

## Работа 4.20

### Изучение поглощения света твердыми и жидкими телами

**Оборудование:** фотоэлектрический колориметр-нефелометр ФЭК-60, набор образцов твердого тела, набор кювет с растворами разной концентрации.

#### Введение

Свет, проходя через любое вещество, в той или иной степени поглощается. По мере распространения световой волны в веществе ее интенсивность постепенно уменьшается. Это явление получило название *поглощения света*, или *абсорбции света*. Поглощение света связано с преобразованием энергии электромагнитного поля световой волны в другие виды энергии (чаще всего в энергию хаотического теплового движения).

П. Бугер и И. Ламберт установили, что интенсивность  $I$  световой монохроматической волны после прохождения через слой поглощающего вещества толщиной  $l$  связана с интенсивностью световой волны, падающей на вещество,  $I_0$  следующим образом:

$$I = I_0 e^{-\alpha l}. \quad (1)$$

Равенство (1) носит название *закона Бугера — Ламберта*.  $\alpha$  — коэффициент поглощения, зависящий от длины волны света, химической природы и состояния вещества.

При прохождении света через растворы коэффициент поглощения зависит от концентрации раствора  $C$ :

$$\alpha = \alpha_1 C. \quad (2)$$

Эта зависимость носит название *закона Бера*. Он выполняется только при малых концентрациях растворенного вещества. При больших концентрациях имеет место отклонение от закона Бера. Эти отклонения обусловлены увеличением сил взаимодействия между близко расположенными молекулами вещества.

Известно, что при нормальном падении света на поверхность раздела двух диэлектриков, отношение интенсивности света, прошедшего через поверхность раздела, к интенсивности падающего на вещество света (*коэффициент прохождения  $\beta$* ) определяется по формуле

$$\beta = \frac{4n}{(n+1)^2}, \quad (3)$$

где  $n$  — относительный показатель преломления соответствующих диэлектриков (в нашем случае воздух — пластинка,  $n = 1,5$ ).

Интенсивность света  $I$ , прошедшая через несколько пластин (образующих стопу), определяется по формуле

$$I = I_0 \beta^{2m} e^{-\alpha(l_1 + l_2 + \dots + l_m)}, \quad (4)$$

где  $m$  — число пластин;  $2m$  — число отражающих поверхностей;  $l_1, l_2, \dots, l_m$  — толщины пластин.

После логарифмирования соотношения (4), получим:

$$\alpha = \frac{1}{\sum_i l_i} \cdot \ln \left( \frac{I_0 \beta^{2m}}{I} \right). \quad (5)$$

Отношение интенсивностей  $I/I_0$  называют *коэффициента пропускания*  $\tau$ .

**Описание установки и метода.** Коэффициент пропускания измеряется при помощи прибора ФЭК-60, оптическая схема которого приведена на рисунке 4.43.

В качестве источника тока используется лампа накаливания РН 8-20.

Приемником света служит один из двух фотоэлементов: сурьмяноцезиевый фотоэлемент типа СЦВ-4 для области спектра от 360 до 620 нм или

кислородоцезиевый фотоэлемент типа ЦВ-4 для области спектра от 620 до 1000 нм.

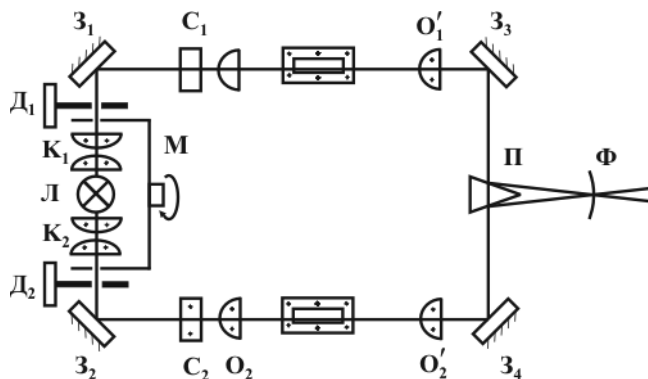


Рис. 4.43

В приборе имеется девять пар светофильтров. Из них одна пара — для измерений в ближней ультрафиолетовой области спектра; пять — в видимой; три — в ближней инфракрасной области спектра (таблица 1).

Прибор ФЭК-60 относится к объективным приборам, в основу которых положен принцип уравнивания интенсивностей двух световых модулированных потоков при помощи переменной диафрагмы со щелью. Правый световой пучок является измерительным, левый — компенсационным.

Таблица 1

№ светофильтра	Длина волны $\lambda_{\max}$ , нм	№ светофильтра	Длина волны $\lambda_{\max}$ , нм
1	364	6	670
2	390	7	750
3	450	8	870
4	520	9	980
5	590	0	белый свет

Коэффициент пропускания среды  $\tau$  определяется отношением величины светового потока излучения длиной волны  $\lambda (\Phi_{\lambda})$ , вышедшего из среды, к величине светового потока излучения той же длины волны  $\lambda (\Phi_{0\lambda})$ , вошедшего в среду:

$$\tau = \frac{\Phi_{\lambda}}{\Phi_{0\lambda}} \cdot 100\%.$$

В случае работы с растворами пропускание исследуемого раствора измеряется относительно растворителя или контрольного раствора.

Излучение от лампы  $L$  при помощи двух конденсоров  $K_1$  и  $K_2$  и двух зеркал  $Z_1$  и  $Z_2$  направляется на линзы  $O_1$  и  $O_2$ , после которых падает на зеркала  $Z_3$  и  $Z_4$ . Зеркала  $Z_3$  и  $Z_4$  и призма  $P$  направляют световые пучки на поверхность фотокатода фотоэлемента  $\Phi$ . Модулятор  $M$ , находящийся за конденсорами, модулирует световые потоки (правый и левый) в противоположных фазах. Модулированные световые потоки, пройдя светофильтры  $C_1$ ,  $C_2$  и кюветы, попадают на фотокатод фотоэлемента, где возбуждают электрический ток, пропорциональный разности интенсивностей левой и правой частей прибора.

Диафрагма с отверстием  $D_1$ , размещенная в правом пучке (измерительном), при вращении соединенного с ней барабана, меняет свою площадь и тем самым меняет интенсивность правого светового потока, который падает на фотоэлемент. Диафрагма с отверстием  $D_2$ , размещенная в левом пучке, служит для ослабления интенсивности левого светового потока, падающего на тот же фотоэлемент.

С измерительной (правой) диафрагмой связан барабан, на котором нанесены две шкалы — шкала коэффициентов пропускания ( $\tau$ ) и шкала *оптической плотности* ( $D$ ). Связь между действием обеих шкал определяется формулой

$$D = \lg \frac{100}{\tau}.$$

Шкала нанесена таким образом, что максимальное раскрытие диафрагмы соответствует 100 % пропускания, а полное ее закрытие — 0 %.

Процесс измерений на приборе заключается в следующем. В правый и левый световые пучки прибора помещают одинаковые кюветы с растворителем. Барабан измерительной диафрагмы устанавливается на отметку 100, левым барабаном добиваются уравнивания обоих световых потоков. При этом стрелка микроамперметра приводится в нулевое положение. Затем в левое плечо прибора вместо кюветы с растворителем помещают кювету с раствором, при этом стрелка микроамперметра отклоняется от нулевого положения. Вращением правого измерительного барабана снова устанавливают стрелку микроамперметра на ноль. Величина пропускания или оптической плотности раствора относительно величины пропускания или оптической плотности растворителя отсчитывается по

шкале на измерительном барабане. Измерения проводят для всех растворов с известными концентрациями и строят градуировочную кривую ( $\tau(C)$ ), откладывая по горизонтальной оси известные концентрации  $C$ , а по вертикальной — соответствующие им значения коэффициентов пропускания  $\tau$ . Для определения неизвестной концентрации  $C_x$  измеряют коэффициент пропускания  $\tau_x$  соответствующего раствора и по градуировочной кривой находят значение  $C_x$ .

### Порядок выполнения работы

**Задание 1.** Измерение концентрации растворов.

1. Включите прибор. Измерения по прибору начинайте через 15 — 20 минут после его включения.
2. Установите светофильтр № 5.
3. Вставьте в определенные гнезда правого и левого пучков кюветы с дистиллированной водой и установите отсчет по шкале 100. После этого вращением левого барабана установите стрелку микроамперметра на ноль.
4. Вместо левой кюветы с дистиллированной водой вставьте кювету с раствором концентрации  $C_1$  и определите соответствующий коэффициент пропускания  $\tau_1$ , при этом установите стрелку микроамперметра на ноль с помощью правого барабана.
5. Аналогичные измерения сделайте для всех растворов.
6. По полученным результатам постройте градуировочную кривую  $\tau(C)$ .
7. Измерьте коэффициент пропускания  $\tau_x$  для раствора неизвестной концентрации  $C_x$ .
8. Пользуясь градуировочной кривой, определите значение  $C_x$ .
9. Результаты измерений запишите в таблицу:

№ п/п	$C, \%$	$\tau, \%$	$\tau_x, \%$	$C_x, \%$
-------	---------	------------	--------------	-----------

**Задание 2.** Измерение коэффициента поглощения твердых тел.

1. Установите светофильтр № 0.
2. Измерьте толщину пластинок  $l_1, l_2, \dots, l_m$ , имеющих в наборе.
3. При отсутствии на пути лучей образцов вращением правого барабана установите отсчет 100. Вращением левого барабана установите стрелку микроамперметра на ноль.
4. Установите образец толщиной  $l_1$  на пути левого пучка и измерьте коэффициент пропускания  $\tau_1$  для этого образца, вращая барабан и установив стрелку микроамперметра на ноль.

5. Аналогичные измерения коэффициента пропускания  $\tau$  проведите затем для двух, трех и т. д. пластинок. При этом толщину образцов определите как  $l = \sum l_i$ .

6. По формуле (1) вычислите величину  $\beta$  ( $n = 1,5$ ).

7. Используя полученные значения  $\tau$  для разных  $l$  и значения  $\beta$ , подсчитайте соответствующие значения логарифма:

$$\ln \frac{I_0 \beta^{2m}}{I}$$

8. Постройте график зависимости  $\ln \frac{I_0 \beta^{2m}}{I}$  от толщины слоя вещества  $l$ .

Прямолинейность полученного графика является подтверждением выполнимости закона поглощения.

9. По наклону графика определите среднее значение коэффициента поглощения для определенной длины волны:

$$\alpha = \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\varphi$  — угол наклона.

10. Оставьте на держателе одну пластинку.

11. Определите коэффициент пропускания  $\tau$  для данного образца при разных  $\lambda$ .

12. Пользуясь формулой (5), подсчитайте  $\alpha$  для всех длин волн  $\lambda$ .

13. Постройте график  $\alpha(\lambda)$ .

14. Из полученного графика найдите длину световой волны, соответствующей наибольшей прозрачности исследуемого вещества.

15. Аналогичные измерения сделайте для цветного образца такой же толщины  $l$ .

16. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	$l$ , м	$n$	$\tau$	$\beta$	$m$	$\varphi$	$\alpha$	$\lambda$ , м	$\lambda_{\max}$ , м
-------	---------	-----	--------	---------	-----	-----------	----------	---------------	----------------------

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ УИР

Определите коэффициент пропускания  $\tau$  при различных температурах раствора и получите зависимость  $\tau(T)$ .



### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется абсорбцией света?
2. Какое преобразование энергии имеет место при поглощении света?

3. Запишите закон Бугера — Ламберта.
4. Что необходимо учитывать при определении поглощения света пластинками?
5. Как можно объяснить зависимость коэффициента поглощения от длины световой волны?
6. Какое явление лежит в основе метода измерения концентрации растворов?
7. Что называют коэффициентом пропускания?
8. При каких условиях справедлив закон Бера?
9. Каков физический смысл коэффициента поглощения?