

РАЗЛИЧИЕ ВЫХОДОВ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ФОТОИОНИЗАЦИИ ЧЕТНЫХ И НЕЧЕТНЫХ ИЗОТОПОВ Yb ПОЛЯРИЗОВАННЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Г.И.Беков, А.Н.Жерихин, В.С.Летохов,

В.И.Мишин, В.Н.Федосеев

Обнаружено влияние поляризации лазерного излучения на выход четных и нечетных изотопов Yb при селективной трехступенчатой фотоионизации через ридберговское состояние естественной смеси изотопов. Дана интерпретация полученных результатов.

В основе изотопически-селективной фотоионизации атомов лежит изотопический сдвиг или различие сверхтонкой структуры различных изотопов [1]. В работе [2] было обращено внимание на возможность изотопической селективности возбуждения по четным и нечетным изотопам на $J = 0 \rightarrow J' = 0$ переходах из-за снятия запрета на такой переход для нечетных изотопов с ненулевым ядерным спином. В данной работе сообщается о первом наблюдении селективности фотоионизации четных и нечетных изотопов за счет возбуждения атомов поляризованным излучением даже при ширине линии излучения, превышающей величину изотопического сдвига. Влияние поляризации на выход изотопов было обнаружено при селективной трехступенчатой фотоионизации естественной смеси изотопов Yb.

В экспериментах использовался пучок атомов Yb, которые трехступенчатым способом возбуждались лазерным излучением в ридберговское состояние $18r^3P_2^0$, после чего ионизовались импульсом электрического поля (рис.1, а). Для определения выхода фотоионов различных изотопов на первой ступени использовался узкополосный перестраиваемый давлением лазер на красителе.

В работе использовались лазеры на красителях, накачиваемые излучением лазера на парах меди. Ширина линии генерации лазера первой ступени составляла $\Delta\nu_{\text{л}}^{(1)} = 0,04 \text{ см}^{-1}$. В процессе эксперимента часто-

та генерации лазера перестраивалась с помощью давления в интервале $0,5 \text{ см}^{-1}$. На двух других ступенях использовались широкополосные лазеры с $\Delta\nu_{\text{л}}^{(2,3)} = 0,8 \text{ см}^{-1}$. Средние мощности лазерного излучения на первой, второй и третьей ступенях были соответственно равны 30, 6 и 20 мВт. Частота следования импульсов составляла 10 кГц. Излучение всех лазеров было линейно поляризовано в горизонтальной плоскости. Для изменения поляризации в лазерные пучки вводились пластинки $\lambda/4$.

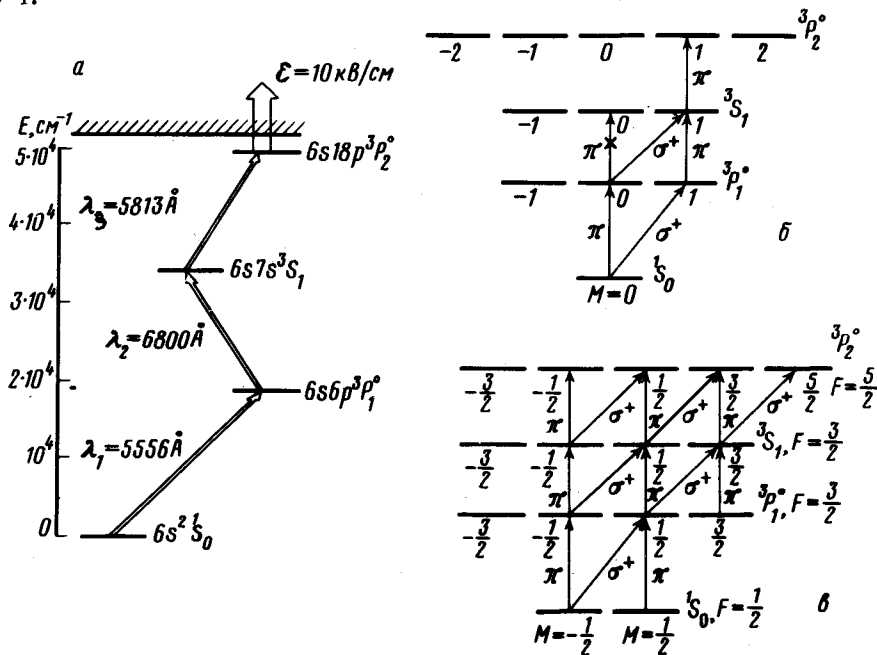


Рис.1. *a* – Схема возбуждения и ионизации атома иттербия лазерным излучением и электрическим полем, *б* – схема возбуждения четных изотопов, *в* – один из возможных путей возбуждения изотопа ^{171}Yb

Лазерные пучки пересекали атомный пучок между двумя электродами, на которые с задержкой 50 нсек относительно лазерных импульсов подавался ионизирующий электрический импульс. Напряженность электрического поля в зазоре между электродами составляла 10 кВ/см. Для создания атомного пучка и регистрации ионного тока использовалась аппаратура, описанная в работе [3].

На рис.2 приведены зависимости ионного тока от длины волны генерации лазера первой ступени для случая линейной поляризации (рис.2, *a*) и для случая круговой поляризации излучения первой ступени (рис.2, *б*). При этом излучение на второй и третьей ступенях было поляризовано линейно. Вид спектра на рис.2, *б* не менялся, когда на первой ступени использовалось линейно поляризованное излучение, а на второй – поляризованное по кругу. Отметим, что линия генерации лазера первой ступени была недостаточно узкой для того, чтобы можно было оценить вклад каждого изотопа в отдельности. Тем не менее, из экспериментальных спектров можно определить отдельно вклады четных и нечетных изотопов (рис. 2 *в*, *г*, *д*, *е*).

Из сравнения спектров видно, что при переходе от линейно поляризованного излучения к излучению, поляризованному по кругу, выход четных изотопов возрастает. В условиях эксперимента степень поляризации лазерного излучения была равна $10 - 10^2$. Спектр, изображенный на рис. 2, а, был получен при степени поляризации 10 и насыщении перехода второй ступени. Поэтому заметен вклад четных изотопов. Более высокую селективность отделения четных изотопов от нечетных можно получить, снизив мощность лазера второй ступени настолько, чтобы обеспечивался линейный режим, и повысив степень поляризации лазерного излучения.

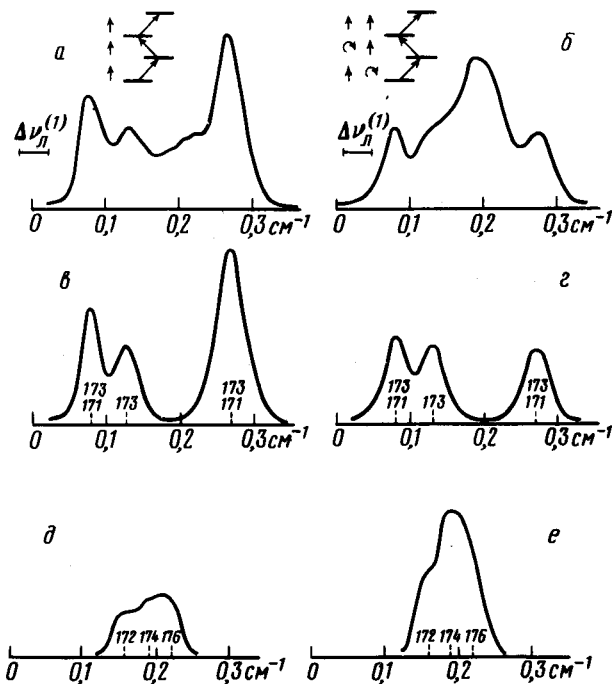


Рис. 2. Зависимости ионного тока от длины волны генерации лазера первой ступени: а — линейная поляризация; б — круговая, в, г — нечетные изотопы иттербия; д, е — четные изотопы иттербия (спектры в, г, д, е получены из экспериментальных спектров а, б в результате математической обработки)

Полученные результаты можно интерпретировать следующим образом. Как известно [4], сечение перехода между двумя магнитными подуровнями компонент сверхтонкой структуры двух термов имеет вид

$$\sigma(\gamma JIFM; \gamma' J'IF'M') \approx |(\gamma J || D || \gamma' J')|^2 (2F + 1) \times (2F' + 1) \left\{ \begin{matrix} J & F & I \\ F' & J' & 1 \end{matrix} \right\}^2 \left(\begin{matrix} F & 1 & F' \\ -M & q & M' \end{matrix} \right)^2, \quad q = 0, \pm 1, \quad (1)$$

где $(\gamma J || D || \gamma' J')$ — приведенный матричный элемент дипольного момента перехода, который одинаков для всех изотопов одного элемента. Зависимость сечения от поляризации определяется 3j-символом. При многоступенчатом возбуждении смеси изотопов существуют такие комбинации переходов и поляризации лазерного излучения, при которых воз-

буждаются только нечетные изотопы. Рассмотрим это на примере трех-ступенчатой фотоионизации изотопов Yb через ридберговские состояния (рис.1).

Для четных изотопов (рис.1, б) ядерный спин $I = 0$. При этом для перехода ${}^3P_1^o - {}^3S_1$ в случае $M = M' = 0$ $3j$ -символ $\begin{pmatrix} 111 \\ 000 \end{pmatrix}$ равен 0 и, следовательно, равно нулю сечение этого перехода. Поэтому выход четных изотопов будет равен нулю, если на первой и второй ступенях возбуждения используется линейно поляризованное излучение. В том случае, когда на одной из этих ступеней поляризация линейная, а на другой — круговая, то соответствующие переходы, указанные по схеме (рис.1, б), разрешены и выход четных изотопов отличен от нуля.

В случае нечетных изотопов (рис.1, в) переходы на всех трех ступенях возбуждения возможны, так как F и M принимают полуцелые значения и при любой поляризации света всегда найдутся такие переходы, для которых $3j$ -символ в (1) не равен нулю. Тем не менее, выход нечетных изотопов может зависеть от поляризации излучения, поскольку при ее изменении будет меняться количество магнитных подуровней, возбуждаемых на промежуточных состояниях.

Таким образом, экспериментально показано, что разделение четных и нечетных изотопов можно осуществить, используя лазерное излучение с шириной линии, большей изотопического сдвига. Этим способом можно осуществлять разделение и детектирование изотопов щелочно-земельных элементов и изотопов других элементов, например Zn , Cd , Hg , Pd .

Институт спектроскопии
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
31 марта 1981 г.

Литература

- [1] В.С.Летохов. УФН, 125, 57, 1978.
- [2] Я.Б.Зельдович, И.И.Собельман. Письма в ЖЭТФ, 21, 368, 1975.
- [3] G.I.Bekov, V.S.Letokhov, O.I.Matveev, V.I.Mishin. Opt. Lett., 3, 159, 1978.
- [4] И.И.Собельман. Введение в теорию атомных спектров. М., изд. Наука, 1977.