

Лабораторная работа №15

ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Приборы и принадлежности:

Поляриметр, источник света (лампа накаливания), растворы глюкозы известной концентрации.

Введение

На рис.1 изображена плоско поляризованная световая волна. \vec{E} – вектор электрической напряженности, \vec{H} – вектор магнитной напряженности, Z – направление распространения света.

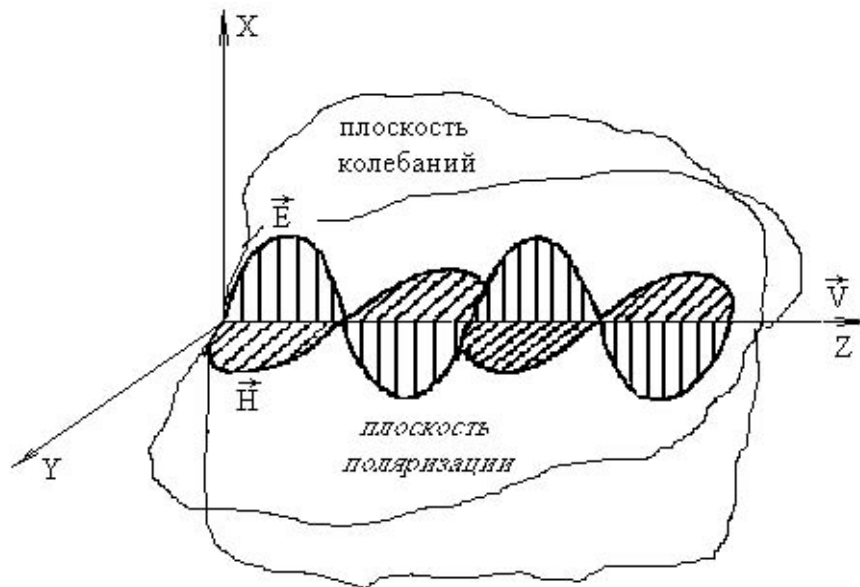


Рис. 1. Электромагнитная волна

Плоско поляризованный свет характеризуется тем, что колебания вектора \vec{E} у него происходят в одной определенной плоскости (на рис. 1 в плоскости XOZ). Эта плоскость называется плоскостью колебаний. Если смотреть навстречу лучу вдоль оси Z , то плоскость колебаний вектора \vec{E} плоско поляризованного луча схематично можно изобразить так, как показано на рис.2 а. По старой терминологии плоскостью поляризации называлась

плоскость YOZ (рис.1), содержащая магнитный вектор \vec{H} . От поляризованного света следует отличать естественный свет. В нем в каждый момент времени векторы \vec{E} , \vec{H} и \vec{V} , хотя и остаются взаимно перпендикулярными, но направления векторов \vec{E} и \vec{H} беспорядочно изменяются с течением времени. Поэтому естественный свет обладает (статистически) осевой симметрией относительно направления его распространения. Для линейно поляризованного света такой симметрии нет. Его свойства в различных плоскостях, проходящих через направление вектора скорости \vec{V} , различны.

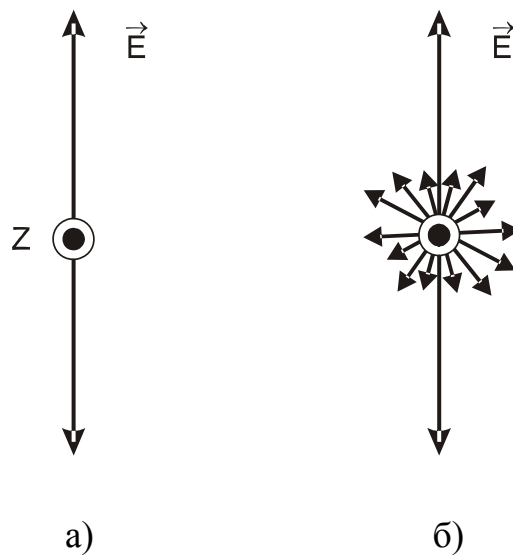


Рис. 2. Плоско поляризованный и частично поляризованный свет

Линейно – или плоско поляризованный свет представляет собой световые волны с одним-единственным направлением колебаний \vec{E} и \vec{H} . Существуют и более сложные виды упорядоченных колебаний, которым соответствуют иные типы поляризации, например круговая или эллиптическая поляризация, при которых конец электрического (и магнитного) вектора описывают круг или эллипс с тем или иным эксцентриситетом. Частично поляризованный свет характеризуется тем, что одно из направлений колебаний оказывается преимущественным, но не исключительным. Частично поляризованный свет можно рассматривать как смесь естественного и поляризованного (рис. 2 б).

Плоско поляризованный свет можно получить, пропустив естественный свет через пластинку турмалина, вырезанную параллельно его кристаллографической (оптической) оси. Турмалин сильно поглощает световые лучи, в которых электрический вектор \vec{E} перпендикулярен к оптической оси. Если электрический вектор параллелен оптической оси, то такие лучи проходят через турмалин почти без поглощения. Поэтому естественный свет, пройдя через пластинку турмалина, наполовину поглощается и становится линейно поляризованным с электрическим вектором \vec{E} , ориентированным параллельно оптической оси турмалина. Таким же свойством обладают другие поляроиды. Они представляют, например, искусственно приготовляемые коллоидные пленки, служащие для получения поляризованного света. Наиболее распространенным материалом для приготовления поляроидов является йодистый хинин. Всякий прибор, служащий для получения поляризованного света, называется поляризатором. Тот же прибор, применяемый для исследования поляризации света, называется анализатором. Таким образом, кристаллы турмалина или поляроиды могут служить и поляризаторами и анализаторами.

Если линейно поляризованный свет проходит через плоскопараллельный слой вещества, то в некоторых случаях плоскость поляризации света оказывается повернутой относительно своего исходного положения. Это явление называется вращением плоскости поляризации или оптической активностью. Если вещество не находится во внешнем магнитном поле, то оптическая активность и вращение плоскости поляризации называются естественными. В противном случае говорят о магнитном вращении плоскости поляризации или эффекте Фарадея. В данной лабораторной работе рассматривается естественное вращение плоскости поляризации. Существует целый ряд веществ, как твердых, так и жидких, которые поворачивают плоскость колебаний проходящего через них света на некоторый угол α (рис.3 а, б). Такие вещества называются оптически активными. К ним относятся: кварц, нефть, белки, растворы сахаров, глюкозы, фруктозы и т.д. В

1815 году Био экспериментально установил следующие основные законы явления вращения плоскости поляризации света:

1. Для растворов угол поворота прямо пропорционален толщине слоя раствора и концентрации оптически активного вещества

$$\alpha = [\alpha] \cdot l \cdot c.$$

Коэффициент $[\alpha]$ называется углом удельного вращения. Он численно равен углу вращения для вещества с концентрацией $c=1$ и толщиной $l=10\text{ см}=1\text{ дм}$.

2. Удельное вращение зависит от длины волны света, согласно закону

$$[\alpha] = K \frac{1}{\lambda^2}.$$

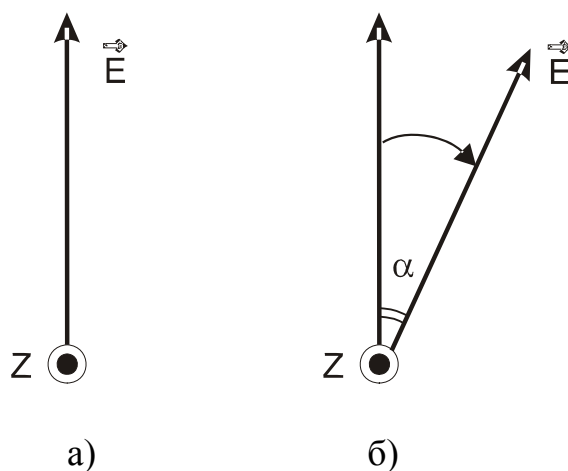


Рис. 3. Поворот плоскости колебаний вектора \vec{E}

а) исходное положение вектора \vec{E}

б) положение плоскости колебания вектора \vec{E} при прохождении оптически активного вещества

Описание установки и методика измерений

Приборы, позволяющие измерить угол вращения плоскости поляризации, называются поляриметрами. Они находят широкое применение в научно-исследовательских учреждениях, в химической промышленности, для исследования различных минералов, органических веществ, для определения концентрации оптически активных веществ.

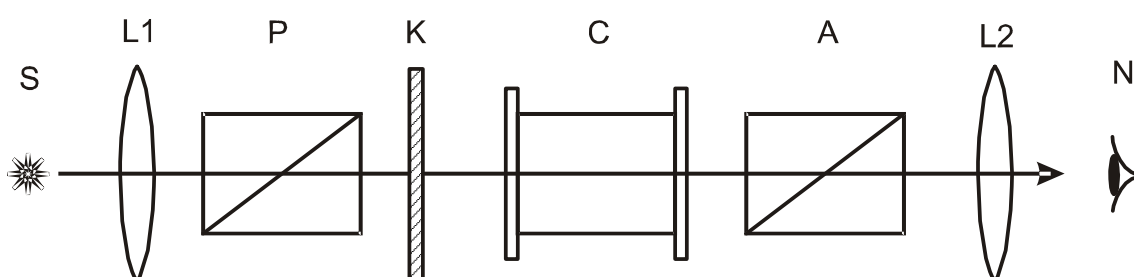


Рис. 4. Устройство поляриметра

Простейший поляриметр устроен следующим образом (рис.4): источник света **S** помещается на фокусном расстоянии от линзы **L1**, при прохождении которой получается параллельный пучок света, проходящий через поляризатор **P**. **A** - анализатор, **N**- наблюдатель. Анализатор может вращаться около горизонтальной оси. При отсутствии активного вещества анализатор устанавливается "на темноту" так, чтобы плоскость колебаний анализатора стала перпендикулярна плоскости колебаний вектора \vec{E} , полученной после прохождения лучом поляризатора **P**. После введения оптически активного вещества **C** между **P** и **A**, анализатор пропускает некоторое количество света. Чтобы вновь установить прибор "на темноту", анализатор нужно повернуть на угол, равный углу поворота плоскости поляризации света в активном веществе. Однако это нельзя сделать достаточно точно. Глаз человека не способен точно отметить то положение анализатора, при котором наблюдается наиболее затемненное поле зрения. Глаз более чувствителен к оценке равенства

освещенностей, или равенства окраски двух частей поля зрения. Поэтому существуют два типа поляриметров. В данной работе используется поляриметр первого типа, так называемый полутеневого. Принципиально он отличается от простейшего тем, что на пути плоско поляризованного света, полученного после прохождения поляризатора **Р**, ставится узкая кварцевая пластинка **К** так, чтобы она занимала лишь половину поля зрения (пучок света после поляризатора одной частью проходит через эту пластинку, а другой – мимо нее). Толщина кварцевой пластинки подбирается такой, чтобы свет по выходе из нее поворачивал свою плоскость поляризации на небольшой угол φ .

Таким образом, в поляриметре с кварцевой пластинкой поле зрения будет состоять из двух частей (рис.5): левой 1 и правой 2. Плоскость колебаний в области 2 повернута на угол φ относительно плоскости колебаний в области 1.

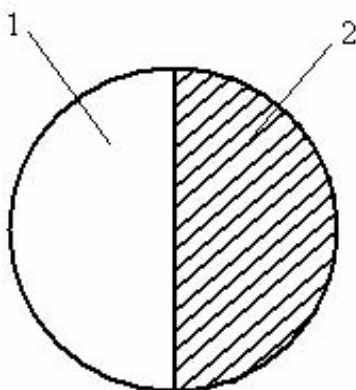


Рис.5. Поле зрения поляриметра

После прохождения такого светового пучка через анализатор области 1 и 2 будут иметь, вообще говоря, различную яркость, которая определяется величиной проекции векторов \vec{E}_1 и \vec{E}_2 на плоскость колебаний, пропускаемых анализатором (рис 6). Поля 1 и 2 будут одинаковыми по яркости в двух случаях: когда эта плоскость будет либо параллельна линии CC , либо перпендикулярна ей (т.е. совпадать с DD).

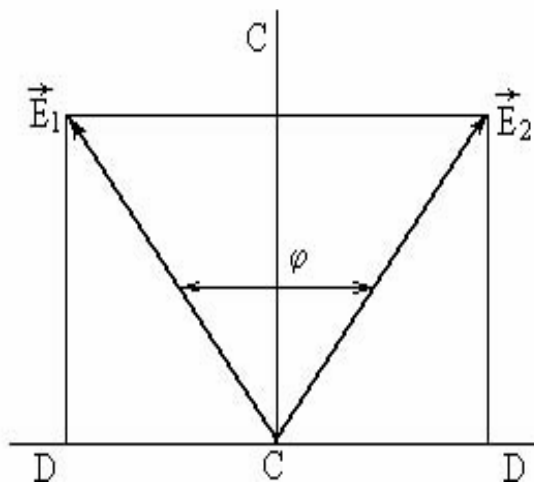


Рис.6. Проекции векторов \vec{E}_1 и \vec{E}_2 после анализатора

В первом случае поле зрения ярко освещено, во втором – слабо (полутень). Человеческий глаз наиболее чувствителен к изменениям малых интенсивностей, поэтому анализатор устанавливается в положение, при котором пропускаемые им колебания располагаются параллельно линии DD. Если теперь на пути света между кварцевой пластинкой и анализатором расположить вещество, вращающее плоскость поляризации, то яркость полей 1 и 2 станет различной, так как величины проекций повернувшихся векторов \vec{E}_1 и \vec{E}_2 на DD будут различны. Равенство яркостей может быть вновь восстановлено поворотом анализатора на угол α .

Поляриметр типа "СМ" имеет следующие основные части (рис.7): источник света, желтый светофильтр, линзы для создания параллельного пучка света, поляризатор, кварцевая пластинка, корпус с вращающейся шторкой, стеклянная трубка для раствора, головка анализатора, состоящая из неподвижного лимба и вращающихся одновременно с анализатором двух нониусов, и окулярной трубки. Поворот головки анализатора осуществляется вращением ручки 1 (рис.7), наводка на резкость – перемещением втулки 2. С

помощью двух отсчетных луп отсчитывают угол поворота по нониусам 3 с точностью до $0,02^\circ$. При перемещении прибора по столу или переноске нельзя брать за наблюдательную трубку 4, нужно брать прибор за основание 5.

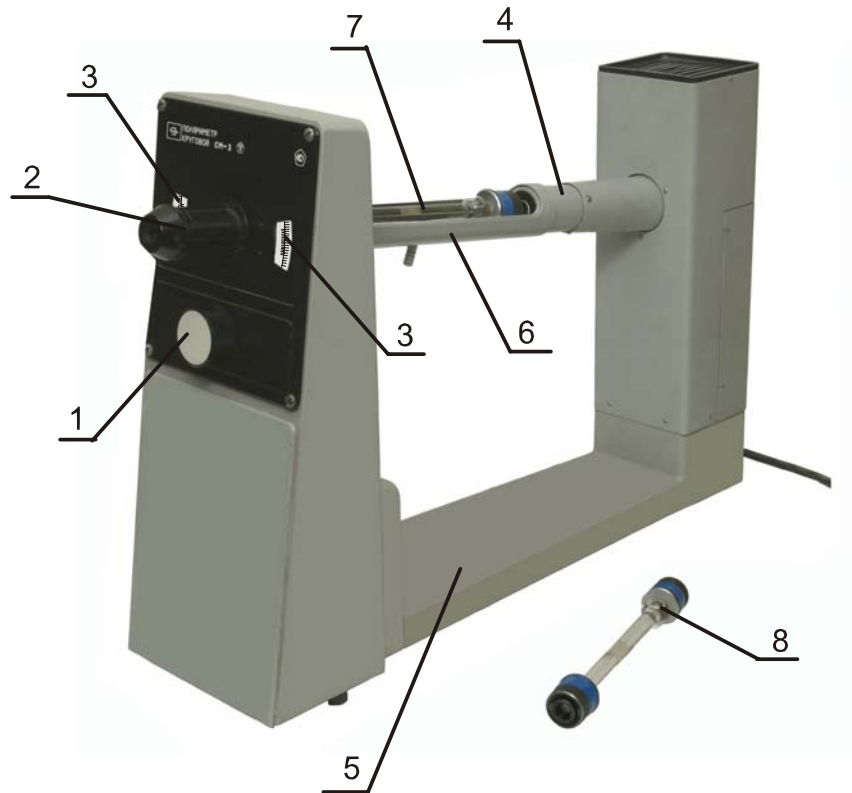


Рис. 7. Внешний вид поляриметра

Порядок выполнения работы

1. Для исследования зависимости угла вращения плоскости поляризации от концентрации раствора глюкозы вначале без стеклянной трубки (концентрация $c = 0\%$) и при закрытой крышке кюветного отделения 6 (рис. 7) устанавливается на резкость наблюдательная трубка. Устанавливают анализатор ручкой 1 на полутень (слабая одинаковая освещенность полей 1 и 2 на рис. 5) и снимают показания левого и правого нониусов 3 (рис. 7). Внешний вид нониуса приведен на рис. 8. Нулевое деление правой шкалы указывает на

левой шкале с точностью до 0,5 градусов угол поворота анализатора. Затем необходимо найти такие риски левой шкалы, которые наилучшим образом совпадают с рисками правой шкалы и тогда по правой шкале произвести расчеты с точностью до 0,02 градуса. Так, например, на рис. 8 правая нулевая риска указывает на левой шкале на 2,50 градуса. На правой шкале риска соответствующая 0,26 градуса наилучшим образом совпадает с риской на левой шкале. Таким образом, угол поворота анализатора составляет: $2,50 + 0,26 = 2,76$ градуса. Эта операция по установлению одинаковой освещенности и измерению угла поворота анализатора производится не менее трех раз. Затем аналогичные операции производятся с растворами другой концентрации. Для этого стеклянную трубку соответствующей длины и с известной концентрацией раствора устанавливают в кюветное отделение наблюдательной трубки 7. (рис. 7). При этом, шарообразная выпуклость 8 на стеклянной трубке устанавливается выше, предварительно собрав туда пузырьки воздуха. Фактическая длина между торцами кюветы нанесена на стеклянной трубке. Кюветное отделение закрывают крышкой.

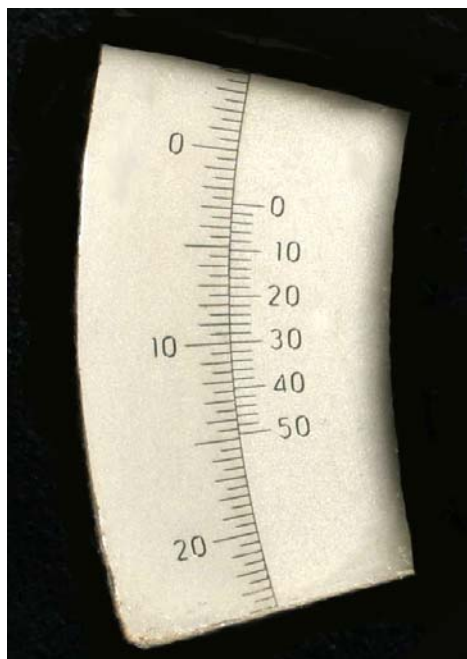


Рис. 8. Внешний вид шкалы нониуса

2. Данные измерений заносятся в таблицу 1.

Таблица 1

Концентрация $c, \%$	Измерения		Обработка результатов			
	№ п/п	отсчеты угла		угол поворота		Средний угол поворота
		по левому нониусу	по правому нониусу	по левому нониусу	по правому нониусу	
Среднее значение						

Находятся средние значения измерений по левому и правому нониусам при заданной концентрации. Вычисляют угол поворота плоскости поляризации, вычитая из среднего отсчета угла при данной концентрации c средний отсчет угла при нулевой концентрации ($c = 0\%$). Затем находят средний угол поворота плоскости поляризации (среднее между углом поворота по левому и правому нониусам) отсчитанным для каждой концентрации глюкозы по формуле:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}.$$

Строят график зависимости угла поворота от концентрации раствора. Для каждой концентрации рассчитывают угол удельного вращения по формуле $[\alpha] = \frac{\alpha \cdot 100\%}{l \cdot c}$, где l есть длина трубки с исследуемым веществом, c - концентрация глюкозы в процентах.

3. Заполняют таблицу 2.

Таблица 2

№ п/п	$[\alpha]$	$[\alpha]_{cp} - [\alpha]$	$([\alpha]_{cp} - [\alpha])^2$
среднее арифметическое			

4. Оценивают погрешность измерения удельного угла вращения плоскости поляризации.

Литература

1. С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. Курс общей физики // СПб.: Издательство "Лань", 2006, т.3, §§ 258, 285-290, 295.

2. Д.В. Сивухин. Общий курс физики // М.: Физматлит, Издательство МФТИ, 2002, т.4, §§ 75-78, 94.