Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Естественных и математических наук»

ФИЗИКА

Методические указания к
выполнению лабораторной работы
«Изучение поглощения света в жидкостях и твердых телах»

для студентов направлений

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
09.03.04 «Программная инженерия»
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическоеобеспечение машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»
29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности»

очной и заочной формы обучения

Энгельс 2024

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Все разнообразие окраски окружающих нас предметов объясняется явлениями отражения, поглощения и рассеяния света.

Поглощением света называется уменьшение энергии световой волны, происходящее по мере проникновения ее вглубь вещества. При распространении в веществе световая энергия затрачивается на возбуждение колебаний электронов, которые, в свою очередь, вызывают появление вторичных электромагнитных волн той же частоты, что и первичная световая волна. Частично же энергия колебаний электронов переходит в тепловую энергию движения атомов.

Все вещества могут быть разделены на две большие группы:

1. Вещества с малым коэффициентом поглощения – к ним относятся диэлектрики (стекло и т.д.).
2. Вещества с весьма большим коэффициентом поглощения – к ним относятся все проводники (металлы).

В диэлектриках отсутствуют свободные электроны, и световые волны могут вызывать лишь колебания связанных в атомах электронов. Эти колебания приобретают большую амплитуду только в том случае, если частота световой волны совпадает с частотой собственных колебаний связанных электронов. Поэтому для диэлектриков характерна избирательность поглощения света по отношению к частоте (длине волны). Следовательно, диэлектрики могут быть прозрачными для света в широкой области частот, за исключением более или менее узких частотных полос поглощения.

В проводниках, как известно, кроме связанных электронов, существуют свободные электроны. Под действием поля падающей световой волны они приобретают энергию, которую могут затем отдать ионам кристаллической решетки при столкновении с ними, что приводит к превращению световой энергии в тепловую, то есть поглощению. Кроме того, колебания свободных

электронов приводят к возникновению интенсивной отраженной электромагнитной волны, придающей металлам их блеск. Поэтому металлы непрозрачны.

Если в каком-то веществе не происходит ни поглощения, ни рассеяния лучей, то свет свободно проходит сквозь такой материал. Такое вещество является бесцветным (воздух, чистая вода). Таким образом, бесцветные прозрачные тела характеризуются малым поглощением из видимой части спектра, однако могут проявлять сильное поглощение ультрафиолетовых и инфракрасных лучей.

Если происходит сильное рассеяние лучей и нет заметного поглощения в области видимого спектра, то материал будет белым (снег, мел).

Материал, хорошо отражающий красные лучи и поглощающий все рассеянные, будет выглядеть красным в отраженном свете.

Цветные прозрачные тела обнаруживают избирательность поглощения в области видимых лучей. Например, если материал хорошо пропускает красные лучи и поглощает синие, зеленые и фиолетовые, то он будет показываться красным на просвет, то есть в проходящем свете.

Количественно отражение, поглощение и пропускание света телами характеризуются соответствующими коэффициентами.

Предположим, не тело падает световой поток энергии Φ_0. Часть этого потока Φ_ρ отражается от тела, часть Φ_α поглощается, часть Φ_τ проходит сквозь тело и распространяется дальше. Назовем коэффициентом отражения тела отношение потока световой энергии Φ_ρ, отраженного данным телом, к потоку Φ_0, упавшему на него:

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi_0}.$$

Аналогично введем коэффициенты поглощения α и пропускания τ:

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi_0}, \tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi_0}.$$

На основании закона сохранении энергии запишем:

$$\Phi_0 = \Phi_\rho + \Phi_\tau + \Phi_\alpha.$$

Разделив обе части этого равенства на Φ_0, получим:

$$1 = \frac{\Phi_\rho}{\Phi_0} + \frac{\Phi_\alpha}{\Phi_0} + \frac{\Phi_\tau}{\Phi_0},$$

откуда $\rho + \alpha + \tau = 1$.

Коэффициенты ρ, α и τ являются безразмерными величинами и выражаются обычно в процентах от 0 до 100%.

Пропускание света слоем вещества определенной толщины иногда характеризуется оптической плотностью этого слоя Д. Оптической плотностью слоя вещества называют десятичный логарифм величины, обратной коэффициенту пропускания слоя:

$$Д = \lg\frac{1}{\tau}.$$

Если слой полностью пропускает свет, то $\tau = 1$, а $Д = 0$.

При стремлении τ к нулю Д стремится к бесконечности.

Оптическая плотность слоя вещества зависит не только от свойств самого вещества, но и от толщины слоя. Для характеристики поглощения света самим веществом вводят линейный коэффициент поглощения μ.

Пусть на слой вещества толщиной l падает поток световой энергии Φ_0. Опыт показывает, что изменение потока в тонком слое dl пропорционально толщине этого слоя и величине потока:

$$d\Phi_Э = -\mu\Phi_Э dl, \qquad (1)$$

где μ – постоянная, зависящая только от свойств вещества, называемая линейным коэффициентом поглощения.

Найдем величину потока световой энергии Φ_τ прошедшего слой вещества толщиной l. Проинтегрируем (1), предварительно разделив переменные:

$$\int_{\Phi_0}^{\Phi_\tau} \frac{d\Phi_Э}{\Phi_Э} = -\mu \int_0^l dl.$$

В результате получим:

$$ln\Phi_\tau - ln\Phi_0 = -\mu l, \qquad (2)$$

откуда

$$\Phi_\tau = \Phi_0 e^{-\mu l}. \qquad (3)$$

Последнее соотношение носит название закона Бугера-Ламберта. При толщине слоя $l' = \frac{1}{\mu}$ получим $\frac{\Phi_0}{\Phi_\tau} = l$.

Таким образом, линейный коэффициент поглощения μ есть величина, обратная толщине слоя l, при прохождении которого поток световой энергии убывает в e раз (e=2,718). Линейный коэффициент поглощения выражается в $м^{-1}$ или в $см^{-1}$ в зависимости от того, в каких единицах измеряется толщина слоя l.

Установим связь между линейным коэффициентом поглощения вещества и оптической плотностью слоя этого вещества толщины l. Из определения оптической плотности следует:

$$Д = \lg\frac{1}{\tau} = \lg\frac{\Phi_0}{\Phi_\tau}.$$

Используя выражение (2), имеем:

$$\mu = \frac{ln\frac{\Phi_0}{\Phi_\tau}}{l} = \frac{2{,}3\lg\frac{\Phi_0}{\Phi_\tau}}{l}.$$

Подставив значение оптической плотности, получим окончательно:

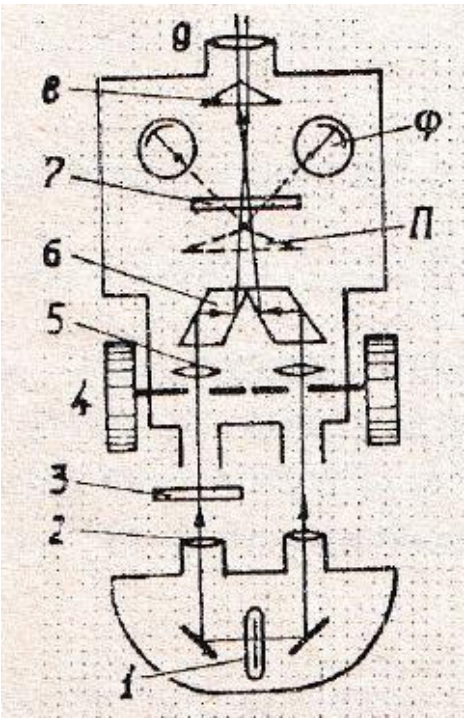
$$\mu = \frac{2{,}3Д}{l} \text{ или } Д = \frac{\mu l}{2{,}3}$$

Все рассмотренные выше коэффициенты являются функциями длины волны света. Эта зависимость и является причиной различной окрашенности тел. У окрашенных тел (в частности, растворов красок) существуют широкие полосы поглощения, т.е. участки спектра, для которых коэффициент поглощения имеет значительную величину. Другие участки спектра пропускаются телом свободно.

В данной работе требуется найти, в каких областях спектра (интервалах длин волн) окрашенный раствор или стекло сильно поглощает свет, а в каких пропускает хорошо.

ПРОИЗВОДСТВО ИЗМЕРЕНИЙ

Для измерения зависимости линейного коэффициента поглощения вещества от длины волны в данной работе используется фотометр.



1 – лампа осветителя;

2 – конденсорная линза;

3 – исследуемое вещество;

4 – измерительный барабан, регулирующий величину отверстия раздвижной диафрагмы;

5 – объектив;

6 – ромбическая призма;

7 – сменный светофильтр;

8 – бипризма;

9 – окуляр;

Ф – фотоэлементы; П – призма (используются при фотоэлектрическом способе измерений).

Рис. 1. Оптическая схема фотометра

Фотометр имеет осветитель 1, который дает два совершенно одинаковых отвесных пучка. Пучки света проходят через две одинаковые пластины 3, одна из которых является бесцветной (на рисунке не изображена), т.е. не поглощает света, а другая является цветной, т.е. поглощает свет в определенном спектральном диапазоне, в зависимости от цвета пластинки. Интенсивность пучков уравнивается перемещением конденсаторных линз 2 и матовых рассеивателей до установки пластин.

Пройдя пластины, световые пучки падают на измерительные диафрагмы 4. Степень раскрытия диафрагм регулируется барабанами. Диафрагмы служат для сравнения световых потоков (пропорциональным потокам световой энергии), один из которых - Φ_τ проходит через

поглощающую пластину, а другой - Φ_0 через бесцветную не поглощающую пластину.

С помощью системы призм 6, 8 пучки света направляются в окуляр 9, причем пучок, прошедший левую пластину, попадает в правую часть поля зрения, и наоборот, правый пучок – в левую часть поля зрения.

Так как в цветной пластине свет частично поглощается, половинки поля зрения имеют различную яркость. Яркость половинок можно уравнять, прикрывая диафрагму с той стороны, с которой находится бесцветная пластина. При этом световой поток уменьшается пропорционально площади диафрагмы. При равенстве яркостей половинок поля зрения площади диафрагм обратно пропорциональны световым потокам, прошедшим через пластины.

1 – конденсорные линзы осветителя;
2 – поворотное зеркало;
3 – предметный столик;
4 – измерительные барабаны;
5 – отсчетные лупы;
6 – окуляр;
7 – выдвижная лупа;
8 – переключатель светофильтров;
9 – рычажок для включения отклоняющей призмы;
10 – регулятор чувствительности электрической схемы;
11 – регулятор для установки «электрического нуля».

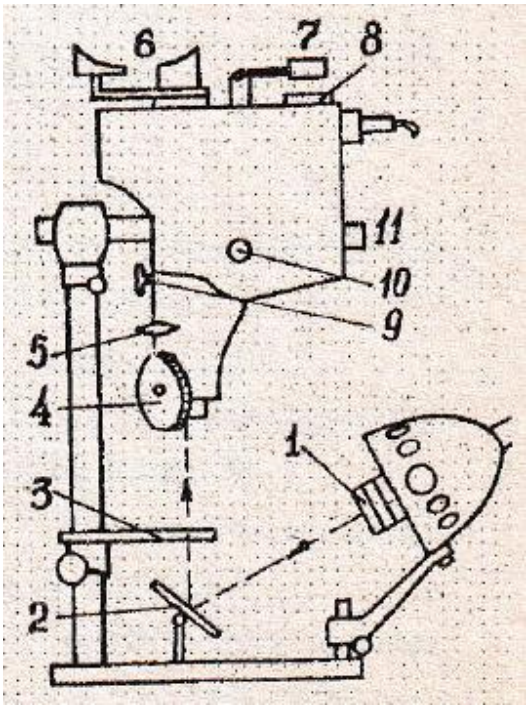


Рис.2. Внешний вид фотометра

На барабанах, регулирующих раскрытие диафрагм, нанесено по две шкалы: черная, указывающая коэффициент светопропускания τ в процентах, и красная, соответствующая оптической плотности Д измеряемого образца.

Чтобы определить зависимость коэффициента светопропускания или других коэффициентов от длины световой волны, в приборе имеется револьверный диск со светофильтрами 7.

Каждый светофильтр выделяет из сплошного спектра источника (лампа накаливания) определенный спектральный интервал, которому соответствует эффективная длина волны $\lambda_{эфф}$.

Эффективной длиной волны светофильтра называется длина волны строго монохроматического излучения, которое производит такое же действие, как спектральный интервал (совокупность), пропущенный данным фильтром.

Эффективные длины волн, соответствующие определенным номерам светофильтров, приведены в таблице 1.

Таблица 1

№	Цвет	$\lambda_{эфф}$, нм
1	Красный	726
2	Красный	665
3	Оранжевый	619
4	Желто-зеленый	574
5	Зеленый	533
6	Голубой	496
7	Синий	465
8	Фиолетовый	432

В работе требуется определить зависимость линейного коэффициента поглощения μ цветного стекла от длины волны.

Для этого:

1. Вращением револьверного диска в ход лучей включают светофильтр № 1.

2. В правый пучок света помещают цветное стекло, а в левый – бесцветное стекло.
3. Правый барабан устанавливают на нуль по шкале оптических плотностей (красная шкала – Д) или на 100% по шкале пропусканий (черная шкала - τ).
4. Включают осветитель и вращением левого барабана уравнивают яркости половин поля зрения.
5. Снимают отсчет по красной шкале $Д'_{\lambda_1}$ и для контроля по черной τ'_{λ_1}.
6. Затем стекла меняют местами и повторяют измерения, причем левый барабан устанавливают на нуль, а отсчеты снимают по правому барабану. Определяют $Д''_{\lambda_1}$ (и τ''_{λ_1}).

Из двух значений $Д'_{\lambda_1}$ и $Д''_{\lambda_1}$ находят среднее, и по формуле $\mu = \frac{2{,}3Д}{l}$ находят μ_{λ_1} для первого фильтра. Здесь l – толщина стекла, которая указана на стенде.

Аналогично для фильтра 2, 3, …, 8 находят значения $\mu_{\lambda_2}, \mu_{\lambda_3}, \dots, \mu_{\lambda_8}$.

Результаты сводят в табл. 2.

Таблица 2

№ фильтра	$\lambda_{эфф}$	$Д'_{\lambda}$	τ'_{λ} %	$Д''_{\lambda}$	τ''_{λ} %	$Д'_{\lambda ср}$	l	μ_{λ}

По полученным данным строят график зависимости μ от λ. По горизонтальной оси откладывают λ от 400 до 750 нм через каждые 50 нм, по вертикальной – μ в м$^{-1}$. Полученный график является кривой спектра поглощения данного стекла.

Таким образом, поглощение света связано с электропроводностью вещества и имеет селективный (избирательный) характер, то есть различимо для разных длин волн.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют коэффициентами светопропускания и поглощения? От чего они зависят?
2. Как объясняется поглощение света прозрачными телами?
3. Почему диэлектрики прозрачны, а металлы непрозрачны?
4. Почему мел и снег имеют белый цвет?
5. Вывести формулу Бугера-Ламберта.
6. Что называется эффективной длиной волны светофильтра?
7. Определить размерность линейного коэффициента поглощения.
8. Изобразить графически зависимость линейного коэффициента поглощения от толщины слоя вещества; от интенсивности падающего излучения.
9. Начертить ход лучей в фотометре.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М: Высшая школа, 1990. – С. 479.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. М. 1978. Т.3. – С. 480.

ИЗУЧЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА В ЖИДКОСТЯХ И ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

Методические указания
к лабораторной работе 5
по курсу «Физика»
для студентов всех направлений

Составили: КЛИНАЕВ Юрий Васильевич
РАЗУКОВ Вадим Алексеевич
ЭЛЬКИН Павел Михайлович

Рецензент: Е.Р. Кожанова