

A-828

19/II-69

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

P6 - 4246



Р.Арльт, Г.Байер, Г.Музиоль,
Л.К.Пекер, Х.Штрусный

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

УРОВНИ "ПОЛУМАГИЧЕСКОГО" ЯДРА $^{142}_{60}\text{Nd}$ 82

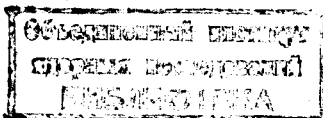
1969

P6 - 4246

Р.Арльт, Г.Байер, Г.Музиоль,
Л.К.Пекар, Х.Штрусный

УРОВНИ "ПОЛУМАГИЧЕСКОГО" ЯДРА $^{142}_{60}\text{Nd}_{82}$

Направлено в "Известия АН СССР"



1. В в е д е н и е

Исследование уровней чётно-чётных "полуmagicеских" ядер, у которых заполнена протонная или нейтронная оболочка, в частности ядер с $N=82$, представляет по различным причинам большой интерес. Главная из них заключается в том, что при формировании квазичастичных уровней таких ядер (вплоть до энергии возбуждения 3-3,5 Мэв) основную роль играют протоны и поэтому экспериментальные сведения об этих уровнях позволяют получить наиболее полное представление об остаточном взаимодействии протонов в ядрах. Не менее интересны экспериментальные сведения о коллективных и октупольных вибрационных уровнях полуmagicеских ядер.

До сих пор были известны состояния ^{142}Nd , возбуждающиеся при неупругом рассеянии протонов и дейтронов, а также при бета-распаде ^{142}Pr : 1575,6 кэв (2^+); 1970 кэв; 2084,4 кэв (3^-); 2210 кэв (0^+); 2390 кэв/1,2,3/. В реакциях типа (γ, n) в ядре ^{142}Nd возбуждается также изомерное состояние с энергией 2200 кэв, при распаде которого ($T_{1/2} = 16,5$ мксек) излучается каскад гамма-переходов с энергиями 108, 525 и 1565 кэв/4/. При β^+ -распаде $^{142}\text{Pm} \rightarrow ^{142}\text{Nd}$ вследствие экспериментальных трудностей, связанных с наличием весьма интенсивного аннигиляционного излучения, до сих пор удавалось наблюдать только два гамма-перехода/5/. На основании измерений $\beta^+ - \gamma$ -совпадений в более ранней работе нами было показано, что при β^+ -распаде ^{142}Pm в ядре ^{142}Nd заселяется уровень с энергией 1572 кэв/6/.

Как следует из теоретических расчётов на основании двухквaziчастичной модели^{/7,8/}, в ядре ^{142}Nd , помимо уровня $1^\pi = 1^+$ и ряда состояний с $1^\pi = 2^+$, должны существовать два уровня с характеристиками 0^+ при энергии ниже ≈ 3 Мэв. Можно ожидать, что эти уровни будут хорошо заселяться при распаде ^{142}Pm , обладающего в основном состоянии характеристикой $1^\pi = 1^+$ и достаточно высокой энергией распада Q_{β^+} , равной (4820 ± 100) кэв^{/9/}. Настоящая работа была посвящена поискам этих уровней.

2. Экспериментальная методика и результаты

Непосредственное изучение распада ^{142}Pm затруднено из-за короткого периода полураспада, составляющего всего 40 сек^{/10/}. Поэтому нами изучался распад цепочки $^{142}\text{Sm} \rightarrow ^{142}\text{Pm} \rightarrow ^{142}\text{Nd}$ (^{142}Sm $T_{1/2} = 73$ мин, что достаточно для проведения необходимых измерений). Присутствие ^{142}Sm в препарате, как показал опыт, не очень мешает, ибо в его гамма-спектре нет интенсивных гамма-переходов, кроме того, вследствие относительно низкого значения энергии распада $\alpha\beta^+$, равного 2050 кэв^{/9/}, существование гамма-переходов с энергией $E_\gamma > 2$ Мэв вообще исключается.

^{142}Sm был получен в реакции глубокого расщепления мишени из металлического гадолиния на внутреннем пучке протонов синхротронона ОИЯИ с энергией 680 Мэв^{/10/}. Время облучения составляло 2–4 часа, время хроматографического разделения – 1–2 часа. Измерения начинались после дополнительной очистки фракции самария. Активность препаратов достигала ≈ 100 мкюри.

Измерение гамма-спектра проводилось на $\text{Ge}(\text{Li})$ -детекторе с чувствительным объемом $6,3 \text{ см}^3$ и энергетическим разрешением 4,2 кэв для гамма-перехода с энергией 1333 кэв. Высокое энергетическое разрешение спектрометра сохранялось вследствие специального формирования импульсов в спектрометрическом тракте при работе с высокой загрузкой^{/12/}. Верхний предел допустимой загрузки определялся только мертвым временем 4096-канального анализатора (частота кодовых импульсов составляла 12 Мгц).

Измерения гамма-спектра в каждом опыте проводились в двух экспозициях по 6-10 часов до полного распада ^{142}Sm . Расстояние препарата от детектора постоянно сокращалось, чтобы обеспечить постоянную загрузку электронного тракта. Для измерения высокоэнергетической части гамма-спектра применялся фильтр, состоящий из 3 слоев: свинцового (13 мм), кадмиевого (1 мм) и медного (1 мм). Перед фильтром или при измерении мягкой части гамма-спектра перед детектором прикреплялся плексигласовый поглотитель толщиной 15 мм. Радиоактивный препарат Sm находился на тонкой лавсановой фольге (2 мг/см²). Таким образом удалось существенно уменьшить число отсчетов от аннигиляционного излучения.

При обработке к цепочке распада с $A = 142$ были отнесены все гамма-переходы, которые во второй экспозиции не наблюдались. Это было сделано на том основании, что ^{142}Sm получался в реакции типа $\text{Gd}(p, \alpha, n)$ с большим выходом по сравнению с другими изотопами самария и, кроме того, периоды полураспада для изотопов с массовыми числами 145, 143 и 140 составляют 340 дней, 8,9 мин, 21 мин и 14 мин, соответственно/10,6,13/. После дополнительной хроматографической очистки самариевой фракции в препарате не содержалось примесей других фракций.

Для градуировки спектрометра как по энергиям, так и по интенсивности, применялся препарат с изотопом ^{226}Ra с максимальной энергией гамма-переходов 2448 кэВ. При определении энергии в области выше 2,4 МэВ привлекался пик двойного вылета аннигиляционного излучения гамма-переходов. Результаты измерения гамма-спектра приведены в табл.1.

Помимо гамма-спектра, нами на магнитном бета-спектрометре с трехкратной фокусировкой на угол $\pi\sqrt{2}$ измерялся спектр конверсионных электронов. Были обнаружены K- и L-конверсионные линии E0-перехода с энергией (2219±2) кэВ с $K/L = 7,5\pm 1,0$.

Схема уровней ^{142}Nd

На основании данных о гамма-спектре ^{142}Pm мы вводим ряд новых уровней ^{142}Nd с $I \leq 2^+$, которые могут заселяться

при β^+ -распаде ^{142}Pm , имеющего в основном состоянии характеристики $I^\pi = 1^+$ (см. рис. 1). Всем уровням, которые связаны гамма-переходами непосредственно с основным состоянием, приспаны значения спина 1 или 2. Уровень при энергии 2218 кэВ связан с основным состоянием только конверсионным переходом типа $E0$ (гамма-переход не наблюдается). Поэтому мы смогли приписать этому уровню характеристики $I^\pi = 0^+$.

Гамма-переход с энергией 1345 кэВ может быть направлен только на уровни ^{142}Nd с энергиями 0 кэВ (0^+), 1576,0 кэВ (2^+) и 2218 кэВ (0^+), поскольку он довольно интенсивен. На основное состояние этот переход, однако, идти не может, ибо известно, что энергетическая щель в полумагических чётно-нечётных ядрах в области около ^{142}Nd больше 1,5 МэВ. Направление же указанного перехода на уровень с энергией 2218 кэВ (0^+) исключается тем, что не обнаружен соответствующий параллельный гамма-переход в основное состояние с $I^\pi = 0^+$. По причинам аналогичного типа нельзя направить гамма-переход с энергией 1345 кэВ на уровень при 2385 кэВ ($I^\pi = 2^+$). Эти соображения позволяют ввести уровень при энергии 2921 кэВ. Так как он связан гамма-переходом 1345 кэВ только с первым возбуждённым уровнем с характеристиками 2^+ (1576,0 кэВ), но не связан с основным состоянием с $I^\pi = 0^+$, то ему можно приписать спин и чётность $I^\pi = 0^+$.

Другой вариант квантовых характеристик уровня при 2921 кэВ: $I^\pi = 2^+$. При этом нужно предполагать, что существует не обнаруженный нами сильно задержанный гамма-переход в основное состояние. По расчётам/7/ ожидается второй уровень $I^\pi = 2^+$ с сильно задержанным гамма-переходом в основное состояние при энергии ≈ 2300 кэВ, то есть на 0,5 МэВ ниже обсуждаемого уровня. Второй уровень с $I^\pi = 2^+$ мы наблюдали при энергии 2385 кэВ, который, однако, разряжается интенсивным гамма-переходом в основное состояние, гамма-перехода на уровень с $I^\pi = 4^+$ при энергии 2101 кэВ не обнаружено.

В схеме уровней ^{142}Nd нами были, помимо ряда более высоко-энергетических уровней, введены два уровня при энергии 2209 и 2101 кэВ с характеристиками 6^+ и 4^+ , соответственно. Мы считаем, что разрядка изомера с периодом полураспада 16,5 мксек/4/ происходит не через каскад $5^- \rightarrow 3^- \rightarrow 2^+ \rightarrow 0^+$, как раньше предполагалось/10/, а через каскад $6^+ \rightarrow 4^+ \rightarrow 2^+ \rightarrow 0^+$. Это предположение можно сделать на основании более точного определения энергий γ -переходов. Гамма-переход с энергией (525 ± 10) кэВ, найденный в работе/4/, вероятнее всего, не идентичен с переходом $3^- \rightarrow 2^+$, энергия которого равна $(508,8 \pm 0,5)$ кэВ/3/. Поэтому изомерный каскад происходит между уровнями с характеристиками (2209 ± 15) кэВ, 6^+ ; (2101 ± 11) кэВ, 4^+ ; $(1576 \pm 0,5)$ кэВ, 2^+ и 0 кэВ, 0^+ . Аналогичный изомерный каскад существует в соседнем ядре ^{140}Ce /14/

Обсуждение схемы уровней ^{142}Nd

Полумагическое ядро ^{142}Nd имеет заполненную нейтронную оболочку с $N = 82$. В таких ядрах (с $N = 82$), как было показано в ряде работ/7,8/, нижние возбужденные состояния должны иметь в основном двухквaziчастичный протонный характер. На рис. 2 сравниваются экспериментальные значения энергией возбужденных состояний с результатами вычислений, сделанных на основе двухквaziчастичной модели/8/. Видно, что вычисленные квазичастичные спектры в основном хорошо отражают действительное расположение уровней: в области энергий 1,5 - 3,3 МэВ предсказывается 5 уровней с $1^\pi = 2^+$ и один уровень с $1^\pi = 1^+$. В эксперименте обнаружено было 7 уровней с $1 \leq 2$, часть из которых, однако, может иметь отрицательную чётность. В области энергий возбуждения меньше ≈ 3 МэВ предсказывается существование двух состояний типа 0^+ . Такие уровни были найдены при энергии 2218 и 2921 кэВ. Наконец, расположение низкоэнергетических уровней типа 2^+ и 4^+ хорошо согласуется с предсказанными значениями энергий.

Представляет интерес более детальная, хотя и приближительная классификация квазичастичных уровней ^{142}Nd . По расчётам работы/7/ основной вклад в волновые функции низкоэнергетических состояний дают следующие конфигурации: $(g_{7/2})^2: 1^\pi = 0^+, 2^+, 4^+, 6^+$; $(d_{5/2})^2: 1^\pi = 0^+, 2^+, 4^+$ и $(g_{7/2}, d_{5/2}): 1^\pi = 6^+, 5^+, 4^+, 3^+, 2^+, 1^+$.

Единственный уровень с $1^\pi = 1^+$ ($g_{7/2}, d_{5/2}$) ожидается в области энергий около 2800 кэВ/15/.

На рис. 3 спектр уровней ^{142}Nd сопоставлен с уровнями других чётно-чётных изотопов с $N = 82$. Энергия первого возбужденного уровня с $1^\pi = 2^+$ возрастает по мере заполнения протонной оболочки и достигает относительного максимума в ядре $^{140}_{58}\text{Ce}_{82}$ с заполненной $1g_{7/2}$ оболочкой. Интересно, что этот максимум возникает только у изотопов с $N = 82$ и отсутствует у изотопов с $N = 80$, и 84 , как видно из рис. 4. Известные нам данные о расположении уровней с $1^\pi = 2^+, 4^+$ и 3^- в изотопах Nd представлены на рис. 5 в виде кривых. Обращает на себя внимание тот факт, что максимум для коллективных уровней с $1^\pi = 3^-$ менее резкий, чем для первых возбужденных уровней с $1^\pi = 2^+$.

Как было показано выше, трудно объяснить второй уровень с $1^\pi = 2^+$ при 2385 кэВ в рамках модели, выбранной в работе/7/. Другая возможность – интерпретация этого уровня как аналога гамма-вибрационного уровня.

В работе/16/ предполагается, что таким уровнем в ядре ^{140}Ce является уровень при 2548 кэВ с $1^\pi = 2^+$. В ^{142}Nd его следует ожидать при $E \approx 2300-2400$ кэВ, так как экстраполяция величины $R = E_{2^+} / E_{2^+} (1\text{-ый возбужденный уровень})$ (гамма-вибрационный уровень) дает значения 1,5 ($R = 2,0; 1,7$ и $1,6$ для $^{136}_{54}\text{Xe}_{82}$, $^{138}_{56}\text{Ba}_{82}$, и $^{140}_{58}\text{Ce}_{82}$, соответственно). Поэтому мы отождествляем уровень при энергии 2385 кэВ с ожидаемым в ^{142}Nd "гамма-вибрационным" уровнем.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Н.Лебедева за химическое выделение фракции самария, Ж.Желева за предоставление возможности измерения на бета-спектрометре, В.Калиникова и Н.Ненова за помощь в работе и обсуждении результатов. Большую благодарность авторы выносят профессору К.Ф.Александреру за критические замечания при чтении рукописи.

Л и т е р а т у р а

1. John C. Hill and M.L.Wiedenbeck, NPH, A113, 598 (1968).
2. P.R.Christensen and Fu-Chia Jang, NPH, 72, 657 (1965).
3. S.Raman. NPH, A113, 603 (1968).
4. H.Krehbiel. Phys. Lett., 13, 65 (1964).
5. H.J.Bleyl, KFK, 534, Karlsruhe, 1967.
6. Р.Арльт, Г.Байер, Г.Музиоль, Л.К.Пекер, Г.Пфреппер, Х.Штрусный, Д.Христов. Препринт ОИЯИ, Р6-3540, Дубна, 1967.
7. M. Rho. NPH, 65, 497 (1965).
8. R.J.Lombard. NPH, A117, 365 (1968).
9. T.V.Marshall. UCRL - 8740 (1960).
10. G.M.Lederer, J.M.Hollander and I.Perlmann. Table of Isotopes (Sixth Edition), New York, 1967.
11. Ф.Молнар, А.Хорват, В.А.Халкин, В.А.Волков. Радиохимия, 8, 183 (1966).
12. Р.Арльт, А.И.Калинин, Г.Музиоль, Х.Штрусный. Препринт ОИЯИ, 13-3769, Дубна, 1968.
13. Э.Херрманн, Г.Пфреппер, Д.Христов. Препринт ОИЯИ, Р-2647, Дубна, 1966 .
14. H.W.Baer, J.J.Reidy, M.L.Wiedenbeck. NPH, A113, 33 (1968).
15. R.H.Lombard. Phys. Rev.Lett., 21, 102 (1968).
16. Л.К.Пекер. Изв. АН СССР, сер.физ., 91, 1585 (1967).

Рукопись поступила в издательский отдел
10 января 1969 года.

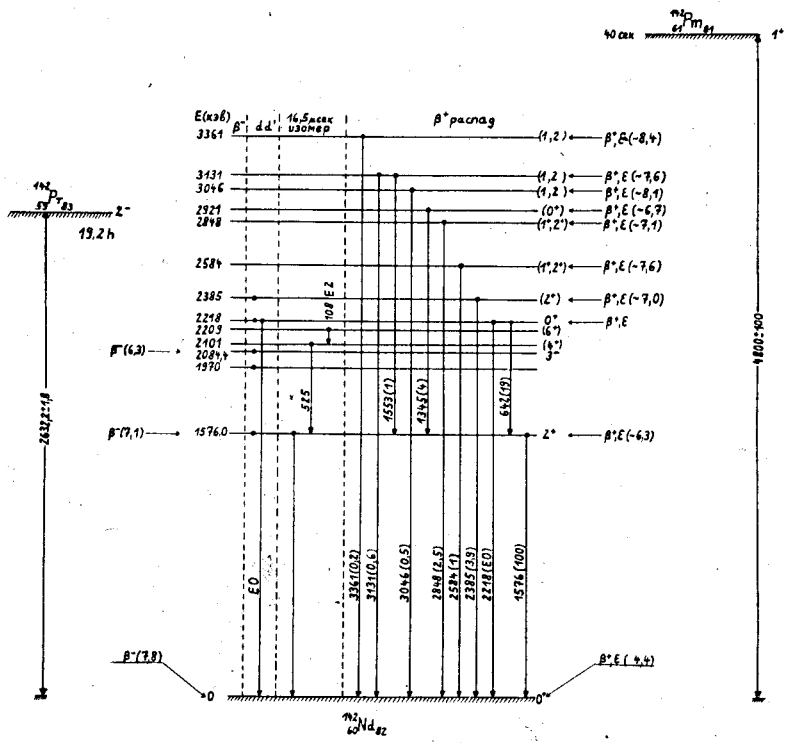


Рис. 1. Схема уровней ^{142}Nd .

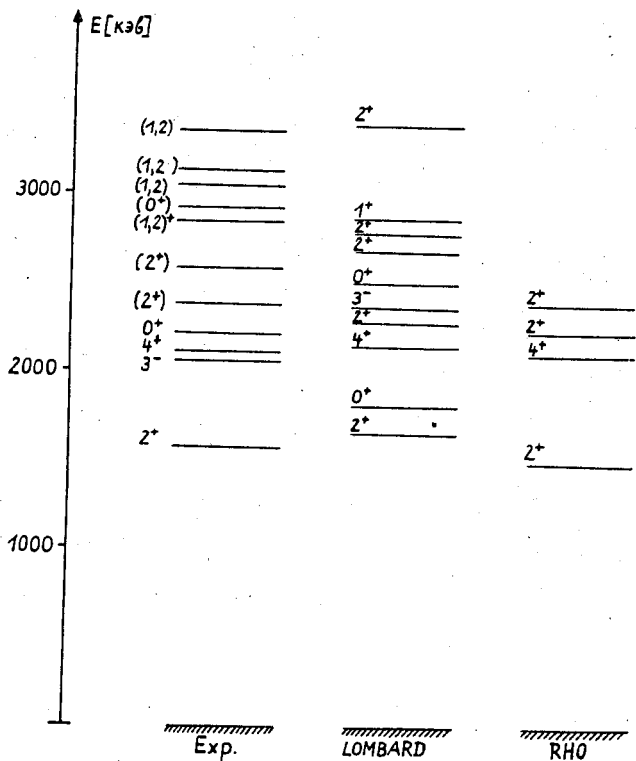


Рис. 2. Сопоставление экспериментально найденных уровней в ядре ^{142}Nd с предсказанными на основании двухквартичной модели [7,8].

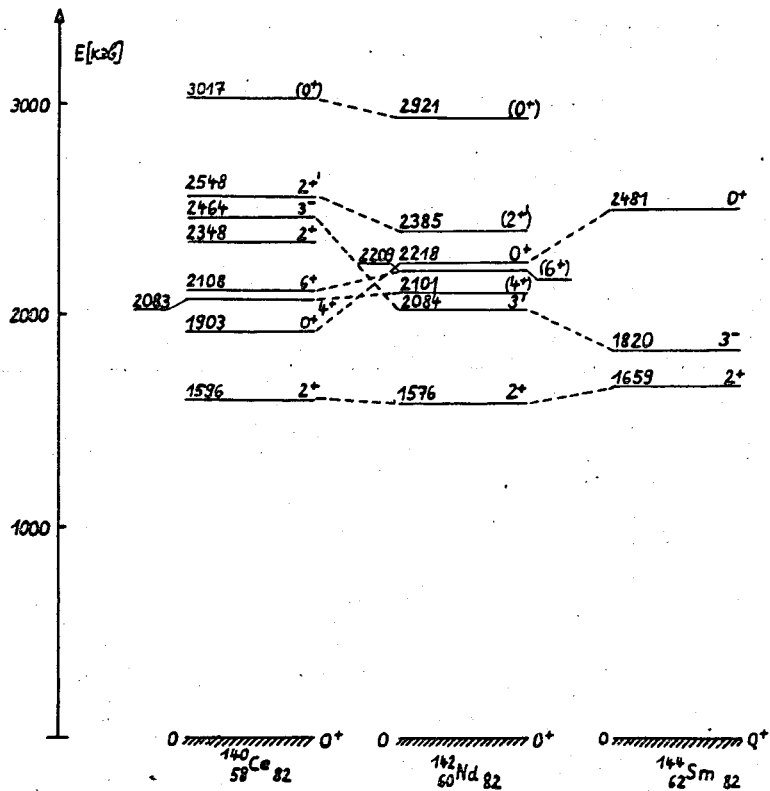


Рис. 3. Сопоставление схем уровней изотопов с $N = 82$ ^{140}Ce , ^{142}Nd и ^{144}Sm .

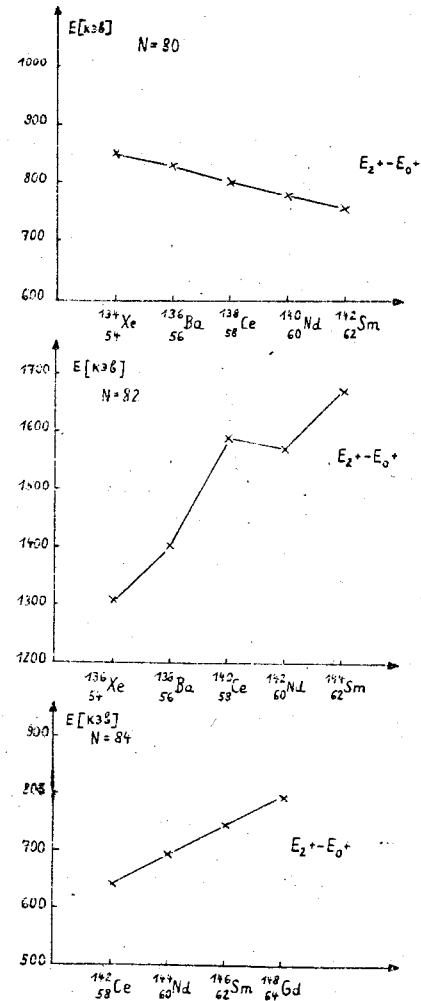


Рис. 4. Энергия первого уровня с $1\pi = 2^+$ для некоторых изотопов с $N = 80, 82$ и 84 .

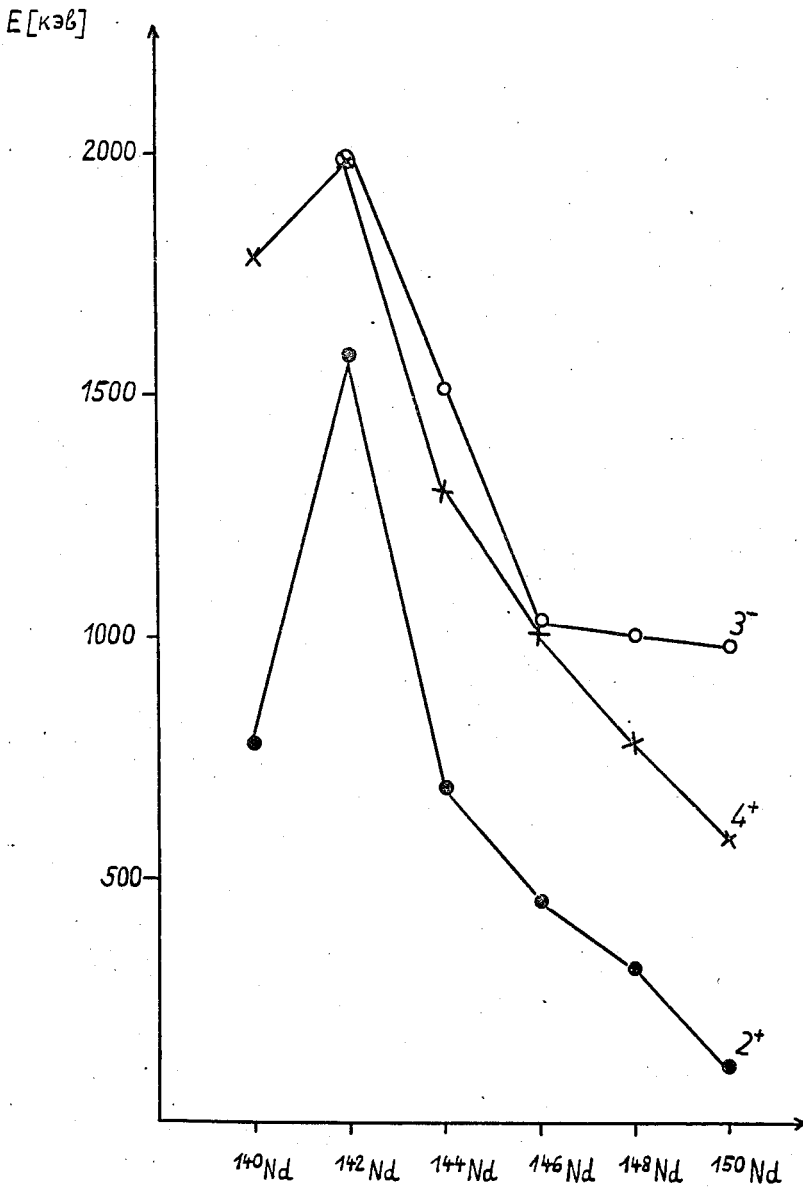


Рис. 5. Зависимость энергии уровней со спином $I^\pi = 2^+, 4^+, 3^-$ от числа нейтронов в изотопах Nd ($Z = 60$).