

Электронный архив библиотеки МГУ имени А.А. Кулешова

Е.В. Тимощенко, В.А. Юревич

**УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ СОЛИТОНОВ
В ПЛОТНЫХ СРЕДАХ С КВАЗИРЕЗОНАНСНОЙ
ПОЛЯРИЗУЕМОСТЬЮ**

Развитие лазерно-оптических технологий в направлении миниатюризации оптических элементов ведет к необходимости применения и поиска сред с большой концентрацией активных центров (атомов,

молекул, ионов, экситонов и т.д.) — так называемых плотных резонансных сред. В этих средах оказываются значительными эффекты, связанные с ближними диполь-дипольными взаимодействиями (при достаточно больших оптических плотностях среды в элементе объема с характерным размером порядка длины волны света должно содержаться много птомов). В то же время расстояние между соседними атомами должно быть достаточно большим во избежание перекрытия их электронных орбиталей (тогда можно сохранить традиционное описание взаимодействия атомарных диполей [1]).

Спектроскопические данные надежно подтверждают влияние ближнего диполь-дипольного взаимодействия (локального поля в плотной резонансной среде) на контур линии резонансного поглощения. В этих условиях не менее важен и фазовый эффект, связанный с наличием квазирезонансной поляризуемости активных атомов. Обобщение уравнений полуклассического подхода при учете ближнего диполь-дипольного взаимодействия содержится, например, в [2]. Эта качественная модификация позволяет для плотных сред предсказать кроме чисто спектроскопических некоторые другие эффекты. В частности, в стационарном режиме взаимодействия эти среды в определенных интервалах интенсивности могут демонстрировать бистабильный оптический отклик даже в отсутствие внешней обратной связи. Квазирезонансная поляризуемость также учтена в [2] в рамках обобщенной двухуровневой схемы, хотя значимость этого фактора в определении бистабильности и закономерностей импульсного воздействия на среду не анализируется. Ее влияние на диэлектрическую проницаемость эффективно при более сложной спектральной структуре (наличие переходов, близких к основному) и определяет проявление нелинейной рефракции на частоте резонанса и оптического эффекта Штарка.

В связи с выявлением роли фазового эффекта, обусловленного возможностью квазирезонансной поляризуемости, интересно изучение солитонного распространения ультракоротких импульсов в таких средах. Речь, вообще, идет о возможности распространения импульсов типа уединенного волнового пакета, который далее будем именовать солитоном. В литературе эта проблема рассмотрена лишь в связи с влиянием ближних полей атомарных диполей на модуляцию огибающей и фазы солитонов в плотной резонансной среде. В сообщении дана формулировка системы дифференциальных уравнений динамики взаимодействия поля и среды, допускающих, в принципе, характерные для данной ситуации солитонные решения.

Описание взаимодействия излучения с двухуровневой резонансной средой проводится в полуклассическом приближении на основе представлений о матрице плотности. Уравнение движения для матрицы плотности сводится к так называемым оптическим уравнениям Блоха для разности населенностей Δn нижнего и верхнего энергетических состояний (обратная по знаку величина определяет инверсную заселенность) и вероятности резонансной поляризованности атомов $\bar{\rho}$ (недиагональный элемент матрицы плотности). Учет ближних диполь-дипольных взаимодействий, проводимый путем введения локальной поправки, модифицирует эти уравнения, добавляя в них новый нелинейный член. В рамках обобщенной двухуровневой схемы в уравнения для поля и поляризованности также вводятся поправки с коэффициентом $\Delta\alpha$, определяющие присутствие фазового сдвига поля, вызванного нелинейной рефракцией и штарковским уширением линии основного перехода ($\Delta\alpha$ – различие поляризуемостей атомов в основном и возбужденном состояниях). Тогда укороченная система уравнений Максвелла-Блоха для комплексных амплитуд светового электрического поля $\vec{E} = E \exp[i(\omega t - kx)] + \text{с.с.}$ и поляризованности $\bar{\rho} = \rho \exp[i(\omega t - kx)] + \text{с.с.}$, а также для вероятности Δn разности населенностей в системе N резонансных атомов имеет вид (ниже E^* – поле с учетом локальной добавки):

$$\frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\eta}{c} \frac{\partial E}{\partial t} = kN \left[\frac{\mu}{\epsilon_0} \rho + \frac{2\pi\Delta\alpha (n_0 - \Delta n)}{1 - 2\pi\Delta\alpha N(n_0 - \Delta n)/3} \left(\frac{\mu N}{3\epsilon_0} \rho - iE \right) \right],$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\mu}{\hbar} \Delta n E + i \left(\Delta\omega + \frac{\Delta\alpha}{\hbar} \pi E^* \cdot E + \frac{1}{3\epsilon_0} \frac{\mu N \Delta n}{1 - 2\pi\Delta\alpha N(n_0 - \Delta n)/3} \right) \rho - \frac{\rho}{T_2},$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \Delta n = -\frac{\mu}{2\hbar} (\rho E^* + \rho^* E), \quad E' = \frac{1}{1 - 2\pi\Delta\alpha N(n_0 - \Delta n)/3} \left(E + i \frac{\mu N}{3\epsilon_0} \rho \right).$$

Здесь μ – дипольный момент резонансного перехода, η – нерезонансный показатель преломления среды, $k = \eta\omega/c$ – волновое число в среде, $\Delta\omega \equiv \omega - \omega_0$ – отстройка частоты поля ω относительно центра ω_0 резонансной спектральной линии поглощения (усиления), T_2 – время поперечной релаксации, n_0 – начальное значение разности населенностей; во втором уравнении членом $\Delta\alpha E^* \cdot E / \hbar$ учитывается штарковское смещение частоты резонанса. Рассматриваемая ситуация интересна тем, что система допускает также некогерентное взаимодействие, и, тем не менее, при определенных условиях формирование солитона считается возможным. Естественно ожидать, что амплитудные и фазовые характеристики

оптических солитонов, формируемых в условиях данной нелинейности, должны качественно отличаться от тех, которые присущи солитонам, открытым в явлении самоиндуцированной прозрачности Макколлом и Ханом.

Литература

1. Каплан А.Е., Волков С.Н. // УФН. – 2009. – Т. 179. – № 5. – С. 539–547.
2. Afanas'ev A.A., Arpanasevich P.A. et al // Phys.Rev. A. – 1999. – Vol. 60. – № 2. – P. 1523–1529.