

ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ МНОГОФОТОННОМ ВОЗБУЖДЕНИИ АТОМА ВЫШЕ ПРЕДЕЛА ИОНИЗАЦИИ

• Ф. А. Королев, Н. В. Знаменский, В. И. Одинцов

Экспериментально обнаружено мощное вынужденное излучение в инфракрасной (ИК) области спектра, возникающее при трехфотонном возбуждении атома рубидия выше предела ионизации. Явление носит ярко выраженный резонансный характер и может быть связано с резонансной ионизацией атома.

В качестве источника возбуждающего излучения использовался лазер на красителе с перестраиваемой частотой. Лазерное излучение с помощью телескопической системы фокусировалось на кювету с парами Rb длиной 18 см, имевшую оптические окна из сапфира. Площадь сечения светового пучка в кювете составляла $\sim 1 \text{ мм}^2$. Мощность накачки достигала $P_L \sim 300 \text{ кВт}$ при ширине линий генерации $0,2 \text{ см}^{-1}$. Длительность импульса возбуждающего лазера $\tau_L = 25 \text{ нсек}$. Температура паров Rb составляла 260°C (плотность атомов $N \sim 6 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$). Аппаратурная ширина ИК монохроматора в большинстве экспериментов составляла $0,5 \text{ см}^{-1}$. Регистрирующая система позволяла фиксировать ИК сигналы с энергией до $\sim 2 \times 10^{-7} \text{ Дж}$.

При перестройке частоты накачки вблизи двухфотонного резонанса $5^2S_{1/2} - 5^2D_{3/2, 5/2}$ (рис. 1) наблюдалось мощное направленное излучение на переходах $5^2D_{5/2} - 7^2P_{3/2}$ (4,615 мкм), $5^2D_{3/2} - 7^2P_{1/2}$ (4,683 мкм), $5^2D_{3/2} - 7^2P_{3/2}$ (4,608 мкм), $4^2F_{3/2, 5/2} - 6^2D_{5/2}$ (5,268 мкм), $4^2F_{3/2, 5/2} - 6^2D_{3/2}$ (5,274 мкм), $6^2P_{3/2} - 5^2D_{5/2}$ (5,231 мкм), $6^2P_{1/2} - 5^2D_{3/2}$ (5,035 мкм), $6^2P_{3/2} - 5^2D_{3/2}$ (5,239 мкм), $4^2D_{5/2, 3/2} - 6^2P_{3/2}$ (2,253 мкм), $4^2D_{5/2, 3/2} - 6^2P_{1/2}$ (2,293 мкм), $6^2S_{1/2} - 6^2P_{3/2}$ (2,731 мкм), $6^2S_{1/2} - 6^2P_{1/2}$ (2,790 мкм). Энергия наиболее интенсивной линии 4,61 мкм достигала $\sim 10^{-4} \text{ Дж}$ (средняя мощность за время $\tau_L \sim 4 \text{ кВт}$), а ее регистрируемая ширина не превышала аппаратурной ширины монохроматора. Она могла наблюдаться и при мощностях накачки намного меньших максимальной.

Можно предложить следующий механизм возникновения вынужденного излучения ИК линий. При приближении частоты накачки к частоте двухфотонного перехода $5^2S_{1/2} - 5^2D_{3/2, 5/2}$ ¹⁾ вероятность трехфотонной ионизации значительно возрастает. Численные оценки, выполненные на основании результатов [1], дают для скорости трехфотонной ионизации в резонансном случае величину $\sim 10^7 \text{ сек}^{-1}$. Ионизация приводит к заселению состояний непрерывного спектра, расположенных вблизи предела ионизации. При столкновениях с атомами электроны теряют

¹⁾ При этом расстройка от промежуточного уровня $5^2P_{3/2}$ также мала.

избыточную кинетическую энергию и в процессе рекомбинации накапливаются на верхних уровнях атома. С этих уровней развиваются каскадные вынужденные переходы на ниже расположенные уровни, сопровождающиеся излучением ряда ИК линий. Кроме зарегистрированных, следует ожидать появления ИК линий и с большей длиной волны, но которые в данном эксперименте не могли наблюдаться вследствие поглощения сапфировых окон кюветы. Численные оценки показывают, что вынужденное излучение ИК линий может развиваться при крайне низкой инверсной населенности уровней ΔN , на несколько порядков меньшей концентрации атомов N . По мере того, как каскадные переходы приводят к заселению возбужденных уровней, наряду с трехфотонной ионизацией с основного уровня становится возможной одно- и двухфотонная ионизация атома с возбужденных уровней. Осуществляющийся вследствие столкновений и рекомбинации быстрый уход электронов из заселяемых состояний непрерывного спектра в принципе позволяет получить мощное ИК излучение в непрерывном режиме.

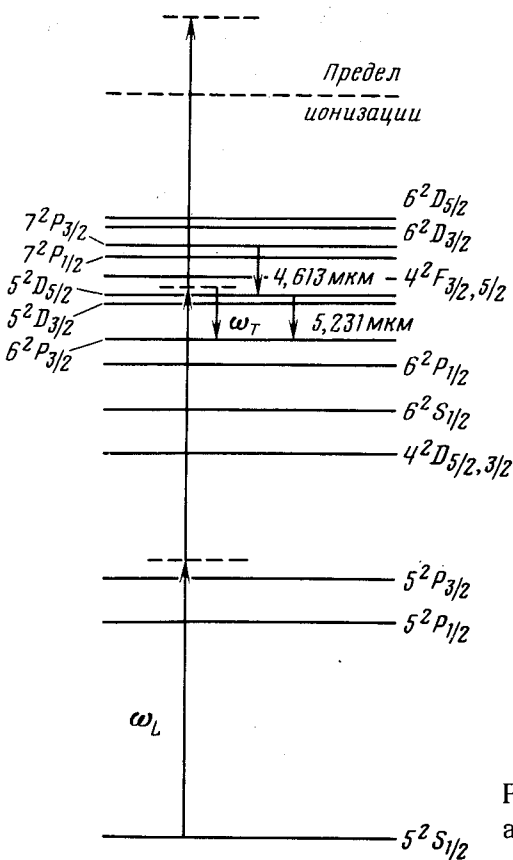


Рис. 1. Схема энергетических уровней атома рубидия

На рис. 2 приведена зависимость энергии ИК линий 4,615 и 5,231 мкм от частоты накачки, полученная при $P_L \approx 300$ кВт. Видно, что за исключением области частот, лежащей в непосредственной близости от двухфотонного резонанса, имеет место корреляция поведения обеих линий. Ее следует связать с тем, что заселение уровня $5^2 D_{5/2}$, являющегося исходным для линии 5,231 мкм, осуществляется излучением линии

4,615 мкм. Узкий максимум энергии 5,23 мкм при двухфотонном резонансе, очевидно, связан с двухфотонным заселением уровня $5^2D_{5/2}$ из основного состояния [2, 3]. Здесь же наблюдается значительное уменьшение экспериментального порога возбуждения этой линии.

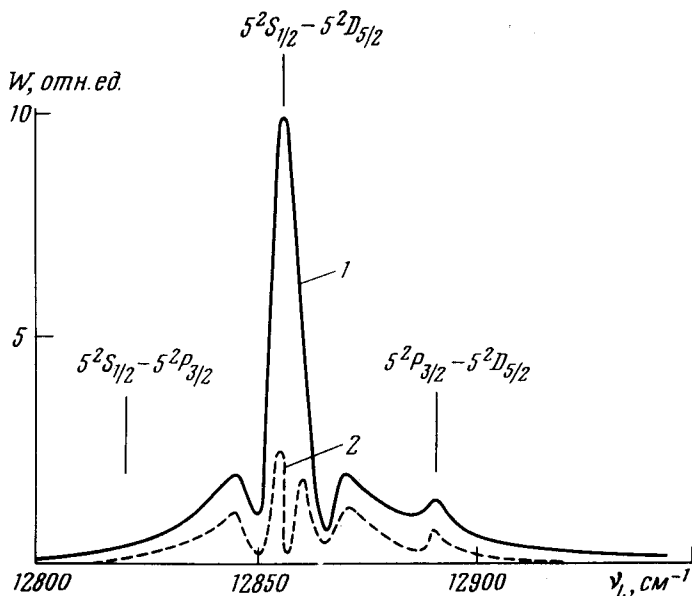


Рис. 2. Зависимость энергии линий 4,61 мкм и 5,23 мкм от частоты накачки; 1 — линия 4,61 мкм; 2 — линия 5,23 мкм

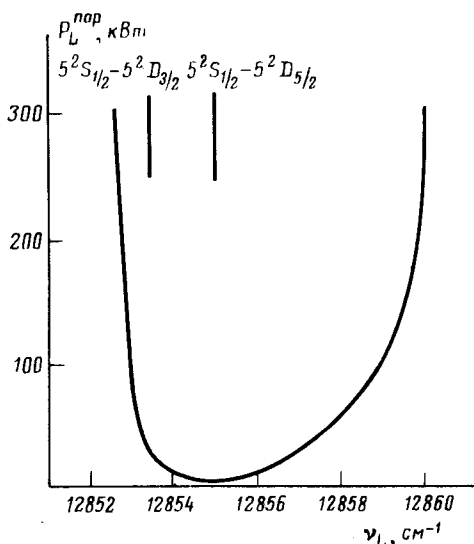


Рис. 3. Частотная зависимость порога ИК ВТР.

При перестройке частоты лазерного излучения в непосредственной близости от двухфотонного резонанса $5^2S_{1/2} - 5^2D_{5/2}$ наблюдалось также инфракрасное вынужденное трехфотонное рассеяние света (ВТР) на частоте ω_T (рис. 1). Пороговая кривая для этого процесса приведена на рис. 3. Как видно из графика, пороговая кривая имеет минимум

при нулевой расстройке от двухфотонного резонанса. Значительная асимметрия в поведении пороговой кривой, по-видимому, связана с тем, что при длинноволновых расстройках $\sim 3 \text{ см}^{-1}$ возникает переход с уровня $5^2D_{3/2}$ приводящий к заселению уровня $6^2P_{3/2}$.

При перестройке частоты накачки в окрестности перехода $5^2P_{3/2} - 5^2D_{5/2}$ наблюдалось ИК ВКР, связанное с переходами между уровнями $5^2P_{3/2} - 6^2P_{3/2}$. Появление линии ИК ВКР свидетельствует о значительном заселении исходного уровня $5^2P_{3/2}$.

В заключение отметим, что наблюдавшееся в настоящей работе вынужденное излучение при многофотонной ионизации атома может быть использовано для преобразования лазерного излучения в ИК область спектра.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
13 июля 1978 г.

Литература

- [1] Н.В.Вебб. Phys. Rev., 153, 23, 1967.
 - [2] Ф.А.Королев, В.В.Мартынов, В.И.Одинцов, А.О.Фохми. Оптика и спектроскопия, 40, 1043, 1976.
 - [3] А.М.Бонч-Бруевич, В.А.Ходовой, В.В.Хромов. Письма в ЖЭТФ, 14, 487, 1971.
-