

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЯ РАССЕЯНИЯ СРЕДЫ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

М.М. Сущинский

Исследовано рассеяние света в растворах йода в этиловом спирте и n-гептане и в кристалле ZnSe. Обнаружено, что показатель рассеяния среды, характеризующий макроскопическое рассеяние, в некоторых условиях зависит от интенсивности света.

Исследования рассеяния света в дисперсных поглощающих средах представляют большой интерес, поскольку реальные объекты (даже прозрачные чистые кристаллы и жидкости) обладают некоторой макроскопической неоднородностью и поглощением. Поглощение света особенно существенно при приближении к области резонанса. При этом изменяются также показатель преломления n и нелинейные оптические характеристики вещества.

Дисперсность среды феноменологически описывают показателем рассеяния s (показателем дисперсности среды), который характеризует приращение отраженного светового потока при прохождении светом бесконечно тонкого плоского слоя вещества. В рамках приближенной модели "встречных потоков" /1/ показатель рассеяния s и показатель поглощения γ связаны с эффективными параметрами среды L и R , легко поддающимися непосредственному измерению. При этом L является эффективным показателем поглощения, R — коэффициентом отражения от бесконечно толстого слоя среды (практически при большом поглощении этот слой может быть весьма тонким). Связь указанных параметров дается формулами:

$$L^2 = r^2 + 2rs, \quad (1)$$

$$R = (s + r - L)/s. \quad (2)$$

В настоящей работе исследовалась зависимость величины L от мощности лазерного излучения. Исследовались растворы йода в этиловом спирте и n-гептане с концентрациями 1:800 Н. В этих растворах наблюдалось значительное увеличение поперечного сечения лазерного луча с образованием своеобразной структуры /2/. При измерениях использовалась схема, в которой после плоскопараллельной кюветы с раствором йода устанавливалась линза с фокусным расстоянием 60 мм, позволявшая компенсировать расхождение лазерного луча в кювете. Применялись кюветы толщиной 18 мм. Использовались линии аргонового лазера $\lambda_1 = 514,5$; $\lambda_2 = 488,0$; $\lambda_3 = 457,9$ нм. Интенсивность этих линий варьировалась при помощи нейтральных светофильтров.

Для каждого раствора и для каждой линии лазера измерялась величина L в зависимости от интенсивности I_0 лазерного излучения. При малых интенсивностях величина L возрастает с ростом I_0 , что свидетельствует о возрастании показателя рассеяния s . Экстраполируя найденные значения L к $I_0 = 0$, когда $s = 0$, в соответствии с формулой (1) можно было найти показатель поглощения γ . Затем по той же формуле для каждого значения I_0 определялась величина s . Найденная зависимость s от I_0 представлена на рис. 1. При малых мощностях эту зависимость можно считать линейной. По аналогии с известной формулой для нелинейного показателя преломления можно описать зависимость показателя рассеяния от интенсивности падающего на среду света формулой

$$s = s_0 + s_2 I_0.$$

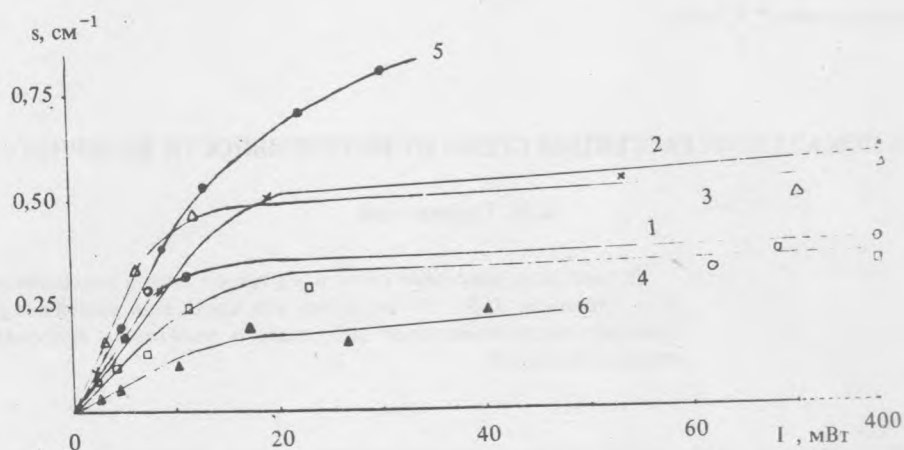


Рис. 1. Зависимость показателя нелинейного рассеяния s от мощности лазерного излучения I_0 для растворов йода в этиловом спирте (1, 3, 5) и в n -гептане (2, 4, 6). Кривые 1, 2 — $\lambda_1 = 514,5$; 3, 4 — $\lambda_2 = 488,0$; 5, 6 — $\lambda_3 = 457,9$ нм.

В дальнейшем для исследованных растворов принималось $s_0 = 0$. При более значительных мощностях наблюдается насыщение — показатель рассеяния практически не зависит от интенсивности падающего света.

В табл. 1 приведены значения показателя поглощения γ и показателя нелинейного рассеяния s_2 . Связь нелинейного рассеяния со спектрами поглощения иллюстрируется рис. 2. На величину показателя нелинейного рассеяния s_2 существенно влияют не только абсолютные значения показателя поглощения γ , но и быстрота его изменения, а также увеличивается он или уменьшается в зависимости от длины волны.

Таблица 1

Оптические параметры γ и s_2 растворов йода

Растворитель	Длина волны, нм	γ , см^{-1}	s_2 , $\text{см}^{-1} \cdot \text{мВт}^{-1}$
Этиловый спирт	514,5	0,14	0,036
	488,0	0,35	0,054
	457,9	0,66	0,044
n -гептан	514,5	0,50	0,032
	488,0	0,40	0,025
	457,9	0,09	0,013

Условия измерений в растворах йода были неблагоприятны для применения формулы (2). Значительная часть света рассеивалась не по оси лазерного луча ("вперед" и "назад"), а в стороны. Вследствие этого уменьшался коэффициент отражения R . Например, для растворов йода в этиловом спирте при использовании линии лазера $\lambda = 488,0$ нм были получены следующие результаты. Непосредственные измерения при мощности лазерного излучения 56 мВт дали значение $R = 0,04$, тогда как вычисления по формуле (2) дают $R = 0,32$. Существенно, что все же $R \neq 0$. Если же пренебречь многократным рассеянием (модель "путных потоков"), то вместо (1), (2) имеем

$$L = s' + \gamma, R = 0. \quad (3)$$

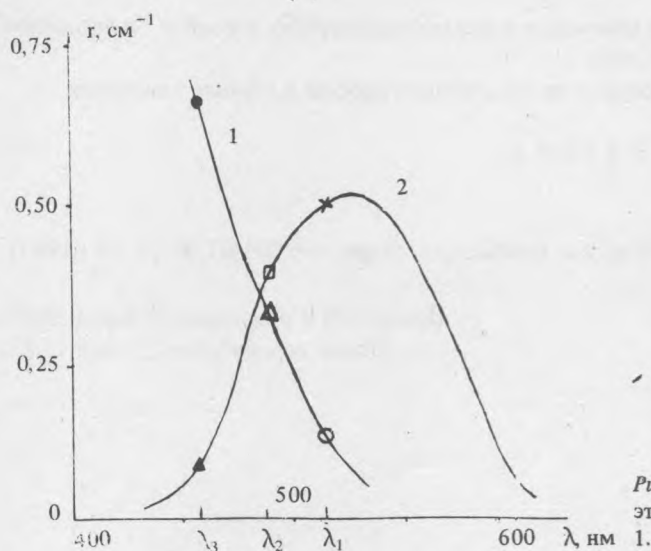


Рис. 2. Спектры поглощения растворов йода в н-гептане (1) и в этиловом спирте (2). Обозначения соответствуют точкам на рис. 1.

При малых I_0 формулы (1) и (3) дают практически одно и то же значение s . Для приведенного выше примера ($\lambda = 488,0$ нм, раствор йода в этиловом спирте) по формуле (3) имеем: $I_0 = 3,6$ мВт, $L = 0,49$ см $^{-1}$, $g = 0,35$ см $^{-1}$, $s' = 0,14$ см $^{-1}$, тогда как согласно формуле (1) $s = 0,17$ см $^{-1}$. При $I_0 = 300$ мВт соответственно имеем $L = 0,75$ см $^{-1}$, $s' = 0,40$ см $^{-1}$, $s = 0,58$ см $^{-1}$. Качественно ход кривых зависимости s от I_0 в обоих случаях одинаков: при малых I_0 s возрастает с ростом I_0 линейно, при больших I_0 наступает насыщение. Отметим, что модель встречных потоков, учитывающая многократное рассеяние, имеет преимущество большей общности: она применима к средам со значительной дисперсностью (порошки, взвеси, приповерхностные слои кристаллов).

Выше предполагалось, что показатель поглощения g не зависит от интенсивности I_0 . Для проверки этого предположения были проведены измерения g при различных I_0 с применением импульсов света длительностью $\Delta t = 5 \cdot 10^{-4}$ с. В этих условиях сложная структура светового пучка, выходящего из кюветы, не наблюдалась. Измерения показали, что g не зависит от I_0 .

Для объяснения нелинейного рассеяния можно предположить, что под действием света в растворах йода возникает определенная структура, представляющая собой динамическую объемную голограмму. Эта голограмма обусловлена взаимодействием падающей плоской волны и возникшей вследствие самодефокусировки расходящейся волны. В пользу образования в среде динамической структуры говорит сложная структура поперечного сечения лазерного луча на выходе из кюветы [2]. Рассеяние света происходит на неоднородностях показателя преломления, связанных с образованием указанной структуры. В целом явление оказывается нелинейным, так как существенно связано с самодефокусировкой света.

Согласно [2], время установления голографической структуры в растворах йода и соответственно нелинейного рассеяния составляет 10^{-3} с. Это время можно отнести за счет тепловой самодефокусировки. Однако не исключены другие причины, вызывающие явление нелинейной дисперсности. В этом отношении представляют интерес результаты, полученные с кристаллом ZnSe. Исследованный образец представлял собой квадрат со стороной 5 мм и толщиной 0,7 мм. Этот образец (светлозеленого цвета) хорошо пропускал излучение аргонового лазера с длиной волны 488,0 и 476,5 нм, но для излучения с длиной волны 457,9 нм практически был непрозрачен. В последнем случае никаких следов лазерного луча на выходе из кристалла не наблюдалось, однако образец в целом слабо равномерно светился, подобно матовой пластинке.

Полученные результаты показывают, что в условиях близости к резонансу нелинейность некоторых процессов взаимодействия излучения и вещества проявляется при сравнительно малых интенсивностях падающего излучения. При этом различные оптические явления взаимно связаны. Можно предположить,

что в условиях резонанса под действием света среда переходит в некоторых случаях в особое "нелинейное" состояние, характеризующееся определенной структурой.

Приношу благодарность В.П. Силину и В.Т. Тихончуку за обсуждение работы и ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сушинский М.М. УФН, 154, 353 (1988).
2. Сушинский М.М., Коровкина Л.И. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 10, 18 (1987).

Поступила в редакцию 27 июня 1989 г.

После переработки 23 мая 1990 г.