

КОНКУРЕНЦИЯ ВЫНУЖДЕННОГО ИК ИЗЛУЧЕНИЯ И ИК ВКР В ПАРАХ ЦЕЗИЯ

Т.С. Бимагамбетов

Алматинский институт энергетики и связи, г. Алматы

В работе исследована конкуренция вынужденного инфракрасного (ИК) излучения и вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) в парах цезия, в зависимости от концентрации атомов, интенсивности и частоты лазера. Установлено, что при большой концентрации атомов, а также при высокой интенсивности и малых расстройках лазера мощность ИК ВКР опережает значение мощности ИК излучения. Дана теоретическая интерпретация этих процессов.

Введение

Широкое применение инфракрасного (ИК) излучения в лазерной химии, при лазерном разделении изотопов, в молекулярной спектроскопии и в других областях делает работы по получению ИК излучения весьма актуальными.

Наиболее удобной средой возбуждения ИК излучений являются пары щелочных металлов, атомы которых имеют низко расположенные энергетические уровни, что позволяет близко подойти к резонансу. Это дает возможность наблюдать в них нелинейные явления при значительно меньших интенсивностях возбуждающего излучения, чем в конденсированных средах.

Для получения ИК излучения в парах металлов часто используется накачка коротковолновым лазерным излучением, величина кванта которого достаточна для перевода атома с основного уровня на высокорасположенные уровни. В отдельных случаях может быть использовано двухфотонное возбуждение атома из основного состояния, что позволяет обойтись без коротковолнового лазера [1]. Другим методом, использующим лазеры видимого диапазона, является возбуждение ИК излучения не с основного, а с резонансного уровня атома, который заселяется излучением вспомогательного лазера с частотой настраиваемой на частоту резонансного перехода [2]. В [3] показана возможность эффективной передачи населенности с нижнего уровня на верхний уровень через 2 промежуточных возбужденных уровня с помощью ВКР. В работе [4] получены ИК и ИК ВКР в парах цезия при возбуждении одним лазером видимого диапазона в условиях большой расстройки (850 см^{-1}) от резонансного перехода атома. При этом частота лазерного излучения перестраивалась вблизи атомного перехода $6^2P_{3/2}-8^2S_{1/2}$ (рисунок 1). Наблюдались ИК излучения 4.22 мкм на атомном переходе $7^2P_{3/2}-8^2S_{1/2}$ и ИК ВКР на частоте ω_s . Однако, характеристики наблюдаемого излучения были изучены не достаточно. Не были исследованы конкуренции ИК излучения и ИК ВКР. Конкуренция между этими процессами обусловлена тем, что как ВКР, так и оптико-столкновительное (ОС) заселение уровня 4, необходимое для развития ИК излучения, приводят к опустошению одного и того же резонансного уровня 2.

Целью данной работы являлось исследование конкуренции этих излучений в зависимости от частоты и интенсивности лазера, а также от концентрации атомов.

Работа проводилась с использованием лазера на красителях, имеющего мощность 200 кВт и ширину линии $0,2 \text{ см}^{-1}$. Частота лазера настраивалась в окрестности атомного перехода 2-4, при этом расстройка от резонансного перехода 1-2 составляла $800-900 \text{ см}^{-1}$.

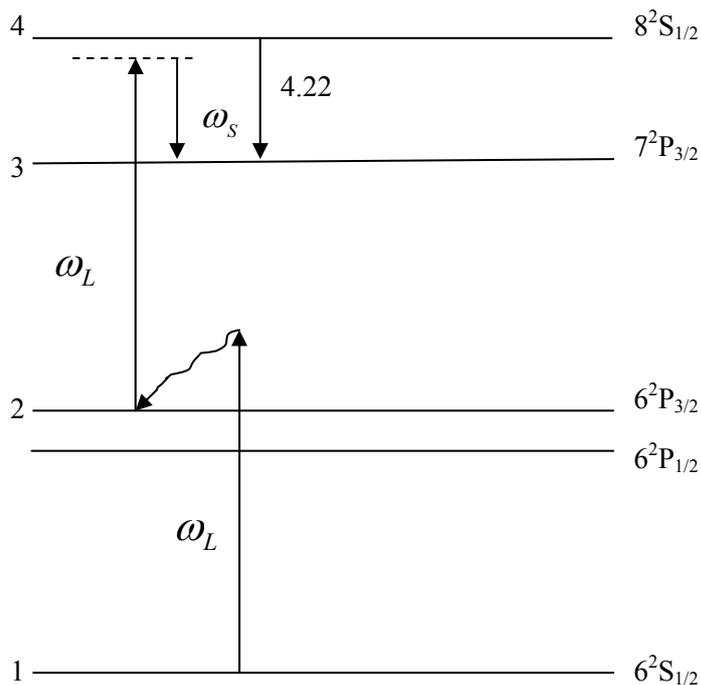


Рис. 1. Схема энергетических уровней цезия

Экспериментальные результаты

Зависимость мощности ИК излучений и ИК ВКР от частоты лазера

Концентрация атомов и интенсивность лазера оставались постоянными и составляли соответственно $N=10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $I_L=10 \text{ МВт/см}^2$. Зависимость мощности ИК линии 4,22 мкм (сплошная линия) и ИК ВКР (пунктирная линия) от Δ_L приведена на рисунке 2, где Δ_L расстройки частоты лазера от перехода 2-4.

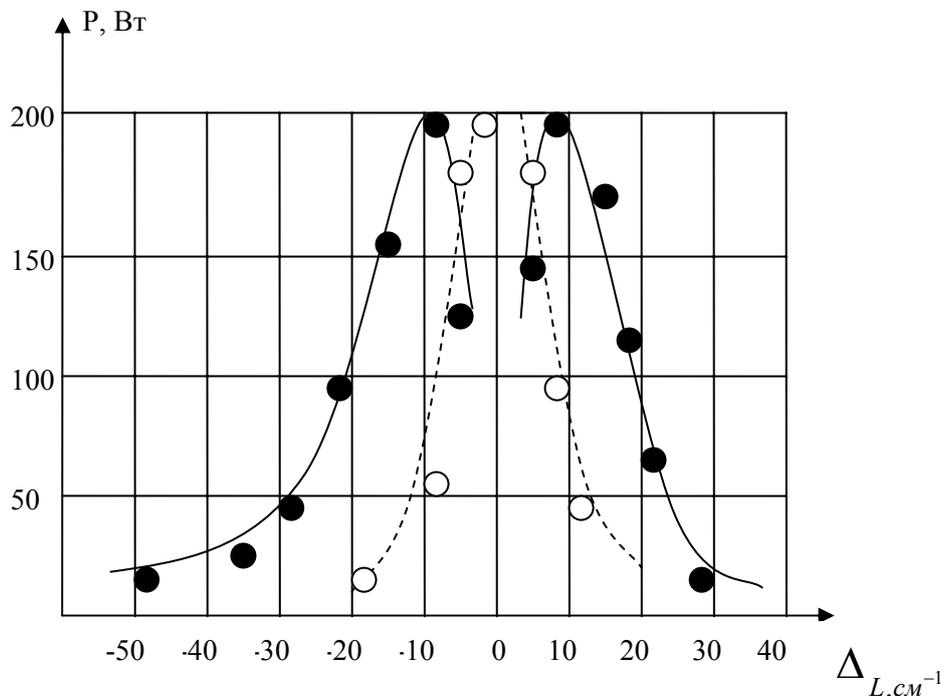


Рис. 2. Зависимость мощности ИК линии и ИК ВКР от частоты лазера

Как видно из рисунка ИК излучение наблюдается в более широких пределах расстройки частоты лазера чем ИК ВКР. Наблюдаемый провал ($\Delta_L < 10 \text{ см}^{-1}$) вблизи резонанса связан с конкуренцией со стороны ИК ВКР, так как при малых расстройках ВКР преобладает над ИК излучением. Возникновение ИК излучений в широких пределах расстройки объясняется тем, что на периферийных участках ($\Delta_L > 20 \text{ см}^{-1}$) мощность ИК излучения не только зависит от скорости ОС заселения 1-2, а еще от – 2-4. При этом зависимость мощности ИК излучений от концентрации атомов кубическая. Как выше отметили, конкуренция между этим процессами обусловлена тем, что как ВКР, так ИК излучения приводят к опустошению одного и того же резонансного уровня 2. Так как порог появления ВКР выше чем ИК излучений, то при больших расстройках ВКР не появляется. Таким образом, в области больших расстроек мощность ИК излучений больше чем мощность ИК ВКР. А при малых расстройках получается обратная картина.

Зависимость мощности ИК излучений и ИК ВКР от интенсивности лазера

Интенсивность лазера изменялась от 1 МВт/см^2 до 10 МВт/см^2 , при этом концентрация атомов и расстройка частоты лазера оставались постоянными и составляли соответственно $N=10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $\Delta_L = -5 \text{ см}^{-1}$.

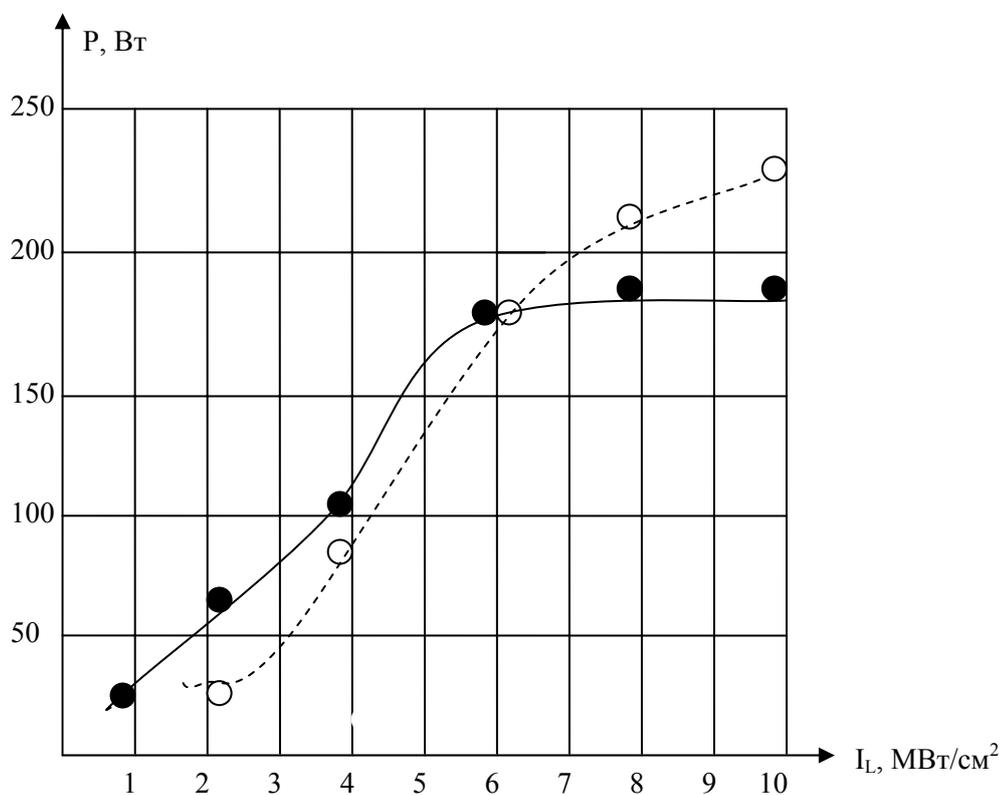


Рис. 3. Зависимость мощности ИК линии и ИК ВКР от интенсивности лазера

Зависимость мощности ИК линий и ИК ВКР от интенсивности лазера приведена на рисунке 3. При малых значениях интенсивности лазера $I_L < 6 \text{ МВт/см}^2$ мощность ИК линии больше ВКР, а с увеличением интенсивности лазера ВКР превышает мощность ИК излучения. Дальнейшее увеличение интенсивности лазера не приводит к увеличению мощности ИК линии. Полученные результаты объясняются тем, что мощность ИК линии определяется скоростью заселения уровня 1-2 и 2-4 т.е. $P \sim I_L^2$, в то время мощность ИК ВКР $P \sim \exp(\gamma I_L)$. Поэтому с ростом I_L мощность ВКР быстро увеличивается и превышает – ИК линии.

Зависимость мощности ИК излучений и ИК ВКР от концентрации атомов

Такая же картина зависимости мощности излучения от концентрации атомов (рисунок 4). При этом концентрация атомов изменялась в широких пределах от $N=10^{16} \text{ см}^{-3}$ до 10^{17} см^{-3} , а интенсивность и расстройка частоты лазера оставались постоянными и составляли соответственно $I_L=5 \text{ МВт/см}^2$ и $\Delta_L=-5 \text{ см}^{-1}$.

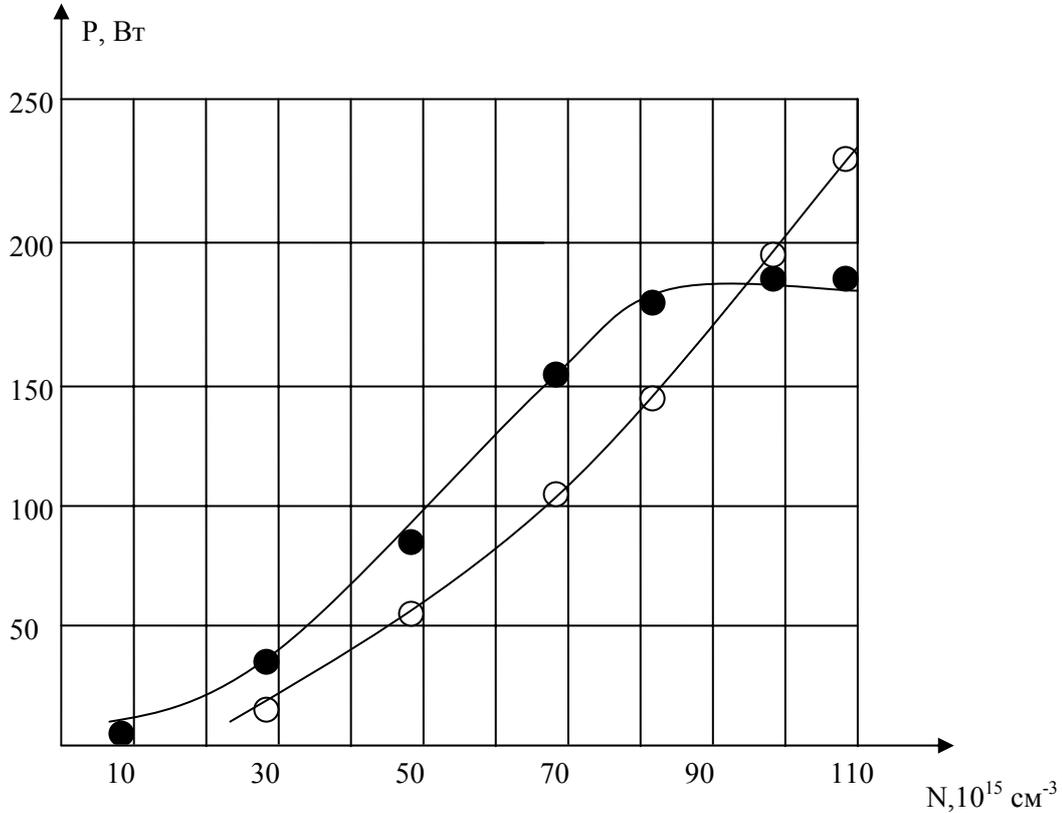


Рисунок 4. Зависимость мощности ИК линии и ИК ВКР от концентрации атомов

Теоретическая интерпретация полученных экспериментальных кривых

Из [5] полная скорость опустошения уровня 2 определяется уравнением $\frac{dN_2}{dt} = \left(\frac{dN_2}{dt}\right)_S + \left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{2 \rightarrow 4}$ где индекс S означает скорость опустошения за счет ВКР, а «2 → 4» за счет ОС перехода 2 → 4 (ОС заселение уровня 4).

Очевидно, что мощность ВКР $P_S \sim \left(\frac{dN_2}{dt}\right)_S$, а мощность вынужденного ИК излучения

при $N_4=0$ $P_{ИК} \sim \left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{2 \rightarrow 4}$. Имеем $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_S \sim P_S \sim e^G$ где $G = \xi\mu$, ξ - постоянная величина, а

$\mu = \frac{N_2 I_L}{\Delta_{24}^2}$, N_2 - концентрация атомов на уровне 2, Δ_{24} - расстройка лазера от перехода 2-4,

I_L - интенсивность лазера.

$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{2 \rightarrow 4} = N_2 w_{24} \sim N_2 \frac{N I_L}{\Delta_{24}^2}$, где $w_{24} \sim \frac{N I_L}{\Delta_{24}^2}$ - скорость перехода атома из уровня 2->3, N-

концентрация атомов ($N \approx N_1$). Экспоненциальная зависимость $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_S$ от параметра

$\mu = \frac{N_2 I_L}{\Delta_{23}^2}$ должна приводить к тому, что при больших μ (малые Δ_{23} , высокие N и I_L)

$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_S$ оказывается больше, чем $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{2 \rightarrow 3}$ и большая часть скорости заселения

резонансного уровня 2 идет на обеспечение процесса ВКР. Поэтому в области малых расстройек мощность ИК излучения может быть существенно уменьшена вследствие конкуренции со стороны ИК ВКР.

Таким образом, установлено, что при большой концентрации атомов, а также при высокой интенсивности и малых расстройках лазера, мощность ИК ВКР опережает значение мощности ИК излучения.

Литература

1. Мовсесян М.Е., Овакимян Т.О., Шмавонян С.В. Вынужденные процессы паров рубидия и буферного газа при двухфотонном возбуждении. // Оптика и спектроскопия. - 1986. - №6. - С. 454-456.
2. Знаменский Н.В., Одинцов В.И. Экспериментальное исследование ИК ВКР в парах рубидия при возбуждении излучением с перестраиваемой частотой. // Оптика и спектроскопия. - 1983. - №1. - С. 96-99.
3. Band Y.B., Julienne P.S. Population transfer by multiple stimulated Raman scattering. // J.Chem. Phys. - 1991. - №8. - С. 5681-5685.
4. Бимагамбетов Т.С., Одинцов В.И. Исследование вынужденного излучения и ВКР в ИК области спектра при нерезонансном заселении уровней атомов рубидия и цезия. // Вестник МГУ: серия физика и астрономия. - 1988. - №2. - С. 81-83.
5. Бимагамбетов Т.С. Конкуренция вынужденного ИК излучения и ИК ВКР. // Сборник научных трудов по материалам второй Международной научно-технической конференции. Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях. Алматы. – 2000. - С. 202-203.

ЦЕЗИЙ БУЛАРЫНДАҒЫ ЕРІКСІЗ ИҚ СӘУЛЕЛЕНУ ЖӘНЕ ИҚ ЕКШ БӘСЕКЕЛЕСТІЛІГІ

Т.С. Бимағамбетов

Берілген жұмыста цезий буындағы еріксіз шығарылған инфракызыл (ИҚ) және еріксіз комбинациалды шашыраған (ЕКШ) сәулелердің бәсекелестілігі атомдардың концентрациясына және лазердің интенсивтілігі мен жиілігіне байланыстылығы зерттелген. Атомдардың үлкен концентрациясында және лазердің жоғары интенсивтілігі мен жиілігінің кіші мәнінде еріксіз шашыраған сәуленің қуаты инфракызыл сәуленің қуатынан көп болатындылығы көрсетілген. Осы процестердің теориялық сипаттамасы ұсынылған.

COMPETITION COMPELLED IR RADIATIONS AND IR STIMULATED IN CAESIUM STEAMS

T.S. Bimagambetov

The competition stimulated IR radiation and IR stimulated Raman scattering in Cs vapours is researched in depending from concentration of atoms, intensive and frequency of the laser. Established, that at large concentration of atoms, also at high intensive and small ruins of laser the power of IR stimulated Raman scattering behinds the mean of power of IR radiation. The theoretical interpretation of these process is given.