

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Сибирский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации

Кафедра физики с курсом
высшей математики

Колубаева Л. А., Сандыкова Е. А., Михаленко В. Н.

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Методическое пособие к лабораторной работе

для студентов врачебных факультетов

Томск
Издательство СибГМУ
2017

УДК 535.51(075.8)

ББК 22.343.5я73

К 617

Авторы:

Колубаева Л. А., Сандыкова Е. А., Михаленко В. Н.

Колубаева Л. А. Изучение явления вращения плоскости поляризации:
К 617 методическое пособие к лабораторной работе / Л. А. Колубаева,
Е. А. Сандыкова, В. Н. Михаленко. – Томск: Изд-во СибГМУ, 2017. –
11 с.

В данной лабораторной работе изучается понятие поляризации световой волны. Свойства поляризованного света используют для изучения анизотропии веществ. Также в ходе работы описано явление вращения плоскости поляризации, которое является ценным методом исследования структуры и свойств полимеров – белков, нуклеиновых кислот.

Методическое пособие предназначено для студентов врачебных факультетов.

УДК 535.51(075.8)

ББК 22.343.5я73

© Колубаева Л. А., Сандыкова Е. А., Михаленко В. Н., 2017

© Издательство СибГМУ, 2017

Лабораторная работа ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение явления вращения плоскости поляризации оптически активными веществами и определение концентрации раствора.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ: сахариметр, кюветы с растворами сахара.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

Свет представляет собой частный случай электромагнитных волн. Простейший частный случай такой волны – плоская электромагнитная волна, которая является волной поперечной и представляет процесс направленного распространения в пространстве электрического E и магнитного полей H (рис. 1).

Плоскость, в которой колеблется световой вектор E , будем называть плоскостью поляризации.

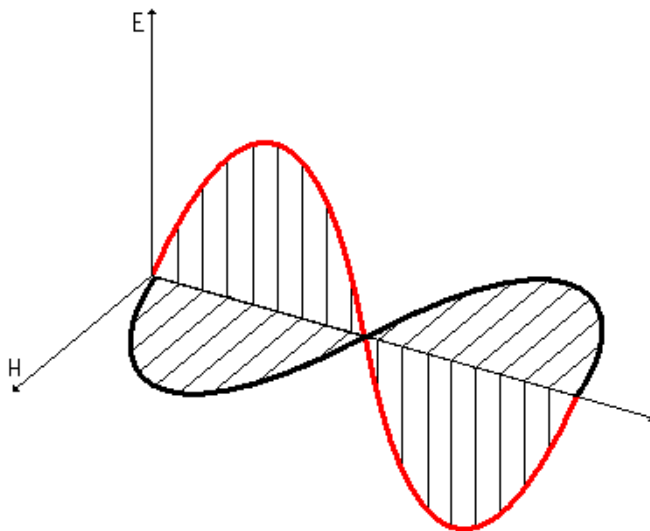


Рис. 1. Плоская электромагнитная волна

Свет, в котором пространственное положение плоскости поляризации со временем меняется случайным образом, называется естественным или неполяризованным. При этом все возможные положения плоскости поляризации - равновероятны (рис. 2).

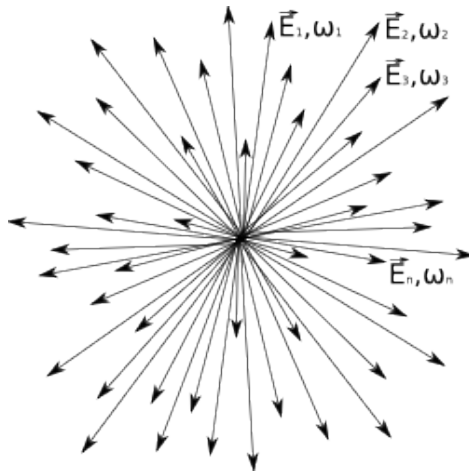


Рис. 2. Естественный свет

Любой вектор можно разложить на составляющие вдоль взаимно перпендикулярных осей. Выберем плоскость перпендикулярную направлению распространения естественного света и систему координат на ней и мысленно спроектируем на оси x и y все возможные положения вектора E , а затем просуммируем все x -компоненты и все y -компоненты. Очевидно, что для естественного света эти две суммы всегда, при любой ориентации системы координат, будут равны (рис. 3).

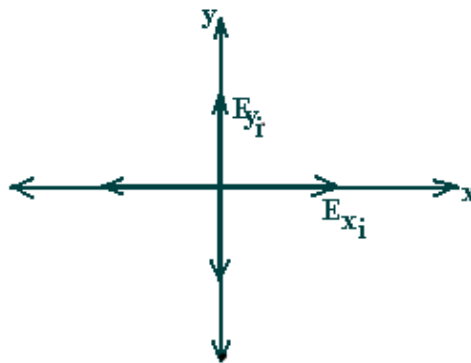


Рис. 3. Проекция вектора E на взаимно перпендикулярные оси

Тогда луч естественного света можно изобразить следующим образом (рис. 4)



Рис. 4. Неполяризованный луч

Стрелочками изображаются колебания вектора E , совершающиеся в плоскости рисунка, а точками – колебания вектора E , совершающиеся перпендикулярно плоскости рисунка.

Свет, в котором изменение пространственной ориентации плоскости поляризации подчиняется некоторой закономерности, называется поляризованным.

Если пространственное положение плоскости поляризации не меняется со временем, волна называется плоско поляризованной или линейно поляризованной.

Если же колебания вектора E совершаются так, что его конец описывает круг или эллипс, то свет называется поляризованным по кругу или эллиптически поляризованным (рис. 5).

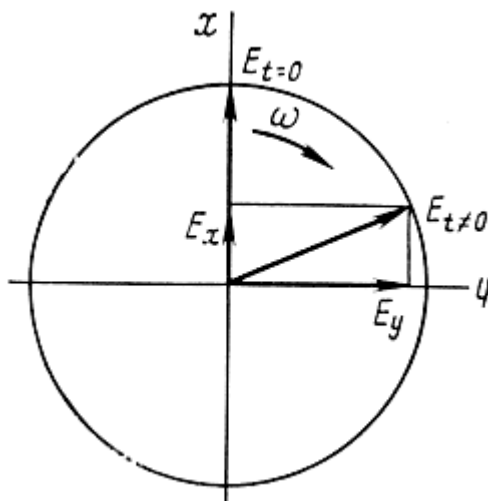


Рис. 5. Круговая поляризация

Свет, в котором колебания одного направления преобладают над колебаниями других направлений, называется частично поляризованным. Такой свет можно рассматривать как смесь естественного и линейно поляризованного.

Получить поляризованный свет можно различными способами.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРИ ДВОЙНОМ ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИИ

Явление двойного лучепреломления наблюдается в анизотропных средах (анизотропной средой называется среда, физические свойства которой в разных направлениях различны). Световой луч пространственно разделяется на два поляризованных луча. Анизотропной средой являются, например, кристаллы кварца и исландского шпата (кальцит CaCO_3). В случае анизотропной среды показатель преломления различен для различных направлений поляризации

света, поэтому при освещении кристалла исландского шпата узким пучком света в нем возникают два луча, один из этих лучей удовлетворяет обычному закону преломления и лежит в одной плоскости с падающим лучом и нормалью. Этот луч называют обыкновенным (o). Для другого луча, называемого необыкновенным (e), закон преломления не выполняется (рис. 6).

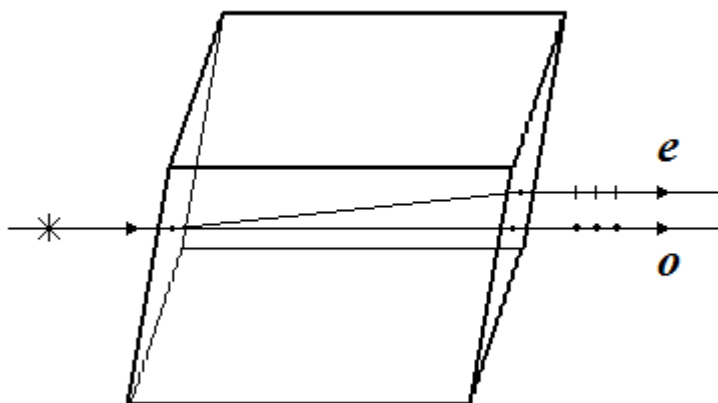


Рис. 6. Двойное лучепреломление

Чтобы использовать такие поляризованные лучи, их надо отделить один от другого. Это осуществляется в призме Николя.

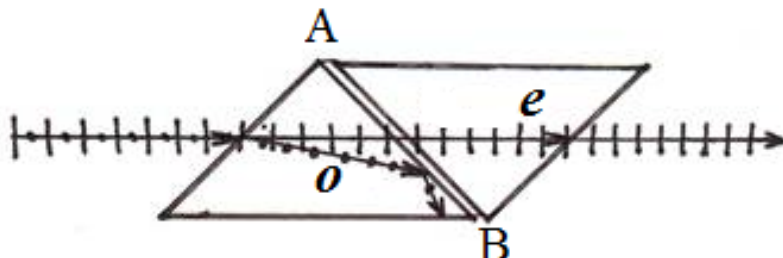


Рис. 7. Призма Николя

Для изготовления призмы Николя естественный кристалл исландского шпата распиливается по линии АВ (рис. 7) и обе половины склеиваются «канадским бальзамом». Если на призму падает естественный свет, то в призме он раздваивается. Обыкновенный луч, дойдя до слоя канадского бальзама АВ, испытывает полное внутреннее отражение от канадского бальзама, так как для обыкновенного луча канадский бальзам оптически менее плотен, чем исландский шпат. Таким образом, обыкновенный луч отводится в сторону и поглощается зачерненной боковой поверхностью кристалла. Необыкновенный луч свободно проходит через слой канадского бальзама и выходит из призмы полностью поляризованным.

Устройства, при помощи которых получают поляризованный свет, называют поляризаторами. Если на пути поляризованного света поместить вторую призму Николя, то интенсивность вышедшего света будет зависеть от взаимной ориентации обеих призм. Если их плоскости пропускания $O'O$ параллельны, то интенсивность прошедшего через обе призмы света наибольшая (рис. 8). Плоскостью пропускания поляризатора называется плоскость, параллельная плоскости колебания прошедшего поляризованного света.

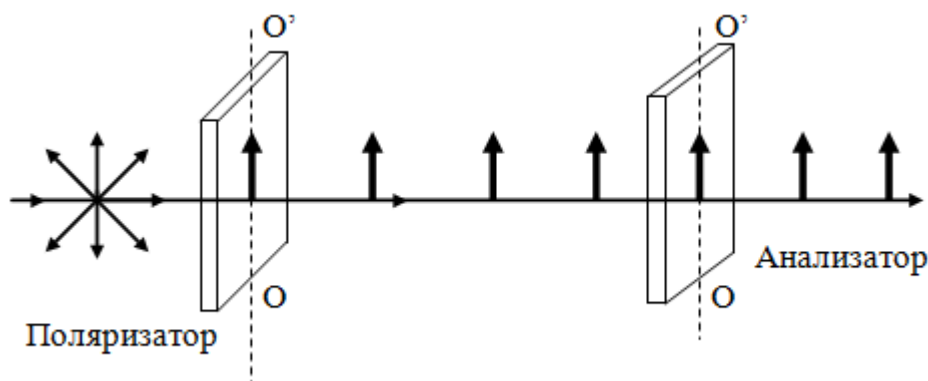


Рис. 8. Призмы Николя поставлены на свет

Если же эти направления перпендикулярны друг другу, то через вторую призму свет не пройдет (рис. 9). Первая призма играет роль поляризатора, вторая – анализатора.

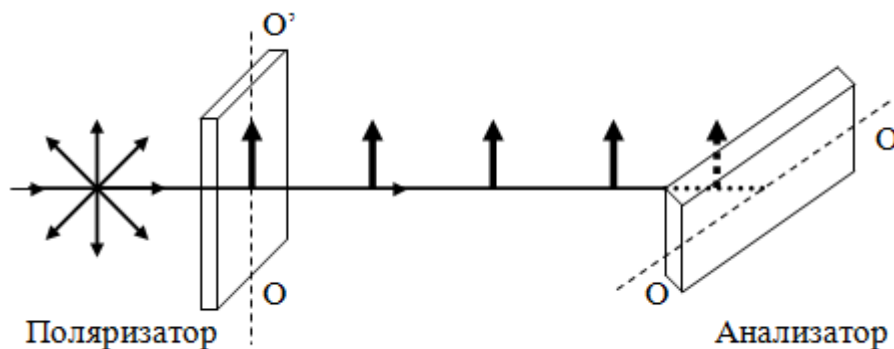


Рис. 9. Призмы Николя скрещены (поставлены на темноту)

Совокупность поляризатора и анализатора представляет собой типичную поляризационную установку, позволяющую исследовать различные поляризационные явления в разных средах, помещая их между поляризатором и анализатором (рис. 10).

Если плоскость анализатора и поляризатора параллельны, т. е. $\varphi = 0, \pi$, следовательно $\cos \varphi = \pm 1$, то экран, помещенный за анализатором, будет максимально освещенным. Если $\varphi = \pi/2, 3\pi/2$, т. е. $\cos \varphi = 0$ (поляризатор и

анализатор скрещены), то экран будет темным. Это – частные случаи закона Малюса.

ЗАКОН МАЛЮСА

Интенсивность (яркость) светового луча пропорциональна квадрату вектора напряженности электрического поля, следовательно, интенсивность света I , прошедшего через анализатор, пропорциональна $E_0^2 \cos^2 \varphi$ (закон Малюса):

$$I = I_0 \cos^2 \varphi,$$

где I_0 – интенсивность поляризованного света, падающего на анализатор, φ – угол между плоскостью поляризации падающего света и плоскостью пропускания анализатора (рис. 10).

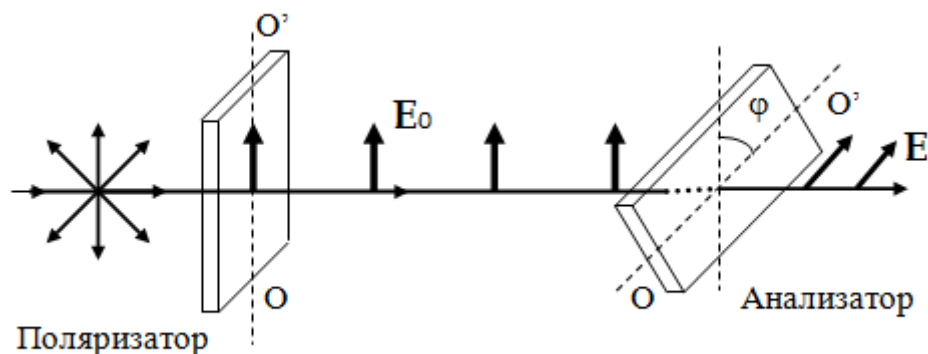


Рис. 10. К выводу закона Малюса

ВРАЩЕНИЕ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Некоторые вещества обладают способностью вращать плоскость поляризации проходящего через них линейно поляризованного света. Такие вещества называются оптически активными. Оптическая активность наблюдается у ряда кристаллических и аморфных тел. В частности, оптически активны кварц, сахар, раствор сахара в воде, скипидар и другие.

Угол поворота φ пропорционален пути луча в веществе d и концентрации активной компоненты вещества C :

$$\varphi = \alpha C d \tag{5}$$

Здесь α – удельная вращательная способность, численно равная углу поворота на единицу длины пути при концентрации, равной единице. Эта

физическая величина зависит от длины волны (как $\sim \frac{1}{\lambda^2}$), практически не зависит от агрегатного состояния вещества и слабо зависит от температуры.

Как правило, оптически активные вещества существуют в двух разновидностях: правовращающие и левовращающие. При этом численное значение удельной вращательной способности одинаково для обеих разновидностей.

Явление вращения плоскости поляризации широко используется для исследования особенностей строения вещества и определения концентрации оптически активных веществ в растворах. Приборы, предназначенные для измерения величины угла плоскости поляризации, называются поляриметрами. Поляриметр, применяемый для определения концентрации сахара в растворе путем измерения угла вращения плоскости поляризации, называется сахариметром.

Явление вращения плоскости поляризации является ценным методом исследования структуры и свойств полимеров – белков, нуклеиновых кислот. Они, как правило, имеют спиральные структуры и являются оптически активными, причем вращение вдоль и поперек спирали существенно различно.

Отметим, что оптическая активность сильно меняется при различных структурных изменениях биополимеров, например, при сворачивании спирали в клубки.

Метод вращения плоскости поляризации также важен при исследованиях структуры и свойств различных молекул, и в особенности в стереохимии-учении о пространственном строении молекул.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В работе используется медицинский сахариметр, оптическая схема которого приведена на рис. 11. Источником света в сахариметре является лампа. Свет от лампы падает на поляризатор и бикварцевую пластину, проходит через кювету с раствором, через компенсатор и анализатор. После анализатора свет проходит через объектив и окуляр зрительной трубы сахариметра, которая служит для визуального наблюдения поля зрения. Поворачивая винт, связанный с компенсатором, ручкой поворота, можно получить необходимую для исследования освещенность обоих полей зрения.

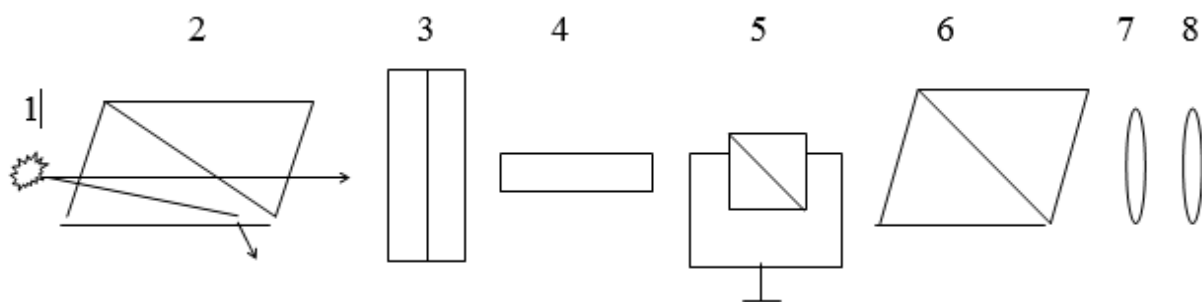


Рис. 11. Медицинский сахариметр: 1 – источник света, 2 – поляризатор, 3 – бикварцевая пластина, 4 – кювета, 5 – компенсатор, 6 – анализатор, 7 – объектив, 8 – окуляр.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установить окуляр (8) поворотом подвижной части тубуса на резкость так, чтобы вертикальная линия, разделяющая поле зрения на 2 половины была отчетливо видна. Добиться того положения, когда обе половины поля зрения имеют минимальную равную освещенность (точка отсчета угла), что достигается вращением головки винта компенсатора. Измерить угол, который принят за начало отсчета φ . Если прибор настроен правильно, то нуль нониуса на неподвижной шкале окажется против нуля шкалы.
2. Установить кювету с раствором сахара известной концентрации, измерить угол поворота плоскости поляризации не менее пяти раз.
3. Установить кювету с раствором сахара неизвестной концентрации и так же определить угол поворота не менее пяти раз.
4. По формуле $C_x = C(\varphi_x / \varphi)$ вычислить концентрацию раствора сахара.
5. По формуле (5) вычислить удельное вращение α .
6. Полученные данные занести в таблицу.
7. Рассчитать погрешности измерений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение естественного и поляризованного луча света.
2. Как изображается естественный луч?
3. Выведите закон Малюса.
4. Опишите явление двойного лучепреломления.
5. Запишите формулу (и объясните обозначения) для угла поворота плоскости колебаний луча оптически активными веществами.
6. Выведите формулу для нахождения неизвестной концентрации раствора сахара.

Учебное издание

Колубаева Л. А., Сандыкова Е. А., Михаленко В. Н.

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Методическое пособие к лабораторной работе

Издательство СибГМУ
634050, г. Томск, пр. Ленина, 107
тел. 8(3822) 51-41-53
E-mail: otd.redaktor@ssmu.ru

Издано в электронном виде