

## Работа 9

### РАССЕЯНИЕ СВЕТА В МУТНОЙ СРЕДЕ

**Цель работы:** наблюдение явления рассеяния света в мутной среде; определение коэффициента экстинкции (ослабления) света в мутной среде.

#### Введение

Электромагнитные волны и, в частности, свет, проходя через материальную среду, возбуждают колебания электронов среды. В результате колебаний электроны излучают вторичные волны. Если среда является однородной, то вследствие интерференции вторичных волн, интенсивность проходящего света будет отлична от нуля лишь в направлении падающей световой волны, рассеяние не наблюдается. Если же в среде имеются мелкие неоднородности, то дифракция волн на неоднородностях приводит к значительному рассеянию света. Такую среду называют мутной (например, пар, пыль, дым в воздухе; коллоидные частицы в жидкости; мельчайшие твердые тела внутри прозрачных тел (перламутр, молочные стекла)).

Электроны, совершающие колебания под действием электрического поля световой волны, часть своей энергии передают атомам среды. При этом среда нагревается, а энергия световых волн уменьшается. Такой процесс называют поглощением света.

За счет рассеяния и поглощения энергия падающей световой волны по мере прохождения ее через вещество убывает.

Пусть интенсивность света в точке  $x$  рассеивающей среды равна  $I(x)$ . Если на каждом малом участке среды  $\Delta x$  теряется одна и та же доля энергии проходящего света, пропорциональная интервалу  $\Delta x$  с коэффициентом пропорциональности  $\kappa$ , то

$$\frac{I(x) - I(x + \Delta x)}{I(x)} = \kappa \cdot \Delta x. \quad (9.1)$$

Переходя в равенстве (9.1) к пределу при  $\Delta x \rightarrow 0$ , получаем уравнение

$$\frac{dI}{dx} = -\kappa \cdot I. \quad (9.2)$$

Решением уравнения (9.2) является функция

$$I(x) = I(x_1) e^{-\kappa(x-x_1)}. \quad (9.3)$$

Формула (9.3) выражает закон экстинкции (ослабления) света при распространении в мутной среде – закон Бугера. Здесь  $I(x)$  – интенсивность света, прошедшего слой вещества толщиной  $x$ , в частности  $I(x_1)$  – интенсивность света на глубине  $x_1$ ;  $e = 2,7183$

– основание натурального логарифма;  $\kappa$  – коэффициент экстинкции (ослабления) света, представляющий собой сумму коэффициента поглощения света и коэффициента ослабления света, обусловленного рассеянием.

При  $x_1 = 0$  из (9.3) получаем

$$I(x) = I_0 e^{-\kappa x}, \quad (9.4)$$

где  $I_0$  - интенсивность света, падающего на поглощающий слой (рис.9.1).

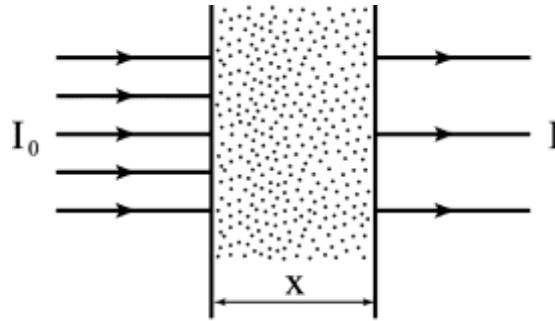


Рис. 9.1

Из двух процессов ослабления света (поглощение и рассеяние) в мутной среде в нашем эксперименте преобладает процесс рассеяния. Если размеры неоднородностей среды малы по сравнению с длиной световой волны  $\lambda$ , то интенсивность рассеянного света  $I_p$  оказывается обратно пропорциональной 4-й степени длины волны:

$$I_p \sim 1/\lambda^4. \quad (9.5)$$

Это соотношение называется законом Рэлея. Интенсивность рассеянного света тем больше, чем меньше длина волны. Так, фиолетовый и голубой свет рассеивается сильнее, чем красный и желтый. Этим объясняется голубоватая окраска сосудов с мутной средой при освещении их белым светом, а также голубой цвет неба.

Рассеянный мутной средой свет является поляризованным (см. введение к работе 4 «Поляризация света»). В направлении, перпендикулярном к падающему пучку, рассеянный свет поляризован полностью (направление колебаний вектора  $\vec{E}$  во вторичной волне и направление колебаний электронов, излучающих эти волны под действием падающего света, лежат в одной плоскости, перпендикулярной к падающему пучку), в других направлениях свет поляризован частично.

### Методика выполнения эксперимента

В качестве рассеивающей мутной среды применяется водная взвесь частиц мела.

Схема установки приведена на рис. 9.2. Свет от лазера, пройдя через поворотную призму ПП, падает на прозрачное дно сосуда с мутной средой МС. Над сосудом установлен фотоэлемент ФЭ, подключенный к микроамперметру.

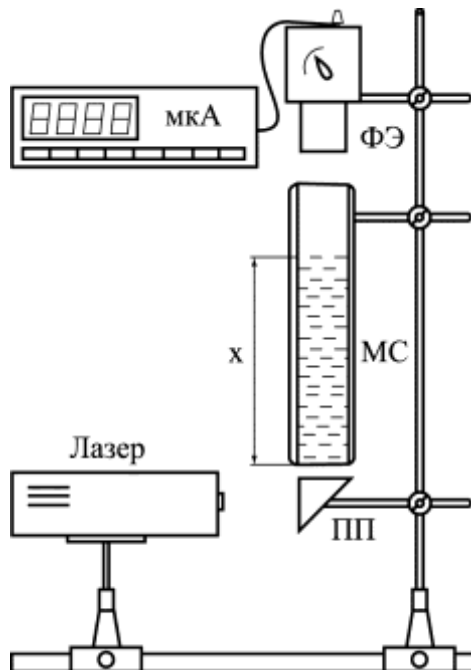


Рис. 9.2

В эксперименте измеряется зависимость величины фототока  $i$  от высоты столба жидкости  $x$  в сосуде. Так как величина фототока  $i$  пропорциональна интенсивности света  $I$ , прошедшего через среду:  $i \sim I$ , то из соотношения (9.4) следует:

$$i = i_0 e^{-\kappa x}, \quad (9.6)$$

где  $i_0$  – показание микроамперметра при прохождении света через пустой сосуд (при  $x=0$ ).

Высоту столба мутной среды  $x_0$ , при которой сила фототока уменьшается в  $e$  раз, можно назвать характерной длиной рассеяния.

$$x_0 = 1/\kappa. \quad (9.7)$$

Для того чтобы убедиться, что фототок с увеличением  $x$  действительно уменьшается по экспоненциальному закону, нужно построить график зависимости  $\ln(i/i_0)$  от  $x$ . Из формулы (9.3) и (9.5) следует, что

$$\ln(i/i_0) = -\kappa x. \quad (9.8)$$

Таким образом, если экспериментальный график зависимости  $\ln(i/i_0)$  оказывается линейным (рис. 9.3), то выражение (9.6) справедливо. Это является также проверкой справедливости закона Бугера (9.3).

Из выражения (9.8) получаем

$$k = \frac{|\Delta \ln(i/i_0)|}{\Delta x} = \frac{|\ln(i'/i_0) - \ln(i''/i_0)|}{x' - x''}, \quad (9.9)$$

т.е. величина  $k$  пропорциональна тангенсу угла  $\alpha$  (см. рис. 9.3), а коэффициент пропорциональности зависит от масштаба. Следовательно, коэффициент поглощения света может быть найден графически по экспериментальной зависимости  $\ln(i/i_0)$  от  $x$ .

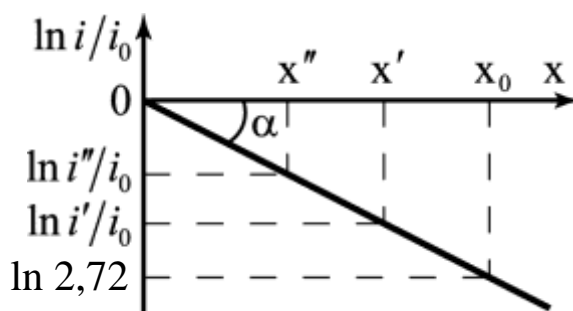


Рис. 9.3

### Порядок проведения эксперимента

**Задание 1.** Измерение кривой ослабления света.

1. Измерьте силу фототока  $i_0$  при прохождении света через пустую колбу ( $x = 0$ ).

Значение  $i_0$  запишите в табл. 9.1. Оцените погрешность  $\Delta i_0$ .

2. Встряхните сосуд с мутной средой. Осторожно доливая по 1 см в колбу раствор из сосуда, снимите зависимость величины фототока  $i$  от толщины слоя раствора  $x$ .

Значения запишите в табл. 9.1.

**Задание 2.** Обработка результатов эксперимента.

1. Рассчитайте  $i/i_0$  и  $\ln i/i_0$  для всех значений  $x$ . Оцените погрешности  $\Delta(i/i_0)$  и  $\Delta(\ln i/i_0)$ .

2. Постройте графики зависимости  $i(x)$  и  $\ln i/i_0(x)$ . Сравните полученный график для  $\ln i/i_0(x)$  с графиком представленным на рис. 9.3. Сделайте вывод о справедливости закона Бугера.

3. По графику функции  $i(x)$  определите толщину слоя  $x_0$ , при котором свет ослабляется в  $e$  раз ( $e = 2,72$ ).

4. Используя график зависимости  $\ln i/i_0(x)$  и формулу (9.9), рассчитайте коэффициент экстинкции  $\kappa$  и характерную длину ослабления  $x_0$ . Сравните величину  $x_0$  с величиной, полученной в п.3.

5. Оцените относительную погрешность величины  $\kappa$ , учитывая, что относительные погрешности  $\kappa$  и  $x$  одинаковы. При этом в качестве абсолютной погрешности  $\Delta x$  примите приборную погрешность измерения толщины  $x$ .

Таблица 9.1

$x, \text{ см}$	0	1	2	3	4	5	6	7	
$i, \text{ мкА}$									
$i/i_0$	1								
$\ln i/i_0$	0								

### Контрольные вопросы

1. Какие процессы приводят к ослаблению светового пучка при его распространении в среде?
2. Как зависит интенсивность света в пучке от толщины слоя вещества, через который прошел этот пучок?
3. Предложите способ измерения толщины рассеивающего слоя, не прибегая к геометрическим измерениям.
4. Как изменится график на рис. 9.3, если цвет лазерного луча изменится на синий?
5. Объясните, почему белый свет, пройдя через колбу с мутной средой, приобретает желтый оттенок, а при боковом рассмотрении цвет колбы имеет голубоватый оттенок?
6. Почему окраска неба при закате солнца имеет красный оттенок?
7. Как объяснить, что облака белые, а чистое небо – голубое?