

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Лабораторная работа № 15
Изучение сахариметра
и определение
концентрации сахара
в растворе

Ярославль
2014

Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе	3
2.	Краткая теория	3
3.	Описание установки	5
4.	Порядок выполнения работы	8
	Задание 1.	8
	Задание 2.	8
	Задание 3.	9
	Задание 4.	10
5.	Контрольные вопросы	11

Составители: В.К. Мухин, старший преподаватель кафедры общей физики
Г.В. Жусь, кандидат технических наук, доцент кафедры
общей физики

Лабораторная работа № 15

Изучение сахариметра и определение концентрации сахара в растворе

Цель работы: познакомиться с работой сахариметра и произвести измерение процентного содержания сахара в растворе.

Приборы и принадлежности: сахариметр СУ-3, набор трубок с раствором сахара известной и неизвестной концентрации.

Литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1976. – Т.3.

1. Вопросы для подготовки к работе

1. Какие вещества называются оптически активными?
2. От чего зависит угол поворота плоскости поляризации у кристаллических активных веществ и активных растворов?
3. Как объяснить по теории Френеля вращение плоскости поляризации?
4. Метод определения угла поворота плоскости поляризации.

2. Краткая теория

При прохождении плоскополяризованного света через некоторые кристаллы и растворы органических соединений, таких как камфора, кокаин, никотин, сахаристые вещества, плоскость колебания вектора \vec{E} поворачивается. Вещества, обладающие способностью вращать плоскость колебаний, называются оптически активными. На опыте установлено существование двух направлений вращения плоскости колебаний. Если поворот плоскости колебаний вектора \vec{E} для наблюдателя, смотрящего навстречу проходящему лучу, совершается по часовой стрелке, то вещество называется правовращающим, а против часовой стрелки — левовращающим. Почти все оптически активные

вещества существуют в двух модификациях: правовращающие и левовращающие.

Объяснение явления вращения плоскости поляризации было дано Френелем. Он предположил, что вращение плоскости поляризации связано с особым типом лучепреломления. При взаимодействии света с молекулами активных веществ возникают два вида кругополяризованных волн с одинаковым периодом и частотой, но разными скоростями распространения в веществе. Это волны, поляризованные по правому и левому кругам. Для одних веществ $v_{\text{п}} > v_{\text{л}}$, для других $v_{\text{п}} < v_{\text{л}}$.

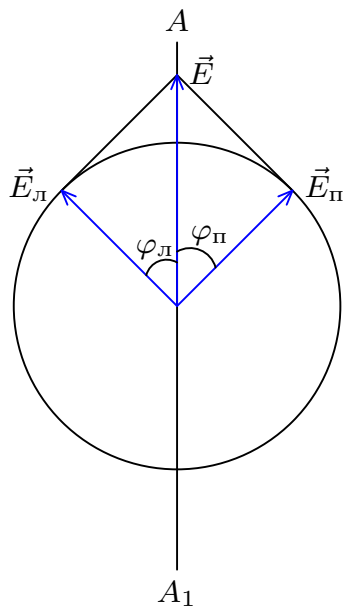


Рис. 2.1

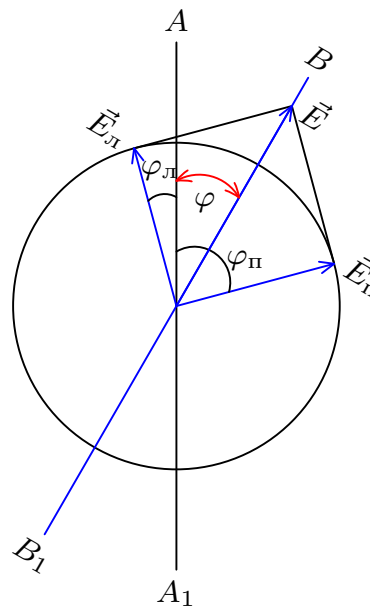


Рис. 2.2

Пусть в месте входа волны в активное вещество плоскость колебания вектора \vec{E} совпадает с направлением AA_1 (рис. 2.1). Векторы амплитуды колебаний этой волны в каждой точке можно представить как сумму двух векторов $\vec{E}_{\text{п}}$ и $\vec{E}_{\text{л}}$ — амплитуд колебаний право- и левокругополяризованных волн. Предположим, что $v_{\text{п}} < v_{\text{л}}$. Так как левополяризованная волна распространяется с большей скоростью, то до некоторой точки среды она дойдет с отставанием по фазе по сравнению с правополяризованной. В рассматриваемой точке электрический вектор $\vec{E}_{\text{п}}$ правой волны будет повернут на больший угол вправо, чем повернут влево вектор $\vec{E}_{\text{л}}$ левой волны (рис. 2.2). Следовательно, плоскостью, относительно которой симметрично расположены оба вектора, будет плоскость BB_1 , что соответствует повороту

3. Описание установки

плоскости поляризации вправо на угол φ . Если $v_{\text{п}} > v_{\text{л}}$, то плоскость колебания вектора \vec{E} повернется влево.

Угол φ поворота плоскости поляризации для активных растворов зависит от толщины ℓ слоя раствора и его концентрации c следующим образом:

$$\varphi = \alpha_o \ell c, \quad (2.1)$$

где α_o — постоянная вращения, зависящая от природы вещества, длины световой волны и температуры.

Зависимость угла поворота плоскости колебаний поляризованного света от концентрации оптически активных растворов дает возможность быстро и надежно определять их концентрацию. Метод определения заключается в следующем. Между скрещенными поляризатором и анализатором (установленными на темноту) помещают трубку с раствором вещества. В результате поворота плоскости поляризации поле зрения просветляется. Для определения угла поворота надо повернуть анализатор до получения первоначального состояния поля зрения. Если известны постоянная вращения α_o и угол поворота φ_o , то концентрацию легко рассчитать по приведенной выше формуле (2.1). Приборы, применяемые для определения концентрации оптически активных растворов, называются поляриметрами (частный случай — сахариметрами).

3. Описание установки

В настоящей работе используется сахариметр СУ-3, внешний вид которого представлен на рис. 3.1.

В состав сахариметра входят: (1) — измерительный узел, (2) — осветительный узел. Эти узлы соединены между собой траверсой (3), на которой укреплена камера (4) для поляриметрических кювет (трубок). С лицевой стороны измерительной головки прибора имеются зрительная труба (5) и лупа (6) в оправе для отсчета показаний по шкале. В нижней части измерительной головки расположена рукоятка (7) кремальберной передачи для компенсации поворота плоскости поляризации. На передней части основания (8) находится тумблер для включения осветительной лампы. С тыльной стороны основания имеются вилка разъема для подключения электролампы к трансформатору и вилка со шнуром для подключения трансформатора в сеть.

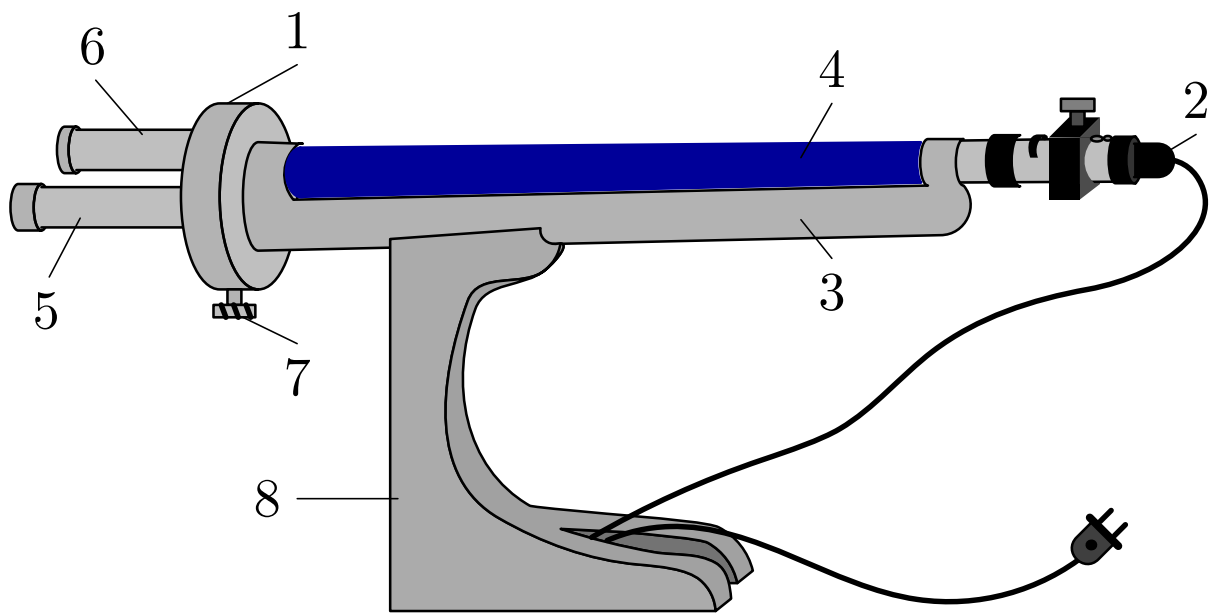


Рис. 3.1

Принципиальная схема сахариметра представлена на рис. 3.2.

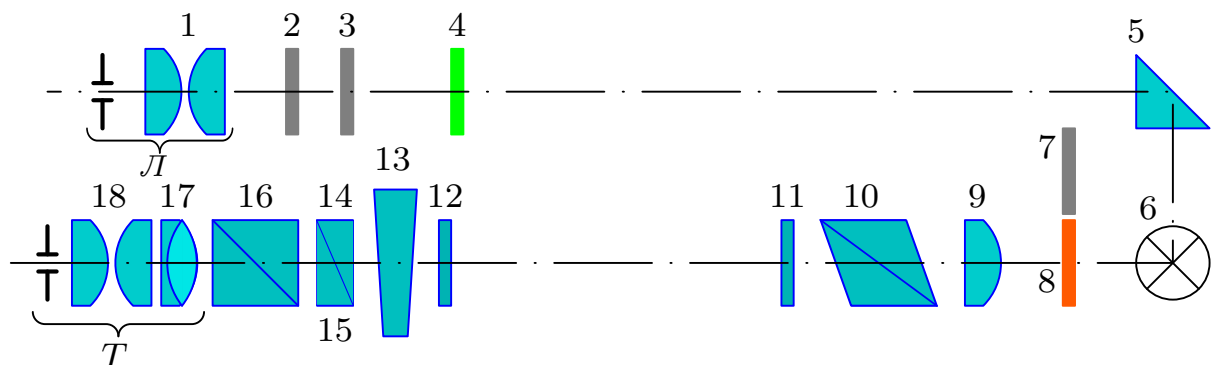


Рис. 3.2

Свет от источника (6), пройдя через фильтр (8) или матовое стекло (7) и конденсор (9), попадает на полутеневую поляризационную призму – поляризатор (10). Затем, пройдя через рабочую камеру, систему кварцевых клиньев (13, 14, 15) и анализатор (16), попадает в поле зрения зрительной трубы T . Отсчетная шкала и нониус (2, 3) рассматривается через лупу L и освещаются этим же источником через обратную призму (5) и светофильтр (4).

В сахариметре угол поворот плоскости поляризации определяется по выравниванию освещенности двух частей поля зрения в зрительной трубе. Двойное поле получается в результате специальной обработки поляризационной призмы. Обычная поляризационная призма

3. Описание установки

ма (призма Николя) разрезается вдоль главного сечения, и у каждой половины сошлифовываются клинья приблизительно по $2^\circ 30'$. Затем эти половины склеиваются (рис.3.3а, 3.3б). Свет, попадая на такую призму, выходит двумя поляризованными пучками. Угол между плоскостями колебаний векторов \vec{E}_1 и \vec{E}_2 в этих пучках составляет примерно 5° . Если прямая AA (рис.3.4) — сечение плоскости пропускания колебаний анализатора плоскостью рисунка — перпендикулярна биссектрисе OO угла между векторами \vec{E}_1 и \vec{E}_2 , то обе половинки поля зрения освещены равномерно (фотометрическое равновесие; рис. 3.4а).

Если плоскости колебаний векторов \vec{E}_1 и \vec{E}_2 повернутся хотя бы на малый угол, то фотометрическое равновесие нарушится (рис. 3.4б, 3.4в), что легко установить визуально. Пусть в начальный момент поле зрения было равномерно освещено. Введение трубки с оптически активным раствором в камеру прибора нарушает фотометрическое равновесие. Для того, чтобы его восстановить, на-

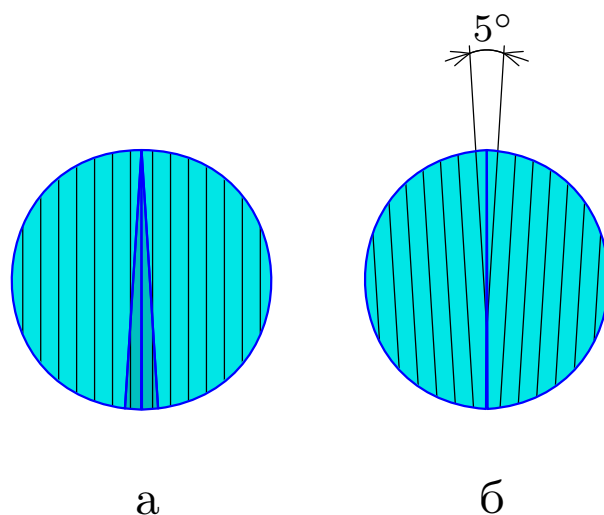


Рис. 3.3

надо повернуть анализатор на угол, равный углу поворота плоскости поляризации, но в обратном направлении. В данном сахариметре поворот плоскости поляризации для восстановления фотометрического равновесия осуществляется введением кварцевых клиньев (13, 14, 15, рис. 3.2) вращением винта (14) кремальеры передачи (рис. 3.1). Перемещением большего клина (13) относительно малых (14, 15) подбирают толщину кварцевой пластинки так, чтобы вращательная способность кварца скомпенсировала вращение, вызванное раствором сахара.

На рис. 3.2 обозначены: (1) — линзы, образующие лупу; (11,12) — защитные стекла; (17) — объектив, а (18) — окуляр зрительной трубы.

4. Порядок выполнения работы

4. Проверьте положение “нуля” прибора. Для этого, при отсутствии в камере поляриметрической кюветы, вращением рукоятки кремальерной передачи добейтесь одинаковой освещенности обеих половин поля зрения. При этом нулевые деления шкалы и нониуса должны совпасть. (Если совпадения нет, то обратитесь к лаборанту для настройки прибора или учтите поправку на “нуль” при измерениях.)

После настройки сахариметра приступите к измерениям.

Задание 3. Градуировка сахариметра.

Отградуировать сахариметр — значит определить α_o — величину удельного вращения исследуемого раствора (раствора сахара).

Для этого в камеру прибора поместите поляриметрическую кювету (трубку) с раствором известной концентрации. При этом (если прибор стоял на нуле) равенство освещенностей половинок поля зрения нарушится; его восстановите вращением рукоятки анализатора. Затем произведите отсчет по шкале и нониусу прибора. Для этого определите, на сколько целых градусов сместился нуль шкалы нониуса относительно нуля шкалы. Десятые доли градуса найдите по шкале нониуса по совмещению его деления с делением основной шкалы. Отсчет произведите с точностью до $0,1S$ (S — единица сахарной шкалы, в которых проградуирован сахариметр). С одной и той же трубкой измерения сделайте не менее пяти раз. Данные измерений заносите в таблицу 1. Постоянную вращения находят по формуле

$$\alpha_o = \frac{\bar{\varphi}}{c\ell},$$

где ℓ — длина кюветы, которая может составлять:

$$\ell_1 = (100,00 \pm 0,05) \text{ мм} \quad \text{при} \quad \alpha = \frac{2}{3};$$

$$\ell_2 = (200,00 \pm 0,05) \text{ мм} \quad \text{при} \quad \alpha = \frac{2}{3};$$

$$\ell_3 = (400,00 \pm 0,05) \text{ мм} \quad \text{при} \quad \alpha = \frac{2}{3};$$

c — концентрация раствора, составляющая:

$$c_1 = (0,1000 \pm 0,0003) \text{ г/см}^3 \quad \text{при} \quad \alpha = \frac{2}{3}.$$

Таблица 1

n	φ_{0i}	$\Delta\varphi_{0i}$	$(\Delta\varphi_{0i})^2$
1			
2			
и т.д.			
Среднее		X	X

По данным таблицы 1 рассчитайте стандартную (при $\alpha = \frac{2}{3} \Rightarrow t_{\alpha n} \approx 1$) ошибку $\Delta\varphi$ и результат запишите в виде

$$\varphi = \bar{\varphi} \pm \Delta\varphi \quad \text{при } \alpha = \frac{2}{3}.$$

Рассчитайте стандартную ошибку в определении постоянной вращения. Для этого воспользуйтесь формулой

$$\Delta\alpha_0 = \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha_0}{\partial\varphi}\right)^2 (\Delta\varphi)^2 + \left(\frac{\partial\alpha_0}{\partial\ell}\right)^2 (\Delta\ell)^2 + \left(\frac{\partial\alpha_0}{\partial c}\right)^2 (\Delta c)^2}.$$

Окончательно постоянную вращения запишите в виде

$$\alpha_0 = \bar{\alpha}_0 \pm \Delta\alpha_0 \quad \text{при } \alpha = \frac{2}{3}.$$

Задание 4. Определение концентрации раствора сахара.

Для определения концентрации в камеру поместите трубку с раствором неизвестной концентрации и найдите угол поворота плоскости поляризации, как в задании 3.

Измерение угла поворота произведите не менее пяти раз. Результаты измерений занесите в таблицу 2, по форме аналогичную таблице 1. Концентрацию сахара в растворе рассчитайте по формуле

$$c = \frac{\bar{\varphi}}{\alpha_0 \ell}.$$

Стандартную ошибку определите по формуле

$$\Delta c = \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial\varphi}\right)^2 (\Delta\varphi)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial\alpha_0}\right)^2 (\Delta\alpha_0)^2 + \left(\frac{\partial c}{\partial\ell}\right)^2 (\Delta\ell)^2}.$$

5. Контрольные вопросы

Окончательно результат запишите в виде

$$c = (\bar{c} \pm \Delta c) \text{ г/см}^3 \quad \text{при } \alpha = \frac{2}{3}.$$

5. Контрольные вопросы

1. Как изменится положение плоскости поляризации, если линейно поляризованный свет пропустить через слой активного вещества, а затем, отразив его от зеркала, пропустить через ту же среду в обратном направлении?
2. Расскажите об устройстве и принцип действия сахариметра СУ-3.
3. Расскажите об устройстве и принципе действия поляризатора (полутеневого компенсатора) в сахариметре СУ-3.