

## ЯДЕРНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ БЕСФОТОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ ПОЗИТРОНОВ

*И.Н.Вишневский, В.А.Желтоножский, В.П.Свято,  
В.В.Тришин*

Экспериментально, путем наблюдения изомерных  $\gamma$ -переходов, исследовано возбуждение ядер  $\text{In}^{113}$ ,  $^{115}$  и  $\text{Cd}^{111}$  в процессе бесфотонной аннигиляции позитронов в веществе. Установлено существенное разногласие между теоретическим и экспериментальным значениями сечения для  $\text{In}^{115}$ .

Кроме хорошо известной двух- и одноквантовой аннигиляции позитронов возможен процесс бесфотонной аннигиляции на связанных электронах атома. Энергия, освобождаемая при бесфотонной аннигиляции

$$E_a = E_K + 2m_0 c^2 - E_{CB},$$

где  $E_K$  – кинетическая энергия позитронов;  $m_0 c^2$  – энергия покоя электрона;  $E_{CB}$  – энергия связи электрона; может передаваться: 1) электронной оболочке или 2) ядру атома.

Удобными для экспериментального обнаружения ядерного возбуждения под действием безызлучательной аннигиляции позитронов являются ядра, имеющие уровни с энергией  $E_{ур} = E_a$ , которые разряжаются на изомерные состояния. Если после облучения позитронами обнаруживаются (в низкофоновых условиях) конверсионные или  $\gamma$ -переходы с изомерных уровней, то, после учета всех возможных сопутствующих каналов возбуждений ядер и фона, можно сделать заключение о наличии или отсутствии эффекта.

В данной работе исследовались ядра  $In^{115}$  и  $In^{113}$ , имеющие, соответственно, изомерные уровни 336,2 КэВ ( $T_{1/2} = 4,5$  час) и 391,7 КэВ ( $T_{1/2} = 99$  мин), заселяющиеся при разрядке высоколежащих состояний (рис. 1, а, б), а также — ядро  $Cd^{111}$ , характеризующееся изомерным состоянием 396 КэВ ( $T_{1/2} = 48,7$  мин) (рис. 2).

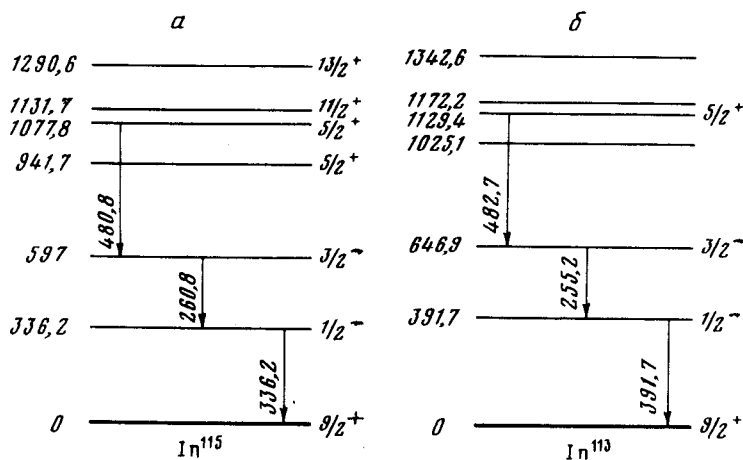


Рис. 1. Фрагменты схем уровней: а —  $In^{115}$ ; б —  $In^{113}$

Используемые в эксперименте источники позитронов  $Cu^{64}$  получались из реакции  $Cu^{63}(n, \gamma)Cu^{64}$  при облучении в реакторе образцов меди естественного изотопного состава. Геометрия эксперимента в виде стопки из последовательно чередующихся пластинок индия или кадмия естественного изотопного состава и радиоактивной меди соответствовала наиболее эффективному облучению позитронами образцов-радиаторов. С целью контроля возможности фотовозбуждения, возбуждения фото- и комптон-электронами ядер  $In^{115}$ ,  $In^{113}$  и  $Cd^{111}$  часть образцов-радиаторов облучалась только  $\gamma$ -квантами  $Cu^{64}$  источников и других сопутствующих  $\gamma$ -излучений, а позитроны и электроны, испускаемые  $Cu^{64}$ , поглощались свинцовой пластинкой.  $\gamma$ -спектры исследуемых основных и контрольных образцов измерялись на  $Ge(Li)$ -детекторах. Принадлежность наблюдаемых  $\gamma$ -переходов (рис. 3, а, в) изомерным уровням данных ядер идентифицировалась по энергии и периоду полураспада. В  $\gamma$ -спектрах контрольных образцов изомерных переходов не наблюдалось (рис. 3, б, г).

Согласно нашим измерениям и расчетам с помощью соотношений, аналогичных [1] и [2], получены значения интегральных  $\sigma_{\text{эфф}}$  и дифференциальных  $\sigma_{\text{рез эксп}}$  сечений данного процесса для ядер  $\text{In}^{115}$ ;  $\text{In}^{113}$  и  $\text{Cd}^{111}$ .

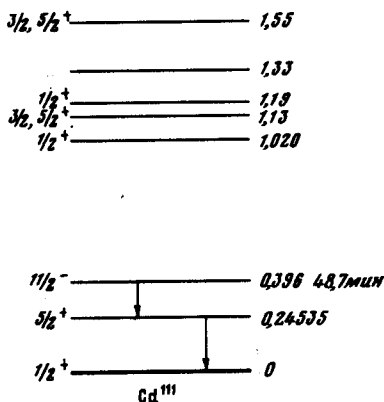


Рис. 2. Фрагмент схемы уровней  $\text{Cd}^{111}$

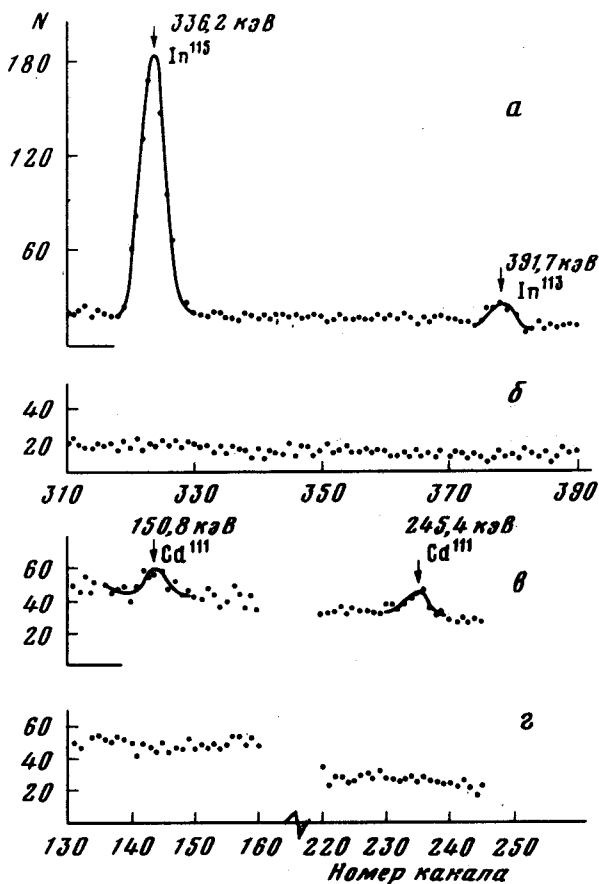


Рис. 3.  $\gamma$ -спектры: а —  $\gamma$ -спектр облученного позитронами индия; б —  $\gamma$ -спектр контрольных образцов индия; в —  $\gamma$ -спектр облученного позитронами кадмия; г —  $\gamma$ -спектр контрольных образцов кадмия

Ядро	$\sigma_{\text{эфф}}, \text{ см}^2$	$\sigma_{\text{рез эксп}}, \text{ см}^2$	$\sigma_{\text{рез теор}}, \text{ см}^2$
$\text{In}^{115}$	$(1,1 \pm 0,4) \cdot 10^{-32}$	$(4,8 \pm 2,1) \cdot 10^{-24}$	$(0,626 \div 1,49) \cdot 10^{-30}$
$\text{In}^{113}$	$(7,3 \pm 3,7) \cdot 10^{-33}$	$(1,9 \pm 1,0) \cdot 10^{-24}$	—
$\text{Cd}^{111}$	$(3,3 \pm 2,0) \cdot 10^{-33}$	—	—

При определении  $\sigma_{\text{рез эксп}}$  для  $\text{In}^{115}$  мы пренебрегали вкладом уровней 1450 [3] и 1464 КэВ [4] в заселение изомерного состояния, который, согласно нашим оценкам (с учетом  $\beta^+$ -распределения  $\text{Sn}^{64}$ ), составляет  $\sim 3\%$  от вклада уровня 1077,8 КэВ [3 – 6].

В случае  $\text{In}^{113}$  определено  $\sigma_{\text{рез эксп}}$  для уровня 1129,4 КэВ, который, согласно [5], разряжается на изомерное состояние 391,7 КэВ (рис. 1,б).

Так как, согласно данным работы [7], в  $\text{Cd}^{111}$  не обнаружено уровней, которые разряжались бы на изомерное состояние, то в таблице приводится только интегральное сечение процесса. Ошибки в значениях  $\sigma_{\text{эфф}}$  и  $\sigma_{\text{рез эксп}}$  обусловлены, главным образом, не статистикой измерений (например, в случае  $\text{In}^{115}$  статистическая ошибка  $\sim 3\%$ ), а ошибками в определениях потока позитронов и эффективной толщины индиевых фольг.

Данные по  $\text{In}^{115}$ , полученные с помощью впервые поставленного нами методически нового, по сравнению с [1], эксперимента [2], подтвердила появившаяся недавно работа [8]. Результаты [2] и настоящей нашей работы по  $\text{In}^{115}$  находятся также в удовлетворительном согласии с [1], в то время как при сравнении с теоретическими расчетами [9] для случая  $E2$ -возбуждения уровня 1078 КэВ наблюдается существенное расхождение —  $\sigma_{\text{рез эксп}}$  превышает  $\sigma_{\text{рез теор}}$  больше, чем в  $10^6$  раз (таблица). Сравнение с теоретическими расчетами [10] не корректно, так как они сделаны для случая  $E1$ -возбуждения уровня 1078 КэВ  $\text{In}^{115}$ .

Возбуждение ядер  $\text{In}^{113}$  и  $\text{Cd}^{111}$  под действием бесфотонной аннигиляции позитронов наблюдалось нами впервые. Теоретические расчеты сечений данного процесса для этих ядер отсутствуют.

Институт ядерных исследований  
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию  
28 апреля 1979 г.

После переработки  
31 июля 1979 г.

### Литература

- [1] T.Mukoyama, S.Shimizu. Phys. Rev., C5, 95, 1972.
- [2] И.Н.Вишневский, В.А.Желтоножский, В.П.Свято, В.В.Тришин. Препринт КИЯИ-78-1, Киев, 1978.
- [3] В.Т.Chertok, W.T.K.Johnson. Phys. Rev., 174, 1525, 1968.
- [4] S.Raman, H.J.Kim. Nuclear Data Sheet, 16, 195, 1975.

- [5] К.Н.Ерохина, Р.Жиргулявичус, И.Х.Лемберг, А.А.Пастернак. Лит. физ. сб., 14, 817, 1974.
- [6] V.Sergeev, J.Becker, L.Eriksson, L.Gidefelt, L.Holmberg. Nucl. Phys. A202, 385, 1973.
- [7] S.Raman, H.J.Kim. Nucl. Data Sheets, B6, 39, 1971.
- [8] Y.Watanabe, T.Mukoyama, S.Shimizu. Phys. Rev., C19, 32, 1979.
- [9] Д.П.Гречухин, А.А.Солдатов. ЖЭТФ, 74, 13, 1978.
- [10] R.D.Present, S.C.Chen. Phys. Rev., 85, 447, 1952.
-