



P7 - 8033

Б.Бочев, С.А.Карамян, Т.Куцарова, В.Г.Субботин

ВРЕМЕНА ЖИЗНИ
ВРАЩАТЕЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ¹⁶⁰УЬ

A34, A35

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 - 8033

Б.Бочев, С.А.Карамян, Т.Куцарова, В.Г.Субботин

ВРЕМЕНА ЖИЗНИ

ВРАЩАТЕЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ¹⁶⁰УЬ

Направлено в ЯФ

ВВЕДЕНИЕ

Гамма-спектроскопические исследования ядер на пучках различных тяжелых ионов /от ^4He до ^{40}Ar / в последние годы дали возможность проследить ротационные полосы деформированных ядер вплоть до значений спина (16–22) \hbar . При этом были выявлены интересные особенности в энергетическом положении высокоспиновых состояний для целого ряда четно-четных ядер средней массы ^{1/1/}. Обнаруженные аномалии в ходе зависимости энергии уровня от спина или, другими словами, момента инерции ядра от частоты вращения послужили толчком для нового развития феноменологических и микроскопических моделей ядерного вращения.

Применение тяжелых бомбардирующих частиц, таких как ^{40}Ar , ^{32}S , ^{31}P позволяет не только измерять энергетические спектры ротационных переходов, но также экспериментально определять времена жизни уровней вплоть до значений около 1 псек с помощью метода доплеровского смещения γ -излучения ядер, получающих отдачу в вакууме и тормозящихся в подвижном стоппере ^{2/}. С помощью этого метода нами были ранее измерены времена жизни ротационных уровней ядер $^{162,164}\text{Yb}$ в реакциях $^{126,128}\text{Te}(^{40}\text{Ar}, 4n)^{3,4/}$. Экспериментальные значения приведенных вероятностей переходов $B(E2)$ в зависимости от углового момента в пределах погрешностей согласуются с предсказаниями адиабатической теории. Однако при переходе к ядрам с меньшим квадрупольным моментом можно ожидать более существенных отклонений значений $B(E2)$ от ротационных.

Техника ядер отдачи в реакциях $(\text{H}^1, \text{x}n)$ дает также информацию об интервалах времени от начала реакции до заселения первого наблюдаемого уровня полосы. Не-

многочисленные экспериментальные данные о временах заселения показывают, что они равны $\sim 10^{-11}$ сек и увеличиваются при переходе от сильно деформированных к ядрам с меньшей деформацией.

Настоящая работа предпринята с целью измерения времен жизни коллективных уровней и времени заселения полосы основного состояния ^{160}Yb .

ЭКСПЕРИМЕНТ

Уровни ^{160}Yb заселялись в реакции $^{124}\text{Te}(^{40}\text{Ar}, 4n)$. Выведенный пучок ионов ^{40}Ar циклотрона У-300 ЛЯР с энергией 184 МэВ после прохождения тормозящих фольг бомбардировал мишень из металлического ^{124}Te , нанесенного на подложку из тонкого /130 мкг/см²/ алюминия. Мишень толщиной 1 мкг/см² натягивалась на решетку из висмута; из такого же материала были изготовлены стоппер ядеротдачи и диафрагмы, ограничивающие пучок. Расстояние между стоппером и мишенью измерялось высокоточным микрометрическим индикатором ~ 1 мм. Для точного определения нулевой позиции микрометра и для контроля расстояния во время эксперимента на пучке применялась методика измерения электрической емкости между мишенью и стоппером /5/.

Гамма-излучение возбужденных ядер ^{160}Yb , падающих частично на лету, частично после торможения в стоппере, регистрировалось под углом 0° к направлению пучка ионов Ge(Li)-детекторами. На рис. 1 показаны типичные участки γ -спектров при разных расстояниях, измеренные детектором с объемом 2,8 см³ и разрешением 1,5 кэВ в условиях эксперимента. Из энергетической разницы между положением "остановленного" и "движущегося" пиков, после поправки на телесный угол детектора была определена средняя скорость ядер отдачи $v = 0,0205 \pm 0,0004$ /с. Для каждого расстояния определялась доля интенсивности несмещенного пика $I_u / (I_u + I_s)$.

На рис. 2 показаны спектры, измеренные детектором с объемом 30 см³ и разрешением 2,4 кэВ. Большая

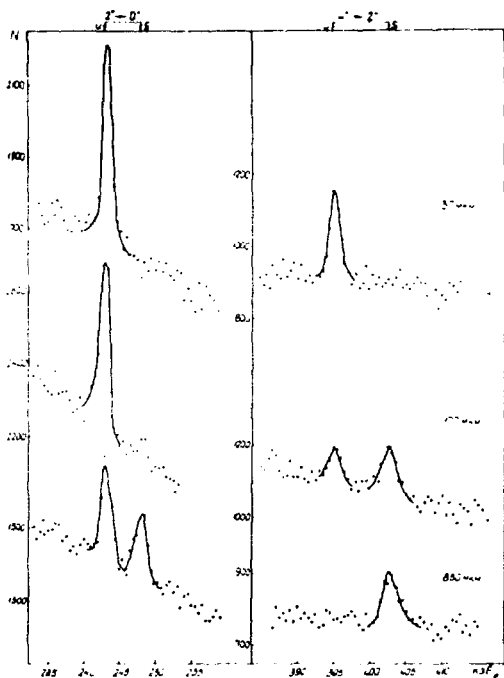


Рис. 1. Гамма-спектры переходов $2^+ \rightarrow 0^+$ и $4^+ \rightarrow 2^+$ при разных расстояниях между мишенью и стоппером, измеренные детектором объемом $2,8 \text{ см}^3$.

скорость ядер отдачи позволила полностью разделить смещенный и несмещенный пики для переходов $4^+ \rightarrow 2^+$ и $10^+ \rightarrow 8^+$. Специальная обработка потребовалась для перехода $6^+ \rightarrow 4^+$, несмещенный пик которого не разрешался от пика аннигиляционного излучения и $8^+ \rightarrow 6^+$, для которого смещенный пик совпадал с фоновым излучением реак-

ции (n, n') на Ge /рис. 3/. С целью выяснения вопроса об интерференции γ -лучей изучаемых переходов и фоновых линий были проведены специально измерения спектров при нулевом и "бесконечно большом" расстояниях. Кроме приведенных выше случаев для переходов с уровней 6^+ и 8^+ , не было обнаружено других фоновых γ -лучей в интересующих нас участках спектров. Для переходов 6^+ и 8^+ отно-

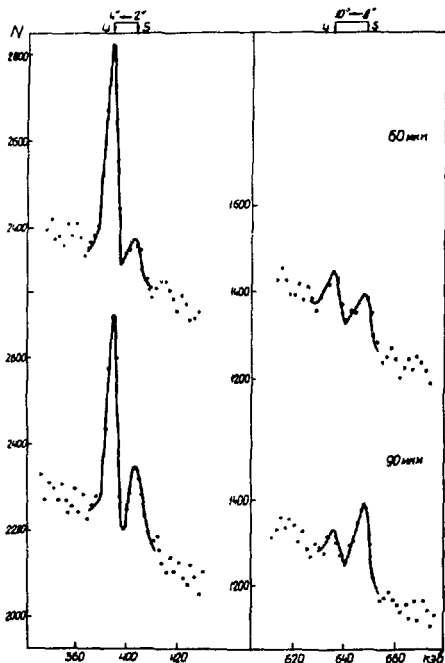


Рис. 2. Гамма-спектры переходов $4^+ \rightarrow 2^+$ и $10^+ \rightarrow 8^+$, измеренные детектором объемом 30 см^3 .

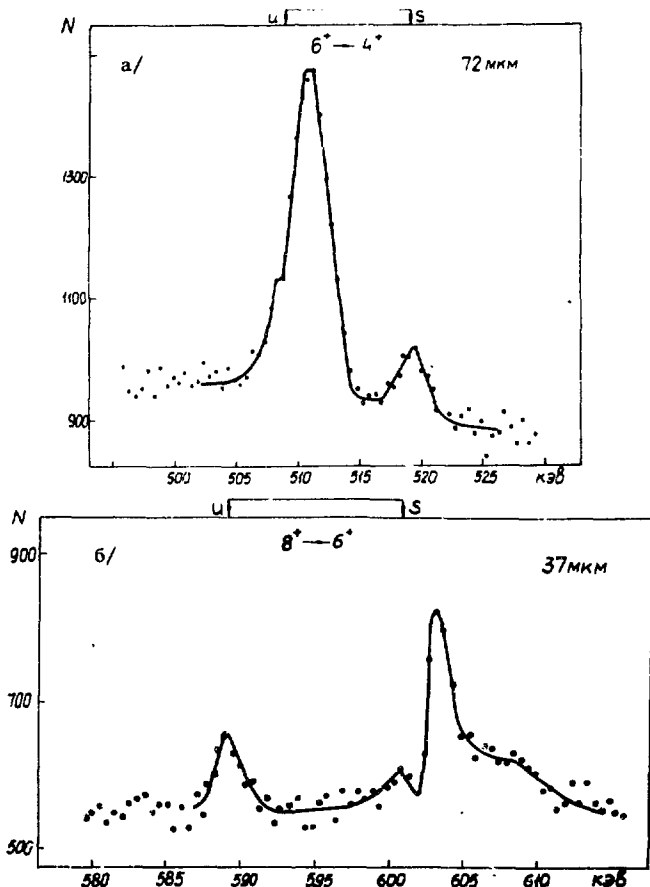


Рис. 3. а/ Участок спектра гамма-лучей, на котором виден смещенный пик перехода $6^+ \rightarrow 4^+$. б/ Участок спектра гамма-лучей, на котором виден несмещенный пик перехода $8^+ \rightarrow 6^+$.

шения $I_u / (I_u + I_n)$ были получены из измеренных интенсивностей смещенного ($6^+ \rightarrow 4^+$) и несмещенного ($8^+ \rightarrow 6^+$) пиков и данных о полных интенсивностях.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Извлечение средних времен жизни уровней из экспериментальных значений $I_u / (I_u + I_n)$, после учета ряда поправок^{2,3,7} проводилось при помощи обратной задачи перераспределения γ -лучей каскадных переходов⁶ с использованием регуляризованных итерационных процессов типа Гаусса-Ньютона⁷. На рис. 4 показаны экспериментальные точки и расчетные кривые распада уровней, соответствующие найденным временам жизни. В таблице приведены средние времена жизни τ уровней 160Уб , вместе с данными об энергиях переходов, полных коэффициентах конверсии α_T и приведенных вероятностях переходов $B(E2)$. Основным источником ошибок средних времен жизни τ является статистическая погрешность в определении отношений $I_u / (I_u + I_n)$ из интенсивностей пиков. В отдельных случаях учитывалась также неопределенность, вытекающая из необходимости нормировки спектров.

Экспериментальные значения $I_u / (I_u + I_n)$ вместе с погрешностями вводились, как численный материал, в программу обработки данных⁶ в виде "матрицы взвешивания"⁸. Приведенные в таблице ошибки к значениям τ получены путем статистической оценки решения.

Время заселения полосы τ_0 определялось относительно первого наблюдаемого нами уровня 10^+ . Для повышения статистической точности были просуммированы спектры при разных расстояниях и определено τ_0 из отношения $(I_u / (I_u + I_n))_{10^+}$ в суммарном спектре. Весовой множитель для каждого спектра определялся по интенсивности перехода $2^+ \rightarrow 0^+$.

На рис. 4 τ_0 соответствует времени, при котором интенсивность на кривой, обозначенной 10^+ , падает в 2 раза.

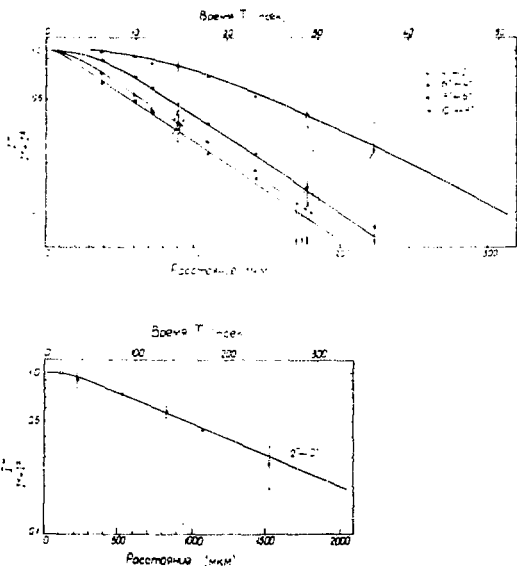


Рис. 4. Кривые распада для перехода $2^+ \rightarrow 0^+$ /внизу/ и: для переходов $4^+ \rightarrow 2^+$, $6^+ \rightarrow 4^+$, $8^+ \rightarrow 6^+$ и $10^+ \rightarrow 8^+$ /наверху/, полученные на ЭВМ. Точки - экспериментальные результаты отношения $I_{II} / (I_{II} + I_S)$.

В ошибку значения τ_0 входят, кроме статистической неопределенности, неточность в определении "нулевого расстояния" и отклонения от плоскопараллельности стопера и мишени. Они не превышали в данном опыте 6 мкм, что в сочетании с большой скоростью ядер отдачи дает аппаратное $\Delta\tau_0 \sim 1$ псек. Следует отметить, что на точность определения времен жизни последовательных ротационных уровней относительно большая величина τ_0 и его погрешность существенного влияния не оказывают. Сравнение полученного значения $\tau_0 =$

$= /13 \pm 1,5/$ псек с нашими предыдущими данными для $^{162}\text{Yb} /r_0 = 12 \pm 3/$ псек и $^{164}\text{Yb} /r_0 = 7,5 \pm 2,5/$ псек показывает такую же тенденцию увеличения r_0 при переходе к менее деформированным ядрам, какая наблюдалась ранее для нескольких изотопов Er и Hf ^{9,10/}.

В таблице экспериментальные значения $B(E2)$ сравниваются с расчетными для жесткого ротатора. Несмотря на заметные ошибки значений $B(E2)$, можно видеть тенденцию к ускорению переходов с возрастающим спином уровня. Отклонения вероятностей переходов от предсказаний адиабатической теории могут быть выражены эмпирическим параметром α из соотношения:

$$B(E2; I \rightarrow I-2) - B_0(E2; 2 \rightarrow 0) \frac{< 1020 | 1-20 >^2}{< 2020 | 00 >^2} \times \\ \left\{ 1 + \frac{1}{2} \alpha \{ 1(1+1) - (I-2)(I-1) \} \right\}^2,$$

где $B_0(E2; 2 \rightarrow 0)$ - невозмущенное значение жесткого ротатора. Данная формула получена в модели центробежного растягивания ядра. Однако, независимо от справедливости этой модели, эту формулу можно использовать для описания экспериментальных значений $B(E2)$ и полученную величину α рассматривать как эмпирический параметр, характеризующий степень расхождения данных с предсказаниями модели жесткого ротатора.

Значение α , при котором наилучшим образом воспроизводятся экспериментальные данные о $B(E2)$ для ^{160}Yb , равно $/2 \pm 1/ \times 10^{-3}$. Для двух других ядер с $N = 90$, ^{152}Sm и ^{154}Gd параметр α получен равным $/2,1 \pm 0,6/ \times 10^{-3}$ и $/2,6 \pm 1,0/ \times 10^{-3}$ соответственно из измерений времен жизни методом ядер отдачи ^{11/}. Значительно меньше экспериментальные значения параметров α для хороших ротаторов ^{154}Sm и ^{156}Gd , которые равны $/0,6 \pm 0,6/ \cdot 10^{-3} /12/$ и $/0,6 \pm 0,6/ \cdot 10^{-3} /11/$.

Расчетные значения параметров неадиабатичности α для ряда ядер редкоземельной области имеются в теоретических работах ^{13,14/}. В ^{13/} разработана микро-

Таблица
 Времена жизни уровней вращательной полосы ^{160}Yb и приведенные
 вероятности переходов

Переход	E_{γ} (кэВ)	τ (10^{-12} сек)	α_T	$B(E2; I \rightarrow I-2)$ $e^2 \cdot 10^{-48} \text{ см}^4$	$B(E2)_{\text{прот}}$
$2^+ \rightarrow 0^+$	243,0	182 ± 6	0,14	$0,462 \pm 0,023$	$(0,462)^{x/}$
$4^+ \rightarrow 2^+$	395,3	$11,6 \pm 0,6$	0,033	$0,99 \pm 0,04$	0,659
$6^+ \rightarrow 4^+$	508,8	$2,73 \pm 0,3$	0,017	$0,86 \pm 0,11$	0,726
$8^+ \rightarrow 6^+$	588,7	$1,29 \pm 0,3$	0,012	$0,88 \pm 0,23$	0,760

$x/$ Нормализовано к экспериментальному значению $B(E2; 2 \rightarrow 0)$.

скопическая теория для определения параметров деформируемости и спаривания вращающихся ядер. Параметр α вычислялся на основе межнуклонного взаимодействия, включающего деформированное среднее поле свободных квазичастиц и остаточное/квадруполь-квадрупольное + спаривательное/ взаимодействие. В работе^{/14/} используется метод обобщенной матрицы плотности для описания системы связанных ротационных полос. При расчетах параметров^{/14/} применялась модель "спаривание + квадрупольное взаимодействие" со средним полем деформированного потенциала Вудса-Саксона. Для ядер $^{152,154}\text{Sm}$, $^{154,156}\text{Gd}$ в обеих работах имеется хорошее согласие с экспериментом. В работе^{/14/} также были приведены теоретические значения для ^{158}Er и ^{160}Yb , равные $3,1 \times 10^{-3}$ и $1,4 \times 10^{-3}$ соответственно. Последняя цифра хорошо согласуется с нашим экспериментальным значением, несмотря на то, что расчет для столь удаленных от полосы стабильности ядер, по-видимому, несколько затруднен из-за отсутствия экспериментальных данных об энергиях первых возбужденных состояний коллективных β - и γ -полос, четно-нечетных разностей масс и др.

Авторы выражают благодарность академику Г.Н.Флеорову за постоянный интерес к работе, Ю.Ц.Оганесяну, Е.Наджакову, Н.И.Пятову, Л.Александрову, Й. и Д.Карраджовым - за полезные обсуждения, Н.Джарову - за изготовление камеры и коллективу эксплуатации циклотрона У-300 - за обеспечение четкой работы ускорителя.

Литература

1. A. Johnson, H. Ryde and J. Starkier. *Phys. Lett.*, **34B**, 605 (1971);
H. Buescher, W. F. Davison, R. M. Lieder and C. Mayer-Böricks. *Phys. Lett.*, **40B**, 449 (1972).
P. Thieberger, A. W. Sunyar, P. C. Rogers, N. Lark, O. C. Kistner, E. der Matosian, S. C. Cochevi, and E. A. Auerbach. *Phys. Rev. Lett.*, **28**, 972 (1972).
2. K. W. Jones, A. Z. Schwarzschild, E. K. Warburton and D. B. Fossan. *Phys. Rev.*, **170**, 1773 (1969).
3. Б. Бочев, С. А. Карамян, Т. Куцарова, Я. Ухрин, Е. Наджаков, Ц. Венкова, Р. Калпакчиева. *ЯФ*, **16**, 633 /1972/.

4. B.Bochev, S.A.Karamian, T.Kutsarova, E.Nedjakov, Ts.Venkova and R.Kalpakchieva. *Physica Scripta*, 6, 243 (1972).
5. T.K.Alexander and A.Bell. *Nucl.Instr. & Meth.*, 81, 22 (1970).
6. Б.Бочев, Л.Александров, Т.Куцарова. Сообщение ОИЯИ, P5-7881, Дубна, 1974.
7. Л.Александров. Сообщение ОИЯИ P5-6821, Дубна, 1972.
8. Л.Александров. Сообщение ОИЯИ P5-7259, Дубна, 1973.
9. R.M.Diamond, F.S.Stephens, W.H.Kelly and D.Ward. *Phys.Rev.Lett.*, 22, 546 (1969).
10. J.O.Newton, F.S.Stephens, R.M.Diamond. *Nucl.Phys.*, A210, 19 (1973).
11. N.Rud, G.T.Ewan, A.Christy, D.Ward, R.L.Graham and J.S.Geiger. *Nucl.Phys.*, A191, 545 (1972);
D.Ward, R.L.Graham, J.S.Geiger, N.Rud and A.Christy. *Nucl.Phys.*, A196, 9 (1972).
12. R.M.Diamond, G.D.Symons, J.L.Quebert, K.H.Maier, J.R.Leigh and F.S.Stephens. *Nucl.Phys.*, A184, 481 (1972).
13. Д.Караджов, И.Н.Михайлов, Й.Пиперова. Препринт ОИЯИ P4-8013, Дубна, 1974.
14. В.Г.Зелевинский, М.И.Штокман. Программа и тезисы докладов XXIV Сессии по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра, Харьков, 1974. Изд. Наука, Ленинград, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 июня 1974 года.

Тематические категории публикаций Объединенного института ядерных исследований

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория физики твердого тела

Нет ли пробелов в Вашей библиотеке?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

- 16-4838 Дозиметрия излучений и физика защиты ускорителей заряженных частиц. Дубна, 1969. 250 стр. 2 р. 64 к.
- Д-6004 Бинарные реакции адронов при высоких энергиях. Дубна, 1971. 768 стр. 7 р. 60 к.
- Д13-6210 Труды VI Международного симпозиума по ядерной электронике. Варшава, 1971. 372 стр. 3 р. 67 к.
- Д10-6142 Труды Международного симпозиума по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер. Дубна, 1971. 564 стр. 6 р. 14 к.
- Д-6465 Международная школа по структуре ядра. Алушта, 1972. 525 стр. 5 р. 85 к.
- Д-6840 Материалы II Международного симпозиума по физике высоких энергий в элементарных частицах. Штрбске Плесо, ЧССР, 1972. 398 стр. 3 р. 96 к.
- Д2-7161 Нелокальные, нелинейные и нерегularизируемые теории поля. Алушта, 1973. 280 стр. 2 р. 75 к.
- Глубоководные и множественные процессы. Дубна, 1973. 507 стр. 5 р. 66 к.
- Р1,2-7642 Международная школа молодых ученых по физике высоких энергий. Гомель, 1973. 623 стр. 7 р. 15 к.
- Д13-7616 Труды VII Международного симпозиума по ядерной электронике. Будапешт, 1973. 372 стр. 3 р. 65 к.

- Д10-7707 Совещание по программированию и 564 стр. 5 р. 57 к.
математическим методам решения
физических задач, Дубна, 1973.
- 13 - 7154 Пропорциональные камеры. Дубна, 173 стр. 2 р. 20 к.
1973.
- Д1.2-7781 Материалы III Международного сим- 478 стр. 4 р. 78 к.
позиума по физике высоких энергий
и элементарных частиц. Самая, 1973.
- ДЗ-7991 II Международная школа по нейт- 552 стр. 2 р. 50 к
ронной физике. Алушта, 1974.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:

101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.

издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

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 много 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 к получателям 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 3000 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 18258. Тираж 388. Уч.-изд. листов 0,69.
Редактор Б.Б. Колесова. Подписано к печати 2.8.74 г.