

О ВОЗБУЖДЕНИИ ИЗОМЕРНЫХ ЯДЕРНЫХ УРОВНЕЙ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ПО МЕХАНИЗМУ ОБРАТНОЙ ВНУТРЕННЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНВЕРСИИ

В.И.Гольданский, В.А.Намиот

На примере U^{235M} констатируется возможность наблюдения возбуждения изомерных ядерных уровней путем захвата электронов из сплошного спектра на освобожденные действием лазерного излучения электронные оболочки и передачи ядру энергии этого захвата, т. е. по механизму обратной внутренней электронной конверсии.

Хорошо известен процесс внутренней электронной конверсии, в котором энергия возбуждения изомерного ядерного уровня Q передается непосредственно электронным оболочкам и используется на выбрасывание в сплошной спектр электрона с кинетической энергией $E_i = Q - V_i$, где V_i – потенциал ионизации для i -й оболочки.

Очевидно, что в принципе возможен и процесс обратной электронной конверсии, когда электрон захватывается из сплошного спектра на вакантное место в i -й оболочке, а высвобождающаяся при этом энергия $Q = E + V_i$ используется для возбуждения изомерного уровня. При этом, однако, требуется создать условия, когда участвующие в конверсии электронные оболочки в достаточной степени вакантны и когда обратная конверсия оказывается наблюдаемой, несмотря на крайне малую долю используемых в этом процессе электронов сплошного спектра, равную, очевидно, Γ/Δ , где Γ – естественная ширина заселяемого изомерного уровня, а Δ – эффективная ширина сплошного спектра.

Как показано ниже, эти условия могут быть реализованы при импульсным воздействием лазерного излучения на среду, где надо инициировать

обратную электронную конверсию. В качестве иллюстративного примера мы рассматриваем нацело конвертированный изомерный переход в ядрах U^{235M} — энергия перехода $Q \approx 73$ эв, период полураспада $T_{1/2} \approx 26$ мин, т. е. $\Gamma \approx 3 \cdot 10^{-19}$ эв [1, 2].

Вероятность возбуждения ядерного уровня за время (τ) существования ионизированной мишени, обеспечиваемого лазерным импульсом равняется, очевидно,

$$w = n_{рез e} \sigma_{рез} v_e \tau, \quad (1)$$

где $n_{рез e}$ — концентрация резонансных электронов с энергией в пределах ширины Γ , $\sigma_{рез}$ — сечение возбуждения уровня этими электронами, v_e — их скорость.

По порядку величины $n_{рез e} \approx n_e \Gamma / T$, где n_e — полная концентрация свободных электронов, а T — температура мишени, которая для достаточно высокой эффективности обратной конверсии должна быть близка к энергии заселяемого ядерного уровня Q . Далее можно принять, что

$m_e v_e^2 = 2E$, а $\sigma_{рез} \sim (\hbar / m_e v_e)^2$, так что

$$w = n_e \frac{\Gamma}{Q} \frac{\hbar^2}{m_e \sqrt{2m_e E}} \tau. \quad (2)$$

В рассматриваемом случае U^{235M} , $w \approx 3 \cdot 10^{-29} n_e (1/см^3) \tau (сек)$. При энергии лазерного пучка $\mathcal{E} \approx 10$ дж и потенциале ионизации Q (число электронов в ядре урана, обладающих таким или меньшим потенциалом ионизации, составляет около 10) число создаваемых ионов может, очевидно, достигать $\sim 5 \cdot 10^{16}$. Это число соответствует объему нагреваемой лазером пылинки урана около 10^{-6} см³ или ее радиусу около 10^{-2} см (при этом $n_e \approx 10^{24}$ см⁻³). Время разлета атомов вещества этой пылинки, нагретой до температуры Q , ($r \sim 10^{-2}$ см, $V \sim 10^6$ см/сек) составляет около 10^{-8} сек. Охлаждение пылинки при температуре Q по Стефану — Больцману унесло бы за это время энергию около 100 дж, что в 10 раз превышает вышеприведенную энергию лазерного пучка \mathcal{E} . Поэтому следует принять в качестве длительности реального времени лазерной "накачки" изомерного уровня в 10 раз меньшую величину: $\tau \sim 10^{-9}$ сек.

Подстановка указанных значений n_e и τ в (2) дает $w \approx 3 \cdot 10^{-14}$, т. е. число создаваемых в одном лазерном импульсе (при введении в пылинку урана энергии в 10 дж) ядер изомера U^{235M} может достигать $N \approx 1000$. Накопление эффекта посредством облучения многих урановых пылинок последовательностью ряда лазерных вспышек в течение времени жизни уровня U^{235M} может существенно увеличить выход изомера, но и одиночных лазерных импульсов достаточно для обнаружения явления обратной электронной конверсии.

Описанным способом можно возбуждать и другие изомерные уровни с большими энергиями и меньшими коэффициентами конверсии (что

затрудняет задачу), но зато с более короткими временами жизни, т. е. большими естественными ширинами (что повышает эффективность использования электронов сплошного спектра в процессе обратной конверсии). Представляется возможным использовать определение выхода ядерных изомеров для апостериорной диагностики условий, имевших место в лазерной плазме.

В заключение заметим, что возможность осуществления обратной внутренней конверсии анализировалась Морита [3], сообщившим позднее и о наблюдении такого процесса для Os^{189} [4], однако при этом рассматривался не захват электронов из сплошного спектра, а переходы между электронными оболочками, что, конечно, резко уменьшает вероятность осуществления резонансного процесса обратной конверсии.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
17 марта 1976 г.

Литература

- [1] C.M.Lederer, J.M.Hollander, I.Pelzman. Table of Isotopes. Sixth Edition. John Wiley and Sons. New-York - London - Sydney, 1967, p.597.
 - [2] M.Neve de Mevergnies. Phys. Lett., 32(B), 482, 1970.
 - [3] M.Morita. Progr. Theor. Phys., 49, 1574, 1973.
 - [4] M.Morita, K.Otozai. Progr. Theor. Phys., 50, 1771, 1973.
-