

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЭФФЕКТОВ В ДВУХФОТОННОМ ПОГЛОЩЕНИИ МЕТОДОМ ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.М. Басев, В.Ф. Гамалий, Э.А. Свириденков, Д.Д. Топтыгин

Экспериментально измерено резонансное возрастание интегрального сечения двухфотонного поглощения в парах калия для перехода $4^2S_{1/2} \rightarrow 6^2S_{1/2}$ при прохождении виртуального промежуточного уровня через реальный энергетический уровень атома калия $4^2P_{3/2}$.

Малая вероятность двухфотонных переходов затрудняет их непосредственное наблюдение в поглощении, и обычно они исследовались по вторичным эффектам, например, по возбуждению люминесценции [1]. Однако такие эксперименты затрудняют получение количественной информации о сечениях двухфотонных переходов. Знание этих величин представляет не только научный, но и практический интерес. Например, в работе [2] показано, что изотопически-селективное двухфотонное возбуждение трехуровневого атома более перспективно для разделения изотопов щелочных металлов, чем однофотонное возбуждение. Ещё одно важное применение — определение сил осцилляторов для переходов между возбужденными уровнями, которые однозначно связаны с сечениями двухфотонного поглощения. Например, в справочнике НБС США [3] для большинства переходов даны лишь значения сил осцилляторов, теоретически рассчитанные с точностью хуже 50%.

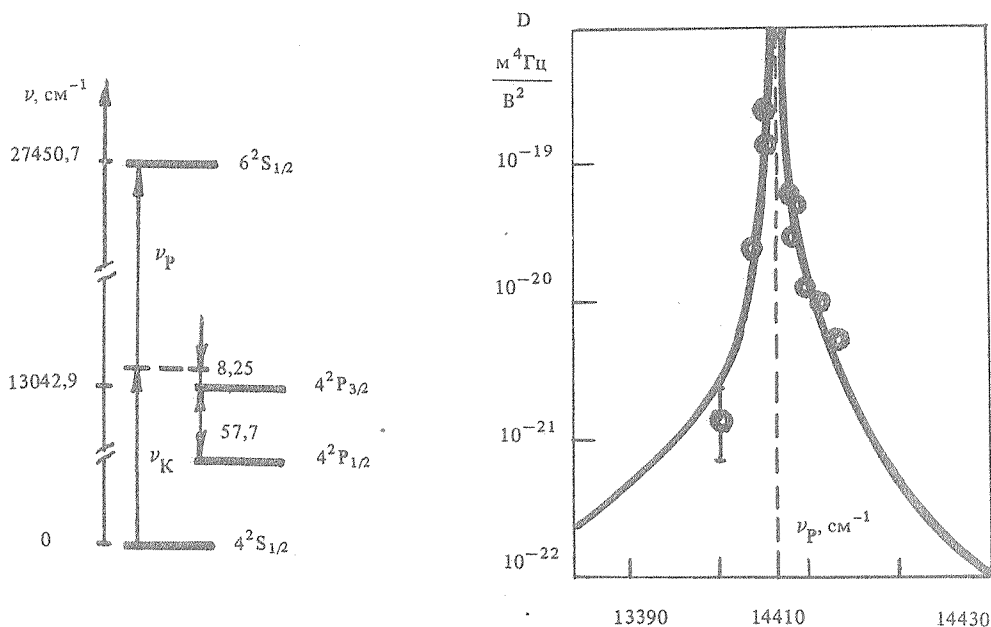


Рис. 1. Схема электронных уровней атома калия. Пунктиром показан виртуальный уровень при двухфотонном поглощении $4^2S_{1/2} \rightarrow 6^2S_{1/2}$ (температура рубинового стержня $23^{\circ}C$). ν_p — частота фотона излучения рубинового лазера, ν_k — частота фотона излучения лазера на красителе.

Рис. 2. Зависимость интегрального сечения двухфотонного поглощения $4^2S_{1/2} \rightarrow 6^2S_{1/2}$ атомарного калия от частоты излучения рубинового лазера ν_p . Сплошной кривой показано теоретически вычисленные значения интегрального сечения.

В работах /4–8/ показано, что метод внутррезонаторной лазерной спектроскопии (ВРЛС) благодаря высокой чувствительности и возможности проводить количественные измерения является перспективным для исследования и измерения сечений нелинейных процессов, таких как комбинационное рассеяние и двухфотонное поглощение.

В настоящей работе исследовано количественное изменение интегрального сечения двухфотонного поглощения в парах калия для переходов $4^2S_{1/2} \rightarrow 6^2S_{1/2}$ в зависимости от частотной отстройки виртуального промежуточного уровня от реальных энергетических уровней атома. На рис. 1 показана схема электронных уровней калия, участвующих в исследуемом процессе.

Методика и экспериментальная установка описаны в работе /7/. Кювета с парами калия вносилась в резонатор лазера на растворе органического красителя ДОТС в диметилсульфоксиде (область генерации 740–775 нм), возбуждаемого гигантским импульсом рубинового лазера (20 нс, $1 \div 5$ МВт/см²). Излучение рубинового лазера до попадания в кювету с красителем проходило через кювету с парами калия. Концентрацию паров калия изменяли в пределах от 10^{10} до $2 \cdot 10^{11}$ см⁻³. Резонансное поглощение при переходе $4^2S_{1/2} \rightarrow 4^2P_{3/2}$ дает дублет 769,90 и 766,49 нм, попадающий в полосу генерации широкополосного лазера на красителе. При наличии мощного излучения рубинового лазера в спектре генерации наблюдается дополнительная линия поглощения, соответствующая одновременному поглощению атомом калия одного фотона излучения рубина и одного фотона излучения лазера на красителе и переходу атома калия $4^2S_{1/2} \rightarrow 6^2S_{1/2}$.

В работе /8/ получено теоретическое выражение для величины интегрального сечения двухфотонного поглощения D для случая, когда излучения рубина и красителя линейно поляризованы и векторы поляризации параллельны. В этих расчетах учтены вклады от всех реальных уровней с различными угловыми моментами и их проекциями на направление поляризации излучения. Интересной особенностью является интерференция квантовых состояний $4^2P_{3/2}$ и $4^2P_{1/2}$, т.е. их вклад с разными знаками в вероятность двухфотонного перехода. Интерференция проявляется в асимметрии значений сечений двухфотонного поглощения как функции отстройки виртуального уровня от реального энергетического уровня атома. Воспользовавшись значениями для сил осцилляторов из /3/, мы рассчитали зависимость значений D от частоты излучения рубинового лазера или, что то же самое, от частотной отстройки между промежуточным виртуальным уровнем (на рис. 1 его положение показано пунктиром при температуре рубинового стержня 25°C) и реальным уровнем $4^2P_{3/2}$. Величина D резонансно зависит от этой частотной отстройки, как видно из рис. 2 (сплошная кривая). В указанной выше работе /8/ мы показали, как сечение интегрального двухфотонного поглощения D может быть определено экспериментально с помощью метода ВРЛС. Полученные значения D представлены на рис. 2. Эти значения измерены с точностью 40%, что в основном определяется точностью измерения концентрации паров калия.

Регистрация спектра генерации лазера на красителе осуществлялась с помощью спектрографа на базе автоколлимационной камеры УФ–90 с фокусным расстоянием 1,3 м и дифракционной решеткой 150 штрих/мм, работавшей в 16 порядке. Величина полного поглощения, которая зависит от D , определялась по традиционной фотографической методике /9/: регистрировалось излучение лазера на красителе на фотопленку И–810, получались микрофотограммы и по ним определялись значения полного поглощения. Энергия излучения рубинового лазера измерялась калориметрическим измерителем энергии световых импульсов. Форма и длительность импульсов генерации рубинового лазера регистрировались с помощью ФЭК–09 и осциллографа И2–7. Охлаждение рубина осуществлялось при обдуве активного элемента испаряющимся жидким азотом. Используя систему охлаждения, описанную в /10/, мы охлаждали рубин до –100°C. При изменении скорости испарения жидкого азота удавалось перестраивать частоту излучения рубинового лазера в пределах 14 см⁻¹, что приводило к смещению положения виртуального уровня и даже прохождению его через реальный уровень $4^2P_{3/2}$. При этом резонансно изменялось интегральное сечение двухфотонного поглощения.

Из рис. 2 видно хорошее совпадение экспериментально измеренных значений интегрального сечения двухфотонного поглощения с рассчитанными, хотя величина сечения меняется в пределах двух порядков. К сожалению, температурная перестройка частоты излучения рубинового лазера не позволила нам провести эти исследования в более широком спектральном диапазоне, хотя динамический диапазон метода позволяет проследить изменения сечений еще по крайней мере на пять порядков. Таким образом, предложенная методика является эффективным инструментом для исследования процессов двухфотонного поглощения, в частности для экспериментального исследования интерференции квантовых состояний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bjorkholm I. E., Liao P. F. Phys. Rev. Lett., 33, 128 (1974).
2. Бахтгадзе А. Г. и др. Квантовая электроника, 10, 2013 (1983).
3. Wiese W. L., Smith M. W. and Miles B. M. Atomic Transition Probabilities. Volume 2, NBS, Washington, 1969.
4. Сучков А. Ф. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 1, 39 (1972).
5. Баев В. М., Вернке В., Свириденков Э. А. Квантовая электроника, 2, 856 (1975).
6. Баев В. М. и др. Химическая физика, 4, 64 (1985).
7. Баев В. М. и др. Квантовая электроника, 11, 2413 (1984).
8. Баев В. М. и др. Препринт ФИАН № 347, 1985.
9. Зайдель А. Н., Островская Г. В., Островский Ю. И. Техника и практика спектроскопии. М., Наука, 1976.
10. Леонтович А. М., Можаровский А. М., Сморгчов В. Н. Приборы и техника эксперимента, № 1, 169 (1973).

Поступила в редакцию 7 апреля 1986 г.