

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ МОНО- И ДИСАХАРИДОВ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Д. И. Штырёв¹⁾, Д. А. Наркевич²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, fiz.shtyrev@bsu.by

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
2203030, Беларусь, fiz.shtyrev@bsu.by

Научный руководитель — С. А. Загорская, кандидат физико-математических наук

Методами поляриметрии исследованы особенности превращений в водном растворе сахарозы в ходе ее гидролиза. Показано, что оптическая активность раствора сахарозы не получается простым суммированием оптических активностей входящих в ее состав моносахаридов, в отличие от растворов чистых веществ. Физические модели для описания оптической активности веществ сложны.

Ключевые слова: растворы моно- и дисахаридов; вращение плоскости поляризации; аддитивность оптической активности; гидролиз сахарозы.

Среди разнообразных явлений, возникающих при взаимодействии света и вещества, важное место занимает вращение плоскости поляризации. Это явление наблюдается у многих веществ, получивших название естественно оптически активных [1]. Особенно много оптически активных веществ среди органических соединений. Сахароза (в быту известная как белый сахар) — дисахарид, состоящий из остатков двух моносахаридов: α -D-глюкозы и β -D-фруктозы (рис. 1). Сахароза, глюкоза и фруктоза в чистом виде относятся к оптически активным веществам [2].

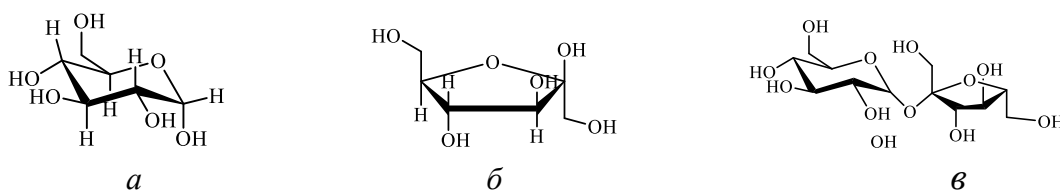


Рис. 1. Исследуемые вещества:

a — глюкоза; *б* — фруктоза; *в* — сахароза

Каркас всех органических молекул составляют атомы углерода. Если у одного атома углерода имеется 4 разных заместителя, связанных одинарными связями, то такой атом называют асимметрическим, и он ответствен за наличие оптической активности у органической молекулы. Молекулы исследуемых веществ содержат несколько асимметрических атомов, поэтому можно ожидать различной оптической активности у упомянутых

углеводов, ввиду разного количества таких атомов и их пространственного расположения.

В работе оценивался угол поворота плоскости поляризации после прохождения через водные растворы сахарозы, глюкозы и фруктозы одинаковой молярной концентрации (0,8 моль/дм³). Одинаковая молярная концентрация позволяет считать, что в равных объемах раствора содержится одинаковое число молекул растворенных веществ. Средние значения углов поворота приведены в таблице. Положительный или отрицательный угол поворота говорит о том, что плоскость поляризации света, после прохождения через раствор, поворачивается в разные стороны.

Измерение углов вращения плоскости поляризации исследуемыми веществами

Вещество	Химическая формула	Угол поворота плоскости поляризации
Глюкоза	$C_6H_{12}O_6$	+11,54°
Фруктоза	$C_6H_{12}O_6$	-26,46°
Сахароза	$C_{12}H_{22}O_{11}$	+25,14°

Как можно увидеть, растворы глюкозы и сахарозы являются правовращающими (знак «+»), а раствор фруктозы левовращающим («-»). Более того, видно, что фруктоза с точки зрения оптической активности сильнее глюкозы, так как при одинаковом числе молекул в растворе, фруктоза поворачивает плоскость поляризации на больший угол по модулю. Поэтому, если бы сила оптической активности сахарозы складывалась из оптических активностей ее составных частей: остатков фруктозы и сахарозы, то угол поворота плоскости поляризации ее раствором был бы отрицательным. Но он больше нуля. Мы поставили перед собой вопрос: если не выполняется аддитивность для связанных остатков, что может обуславливаться наличием химических связей и внутренних взаимодействий, будет ли она выполняться для отдельных молекул?

Для этого провели гидролиз сахарозы, то есть разорвали связь, удерживающую два остатка, при котором освобождаются их полноценные аналоги (рис. 2). Реакция была проведена с использованием каталитических количеств серной кислоты и повышенной температуры для ускорения процесса [2].

Если измерить значения угла поворота плоскости поляризации раствором в ходе реакции с течением времени и построить такую зависимость (рис.3), то можно заметить, что положительное значение угла поворота плоскости поляризации постепенно уменьшается и становится отрицательным. Поэтому гидролиз сахарозы называют инверсией и результат гидролиза носит название «инвертный сахар» [2]. То есть, когда в растворе сахарозы появились молекулы фруктозы и глюкозы в чистом виде, и каждая из них начала вращать плоскость в характерную для нее сторону – появилась

аддитивность явления. По мере протекания гидролиза концентрация сахарозы снижается, а глюкозы и фруктозы растёт, поэтому угол вращения уменьшается, падает до нуля, а затем становится отрицательным в силу того, что фруктоза является самой оптически активной из этой тройки. То есть для смеси оптически активных веществ угол вращения равен алгебраической сумме углов вращения для каждого оптически активного вещества.

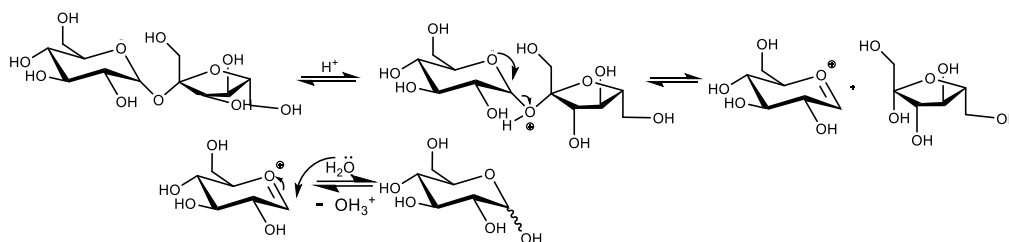


Рис. 2. Реакция гидролиза сахарозы [2]

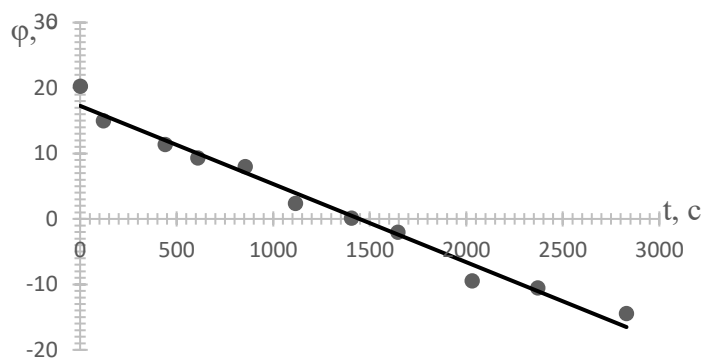


Рис. 3. Зависимость угла поворота плоскости поляризации от времени протекания реакции гидролиза раствора сахарозы

По графику данной зависимости можно найти значение «оптической неактивности», когда угол равен нулю, то есть узнать какое соотношение концентраций веществ нужно, чтобы раствор был оптически неактивен.

Также можно найти скорость протекания реакции, скорость убывания одной концентрации и возрастания другой, то есть оценить кинетику процесса гидролиза.

Описать такое поведение количественно сложно. Существует огромное количество моделей и теорий описания оптической активности, но строгие предполагают большие математические выкладки либо использование квантовых представлений [3 – 6]. Для качественной и наглядной интерпретации явления наиболее популярными являются теория Френеля, модель Борна и модель Куна. В теории Френеля вращение плоскости поляризации объясняется разными скоростями распространения в оптически активных веществах для левого и правого циркулярно поляризованного

света, однако не объясняется, почему эти скорости различны. В модели Борна молекула рассматривается как кусочек спирали с возможными лево- и правовращающими модификациями. И появление различных скоростей смещения электронов вдоль перпендикулярной оси Y объясняется их движением по спирали в разные стороны при взаимодействии с волной, линейно-поляризованной вдоль оси X [3]. В модели Куна рассматривается работа, производимая полем световой волны при взаимодействии с веществом, молекула которого представляет собой два связанных гармонических осциллятора (электрона), находящихся на конечном расстоянии друг от друга. Направления возможного движения электронов взаимно перпендикулярны и модель в целом асимметрична. При действии на систему светом с различной круговой поляризацией, распределение направлений электрического вектора волны, выразится правовинтовой или левовинтовой спиралью, для которых работа поля световой волны различна [6].

Анализируя оптическую активность раствора меда, представляющего смесь сахаров, можно исследовать его качество. При сравнении образцов, приготовленных из натурального меда и из купленного в магазине, первый оказался оптически неактивным, а второй вращал плоскость поляризации ($\approx 3^\circ$), в сторону преобладания в нём сахарозы.

Проведенное исследование показало, что оптическая активность веществ представляет собой сложное явление. Она зависит как от химической структуры молекулы, так и от физических моделей рассмотрения, может меняться при различных условиях проведения эксперимента, дополнительных реакций, а может и вовсе оказаться в некоторых случаях сложной для обоснования.

Библиографические ссылки

- 1 Маскевич, А. А. Оптика / А. А. Маскевич. Гродно: ГрГУ, 2010. С. 376–379, 394–400
2. Кочетков, Н. К. Химия природных соединений: углеводы, нуклеотиды, стероиды, белки. - Академия наук СССР, Инст. химии прир. соедин. Москва: Изд. Акад. Наук СССР, 1961. 560 с.
3. Калитеевский, Н. Волновая оптика. – Рипол Классик, 1978.
4. Ландсберг, Г. С. Оптика / Г. С. Ландсберг. – М.: Высшая школа, 2006.
5. Сивухин, Д. В. Курс общей физики: учеб. пособие: в 4 т. / Д. В. Сивухин., – М.: Физматлит, 2019. – Т. 3. – С. 572–592.
6. Волькенштейн, М. В. Молекулярная оптика. – М.: Гостехиздат, 1951.