

СЗ41.1г
Л-369

10/x - 69

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P6 - 4597



Е.Левитович, В.Нойберт, С.Хойнацкий, Х.Дростэ,
Т.Морек, З.Вильгельми, К.Александр

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

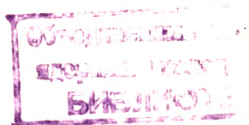
137m Nd: НОВЫЙ ИЗОМЕР
В ИЗОТОНАХ С N = 77

1969

P6 - 4597

Е.Левитович, В.Нойберт, С.Хойнацкий, Х.Дростэ,
Т.Морек, З.Вильгельми, К.Александр

137 m Nd: НОВЫЙ ИЗОМЕР
В ИЗОТОНАХ С N = 77



8052/2 up

Левитович Е., Нойберт В., Хойнацкий С., Дростэ Х., Р6-4597
Морек Т., Вильгельми З., Александер К.

^{137m}Nd : Новый изомер в изотонах с $N = 77$

В реакциях $^{119}\text{Sn} (^{22}\text{Ne}, 4n) ^{137}\text{Nd}$, $^{122}\text{Sn} (^{20}\text{Ne}, 5n) ^{137}\text{Nd}$,
 $^{122}\text{Sn} (^{22}\text{Ne}, 7n) ^{137}\text{Nd}$ и $^{126}\text{Te} (^{18}\text{O}, 7n) ^{137}\text{Nd}$ найден новый изомер
с периодом полураспада $1,60 \pm 0,15$ сек. Идентификация атомного числа
проводилась по разнице между энергиями К- и L -электронами у -пе-
реходов. Массовое число определялось по функциям возбуждения. При рас-
паде нового изомера наблюдаются следующие γ -переходы: 108 ± 1 кэв,
 $232,8 \pm 0,8$ кэв (E3- изомерный переход) и 285 ± 1 кэв. Обсуждается сис-
тематика возбужденных состояний в ядрах с числом нейтронов $N = 77$.

Сообщения Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1969

Lewitowicz J., Neubert W., Chojnacki S., Droste Ch.,
Morek T., Wilhelmi Z., Alexander K. P6-4597

^{137m}Nd : a New Isomeric State in $N = 77$ Isotones

In the reactions $^{119}\text{Sn} (^{22}\text{Ne}, 4n) ^{137}\text{Nd}$, $^{122}\text{Sn} (^{20}\text{Ne}, 5n) ^{137}\text{Nd}$,
 $^{122}\text{Sn} (^{22}\text{Ne}, 7n) ^{137}\text{Nd}$ and $^{126}\text{Te} (^{18}\text{O}, 7n) ^{137}\text{Nd}$ a new isomeric state
with a half-life of $1,60 \pm 0,15$ sec was found. The atomic number was
assigned by means of the conversion electron spectrum from the
measured difference of K and L electron binding energies. The
mass number follows from excitation function measurements. In the
decay of the new isomer the following γ -rays were observed:
 108 ± 1 keV, 177 ± 1 keV, $232 \pm 0,8$ keV (E3 -isomeric transition) and
 285 ± 1 keV. The systematics of excited states in nuclei with neutron
number $N = 77$ is discussed.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna, 1969

1. Введение

В ядрах $^{129}_{52}\text{Te}$, $^{131}_{54}\text{Xe}$, $^{133}_{56}\text{Ba}$ и $^{135}_{58}\text{Ce}$ с числом нейтронов $N=77$ наблюдаются изомерные состояния /1,2/. Изомерным переходом в первых трех случаях является M4-переход, а в ядре $^{135}_{58}\text{Ce}$ - E3-переход. По систематике уровней /2/ можно было бы ожидать, что в ядрах ^{137}Nd и ^{139}Sm существуют аналогичные изомерные состояния. Нами были предприняты попытки найти эти изомеры. Целью настоящей работы является исследование нового изомера в ядре ^{137}Nd , который полностью соответствует изомерному состоянию в ядре ^{135}Ce .

2. Методика эксперимента

Опыты проводились на выведенном пучке циклотрона тяжелых ионов У-300 ОИЯИ на установке, подробно описанной в работе /3/. Гамма-спектры измерялись Ge(Li) -детектором, а электроны внутренней конверсии - на магнитном тороидальном β -спектрометре на пучке, параметры которого подробно описываются в работе /4/.

3. Экспериментальные результаты

Попытки синтезировать изомер ^{137m}Nd были предприняты в разных реакциях, в которых должен был образоваться ^{137}Nd : $^{119,122}_{50}\text{Sn}(\text{Ne}, xn)^{137}\text{Nd}$ и $\text{Te}(^{18}\text{O}, xn)\text{Nd}$. Среди продуктов этих реакций обнаружена новая активность с периодом полураспада $T_{1/2} = 1,60 \pm 0,15$ сек. В таблице 1

приведены параметры используемых мишеней, при облучении которых появляется новая активность. Во всех случаях наблюдались те же самые γ -линии: 108, 177, 233 и 285 кэв (рис. 1). Их относительные интенсивности приведены в табл. 2. Все линии распадаются с тем же самым периодом полураспада ($T_{1/2} = 1,60 \pm 0,15$ сек). Кроме этих линий в гамма-спектре, измеренном в диапазоне энергии от 40 Кэв до 1 Мэв, не наблюдается других линий с тем же периодом полураспада. (Мы не считаем линию 54 Кэв изомера ^{73m}Ge ($T_{1/2} = 0,5$ сек), образуемого в реакции $^{73}\text{Ge}(n, n')$ на германиевом счетчике).

Отсутствие 1,6-секундной компоненты в распаде аннигиляционной линии (511 Кэв) указывает на то, что мы имеем дело с изомерным состоянием, разряжающимся испусканием только γ -лучей.

Соответствующий спектр электронов внутренней конверсии (рис. 2) данных гамма-переходов был измерен в диапазоне энергии электронов от 40 до 350 кэв в заданных интервалах между импульсами циклотрона. (верхняя часть спектра). Кроме К- и L-линий перехода 233 кэв другие К- и L-линии, соответствующие переходам 108 кэв, 177 кэв и 285 кэв, не выделяются. Из-за этого большого фона пришлось проводить временной анализ для каждой величины N_p . Спектр короткоживущей активности ($T_{1/2} = 1,6$ сек) показан в нижней части рис. 2. Этот спектр позволяет точно определить разницу ΔE_{KL} между К- и L-линиями перехода $E_\gamma = 233$ кэв. В данном случае получается $\Delta E_{KL}(\text{exp}) = 37,0 \pm 0,8$ кэв. Рассчитанные величины для атомов Nd, Pr и Ce составляют: $\Delta E_{KL}(\text{Pr}) = 35,6$ кэв; $\Delta E_{KL}(\text{Nd}) = 36,8$ кэв $\Delta E_{KL}(\text{Ce}) = 34,3$ кэв. Экспериментальное значение хорошо совпадает с теоретически ожидаемым для атома Nd. Из этого мы можем заключить, что новый изомер в самом деле принадлежит одному изотопу Nd. Чтобы доказать, что изомер имеет место в изотопе ^{137}Nd , были измерены функции возбуждения реакций $^{122}\text{Sn}(^{20}\text{Ne}, xn)^{142-xn}\text{Nd}$ и $^{119}\text{Sn}(^{22}\text{Ne}, xn)^{141-xn}\text{Nd}$. Результаты представлены на рис. 4 и 5. Анализ положения максимума сечения образования приводит к выводу о том (см. табл. 3), что мы имеем дело с реакциями $^{122}\text{Sn}(^{20}\text{Ne}, 5n)^{137}\text{Nd}$ и $^{119}\text{Sn}(^{22}\text{Ne}, 4n)^{137}\text{Nd}$ или, иначе говоря, новая изомерная активность есть искомым изомер ^{137}Nd .

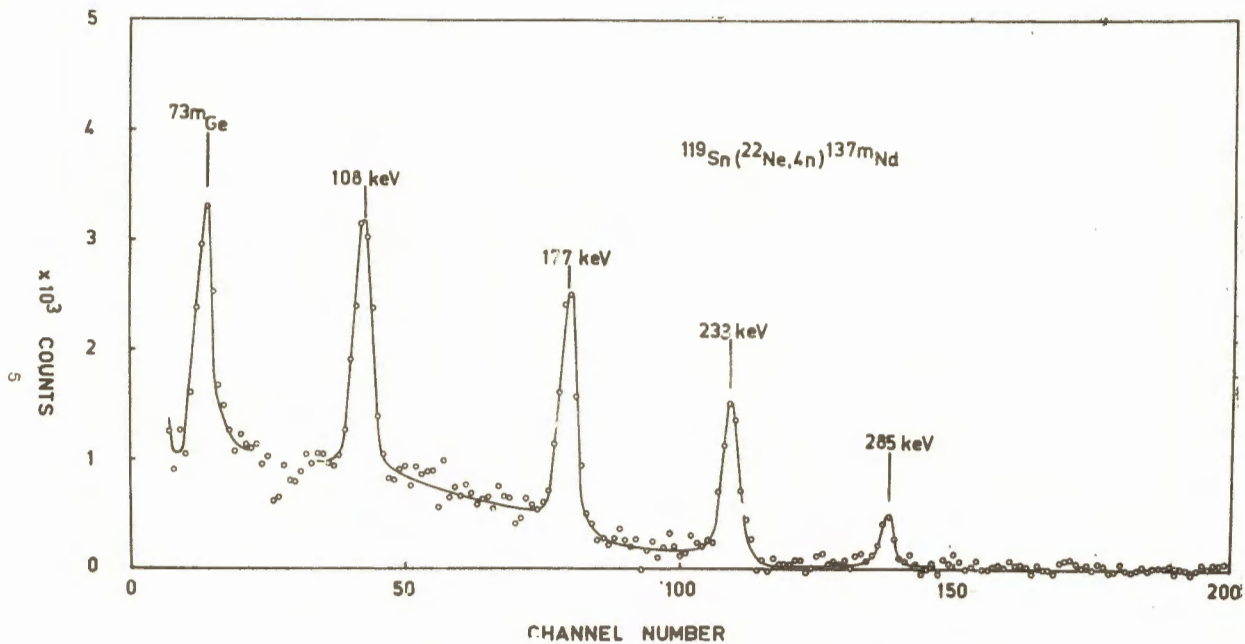


Рис.1. Часть измеренного γ -спектра из реакции $^{119}\text{Sn}(^{22}\text{Ne}, 4n)^{137\text{m}}\text{Nd}$. Ge(Li)-детектор с объемом $4,5 \text{ см}^3$. Временной режим: облучение 1 сек; через 12,5 мсек после облучения началось измерение 2 спектров по 1 сек каждый, между ними перерыв 4 сек. Приведенный спектр показывает разницу между первым и вторым спектрами.

Таблица 1
 Реакции, в которых образовался ^{137m}Nd

Реакция	Мишень		степень обогащен.	энергия бомбард. ионов (Мэв)	исследован спектр
	Вид	толщина, мг см ⁻²			
$^{119}\text{Sn}(^{22}\text{Ne}, 4n)$	метал. олово ^{119}Sn	4,5	87%	от 50 до 135	γ -спектр
$^{122}\text{Sn}(^{20}\text{Ne}, 5n)$	металл. олово ^{122}Sn	6,0	83,3%	от 60 до 155	γ - спектр
$^{122}\text{Sn}(^{22}\text{Ne}, 7n)$	"-"	3,0	83,3%	138	γ -спектр+ спектр кон- версионных электронов
$^{126}\text{Te}(^{18}\text{O}, 7n)$	металл. теллур, естест.	10	18,7%	от 80 до 120	γ -спектр

Таблица 2

Энергия гамма-переходов и интенсивности гамма-линий

(КэВ)	I_{γ} (%)
108 \pm 1	49 \pm 20
177 \pm 1	92 \pm 10
232,8 \pm 0,8	100
285 \pm 1	29 \pm 6

Таблица 3

Экспериментальные данные по идентификации типа реакции

Комбинация мишень-ион	Число испарившихся нейтронов X	$\frac{E_X}{X} = \frac{E_{exc} - \sum_i B_i n_i}{X}$	Идентифицированная реакция
I ²² Sn + ²⁰ Ne	4	(11,35 ± 1,0) MeV	I ²² Sn (²⁰ Ne, 5n) I ³⁷ Nd
	5	(6,9 ± 0,8) MeV	
	6	(4,4 ± 0,7) MeV	
II ⁹ Sn + ²² Ne	3	(12,0 ± 1,00) MeV	II ⁹ Sn (²² Ne, 4n) I ³⁷ Nd
	4	(6,40 ± 0,75) MeV	
	5	(3,5 ± 0,6) MeV	

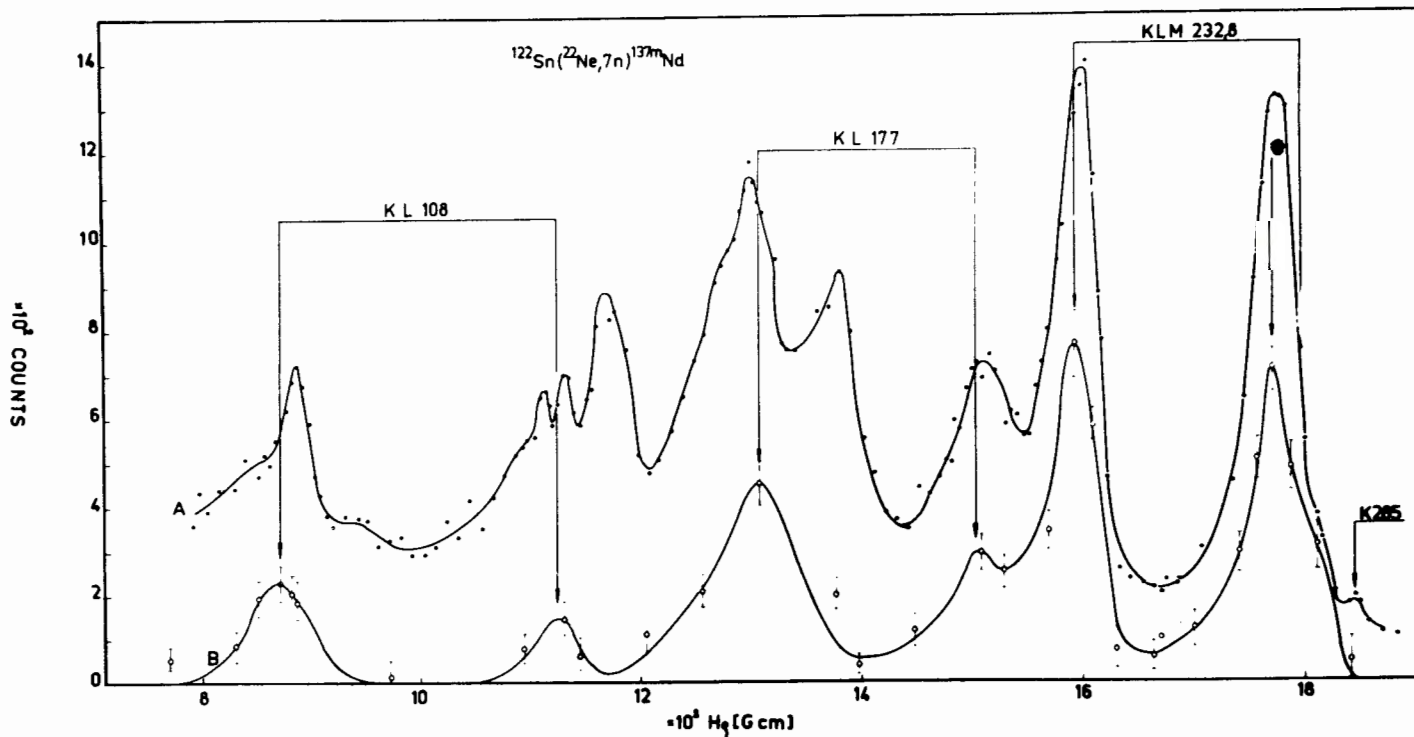


Рис.2. Спектр конверсионных электронов γ -переходов 108,177, 233 и 285 Кэв из реакции $^{122}\text{Sn}({}^{22}\text{Ne}, 7n){}^{137m}\text{Nd}$ при энергии налетающих ионов 138 Мэв. Спектр А измерен в заданных интервалах между импульсами циклотрона. Спектр В измерен по тому же временному циклу, что и γ -спектр, приведенный спектр В показывает разницу между первым и вторым спектрами.

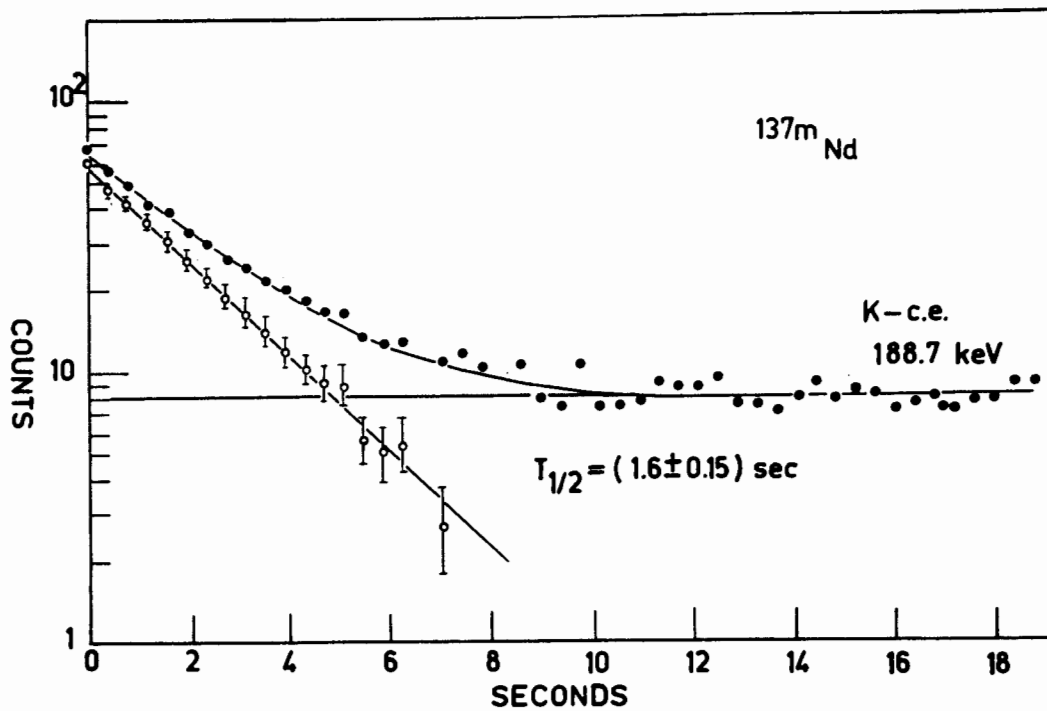


Рис.3. Распад изомера ^{137}Nd , измеренный на К-линии гамма-перехода 233 Кэв.

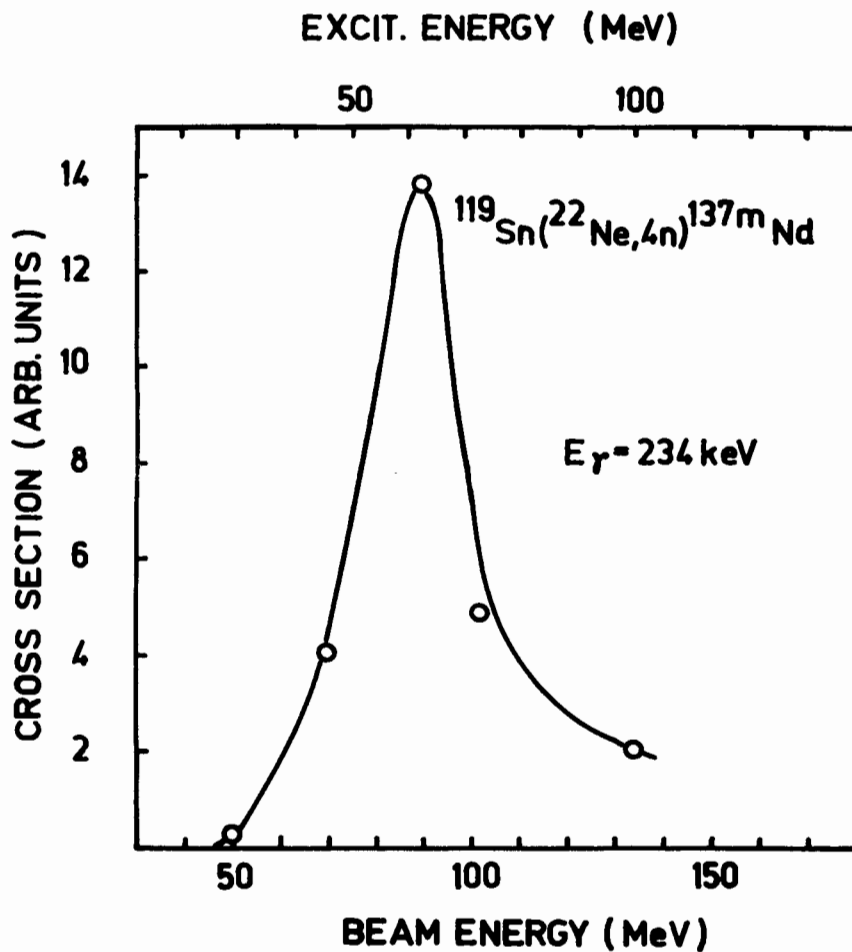


Рис.4. Функция возбуждения реакции $^{119}\text{Sn}(^{22}\text{Ne},4n)^{137m}\text{Nd}$. Толщина металлической мишени ^{119}Sn : $4,5 \text{ мгсм}^{-2}$.

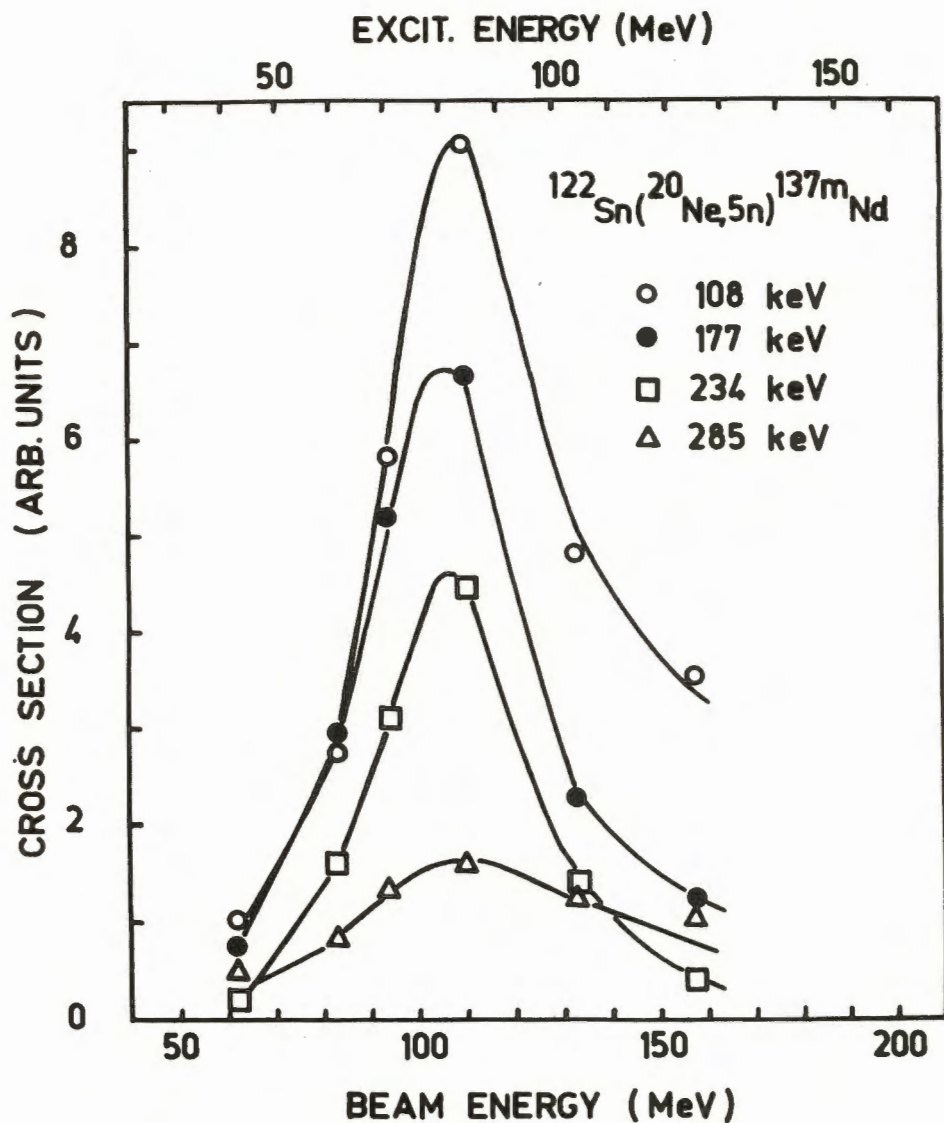


Рис.5. Функция возбуждения реакции $^{122}\text{Sn} (^{20}\text{Ne}, 5n) ^{137m}\text{Nd}$. Толщина мишени: $6,0 \text{ мгсм}^{-2}$.

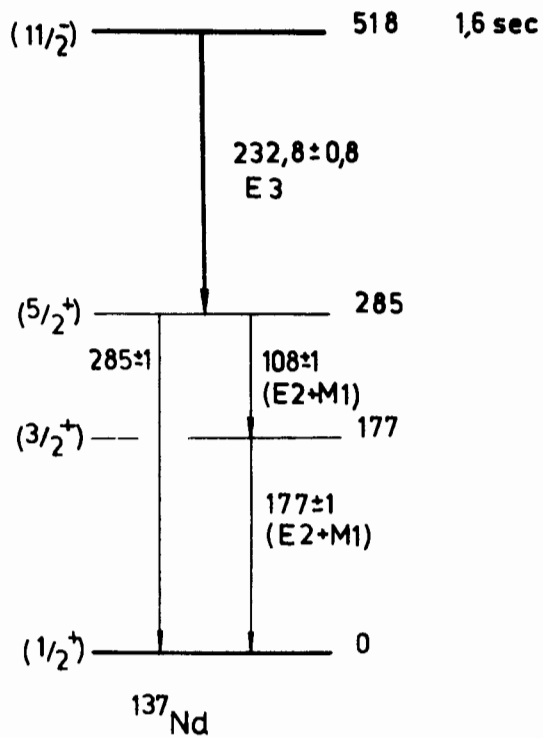


Рис.6. Предполагаемая схема распада ^{137m}Nd .

Определение мультипольностей переходов приводилось на основе спектра конверсионных электронов. Из анализа спектра конверсионных электронов получаются следующие отношения:

$$(a_K/a_{L_1})_{108} = 2,8 \pm 1,4, \quad (a_K/a_{L+M})_{177} = 3,1 \pm 1,5,$$

$$(a_K/a_{L+M})_{232,8} = 1,2 \pm 0,2.$$

Сравнение этих данных с теоретическими значениями приводит к выводу, что мультипольность перехода $E_{\gamma} = 232,8$ Кэв - E3, а мультипольность переходов 108 и 177 Кэв - M1, E2 или смесь обеих мультипольностей. На основе этих данных и по аналогии со структурой изомера ^{135m}Ce мы предлагаем для изомера ^{137m}Nd схему распада, приведенную на рис.6. На основании систематики уровней $s_{1/2}$ и $d_{3/2}$ в работе /8/ мы приписали γ -линию $E_{\gamma} = 177$ Кэв переходу $3/2^+ \rightarrow 1/2^+$.

4. Обсуждение результатов

Для сферических ядер проведенные расчеты, которые учитывают парные корреляции и квадрупольные взаимодействия /9/, предсказывают в изотонах с $N = 77$ низколежащие одночастичные уровни $s_{1/2}$, $d_{3/2}$ и $h_{11/2}$. Выше уровня $11/2^-$ по работе /9/ ожидаются однофоновые состояния $5/2^+$ и $7/2^+$, построенные на уровнях $s_{1/2}$ и $d_{3/2}$, соответственно. Однако с ростом атомного номера Z энергия уровня $5/2^+$ уменьшается, а энергия уровня $h_{11/2}$ увеличивается. Это приводит к тому, что уже в ядре церия ($Z=58$) уровни $5/2^+$ и $h_{11/2}$ меняют последовательность, т.е. уровень $h_{11/2}$ находится выше уровня $5/2^+$. Ввиду этого вместо M4-перехода ($h_{11/2} \rightarrow d_{3/2}$), имеющего место в ^{124}Te , ^{131}Xe и ^{133}Ba , в ядрах ^{135}Ce и ^{137}Nd мы наблюдаем E3-переход. По систематике (рис. 7) ожидается подобный случай в ядре ^{139}Sm . Нами были предпри-

няты попытки синтезировать этот изомер в реакциях $^{124}\text{Te} (^{20}\text{Ne}, 5\text{n})$ ^{139}Sm и $^{126}\text{Te} (^{20}\text{Ne}, 7\text{n})$ ^{139}Sm х/.

В диапазоне времен от 5 мсек до 3 сек мы не нашли никаких быстро распадающихся линий. В данном диапазоне времен в реакции $^{120}\text{Te} + ^{20}\text{Ne}$ наблюдаются только те линии, которые принадлежат изомеру $^{137\text{m}}\text{Nd}$, образованному в реакции $^{126}\text{Te} (^{20}\text{Ne}, \alpha 5\text{n})$ ^{137}Nd .

Авторы выражают глубокую благодарность академику Г.Н. Флерову за поддержку работы, профессору Л.К. Пекеру за обсуждение результатов, группе эксплуатации циклотрона У-300 за четкую работу ускорителя, лаборантке Ю.Юнкер за постоянную помощь при обработке данных.

Л и т е р а т у р а

1. C.M.Lederer, J.M.Hollander, I.Perman. Tables of Isotopes, John Wiley and Sons, New York, 1967.
2. З. Вильгельми, Х. Дростэ, Е. Левитович, Т. Морек, С. Хойнацкий. Препринт ОИЯИ, Р6-4499, Дубна, 1969.
3. В. Нойберт, К.Александр, Х. Роттер, С. Хойнацкий, Х. Дростэ. Препринт ОИЯИ, Р6-4276, Дубна, 1969.
4. Z.Wilhelmi, V.S.Alfeev, S.Chojnacki, Ch.Droste, J.Lewitowicz, T.Morek, P.Radecki, K.I.Siomin, J.Srebrny, A.Wojtasiewicz. Preprint E6-4593, Dubna (1969).
5. P.S.Hager, E.C.Seltzer. Nuclear Data, A4, 1 (1968).
6. G.N.Simonoff, J.M.Alexander. Phys. Rev., 133, B93 (1964).
7. В. Нойберт, К. Александр. Препринт ОИЯИ Р7-3657, Дубна, 1968.
8. R.Arlt, G.Beyer, G.Musiol, G.Pfrepper, H.Strusny. Contributions I Internat. Symposium on Nuclear Structure Dubna, 1968, p.23.
9. L.S.Kisslinger and R.A.Sorensen. Revs.Mod.Phys., 35, 853(1963).

Рукопись поступила в издательский отдел

11 июля 1969 года.

х/ Мишени были изготовлены из ^{124}Te со степенью обогащения 88,5% и из ^{126}Te со степенью обогащения 93,5%. Оптимальные энергии налетающих ионов были выбраны на основе измеренной функции возбуждения реакции $^{130}\text{Te} (^{20}\text{Ne}, 7\text{n})$ /3/.

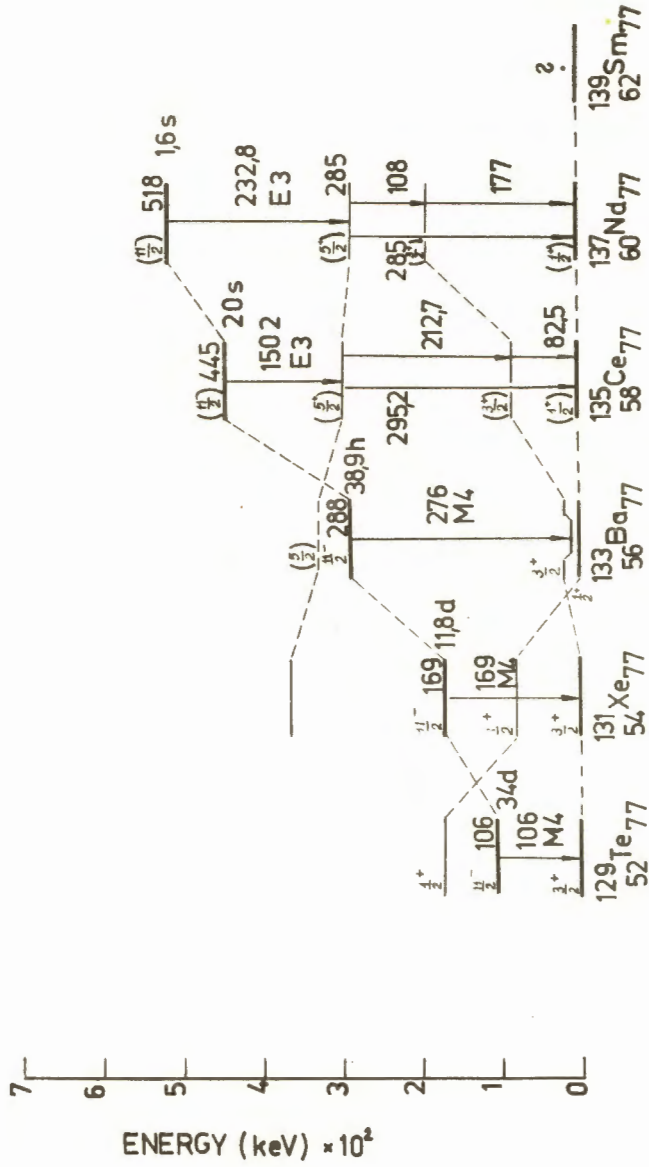


Рис.7. Систематика изомерных состояний в ядрах с числом нейтронов $N = 77$.

Таблица 4
 Отношения коэффициентов внутренней конверсии для
 Z = 60 по таблицам Хагера и Сельтцера /5/

Энергия перехода (КэВ)		E1	E2	E3	E4	M1	M2	M3	M4
108	α_K	1,76(-1)	9,81(-1)	4,25(0)	1,84(+1)	9,81(-1)	8,30(0)	4,75(+1)	2,65(+1)
	α_K / α_L	6,7	1,76	0,33	0,08	7,21	4,37	1,79	0,72
177	α_K	4,70(-2)	2,15(-1)	8,40(-1)	3,23(0)	2,45(-1)	1,44(0)	6,75(0)	3,15(+1)
	α_K / α_{L+M}	6,1	2,62	0,81	0,26	5,9	4,22	2,37	1,42
232,8	α_K	2,16(-2)	0,90(-1)	3,2(-1)	1,12(0)	1,16(-1)	5,65(-1)	2,30(0)	9,10(0)
	α_K / α_{L+M}	6,0	3,45	1,32	0,59	6,2	4,70	3,05	1,83