следует производить так, чтобы в ней не оставалось пузырьков воздуха. Для этого кювету наполняют до получения сферической капли сверху кюветы. Осторожно накладывают стеклышко, которое предварительно протирают сухой чистой ветошью (ватой), и без усилия закручивают крышкой.

Упражнение 3. Определение постоянной Верде.

Оптически неактивные вещества приобретают способность вращать плоскость поляризации под действием магнитного поля. Это явление было обнаружено Фарадеем в 1846 году и поэтому часто называется эффектом Фарадея. Оно наблюдается только при распространении света вдоль направления магнитного поля (точнее, вдоль направления вектора намагничивания).

Угол поворота плоскости поляризации φ пропорционален пути l , проходимому светом в веществе, и напряженности магнитного поля H (точнее, намагничиванию вещества):

$$\varphi = V l H. \quad (16)$$

Коэффициент V называется постоянной Верде, или удельным вращением вещества. Постоянная V , как и постоянная α_0 , зависит от длины волны света.

Направление вращения определяется по отношению к направлению магнитного поля. Для положительных веществ направление поля и направление вращения образуют правовинтовую систему, для отрицательных веществ — левовинтовую систему. От направления светового луча знак вращения не зависит.

Магнитное вращение плоскости поляризации обусловлено возникновением под действием магнитного поля прецессии электронных орбит. В результате прецессии орбит скорость волн с различным направлением круговой поляризации становится неодинаковой, что и приводит к вращению плоскости поляризации.

Порядок выполнения упражнения

1. Заполнить кювету-соленоид дистиллированной водой и установить в сахариметр.

2. Выполнить п.1 упражнения 2.

3. Присоединив к источнику постоянного тока соленоид, пропустить через него ток в 2 А.

4. Добившись одинаковой освещенности обеих половинок бикварца, произвести отсчет.

1. Пункт 4 повторить при $I = 2,5, 3,0, 3,5, 4,0, 4,5$ А.

2. Построить график зависимости угла поворота φ от напряженности магнитного поля в катушке соленоида H , считая, что соленоид имеет длину 20 см и содержит 1300 витков. На основании графика и формулы (16) определить постоянную Верде.

Определение удельного заряда электрона

Воспользовавшись теоретическим выражением для постоянной Верде V

$$V = \frac{e\lambda\mu_0}{2mc} \cdot \frac{dn}{d\lambda},$$

находят отношение e/m . Значение $dn/d\lambda$ для воды в области 6000\AA равно $3 \cdot 10^{-6} \text{\AA}^{-1}$.

Дать объяснение причины магнитного вращения плоскости поляризации, исходя из диамагнитных свойств вещества.

Контрольные вопросы

1. Какие возможны состояния поляризации света?
2. Сколько независимых состояний поляризации возможно для электромагнитной волны?
3. В чем суть явления двулучепреломления?
4. Каковы основные закономерности двулучепреломления в одноосных кристаллах?
5. Как выполняются построения Гюйгенса для одноосных кристаллов?
6. Как получить свет линейной, эллиптической и круговой поляризации?
7. Как определить состояние поляризации света?
8. Как отличить свет естественный от циркулярно поляризованного?
9. Каков принцип действия полутеневого анализатора?
10. Какие вещества называют оптически активными?
11. Каковы основные закономерности естественного вращения плоскости поляризации?
12. Каковы основные закономерности магнитного вращения плоскости поляризации?
13. Объяснить принцип действия сахариметра.