

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА

Цель работы: изучить законы поглощения, принцип измерения поглощения света с помощью фотоколориметра КФК-2 и определить коэффициенты пропускания и оптические плотности растворов.

1. Электромагнитные волны в веществе

Рассмотрим систему уравнений Максвелла:

$$\operatorname{div} \vec{D} = \rho, \quad (1)$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0, \quad (2)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}. \quad (4)$$

Уравнение (1) указывает, что источником электрического поля являются свободные электрические заряды, объемная плотность которых определяется величиной ρ . Из второго уравнения Максвелла следует, что магнитные заряды в природе отсутствуют. Соотношение (3) носит название закона электромагнитной индукции, в соответствии с которым изменение во времени магнитного поля приводит к появлению вихревого электрического поля, силовые линии которого замкнуты. Уравнение (4) Максвелла заключается в том, что магнитное поле порождается как движущимися электрическими зарядами, так и переменным электрическим полем.

Уравнения (1—4) называются полевыми уравнениями. Учет конкретных свойств линейной среды осуществляется материальными уравнениями:

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}, \quad \vec{j} = \gamma \vec{E},$$

где ϵ — диэлектрическая, μ — магнитная проницаемость среды, γ — ее проводимость. В случае изотропных и линейных сред эти величины являются скалярными и постоянными.

Рассмотрим случай, когда среда представляет собой диэлектрик, у которого отсутствуют свободные электрические заряды ($\rho = 0$) и $\gamma = 0$. Для дальнейшего описания уравнений Максвелла воспользуемся линейным дифференциальным оператором ∇ («набла»), т.е. $\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{e}_x + \frac{\partial}{\partial y} \vec{e}_y + \frac{\partial}{\partial z} \vec{e}_z$, а также известными

математическими тождествами, устанавливающими связь скалярного и векторного произведения оператора ∇ на некоторый вектор \vec{A} с дивергенцией и ротором этого вектора: $\nabla \cdot \vec{A} \equiv \operatorname{div} \vec{A}$, $\nabla \times \vec{A} \equiv \operatorname{rot} \vec{A}$.

Это позволяет уравнения (1—4) записать в операторной форме:

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad (5)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad (6)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (7)$$

$$-c^2 \nabla \times \vec{B} = \epsilon \mu \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \quad (8)$$

где $c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$ — электродинамическая постоянная, равная скорости распространения света в вакууме. Величина c представляет собой фундаментальную физическую постоянную. Наиболее точные измерения дают значение $c = (299792458 \pm 1,2)$ м/с.

Из (7) и (8) после несложных алгебраических преобразований следует, что

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{\epsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad \text{и} \quad (9)$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \frac{\epsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}. \quad (10)$$

Соотношения (9) и (10) называются *волновыми уравнениями* для \vec{E} и \vec{B} . Они показывают, что изменение величин \vec{E} или \vec{B} во времени и пространстве взаимосвязаны.

Одним из нетривиальных решений уравнений (9) и (10) является уравнение бегущей монохроматической волны:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 e^{i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})}, \quad (11)$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 e^{i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})}. \quad (12)$$

Выясним структуру и свойства плоских бегущих монохроматических волн. Для этого учтем, что

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = i\omega \mathbf{E} \quad \text{и} \quad \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = i\omega \mathbf{B}, \quad (13a)$$

а также

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial x} = -ik_x \mathbf{E}, \quad \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial y} = -ik_y \mathbf{E}, \quad \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial z} = -ik_z \mathbf{E}, \quad (13б)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial x} = -ik_x \mathbf{B}, \quad \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial y} = -ik_y \mathbf{B}, \quad \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial z} = -ik_z \mathbf{B}. \quad (13в)$$

$$\text{Тогда } \nabla \cdot \mathbf{E} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{E}, \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{B} \quad \text{и} \quad (14)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = \mathbf{k} \times \mathbf{E}, \quad \nabla \times \mathbf{B} = \mathbf{k} \times \mathbf{B}. \quad (15)$$

Используя соотношения (13)—(15), запишем уравнения Максвелла в виде:

$$\mathbf{k} \cdot \mathbf{E} = 0, \quad (16)$$

$$\mathbf{k} \cdot \mathbf{B} = 0,$$

(16а)

$$\mathbf{k} \times \mathbf{E} = \omega \mathbf{B}, \quad (17)$$

$$c^2 \mathbf{k} \times \mathbf{B} = -\omega \epsilon \mu \mathbf{E}.$$

(17а)

Из полученных выражений следуют важные свойства электромагнитных волн.

Направления колебаний векторов \mathbf{E} и \mathbf{B} перпендикулярны направлению волнового вектора \mathbf{k} .

Векторы \mathbf{E} , \mathbf{B} и \mathbf{k} образуют правую тройку векторов.

В электромагнитной волне направления колебаний \mathbf{E} и \mathbf{B} перпендикулярны направлению ее распространения, т.е. вектору \mathbf{k} . Это означает, что электромагнитные волны в линейной среде, так же, как и в вакууме, являются поперечными.

Структура плоской электромагнитной волны представлена на рис. 1.

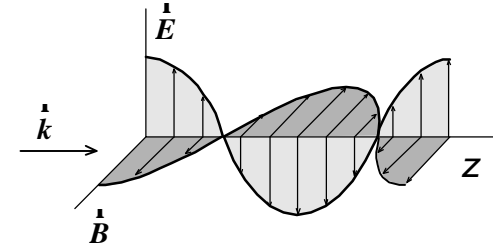


Рис. 1. Структура плоской электромагнитной волны

Из (17) и (17а) следует, что $c^2 \mathbf{k} \times \mathbf{k} \times \mathbf{E} = -\omega^2 \epsilon \mu \mathbf{E}$. После преобразований получим: $c^2 k^2 \mathbf{E} = \omega^2 \epsilon \mu \mathbf{E}$, т.е. уравнения плоских бегущих монохроматических волн будут являться решением уравнений Максвелла при выполнении условия

$$\frac{\omega^2}{k^2} = \frac{c^2}{\epsilon \mu}.$$

Рассмотрим два случая:

1. ϵ и μ являются действительными (не комплексными) величинами. Тогда k тоже будет величиной действительной и фазовая скорость v будет равна

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{n},$$

где $n = \sqrt{\epsilon \mu}$ — абсолютный показатель преломления среды. Для абсолютного большинства прозрачных диэлектриков $\mu \approx 1$, тогда $n = \sqrt{\epsilon}$.

2. Величина ϵ является комплексной. В таком случае волновой вектор \mathbf{k} может быть представлен в виде $\mathbf{k} = \mathbf{k}' + i\mathbf{k}''$.

Рассмотрим случай, когда векторы \mathbf{k}' и \mathbf{k}'' — коллинеарны, тогда

$$k = k' + ik'' = \frac{\omega}{c} (n - i\chi) = k_0 (n - i\chi) = k_0 n'.$$

Здесь $n' = n - i\chi$ является комплексным показателем преломления диэлектрика, n — его действительная, χ — мнимая часть, $k_0 = \omega/c$ — волновое число волны в вакууме.

Действительная часть коэффициента преломления n определяет преломление света на границе раздела двух сред. Выясним смысл его мнимой части χ . Для этого рассмотрим плоскую волну, распространяющуюся в среде с коэффициентом преломления n' в направлении оси Z:

$$E = E_0 e^{i(\omega t - k_z z)} = E_0 e^{i(\omega t - k_0 n z + i k_0 \chi z)} = E_0 e^{-k_0 \chi z} e^{i(\omega t - k_0 n z)}.$$

Величина $E_0 e^{-k_0 \chi z}$ представляет собой убывающую амплитуду волны. Поскольку интенсивность света $I = \frac{E \cdot E^*}{2}$, то, используя (18), получим:

$$I = I_0 e^{-2k_0 \chi z} = I_0 e^{-\eta z}, \quad (19)$$

где $I_0 = \frac{E_0^2}{2}$, $\eta = 2k_0 \chi = \frac{4\pi}{\lambda_0} \chi$.

Выражение (19) представляет собой закон Бугера. Величина η называется *показателем поглощения*. Таким образом, мнимая часть комплексного коэффициента преломления характеризует поглощательные свойства среды.

Теория Максвелла дает наглядное представление о структуре электромагнитных волн в среде, позволяет выяснить физический смысл действительной и мнимой части комплексного показателя преломления. Однако, как показывает опыт, величины, описывающие макроскопические свойства среды (ϵ , α , n , χ), зависят от частоты электромагнитной волны. Эта зависимость носит название *дисперсии света*.

2. Физическая природа и количественные характеристики процесса поглощения

Явление поглощения света объясняется на основе как классической, так и квантовой теории.

С точки зрения классической теории при прохождении электромагнитной волны через вещество заряженные частицы (прежде всего электроны) вещества начинают совершать вынуж-

денные колебания под действием электрического поля электромагнитной волны. Колеблющийся электрон, превращаясь в источник, сам излучает вторичные волны. В результате интерференции падающей волны со вторичной в среде возникает волна с амплитудой, отличной от амплитуды вынуждающего поля. Таким образом, энергия электромагнитной волны, затрачиваемая на возбуждение колебаний, частично возвращается в виде излучения вторичных волн, испускаемых движущимися заряженными частицами, а частично переходит в другие формы энергии, например в энергию движения атомов, т.е. во внутреннюю энергию вещества. Интенсивность света при прохождении через вещество при этом уменьшается — происходит *поглощение*. Поглощение наиболее сильно в случае, когда частота света равна частоте собственных колебаний электрических зарядов (при резонансе максимальна амплитуда вынужденных колебаний заряженных частиц, их скорости и силы сопротивления, пропорциональные скорости). Следует отметить, что если речь идет о поглощении света видимого или ультрафиолетового диапазона, то в первую очередь должны учитываться колебания валентных электронов (их называют *оптическими*), так как лишь наиболее легкие заряженные частицы, наименее связанные с ядром, способны совершать колебания со столь высокой частотой ($\omega \approx 10^{15} \text{ с}^{-1}$).

Проходящий через вещество световой поток не только поглощается, но и рассеивается на оптических неоднородностях среды, вызванных флуктуациями плотности и присутствием неоднородных тел (в мутных средах). Однако это рассеяние лишь изменяет направление распространения света, но не влияет на суммарную интенсивность световых волн. Истинное же поглощение связано с преобразованием энергии излучения в другие виды энергии и обычно приводит к возрастанию температуры среды.

Поглощение света характеризуется экспоненциальным законом убывания его интенсивности при увеличении толщины слоя вещества.

Установим закономерность поглощения света в данном слое вещества. Пусть на поверхность прозрачной однородной среды толщиной l направлен нормально параллельный пучок света интенсивности I_0 (рис.2). В результате поглощения, как уже отмечено, интенсивность вышедшего пучка уменьшится (обозначим ее через I). Выберем систему координат, поместив ее на лицевой поверхности среды. Ось z направим параллельно этой по-

верхности, а ось x — вдоль направления распространения света. Выделим в веществе бесконечно тонкий слой толщиной dx . Очевидно, что уменьшение интенсивности света в слое толщиной dx будет пропорционально величине интенсивности падающего на этот слой света и толщине поглощающего слоя, т. е.

$$-dI = \eta I dx,$$

где η — коэффициент пропорциональности, называемый *показателем поглощения*. Знак минус показывает, что с увеличением толщины поглощающего слоя интенсивность прошедшего через него света уменьшается.

Для определения интенсивности света, вышедшего из слоя толщиной l , проинтегрируем выражение (20) в пределах от нуля до l . Ввиду предположения об однородности среды и о том, что в каждом слое поглощается одна и та же часть падающей энергии, коэффициент η , характеризующий поглощательную способность среды, не будет зависеть ни от координаты x , ни от интенсивности (линейное оптическое явление); следовательно, можно вывести его из-под знака интеграла как постоянную. Тогда получаем

$$\ln I - \ln I_0 = -\eta l.$$

Отсюда получим

$$I = I_0 e^{-\eta l}, \quad (21)$$

где I_0 и I — соответственно интенсивности света, падающего на поверхность среды и вышедшего из слоя толщиной l .

Эта зависимость, показывающая, что *интенсивность света падает в геометрической прогрессии, когда толщина слоя нарастает в арифметической прогрессии*, была установлена экспериментально французским физиком П.Бугером в 1729 г. Ее называют **законом Бугера** или **законом Бугера—Ламберта**, который теоретически подтвердил этот закон в 1760 году. Закон можно формулировать следующим образом: *каждый бесконечно тонкий слой однородной среды поглощает определенную долю входящего в него потока излучения, пропорциональную его толщине*.

Показатель поглощения η , как мы выяснили раньше, определяется мнимой частью комплексного показателя преломления. Он зависит от длины волны света, но не зависит от интенсивности падающего света I_0 (при малых значениях интенсивно-

сти) и от толщины поглощающего слоя l . Чем больше значение показателя поглощения, тем сильнее поглощается свет. При

$l = \frac{1}{\eta}$ из выражения (21) следует, что

$$(20) \quad \frac{I}{I_0} = \frac{1}{e} = \frac{1}{2,72}. \quad (22)$$

Числовое значение коэффициента η показывает толщину

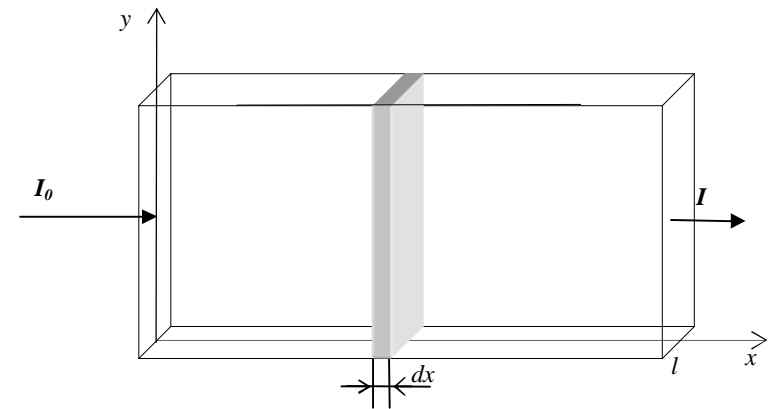


Рис. 2. К выводу формулы Бугера-Ламберта

слоя l , равную $\frac{1}{\eta}$, после которого интенсивность излучения падает в $e = 2,72$ раза.

Перейдя в выражении (21) от натуральных к десятичным логарифмам, получим

$$I = I_0 10^{-\kappa l} \quad (23)$$

где $\eta = 2,3\kappa$ или $\kappa = 0,43\eta$. Коэффициент пропорциональности κ называют *десятичным показателем поглощения*. Если $\kappa = \frac{1}{l}$, то

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{10}, \quad (24)$$

т.е. коэффициент k соответствует обратной толщине слоя, в котором интенсивность излучения ослабляется в 10 раз.

Следующий закон поглощения света установлен Бером в 1825 году: *поглощение данным тонким слоем однородной среды пропорционально числу содержащихся в нем поглощающих молекул, т.е. их концентрации*. Таким образом, закон Бера выражает зависимость показателя поглощения от концентрации вещества C

$$\eta = \varepsilon C, \quad (25)$$

где ε — *коэффициент пропорциональности*, не зависящий от концентрации и характерный для молекулы поглощающего вещества.

Запишем **объединенный закон Бугера-Ламберта-Бера** в экспоненциальной форме

$$I = I_0 e^{-\varepsilon C l}. \quad (26)$$

Если перейти к десятичным логарифмам, то уравнение (26) примет вид

$$I = I_0 10^{-\varepsilon' C l}, \quad (27)$$

или

$$\lg \frac{I}{I_0} = -\varepsilon' C l \quad (28)$$

Величина ε' — десятичный показатель поглощения, который называют *экстинкцией*.

Величину D , равную $\lg \frac{I_0}{I}$, называют *оптической плотностью*. Отношение интенсивности монохроматического потока излучения, прошедшего через исследуемый объект, к интенсивности первоначального потока излучения называют *коэффициентом пропускания* и обозначают T :

$$T = \frac{I}{I_0} = 10^{-\varepsilon' C l}. \quad (29)$$

Оптическая плотность и пропускание связаны между собой соотношением:

$$D = -\lg T. \quad (30)$$

Величину отношения интенсивности потока монохроматического излучения, поглощенного веществом, к интенсивности потока монохроматического излучения, падающего на него, называют *коэффициентом поглощения*:

$$K = \frac{I_0 - I}{I_0}. \quad (31)$$

Из выражения (29) и (31) следует, что

$$K + T = 1. \quad (32)$$

Согласно квантовым представлениям, атомы и молекулы обладают не непрерывными, а дискретными значениями энергии (в основном и возбужденном состояниях). При распространении света через среду часть энергии тратится на возбуждение системы, а часть (вместе с возвращенной долей энергии за счет переходов из возбужденных состояний в основное) выходит из среды. В результате таких взаимодействий интенсивность вышедшего из среды луча оказывается меньшей интенсивности света, падающего на среду.

Следует отметить, что при поглощении света атомами или молекулами среды в каждом элементарном акте уничтожается один фотон, вследствие чего происходит переход атома (молекулы) в возбужденное состояние. При этом энергия фотона должна соответствовать разности энергий между основным и возбужденными состояниями. Такое поглощение называется **однофотонным**.

Практическая часть

1. Принцип действия и оптическая схема колориметра

Колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-2МП предназначен для измерения коэффициентов пропускания, оптической плотности жидких растворов и прозрачных твердых тел в спектральной области длин волн 315—980 нм а также для измерения концентрации вещества в растворах.

Принцип действия колориметра основан на поочередном измерении светового потока Φ_0 , прошедшего через растворитель или контрольный раствор, по отношению к которому производится измерение, и потока Φ , прошедшего через исследуемую среду. Световые потоки Φ_0 и Φ фотоприемниками преобразуются

в электрические сигналы U_0 и U , которые обрабатываются микро-ЭВМ колориметра и представляются на цифровом табло в виде коэффициента пропускания, оптической плотности, концентрации или активности.

С помощью микро-ЭВМ коэффициент пропускания рассчитывается по формуле

$$T = \frac{U - U_T}{U_0 - U_T} 100\%,$$

где U_T — величина сигнала при перекрытом световом потоке.

Оптическая плотность рассчитывается по формуле

$$D = -\lg \frac{U - U_T}{U_0 - U_T}.$$

Следует иметь в виду, что измерение концентрации исследуемого раствора на колориметре возможно только при соблюдении основного закона светопоглощения, т.е. при линейной зависимости оптической плотности D исследуемого раствора от концентрации C .

Колориметр состоит из колориметрического и вычислительного блоков и блока питания. В колориметрический блок входят: осветитель, светофильтры, кюветное отделение, кюветодержатель, фотометрическое устройство.

Оптическая схема фотоколориметра приведена на рис. 3. Свет от источника 1 с помощью осветительной системы, включающей конденсоры 2, 4, 5, а также щель 3, направляется на кювету 10, которая помещается между защитными стеклами 9 и 11. Для выделения узких участков спектра из сплошного спектра лампы в колориметре предусмотрены цветные светофильтры 8.

Теплозащитные светофильтры 6 вводятся в световой пучок при работе в видимой области спектра 400—590 нм. Для ослабления светового потока при работе в спектральном диапазоне 400—540 нм вводятся нейтральные светофильтры 7. Пластина 14 делит световой поток на два: 10% светового потока направляется на фотодиод ФД-24К (12) и 90% — на фотоэлемент Ф-26 (15). Для уравнивания фототоков, снимаемых с фотоприемника ФД-24К при работе с различными цветными светофильтрами, перед ним установлен светофильтр 13 из цветного стекла СЗС-16.

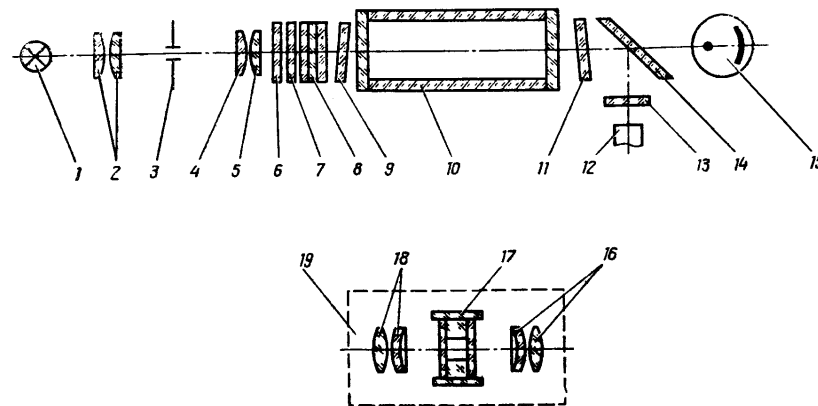


Рис. 3. Оптическая схема фотоэлектрокolorиметра КФК-2МП

В вычислительный блок входит микропроцессорная система «Электроника МС2703» (МПС). На передней панели МПС расположены клавиатура, цифровое табло, два сигнальных светодиода. Клавиатура состоит из 24 клавиш. Клавиша «ПУСК» предназначена для запуска микропроцессорной системы. Клавиши «Б» и «С» предназначены для вызова на цифровое табло из памяти МПС значений соответствующих коэффициентов для их контроля или ввода новых значений. Клавиша «СБР» предназначена для стирания значения вызванного коэффициента (в случае необходимости задания нового значения).

Клавиши «0», «1—9», «—», «,» предназначены для набора на цифровом табло МПС значения коэффициента «Т» или «С».

Клавиша «УТВ» предназначена для записи в память МПС нового значения коэффициента, набранного на цифровом табло.

Клавиши «К(1)», «т(2)», «Д(5)», «С(4)» предназначены для выполнения калибровки прибора, измерений коэффициента пропускания, оптической плотности исследуемого вещества, концентрации вещества в растворе.

Клавиша «А(3)» предназначена для измерения активности.

Клавиша «Ц/Р» предназначена для перевода МПС в один из двух режимов выполнения измерений: режим одиночных измерений или режим циклических измерений.

К колориметру прилагается набор прямоугольных кювет. Кюветы с растворителем и исследуемым раствором устанавливаются в кюветодержатель, который расположен в кюветном отделении. Ввод в световой пучок одной или другой кюветы осуществляется поворотом ручки, расположенной на передней панели колориметра, до упора влево или вправо (до положения «1» или «2»). В положении «1» в световой пучок вводится кювета с растворителем, в положении «2» в световой пучок вводится кювета с исследуемым раствором. Кюветное отделение закрывается крышкой. При открытой крышке кюветного отделения шторка перекрывает световой поток.

При установке кювет в кюветодержатель нельзя касаться пальцами рабочих участков поверхностей (ниже уровня жидкости в кювете). Жидкость наливается в кюветы до метки на боковой стенке кюветы.

2. Подготовка к работе

1. Присоединить колориметр к сети 220В, открыть крышку кюветного отделения и включить тумблер «СЕТЬ». При этом должна загореться сигнальная лампочка (на цифровом табло могут появиться различные символы).

2. Нажать клавишу «ПУСК» — на цифровом табло появляется мигающая запятая и горит индикатор «Р». Если запятая не появилась, повторно нажать клавишу «ПУСК».

Выдержать колориметр во включенном состоянии в течение 15 мин. при открытой крышке кюветного отделения, после чего прибор готов к работе.

Измерение коэффициента пропускания

1. В кюветное отделение установить кюветы с растворителем и исследуемым раствором. (Кювета с растворителем устанавливается в дальнее гнездо кюветодержателя, а кювета с исследуемым раствором — в ближнее). Установить необходимый светофильтр и светоприемник. При измерении со светофильтрами 315, 340, 400, 440, 490, 540 нм ручку «Фотоприемник» установить в положение «315—540». При измерении со светофильтрами 590,

670, 750, 870, 980 нм ручку «Фотоприемник» установить в положение «590—980».

2. В световой пучок ввести кювету с растворителем (ручку установить в положение «1»).

3. Закрыть крышку кюветного отделения, нажать клавишу «K(1)». На цифровом табло слева от мигающей запятой загорается символ «1».

4. В световой пучок ввести кювету с исследуемым раствором (ручку установить в положение «2»).

5. Нажать клавишу «τ(2)». На цифровом табло слева от мигающей запятой появляется символ 2. Отсчет на цифровом табло справа от мигающей запятой соответствует коэффициенту пропускания.

6. Операции по п. 2—5 провести 3—5 раз. Коэффициент пропускания измеряемого раствора определить как среднее арифметическое из полученных значений.

Измерение оптической плотности

1. Провести операции 1—4 п. 2.6.1.

2. Нажать клавишу «D(5)». На цифровом табло справа от мигающей запятой высвечивается число, которое соответствует оптической плотности исследуемого раствора.

3. Операции 1—2 п. 2.6.2. провести 3—5 раз. Оптическую плотность определить как среднее арифметическое из полученных значений.

Упражнение 1. Запись спектра поглощения.

Для светофильтров 380—870 нм с использованием кюветы средней толщины (30мм) определить коэффициент пропускания T и оптическую плотность D . Упражнение проделать для всех предложенных концентраций. Из выражения (32) определить коэффициент поглощения. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	λ , нм	T	K	D

Построить графики зависимости $T=f(\lambda)$, $K=f(\lambda)$, $D=f(\lambda)$.

Упражнение 2. Проверка закона Бугера-Ламберта.

Пользуясь спектрами поглощения, полученными в упражнении 1, выбрать светофильтр, длина волны пропускания которого наиболее близка к максимуму полосы поглощения. С этим светофильтром и кюветами 5, 10, 20, 30 и 50 мм определить коэффициенты пропускания T и оптическую плотность D для предложенных концентраций раствора. Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2

№ п/п	C	l	T	D	K

Для всех использованных концентраций растворов построить графики зависимости коэффициента пропускания T и оптической плотности D от толщины раствора l : $T=f(l)$, $K=f(l)$, $D=f(l)$. Пользуясь графиком $D=f(l)$, определить десятичный показатель поглощения как тангенс угла наклона $\kappa = \frac{\Delta D}{\Delta l}$.

Упражнение 3. Проверка закона Бугера-Ламберта-Бера.

Пользуясь спектрами поглощения, полученными в первом упражнении, выбрать три светофильтра длина волны которых лежит в области максимума полосы поглощения. С кюветой толщиной 30 мм измерить оптическую плотность для всех концентраций. Измерения проделать для трех светофильтров. Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3

№	λ , нм	C	D	D_x	D_{cp}

Построить графики зависимостей $D=f(C)$. С этой же кюветой с тремя светофильтрами измерить оптическую плотность раствора с неизвестной концентрацией. Пользуясь графиком

$D=f(C)$ определить неизвестную концентрацию. На основании значений C , полученных для трех светофильтров, определить среднее значение неизвестной концентрации.

Оцените погрешность определения величины C .

Контрольные вопросы

1. Какова структура и основные свойства плоских электромагнитных волн в линейной изотропной среде?
2. В каком случае показатель преломления среды является комплексным?
3. В чем состоит физический смысл действительной и мнимой части комплексного показателя преломления среды?
4. Как изменяется величина вектора Умова-Пойтинга при прохождении электромагнитной волны через вещество?
5. Сформулируйте основные законы поглощения света (Бугера-Ламберта и Бера).
6. Охарактеризуйте основные элементы фотоэлектроколориметра КФК-2МП.
7. На примере КФК-2МП охарактеризуйте принцип измерения коэффициента пропускания света.
8. Почему коэффициент поглощения света веществом зависит от длины волны?