

507604164

P7 - 8567

Б.Бочев, С.Илиев, Р.Калпакчиева,
С.А.Карамян, Т.Куцарова

A34;A33

ВРЕМЕНА ЖИЗНИ ВЫСОКОСПИНОВЫХ
ВРАЩАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ИЗОТОПА ^{164}Yb ,
ИЗМЕРЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА
НА ЯДРАХ ОТДАЧИ

We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche.

Ранг публикаций Объединенного института ядерных исследований

Препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований /ОИЯИ/ являются самостоятельными публикациями. Они издаются в соответствии со ст. 4 Устава ОИЯИ. Отличие препринтов от сообщений заключается в том, что текст препринта будет впоследствии воспроизведен в каком-либо научном журнале или аperiodическом сборнике.

Индексация

Препринты, сообщения и депонированные публикации ОИЯИ имеют единую нарастающую порядковую нумерацию, составляющую последние 4 цифры индекса.

Первый знак индекса - буквенный - может быть представлен в 3 вариантах:

“Р” - издание на русском языке;

“Е” - издание на английском языке;

“Д” - работа публикуется на русском и английском языках.

Препринты и сообщения, которые рассылаются только в страны-участницы ОИЯИ, буквенных индексов не имеют.

Цифра, следующая за буквенным обозначением, определяет тематическую категорию данной публикации. Перечень тематических категорий изданий ОИЯИ периодически рассылается их получателям.

Индексы, описанные выше, проставляются в правом верхнем углу на обложке и титульном листе каждого издания.

Ссылки

В библиографических ссылках на препринты и сообщения ОИЯИ мы рекомендуем указывать: инициалы и фамилию автора, далее - сокращенное наименование института-издателя, индекс, место и год издания.

Пример библиографической ссылки:

И.И.Иванов. ОИЯИ, Р2-4985, Дубна, 1971.

P7 - 8567

Б.Бочев, С.Илиев, Р.Калпакчиева,
С.А.Карамян, Т.Куцарова

ВРЕМЕНА ЖИЗНИ ВЫСОКОСПИНОВЫХ
ВРАЩАТЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ИЗОТОПА ^{164}Yb ,
ИЗМЕРЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭФФЕКТА ДОПPLЕРА
НА ЯДРАХ ОТДАЧИ

Направлено в ЯФ

Бочев Б., Илиев С., Калпакчиева Р.,
Карамян С.А., Куцарова Т.

P7 - 8567

Времена жизни высокоспиновых вращательных состояний
изотопа ^{164}Yb , измеренные методом эффекта Доплера на
ядрах отдачи

При помощи метода доплеровского смещения гамма-лучей на
ядрах отдачи измерены времена жизни высокоспиновых уровней полосы
основного состояния и времена независимого заселения изотопа ^{164}Yb ,
полученного в реакции ($^{40}\text{Ar}, 4n$).

Установлено, что сильного торможения переходов в области
бэкбендинга не происходит.

Экспериментальные значения приведенных вероятностей переходов
 $B(E2)$ сравниваются с некоторыми теоретическими предсказаниями.

Препринт Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

Bochev B., Iliev S., Kalpakchieva R.,
Karamian S.A., Kutsarova T.

P7 - 8567

Lifetimes of High Spin Rotational States of ^{164}Yb
Measured by Doppler-Shift Recoil-Distance Method

The lifetimes and the side-feeding times of the
high-spin ground-band levels of ^{164}Yb have been measured
by a recoil-distance Doppler-shift method following
($^{40}\text{Ar}, 4n$) reaction. Only a small retardation of the
transitions in the back-bending region is found. The
experimental $B(E2)$ values are compared with theoretical
predictions.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research
Dubna 1975

ВВЕДЕНИЕ

Энергия высокоспиновых уровней для многих четно-четных деформированных ядер сильно отклоняется от

вращательного закона $E_I = \frac{\hbar^2}{2J} I(I+1)$, так что

энергии переходов между уровнями не только становятся существенно меньшими, чем по формуле для жесткого

ротатора $\Delta E_{I \rightarrow I-2} = \frac{\hbar^2}{J} (2I-1)$, но даже уменьшаются

с ростом спина в определенной области его значений /как правило - $I = 12, 14, 16\hbar$ /. Такому поведению /эффект бэкбендинга/ соответствует характерная S-образная кривая для зависимости момента инерции ядра от квадрата частоты вращения.

Имеется целый ряд теоретических моделей, созданных с целью объяснения эффекта бэкбендинга. Однако физическая сущность явления еще далеко не понята. Представляется важным дальнейшее накопление экспериментальных данных, в частности, измерение приведенных вероятностей квадрупольных переходов между состояниями полос в той области углового момента, где имеет место аномальный рост момента инерции, а также измерение магнитных моментов для тех же состояний. С этой целью нами была поставлена задача измерения времен жизни /и, следовательно, величин $B(E2)$ / высокоспиновых вращательных уровней изотопа ^{164}Yb , для которого экспериментально найден /1/ ярко выраженный бэкбендинг-эффект в области $I \geq 14$. В последнее время стали известны данные /2/, показавшие, что переходы в зоне бэк-

бендинга $14^+ \rightarrow 12^+$ для ^{158}Er и $12^+, 10^+$ для ^{130}Ce имеют факторы торможения по сравнению с моделью жесткого ротатора - $1,25 \pm 0,30$ и $1,39 \pm 0,35$ соответственно.

Ранее нами были измерены времена жизни нижних уровней ротационной полосы вплоть до спина 8^+ для ^{164}Yb /3/. Настоящие опыты выполнялись с помощью усовершенствованной аппаратуры, обеспечившей, в частности, высокую точность в измерении малых расстояний пролета ядер отдачи вплоть до 5 мкм, что было необходимо для измерения короткоживущих состояний / $\tau \sim 1$ нс/ в области высоких спинов.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Уровни ^{164}Yb заселялись в реакции $^{128}\text{Te}(^{40}\text{Ar}, 4n)$. Энергия пучка ионов ^{40}Ar циклотрона тяжелых ионов У-300 ЛЯР, после прохождения тормозящих фольг, составляла 190 МэВ. Был применен метод доплеровского смещения гамма-лучей из образованных в реакции ядер отдачи, распадающихся во время пролета заданного расстояния от мишени до металлического стоппера /4/. Мишень из металлического теллура с содержанием ^{128}Te 94-97% имела толщину 1 мг/см^2 . Поступательное перемещение ее по отношению к стопперу осуществлялось при помощи микрометрического винта. Изменение положения мишени регистрировалось высокопрецизионным микрометрическим индикатором, что позволило достигнуть точности измерения относительных расстояний не хуже 1 мкм.

Для определения начала отсчета и для контроля измеряемых расстояний на пучке был применен метод измерения электрической емкости между мишенью и стоппером /5/. Настройка относительной ориентации плоскости стоппера и мишени проводилась при помощи микроскопа. Отклонение от параллельности в зависимости от качества поверхности мишени и стоппера для их рабочей части не превышало 2-5 мкм.

Гамма-лучи из реакции регистрировались под углом 0° по отношению к направлению пучка при помощи Ge(Li) -

-детектора с объемом 34 см^3 и разрешением $2,4 \text{ кэВ}$. Использовалась схема блокировки, позволявшая записывать одновременно спектр мгновенного гамма-излучения и фоновый спектр в промежутках между импульсами ионного источника циклотрона.

В данной геометрии для каждого перехода в зависимости от времени жизни соответствующего уровня и расстояния между мишенью и стоппером, в общем случае могут наблюдаться два гамма-пика. Пик с энергией перехода E^u и интенсивностью J^u соответствует тем ядрам, которые распались после торможения в неподвижном стоппере. Пик с большей энергией E^s и интенсивностью J^s возникает в результате излучения ядер, расплавшихся во время пролета от мишени до стоппера. Изменение относительной интенсивности несмещенного и смещенного пиков в зависимости от расстояния пролета для переходов с уровнями 8^+ , 10^+ , 12^+ , 14^+ , 16^+ и 18^+ показано на рис. 1. Были также измерены спектры при "нулевом" и "бесконечно большом" расстоянии, когда должны наблюдаться либо несмещенный, либо только смещенный пик, что позволило выяснить вопрос о присутствии фоновых гамма-линий в обеих энергетических позициях и получить информацию о форме линии, необходимую при обработке более сложных участков спектра. Для каждого расстояния $\{D_j\}$ определялась доля интенсивности несмещенного пика $Y_i(D_j) = J_i^u / (J_i^u + J_i^s) \cdot 100\%$, $i=18, 16, 14, \dots$ / данного перехода. Средняя скорость ядер отдачи находилась непосредственно из наблюдаемого в спектрах смещения γ -лучей и после поправки на телесный угол детектора составляла $0,0200 \pm 0,0004$ / с.

3. ОБРАБОТКА ДАННЫХ

При определении значений времен жизни состояний с высоким спином из экспериментальных отношений $\{Y_i(D_j)\}$, исправленных на ряд факторов /3,4/, необходимо учитывать тот факт, что отдельные уровни заселяются как непосредственно от предыдущего уровня полосы, так и независимо из состояний континуума.

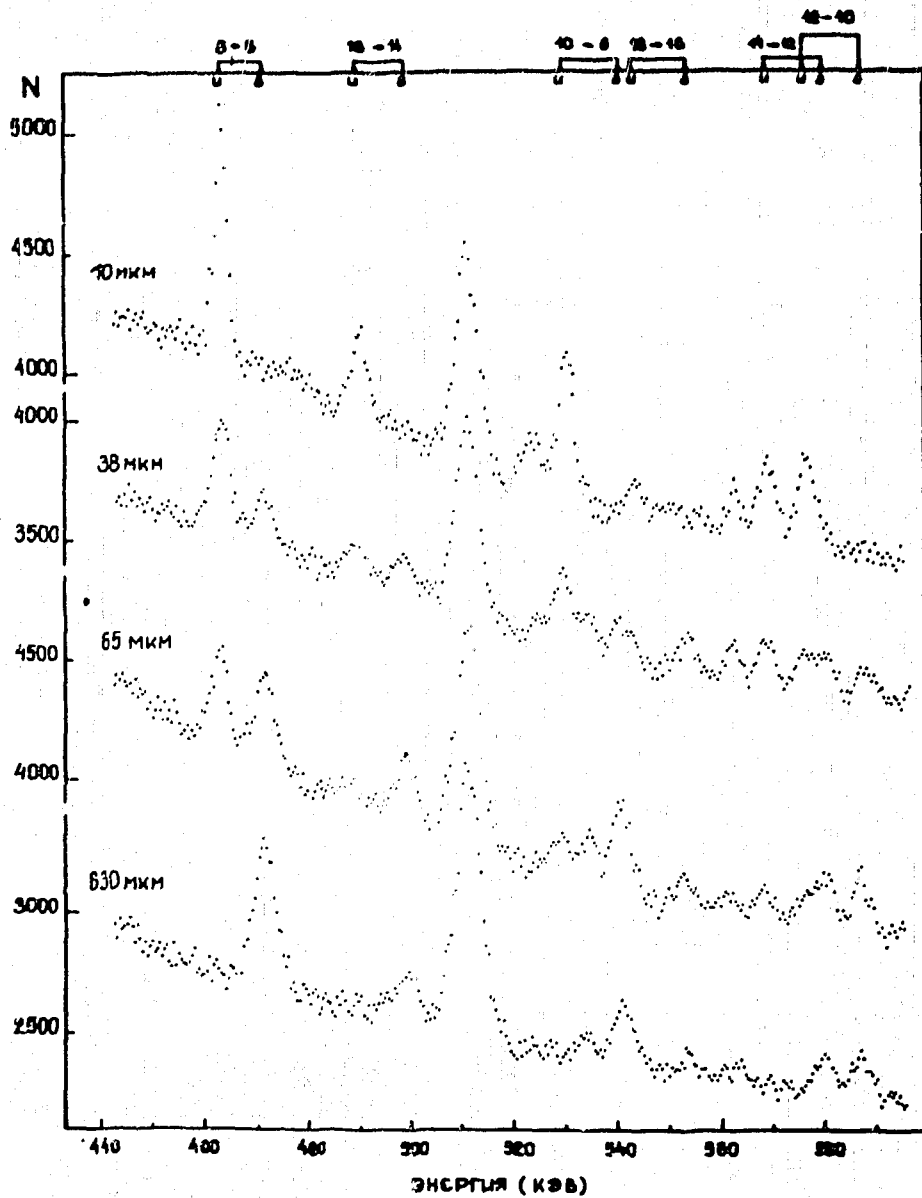


Рис. 1. Гамма-спектры переходов 8-6, 10-8, 12-10, 14-12, 16-14, и 18-16 ^{164}Yb при разных расстояниях между мишенью и стоппером, измеренные детектором с объемом 34 см^3 . Индексом s отмечены несмещенные, d - доплеровски смещенные пики.

В данном опыте вклад независимого заселения, определенный из относительной интенсивности переходов, присутствовал для уровней с $l \geq 8+$. Временная структура компонент независимого заселения неизвестна и в общем случае ее нельзя экспериментально оценить. В результате анализа гамма-спектров выяснилось, что в отдельные уровни ($18+$, $16+$, ..., $8+$), где нет мешающих фооновых линий, не наблюдается вклада заселения с большим временем жизни > 20 пкс/. Верхняя граница интенсивности такого заселения равна 5%.

Обработка экспериментальных данных проводилась далее по модели /6/, описывающей общий случай заселения и распада вращательной полосы, в которой независимое заселение каждого уровня /в том числе и первого наблюдаемого/ аппроксимируется одним экспоненциальным членом. Извлечение нужной информации проводилось путем решения на ЭВМ обратной задачи одновременного нахождения средних времен жизни уровней $\{\tau_i\}$ и времен независимого заселения $\{\phi_i\}$ из экспериментальных отношений $\{Y_i(D_j)\}$ и интенсивностей заселения с использованием регуляризованных итерационных процессов типа Гаусса-Ньютона /8/.

На рис. 2 показаны расчетные кривые распада уровней, соответствующие найденным значениям $\{\tau_i\}$ и $\{\phi_i\}$. Экспериментальные отношения $\{Y_i(D_j)\}$ приведены с погрешностями, имеющими в основном статистический характер.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице суммированы данные об энергиях переходов, средних временах жизни, интенсивностях и временах независимого заселения уровней ^{164}Yb , полученные в настоящей работе. Результаты для времен жизни уровней 2, 4, 6, 8 находятся в хорошем согласии с данными нашей предыдущей работы /3/.

Указанные в таблице ошибки к значениям $\{\tau_i\}$ и $\{\phi_i\}$ получены путем статистической оценки решения /7/, по данным об отношениях $\{Y_i(D_j)\}$ и их погрешностях,

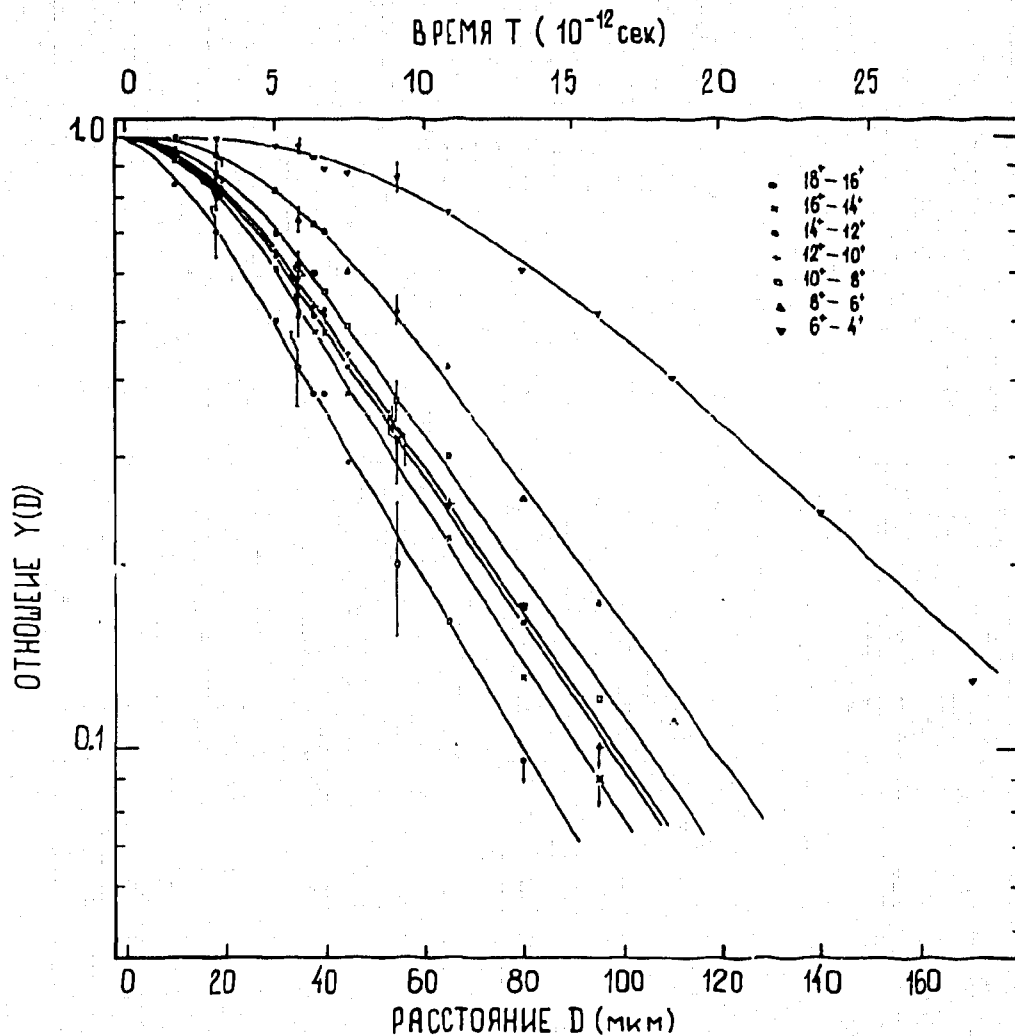


Рис. 2. Кривые распада для переходов 6-4, 8-6, 10-8, 12-10, 14-12, 16-14, 18-16 $^{16}\text{F}^{\text{u}}$, полученные для данного решения на ЭВМ. Точки - экспериментальные отношения $Y(D)$. Ошибки приведены только для некоторых отношений.

а также исследованием в ряде случаев совместной доверительной области /8/ пар сильнокоррелированных параметров τ_i и ϕ_i , относящихся к одному и тому же уровню (i) полосы. Относительно большие погрешности значений времен независимого заселения отражают тот факт, что этим величинам не соответствуют экспериментально наблюдаемые переходы. Параметры $\{\phi_i\}$ находятся из экспериментальных кривых распада уровней, на ход которых они, очевидно, оказывают непосредственное влия-

ние в соответствии с их величиной и интенсивностью независимого заселения, определенными экспериментально. Неточность определения нулевой позиции аппаратуры $/\pm 2 \text{ мкм}/$ сказывается заметно лишь на точности значений времени жизни и времени заселения первого наблюдаемого уровня $/18 \pm /$. Дополнительная погрешность значений τ_{18} и ϕ_{18} , составляющая $\sim 0,3 \text{ пкс}$ и $\sim 0,7 \text{ пкс}$ соответственно, включена в ошибки этих величин, приведенных в таблице.

Из измеренных времен жизни были определены приведенные вероятности переходов $V(E2)$, /см. табл./. В последнем столбце таблицы экспериментальные значения времен жизни уровней сравниваются с расчетными данными для жесткого ротатора. Для большинства переходов /за исключением перехода $16^{+} \rightarrow 14^{+}$ и, возможно, $14^{+} \rightarrow 12^{+}/$, наблюдается хорошее согласие значений $\{\tau_i\}$ с соответствующими значениями ротатора в пределах погрешностей эксперимента. Сравнительно большое время жизни уровня 16^{+} указывает на замедление перехода $16^{+} \rightarrow 14^{+}$ по отношению к вращательному, равное $1,45 \pm 0,29$.

Этот переход находится в области обратного хода кривой момента инерции в зависимости от частоты вращения для ^{164}Yb , поэтому представляет интерес сравнить полученный в настоящей работе результат с литературными данными.

Выше была приведена ссылка /2/ на работы, посвященные измерению величин $V(E2)$ -переходов в зоне бэкбендинга для изотопов ^{158}Er и ^{130}Ce . Других данных в литературе пока нет. Наши результаты для ^{164}Yb в согласии с работами /2/ позволяют сделать экспериментально обоснованный вывод о том, что сильное торможение переходов в зоне бэкбендинга не имеет места. Для переходов, соответствующих области обратного хода момента инерции, фактор замедления не превышает $1,2 - 1,4$. Для других переходов возможное замедление лежит в пределах $10-15\%$, определяемых экспериментальной точностью. От этих результатов несколько отличаются данные /9/ по временам жизни уровней для изотопов диспрозия и эрбия, полученные методом анализа формы доплеровской линии. Для перехода $12^{+} \rightarrow 10^{+}$, находящегося

Таблица

Переход	Энергия (кэВ)	Независимое заселение	φ (10^{-12} с)	τ (10^{-12} с)	α_{τ}	$B(E2, I \rightarrow I-2)$ ($e^2 \times 10^{-48}$ см ⁴)	$\frac{\tau_{\text{эксп}}}{\tau_{\text{рот}}}$
2 → 0	123,5	0		1272 \pm 50	1,420	0,918 \pm 0,036	1
4 → 2	262,8	0		42,8 \pm 1,5	0,110	1,356 \pm 0,048	0,961 \pm 0,034
6 → 4	375,0	0		7,24 \pm 0,25	0,039	1,456 \pm 0,050	0,992 \pm 0,034
8 → 6	463,0	16 \pm 1	6,3 \pm 5,3	2,20 \pm 0,70	0,021	1,70 \pm 0,54	0,90 \pm 0,28
10 → 8	530,9	17 \pm 1	5,1 \pm 4,2	1,19 \pm 0,40	0,015	1,60 \pm 0,54	0,97 \pm 0,33
12 → 10	576,9	14 \pm 1	4,8 \pm 3,2	0,80 \pm 0,30	0,012	1,57 \pm 0,57	1,01 \pm 0,38
14 → 12	569,7	6 \pm 1	2,3 \pm 1,1	1,05 \pm 0,30	0,012	1,28 \pm 0,25	1,25 \pm 0,24
16 → 14	490	12 \pm 1,5	1,8 \pm 0,5	2,53 \pm 0,50	0,018	1,11 \pm 0,22	1,45 \pm 0,29
18 → 16	543	35 \pm 3,5	5,3 \pm 1,5	1,07 \pm 0,50	0,014	1,59 \pm 0,75	1,02 \pm 0,48

еще в области плавного изменения момента инерции, было найдено замедление, равное $1,39 \pm 0,15$; $1,33 \pm 0,15$ и $1,42 \pm 0,25$ для ^{160}Dy , ^{162}Dy , ^{164}Er соответственно. Отметим, что результаты метода анализа формы линии сильно зависят от недостаточно хорошо известных удельных энергетических потерь ядер отдачи в веществе.

Физические причины аномального поведения момента инерции, называемого бэкбендинг, наиболее естественно можно объяснить пересечением двух вращательных полос: полосы основного состояния и возбужденной полосы с большим моментом инерции. Относительно природы второй возбужденной полосы имеются разные предположения, и для редкоземельной области наиболее вероятными механизмами ее появления считают эффект антиспаривания /10/ и эффект вращательного развязывания /11/ или их комбинацию. Надежных теоретических расчетов вероятностей переходов между состояниями, находящимися в области бэкбендинга, пока нет. Грубая оценка /12/ степени замедления, вызванного эффектом антиспаривания, дает значение для перехода $14^+ \rightarrow 12^+$ ^{158}Er , не превышающее 30% и для соседних ему переходов величину $\sim 10\%$. По модели /11/ переходы вблизи точки пересечения полос должны быть замедлены не более чем на 10% по отношению к ротационным скоростям. Эти теоретические оценки не противоречат нашим экспериментальным данным. В таблице приведены также времена независимого заселения $\{\phi_i\}$ высокоспиновых уровней ^{164}Yb .

Несмотря на значительные погрешности, можно заметить тенденцию увеличения $\{\phi_i\}$ при переходе к более низколежащим уровням полосы. Порядок величины времен заселения /2-6/ пкс не противоречит существующим представлениям /11/ о времени протекания ираст-каскада, состоящего из ускоренных E2-переходов.

Авторы благодарны академику Г.Н.Флерову и Ю.Ц.Оганесяну за постоянное внимание и интерес к работе и советы, Э.Наджакову за полезные обсуждения, Л.Александрову - за помощь в математической обработке данных, В.Г.Субботину - за помощь в подготовке элект-

ронной части аппаратуры, а также группе эксплуатации циклотрона У-300 за обеспечение пучка нужных параметров.

Литература

1. R.M.Lieder, W.F.Davidson, P.Jahn, H.-J.Probst and C.Mayer-Böricke, *Phys.Lett.*, 39B, 196 (1972);
P.H.Stelson, G.B.Hagemann, D.C.Hensley, R.L.Robinson, L.L.Riedinger, and R.O.Sayer. *Bull. Am. Phys. Soc.*, 18, 581 (1973).
2. D.Ward, H.R.Andrews, J.S.Geiger, R.L.Graham, J.F.Sharpey-Schafer, *Phys.Rev.Lett.*, 30, 493 (1973);
D.Ward, H.R.Andrews, G.J.Costa, J.S.Geiger, R.L.Graham and P.Taras.
XIV Сoвещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Харьков, 1974.
3. Б.Бочев, С.А.Карамян, Т.Куцарова, Я.Ухрин, Е.Наджаков, Ц.Венкова, Р.Калпакчиева. *ЯФ*, 16, 633 /1972/.
4. K.W.Jones, A.Z.Schwarzschild, E.K.Warburton, D.B.Fossan. *Phys. Rev.*, 178, 1773 (1969).
5. T.K.Alexander and A.Bell. *Nucl. Instr. & Meth.*, 81, 22 (1970).
6. Б.Бочев, Л.Александров, Т.Куцарова. Сообщение ОИЯИ, P5-8321, Дубна, 1974.
7. Л.Александров. Сообщение ОИЯИ P5-7259, Дубна, 1973.
8. Д.Химмельблау. Анализ процессов статистическими методами, Мир, М., 1973.
9. F.Kearns, G.D.Dracoulis, T.Inamura, J.C.Lisle and J.C.Willmott, *J.Phys.*, A7, 211 (1974).
10. B.R.Mottelson and J.G.Valatin. *Phys.Rev.Lett.*, 5, 511 (1960).
11. F.S.Stephens and R.S.Simon. *Nucl.Phys.*, A183, 257 (1972).
12. R.A.Sorensen. *Rev.Mod.Phys.*, 45, 353 (1973).

Рукопись поступила в издательский отдел
30 января 1975 года.

Условия обмена

Препринты и сообщения ОИЯИ рассылаются бесплатно, на основе взаимного обмена, университетам, институтам, лабораториям, библиотекам, научным группам и отдельным ученым более 50 стран.

Мы ожидаем, что получатели изданий ОИЯИ будут сами проявлять инициативу в бесплатной посылке публикаций в Дубну. В порядке обмена принимаются научные книги, журналы, препринты и иного вида публикации по тематике ОИЯИ.

Единственный вид публикаций, который нам присылать не следует, - это репринты /оттиски статей, уже опубликованных в научных журналах/.

В ряде случаев мы сами обращаемся кполучателям наших изданий с просьбой бесплатно прислать нам какие-либо книги или выписать для нашей библиотеки научные журналы, издающиеся в их странах.

Отдельные запросы

Издательский отдел ежегодно выполняет около 3 000 отдельных запросов на высылку препринтов и сообщений ОИЯИ. В таких запросах следует обязательно указывать индекс запрашиваемого издания.

Адреса

Письма по всем вопросам обмена публикациями, а также запросы на отдельные издания следует направлять по адресу:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Издательский отдел
Объединенного института
ядерных исследований.*

Адрес для посылки всех публикаций в порядке обмена, а также для бесплатной подписки на научные журналы:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Научно-техническая библиотека
Объединенного института
ядерных исследований.*



Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 19131. Тираж 400. Уч.-изд. листов 0,63.
Редактор Б.Б. Колесова. Подписано к печати 11.2.75 г.