

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
"НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"

-

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. КОФ \_\_\_\_\_ А. М. Лидер  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Лабораторная работа № 3-03а

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВОРОТА ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ  
РАСТВОРАМИ САХАРА**

Методические указания к выполнению лабораторной работы  
по курсу «Общая физика» по теме «Оптика»  
для студентов всех специальностей

Томск 2016

УДК

Исследование поворота плоскости поляризации растворами сахара. Методические указания к выполнению лабораторной работы № 3-03а по курсу «общая физика» для студентов всех специальностей. – Томск. Изд. ТПУ, 2016.-13 с.

Составитель: Пак В.В.

Рецензент: Т.Н Мельникова

Методические указания рассмотрены и рекомендованы методическим семинаром кафедры общей физики .....2016 г.

Зав. кафедрой ОФ  
кандидат физ.-мат. наук,

\_\_\_\_\_ А.М. Лидер

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВОРОТА ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ РАСТВОРАМИ САХАРА

**Цель работы:** Измерение зависимости угла поворота плоскости поляризации от длины образца и концентрации раствора. Определение удельной оптической активности при различных длинах волны света. Сравнение направлений поворота и углов поворота плоскости поляризации фруктозой, глюкозой и сахарозой.

**Приборы и принадлежности:** Поляриметр с 4 светодиодами, градуированный цилиндр объёмом 100 мл, растворы фруктозы, глюкозы, сахарозы.



Рис.1. Экспериментальная установка

### КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Свет, в котором в каждый момент времени векторы **E** и **H**, будучи взаимно перпендикулярны друг другу, беспорядочно меняют свое направление в плоскости, перпендикулярной направлению распространения света, называют **естественным** или **неполяризованным**. Если вектор **E** и **H** в световой волне колеблется только в одной плоскости, свет называется **линейно** - или **плоскополяризованным** (рис. 2).

Плоскость колебания вектора **E** называется **плоскостью поляризации**. Свет, в котором конец вектора **E** описывает в пространстве винтовую траекторию, проекция которой на плоскость, перпендикулярную направлению распространения представляет собой окружность, называется **поляризованным по кругу** (рис. 3). Промежуточный случай – **эллиптическая поляризация** (рис. 4).

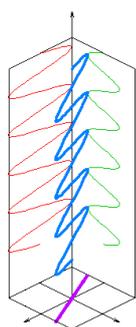


Рис. 2.  
Линейная  
поляризация

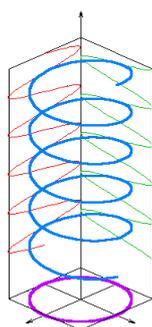


Рис. 3.  
Круговая  
поляризация

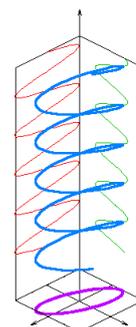


Рис. 4.  
Эллиптическая  
поляризация

Теория вращения плоскости поляризации была развита Френелем. Он показал, что явление вращения плоскости поляризации сводится к особому виду двойного лучепреломления. Линейно поляризованная волна может рассматриваться как суперпозиция двух циркулярно поляризованных волн  $E_1$  и  $E_2$  с противоположными направлениями вращения электрического вектора.

Некоторые вещества, называемые **оптически активными**, обладают способностью вызывать вращение плоскости поляризации проходящего через них линейно поляризованного света. К их числу относятся кристаллические тела (кварц, киноварь), чистые жидкости (скипидар, никотин) и растворы оптически активных веществ в неактивных растворителях (водные растворы сахара, винной кислоты и т.д.).

В оптически активном веществе волн  $E_1$  и  $E_2$  распространяются с различными скоростями. На выходе из вещества между колебаниями этих векторов возникает постоянная разность фаз, которая обуславливает поворот плоскости поляризации. Поворот происходит в направлении вращения того луча, который проходит в веществе с большей скоростью.

Особенностью оптически активных веществ является то, что их молекулы не имеют центра и плоскости симметрии. Молекулы таких веществ могут существовать в виде двух зеркально симметричных изомерных форм – оптических изомеров. Один из оптических изомеров вращает плоскость поляризации вправо, другой – влево. Вещество в целом будет вращать плоскость поляризации света, в том случае, если концентрации оптических изомеров различны. Оптически активные кристаллы также существуют в виде двух модификаций: право- и левовращающей. Обе модификации отличаются друг от друга внешней формой и внутренней кристаллической структурой. Обе модификации

не конгруэнтны, т.е. правая не может быть наложена на левую и наоборот.

Впервые оптическая активность была обнаружена в 1811 году Д.Ф. Араго в кварце. В 1815 году Ж.Б. Био открыл оптическую активность чистых жидкостей (скипидара), а затем растворов и паров многих, главным образом органических веществ. Естественная оптическая активность вещества в некристаллическом состоянии обусловлена асимметрией молекул.

Термин "оптическая активность" используется для описания поворота плоскости поляризации линейно поляризованного света, когда он проходит через определенные вещества. Этот поворот наблюдается в растворах хиральных (несовместимых со своим зеркальным отражением любой комбинацией вращений и перемещений в трёхмерном пространстве) молекул, таких как молекулы сахара, и в определенных твердых веществах, таких как кварц. Вещества, которые поворачивают плоскость поляризации вправо (т.е. по часовой стрелке), если смотреть против направления распространения света, называются правовращающими, а вещества, поворачивающие плоскость поляризации в противоположном направлении, называются левовращающими.

Растворы глюкозы и сахарозы являются *правовращающими*, а растворы фруктозы – *левовращающими*.

Угол  $\varphi$ , на который раствор поворачивает плоскость поляризации, зависит от природы растворенного вещества и пропорционален концентрации (массе, приходящейся на единицу объема)  $c$  и длине или толщине  $h$  образца (закон Био). Взаимосвязь выражается следующим образом:

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

где  $[\alpha]$  называется *удельной оптической активностью*.

Графически зависимость угла поворота от длины образца и концентрации представлена на рисунках:

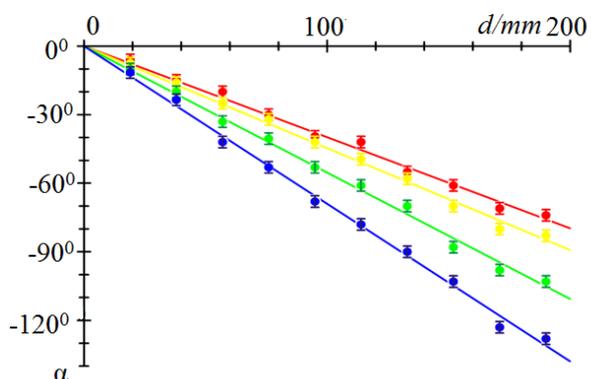


Рис. 5. Зависимость угла поворота от длины образца

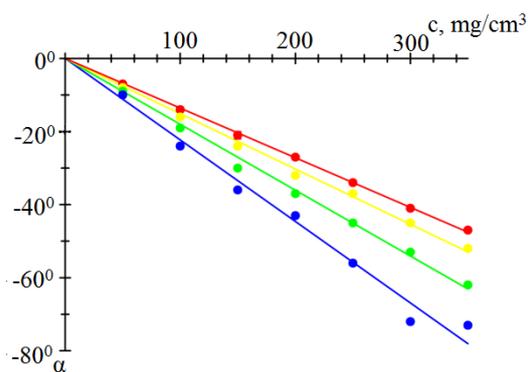


Рис. 6. Зависимость угла поворота от концентрации раствора

Прямые проходят через начало координат, что характерно для линейной зависимости угла поворота плоскости поляризации от длины образца и концентрации раствора для оптически активных сред.

Эта величина зависит от природы растворенного вещества и растворителя, температуры  $T$  и длины волны света  $\lambda$ :

$$[\alpha] = \frac{k(T)}{\lambda^2}, \quad (2)$$

где  $k(T)$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от температуры и природы вещества.

Значения  $[\alpha]$  в публикуемых таблицах обычно даются для желтого света натриевых ламп при температуре окружающего воздуха  $25^\circ\text{C}$ . Если значение  $[\alpha]$  известно, концентрацию раствора можно определить путем измерения угла поворота плоскости поляризации в поляриметре.

Наблюдать вращение плоскости поляризации можно, поместив между скрещенными поляризатором и анализатором слой оптически активного вещества. При этом в монохроматическом свете поле зрения просветляется. Чтобы поле зрения вновь сделать темным, необходимо повернуть анализатор на некоторый угол  $\varphi$ . Этот угол равен углу поворота плоскости поляризации.

В этом опыте проводятся измерения в поляриметре на различных растворах сахаров при разных условиях и сравниваются углы поворота плоскости поляризации. Цвет света можно изменять, выбирая один из четырех светодиодов.

## **ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ПОВОРОТА ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ**

При пустой измерительной камере интенсивность света, видимого через наблюдательное отверстие анализатора минимальна для всех цветов, когда указатель находится в положении  $360^\circ$ .

Правовращающее вещество в измерительной камере вызывает поворот плоскости поляризации по часовой стрелке (вид сверху). Если теперь повернуть диск анализатора по часовой стрелке (относительно положения  $360^\circ$ ) так, чтобы интенсивность света снова стала минимальной, указатель укажет угол  $\varphi_p$  ( $\varphi_p < 360^\circ$ ). При этом требуемый угол поворота можно определить следующим образом:

$$\varphi = 360^\circ - \varphi_p \quad (3)$$

Для левовращающего вещества анализатор следует повернуть против часовой стрелки в положение, при котором интенсивность света будет минимальной, и отметить по шкале угол  $\varphi_p$ . В этом случае угол поворота определяется как:

$$\varphi = -\varphi_p \quad (4)$$

Положение минимальной интенсивности света не имеет четко соответствующего ему угла поворота анализатора, поскольку свет, излучаемый светодиодами поляриметра, не является спектрально чистым – его спектр включает волны различной длины, углы поворота для которых также немного различаются. По этой причине при вращении анализатора по часовой стрелке и против часовой стрелки с переходом через оптимальное положение наблюдается не четко выраженный минимум интенсивности света, а небольшое изменение цвета.

## **ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА**

### **1. Измерение угла поворота плоскости поляризации в зависимости от длины образца**

1. Растворите 50 г фруктозы в 100 мл дистиллированной воды, помешивая раствор.
2. Выньте из измерительной камеры цилиндрическую емкость-образец и влейте в нее 10 мл раствора фруктозы концентрацией  $C = 0,5$  г/мл (10 мл соответствует длине образца  $h = 19$  мм).

3. Протрите наружные стенки емкости - образца насухо и установите ее в измерительную камеру, следя за тем, чтобы жидкость не попала на стенку измерительной камеры.
4. При помощи тумблера переключитесь на красный светодиод.
5. Поместите на камеру диск анализатора и вращением анализатора установите его в положение минимальной яркости, наблюдая точку света светодиода через отверстие в анализаторе.
6. Внесите угол поворота  $\varphi$  (с учетом знака) в таблицу 1.
7. Вместо красного светодиода поочередно включите желтый, зеленый и синий светодиоды, измеряя в каждом случае угол поворота и записывая результаты (с учетом знака) в таблицу 1.
8. Извлеките емкость-образец из измерительной камеры, влейте в нее дополнительно 10 мл раствора фруктозы и снова установите емкость в измерительную камеру, следя за тем, чтобы жидкость не попала на стенку камеры.
9. Измерьте угол поворота  $\varphi$  для всех четырех цветов, как описано выше, и внесите результаты (с учетом знака) в таблицу 1.
10. Повторите пункт 8 – 9, используя 100 мл раствора.
11. Представьте данные таблицы 1 в виде графика зависимости угла поворота от длины образца. Проверьте – проходит ли график через начало координат. Сравните полученные результаты с теорией.

Таблица 1

**Зависимость угла поворота плоскости поляризации от длины образца для разных значений длины волны.**

$h$ , мм	$\varphi$ , град.			
	Красный 630 нм	Желтый 580 нм	Зеленый 525 нм	Синий 468 нм
19				
38				
57				
76				
95				
114				

133				
152				
171				
190				

## 2. Измерение угла поворота в зависимости от концентрации раствора

1. В мерном стакане растворите 10 г фруктозы в 200 мл дистиллированной воды, помешивая раствор.
2. Извлеките емкость-образец из измерительной камеры, влейте в нее 100 мл раствора фруктозы полученной концентрации,  $C = 50$  мг/мл, и снова установите емкость в измерительную камеру, следя за тем, чтобы жидкость не попала на стенку камеры.
3. Измерьте угол поворота  $\alpha$  для каждого из четырех цветов, занесите результаты (с учетом знака) в таблицу 2.
4. Повторно выньте емкость - образец из измерительной камеры, вылейте раствор фруктозы в мерный стакан.
5. Влейте 100 мл раствора фруктозы концентрации  $C = 100$  мг/мл в емкость - образец и установите емкость в измерительную камеру, следя за тем, чтобы жидкость не попала на стенку измерительной камеры.
6. Измерьте угол поворота  $\alpha$  для каждого из четырех цветов, результаты занесите (с учетом знака) в таблицу 2.
7. Представьте данные таблицы 2 в виде графика зависимости угла поворота от концентрации раствора. Проверьте – проходит ли график через начало координат. Сравните полученные результаты с теорией.

Таблица 2

### Зависимость угла поворота плоскости поляризации от концентрации раствора для разных значений длины волны.

$m, \text{ г}$	$c, \text{ мг/см}^3$	$\alpha, \text{ град.}$			
		Красный 630 нм	Желтый 580 нм	Зеленый 525 нм	Синий 468 нм
10					

20					
30					
40					
50					
60					

### 3. Сравнение направления поворота и угла поворота плоскости поляризации фруктозой, глюкозой и сахарозой

1. Растворите 35 г глюкозы в 100 мл дистиллированной воды, помешивая раствор.
2. Выньте емкость-образец из измерительной камеры, влейте в нее 50 мл раствора глюкозы и снова установите емкость в измерительную камеру, следя за тем, чтобы жидкость не попала на стенку камеры. (50 мл соответствует длине образца  $h = 95$  мм.)
3. Поместите на камеру диск анализатора и вращением анализатора установите его в положение минимальной яркости, наблюдая точку света светодиода через отверстие в анализаторе.
4. Измерьте угол поворота  $\alpha$ . Занесите измеренное значение (с учетом знака) в таблицу 3.
5. Растворите 30 г сахарозы в 100 мл дистиллированной воды, помешивая раствор.
6. Влейте 50 мл раствора в емкость-образец.
7. Измерьте угол поворота  $\alpha$ , занесите измеренное значение (с учетом знака) в таблицу 3.
8. Сюда же внести результаты, полученные ранее для фруктозы.

Таблица 3

#### Угол поворота плоскости поляризации растворами глюкозы, фруктозы и сахарозы для разных значений длин волн

	$m, \text{ г}$	$V, \text{ мл}$	$c, \text{ г/см}^3$	$h, \text{ мм}$	Красный 630 нм		Желтый 580 нм		Зеленый 525 нм		Синий 468 нм	
					$\lambda$	$\varphi$	$\lambda$	$\varphi$	$\lambda$	$\varphi$	$\lambda$	$\varphi$
Фруктоза												
Глюкоза												

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тюрин Ю.И. Физика. Ч. 3, Оптика. Квантовая физика: Учебное пособие для технических университетов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2005.–740 с.
2. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. Учебник. 4-е изд., испр.– М.: В.Ш., 2002.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. – Рипол Классик, 2005.
4. Савельев И. В. Курс общей физики: Учеб. пособие для вузов. –М.: Наука, 1987.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте схему получения линейно, эллиптически и циркулярно - поляризованного света.
2. Опишите известные способы получения и поляризованного света.
3. Как изготавливаются «пластинки  $\lambda/4$ » и с какой точностью?
4. Как из линейно поляризованного света получить циркулярно или эллиптически поляризованный свет?
5. Почему обыкновенный и необыкновенный лучи, полученные от естественного света, не являются когерентными?
6. Почему в анизотропном кристалле возникает множество волн?
7. Какие действия нужно предпринять, чтобы найти различия в свойствах обыкновенного и необыкновенного лучей?
8. Как изготовить «пластинку в полволны»?
9. Каким образом можно разделить обыкновенный луч от необыкновенного луча?
10. Какие индикаторы можно использовать для анализа света, прошедшего анализатор?
11. Каким методом можно измерить показатель преломления обыкновенного и необыкновенного лучей?
12. Почему основания призмы Николя составляет угол  $68^\circ$  с боковыми ребрами (вместо  $71^\circ$  у естественного кристалла)?
13. По какому принципу рассчитывают углы в призме Николя?

14. Плоские волны в анизотропном кристалле поперечны в отношении векторов  $D$  и  $H$ . Почему они не поперечны в отношении вектора  $E$ ?
15. Почему при вращении исландского шпата вокруг главной оптической оси одно изображение любого предмета движется по кругу вокруг другого?
16. Можно ли заменить канадский бальзам слоем воздуха?
17. Как соотносятся метод Брюстера и метод двойного лучепреломления?
18. Какая дополнительная разность фаз вносится между обыкновенным и необыкновенным лучами, если их пропускать через пластинку  $\lambda/4$ ,  $\lambda/2$ ?
19. В чем состоит вращение плоскости поляризации?
20. Какие вещества называют оптически активными? Приведите примеры.
21. Каково строение оптически активных веществ?
22. Что называют постоянной вращения и в каких единицах ее измеряют.
23. Что такое удельное вращение плоскости поляризации? Какова размерность этой величины?
24. Что понимают под концентрацией раствора?
25. Зависит ли угол поворота плоскости поляризации от направления распространения света в оптически активном веществе? Например, изменится ли этот угол при изменении направления распространения на противоположное?

## ГЛОССАРИЙ

**1. Араго** Доминик Франсуа (1786–1853) – французский физик, астроном и политический деятель. Родился 26 февраля 1786 в Эстажеле (Восточные Пиренеи). Учился в Политехнической школе в Париже. В 1809–1831 – профессор аналитической геометрии в этой школе. В 1830 назначен директором Парижской обсерватории и непременным секретарем Парижской академии наук. В 1830–1848 – член Палаты депутатов от округа. Научные работы Араго посвящены магнетизму, оптике, астрономии. В 1811 он открыл хроматическую поляризацию света (независимо от Ж.Био и Д.Брюстера), впервые наблюдал вращение плоскости поляризации света в кварце.

**2. Био закон** – закон, определяющий угол поворота  $\varphi$  плоскости линейно поляризованного света, проходящего через слой аморфного вещества с естественной оптической активностью (твёрдое тело, раствор или пары):  $\varphi = [\alpha] \cdot d \cdot c$ , где  $[\alpha]$  – постоянная вращения,  $d$  – толщина слоя вещества,  $c$  – его концентрация. В зависимости от направления поворота плоскости поляризации различают право- и левовращающие вещества. Закон Био выражает пропорциональность угла поворота  $\varphi$  числу молекул на пути светового луча. Значение  $[\alpha]$  определяется природой вещества, слабо зависит от температуры, существенно – от длины волны света  $\lambda$  и может значительно изменяться при изменении растворителя вследствие влияния последнего на внутримолекулярные процессы в растворённом веществе.

**3. Естественный свет** (неполяризованный) – это совокупность электромагнитных волн со всевозможными направлениями световых векторов, причем все направления равноправны

**4. Оптическая активность** — это способность среды (кристаллов, растворов, паров вещества) вызывать вращение плоскости поляризации проходящего через неё оптического излучения (света).

**5. Поляризованный свет** – свет, в котором направления колебания светового вектора упорядочены каким-либо образом.

**6. Поляризатор** – анизотропный кристалл, пропускающий свет только в одном направлении (исландский шпат, кварц, турмалин).

**7. Световой вектор** – вектор, определяющий величину и направление переноса той части энергии электромагнитного излучения, которая может быть воспринята визуально, т. е. светового потока. Иногда, световым вектором называют вектор напряжённости электрического поля электромагнитной волны.