

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОСВЕТЛЕНИЕ СРЕДЫ ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

В.В.Красников, М.С.Пшеничников, В.С.Соломатин

Сообщается о наблюдении эффекта параметрического просветления в двухфотонно поглощающей среде. Достигнуто подавление двухфотонного поглощения более чем на два порядка. Получено хорошее количественное соответствие между теоретическими и экспериментальными результатами.

1. Предметом настоящей статьи является изложение результатов экспериментальной работы, в которой проведено прямое наблюдение эффекта параметрического просветления (ПП) двухфотонно (ДФ) поглощающей среды. Для реализации режима ПП использовалось резонансное четырехволновое взаимодействие, позволяющее не только проследить динамику установления ПП, но и контролировать отсутствие значительного динамического штарк-эффекта и насыщения ДФ перехода. Полученные экспериментальные зависимости согласуются с теоретическими расчетами в пределах ошибки измерений.

2. Эффект ПП проявляется в том, что при распространении волн в двухфотонно (в общем случае, многофотонно) поглощающей среде подавляются параметрические процессы, ДФ поглощение взаимодействующих волн и т. п. Впервые на возможность такого эффекта было указано в работе ¹. Физическая интерпретация явления ПП состоит в том, что ДФ возбуждение перехода $a - b$ волнами E_1 и E_3 подавляется комбинационным взаимодействием волн E_2 и E_4 , происходящим в противофазе к действию двух первых волн (рис. 1). Эффект ПП возникает при вполне определенных соотношениях амплитуд и фаз излучений ²:

$$r_1 E_1 E_3 + r_2 E_2^* E_4 = 0; \quad k_4 = k_1 + k_2 + k_3, \quad (1)$$

где r_1 и r_2 — составные матричные элементы перехода $a - b$.

Основная экспериментальная сложность наблюдения ПП состоит в приготовлении волн $E_1 - E_4$ и связана с невозможностью использования четырех излучений от независимых лазерных источников, поскольку необходимо выполнение фазовых соотношений в (1). К настоящему времени эффект ПП экспериментально наблюдался при исследовании процессов многофотонной ионизации ^{3, 4}. При точном трехфотонном резонансе ПП регистрировалось по относительному уменьшению сигнала многофотонной ионизации. По нашему мнению, ввиду важности ПП как нелинейного интерференционного эффекта, необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований в таких условиях, когда изменение населенностей, полевые уширения и сдвиги уровней незначительны, и, следовательно, возможно количественное сравнение теоретических и экспериментальных результатов.

3. Выбранный нами способ приготовления четырех полей заключается в следующем. Пусть на ДФ поглощающую среду падают три волны с частотами ω_1, ω_2 и ω_3 . Четвертая волна с частотой $\omega_4 = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3$ генерируется в самой среде в результате параметрического преобразования в условиях коллинеарного фазового синхронизма. Интенсивность сигнальной волны E_3 существенно меньше интенсивностей двух других волн-накачек. В этом случае доля возбужденных атомов невелика, и изменение полей E_1 и E_2 в нелинейной среде незначительно. Максимальные интенсивности накачек ограничиваются вызываемыми ими динамическими штарковскими сдвигами энергетических уровней среды. Если перечисленные условия реализованы, то амплитуда и фаза волны E_4 автоматически установятся таким образом, что волны $E_1 - E_4$ начинают удовлетворять соотношению (1) на достаточно больших длинах взаимодействия ⁵, а их дальнейшее распространение уже не будет приводить к возбуждению перехода $a - b$, т. е. достигнется режим ПП.

В качестве ДФ поглощающей среды нами были выбраны атомарные пары натрия. Это обусловлено большими значениями их нелинейных восприимчивостей и возможностью простого изменения концентрации, что эквивалентно изменению длины взаимодействия. ДФ возбуждение $3s - 4s$ перехода атомов натрия ($a - b$ на рис. 1) осуществлялось излучениями первой накачки — одночастотного Nd : YAG лазера с длиной волны $\lambda_1 = 1,064$ мкм и лазера на органическом красителе с $\lambda_3 = 0,612$ мкм и шириной линии излучения $\Delta\nu_3 \approx 0,05$ см⁻¹. В качестве источника волны E_2 использовался ПГС с $\lambda_2 = 2,2$ мкм и $\Delta\nu_2 \approx 0,5$ см⁻¹, частота которого перестраивалась вблизи частоты $4s - 4p$ перехода для достижения условий фазового синхронизма. Чтобы исключить влияние поперечного распределения интенсивностей волн накачек, диаметр перетяжки сигнальной волны выбирался в три раза меньше диаметров перетяжек обеих волн накачки. Предварительные эксперименты по технике встреч-

ных пучков показали, что при используемых интенсивностях динамический штарк-эффект практически не влияет на величину ДФ поглощения.

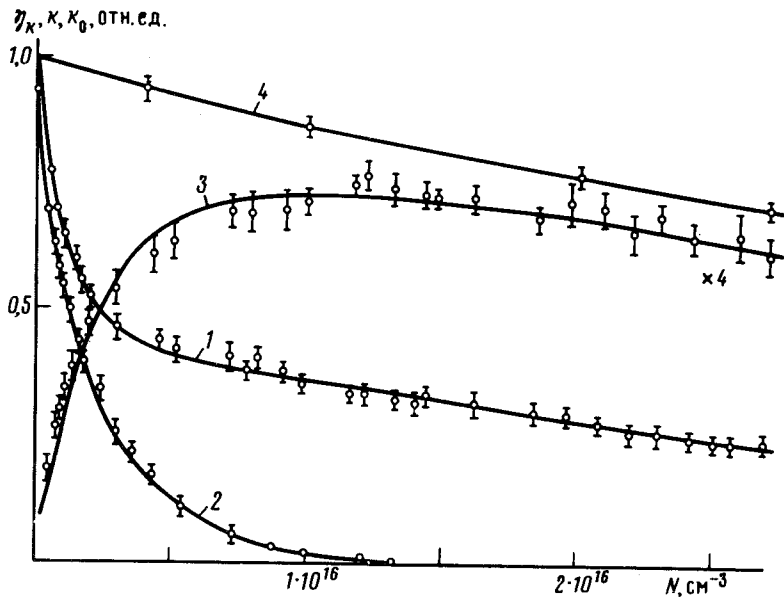


Рис. 1

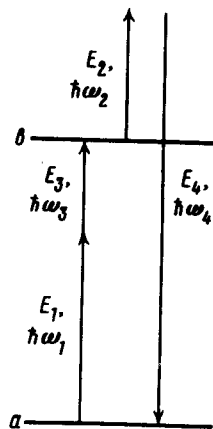


Рис. 2

Рис. 1. Схема энергетических уровней и взаимодействующих волн

Рис. 2. Экспериментальные и теоретические зависимости коэффициента пропускания сигнальной волны (1, 2, 4) и эффективности преобразования (3) от концентрации паров натрия: 1, 3 - $I_1 = 7$ МВт/см, $I_2 = 50$ КВт/см; 2 - $I_1 = 7$ МВт/см, $I_2 = 0$; 4 - $I_1 = I_2 = 0$. Эффективная длина паров $l = 7$ см

4. Для сопоставления экспериментальных результатов с теорией был проведен расчет квантовой эффективности преобразования η_k (отношения числа квантов в генерируемой волне к начальному числу квантов в сигнальной волне) и коэффициента пропускания k сигнального излучения (отношения энергий сигнальной волны до и после ДФ поглощающей среды). Нами также рассчитывался коэффициент k_0 ДФ поглощения сигнальной волны в поле излучения первой накачки. Расчет проводился с учетом линейного поглощения генерируемой и сигнальной волн, доплеровского уширения уровней и временной структуры излучений. Мы предполагали, что взаимодействие со средой носит стационарный характер. Это справедливо в том случае, если спектральные ширины линий излучений E_1 и E_3 меньше однородного уширения Γ $3s - 4s$ перехода. Отметим, что максимальная спектральная ширина линии излучения E_3 может превосходить Γ , так как в нашей модели она определяется шириной фазового синхронизма.

Экспериментальные и теоретические зависимости эффективности преобразования η_k , коэффициентов пропускания k и k_0 от концентрации паров натрия показаны на рис. 2. Подавление ДФ поглощения сигнальной волны за счет комбинационного взаимодействия генерируемого излучения с излучением второй накачки становится заметным даже при относительно небольших ($N \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$) концентрациях (кривые 1, 2). Несмотря на ослабление сигнальной волны из-за эффективной перекачки ее энергии в генерируемое излучение, коэффициент пропускания k превосходит коэффициент пропускания k_0 и их отношение продолжает увеличиваться по мере роста концентрации. Достигнуто подавление ДФ поглощения более чем на два порядка.

Выход зависимости квантовой эффективности η_k на насыщение (кривая 3) при $N \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и слабое изменение величины k указывают на отсутствие взаимодействия между всеми четырьмя излучениями на длине, превосходящей $l_{кр} = lN/N_{кр}$ (в нашем случае $N_{кр} = 10^{16} \text{ см}^{-3}$). Таким образом, при $lN > (lN)_{кр}$ реализуется режим ПП ДФ пог-

лощающей среды. Небольшое изменение величин η_k и k объясняется линейным поглощением сигнального (кривая 4) и генерируемого излучений.

Измеренный коэффициент преобразования η_k ($N = 10^{16} \text{ см}^{-3}$) составил $14\% \pm 5\%$ при расчетной величине $\sim 18\%$. Отличие от предельно допустимой величины 25% объясняется линейным поглощением и не совсем оптимальным соотношением интенсивностей накачек. Такой вывод следует из расчетных и экспериментальных зависимостей эффективности преобразования и коэффициента пропускания от интенсивностей накачек. Более подробное обсуждение этих результатов будет проведено дополнительно.

5. Таким образом, на основании экспериментальных данных можно утверждать, что нам удалось в условиях ДФ резонанса наблюдать эффект ПП среды, обусловленный интерференцией возбуждений атомного перехода. Такая интерференция может существенно изменять характеристики (как энергетические, так и спектральные) нелинейных резонансных процессов, например, параметрического смещения частот, селективного многофотонного возбуждения и т. п. Несомненный интерес также представляют исследования совместного влияния на эти процессы эффекта ПП, движения населенностей, полевого сдвига и уширения уровней.

Авторы признательны С.А. Ахманову за полезное обсуждение работы.

Литература

1. Манькин Э.А., Афанасьев А.М. ЖЭТФ, 1967, 52, 1246.
2. Аникин В.И., Гора В.Д., Дрбович К.Н., Дубовик А.Н. Квантовая электроника, 1976, 3, 330.
3. Miller J.C., Compton R.N. Phys. Rev., 1982, A25, 2056.
4. Jackson D.J., Wynne J.J., Kes P.H. Phys. Rev., 1983, A28, 781.
5. Красников В.В., Пшеничников М.С., Соломатин В.С. Оптика и спектроскопия, 1984, 57, 1079.
6. Kiasko V.A., Popov A.K., Timofeev V.P., Yurov G.V. Appl. Phys., 1983, B30, 157.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию

23 декабря 1985 г.