

НЕЛИНЕЙНОЕ ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА НИЗКОРАЗМЕРНОЙ СИСТЕМОЙ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ДИСПЕРСНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Скапцов А.С., Каранчук Д.Я., Юревич В.А.
Могилёвский государственный университет продовольствия
г. Могилёв, Беларусь

Введение. Во многих задачах нелинейной оптики, где рассматриваются свойства отклика микро- и наноразмерных структур, возникает вопрос изучения динамики спектра их отражения по мере изменения уровня возбуждения, а также определения резонансных частот, соответствующих данной системе. Подобные задачи рассчитываются для коллоидов, образованных кластерами из нескольких десятков взаимодействующих атомов, для метаструктурных покрытий из димеров щелочных металлов. Особый интерес представляют применение низкоразмерных структур в химии и медицине (ДНК-связанные наночастицы, биомаркеры). Их реакция на излучение моделируется, в основном, сферическими многоэкситонными наночастицами с размерами порядка 20 ... 40 нм, оптические свойства которых определяются резонансом в инфракрасной области спектра $\sim 1.25 \dots 1.30$ мкм. Детально исследовано взаимное влияние наночастиц в схемах с двумя и более «ближними» составляющими, т.е. без учёта более удалённых частиц, полагая его бесконечно малым по сравнению с воздействием окружения.

Тем не менее, в условиях относительно высокой концентрации частиц (плотные резонансные среды) дальними элементами схемы расположения нельзя, их учёт приводит к появлению дополнительных пиков в спектре взаимодействующих частиц. Далее предлагается решение граничной задачи оптики об отражении света на коллоиде при наличии поляризирующего влияния удалённых элементов, что может быть аналогично [1] учтено неоднородным уширением спектра каждого элемента системы в условиях действительности ближних полей дипольных центров и резонансной нелинейной рефракции.

Основная гипотеза и дисперсионные выражения. Неоднородное уширение можно учесть в схеме взаимодействия, где существенен разброс собственных частот дипольных частиц в определённой спектральной области с дисперсией $1/\tau_2^*$. Неоднородно уширенная линия может рассматриваться как результат наложения спиновых пакетов с частотами ω_{12} (спектральное распределение восприимчивости в каждом из них представлено лорентцовой функцией контура линии с однородной шириной $\sim 2/\tau_2$).

Проведена линеаризация интегро-дифференциальных уравнений для расчёта оптического поля в волновой зоне вблизи поверхностного планарного слоя. Слой образован коллоидом, сформированным из наночастиц на основе диэлектрических сред или используемых в оптике полупроводниковых квантоворазмерных структур. Частицы активированы атомами примеси и их реакция на квазинепрерывное поле рассматривается в стационарном приближении, что даёт возможность формулировки соотношений:

$$R = \frac{[r_0 + \kappa_0(G - r_0\gamma K)]^2 + \kappa_0^2[r_0\gamma K + G/(\eta + 1)]^2}{\{1 + \kappa_0[G/(\eta + 1) - \gamma K]\}^2 + \kappa_0^2[\gamma K + G/(\eta + 1)]^2},$$

$$Y = X \left[1 + \kappa_0 \left(\frac{G}{\eta + 1} - \gamma K \right) \right]^2 + \kappa_0^2 X \left(\gamma G + \frac{K}{\eta + 1} \right)^2, \quad r_0 = \frac{\eta - 1}{\eta + 1}, \quad (1)$$

$$G = \int \frac{g(\omega_{12} - \omega_0)}{1 + \Delta\omega^2 + X} d\omega_{12}, \quad K = \int \frac{\Delta - \beta X}{1 + \Delta\omega^2 + X} g(\omega_{12} - \omega_0) d\omega_{12}. \quad \Delta\omega = (\omega - \omega_{12})\tau_2,$$

где X , Y – нормированные интенсивности действующего и входного поля, ω – несущая частота, R – характеризуемый нелинейностью эффективный энергетический

коэффициент отражения, κ_0 – показатель резонансного поглощения, η и r_0 – соответственно нерезонансный показатель преломления и френелев коэффициент отражения слоя, γ – нормирующий коэффициент в локальной поправке к действующему полю.

Второе из соотношений (1) физически следует рассматривать как уравнение, описывающее нелинейные свойства планарного слоя оптической среды в приближении среднего поля в условиях, когда контур линии поглощения и положение резонанса поглощения на шкале частот зависят от мощности поля, действующего на наноразмерные частицы – эффективного поля с безразмерной интенсивностью Y . Нелинейный дрейф спектральной линии, инициируемый резонансной нелинейной рефракцией, характеризуется коэффициентом β . Гауссовой функцией $g(\omega_{12} - \omega_0)$ описывается разброс частот спиновых пакетов ω_{12} вблизи центральной частоты резонанса ω_0 с характеристикой $1/\tau_2^*$ – неоднородной шириной спектральной линии

Оптические свойства исследуемого объекта. Параметрический расчёт. Производя непосредственный расчёт зависимости $R(Y, \Delta\omega)$ по выражениям (1) с учётом связи прошедшего и эффективного полей, определив величину последнего как неотрицательный непрерывно нарастающий аргумент, можно построить теоретический аналог дисперсионной зависимости отражения слоя. Расчёт проводился для параметров полупроводниковых квантоворазмерных структур на спектральной шкале $\Delta = (\omega - \omega_0) \tau_2$.

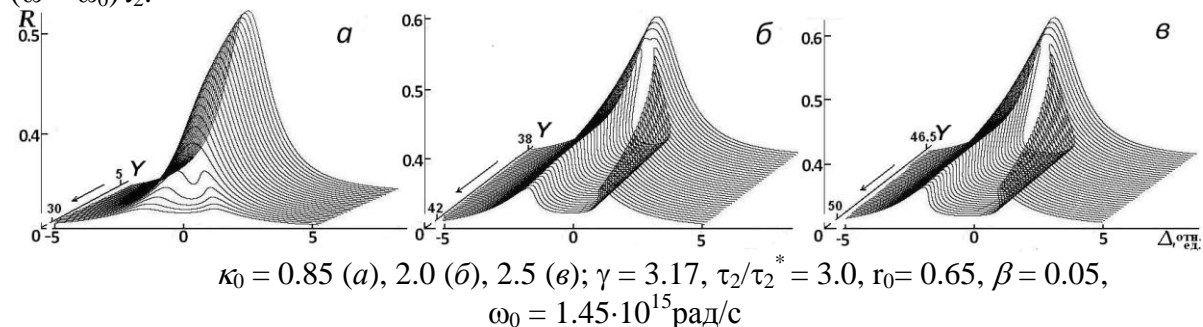


Рисунок – Спектр резонансного отражения планарной системы наночастиц

Зависимости на рисунке характеризуют следующие закономерности спектра отражённого излучения в условиях насыщения поглощения. Изменение заселённости уровней резонансного перехода по мере насыщения должно приводить к дрейфу центра линии в сторону более высоких частот. При определённом уровне интенсивности линия расщепляется – в спектре возникают асимметричные дублетные компоненты. Это является результатом фазовой модуляции – в центре линии поглощение насыщается в большей степени, чем «на крыльях» (эффект так называемого «затягивания частоты к центру линии», известного для условий усиления в среде), соответственно изменяется и отражение. Асимметрия объясняется действием двух встречных факторов нелинейного смещения (диполь-дипольного взаимодействия и нелинейной рефракции). С нарастанием уровня резонансного поглощения в зоне перекрытия вкладов обоих факторов компоненты сильно асимметричны – возможен их наклон (фрагменты б и в рисунка), означающий возможность резких скачков в реальной кривой отражения $R(\Delta)$. Вне пределов резонансной линии отражение R должно достигать френелевой величины r_0^2 .

Литература

1. Отражение излучения поверхностным слоем среды с неоднородным уширением резонанса поглощения / В.А. Юревич [и др.] // Проблемы физики, математики и техники. – 2012. – №1(10).–С.31-35.