

А. А. ИЛЬИНА и Г. В. РОЗЕНБЕРГ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ОКРАШЕННЫХ МУТНЫХ СРЕД

(Представлено академиком Г. С. Ландсбергом 16 IV 1954)

В работе ⁽¹⁾ было показано, что отражательная способность окрашенной мутной среды, заполняющей бесконечное полупространство, выражается приблизительно следующей формулой:

$$\frac{R_0}{R} \approx \frac{(1 + \beta)^2}{1 + \beta/Q}, \quad (1)$$

где $\beta = \alpha/\sigma$, α — объемный показатель поглощения, σ — объемный показатель рассеяния, R — коэффициент отражения данной окрашенной мутной среды, R_0 — то же в отсутствие окрашивающего вещества ($\beta = 0$) и Q — некоторая постоянная, учитывающая роль кратного рассеяния в исходной мутной среде, зависящая от ее природы и от угла падения луча и угла наблюдения.

Для того чтобы выяснить, в какой мере полученное соотношение (1) передает действительные свойства мутных сред, были проделаны опыты с разнообразными полидисперсными средами (смеси порошков, молоко, резина, парафин и др.), у которых средний размер частиц (или неоднородностей) велик по сравнению с λ . Эти среды окрашивались красителями (метиленовая синяя, кристалл-виолет) или пигментами (черная и красная тушь, сажа, ультрамарин).

Коэффициенты отражения измерялись при помощи фотометра ФМ-1 относительно образца MgO обычным методом в разных спектральных участках. Кюветы были достаточно велики, чтобы имитировать бесконечное полупространство. Наблюдение велось по нормали к поверхности образца, освещение — под углом 45° , так что зеркально отраженный свет не попадал в прибор.

1 случай. Мутная среда состоит из двух компонент — одна из них рассеивает свет ($\sigma_1 \neq 0$), не поглощая его ($\alpha_1 = 0$) (например, молоко), другая поглощает ($\alpha_2 \neq 0$), не рассеивая ($\sigma_2 = 0$) (введенные растворы красок — метиленовой синей, кристалл-виолет и туши).

В этом случае $\beta = \frac{\alpha}{\sigma} = \frac{\alpha_2}{\sigma_1} \frac{c_2}{c_1}$ и основная формула приобретает вид:

$$\frac{R_0}{R} = \frac{\left(1 + \frac{\alpha_2}{\sigma_1} \frac{c_2}{c_1}\right)^2}{1 + \frac{1}{Q} \frac{\alpha_2}{\sigma_1} \frac{c_2}{c_1}}. \quad (2)$$

Как видно из рис. 1, на котором приведены примеры экспериментально полученных кривых $R_0/R = f(c_2)$, все кривые подобны друг другу и имеют тот же характер, что и теоретическая кривая, вычисленная для значений $Q = 2,3$ и $\alpha_2/\sigma_1 = 0,32$. Вследствие того, что $c_2 \ll c_1$ и σ_1 — одно и то же, согласно (3): $\beta = \gamma c_2$. Поэтому надлежа-

щим подбором множителя γ все кривые могут быть приведены к одной и той же кривой. Такие множители были найдены для всех

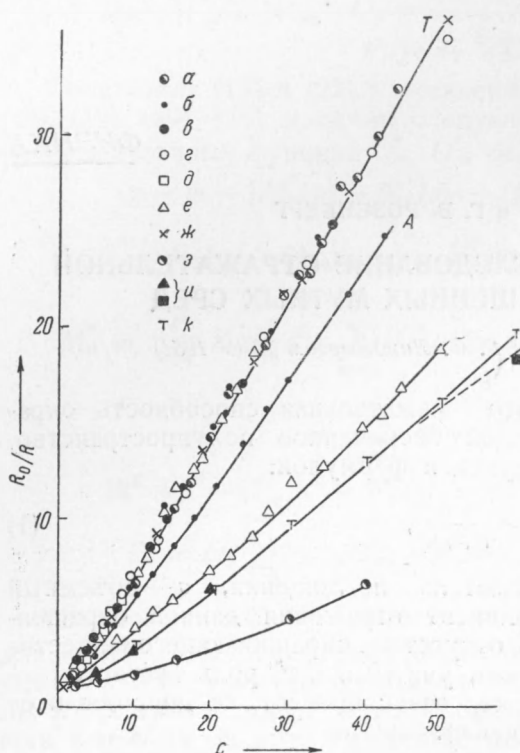


Рис. 1. Зависимость обратных коэффициентов отражения R_0/R мутной среды, окрашенной нерассеивающимися красителями, от относительных концентраций последних. А — молоко + черная тушь, синий светофильтр; В — порошковое молоко + кристалл-виолет, зеленый фильтр; Т — теоретическая кривая, вычисленная по формуле (1) для $\gamma = 0,32$, $Q = 2,3$. Экспериментальные точки — значения R_0/R из разных опытов, приведенные к теоретической кривой путем умножения значений концентрации c_2/c_1 введенных красителей на множитель $\gamma/0,32$: а — молоко + черная тушь, зеленый фильтр, $\gamma = 0,077$; б — то же в синем фильтре, $\gamma = 0,062$; в — молоко + красная тушь, зеленый фильтр, $\gamma = 0,145$; г — молоко + метиленовая синяя, красный фильтр, $\gamma = 0,32$; д — то же в зеленом фильтре, $\gamma = 0,053$; е — кристалл-виолет, тот же фильтр, $\gamma = 0,040$; ж — теоретические значения; з — парафин, окрашенный смолой; и — парафин + озокерит; к — теоретическая кривая для $Q = 4$ и $\gamma = 0,5$

экспериментальных данных, и все точки хорошо совпали с теоретической кривой, что и показано на рис. 1. Оказалось также, что Q остается одним и тем же, независимо от характера молока и степени его разбавления. Некоторые отклонения от формулы (2) имеют место для $\beta < 1 \div 2$ в случае пигментов (красная и черная тушь).

Для $\beta \gg 1$ ($\beta \gg 5$) соотношение (1) можно упростить: $R_0/R \cong Q\beta$ и для относительно больших концентраций растворимых красителей $R_0/R = \gamma c$, т. е. обратные коэффициенты отражения линейно связаны с концентрацией красителя.

Опыты с окрашиванием парафина смолами дали кривые $R_0/R = f(c)$ того же характера (см. рис. 1, з, и, к), что и в случае молока, однако Q здесь оказалось другим ($Q = 4$), что, очевидно, связано с различиями в форме индикатрисы рассеяния. (Необходимо отметить, что согласие с теорией получилось лишь для опытов с парафиновыми блоками, имеющими зеркальную поверхность, где отраженный от поверхности луч не попадал в прибор.)

II случай. Смесь двух рассеивающих сред, одна из которых обладает и поглощением. Для опыта были взяты: порошок MgO ($\sigma_1 \neq 0$, $\alpha_1 = 0$) и ультрамарин или сажа ($\sigma_2 \neq 0$, $\alpha_2 \neq 0$). В этом случае кривые R_0/R имеют другой характер (рис. 2, а, б, в): при $c_2/c_1 \rightarrow \infty$ R_0/R стремится к некоторому конечному значению. Это обусловлено тем, что для такой смеси мы имеем $\alpha = \alpha_2 c_2$, $\sigma = \sigma_1 c_1 +$

$+\sigma_2 c_2$ и, следовательно, $\beta = \frac{\alpha_2/\sigma_1}{\sigma_2/\sigma_1 + c_1/c_2}$, или, пользуясь введенными в (1) обозначениями: $\alpha_2/\sigma_1 = g$; $\sigma_2/\sigma_1 = h$, получим:

$$\frac{R_0}{R} = \frac{\left(1 + \frac{g}{h + c_1/c_2}\right)^2}{1 + \frac{1}{Q} \frac{g}{h + c_1/c_2}}. \quad (3)$$

В этом случае теория и опыт вполне совпадают, причем и в случае порошков константа Q остается той же, что и в случае опытов с молоком ($Q = 2,3$).

В ряде случаев, например для аналитических целей, нужно иметь кривые зависимости R_0/R от c_2/c_1 во всем интервале концентраций от $c_2/c_1 = 0$ до $c_1/c_2 = 0$. Для построения таких кривых удобно пользоваться графиком, на котором по оси абсцисс откладывается значение c_2/c_1 в интервале $0 \leq c_2/c_1 \leq 1$ и, далее, значения c_1/c_2 в интервале значения $0 \leq c_1/c_2 \leq 1$. На рис. 3 приведена построенная таким образом теоретическая кривая, на которой хорошо укладываются экспериментальные значения*. В случае этих измерений разные кривые также могут «приводиться» друг к другу преобразованием относительных концентраций: $c_1/c_2 = a(c_1/c_2) + b$, где коэффициенты a и b определяются через относительные показатели поглощения и рассеяния

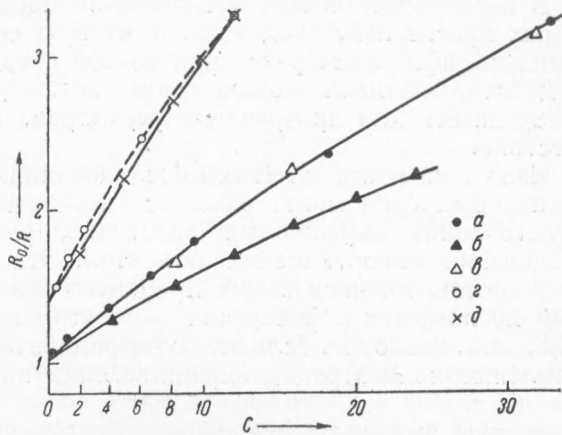


Рис. 2. Опыты с порошками: a — MgO + ультрамарин, желтый фильтр; b — MgO + сажа; g — то же с другим светофильтром; z — резина, окрашенная введением ультрамарина (коэффициенты R измерялись относительно MgO); d — теоретические значения (см. текст)

(штрихованные величины относятся к приводимой кривой). (Надо отметить, что при отыскании значений g и h необходимо особенно точно определять R_0/R для $c_1 = 0$.)

III случай. Смесь двух компонент, в которой ни одна из величин α_1 , α_2 , σ_1 , σ_2 не равна нулю. Такой пример мы имели в случае вулканизированной белой резины, окрашиваемой введением ультрамарина (до вулканизации).

В этом случае зависимость β от концентрации выражается формулой:

$$\beta = \frac{g \frac{c_2}{c_1} + j}{h \frac{c_2}{c_1} + 1}, \quad (4)$$

где $j = \alpha_1/\sigma_1$ — отношение показателя поглощения к показателю рассеяния основной массы (до введения второй компоненты).

На рис. 2 приведена зависимость R_0/R от c_2/c_1 для резины. Для исключения диффузного отражения от поверхности образцов послед-

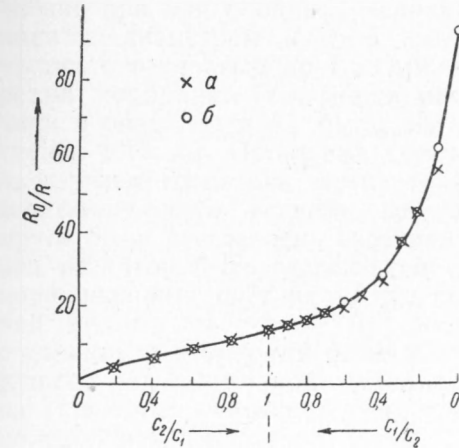


Рис. 3. Кривая зависимости R_0/R от c_2/c_1 для смеси порошков MgO + сажа. a — измеренные значения, b — теоретические

* Можно показать, что при этом не только R_0/R , но и первая производная этой функции в точке $c_1 = c_2$ не будут иметь разрыва, т. е. кривая будет иметь во всем интервале концентраций плавный ход.

ние смазывались вазелиновым маслом и плотно прижимались стеклом. Из эксперимента были найдены константы $j = 0,26$, $g = 9,23$ и $h = 0,623$; теоретическая кривая, построенная по ним, приведенная на том же рисунке, хорошо соответствует экспериментальным значениям.

В нескольких опытах мы сравнили показатели поглощения растворимых красителей, введенных в мутную среду, найденные из определения коэффициента рассеяния взятой среды и измерений $R_0/R = f(c)$, с действительными показателями поглощения тех же красителей, измеренными для прозрачных растворов, и получили хорошее соответствие.

Изложенные выше методы исследования отражательной способности дисперсных сред могут оказаться полезными как в ряде производств (изготовление окрашенных пластмасс, резин и т. д.), так и при исследовании биологических объектов. Эти методы дают возможность с точностью до нескольких процентов раздельно определять показатели поглощения и рассеяния веществ, находящихся в дисперсной фазе, или, наоборот, если эти коэффициенты известны, находить относительные концентрации окрашивающих или рассеивающих компонент смеси.

Авторы выражают искреннюю благодарность научному руководителю лаборатории проф. Э. В. Шпольскому за неизменный интерес к работе и ценные советы и замечания.

Московский государственный
педагогический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
7 XI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. В. Розенберг, ДАН, 98, № 2 (1954).