

С 341.3Г

М-55

20/10/65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-2265



В.Н. Мехедов

ОБ ОДНОЙ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
В СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ ЯДЕР

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

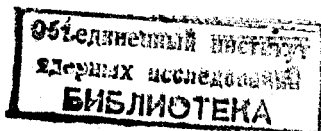
1965

P-2265

В.Н. Мехедов

ОБ ОДНОЙ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
В СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ ЯДЕР

Направлено в журнал "Ядерная физика"



После открытия К.А.Петржаком и Г.Н.Флеровым спонтанного деления урана^{/1/} начались систематические измерения периодов полураспада этого вида превращения у различных ядер. Накопление данных позволило выявить ряд закономерностей^{/2-4/}, которым подчиняется явление спонтанного деления, в результате чего стала понятной, по крайней мере качественно, природа процесса. В частности, в работе^{/3/} отмечалось несколько эмпирических закономерностей, которые выявляются у периодов полураспада спонтанного деления и α -распада четно-четных ядер. Они говорят о наличии общих черт у таких, казалось бы сильно различающихся между собой процессов, как испускание из ядра в виде α -частицы четырех связанных нуклонов и самопроизвольный развал ядра на две примерно равные части. Наличие общих характеристик у таких видов превращений можно понимать как следствие проявления квантово-механических эффектов туннельных прохождений через потенциальный барьер. Тем не менее механизм спонтанного деления до конца не выяснен. Последовательная теория процесса отсутствует, и это обстоятельство является серьезным тормозом в понимании механизма деления, а также строения ядра, и сказывается при синтезировании новых трансурановых изотопов. Сейчас задача сводится к накоплению возможно более разносторонних экспериментальных данных об этом интересном явлении. В настоящем сообщении мы хотели бы обратить внимание на то, что появившиеся новые данные о спонтанном делении тяжелых ядер подтверждают по крайней мере одну из описываемых в^{/3/} закономерностей.

Известно^{/2/}, что вероятность спонтанного деления в общем представляет собой зависимость от Z^2/A , т.е. иначе от Z^2/R^3 . Известно также, например, из данных об α -распаде^{/4,8/}, что по мере заполнения нуклонных оболочек происходят флюктуации радиуса ядра и, следовательно, флюктуации радиуса должны сказываться на периодах спонтанного деления. Поэтому при отыскании зависимостей, которым подчиняются вероятности деления различных ядер, целесообразно исключить влияние флюктуаций радиуса ядра, что достигается, если взять отношение $M = \frac{T_{дел}}{T_{\alpha}}$. На рис.1 приведена зависимость величин M у четно-четных изотопов от числа нейтронов (N) в ядре. На этом рисунке зачерненными кружками показаны величины, приведенные ранее^{/3/} или уточненные впоследствии^{/4-8/}. Незачерненными кружками указаны новые

данные, заимствованные из тех же источников /4-8/. Цифрами обозначены величины порядковых номеров соответствующих ядер. Прежде всего следует отметить, что отношения периодов деления к периодам α -распада имеют меньший интервал изменений величин, чем у каждого отдельного вида распада. Так изменение периодов деления достигает 28 порядков (от 10^{28} до 10^2 сек), а изменение периодов α -распада (от 10^{17} до 1 сек) - всего 17 порядков. Между тем величина M у тех же ядер при изменении числа нейтронов от 140 до 158 меняется только на 12 порядков. Еще меньшие разбросы этих отношений наблюдаются у ядер с одинаковым числом нейтронов. В таких случаях разбросы отношений $\frac{T_{\text{дел}}}{T_{\alpha}}$ составляют для большинства данных не более двух порядков и только при $N=152$ они равны 2,5 порядкам. В то же время вероятности деления или α -распада соответствующих ядер колеблются на 8-10 порядков. Не исключено, что встречающиеся иногда заметные разбросы величин M у ядер с одинаковым числом нейтронов обязаны большим погрешностям в определении периодов отдельных видов распада и при дальнейшем уточнении данных разбросы будут уменьшены. При числе нейтронов $N=158-160$ $\frac{T_{\text{дел}}}{T_{\alpha}} \approx 1$, а при больших N величина отношения может быть меньше единицы. Это обстоятельство существенно при поисках новых далеких трансурановых изотопов.

Постоянство в указанных выше пределах величин отношений периодов деления к периодам α -распада у ядер с одинаковым числом нейтронов заслуживает особого внимания в связи с экспоненциальной зависимостью вероятностей обоих процессов от характеризующих их параметров. Такое постоянство требует весьма строго равенства соответствующих показателей экспонент. Таким образом, если считать, что отношение M определяется только прозрачностью барьеров для осколков или α -частиц, то оно малочувствительно к изменению числа протонов у четно-четных ядер с одинаковым числом нейтронов. Изменение же числа нейтронов на два снижает примерно на два порядка величину M .

Нам представляется, что теоретическое объяснение указанной закономерности будет иметь значение для понимания природы спонтанного деления. В частности, эта закономерность проливает свет на связь таких форм распада ядер, как деление и α -распад. По всей видимости, связь должна быть следствием особенностей строения и совокупности нулевых колебаний невозбужденного ядра. Описываемая закономерность может быть полезной при поисках трансурановых изотопов, так как позволяет облегчить нахождение массовых чисел новых ядер, предсказывать или проверять измеряемые величины $T_{\text{дел}}$ и T_{α} . Последнее особенно важно, когда из-за малых времен жизни для идентификации приходится использовать только физические способы определения величин Z и A изотопов. Вот несколько примеров в этом направлении.

1) Дривин /5/ нашел период спонтанного деления у ядра $102^{254} \geq 60$ сек. Эта величина дает нам $M \geq 20$, что лучше согласуется с данными для $N=152$, чем величина отношения, полученная при подстановке $T_{\text{дел}} = 8$ сек, согласно /4,8/.

2) Из данных /5/ о периодах деления Cf^{248} и Fm^{252} ($\geq 9 \cdot 10^4$ и 140 лет) получаем отношения $\frac{T_{\text{дел}}}{T_{\alpha}}$, располагающиеся на рис. 1 несколько выше, чем отношения M , определенные по другим публикациям /4/.

3. Из указанного в /7/ предела для числа делений $\text{Ra}^{226} = 0,8$ дел/(сек.г) находим верхнюю границу для периода деления $\geq 10^{14}$ лет. Эта величина представляется слишком малой. Пользуясь данными рис. 1, можно рискнуть предсказать величинами периодов спонтанного деления или α -распада некоторых четно-четных изотопов.

Предсказываемые величины сведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Изотоп	M	$T_{\text{дел}}$	T_{α}
Ra^{226}	$10^{13} - 10^{15}$	$10^{16} - 10^{18}$ лет	-
Th^{228}	$10^{13} - 10^{15}$	$10^{13} - 10^{15}$ лет	-
U^{230}	$10^{13} - 10^{15}$	$5 \cdot 10^{11} - 5 \cdot 10^{13}$ лет	-
Pu^{234}	$10^{11} - 10^{13}$	$10^8 - 10^{10}$ лет	-
Cm^{238}	$10^9 - 10^{11}$	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^7$ лет	-
Cm^{250}	$15 - 10^3$	-	10 - 1000 лет
Cf^{254}	1 - 100	-	0,0015 - 0,15 лет
Fm^{250}	$10^2 - 10^4$	2 - 200 дн.	-
Fm^{258}	$1 - 10^{-2}$	-	3 г - 11 дн.
104^{260}	$10^{-1} - 10$	-	3 - $3 \cdot 10^{-2}$ сек

Можно предсказать любую из величин: A , $T_{\text{дел}}$, T_{α} , зная две других. В области $N=152$, по-видимому, следует ожидать меньшей надежности предсказаний из-за трудностей учета влияния данной подболочки.

Для нечетных ядер опубликовано сравнительно немного данных о периодах спонтанного деления /2,4-8,11/. Величины отношений для них приведены на рис. 2. Из рисунка видим, что и для нечетных ядер сохраняется общая тенденция уменьшения отношений M от числа нейтронов, хотя здесь встречаются значительно большие разбросы, чем на рис. 1. По абсолютной величине значения M лежат примерно на два-три порядка выше, чем и у дважды четных ядер и это является, по-видимому, следствием большого запрета спонтанного деления нечетных ядер. С увеличением числа нейтронов

1. К.А.Петржак, Г.Н.Флеров. ЖЭТФ, 10, 1013, 1940.
2. G.T.Seaborg. Phys. Rev., 85, 157 (1952);
W.I.Whitenhouse, W.Galbraith. Nature, 169, 494 (1952).
3. В.Н.Мехедов, "Физика деления атомных ядер". Приложение к журналу "Атомная энергия", 1, 181 (1957).
4. Е.К.Хиде. "The Nuclear Properties of the Heavy Elements", III (1964).
5. В.А.Друни. Автореферат кандидатской диссертации. Дубна (1962).
6. В.И.Гольданский. Новые элементы в периодической системе Д.И.Менделеева. Атомиздат (1964).
7. E.Sege. Phys. Rev., 86, 21 (1952).
8. E.K.Hulet, R.W.Hoff, J.E.Evans, R.W.Lougheed. Phys. Rev. Lett., 13, 343 (1964).
9. R.C.Gatti, R.Brandt, L.Phillips, S.G.Thompson. J. Inorg. Nucl. Chem., 25, 1985 (1963).
10. S.Johanson. Nucl. Phys., 12, 449 (1959).
11. T.Sikkeland, A.Giorso, R.Lattimer, A.E.Larsch. UCRL (1965).
(будет опубликовано).

Рукопись поступила в издательский отдел
9 июля 1965 г.

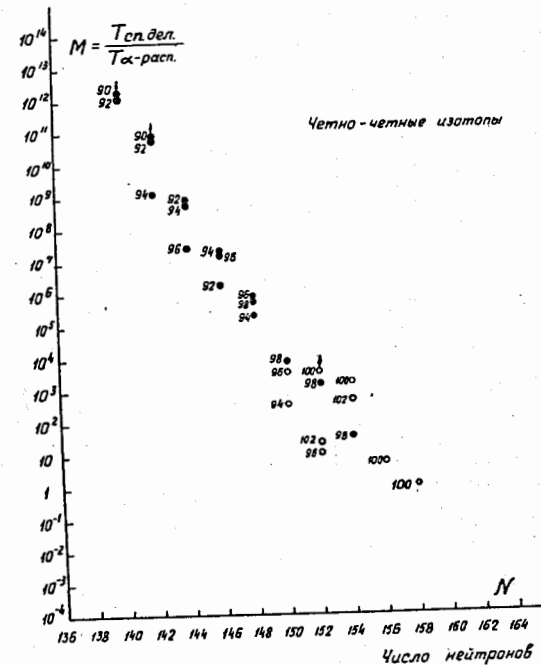


Рис. 1. Изменение отношения $\frac{T_{\beta \text{ дел}}}{T_{\alpha \text{ расп.}}}$ от числа нейтронов у четно-четных ядер.

от 140 до 154 величины M уменьшаются примерно на 6-7 порядков. Было бы преждевременным в настоящее время отыскивать различия в поведении отношений четно-нечетных или нечетно-четных изотопов, так как имеется лишь небольшой экспериментальный материал, но, вероятно, в будущем отыскание различий между ними имело бы смысл. Встречающиеся у некоторых ядер (например, для $^{101}_{257}U$, $^{235}_{235}U$) резкие уменьшения величины отношения $\frac{T_{\beta \text{ дел}}}{T_{\alpha \text{ расп.}}}$ по сравнению с соседними могут объясняться индивидуальными особенностями в плотности и расположении уровней этих ядер, на что было обращено внимание еще в работе ^{10/}. В случае нечетных ядер наблюдаемая зависимость M от числа N позволяет использовать ее для проверки измеряемых величин периодов спонтанного деления или α -распада или значений атомных весов. Например, период деления Cf^{249} , указанный в ^{14/} $> 1,5 \cdot 10^4$ лет, значительно хуже согласуется с общей тенденцией, вытекающей из рис. 2, чем величины периодов деления, равные $1,5 \cdot 10^9$ лет и $> 4,5 \cdot 10^8$ лет, приводимые в той же работе ^{14/}. Точно также представляется сомнительным сообщаемый в ^{18,9/} период деления Fm^{257} около 11 дней. На рис. 2 лучше укладывается значение периода деления для этого изотопа, найденное в ^{18/} (~ 100 лет).

Как это ни странно, но отношение периода деления к периоду β -распада, кажется, также уменьшается от числа N . В литературе ^{14,7/} есть сведения о периодах деления двух β -радиоактивных изотопов: Np^{239} ($T_{\beta} = 5 \cdot 10^{12}$ лет, $T_{\beta} = 2,3$ дн.) и Vk^{249} ($T_{\beta} = 6 \cdot 10^8$ лет, $T_{\beta} = 314$ дн.). Отношения $K = \frac{T_{\beta \text{ дел}}}{T_{\beta}}$ для них изображены на рис. 2 звездочками. По абсолютным величинам отношений K расположены примерно на 6-7 порядков выше, чем показанные на рис. 1 значения M у дважды четных ядер, а с возрастанием числа нейтронов, если можно верить приводимым данным, они также уменьшаются. Это совершенно непонятно, так как согласно современным теоретическим представлениям деление возникает в результате коллективных деформаций, α -распад есть прохождение через барьер, но β -превращение относится совсем к другой области явлений - явлениям превращения одного рода нуклона в другой. Поэтому какая может быть связь между делением и β -распадом не ясно. Возможно, мы имеем дело со случайным стечением обстоятельств и для выяснения этого вопроса прежде всего желательно накопление новых данных о спонтанном делении β -радиоактивных изотопов.

Пользуюсь возможностью принести свою благодарность члену-корреспонденту АН СССР проф. Г.Н.Флерову, Л.И.Лапидусу и Н.Н.Скобелеву за ценные замечания и критику.

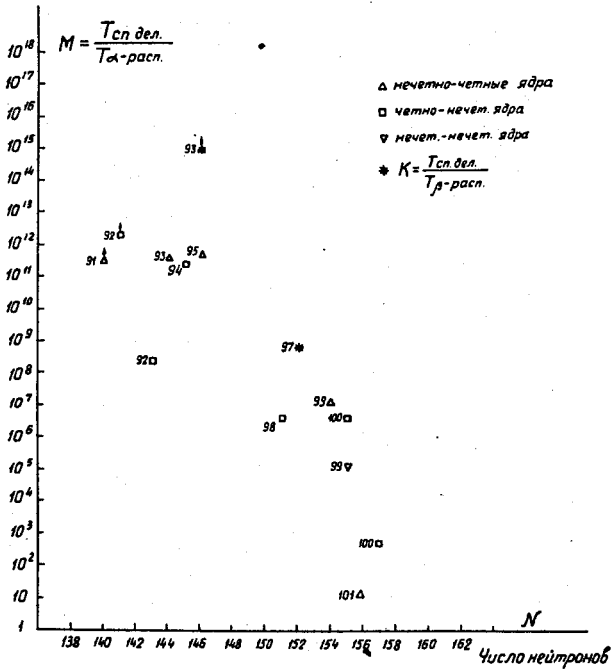


Рис. 2. Зависимость изменения отношений M от числа нейтронов у нечетных ядер.