

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть.....	4
3. Экспериментальная часть.....	8
3.1. Описание установки.....	8
3.2. Порядок выполнения работы.....	10
3.3. Требования по технике безопасности.....	13
3.4. Требования к отчету.....	13
4. Контрольные вопросы.....	13
Список литературы.....	13

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 68

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА ВЕЩЕСТВОМ

1. Цель работы

1.1. Исследование зависимости оптической плотности и коэффициента пропускания растворов от толщины поглощающего слоя, концентрации растворов, длины волны поглощаемого света.

1.2. Определение коэффициентов поглощения исследуемых растворов в зависимости от длины волны поглощаемого света.

2. Теоретическая часть

Поглощением (абсорбцией) света называется явление ослабления энергии световой волны, проходящей через вещество, вследствие преобразования её в различные формы энергии (чаще всего в тепловую).

Явление поглощения света веществом можно объяснить как с точки зрения волновых представлений, так и с точки зрения квантовых представлений.

Согласно волновой теории электрическое поле падающей на вещество электромагнитной световой волны вызывает вынужденные колебания электронов в атомах и молекулах. Вещество можно представить как набор осцилляторов с различными собственными частотами и коэффициентами затухания колебаний. В случае идеальной однородной среды электроны атомов и молекул, совершающие вынужденные колебания, излучают вторичные электромагнитные волны той же частоты, что и частота колебаний в падающей волне, интерферируют с ней и изменяют ее скорость распространения ($v = \frac{c}{n}$), но при этом полностью возвращают всю поглощенную долю энергии падающей волне. В реальных средах не вся энергия колеблющихся электронов испускается обратно с электромагнитными волнами, часть её переходит в другие формы энергии, в основном – тепловую. При приближении частоты падающей световой волны к частотам собственных колебаний электронов в атомах и молекулах амплитуда вынужденных колебаний возрастает, и энергия колебаний электронов внутри атомов и молекул

может перейти в энергию внешних хаотических движений атомов и молекул в целом. При совпадении частот колебаний в падающей волне и собственных колебаний электронов вещества наступает резонанс колебаний, и свет максимально поглощается веществом.

С точки зрения квантовых представлений удастся вычислить собственные частоты колебаний атомов и молекул на основе спектров поглощения. При переходе электронов в атоме с низкого энергетического уровня (E_n) на более высокий (E_{n+1}), происходит поглощение кванта энергии $h\nu = E_{n+1} - E_n$. При обратном переходе атом испускает этот квант. Поскольку n – квантовое число, определяющее энергию электрона в атоме, принимает значение от 1 до ∞ , то даже один электрон может изучать (и поглощать) целый спектр частот.

Если на вещество, состоящее из невзаимодействующих между собой молекул, падает длинноволновое излучение ($\lambda = 0,1 - 1$ мм) с малыми по величине квантами, то их поглощение приводит к изменению вращательной энергии молекулы. Кванты энергии этих волн находятся в далекой инфракрасной области и могут перевести молекулу с одного вращательного энергетического уровня на другой, более высокий, т.е. привести к возникновению спектральных линий вращательного спектра поглощения. Поглощение света в инфракрасной области с длиной волны 1 мкм – 10 мкм вызывает переходы между колебательными энергетическими уровнями в молекуле и приводит к возникновению колебательного спектра молекулы. Однако при изменении колебательных энергетических уровней одновременно изменяется и ее вращательные энергетические состояния. Поэтому переходы между двумя колебательными уровнями сопровождаются изменением и вращательных энергетических состояний, так что возникает колебательно-вращательный спектр. В видимой и ультрафиолетовой областях спектра энергии квантов достаточно для осуществления переходов между различными электронными энергетическими уровнями. Каждому такому уровню соответствует определенное пространственное распределение электронов, принадлежащих атомам, составляющим молекулы, т.е. определенная конфигурация электронов, обладающая некоторой дискретной энергией. Каждому электронному энергетическому уровню молекулы соответствуют различные колебания ядер в молекуле, т.е. набор колебательных

энергетических уровней. Переходы между такими электронно – колебательными уровнями приводят к возникновению электронно – колебательного спектра молекулы. На каждое колебательное энергетическое состояние накладывается, кроме того, система вращательных уровней.

Поглощение света в веществе описывается законом Бугера - Ламберта:

$$I = I_0 e^{-\alpha l}, \quad (2.1)$$

где I_0 и I – соответственно интенсивности монохроматической световой волны падающей и прошедшей через поглощающий слой, l – толщина поглощающего слоя; α – коэффициент поглощения, зависящий от длины волны света, химической природы и состояния вещества.

Физический смысл коэффициента поглощения заключается в том, что он равен обратной величине толщины такого слоя, при котором интенсивность света I по сравнению с I_0 уменьшается в e раз. Коэффициент поглощения зависит от длины волны λ (или от частоты ν) световой волны и различен для различных веществ. Так одноатомные газы и пары металлов (в которых атомы расположены на значительных расстояниях друг от друга и их можно считать изолированными) обладают близкими к нулю коэффициентами поглощения в широком спектральном диапазоне и лишь в очень узких спектральных областях ($10^{-12} - 10^{-11}$ м) наблюдаются резкие максимумы (линейчатый спектры поглощения). Коэффициенты поглощения для диэлектриков и большинства жидкостей невелики ($10^{-3} - 10^{-5}$ см $^{-1}$), однако они обладают селективным поглощением света в определённых интервалах длин волн, в которых величина α резко возрастает, и наблюдаются сравнительно широкие полосы поглощения ($10^{-7} - 10^{-6}$ м). Коэффициенты поглощения для металлов имеют большие значения ($10^3 - 10^4$ см $^{-1}$), поэтому металлы практически не прозрачны для света. В металлах, из-за наличия свободных электронов, движущихся под действием поля световой волны, возникают быстропеременные токи, сопровождающиеся выделением джоулевой теплоты. Чем выше проводимость металла, тем сильнее в нём поглощение света.

На рис. 2.1. показана типичная зависимость коэффициента поглощения α от частоты падающего света ν в области полосы

поглощения и зависимость показателя преломления n от ν в области полосы поглощения.

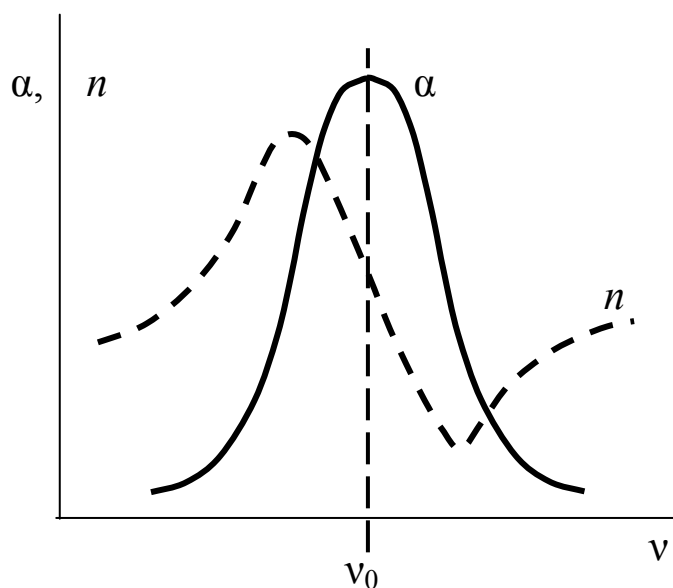


Рис. 2.1

Из рисунка видно, что внутри полосы поглощения наблюдается аномальная дисперсия (n убывает с увеличением ν), т.е. вещество максимально поглощает те частоты падающего света, которые совпадают с частотами собственных колебаний электронов вещества.

На явлении поглощения света основан абсорбционный спектральный анализ. Структура спектров поглощения определяется составом и строением молекул, поэтому изучение их спектров поглощения является одним из основных методов количественного и качественного исследования веществ.

Если поглощающее вещество растворено в прозрачном растворителе, то интенсивность поглощённого света будет определяться количеством молекул поглощающего вещества, приходящихся на единицу светового луча в веществе, т.е. концентрацией раствора. Коэффициент поглощения α становится функцией концентрации:

$$\alpha = \mathcal{E} \cdot c, \quad (2.2)$$

где \mathcal{E} – новый коэффициент поглощения, рассчитанный на единицу концентрации – коэффициент экстинкции; c – концентрация растворённого вещества.

Подставляя в (2.1) получим

$$I = I_0 e^{-\varepsilon c l} . \quad (2.3)$$

Выражение (2.3) носит название закона Бугера-Ламберта-Бера (в интегральной форме).

В дифференциальной форме этот закон имеет вид:

$$\frac{dI}{I} = \varepsilon C dl. \quad (2.4)$$

Отношение интенсивностей световых потоков, прошедшего (I) и падающего (I_0) на поглощающее вещество, называется коэффициентом пропускания раствора:

$$T = \frac{I}{I_0} . \quad (2.5)$$

Обратный логарифм коэффициента пропускания называется оптической плотностью раствора:

$$D = -\ln T = \ln \frac{I}{I_0} = \varepsilon c l . \quad (2.6)$$

Зависимости D от c или D от l носят линейный характер при малых концентрациях растворенного вещества. Отклонения от линейности может быть обусловлены межмолекулярным взаимодействием. Если концентрация вещества выражается в единицах моль/л, то ε называется молярным коэффициентом поглощения.

Приборы, предназначенные для определения коэффициентов поглощения или пропускания вещества в зависимости от длины световой волны, толщины поглощающего слоя и т.д., носят название фотометров, спектрофотометров или колориметров.

3. Экспериментальная часть

3.1. Описание установки

В данной работе используется концентрационный фотоэлектрический колориметр КФК-2МП, предназначенный для измерения коэффициентов пропускания и оптической плотности жидкостных растворов и прозрачных твердых тел, концентрации веществ в растворах в диапазоне длин волнот 315 до 980 нм.

Принципиальная оптическая схема показана на рис. 3.1.

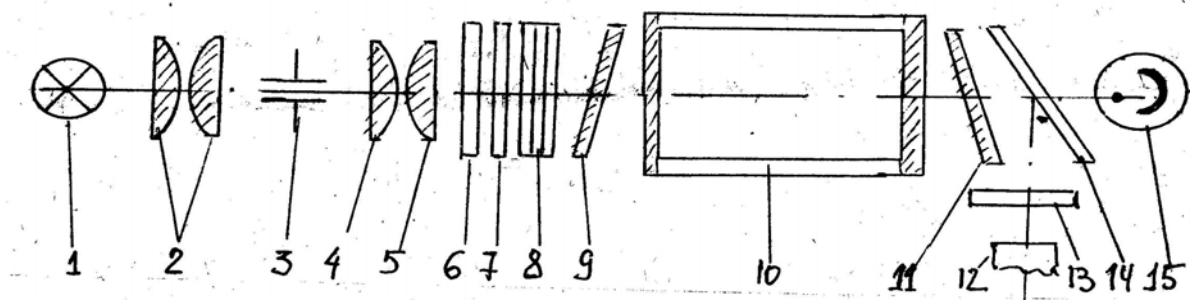


Рис. 3.1.

Нить лампы (1) конденсором 2 изображается в плоскости диафрагмы (3) ($d = 2$ мм). Это изображение объективом (4, 5) переносится в плоскость, отстоящую от объектива на расстоянии ~ 300 мм с увеличением 10^x . Кювета (10) с исследуемым раствором вводится в световой пучок между защитными стеклами (9, 11). Для выделения узких участков спектра из сплошного спектра излучения лампы в колориметре предусмотрены цветные светофильтры (8). Теплозащитные светофильтры (6) введены в световой пучок при работе в видимой области спектра 400 – 590 нм. Для ослабления светового потока при работе в спектральном диапазоне 400 – 540 нм введены нейтральные светофильтры 7. Пластина 14 делит световой поток на два: $\sim 10\%$ светового потока направляется на фотодиод 12, а 90% – на фотоэлемент 15. Для уравнивания фототоков, снимаемых с фотоприемника 12 при работе с различными цветными светофильтрами, перед ним установлен светофильтр (13) из цветного стекла.

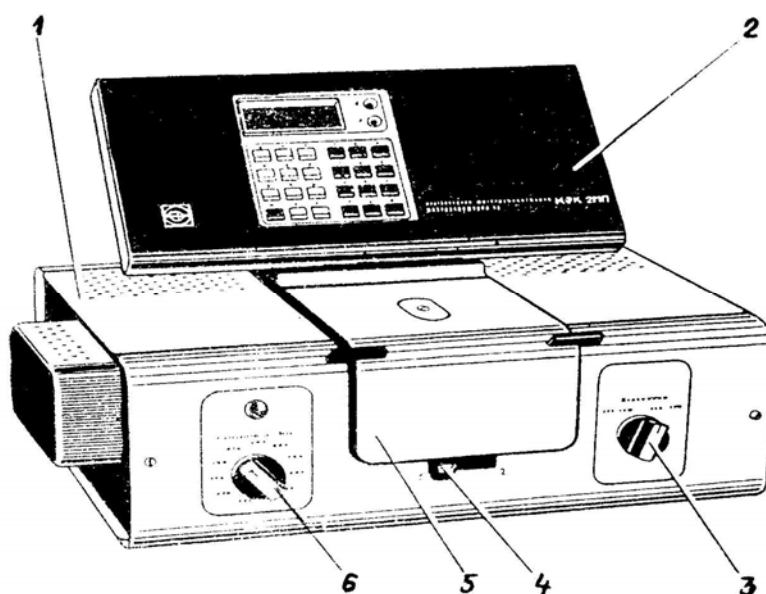


Рис. 3.2

Колориметр состоит из колориметрического (1) и вычислительного (2) блоков и блока питания. Светофильтры вводятся в световой пучок ручкой (6). Рабочее положение каждого светофильтра фиксируется. Для проверки законов поглощения света в работе используются водные растворы нитрата никеля ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ – зелёный) и сульфат кобальта (CoSO_4 – красный). При измерении поглощения света растворами необходимо исключить поглощение, обусловленное растворителем. Для этой цели обычно используют две тождественные кюветы. Одну из них заполняют исследуемым раствором, а другую – растворителем.

3.2. Порядок выполнения работы

1. Подсоединить колориметр к сети 220 В, включить тумблер «СЕТЬ», при этом должна загореться лампочка (на цифровом табло должны появиться символы). Нажать клавишу «Пуск». На цифровом табло появится мигающая запятая (на первом индикаторе) и загорается индикатор «Р». Если запятая не появляется, повторно нажать клавишу «Пуск».

2. Выдержать колориметр во включенном состоянии в течение 15 минут при открытой крышке кюветного отделения.

3. Для измерения нулевого отсчета n_0 нажать клавишу «Ш (0)», на цифровом табло справа от мигающей запятой высвечивается значение n_0 , а слева символ «0». Значение n_0 должно быть не менее 0,001 и не более 1000. Проверку нулевого отсчета проводить перед каждым видом измерений.

4. В кюветное отделение установить кюветы с растворителем (водой) и исследуемым раствором. Кювета с растворителем устанавливается в дальнее гнездо кюветодержателя, а кювета с исследуемым раствором – в ближнее.

Рабочие поверхности кювет должны перед каждым измерением тщательно протираться мягкой салфеткой. При установке кювет в кюветодержатели нельзя касаться пальцами рабочих участков поверхностей. Наличие загрязнений или капель раствора на рабочих поверхностях кюветы приводит к получению неверных результатов работы.

5. Ручкой 6 (рис. 3.2) установить необходимый светофильтр, ручкой 3 – нужный фотоприемник (при измерениях со светофильтрами от 315 нм до 519 нм ручку 3 поставить в положение

«315 – 540», при измерениях со светофильтрами от 590 нм до 980 нм ручку 3 установить в положение «590 – 980»).

6. Ручку 1 установить в положение 1 (в световой пучок вводится кювета с растворителем).

7. Закрыть крышку кюветного отделения, нажать клавишу «K1». На цифровом табло слева от мигающей запятой загорается символ «I».

8. Ручку 1 (рис. 3.2) установить в положение «2» (в световой пучок вводится кювета с исследуемым раствором).

9. Нажать клавишу «τ (2)». На цифровом табло слева от мигающей запятой появляется символ «2», означающий, что произошло измерение коэффициента пропускания. Отсчет на цифровом табло справа от мигающей запятой соответствует коэффициенту пропускания исследуемого раствора в процентах.

10. Для измерения оптической плотности нажать клавишу «D (5)». На цифровом табло слева от мигающей запятой появится символ «5», означающий, что произошло измерение оптической плотности. Отсчет на цифровом табло справа от мигающей запятой соответствует оптической плотности исследуемого раствора.

3.2.1. Задание 1. Исследование зависимости оптической плотности и коэффициента пропускания света от концентрации растворов.

1. Ручкой 6 поставить зеленый светофильтр с длиной волны $\lambda = 490$ нм, ручкой 3 – нужный фотоприемник.

2. Измерить D и T для растворов $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ в воде (зелёный раствор) в кюветах одинаковой толщины ($l = 1,0$ см), но различных концентраций ($C = 3,0; 2,0; 1,0$ моль/л). Данные занести в табл. 3.1.

4. Построить графики зависимостей $T = f(C)$ и $D = f(C)$. По линейной зависимости $D = f(C)$ определить неизвестную концентрацию C_x . Оценить погрешность измерения C_x .

Т а б л и ц а 5.1

Раствор	N	C , моль/л	l , см	D	T , %	ε , моль ⁻¹ ·л·см
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ (зелёный)	1					
	2					
	3					
	4					

3.2.2. Задание 2. Исследование зависимости оптической плотности и коэффициента пропускания света от толщины поглощающего слоя.

1. Ручкой 6 поставить красный светофильтр с длиной волны $\lambda = 670$ нм, ручкой 3 – нужный фотоприемник.

2. Измерить D и T для растворов CoSO_4 в воде (красный раствор) одинаковой концентрации ($C = 1,0$ моль/л) в кюветах различной толщины ($l = 5,0; 3,0; 1,0$ и $0,5$ см). Данные занести в табл. 3.2.

3. Построить графики зависимостей $D = f(l)$ и $T = f(l)$.

Т а б л и ц а 3.2

Раствор	N	C , моль/л	l , см	D	T , %
CoSO_4 (красный)	1				
	2				
	3				
	4				

3.2.3. Задание 3. Исследование зависимости оптической плотности и коэффициента пропускания света веществом от длины волны.

1. Поместить в кюветодержатель кювету с толщиной $l = 0,1$ см раствора CoSO_4 (красный раствор) и соответствующую кювету с водой.

2. Определить D и T данного раствора для всего набора светофильтров (от $\lambda = 400$ нм до $\lambda = 750$ нм). Для каждого светофильтра измерения начинать с нулевого отсчета и подбора нужного фотоприемника. Данные записать в табл. 3.3.

3. Вычислить коэффициенты экстинкции ε для всех полученных значений D , используя соотношение $\varepsilon = D / C \cdot l$.

4. Построить график зависимости $\varepsilon = f(\lambda)$ и сделать его анализ.

Т а б л и ц а 3.3

Раствор	N	λ , нм	D	T , %	ε , моль ⁻¹ ·л·см
CoSO_4 (красный)	1	400			
	2	440			
	3	490			
	4	540			
	5	590			
	6	670			
	7	750			

3.3. Требования по технике безопасности

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- а) ознакомиться с устройством колориметра, его принципом действия;
- б) убедиться, что прибор заземлен;
- в) убедиться в исправности сетевых шнуров;
- г) соблюдать аккуратность в обращении с хрупкими стеклянными кюветами.

3.4. Требования к отчету

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

- а) краткие основные теоретические положения;
- б) результаты исследований и расчётов в виде таблицы и графиков (на миллиметровой бумаге);
- в) оценку погрешностей определения величины C_x и выводы.

4. Контрольные вопросы

1. В чем причина поглощения света веществом?
2. В чем заключается физический смысл коэффициента поглощения в законе Бугера-Ламберта?
3. Почему металлы обладают высоким коэффициентом поглощения?
4. Что называется оптической плотностью и коэффициентом пропускания раствора? Как эти величины связаны между собой?
5. В чём заключается физический смысл коэффициента экстинкции?

Список литературы

1. Савельев И.В. Курс физики. Т. 2– М.: Наука. 1998.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2001.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1998.