

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Могилевский государственный университет продовольствия»

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА

Методические указания
к выполнению лабораторной работы №7
по курсу физики для студентов всех специальностей

Могилев 2012

УДК 535.5

Рассмотрены и рекомендованы к изданию
на заседании кафедры физики
Протокол № 9 от 30.05.2012

Составитель
кандидат физико-математических наук, доцент
А.С.Скапцов

Рецензент
доктор физико-математических наук, доцент
В.А.Юревич

УДК 535.5

© Учреждение образования
«Могилевский государственный
университет продовольствия», 2012

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА

Цель работы: изучение особенности прохождения поляризованного света через оптически активные среды; определение концентрации неизвестных растворов сахара по углу поворота плоскости поляризации света.

Приборы и принадлежности: сахариметр СУ-3, кюветы с растворами сахара известной и неизвестной концентрации.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Согласно волновой теории свет представляет собой поперечные электромагнитные волны. Физически это означает, что векторы напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} полей совершают колебания во взаимно перпендикулярных плоскостях перпендикулярно вектору скорости \vec{V} распространения волны, причем векторы \vec{E} , \vec{H} и \vec{V} образуют правую тройку векторов (см.рис.1).

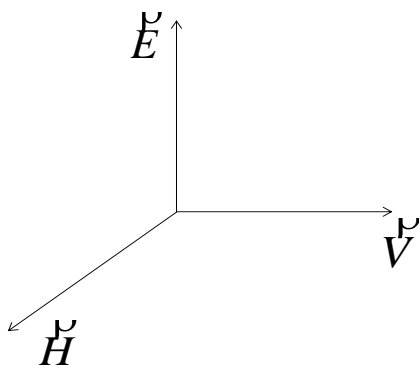


Рисунок 1 - Ориентация векторов \vec{E} , \vec{H} и \vec{V} в электромагнитной волне

Колебания векторов \vec{E} и \vec{H} в электромагнитной волне описываются одними и теми же уравнениями, поэтому для описания свойств света достаточно знать поведение одного из векторов. Таким вектором принято считать вектор напряженности электрического поля \vec{E} , который называют также **световым вектором**.

В случае, когда все направления колебаний вектора \vec{E} световой волны равновероятны, свет называют **естественным** (рис.2,а). Свет, в котором направления колебаний светового вектора каким-либо образом упорядочены, называют **поляризованным**. Если существует преимущественное направление колебаний вектора \vec{E} , то свет считается **частично поляризованным** (рис.2,б), а если колебания светового вектора происходят только в одной плоскости перпендикулярно к направлению распространения светового луча, то свет называют **плоско-** или **линейно поляризованным** (рис.2,в). Плоскость,

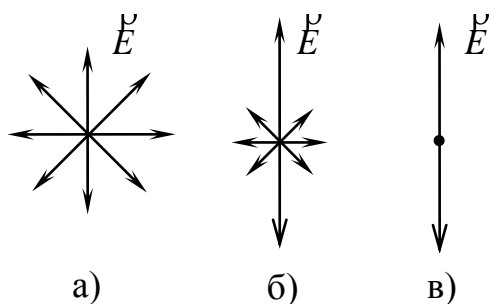


Рисунок 2 – Естественный (а), частично поляризованный (б) и плоскополяризованный (в) свет

образованная направлением колебаний вектора напряженности электрического поля \vec{E} плоскополяризованной волны и направлением распространения этой волны, называется **плоскостью поляризации**.

Естественный свет можно преобразовать в плоскополяризованный. Для этой цели применяют **поляризаторы**, которые пропускают колебания вектора \vec{E} только определенного направления и препятствуют прохождению колебаний других направлений. В качестве поляризаторов на практике часто используются естественные анизотропные кристаллы, например, кристаллы турмалина. Возможно получение плоскополяризованного света с помощью специальных устройств: призмы Николя, стопы Столетова, двоякопреломляющих призм, поляроидов.

Рассмотрим прохождение естественного света через систему двух поляризаторов (кристаллов турмалина), главные плоскости которых образуют между собой угол α . Главной плоскостью кристалла называется плоскость, образованная оптической осью кристалла и направлением светового луча. Под оптической осью кристалла, в свою очередь, понимается такое направление, относительно которого атомы и молекулы кристалла располагаются симметрично. Естественный свет проходит через первый кристалл (поляризатор) и становится плоскополяризованным с интенсивностью I_0 . Интенсивность света, прошедшего через второй кристалл (анализатор), меняется в зависимости от угла α по закону Малюса:

$$I = I_0 \cos^2 \alpha. \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что интенсивность света после системы кристаллов равна нулю ($I=0$), если $\alpha = \frac{\pi}{2}$, т.е. главные плоскости кристаллов скрещены под прямым углом (полное гашение света). Если главные плоскости кристаллов параллельны, то $\alpha=0$ и интенсивность света на выходе имеет максимальное значение равное $I=I_0$.

Известны вещества, которые способны вращать плоскость поляризации при пропускании через них плоскополяризованного света. Их называют **оптически активными веществами**. Примерами таких веществ являются кварц, сахар, киноварь, водный раствор сахара, винная кислота, скипидар, никотин. Если между скрещенными под углом $\alpha = \frac{\pi}{2}$ поляризатором и анализатором, дающими темное поле зрения, поместить оптически активное вещество, то поле зрения анализатора просветляется, т.е. часть светового потока начинает проходить через систему кристаллов. При повороте анализатора на некоторый угол φ можно вновь добиться полного гашения света. Полученный угол φ и будет тем самым углом, на который оптически активное вещество поворачивает плоскость поляризации света, прошедшего через поляризатор.

Экспериментально установлено, что для оптически активных растворов угол поворота плоскости поляризации определяется выражением

$$\varphi = \alpha_0 Cl, \quad (2)$$

где α_0 – удельное вращение, численно равное углу поворота плоскости поляризации света слоем оптически активного вещества единичной концентрации и единичной толщины ($\text{рад}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$); C – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе ($\text{кг}/\text{м}^3$); l – расстояние, проходимое светом в оптически активном веществе (м). Опыты показали, что величина удельного вращение зависит от природы вещества, его температуры и длины световой волны.

Причинами вращения плоскости поляризации оптически активным веществом являются, прежде всего, асимметричное строение молекул вещества и особенности структуры вещества.

В зависимости от направления вращения плоскости поляризации различают **право- и левовращающие** оптически активные вещества. Если смотреть навстречу лучу, то в первом случае плоскость поляризации вращается вправо (по часовой стрелке), а во втором случае – влево (против часовой стрелки). Следует отметить, что направление вращения не зависит от направления распространения света в оптически активной среде, а определяется только свойствами самой среды.

Явление вращения плоскости поляризации положено в основу точного метода измерения концентрации растворов оптически активных веществ, который получил название поляриметрии или сахариметрии. Этот метод реализован в приборах, имеющих одноименное название – поляриметры или сахариметры. Схема простейшего поляриметра представлена на рисунке 3. Его

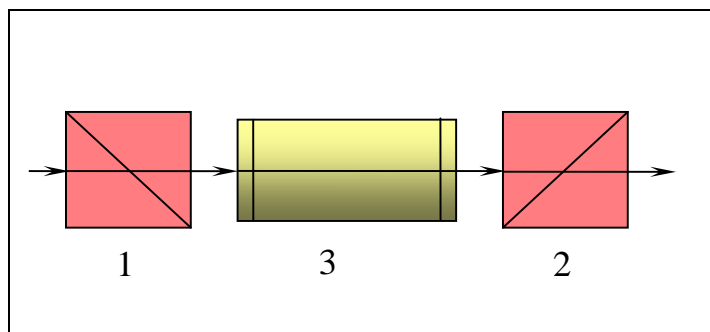


Рисунок 3 – Схема простейшего поляриметра

основными элементами являются поляризатор 1 и анализатор 2 со скрещенными главными плоскостями. При такой ориентации устройств свет через систему поляризатор-анализатор не проходит. Если между ними поместить кювету 3 с оптически активным веществом, то плоскость

поляризации поворачивается и часть света, в соответствии с законом Малюса, пропускается анализатором (поле зрения анализатора просветляется). Путем поворота анализатора на некоторый угол φ добиваются полного гашения света. Измеренный угол φ и является углом поворота плоскости поляризации. По углу поворота φ и известным значениям удельной активности α_0 и длины кюветы l по формуле (2) можно рассчитать концентрацию растворенного вещества C .

ОПИСАНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПОЛЯРИМЕТРА

В данной работе для определения концентрации растворенного вещества по углу вращения плоскости поляризации применяется поляриметр (сахариметр) СУ-3. Оптическая схема прибора представлена на рисунке 4. Основными элементами прибора являются: источник света 1 (лампа накаливания, рассчитанная на постоянное напряжение 12 В), линза 2,

светофильтр 3, поляризатор 4, кювета с раствором оптически активного вещества 5, компенсатор 6, полутеневого анализатор 7 и зрительная труба 8.

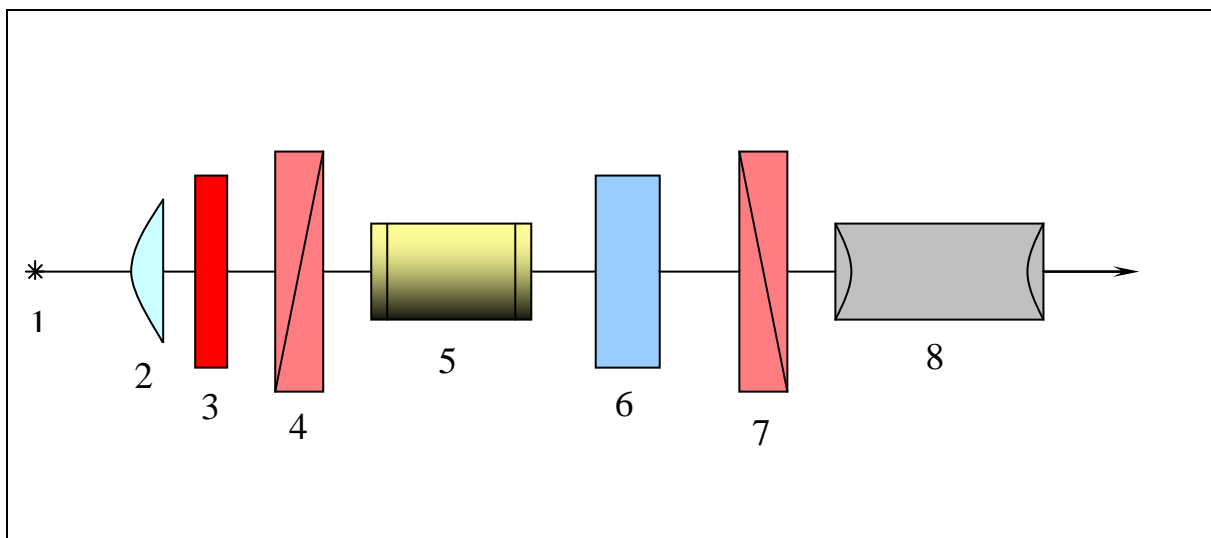


Рисунок 4 - Оптическая схема поляриметра

Полутеневого анализатор 7 состоит из двух расположенных рядом под небольшим углом друг к другу поляризаторов. Поэтому из анализатора выходят два плоскополяризованных луча, которые попадают в разные половины поля зрения трубы 8. Освещенность этих половин оценивается визуально.

Перед началом измерений прибор без кюветы путем вращения компенсатора 6 настраивается на равномерную освещенность обеих половин поля зрения. Компенсатор 6 состоит из неподвижной пластинки правовращающего кварца и двух скользящих друг относительно друга левовращающих кварцевых клиньев, образующих пластинку переменной толщины. Меняя положение клиньев с помощью специального винта (на схеме не показан), можно управлять толщиной пластинки и компенсировать поворот плоскости поляризации. Смещение клиньев определяется по шкале микрометрического винта, которая связана с углом поворота плоскости поляризации. В сахариметре применяется международная сахарная шкала в соответствие с которой 100^0 по шкале прибора равняется $34,62^0$ угловых.

Если в прибор поместить кювету 5 с оптически активным веществом, то плоскость поляризации света, прошедшего поляризатор 4, поворачивается. Это

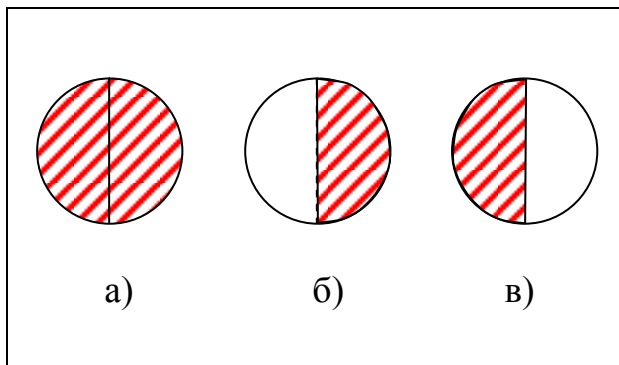


Рисунок 5 - Картины освещенности поля зрения зрительной трубы

приводит к затемнению одной половины поля зрения и просветлению другой. Затемнение (просветление) той или иной половины зависит от направления вращения плоскости поляризации света оптически активным веществом. Наблюдаемые в зрительной трубе 8 виды поля зрения приведены на рисунке 5. Вариант 5 а соответствует равномерному освещению поля зрения (такой должна

быть картина освещенности перед помещением в прибор кюветы с веществом). Вариант 5 б относится к случаю, когда в кювете находится левовращающее оптически активное вещество, поворачивающее плоскость поляризации против часовой стрелки, а 5 в – к случаю, когда кювета заполнена правовращающим веществом, поворачивающим плоскость поляризации по направлению часовой стрелки. Устранить неравномерную освещенность и добиться одинаковой освещенности поля зрения можно изменением толщины компенсатора б, вращая микрометрический винт. По шкале винта измеряется угол поворота плоскости поляризации.

Конденсорная линза 2, расположенная за источником света 1, предназначена для создания равномерно освещенного поля зрения. Использование светофильтра 3 позволяет более точно определять границу светлой и темной половин поля зрения (рисунки 5 б и 5 в) и, соответственно, компенсировать неравномерную освещенность.

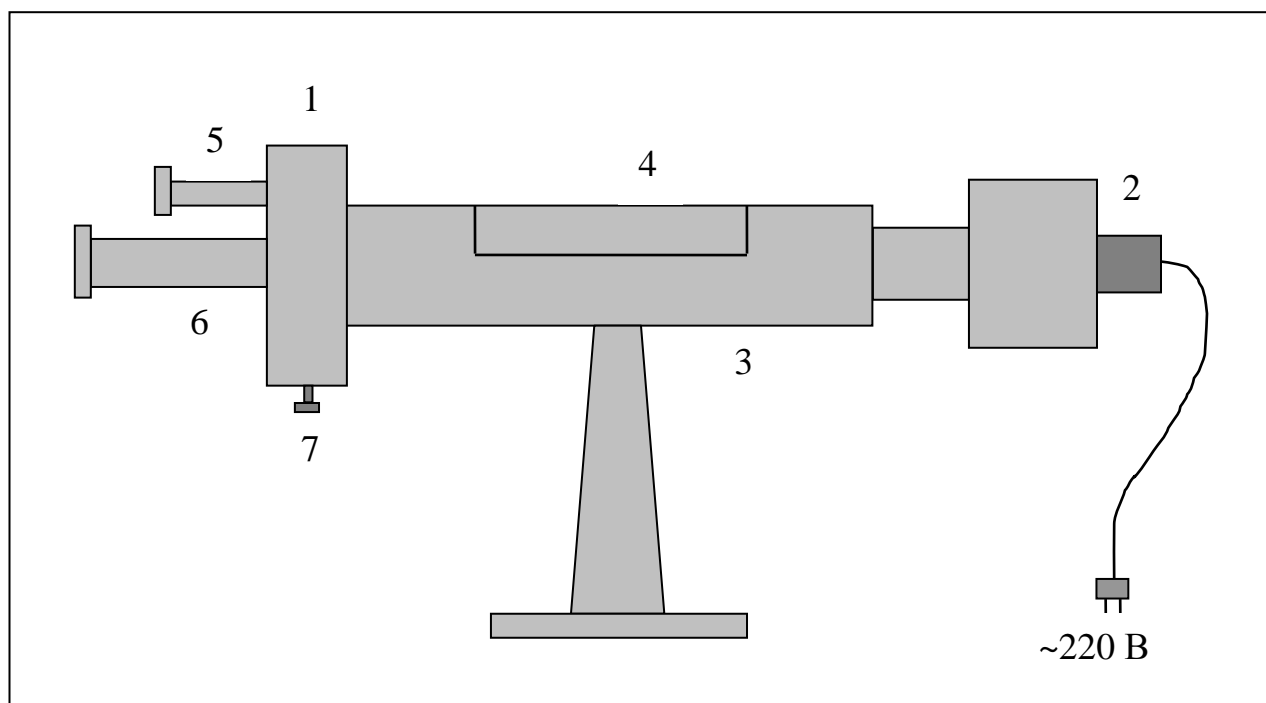


Рисунок 6 – Схематическое изображение основных элементов поляриметра

Основные элементы поляриметра схематически представлены на рисунке 6. К ним относятся: измерительный блок 1, осветительный узел 2, камера 3 с крышкой 4 для размещения поляриметрических кювет, окуляр 5 для отсчета показаний по шкале микрометрического винта 7 и зрительная труба 6 для наблюдения поля зрения.

Фотография поляриметра (сахариметра) приведена на рисунке 7.



Рисунок 7 – Фотографическое изображение сахариметра

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить прибор в сеть.
2. Вращением окуляра 5 добиться наилучшей видимости шкалы прибора.
3. При отсутствии кюветы установить на шкале прибора ноль. Для этого, наблюдая в окуляр зрительной трубы 6 и одновременно вращая винт 7, добиться одинаковой минимальной освещенности обеих половин поля зрения (см.рис 5,а). Чтобы упростить процедуру настройки прибора на минимальную освещенность поля зрения, вначале следует определить наиболее чувствительное положение винта 7, при котором незначительный поворот винта приводит к резкому изменению освещенности половинок поля зрения.
При правильной настройке равномерной освещенности поля зрения нулевое деление шкалы и шкалы нониуса должны совпадать.
4. Окуляром зрительной трубы 6 установить резкость изображения поля зрения так, чтобы отчетливо была видна вертикальная линия, разделяющая поле зрения на две половины. При проведении дальнейших измерений положение окуляра зрительной трубы 6 не меняют.
5. Кювету с известной концентрацией раствора сахара поместить в камеру 3 и закрыть крышкой 4. В окуляре зрительной трубы будет наблюдаться затемнение одной половины поля зрения и просветление другой (см. рис.5,б и 5,в). Вращением винта 7 добиться равномерной минимальной освещенности поля зрения.
6. По шкале микрометрического винта (окуляр 5) определить угол поворота плоскости поляризации φ .
7. Измерения по п.п.5-6 повторить для трех других кювет, в двух из которых концентрации раствора сахара известны, а в одной – концентрация неизвестна.
8. По известным концентрациям раствора сахара C и измеренным углам поворота плоскости поляризации φ из формулы (2) для каждого случая рассчитать удельное вращение α_0 . Вычислить среднее арифметическое значение $\alpha_{0\text{ ср}}$. Длину кюветы принять равной $l=20$ см.

9. Используя среднее значение удельного вращения $\alpha_{0\text{ ср.}}$ и измеренный угол поворота плоскости поляризации для раствора неизвестной концентрации φ , по формуле (2) рассчитать концентрацию раствора.

10. С использованием данных для кювет с известной концентрацией раствора построить график зависимости угла вращения плоскости поляризации от концентрации раствора сахара. По графику определить концентрацию неизвестного раствора. Сравнить полученное значение с рассчитанным в п.9.

11. По результатам наблюдений поля зрения в окуляре б определить направление вращения плоскости поляризации в сахарном растворе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой вектор называют световым вектором?
2. Определите понятия естественного, частично поляризованного и плоскополяризованного света?
3. Какие среды называют оптически активными? Приведите примеры оптически активных сред.
4. Назовите и характеризуйте способы получения поляризованного света?
5. Сформулируйте закон Малюса.
6. При соблюдении какого условия наблюдается полное гашение света, проходящего через систему двух поляризаторов?
7. Как следует ориентировать главные плоскости двух поляризаторов, чтобы интенсивность света на выходе из них была максимальной?
8. В чем заключается явление вращения плоскости поляризации света?
9. От чего зависит угол вращения плоскости поляризации в растворах оптически активных веществ?
10. Каков физический смысл величины удельного вращения?
11. Какие оптически активные вещества называют правовращающими и левовращающими?
12. Действие каких приборов основано на явлении вращения плоскости поляризации оптически активных растворов? Что можно измерить с помощью таких приборов?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Общие требования и правила оформления учебных текстовых документов: СТП СМК 4.2.3-01-2011. -Введ. 07.04.2011. - Могилев: Могилевский государственный университет продовольствия, 2011. – 40 с.
- 2 Савельев И. В. Курс общей физики. В 3т., Т. 2. - СПб.: Лань, 2007.- 336 с.
- 3 Савельев И. В. Курс общей физики. Кн. 1. - М.: АСТ Астрель, 2006. - 336 с.
- 4 Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2007. -558 с.

Учебное издание

ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТА

Методические указания

Составитель
Скапцов Андрей Сергеевич

Редактор *А.А.Щербакова*
Технический редактор *Т.В.Багуцкая*

Подписано в печать Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная
Гарнитура Таймс. Ризография. Усл.печ.л. Уч.-изд.л.
Тираж экз. Заказ

Учреждение образования «Могилевский государственный университет
продовольствия»
ЛИ №02330/013913 от 08.02.2007 г.
Пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилев

Отпечатано в учреждении образования «Могилевский государственный
университет продовольствия»
Пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилев