**Исследование явления поляризации**

***Валеев Д.Н., Назаров А.В., Шаблинский А.Д., Чопорова Ж.В.***

*Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение города Москвы*

*"Школа № 1575",*

*г. Москва, Россия,*

*Email: artyshok24@gmail.com, valeevdaniel1@gmail.com*

**Investigation of the phenomenon of polarization**

***Valeyev D.N., Nazarov A.V., Shablinsky A.D.,***

*Moscow State Budget Educational Institution*

*" School No 1575",*

*Moscow, Russia*

**Аннотация**

В ходе работы была изучена информация о свете и его способности к поляризации. Кроме того, проведено исследование области применения данного явления. Особое внимание привлекло устройство сахариметра, основанного на способности различных растворов (сахарозы, фруктозы и глюкозы) поворачивать плоскость поляризации света. Поэтому мы решили проверить гипотезу: возможно ли создать рабочее устройство поляризационного сахариметра в условиях школьной лаборатории. По мере продвижения по исполнению проекта была собрана экспериментальная установка, способная определять концентрацию растворенного сахара по изменению угла поворота плоскости поляризации раствора. Поставленные в начале работы задачи выполнены. Гипотеза подтверждена. Данные представлены на картинках, в графиках и таблицах.

**Abstract**

In the course of the work, information about light and its ability to polarize was studied. In addition, a study was conducted on the scope of this phenomenon. Special attention was paid to the saccharimeter device based on the ability of various solutions (sucrose, fructose and glucose) to rotate the plane of polarization of light. Therefore, we decided to test the hypothesis: is it possible to create a working device for a polarizing saccharimeter in a school laboratory? During the implementation of the project, an experimental setup was assembled that made it possible to determine the concentration of dissolved sugar by changing the angle of rotation of the polarization plane of the solution. The tasks set at the beginning of the work have been completed. The hypothesis is confirmed. The data is presented in the form of figures, graphs, and tables.

Ключевые слова: поляризация; растворы фруктозы, глюкозы и сахарозы; поляризационный сахариметр; концентрация сахара

Keywords:

polarization; solutions of fructose, glucose and sucrose; polarizing saccharimeter; sugar concentration

Текст статьи.

1. Введение

Оптическая активность вещества проявляется в его способности поворачивать плоскость поляризации.

Поляризация света — это явление выделения лучей из пучка естественного света, которые имеют определённую ориентацию электрического вектора [1].

Поляризационный сахариметр – это устройство, предназначенное для измерения концентрации сахара в растворах посредством способности раствора изменять угол плоскости поляризации света в зависимости от концентрации вещества.

Дисперсия — это зависимость показателя преломления вещества от частоты (длины волны) света [1].

Гипотеза:

В школьной лаборатории можно создать простейший сахариметр для определения концентрации сахара в жидкостях, используя зависимость поворота оси вращения плоскости поляризации в зависимости от концентрации сахара в растворе.

Цели исследования: исследовать вращение плоскости поляризации за счет раствора воды с сахаром, фруктозой, глюкозой.

Задачи:

* Изучить литературу по разделу оптика: поляризация и дисперсия.
* Приготовить растворы с определенной концентрацией сахара и глюкозы.
* Собрать установку по наблюдению поляризации и дисперсии.
* Пронаблюдать явления поляризации и дисперсии.
* Исследовать явление поворота оси вращения поляризации для разных растворов.
* Обработать данные и сделать выводы.

1. Материалы и методы

2.1 Материалы и оборудование:

источники света - лампа, лазерная указка красного цвета (650 нм), лазерная указка зелёного цвета (532 нм) и фонарик телефона

* светофильтры зелёный и красный,
* штатив с лапкой,
* линейка (рулетка),
* крепления, держатели,
* экран,
* поляризационные плёнки – 2 штуки,
* пробирка (кювета),
* мензурки,
* сахар песок 5000 г,
* глюкоза 500 г,
* фруктоза 500 г,
* яблочный сок без сахара 400 мл,
* жидкость 1 (белое сладкое), 400 мл,
* жидкость2 (белое сухое)
* сладкая газированная вода 400 мл,
* транспортир,
* весы электронные с точностью до 0,2 г.

Метод исследования

Свет — это электромагнитная волна, в которой колеблются векторы напряженности электрического поля и вектор магнитной индукции во взаимно перпендикулярных направлениях. Естественный свет- неполяризованный, векторы колеблются в разных направлениях. Проходя через плёнку- поляризатор, у вектора напряжённости колебания идут в одной плоскости. Если второй поляроид повернут параллельно первому, то свет через него проходит, если перпендикулярно, то свет не пройдёт и на экране будет тёмное пятно.

Испускаемый от источника луч проходит через поляризатор и превращается в плоско поляризованный. Этот луч отличается от естественного тем, что колебания векторов электрического и магнитного поля проходят в одной плоскости, называемой плоскостью поляризации. При прохождении такого луча через оптически активный раствор плоскость поляризации поворачивается. Угол поворота можно измерить с помощью транспортира.

Описание исследования

1. Приобрели две поляризационные плёнки, пронаблюдали эффект поляризации света. Повернули плёнки так, что свет полностью проходит через них. Затем вращали вторую пленку до того момента, пока не наступило затемнение - полное ослабление света.

2. Подготовили растворы воды с сахаром разной концентрации, раствор глюкозы, раствор фруктозы:

450 г сахара в горячей воде объёмом 500 мл. – Сосуд №1

900 г сахара в горячей воде объёмом 500 мл. – Сосуд №2

1600 г сахара в горячей воде объёмом 500 мл. – Сосуд №3

400 г глюкозы в горячей воде объёмом 400 мл. – Сосуд №4

400 г фруктозы в горячей воде объёмом 400 мл. – Сосуд №5

Разместили растворы в мензурках.

Рассчитали плотности растворов по формуле:

где m- масса вещества (сахара, глюкозы, фруктозы) в граммах,

V – объём воды в см3,

ρ- плотность раствора в г/см3.

Рассчитали процентную долю вещества, как массу вещества разделить на массу раствора. Данные занесли в таблицу 1.

Собрали установку для наблюдения дисперсии: закрепили поляризатор, подготовили штатив, установили второй поляризатор так, чтобы на экране было почти темно. Закрепили зелёный светофильтр.

Между поляризаторами разместили мензурку с раствором сахара номер 2, а снизу поставили фонарик телефона. Провели наблюдение при белом свете фонарика телефона. В пробирке возникли цветные пятна радуги. См. фото в разделе установка.

3. Собрали горизонтальную установку для исследования. См. фото в разделе установка. Сделали нулевой замер для поляризаторов при исчезновении света на экране. Разместили кювету с раствором №1 между поляризаторами. Поворачивали второй поляризатор до ослабевания луча света. Угол поворота измерили транспортиром.

4. Повторили действие 3 для всех растворов, а также для 4х растворов неизвестной концентрации- сок яблочный, газированная вода, жидкости №1 и 2 – белое сухое и белое сладкое вино. Результаты занесли в таблицу 2.

5. Повторили пункт 4, взяв красный светофильтр. Результаты занесли в таблицу 2.

6. По данным таблицы построили график для растворов известной концентрации см. график 1.

Сравнили углы поворота плоскости поляризации для красного и зелёного спектров.

Проанализировали график 1. Сопоставили яблочный сок, газированную воду и жидкости в соответствие с полученными результатами.

* 1. **Схема эксперимента**

**Установка для измерения концентрации растворов.**

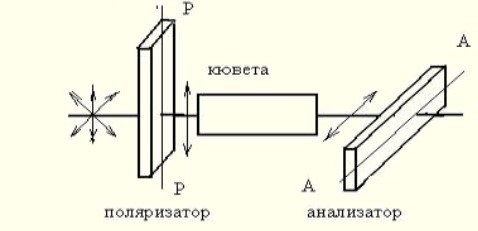
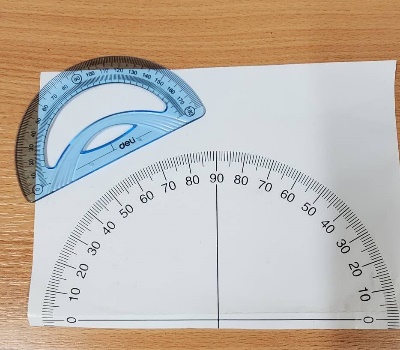
Установкасостоит из лампы, на двух магнитиках к которой прикреплён фильтр (зелёный или красный). В штативе закреплён поляроид. Еще один поляроид размещён стационарно. Сзади размещён на подставке экран - лист бумаги. Между поляроидами поставили подставку, на которую можно ставить кювету с растворами. Всё размещено на оптической скамье.

Рисунок 4. Подготовленные растворы

Рисунок 3. Схема установки

Рисунок 4. Растворы

Рисунок 3. Схема устройства

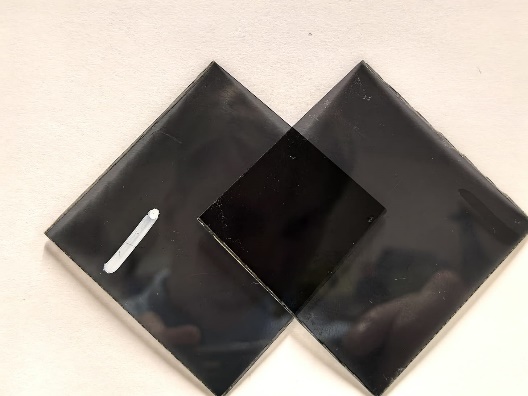


Рисунок 2. Транспортир

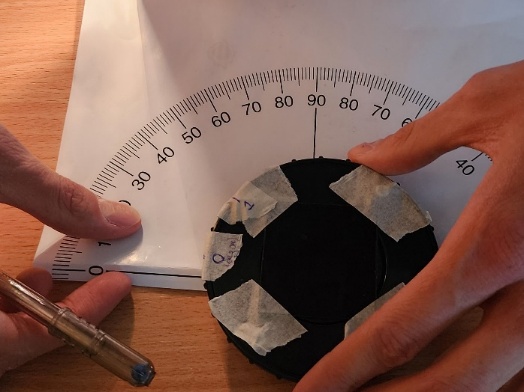
Рисунок . Поляроиды



Рисунок 5. Схема установки

Рисунок 6. Измерение углов

Рисунок 7. Установка нуль пункта



****

Рисунок 9. Установка при размещении раствора с сахаром

Рисунок 8. Установка. Стекло не влияет на эксперимент

**Установка для наблюдения дисперсии.**

Установка для наблюдения радужных кругов на экране состоит из штатива с закреплённой пробиркой с раствором сахара. Снизу лапкой удерживается один поляроид. Второй поляроид размещён сверху и имеет подвижность для вращения. Также сверху закреплён экран для наблюдения. При вращении поляроида наблюдаем на белом экране радужные круги.

Вторая установка – для наблюдения цветных спиралей- состоит из штатива с закреплённой мензуркой с раствором глюкозы. В раствор глюкозы для лучшего рассевания добавили пипеткой каплю сливок. Снизу источник света – лампа на 60 Вт, закрытая полоской экрана как абажуром, чтобы свет не рассеивался и поляроид. При вращении поляроида в пробирке наблюдаются радужные спирали.

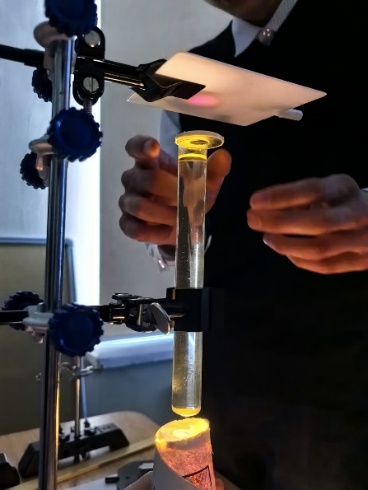
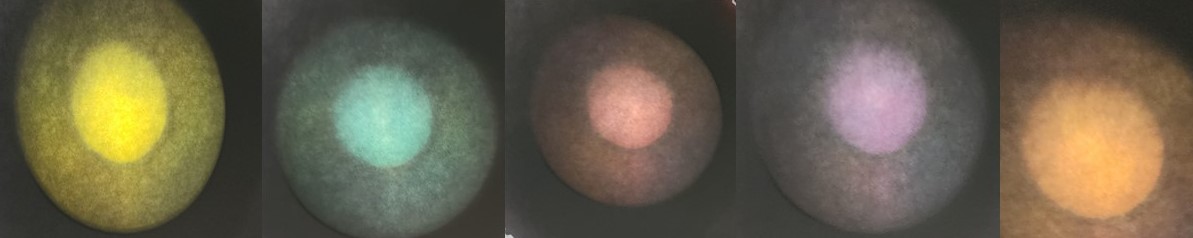
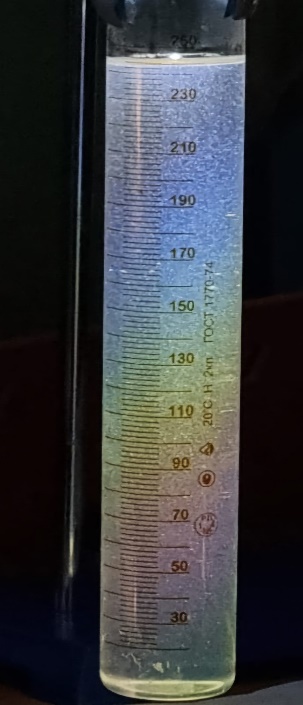
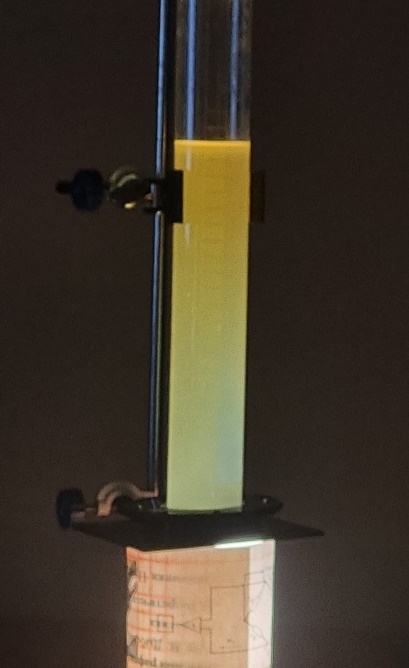


Рисунок13-14. Радужные круги

Рисунок 10-12. Установка для наблюдения радужных кругов



Рисуно15-16. Радужные спирали

1. **Результаты и обсуждение**
2. Для наблюдения явления поляризации необходимо 2 поляризационные плёнки.

Проходя через одну свет поляризуется. А вторая служит анализатором.

Свет — это электромагнитная волна, в которой колеблются векторы напряженности электрического поля и вектор магнитной индукции во взаимно перпендикулярных направлениях. Естественный свет- неполяризованный, векторы колеблются в разных направлениях. Проходя через плёнку- поляризатор, у вектора напряжённости колебания идут в одной плоскости. Если второй поляроид повернут параллельно первому, то свет через него проходит, если перпендикулярно, то свет не пройдёт и на экране будет тёмное пятно.

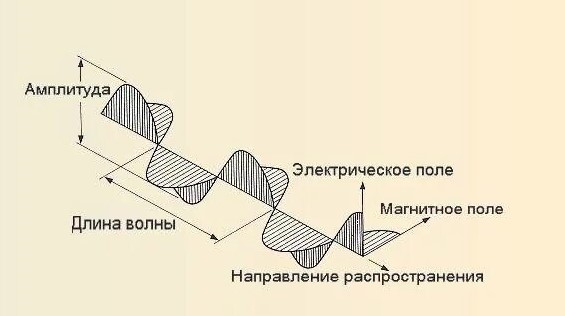


Рисунок 17. Свет — это поперечная волна

Явление поляризации доказывает, что свет — это поперечная электромагнитная волна.

1. Объясним появление радужных спиралей. Свет представляет собой набор

различных длин волн. Для различных длин волн скорость вращения плоскости поляризации раствором глюкозы – разная. Когда один свет поляризован в одной плоскости, свет другого спектра под другим углом. Сливки нужны для рассеивания света. Процесс рассеяния света можно описать следующим образом. Падающая электромагнитная волна возбуждает в среде колебания электрических диполей, ориентированных в плоскости поляризации волны. Колеблющийся диполь излучает волны преимущественно в направлении, перпендикулярном оси диполя (вдоль оси он вообще не излучает) и поляризованные преимущественно в плоскости, совпадающей с осью диполя.

1. При пропускании белого света через толщу раствора сахара на экране наблюдаем

цветные пятна радуги. Белый свет- составной. Состоит из электромагнитных волн разной частоты. При прохождении света через вещество эти волны по-разному преломляются и разделяются. Это явление дисперсии света. Через поляроид в каждый момент времени проходит определённая световая волна из спектра. Так как поворот плоскости поляризации для различных спектров разный.

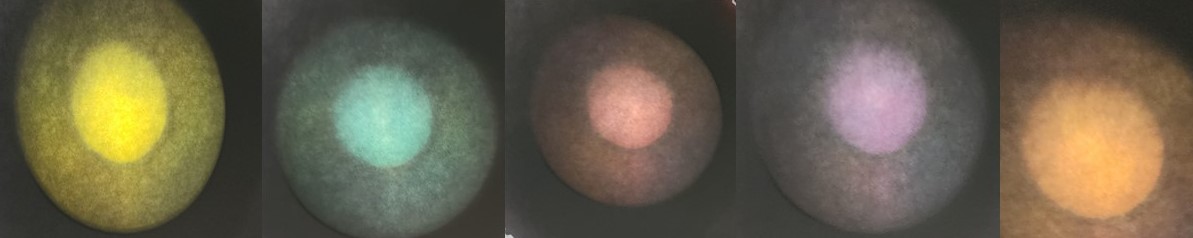
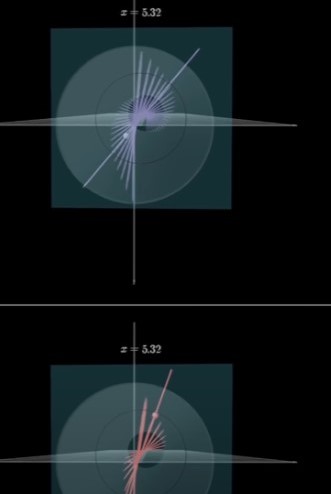
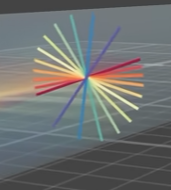


Рисунок 18. Наблюдение дисперсии





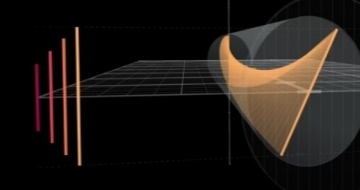


Рисунок 19-21. Пояснение поворота плоскости поляризации из видеоролика [4]

4.Таблица 1. Растворы разной концентрации

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Вещество | Масса  вещества, г | Объём воды,  см3 | Объём раствора,  см3 | Масса раствора, г | Плотность  г/см3 | Концентрация  % |
| 1 | сахар | 450 | 500 | 780 | 950 | 1,21 | 47,3 |
| 2 | сахар | 900 | 500 | 1070 | 1400 | 1,31 | 64,3 |
| 3 | сахар | 1600 | 500 | 1630 | 2100 | 1,41 | 76,2 |
| 4 | глюкоза | 400 | 400 |  | 800 |  | 47,2 |
| 5 | фруктоза | 400 | 400 |  | 800 |  | 47,2 |

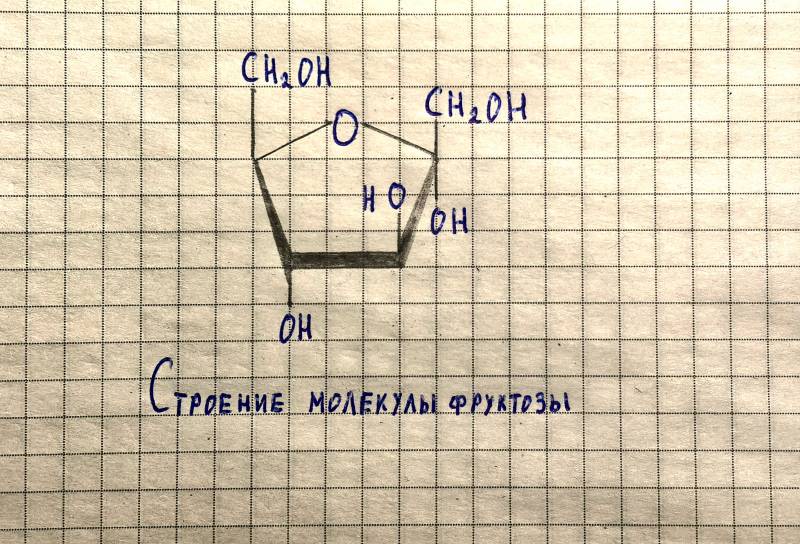
Были подготовлены растворы разной концентрации. Также для исследования взяли яблочный сок без сахара, сладкий газированный напиток и белое вино, сухое и сладкое.

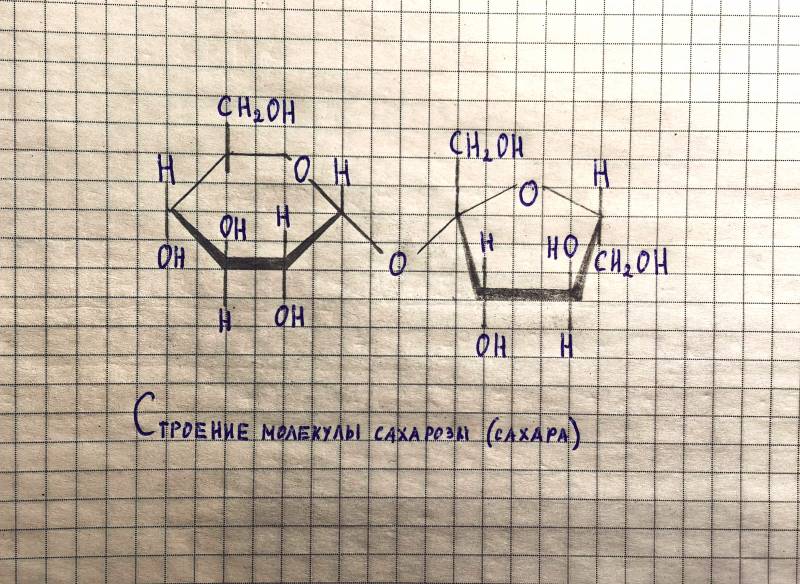
5.Таблица 2. Зависимость угла поворота плоскости поляризации для разных растворов.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Концентрация  сахара | Угол поворота  для зелёного спектра | Угол поворота  для красного спектра |
| 1 | Раствор сахара | 47 | 35 | 20 |
| 2 | Раствор сахара | 64 | 48 | 33 |
| 3 | Раствор сахара | 76 | 55 | 42 |
| 4 | Раствор глюкозы | 47 | 20 |  |
| 5 | Раствор фруктозы | 47 | - 50 |  |
| 6 | Яблочный сок | Сахара нет | - 5 |  |
| 7 | Газированная вода | 5 | 6 |  |
| 8 | Белое вино сладкое | 10 | 8 |  |
| 9 | Белое вино сухое | Сахара нет | 0 |  |

Сначала оси поляризатора и анализатора скрещены на угол 90° и не пропускают свет. Поместим между ними кювету с раствором сахара (глюкозы, фруктозы). Плоскость колебаний вышедшего луча будет повёрнута на некоторый угол. Свет частично пройдёт. Повернём анализатор на такой же угол и свет уменьшит яркость до темноты. Измерим угол поворота транспортиром. Раствор сахара разной концентрации поворачивает плоскость поляризации по-разному. Раствор сахара (фруктозы, глюкозы) с водой является оптически активным веществом в силу асимметричности молекул сахара (фруктозы, глюкозы). При пропускании света через такой раствор плоскость поляризации различных длин волн будет меняться. Показатель преломления при прохождении через среду для луча в зелёном спектре больше, чем для луча в красном спектре. Углы поляризации также получились больше для зелёного спектра, чем для красного.

Сахар и глюкоза поворачивают плоскость поляризации по часовой стрелке. Фруктоза – против часовой стрелки. Это можно объяснить разной хиральностью молекул.





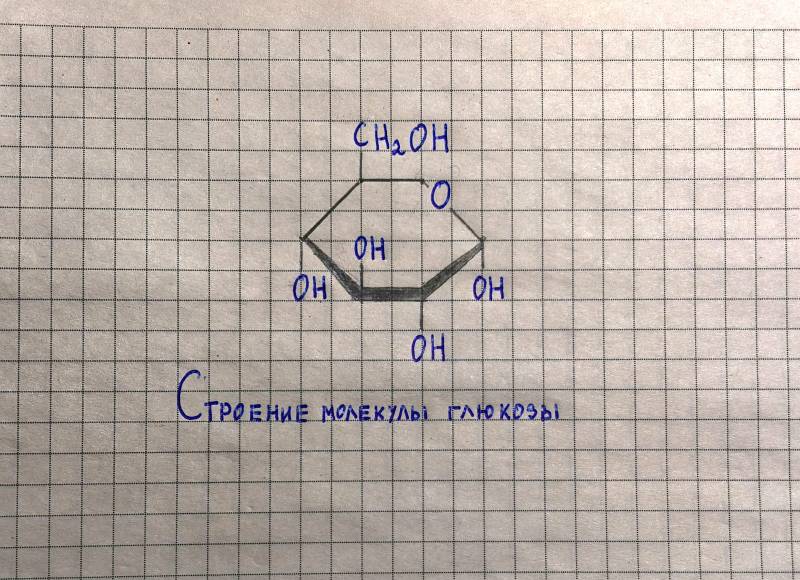


Рисунок 22-24. Хиральность молекул

1. График 1. Сравнение зависимости угла поворота плоскости поляризации от концентрации раствора сахара для красного и зелёного спектра

Точки графика лежат практически на одной прямой. Зависимость угла поворота плоскости поляризации от концентрации раствора – линейная. График прямой пропорциональности. Чем больше концентрация раствора, тем больше угол поляризации. Чем больше длина волны света (у красного света больше длина волны, чем у зелёного), тем меньше угол поворота плоскости поляризации.

Данные эксперимента подтверждают расчётные формулы. Для оптически активных растворов φ=αсd, угол поворота поляризации прямо пропорционален концентрации раствора. В формуле: d – толщина оптического слоя, пройденного светом, с- концентрация раствора в кг/м3, α – удельное вращение (зависит от длины волны света, температуры), φ – угол поворота плоскости поляризации.

1. Когда взяли раствор яблочного сока с “пометкой без сахара”, угол поляризации оказался отрицательным. То есть в данном яблочном соке содержатся, действительно, только натуральные сахара – фруктоза.
2. При исследовании газированной воды нашли угол поворота плоскости поляризации и по графику определили концентрацию сахара. Она оказалась 6%, что соответствует этикетке. На этикетке указано содержание углеводов 4,6 г на 100 мл. То есть 46 мг на 1 мл. Это соответствует концентрации сахара 4,3 %.

4. При исследовании белого сладкого вина нашли угол поворота плоскости поляризации и по графику определили концентрацию сахара. Угол поляризации 8°. Концентрация оказалась 6 %. На этикетке содержание сахара 34- 40 г на 500 мл, следовательно концентрация – 6- 7%. Для белого сухого плоскость поляризации не повернулась. Действительно, сахара там нет.

График 2. Определение концентрации сахара в белом сладком вине

1. **Выводы**

Наша гипотеза верна. На основе данных эксперимента можно сделать вывод о том, что собранная установка позволяет определить концентрацию сахара, глюкозы и фруктозы в растворе используя зависимость поворота оси вращения плоскости поляризации в зависимости от концентрации сахара в растворе.

Установка даёт очень хорошие значения для концентраций сахара. Угол поворота плоскости поляризации прямо пропорционален концентрации раствора. В яблочном соке (на этикетке без сахара) содержится фруктоза, поэтому угол отклонения был отрицательным, что соответствовало экспериментальным данным. В газированной воде содержится сахар. В белом сладком вине содержится сахар. В белом сухом вине сахара нет. Гипотеза подтвердилась. На нашей установке можно измерять концентрацию сахара в газированных напитках и вине.

**5. Заключение**

На основе наблюдений была выполнена установка для измерения концентрации сахара в растворах. Для промышленных целей улучшение устройства мы видим в том, чтобы сделать установку по размерам больше. Для расчёта концентрации сахара нужно выполнить измерения известных концентраций для данной толщины слоя и определённой длины волны, построить график, найти тангенс угла наклона, составить функцию прямой пропорциональности.

**6. Список литературы**

1. Поляризация волн // Википедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Поляризация\_волн.
2. Матвеев А.Н. // Оптика. - M.: Высшая школа, 1985. URL: https://djvu.online/file/7xnYLsFS9jAhI
3. С.П. Еркович, С.А. Воробьёв, А.Ф. Наумов. // Изучение явлений поляризации света. URL: http://fn.bmstu.ru/images/FN4/labs/o/o22\_3sem\_lab\_phys.pdf