

Следует полагать, что своеобразные свойства этого нового источника света найдут себе многочисленные и важные применения, далеко выходящие за рамки, намеченные авторами статьи.

Г. Р.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛАТЕКСА С ОДНОРОДНЫМИ ПО РАЗМЕРАМ ЧАСТИЦАМИ

Некоторое время назад мы уже сообщали читателям нашего журнала об изготовлении латекса с однородными по размерам сферическими частицами¹. Тогда же мы указали, что, помимо предложенного авторами использования частиц латекса в качестве масштабных шариков для электронной микроскопии, это открывает интересные возможности в области исследования рассеяния света. Напомним, что донныне, по существу, теория Ми не была подвергнута количественной экспериментальной проверке именно ввиду невозможности получения монодисперсных коллоидов. С тех пор появился ряд работ, посвящённых изучению оптических свойств монодисперсных латексов. Наибольший интерес среди них представляет реферируемая работа², в которой авторы подвергли всестороннему исследованию латексы, диаметры частиц которых менялись от 0,1 до 1 μ .

Латекс представляет собой взвесь частичек полистирена или поливинилтолуола в воде. При высушивании небольшого количества латекса на поверхности стекла он образует плёнку (толщиной 3—4 мм), с поверхности которой может быть снята реплика, подвергаемая затем электронно-микроскопическому исследованию. Последнее показывает прежде всего исключительную однородность частиц по размерам.

В таблице I приведены результаты измерений размеров и стандартного отклонения от среднего размера для серии латексов (обозначенных латинскими буквами).

Таблица I

Латекс	Диаметр частиц в μ	Стандартное отклонение от среднего в μ	Число измерений	Латекс	Диаметр частиц в μ	Стандартное отклонение от среднего в μ	Число измерений
A	165	4	235	H	470	5	29
B	170	8	111	I	481	16	75
C	276	6	66	J	595	7	20
D	308	6	27	K	770	11	21
E	323	16	73	L	825	69	39
F	332	11	51	M	935	61	14
G	458	30	30	N	986	16	21

Измерения производились путём сравнения с репликой дифракционной решётки (30 000 штрихов на дюйм). Абсолютная ошибка в измерении диаметра частиц, связанная с инструментальными погрешностями, составляет около 5%. Стандартные отклонения обусловлены не только технологическими причинами, действующими при изготовлении латекса, но и

абберациями электронно-оптической системы. Таким образом, мы действительно встречаемся здесь с исключительными по монодисперсности коллоидальными системами. Далее, как показывают электронные микрофотографии, при высушивании частицы латекса образуют кристаллообразную решётку с плотной упаковкой. Если плёнку латекса подвергнуть нагреванию, то происходит процесс спекания и «кристаллическая» гранулированная плёнка постепенно превращается в сплошную.

Любопытно отметить, что «кристаллическая» плёнка распадается на большое количество кристаллизационных доменов с различным образом ориентированной «кристаллической» решёткой.

Показатель преломления поливинилтолуола равен (для D -линии натрия) 1,583, т. е. мало отличается от воды. Его плотность $\rho = 1,030$. Ввиду малости различия в показателях преломления для зависимости показателя преломления латекса от его концентрации c должна быть верна формула

$$\frac{dn}{dc} = (n_{\text{част}} - n_{\text{воды}})/\rho_{\text{част}} = 0,243. \text{ Измерения приводят к значению } 0,241.$$

Угловая зависимость интенсивности рассеяния в этом случае (для малых D) определяется известным соотношением

$$I \sim f^2(q) = \left[\frac{3}{q^3} (\sin q - q \cos q) \right]^2,$$

где

$$q = \frac{2\pi D}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2},$$

θ — угол рассеяния, D — диаметр частиц и λ — длина волны в воде.

Если $\frac{D}{\lambda} \ll 1$, то дисимметрия рассеяния

$$\frac{I_{\theta}}{I_{180^\circ - \theta}} = 1 + \frac{(2\pi)^2}{5} \frac{D^2}{\lambda^2} \cos \theta.$$

Дисимметрия рассеяния измерялась на сильно разбавленных латексах (разбавление велось до тех пор, пока не исчезала зависимость диссимметрии от концентрации латекса). Результаты измерений для образца А (см. табл. I) приведены в таблице II. Измерения велись в свете зеленой линии ртути (546 $m\mu$).

Т а б л и ц а II

Угол рассеяния θ (в градусах)	Дисимметрия $I_{\theta}/I_{180^\circ - \theta}$	D/λ	Угол рассеяния θ (в градусах)	Дисимметрия $I_{\theta}/I_{180^\circ - \theta}$	D/λ
40	2,83	0,395	60	1,97	0,395
45	2,67	0,405	70	1,64	0,405
50	2,43	0,398	80	1,26	0,390

Поскольку для воды $\lambda = 410 m\mu$, постольку средний диаметр частиц из этих измерений получается 164 $m\mu$ в превосходном согласии с данными таблицы I. Для латексов В и С соответствующие измерения привели к значениям 172 и 272 $m\mu$.

Такие плёнки высушенного латекса обнаруживают резко выраженную направленность рассеяния. В таблице III приведены значения θ , соответствующие первому максимуму рассеяния для различных латексов и длин волн (в воздухе), и вычисленные при их помощи диаметры частиц.

Таблица III

Латекс	$\lambda = 436 \text{ м}\mu$		$\lambda = 546 \text{ м}\mu$	
	$\theta^\circ_{\text{макс}}$	D в $\text{м}\mu$	$\theta^\circ_{\text{макс}}$	D в $\text{м}\mu$
<i>J</i>	52,2	603	—	—
<i>K</i>	39,1	790	50,1	803
<i>L</i>	35,2	861	46,2	864
<i>M</i>	33,1	910	43,0	912
<i>N</i>	30,2	(986)	39,4	(986)

Размеры частиц определялись по формуле

$$\sin \theta_{\text{макс}} = m \frac{\lambda}{D},$$

где значение $m = 1,14$ было найдено из данных для латекса *N* с использованием значения D , приведённого в таблице I. Относительная ошибка определения D оценивается авторами около 1,5%, т. е. абсолютная ошибка составляет около 15 $\text{м}\mu$. Этот метод применим, если $D \gtrsim 490 \text{ м}\mu$.

Авторы отмечают отличие значения m от получаемого для дифракции от щели и от круглого отверстия. Отметим также, что интенсивность рассеяния не обращается в нуль ни при каких углах. Авторы объясняют это взаимодействием частиц. Очевидно, это обстоятельство нуждается в более подробном изучении.

Весьма интересны наблюдения авторов, относящиеся к дифракции на кристаллической структуре высушенной плёнки латекса. Измерялось положение $\theta_{\text{макс}}$ максимума рассеяния слоем в функции угла падения, освещающего слой пучка $\left(\frac{\pi}{2} - \delta; \delta - \text{угол скольжения}\right)$. Оказалось, что для

всех латексов, для которых существует $\theta_{\text{макс}}$, имеет место линейная зависимость $\theta_{\text{макс}}$ от δ . В таблице IV сведены значения $\theta_{\text{макс}}$, экстраполированные к $\delta = 0$, для латекса *F* и различных λ .

Таблица IV

λ в $\text{м}\mu$	$\theta_{\text{макс}}$	D в $\text{м}\mu$
436	117,5	347
546	141,3	355
578	151,6	356

В таблице V сведены значения $\theta_{\text{макс}}$, экстраполированные к $\delta = 0$ для различных латексов и $\lambda = 436$ мμ.

Таблица V

Латекс	$\theta_{\text{макс}}^{\circ}$	D в мμ
<i>D</i>	134,6	298
<i>E</i>	126,3	320
<i>F</i>	117,5	347
<i>G</i>	94,6	472
<i>H</i>	95,1	468
<i>I</i>	92,8	487

В этих же таблицах указаны значения D , вычисленные из измерения $\theta_{\text{макс}}$. Размеры частиц определялись следующим образом. Допустим, что у нас имеется двумерная кристаллическая структура из плотно упакованных шаров диаметром D . Расстояние между соседними рядами шаров

$d = \frac{\sqrt{3}}{2} D$. Тогда мы имеем двумерную диффракционную решётку, и условие максимума может быть записано в виде

$$\frac{m\lambda}{d} = \cos \delta - \cos (\theta - \delta),$$

где m — порядок спектра. При $\delta \rightarrow 0$ для $m = 1$ имеем:

$$D = \frac{\lambda}{\sqrt{3} \sin^2 \frac{\theta}{2}}.$$

Очевидно, что этот метод применим для частиц, размеры которых лежат в интервале (для $\lambda = 436$ мμ) $254 \leq D \leq 508$ мμ.

Авторы отмечают, что вследствие большой однородности частиц по размерам имеется возможность изготовления таким образом диффракционных решёток. Это может быть достигнуто путём металлизирования высушенной плёнки латекса или снятой с неё реплики. Преимущество такой решётки они видят в значительном ослаблении «духов» и растягивании спектра первого порядка на весь интервал углов (вследствие малости d).

Вместе с тем авторы отмечают, что по неясным пока причинам диффракционный спектр оказался соответствующим двумерной структуре, тогда как в действительности плёнка имеет трёхмерную кристаллическую структуру и следовало бы ожидать выполнения условия Брэгга. Авторы полагают, что это может быть объяснено большим коэффициентом рассеяния частиц, вследствие чего эффективным оказывается только первый слой. Отметим, что значительный фон, наблюдаемый авторами, может быть объяснён многократным рассеянием.

Г. Розенберг

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. УФН 39, 142 (1949).
2. A. Turner Jr., E. B. Bradford, J. W. Vanderhoff and G. Oster. *IOSA* 44, № 8, 603 (1954).
3. См., например, К. С. Шифрин, Рассеяние в мутных средах, Гостехиздат, 1951.