

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации

Кафедра физики с курсом
высшей математики

Кистенев Ю. В., Сандыкова Е. А., Кузьмин Д. А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕЩЕСТВ В ОКРАШЕННЫХ РАСТВОРАХ КОЛОРИМЕТРОМ

Методическое пособие к лабораторной работе
для студентов врачебных факультетов

Томск
Издательство СибГМУ
2017

УДК 535.6.08(075.8)

ББК 22.343.9я73

К 448

Авторы:

Кистенев Ю. В., Сандыкова Е. А., Кузьмин Д. А.

К 448 Кистенев Ю. В. Определение концентрации веществ в окрашенных растворах колориметром: методическое пособие к лабораторной работе / Ю. В. Кистенев, Е. А. Сандыкова, Д. А. Кузьмин. – Томск: Изд-во СибГМУ, 2017. – 11 с.

В данной лабораторной работе изучается явление поглощения света веществами. При помощи метода уравнивания по интенсивности прошедшего через раствор света определяется концентрация вещества в исследуемом растворе.

Методическое пособие предназначено для студентов врачебных факультетов.

УДК 535.6.08(075.8)

ББК 22.343.9я73

© Кистенев Ю. В., Сандыкова Е. А., Кузьмин Д. А., 2017

© Издательство СибГМУ, 2017

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕЩЕСТВ В ОКРАШЕННЫХ РАСТВОРАХ КОЛОРИМЕТРОМ

- ЦЕЛЬ РАБОТЫ:
1. Изучить принцип действия и устройство концентрационного колориметра.
 2. Освоить метод сравнения интенсивности окраски для определения концентрации вещества в растворе.

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ: колориметр клиновидный, эталонный и исследуемые растворы.

Взаимодействие излучения оптического диапазона (света) с окрашенными растворами, приводит к поглощению светового потока и уменьшению его энергии. Основным механизмом взаимодействия является взаимодействие кванта света, называемого фотоном, с электронами внешних оболочек молекул вещества. Переменный вектор напряженности электрического поля фотона вызывает у внешних электронов молекул, ионов вещества вынужденные колебания. Заметим, что у разных атомов для внешних электронов различная резонансная частота. Колеблющийся электрон является источником вторичного излучения определенной длины и, являясь связанным в системе молекулы, иона, часть энергии переводит во внутреннюю энергию молекулы, иона. Установим закон поглощения света веществом. Для этого введем количественную характеристику – плотность потока световой энергии или интенсивность световой волны I . Интенсивность световой волны определяется как количество энергии, переносимое за одну секунду через площадь 1 м^2 , расположенную перпендикулярно световому лучу.

$$I = \frac{E}{S \Delta t} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2\text{с}}$$

В качестве модели возьмем объем вещества длиной d . Выделим элементарный участок слоя вещества толщиной dx (рис.1.А). Изменение интенсивности проходящего света зависит от концентрации поглощающих центров и их эффективного сечения поглощения k (рис. 1Б)

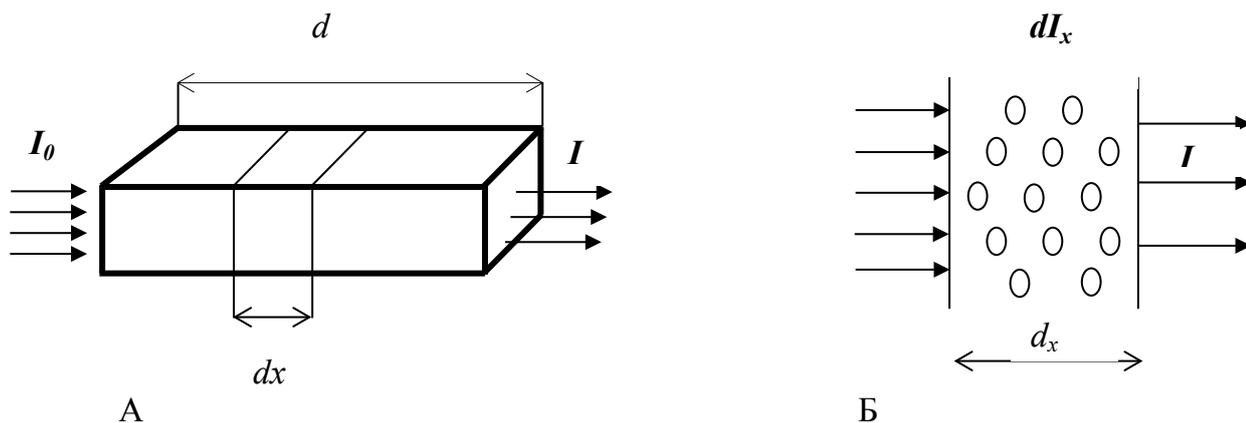


Рис. 1. Изменение интенсивности света, проходящего через вещество

Убывание интенсивности dI_x волны вследствие поглощения света этим слоем пропорционально интенсивности падающего на слой света I_x и толщине слоя dx :

$$dI_x = -kI(x)dx \quad (1)$$

где знак минус говорит о том, что интенсивность света уменьшается.

Уравнение (1) – дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными. Перенесем в уравнении (1) $I(x)$ в левую часть и проинтегрируем

$$\int_{I_0}^I \frac{dI_x}{I_x} = -k \int_0^d dx \quad (2)$$

полученное выражение, учитывая, что x изменяется от 0 до d , а $I(x)$ от I_0 до I :

получим
$$\ln I - \ln I_0 = -kd \quad (3)$$

Откуда потенцируя имеем

$$I = I_0 e^{-kd} \quad (4)$$

где I – световой поток, прошедший через слой вещества толщиной d ;
 I_0 – падающий световой поток;
 k – коэффициент поглощения.

Графическая зависимость интенсивности от толщины поглощающего слоя представлена на рисунке 2.

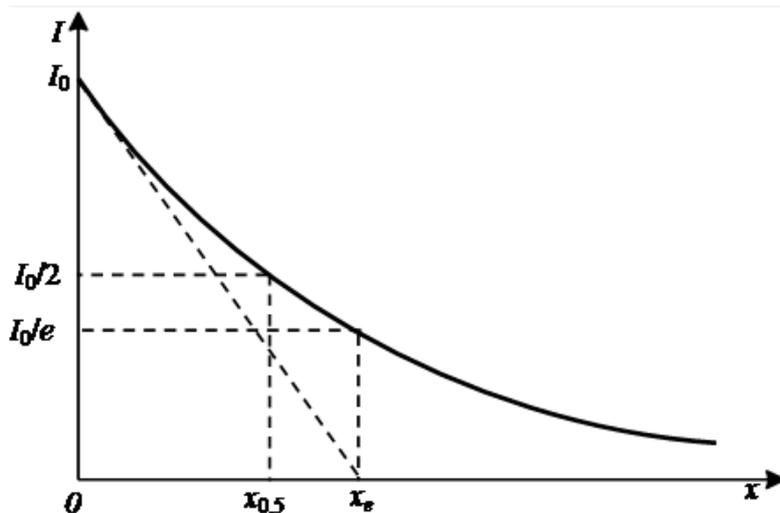


Рис. 2. Зависимость интенсивности света от толщины поглощающего слоя
 Если коэффициент поглощения равен 1, и толщина поглощающего слоя равна 1м, то интенсивность света уменьшится в e раз.

$$\left(\frac{I_0}{I} = e^{kd} = e^{1 \cdot 1}\right) \approx 2,73$$

Выражение (4) называется законом **Бугера–Ламберта**. Этот закон выполняется до тех пор, пока сохраняется независимость коэффициента поглощения от светового потока. Если вместо k ввести величину $\chi(\text{хи})$ – показатель поглощения света на единицу концентрации поглощающего вещества, то уравнение примет вид:

$$I = I_0 e^{-\chi cd} \quad (5)$$

где c – концентрация вещества.

В таком виде формула называется законом **Бугера–Ламберта–Бера**. Закон Бугера–Ламберта–Бера используется в колориметрическом анализе (color – цвет, meter – метрия), который позволяет по интенсивности окраски раствора судить об их концентрации.

Основным методом в колориметрическом анализе является метод уравнивания интенсивности окраски света, прошедшего через образцы, изготовленные из одного и того же материала, но разной толщины d_1 и d_2 . В нашем случае имеем два раствора одного и того же вещества CuSO_4 (медный купорос), но разной концентрации C_1 – эталонного и C_2 – неизвестного. Тогда можно записать:

$$I_1 = I_0 e^{-\chi c_1 d_1}$$

$$I_2 = I_0 e^{-\chi c_2 d_2}$$

Изменяя толщину поглощающего слоя d можно добиться равенства интенсивности пучков света: прошедших через растворы, т.е. полагая $I_1=I_2$, тогда очевидно

$$c_1d_1 = c_x d_2 \qquad c_x = \frac{c_1 d_1}{d_2} \qquad (6)$$

Этот метод позволяет исключить погрешности измерения, связанные с отражением и рассеянием света на границах раздела фаз.

ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА, ПРИНЦИП РАБОТЫ И ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Рассеянный свет через матовое стекло 1, используемое для равномерного освещения жидкости, попадает на кювету 2 с исследуемым раствором и клиновидную кювету 3 с эталонным раствором. Пучки света, прошедшие через растворы вещества с помощью призм 4 направляются в окуляр 5, где цвет одной половины поля будет соответствовать одному раствору, а другая половина другому. Общий вид клинового колориметра представлен на рис. 3. Внутри корпуса 1 имеется две направляющих. В одной из них находится подвижная каретка для клина с зубчатой рейкой и шкалой. Перемещение каретки вдоль корпуса осуществляется маховичком 5. Стеклокювета с испытуемой жидкостью помещается в другой направляющей. Вращая маховичок 5, (поднимая или опуская клин) добиваемся одинаковой окраски поля зрения в окуляре, снимаем показания шкалы 4.

Для определения концентрации вещества предварительно проводят подготовку к работе. выполняя калибровку клина.

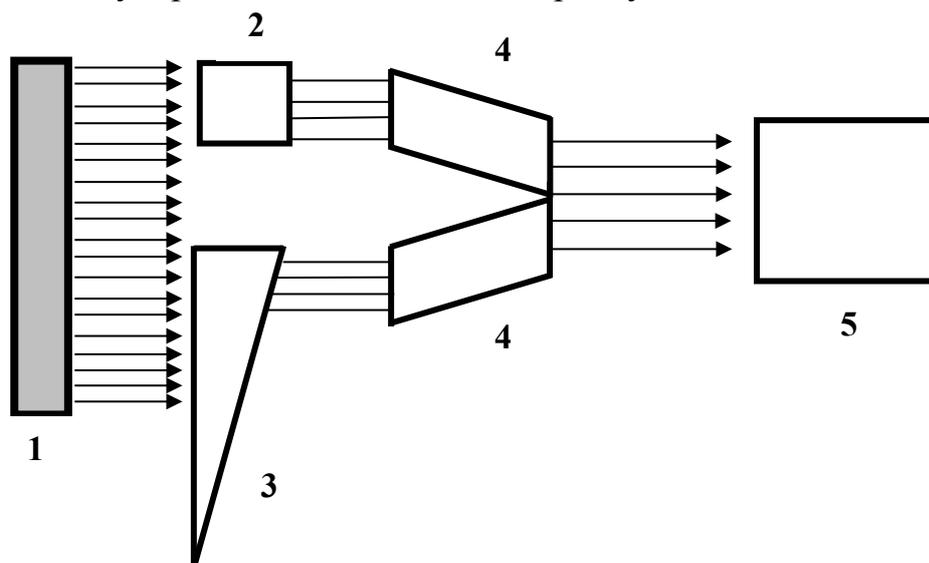


Рис. 3. Оптическая схема клинового колориметра:
1 – матовое стекло; 2,3 – кюветы; 4 – поворотные линзы; 5 – окуляр

ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

Для построения калибровочного графика готовят серию растворов (не менее трех растворов) с определенным количеством исследуемого вещества. Клины заполняют раствором, подходящим по окраске и тону к приготовленным растворам.

Каждый из приготовленных растворов вливают в стеклянную кювету, которую помещают в каретку и устанавливают в направляющую внутри корпуса. Клины вставляют в подвижную каретку, расположив его скошенной стороной к рассеивающему фильтру.

Прибор устанавливают на подставке на уровне глаза. Перемещением окуляра добиваются резкого изображения линии раздела поля зрения. Передвигая с помощью маховичка каретку с клином, уравнивают яркости обеих половин поля зрения. Для каждого раствора уравнивание полей производится несколько раз. За показание шкалы берется среднее арифметическое полученных измерений.

На листе миллиметровой бумаги чертят систему координат. По оси абсцисс наносят содержание исследуемого вещества в приготовленных растворах, а по оси ординат – показания шкалы колориметра. Находят точку пересечения линий, восстановленной от данного содержания вещества, и линии, проведенной горизонтально от соответствующего показания колориметра. Это повторяют для всех растворов (содержащих, например, 180, 140, 100 и 50 мг исследуемого вещества). Через полученные точки проводят прямую.

Если растворы точно приготовлены и цвет жидкостей в клине подобран правильно, то все точки окажутся лежащими на этой прямой.

Для определения содержания вещества в исследуемом растворе предварительно откалиброванный клин вставляют в подвижную каретку, исследуемый раствор наливают в стеклянную кювету.

Перемещая каретку с клином, уравнивают яркость обеих половин поля зрения, снимают отсчет по шкале колориметра и по калибровочной кривой находят количество данного вещества в исследуемом растворе.

ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА, ПРИНЦИП РАБОТЫ И ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОСТОГО КОЛОРИМЕТРА

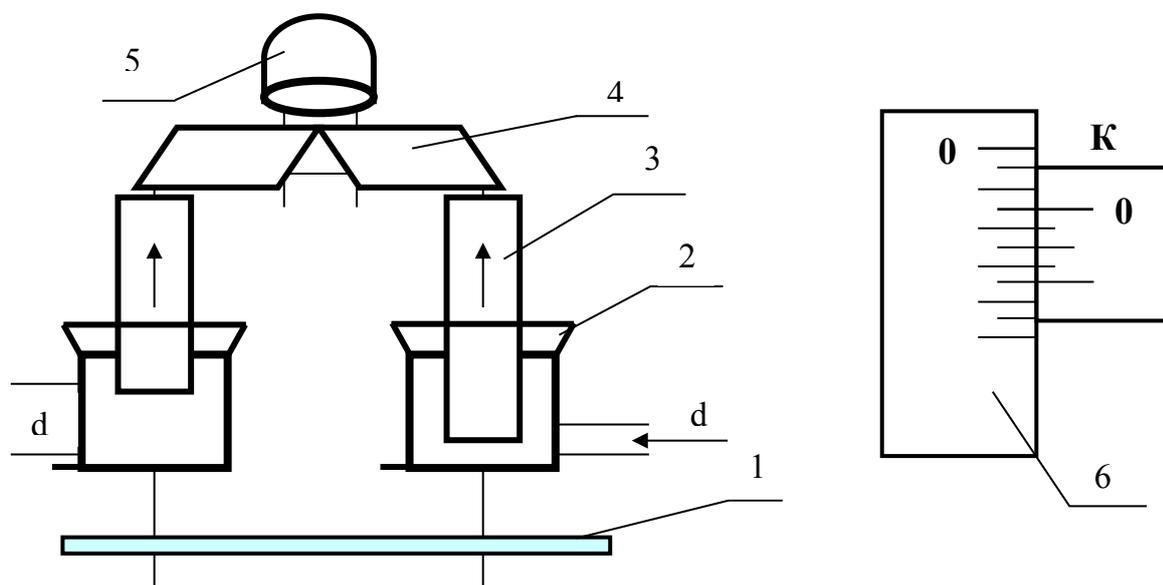


Рис. 4. Оптическая схема простого колориметра:

- 1 – матовый отражатель
- 2 – цилиндрические стеклянные кюветы
- 3 – светопроводы (стеклянные цилиндры)
- 4 – призма
- 5 – зрительная трубка
- 6 – шкала колориметра

Свет от источника света падает на матовый отражатель (1), отразившись от которого, направляется на расположенные рядом кюветы (2). В одну из кювет наливают эталонный раствор с концентрацией C , в другую – исследуемый с концентрацией C_x . Кюветы расположены на стойках и могут перемещаться в вертикальном направлении. Толщина поглощаемого слоя раствора может меняться при помощи погружения в раствор стеклянных цилиндров – светопроводов (3). Свет от отражателя, пройдя через прозрачное дно кюветы, раствор и светопровод, попадает в призму (4). Призма сводит пучки света, прошедшие через оба раствора, в зрительную трубку (5), в окуляре которой одна половина зрения будет соответствовать одному раствору, другая – другому. Толщина слоя раствора в кювете определяется по шкале (6) колориметра с точностью до 0,1 мм.

ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. В отсутствии кювет с растворами направляют пучок света от источника на отражатель и добиваются одинаковой освещенности поля зрения зрительной трубы.
2. Наливают в кюветы растворы с концентрацией эталонного ($C\%$) и C_x неизвестного растворов. Растворы наливают до половины расширенной части кювета.
3. Помещают кюветы с растворами на стойки так, чтобы светопроводы были погружены в растворы.
4. Добиваются одинаковой освещенности поля зрения зрительной трубы следующим образом:
 - Установив кювету с эталонным раствором на левой стойке, отсчитывают по шкале толщину d , которую в течение всех опытов не меняют.
 - Уравнивание поля зрения производят путем перемещения кюветы с неизвестным раствором. При этом следят, чтобы светопровод все время находился в растворе. По шкале отсчитывают d_x .
5. Толщины d и d_x отсчитывают с точностью до 0,1 мм, (с помощью нониуса, прилегающего к шкале колориметра).
6. Разбалансирав поле зрения, опыт повторяют 5–10 раз. Результаты заносят в таблицу.
7. Концентрация эталонного раствора задается преподавателем. Толщина d мм устанавливается произвольно.

ЗАДАНИЕ

1. Откалибровать клиновый колориметр по трем известным эталонным растворам.
2. Провести измерения концентрации неизвестного раствора не менее 3 раз с предварительной разбалансировкой интенсивности света в поле зрения.
3. Определить среднее значение и ошибку показаний прибора.
4. Определить по графику среднее значение концентрации раствора и ошибку среднего значения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение интенсивности света.
2. Сформулируйте закон П. Бугера.
3. Выведите закон Бугера–Ламберта.
4. Постройте график зависимости интенсивности света, прошедшего через раствор от толщины раствора.
5. Объясните физический смысл коэффициента поглощения.
6. Запишите закон Бугера–Ламберта–Бера. Поясните величины, входящие в формулу.
7. От чего зависят молекулярный коэффициент поглощения?
8. Какими методами пользуются при экспериментальном определении концентрации раствора? В чем его суть?
9. Что значит знак минус в формуле $I=I_0 e^{-\chi cd}$
10. Сделайте вывод экспериментальной формулы для определения концентрации неизвестного раствора методом сравнения интенсивности окраски.
11. Начертите оптическую часть колориметра.

Учебное издание

Ю. В. Кистенев, Е. А. Сандыкова, Д. А. Кузьмин

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЕЩЕСТВ
В ОКРАШЕННЫХ РАСТВОРАХ КОЛОРИМЕТРОМ**

Методическое пособие к лабораторной работе
для студентов врачебных факультетов

Издательство СибГМУ
634050, г. Томск, пр. Ленина, 107
тел. 8(3822) 51-41-53
E-mail: otd.redaktor@ssmu.ru

Издано в электронном виде