

КуАи: 5(у)
0-624

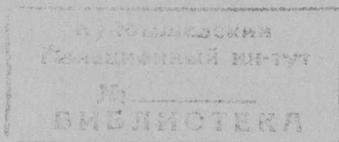
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО
ВРАЩЕНИЯ
ВОДНОГО РАСТВОРА САХАРА

3-12

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной
работе № 3-12



КУЙБЫШЕВ 1986

УДК 535.51 (083.96)

В методических указаниях даны краткие теоретические сведения, описание метода измерения и установки, порядок выполнения лабораторной работы, перечень контрольных вопросов, необходимых для самостоятельной подготовки студентов, и библиографический список.

Рецензенты: Э. Д. Посыпайко, Ю. М. Дубинкин

Венецкая

УКАЗАНИЯ

В печать 16.01.87 г.

Экз.

Красного Знамени
ул. С. П. Королева,
д. 151.
Ульяновская, 18.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ ВОДНОГО РАСТВОРА САХАРА

Цель работы: с помощью поляриметра познакомиться с явлением вращения плоскости поляризации и определить удельную постоянную вращения раствора сахара в воде.

Приборы и принадлежности: поляриметр типа СМ; две поляриметрические трубки (с раствором сахара известной концентрации и пустая); таблица зависимости плотности сахарного раствора от концентрации и температуры.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Свет — это переменное электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве. Световые волны поперечны: векторы \vec{E} (напряженность электрического поля), \vec{H} (напряженность магнитного поля) и \vec{C} (скорость света) взаимно перпендикулярны. Естественное излучение светящегося тела состоит из колебаний, испускаемых отдельными атомами. Каждое мгновение в теле «гаснут» миллиарды атомов и «зажигаются» миллиарды новых. На смену одному атому начинает излучать другой, испускающий колебания, лежащие совсем в иной плоскости. Поэтому в естественном свете присутствуют всевозможные расположения креста векторов \vec{E} и \vec{H} , крест вращается вокруг направления распространения луча.

Поляриметр пропускает колебания с одной—единственной ориентацией креста векторов \vec{E} и \vec{H} . Интенсивность поляризованного света I_p оказывается поэтому вдвое меньше интенсивности естественного света $I_{\text{ест}}$.

Если свет проходит последовательно два поляризатора, то интенсивность I_A света, выходящего из второго поляризатора, который в данном случае называют анализатором, зависит от угла между плоскостью колебаний (рис. 1) падающего на него поляризованного света и главным сечением анализатора:

$$I_A = I_p \cos^2 \varphi.$$

Когда $\varphi = \pi/2$, т. е. поляризатор и анализатор скрещены, свет не проходит. Если теперь между ними поместить трубку с раство-

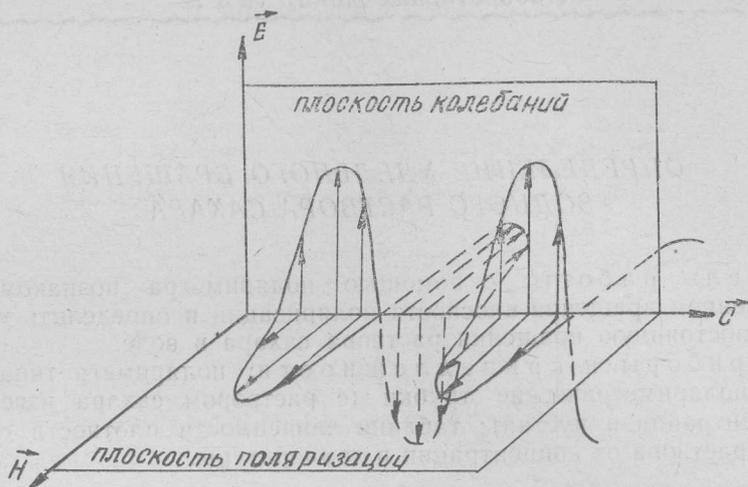


Рис. 1

ром сахара, поле зрения просветлеет. Раствор сахара повернул плоскость поляризации света.

Вещества, вращающие плоскость поляризации проходящего через них поляризованного света, называются оптически активными. Таких веществ в природе тысячи. Это не только растворы активных веществ в неактивных растворителях, но кристаллы (кварц, киноварь) и чистые жидкости (скипидар, никотин).

Для кристаллов угол поворота плоскости поляризации пропорционален пути l , пройденному лучом в кристалле:

$$\varphi = \alpha l.$$

Коэффициент α называется постоянной вращения. Она зависит от природы вещества, длины волны и температуры.

В растворах угол поворота плоскости поляризации пропорционален пути луча в растворе и концентрации C активного вещества:

$$\varphi = [\alpha] C l, \quad (1)$$

где $[\alpha]$ — величина, называемая удельной постоянной вращения или удельным вращением. Удельное вращение зависит от рода вещества, длины волны, температуры, может меняться при изменении растворителя.

Оптически активные вещества существуют в двух разновидностях, отличающихся только направлением вращения. В правовращающих поворот плоскости поляризации совершается вправо, если смотреть навстречу лучу, а в левовращающих — влево.

Оптическая активность растворов и жидкостей обусловлена асимметрией молекул. В соответствии с этим наблюдается вращение и в аморфных телах, состоящих из тех же молекул (сахарные леденцы, например), и в парах соответствующих жидкостей (камфара, скипидар).

Для одних кристаллов оптическая активность определяется строением молекул, такие вещества активны и в аморфном состоянии; у других кристаллов активность связана с асимметрией кристаллической решетки. Так, в кристаллах кварца ионы S_i^{++++} и O^- располагаются по винтовой линии вокруг оптической оси. Плавленный кварц не вращает плоскости поляризации.

Асимметрия органических молекул связывается со свойством атома углерода вступать в соединение с четырьмя атомами или атомными группами (радикалами). На рис. 2 изображены такие молекулы типа $C(XYZT)$. В центре четырехгранной пирамиды расположен атом углерода, а по вершинам — группы атомов (радикалы). Молекулы *a* и *б* представляют собой зеркальные изображения друг друга и соответствующие вещества дают разное направление вращения плоскости поляризации.

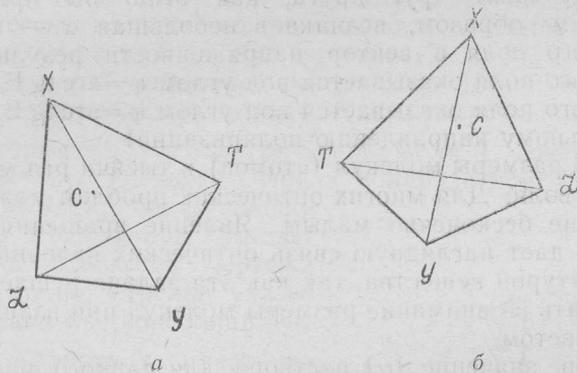


Рис. 2

Связи, существующие в асимметричной молекуле, обуславливают винтообразные траектории электронов, смещаемых под действием световой волны. На рис. 3 представлен для примера один из возможных случаев. Линейно поляризованная световая волна распространяется вдоль оси z . Ось асимметричной молекулы и направление колебаний вектора \vec{E} совпадают с осью y . Поле \vec{E} вызывает движение электронов молекулы вверх и вниз по спирали. В направлении оси y возникает меняющийся ток и в соответствующей излучаемой волне вектор напряженности электрического поля тоже будет направлен вдоль оси y . Но поскольку электроны могут двигаться только по спирали, они смещаются и по вертикали, и по

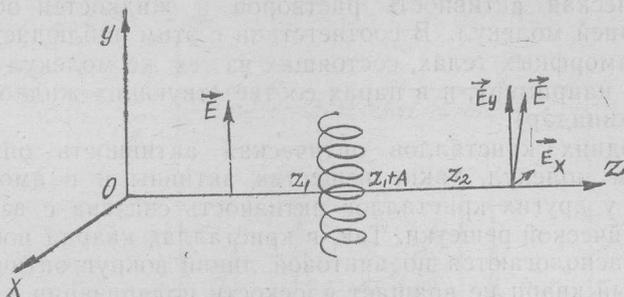


Рис. 3

горизонтالي. Токи, протекающие по симметричным участкам витка в точках $z = z_1$ и $z = z_1 + A$ (A — диаметр молекулярной спирали), имеют противоположное направление. Но в некоторую точку пространства z_2 излучение от этих участков будет проходить с интервалом времени A/c и, следовательно, с разностью фаз $\pi + \omega A/c$. Эти поля не гасят друг друга, как было бы при разности фаз π . Таким образом, возникает небольшая x — компонента электрического поля и вектор напряженности результирующего электрического поля оказывается под углом $\varphi = \arctg E_x/E_y$ к оси y электрического поля оказывается под углом $\varphi = \arctg E_x/E_y$ к оси y (первоначальному направлению поляризации).

Линейные размеры молекул (атомов) в тысячи раз меньше длины световых волн. Для многих оптических проблем можно считать это отношение бесконечно малым. Явление вращения плоскости поляризации дает наглядную связь оптических явлений с молекулярной структурой вещества, так как эта задача решается, только если принимать во внимание размеры молекул при взаимодействии с видимым светом.

Определив значение $[\alpha]$ раствора для данного растворителя, длины волны и температуры, можно использовать соотношение (1) для определения концентрации растворенного активного вещества. Быстрота и надежность этого метода определения концентрации активных веществ сделали его основным методом количественных определений в производстве сахаристых и целого ряда других веществ.

ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Поляриметр круговой СМ предназначен для измерения углов вращения плоскости поляризации света оптически активными веществами.

Оптическая схема поляриметра СМ приводится на рис. 4.

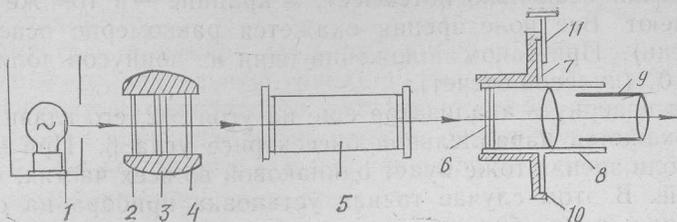


Рис. 4

Свет от источника 1 с матовой поверхностью проходит последовательно через цветной светофильтр 2, поляризатор (поляроид) 3, диафрагму с плоскопараллельной кварцевой пластинкой 4, поляриметрическую трубку 5, анализатор (поляроид) 6, зрительную трубу 8 и попадает в глаз наблюдателя.

Анализатор можно вращать относительно оси прибора с помощью специального фрикциона 11. Вместе с анализатором вращается зрительная труба и диск 7. Благодаря двум нониусам, которые нанесены на диск, можно отсчитать по лимбу 10 углы поворота анализатора от 0 до 360° с точностью до $0^\circ, 05$.

Поляризатор 3 установлен неподвижно. Пучок света, прошедший через поляризатор, оказывается поляризованным линейно.

Вектор напряженности электрического поля \vec{E} совершает колебания в плоскости главного сечения поляризатора. На рис. 5 [это плоскость PP, плоскость главного сечения анализатора AA, свет идет из-за плоскости чертежа к наблюдателю; стрелки указывают направление колебаний вектора \vec{E} . Кварцевая пластинка в средней части диафрагмы делит поле зрения на три части. Кварц поворачивает плоскость поляризации средней части пучка света вправо на небольшой угол β . По этой причине, если анализатор скрестить с поляризатором при отсутствии поляриметрической трубки 5 (плоскость AA перпендикулярна PP), крайние части поля зрения будут темными, а средняя — светлой].

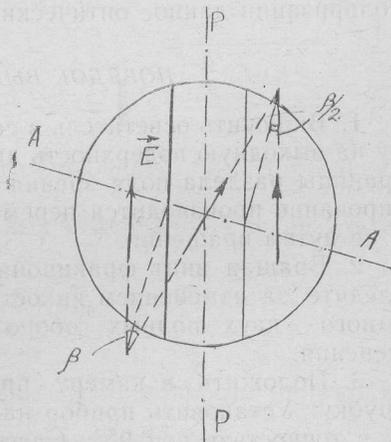


Рис. 5

Если после этого повернуть анализатор так, чтобы направление AA стало перпендикулярным биссектрисе угла β , средняя часть

поля зрения несколько потемнеет, а крайние — в той же степени посветлеют. Все поле зрения окажется равномерно освещенным (полутень). При таком положении один из нониусов должен указывать 0° (нулевой отсчет).

Если повернуть анализатор еще на угол $\pi/2$, его главная плоскость окажется параллельной биссектрисе угла β . При этом яркость поля зрения тоже будет одинаковой во всех частях, но очень большой. В этом случае точная установка прибора на однородность поля зрения будет невозможной, так как при большой яркости чувствительность глаза снижается и его свойство различать нюансы освещенности притупляется.

При всех промежуточных положениях анализатора фотометрическое поле зрения будет неоднородным. Этим и пользуются для измерения углов поворота плоскости поляризации света.

Если между диафрагмой и анализатором после того, как поляризатор настроен на полутень, поместить оптически активное вещество, например, трубку с сахарным раствором, плоскости колебаний лучей повернутся на угол φ и биссектриса угла между векторами электрической напряженности в средней и крайней частях поля зрения уже не будет перпендикулярна плоскости главного сечения анализатора.

Проекция вектора \vec{E} на пропускное направление AA в средней и крайних частях поля зрения будут разными по величине. Чтобы снова добиться одинаковой освещенности поля зрения, необходимо повернуть анализатор на угол φ . Сделав отсчет по положению нуля нониуса, можно определить, на какой угол поворачивает плоскость поляризации данное оптически активное вещество.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить осветитель в сеть. Сфокусировать зрительную трубу на выходную поверхность диафрагмы 4 (см. рис. на 4). При этом границы раздела поля зрения оказываются очень четкими. Фокусирование производится перемещением муфты 9 вдоль оси трубы, а не путем вращения.

2. Вращая винт фракциона 11, т. е. поворачивая анализатор, следите за изменением яркости фотометрического поля в течение одного — двух полных оборотов. Объясните наблюдаемые изменения.

3. Положить в камеру прибора пустую поляриметрическую трубку. Установить прибор на полутень и сделать нулевой отсчет γ_0 с точностью до $0,05^\circ$. Слегка повернув анализатор и нарушив тем самым однородность поля зрения, снова настроить прибор на полутень и сделать повторный отсчет по лимбу. Среднеарифмети-

ческое из пяти таких отсчетов $\bar{\gamma}_0$ принимается за нулевую точку данного поляриметра.

4. Поместить в камеру прибора трубку с раствором сахара. Снова настроить зрительную трубку на резкость. Повернуть с помощью фрикциона анализатор настолько, чтобы восстановилась картина поля зрения, наблюдаемая при снятии нулевого отсчета. Сделать отсчет по лимбу γ . Повторить измерение пять раз. Найти среднее арифметическое значение $\bar{\gamma}$.

5. Определить угол поворота плоскости поляризации раствором сахара

$$\bar{\varphi} = \bar{\gamma} - \bar{\gamma}_0.$$

6. Определить температуру помещения. Выписать из таблицы значение D плотности раствора сахара данной процентной концентрации K при этой температуре и вычислить его весообъемную концентрацию:

$$C = \frac{K}{100} D.$$

7. Найти удельное вращение раствора сахара при данной температуре:

$$[\bar{\alpha}] = \frac{\bar{\varphi}}{Cl}.$$

Значение длины поляриметрической трубки указано на установке.

8. Вычислить среднеквадратичное отклонение для результатов прямых измерений $\bar{\gamma}_0$ и $\bar{\gamma}$:

$$S_{\bar{\gamma}_0} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta \gamma_{0i})^2}{n(n-1)}}; \quad S_{\bar{\gamma}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta \gamma_{ii})^2}{n(n-1)}}.$$

9. Найти по таблице коэффициент Стьюдента $t_{\alpha, n}$ для случая пяти измерений и надежности 0,95.

10. Оценить границы доверительных интервалов для результатов прямых измерений:

$$\Delta \gamma_0 = t_{\alpha, n} S_{\bar{\gamma}_0};$$

$$\Delta \gamma = t_{\alpha, n} S_{\bar{\gamma}};$$

11. Найти доверительный интервал угла поворота плоскости поляризации:

$$\Delta \varphi = \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial \gamma}\right)^2 \Delta \gamma^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \gamma_0}\right)^2 \Delta \gamma_0^2}.$$

12. Найти относительную погрешность для φ :

$$\varepsilon_{\varphi} = \frac{\Delta \varphi}{\varphi}$$

13. Найти относительную погрешность для удельного вращения:

$$\varepsilon_{[\alpha]} = \sqrt{\varepsilon_{\varphi}^2 + \varepsilon_k^2},$$

ε_D и ε_l не учитываются, так как они малы по сравнению с ε_{φ} ; относительная погрешность при составлении раствора заданной концентрации $\varepsilon_k = 0,01$.

14. Найти границы доверительного интервала для удельного вращения раствора сахара при данной температуре:

$$\Delta[\alpha] = \varepsilon_{[\alpha]} [\bar{\alpha}].$$

15. Окончательный результат записать в виде

$$[\alpha] = [\bar{\alpha}] \pm \Delta[\alpha].$$

Все данные измерений и расчетов заносятся в таблицу.

N	Результаты измерений							Характеристики раствора
	γ_{0i} , град.	$\Delta \gamma_{0i}$, град.	$(\Delta \gamma_{0i})^2$, град. ²	γ_i , град.	$\Delta \gamma_i$, град.	$(\Delta \gamma_i)^2$, град. ²	$\bar{\varphi}$, град.	
1								K, %
2								t, K
3								D, кг/м ³
4								C, кг/м ³
5								l, м
Среднее								$[\bar{\alpha}]$, град·м ² кг

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличается поляризованный свет от естественного?
2. Что такое плоскость колебаний? Что такое плоскость поляризации?
3. Как можно обнаружить, что свет поляризован?

4. Какие вещества называются активными?
5. Чем объясняется оптическая активность аморфных тел?
6. Чем объясняется оптическая активность кристаллов?
7. Записать формулу для подсчета удельного вращения.
8. Изобразить оптическую схему поляриметра.
9. Почему в схеме поляриметра должен быть светофильтр?
10. Какова роль кварцевой пластинки в приборе?
11. Какая картина будет в поле зрения, если анализатор скрещен с поляризатором? Почему?
12. Почему поляризатор настраивают на полутень, а не на ярко освещенное поле зрения?
13. Как нужно расположить анализатор, чтобы настроить поляризатор на полутень?
14. Сколько раз наблюдается полутень за один полный оборот поляризатора?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Савельев И. В. Курс общей физики. — М.: Наука, 1971, т. 3, § 28, 34.
Ландсберг Г. С. Оптика. — М.: Гостехиздат, 1957, § 156—160.
Фейнман Р. и др. Фейнмановские лекции по физике, — М.: Мир, 1965, т. 3, с. 125—126.