

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ43г
Б-584

P15 - 7383

4337/2-73

Я.Бжоско, Э.Герлик, А.Солтан, Е.Пиотровски,
З.Шефлински

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА
ПРОТОНОВ ЯДРАМИ ^{110}Cd

В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ 2 - 4,5 МЭВ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

P15 - 7383

Я.Бжоско, Э.Герлик, А.Солтан, Е.Пиотровски,*
З.Шефлински *

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА
ПРОТОНОВ ЯДРАМИ ^{110}Cd
В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ 2 - 4,5 МЭВ

* Институт экспериментальной физики
Варшавского Университета, ПНР.

В работах, связанных с выяснением аномальной интенсивности в высокоэнергетической части γ -спектра, испускаемого ядрами с возбуждением 6-8 МэВ, указано на существование усиления в силовой функции γ -квантов¹⁻⁴. Источником такого усиления являются одночастичные переходы, роль которых учитывается в модели связанных входных состояний⁵ и выходных состояний компаунд-ядра⁶. Любой из этих подходов приводит к нестатистическим эффектам в эмиссии γ -квантов, проявляющихся в усилении интенсивности высокоэнергетических переходов^{5,6}, приводящих к нарушениям статистического распределения заселенностей низколежащих уровней⁷.

Ожидается, что в нечетных ядрах вблизи замкнутых оболочек число выходных состояний невелико, поэтому в изотопах яндия появляется возможность продемонстрировать роль этих состояний⁶.

С целью поиска нестатистических эффектов исследовалась низкоэнергетическая часть γ -спектра в реакции $^{110}\text{Cd}(p\gamma)^{111}\text{In}$ в области энергии протонов 2 - 4,5 МэВ. В данном случае было возможно изучить заселенности известных уровней ^{111}In с возбуждением $E_x \leq 2,3$ МэВ. Эти уровни заселялись после распада компаунд-ядра, энергия возбуждения которого изменялась от 7,3 до 9,8 МэВ. Из-за того, что испускание нейтронов энергетически невозможно ($Q_{pn} = -4,7$ МэВ), а испарение протонов маловероятно ($B_{кул.} \approx 10$ МэВ), единственный способ распада компаунд-ядра - это эмиссия γ -квантов.

Расчеты по оптической модели^{8,9} показывают, что в исследованном диапазоне энергий главным образом возбуждаются компаунд-состояния со спином $3/2$ ($\geq 60\%$).

Протоны, ускоренные на электростатическом генераторе, бомбардировали обогащенную мишень ^{110}Cd /~ 93%/. Поток протонов измерялся интегратором, построенным на основе разряда емкости 100 . Толщина самоподдерживающейся мишени составляла 3 мг/см².

Мгновенные γ -кванты, как и накапливающаяся активность, регистрировались Ge-Li-детектором /35 см³/.

На рис. 1 представлен в качестве примера спектр γ -квантов и схема уровней ^{111}In 111 . Над идентифицированными линиями указаны энергии уровней индия, между которыми происходят данный γ -переход. На схеме отмечены только исследованные /и обнаруженные/ переходы; толщина стрелок ориентировочно отмечает относительную интенсивность.

На рис. 2 представлена кривая возбуждения реакции $^{110}\text{Cd}(p,\gamma)^{111}\text{In}$, измеренная активационным методом / $T_{1/2} = 2,83$ дн; $E_{\gamma} = 173$ кэВ/. Статистические ошибки экспериментальных точек меньше, чем размеры точек; систематическая ошибка ~ 5%. Точки нанесены для эффективных энергий протонов с учетом энергетической зависимости выхода реакции и толщины мишени.

Так как в исследованном интервале энергии протонов сечение реакции (p,γ) равно сечению захвата протонов, его можно сравнить с расчетами по оптической модели. Такое сравнение для параметров, полученных в 18 , иллюстрируется сплошной кривой.

На рис. 3 представлены относительные заселенности уровней ^{111}In . В части /I/ показаны измеренные отношения - сечение заселения измеренного состояния к полному сечению реакции (p,γ) . Части с /II/ по /IV/ представляют интенсивности γ -распада определенных уровней, нормированные на полное число реакций. Числовые индексы и буквы "m" и "g" обозначают энергию

исследованных уровней и путь их распада - заселение изомерного либо основного состояния. Среди известных 22 уровней только 8 играют существенную роль/ как промежуточные ступени снятия возбуждения ядра ^{111}In /. Остальные 14 уровней участвуют только в < 5% случаев, несмотря на то, что, как известно из наших исследований

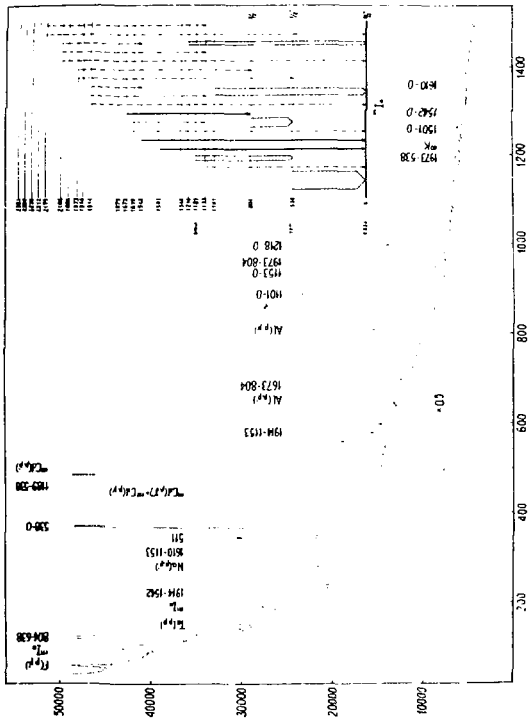


Рис. 1. Спектр γ -квантов из реакции $^{110}\text{Cd}(\text{p}, \gamma)^{111}\text{In}$ и схема распада ^{111}In .

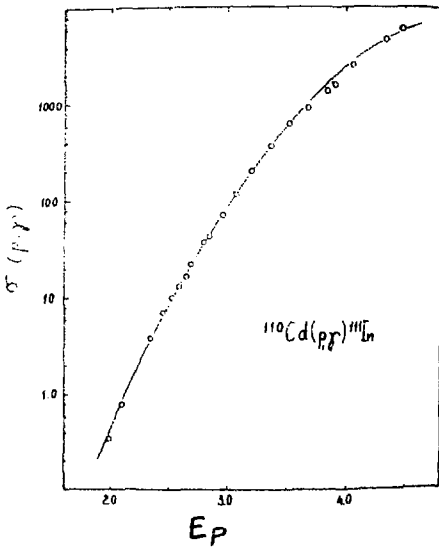


Рис. 2. Функция возбуждения реакции $^{110}\text{Cd}(p, \gamma)^{111}\text{In}$.
Кривая - расчеты по оптической модели.

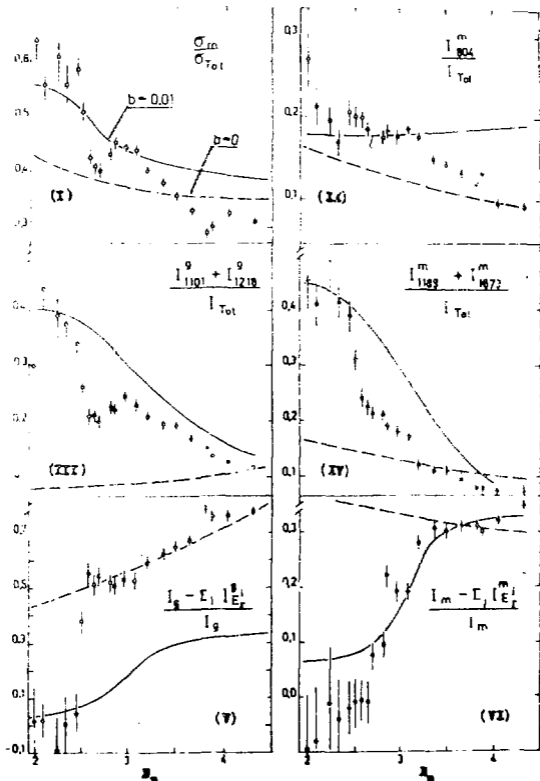


Рис. 3. Относительные заселенности уровней ^{111}In , полученные в реакции (p, γ) . Сплошные кривые - расчеты, учитывающие эхо-резонанс, пунктирные кривые - без учета эхо-резонанса.

реакции $^{111}\text{Cd}(p,n)^{111}\text{In}$, спины уровней с $E_x < 2,3$ МэВ заключены в пределах $1/2 - 1\ 1/2$.

Для энергии протонов $E_p > 2,5$ МэВ большая часть γ -каскада не происходит на уровни $E_x < 2,3$ МэВ, прямо заселяя измеренное и основное состояния. Эта часть была вычислена как разница полного числа реакций, ведущих до основного /или изомерного/ состояния и заселенности низколежащих уровней /рис. 3 ч. У и У1/.

Кривые на рисунке представляют результаты расчетов по теории составного ядра. В расчетах вероятность эмиссии γ -квантов включает в себя как сечение возбуждения гигантского резонанса $E1$, так и сечение возбуждения эхо-резонанса /1-3/; параметр b определяет отношение площадей под "эхо" и гигантским резонансом. Проверено, что результаты выполненных расчетов не зависят от набора спинов компаунд-ядра в рамках известных коэффициентов пропускания для протонов /8,9/.

С целью определения связи между относительными заселенностями низколежащих уровней, получаемых в результате снятия возбуждения ядра ^{111}In /в диапазоне энергии возбуждения 7,3 - 9,8 МэВ/, были проведены расчеты коэффициентов корреляции. Эти коэффициенты для сильно заселенных уровней /см. рис. 1 - заштрихованные линии/ составляют величину 0,7 - 0,8 с ошибкой 0,1. Расчеты выполнялись по тем же формулам, которыми пользовался А.М. Лейн /5/.

Следующие обстоятельства:

а/ заселение как изомерного, так и основного состояний идет через свои группы низколежащих сильно скоррелированных уровней;

б/ обнаруживается корреляция между группами переходов на уровни /изомерный и основной/, волновые функции которых различны /12/;

в/ сравнение изомерных и вычисленных относительных интенсивностей распада низколежащих уровней указывает на существенную роль высокоэнергетических переходов в распаде компаунд-ядра / $b = 0,01$, рис. 3/;

г/ в кривой возбуждения реакции $^{110}\text{Cd}(p,\gamma)^{111}\text{In}$ не обнаружено структуры

позволяют предположить, что полученные отклонения от статистической модели являются результатом проявления сильных выходных конфигураций в компаунд-ядре ^{111}In .

Вероятно, что эти конфигурации, распавшись, заселяют только некоторые отдельные низколежащие уровни, а именно те, которые имеют похожие компоненты в волновых функциях. Возможным кандидатом на такую выходную конфигурацию является протон на уровне $f_{7/2}$, связанный с остовом (^{110}Cd) в однофононном состоянии 2^+ .

У данной конфигурации ожидается распад как по схеме

$$|(\pi f_{7/2}, 12) 3/2^+ \rightarrow (\pi g_{9/2}, 12) 5/2^+ \rightarrow \text{осн. сост. } 9/2^+,$$

так и по схеме

$$|(\pi f_{7/2}, 12) 3/2^+ \rightarrow (\pi d_{5/2}, 12) 1/2^+ \div 5/2^+ \rightarrow$$

изомерное состояние $1/2^-$.

Энергия предполагаемой конфигурации должна отвечать энергии возбуждения около 7 МэВ; $E_{f_{7/2}} = 1 - 2$ МэВ, $E_{2^+} = 658$ кэВ, $Q_{\beta\gamma} = 5,3$ МэВ/. При этой энергии в кривых изомерных отношений обнаруживается загиб. Расчеты вероятности одночастичных $E1$ -переходов в потенциале возбужденного остова 161 приводят к оценке интенсивности предполагаемых ветвей распада $I_{\gamma}/\text{о.с.}/I_{\gamma}/\text{н.с.}/ \approx 0,1$ с точностью, которую позволяет модель. Из эксперимента получается близкая величина: 0,5.

Если принять такую интерпретацию выходной конфигурации, то горб, который можно видеть на рис. 3, ч. I - III и сильное увеличение интенсивности, показанное на рис. 3, ч. У и VII, при $E_p \approx 3$ МэВ соответствуют тому же самому состоянию $f_{7/2}$ протона, но связанному с двухфононным состоянием 2^+ остова ^{110}Cd , лежащим на 0,8 МэВ выше в энергетической шкале.

Авторы выражают глубокую благодарность И.М.Франку и И.В.Сизову за постоянный интерес к работе.

Мы имели возможность пользоваться помощью К.Вуйцика и С.Паржипкого во время эксперимента, за что приносим им благодарность.

Литература

1. N.Starfelt. *Nucl.Phys.*, 53, F97 (1964).
2. J.S.Brzosko, E.Gierlik, A. Soltan and Z.Wilhelmi. *Can.J.Phys.*, 47, 2849 (1969).
3. J.S.Brzosko et al. *Acta Phys.Pol.*, B2, 489 (1971).
4. C.A.Bartholomew, I.Bergqvist, E.D.Earle and A.J.Ferguson. *Can.J.Phys.*, 48, 687 (1970).
5. A.M.Lane. *Ann. of Phys.*, 63, 171 (1971).
6. J.S.Brzosko, J.Piotrowski, A.Soltan and Z.Szeflinski. *Nucl.Phys.*, A189, 545 (1972).
7. J.S.Brzosko. *Warsaw Univ. Report*, IFD/5/72.
8. C.H.Johnson and B.L.Kernell. *Phys.Rev.*, C2, 639 (1970).
9. F.D.Becchetti and G.Greenless. *Phys.Rev.*, 182, 1190 (1969).
10. T.Kisielewski and G.Zapalski. *Nucl.Instr. and Meth.*, 99, 425(1972).
11. *Nucl. Data Sheets*, vol 6, No. 1, July 1971, p. 46.
12. G.Alaga, F.Krmpotic, V.Lopac, V.Paar, L.Sips. *Institut "Ruder Bosovic" Report IRB-TB-7-70.*

Рукопись поступила в издательский отдел
1 августа 1973 года.