

СЛАБАЯ ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В СИЛЬНО КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СУСПЕНЗИЯХ

Д.П. Дворников, И.А. Чайковский

Экспериментально установлен эффект слабой локализации электромагнитных волн в случайно неоднородной среде, проявляющийся в существенном возрастании интенсивности рассеяния света назад в суспензии частиц Al_2O_3 . Найдена зависимость параметров рассеяния от концентрации частиц. Определена поляризационная зависимость эффекта.

В последнее время теоретически и экспериментально детально изучается вопрос о локализации различного типа волн в случайно неоднородных средах (суспензии, матрицы с включениями и др.)¹⁻⁹. Исследование локализации классических волн (электромагнитных, звуковых) дает возможность более прямого наблюдения локализации, а также сопровождающих ее новых характеристик, отличных от характеристик электронных волн¹⁰. Одним из характерных эффектов, связанных со слабой локализацией^{11,12}, считается появление пика рассеяния назад вследствие эффекта интерференции прямой и обратной волн в неупорядоченной среде. Его наблюдению и изучению посвящены экспериментальные работы^{5,6,8,9}, в которых исследовалось многократное рассеяние электромагнитных волн в водной суспензии субмикронных частиц латекса, размеры которых a были соизмеримы с длиной волны излучения лазера λ . При этом в угловой зависимости интенсивности рассеяния $I(\theta)$ наблюдался острый пик, соответствующий рассеянию назад. Высота и полуширина пика увеличиваются с ростом концентрации n рассеивающих частиц. Что касается интерференционной поправки, то она становится заметной при условии $\lambda \sim a$, т.к. и в случае $\lambda \gg a$, и при $\lambda \ll a$ длина свободного пробега фотона $l \gg \lambda$ независимо от концентрации рассеивателей¹. В этом случае происхо-

дит потеря когерентности прямой и обратной волн. В ряде последних работ ^{8,9} исследовалось также влияние размеров частиц, степени отклонения от сферичности формы частиц, длины пути прохождения лучей на эффекты локализации волн.

Нами проведено измерение эффекта рассеяния назад в суспензии микрочастиц Al_2O_3 в воде и глицерине. Выбор объекта связан с тем, что диэлектрические свойства двуокиси алюминия существенно отличаются от свойств латекса и это должно повлиять на параметры локализации ¹³. Мы рассмотрели также сильно концентрированную суспензию (вплоть до 40 объемных процентов) и нашли поведение $I(\theta)$ в широкой области n .

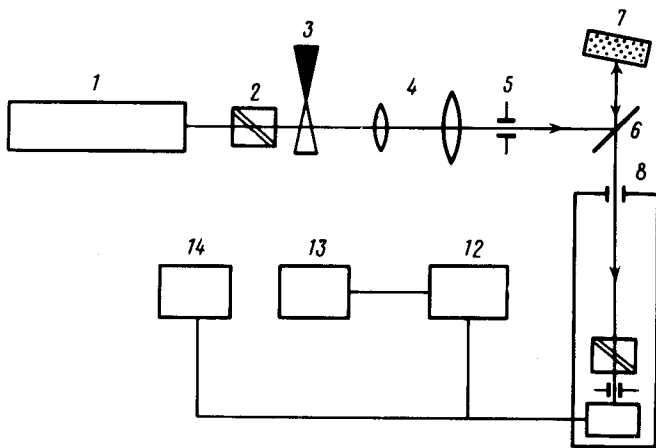


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. В эксперименте использовался He-Ne - лазер (1) с выходной мощностью ~ 10 мВт и длиной волны $\lambda = 0,63$ мкм. После поляризатора (2) и модулятора (3) луч расширялся телескопом (4) до 4 мм с одновременным уменьшением расходимости до 0,5 мрад. С помощью плоскопараллельной стеклянной пластинки (6) толщиной 0,1 мм часть луча (~ 4 мВт) направлялась на образец, помещенный в стандартную кювету (7) от спектрофотометра толщиной 3 мм, закрепленную в юстировочном устройстве в центре стола гониометра. Диафрагмы (8, 10), анализатор (9) и фотоумножитель (11) крепились в светонепроницаемом кожухе на поворотном плече гониометра. Угловое разрешение равнялось 1,5 мрад. С помощью синхронного детектора (12) исследуемый сигнал регистрировался на графопостроителе (13) и осциллографе (14). Сигнал рассеяния назад регистрировался как при вертикальном расположении поляризатора и анализатора (ВВ), так и при горизонтальном положении анализатора (ВГ). Сканирование рассеянного света осуществлялось в горизонтальной плоскости. Однородное распределение частиц в объеме достигалось тщательным перемешиванием суспензии с помощью ультразвукового диспергатора.

На рис. 2 (кривые 1а,2) показана угловая зависимость интенсивности рассеяния $I(\theta)$ (в отн. ед.) от угла рассеяния θ ($\theta = 0$ соответствует точному рассеянию назад) для концентраций 10 и 40 объемных процентов (для поляризации ВВ) и 1б для ВГ поляризации. На рис.3 изображена зависимость I/I_0 (I, I_0 — интенсивности рассеяния в максимуме и на крыльях, соответственно) и полуширины максимума δ от концентрации частиц Al_2O_3 . Характерным является рост I/I_0 и насыщение, начиная с некоторых значений концентрации n ($n = 30\%$ объемных). Отметим, что для частиц латекса ⁵ такое насыщение наступает при более низких n . Величина δ , как и в ^{5,6} линейно зависит от n . Этот результат находится в соответствии с теорией ⁶, согласно которой $\delta \sim \lambda/l$. Поскольку $l \sim I/n\sigma$ (σ — сечение рассеяния на неоднородности), следует, что $\delta \sim n$. Тот факт, что $I/I_0|_{нас} = 1,3$ (а не 2, как предсказывает теория ⁷), мы связываем с влиянием эффектов неупругого рассеяния, несферичности частиц и содержанием в суспензии частиц разных размеров. Как показали электронно-графические измерения, имеется некоторое распределение по размерам, причем для основной массы частиц $a = 0,8$ мкм.

Сравнение 1а и 1б показывает, что в поперечной поляризации эффект локализации отсутствует, что говорит о векторном характере локализации электромагнитных волн (объяснение эффекта дано в ⁸).

Проведем оценки параметров. Величину l найдем из соотношения $\delta \sim \lambda / 2\pi l$. Так, при $n = 40\%$ об. $\delta \sim 15$ мрад, что дает $l \sim 10\lambda$. Время сбоя фазы τ_ϕ , которое определяет интерференционные эффекты, можно оценить по соотношению ¹⁴: $\tau_\phi \sim \lambda^2 / D\delta^2$ (D – коэффициент диффузии электромагнитной волны, который определяется как $D = cl/3$, c – скорость света). При $\delta \sim 10$ мрад находим $\tau_\phi \sim 10^{-11}$ с. Сравним τ_ϕ с временем упругого рассеяния $\tau \sim l/c$. При $\lambda = 0,63$ мкм имеем: $\tau \approx 0,2 \cdot 10^{-13}$ с. Таким образом, одно из необходимых условий слабой локализации $\tau_\phi \gg \tau$, как показывают оценки, выполнено.

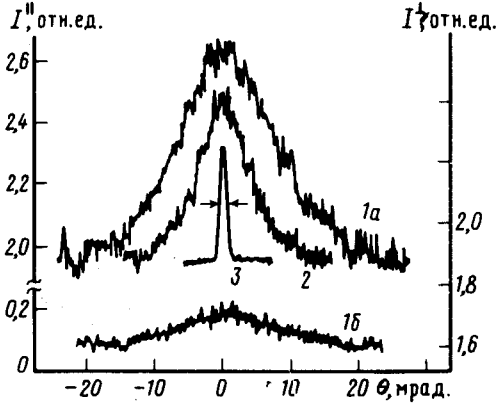


Рис. 2. Угловая зависимость рассеяния назад

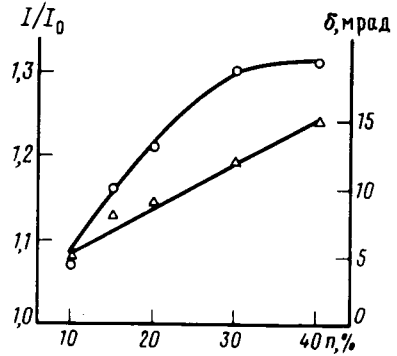


Рис. 3. Концентрационная зависимость параметров рассеяния

Как видно из рис. 2 на кривой $I(\theta)$ имеется "рябь". Характер этих осцилляций требует специального исследования для их интерпретации. Такой анализ мы намерены провести в дальнейшем.

Авторы благодарят Б.Л. Альтшулера, И.В. Лернера и Б.З. Спивака за обсуждение результатов и полезные замечания, В.Д. Власа за предоставление мелкодисперсного порошка Al_2O_3 , В.Ф. Лукаша за измерение размеров частиц на электронном микроскопе.

Литература

1. John S. Phys. Rev. Lett., 1984, 53, 2169
2. Голубенцев А.А. ЖЭТФ, 1984, 86, 47
3. Anderson P.W. Phil. Mag. B, 1985, 52, 505
4. Kirkpatrick T.R. Phys. Rev. B., 1985, 31, 5746
5. Van Albada M.P., Lagendijk A. Phys. Rev. Lett., 1985, 55, 2692
6. Wolf P.E., Maret E. Phys. Rev. Lett., 1985, 55, 2696
7. Kaveh M., Roseblut M., Edrei I., Freund I. Phys. Rev. Lett., 1986, 57, 2049
8. Akkermans E., Wolf P.E., Mainard R. Phys. Lett., 1986, 56, 1471
9. Meint P., van Albada, Martin B., van der Mark, Lagendijk A. Phys. Rev. Lett., 1987, 58, 361
10. Anderson P.W., Phys. Rev., 1958, 109, 1492
11. Abrahams E., Anderson P.W., Lichardello D.C., Ramakrishnan T.V. Phys. Rev. Lett., 1979, 42, 673
12. Горьков Л.П., Ларкин А.И., Хмельницкий Д.Е. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, 248.
13. Ping Sheng, White B., Zhao Qing Zhang, Papanicolaou G., Phys. Rev. B., 1986, 34, 4757
14. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. М: Наука, 1987, с. 182