

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

П - 573

4049/2-78

18/ix - 78



P7 - 11779

А.Г.Попеко, Г.М.Тер-Акопян

АНАЛИЗ ДАННЫХ
О МНОЖЕСТВЕННОСТИ НЕЙТРОНОВ
ПРИ СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ
НОВОГО ПРИРОДНОГО НУКЛИДА,
ОБНАРУЖЕННОГО
В НЕКОТОРЫХ МЕТЕОРИТАХ

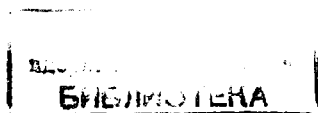
1978

P7 - 11779

А.Г.Попеко, Г.М.Тер-Акопьян

АНАЛИЗ ДАННЫХ
О МНОЖЕСТВЕННОСТИ НЕЙТРОНОВ
ПРИ СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ
НОВОГО ПРИРОДНОГО НУКЛИДА,
ОБНАРУЖЕННОГО
В НЕКОТОРЫХ МЕТЕОРИТАХ

Направлено в ЯФ



Поляко А.Г., Тер-Акопян Г.М.

P7 - 11779

Анализ данных о множественности нейтронов при спонтанном делении нового природного нуклида, обнаруженного в некоторых метеоритах

Проанализированы результаты измерений нейтронной активности метеоритов. Показано, что полученная ранее оценка среднего числа нейтронов $\bar{\nu} < 10$ является завышенной. Данные вновь проанализированы при помощи метода наибольшего правдоподобия. Показано, что наиболее вероятные значения $\bar{\nu}$ заключены в интервале $1,5 < \bar{\nu} < 6$ и оценки величины $\bar{\nu}$ и σ_{ν}^2 сильно коррелируют между собой, при этом для малых значений $\bar{\nu} \sim 1,5$ наиболее вероятны большие значения $\sigma_{\nu}^2 \sim 4$, а $\bar{\nu} \sim 6$ соответствуют $\sigma_{\nu}^2 \sim 0,5$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Многолетние эксперименты по изучению нейтронной активности природных образцов, проведенные в Лаборатории ядерных реакций в 1972-1978 годах, позволили обнаружить неизвестный долгоживущий спонтанно делящийся нуклид в некоторых метеоритах^{/1/} и гидротермальных источниках полуострова Челекен^{/2/}. Полученные данные позволили высказать предположение о том, что новый излучатель принадлежит к области сверхтяжелых элементов с $z \geq 110$. Этот результат был, по видимому, подтвержден для излучателя, содержащегося в метеорите Алленде, группой Р.Брандта в ФРГ в 1978 году^{/3/}.

Для выяснения природы неизвестного нуклида представляют интерес оценки среднего числа нейтронов на акт деления и дисперсии их распределения по множественности σ_{ν}^2 .

При исследовании испускания мгновенных нейтронов деления эти статистические параметры обычно определяют путем регистрации совпадений осколков и нейтронов. В качестве детекторов осколков используются полупроводниковые или газонаполненные счетчики. Изучаемый образец в виде тонкого слоя помещают в счетчик осколков деления, который, в свою очередь, располагают внутри детектора нейтронов. Сигнал со счетчика осколков разрешает регистрацию нейтронов в течение временного интервала, длительность которого связана с временем жизни нейтронов в детектирующей системе. В течение этого интервала может быть зарегистрировано 0,1,2 и т.д. нейтронов. При измерениях подсчитывают полное число стартовых сигналов от счетчиков осколков

и количество случаев N_n регистрации разного числа $n = 0, 1, 2, \dots$ нейтронов. Из этих данных непосредственно могут быть получены оценки для величин $\bar{\nu}$ и σ_ν^2 .

Метод регистрации совпадений осколков и нейтронов при поисках сверхтяжелых элементов практически неприменим без проведения их концентрирования. Уже на начальном этапе таких экспериментов в 1969-1972 годах^{4,5/} было установлено, что концентрация гипотетических элементов даже в самых "богатых" образцах не превышала 10^{-14} г/г, а активность спонтанного деления была менее 0,1 расп/кг·сутки. Поскольку пробеги осколков в материале образцов составляют примерно 1-2 мкг/см², методом регистрации совпадений осколков и нейтронов деления удается исследовать только несколько граммов вещества. Одним из путей повышения чувствительности поисков было увеличение веса исследуемых образцов.

В этом случае наибольшие преимущества дает метод детектирования множественной эмиссии нейтронов из образцов^{6/}. Этот метод основан на том, что при делении ядер велика вероятность испускания более чем одного нейтрона. Поэтому акты регистрации совпадений между импульсами от двух и более нейтронов (кратные события) могут служить для детектирования спонтанного деления. Чувствительность этой методики определяется эффективностью регистрации кратных событий и в значительной мере - фоном установки.

Эффективность регистрации кратных событий F_n , где n - кратность, зависит от эффективности регистрации одиночных нейтронов ϵ и от распределения по множественности нейтронов, испускаемых при делении. Величины F_n могут быть получены по формулам

$$F_n = \sum_{\nu \geq n} P_\nu \frac{\nu!}{n!(\nu-n)!} \epsilon^n (1-\epsilon)^{\nu-n},$$

где P_ν - вероятности эмиссии при делении различных чисел нейтронов $\nu = 0, 1, 2, \dots$.

При измерении активности образцов метеоритов^{7,1/} использовались детекторы нейтронов, выполненные на базе пропорциональных ³He-счетчиков. Счетчики были помещены в каналы блоков из органического стекла.

В центрах блоков имелись полости для исследуемых образцов. Максимальный объем образца мог достигать 30 литров. Эффективность регистрации одиночных нейтронов составляла от 0,15 до 0,30.

Основной вклад в фон детекторов множественного испускания нейтронов вносит взаимодействие космического излучения с материалом образца. Было установлено, что при проведении измерений под землей на глубине, соответствующей 1100 метрам водного эквивалента, скорость счета фоновых событий с кратностью $n \geq 2$ составляет менее одного в год. Скорость счета одиночных импульсов составляла обычно 30-50 в час. Однако одиночные импульсы не могут быть однозначно связаны с делением, например, вследствие наличия α -радиоактивных загрязнений стенок счетчиков, а также нейтронов, возникающих в реакциях (α, n) , (γ, n) и т.д.

Итак, при измерениях на детекторах множественного испускания нейтронов получают данные о распределении по кратностям актов регистрации совпадений нейтронов. Оценки параметров $\bar{\nu}$ и σ_ν^2 могут быть получены из этого распределения путем его сравнения с распределением, рассчитанным при различных предположениях об этих параметрах. Следует помнить, что набор величин N_n является неполным, т.к. $n \geq 2$.

В работе^{1/} оценивалась только величина $\bar{\nu}$. Имеющиеся данные об элементном составе метеорита Алленде позволяли заключить, что изученные образцы имеют однородную структуру. Предполагалось, что удельные активности спонтанного деления, оцененные по результатам опытов с различными образцами, должны совпадать. Число актов спонтанного деления определялось по формуле $N_f = N_n / F_n$. Величины F_n для $\bar{\nu} < 4$ рассчитывались на основании данных об эмиссии нейтронов при делении известных изотопов:

$$^{238}\text{U} - \bar{\nu} = 2,0, \quad \sigma_\nu^2 = 1,0; \quad ^{242}\text{Cm} - \bar{\nu} = 2,5, \quad \sigma_\nu^2 = 1,2;$$

$$^{248}\text{Cm} - \bar{\nu} = 3,1, \quad \sigma_\nu^2 = 1,4; \quad ^{252}\text{Cf} - \bar{\nu} = 3,74, \quad \sigma_\nu^2 = 1,57.$$

Поскольку при значениях $\bar{\nu} > 7$ и эффективностях регистрации нейтронов $\epsilon < 0,3$ вероятности регистрации кратных совпадений нейтронов слабо зависят от σ_{ν}^2 , то величина σ_{ν}^2 полагалась постоянной при $\bar{\nu} \geq 7$ и для удобства вычислений полагалось $\sigma_{\nu}^2 = 0$. В области промежуточных значений $4 \leq \bar{\nu} < 7$ величины F_n находились путем интерполяции значений F_n , найденных для малых и больших значений $\bar{\nu}$. Методом наименьших квадратов подбирались такие значения $\bar{\nu}$, при которых совпадение удельных активностей было наилучшим. В результате расчетов для величины $\bar{\nu}$ была получена оценка $4 < \bar{\nu} < 10$.

В настоящее время отказ от рассмотрения области "нефизических" значений $\bar{\nu} < 4$ при $\sigma_{\nu}^2 > 2$ представляется необоснованным. Расчеты показали, что такое ограничение области рассматриваемых значений $\bar{\nu}$ и σ_{ν}^2 приводит к смещению левой границы интервала оценивания $\bar{\nu}$ в сторону больших значений. Выбор $\sigma_{\nu}^2 = \text{const}$ сглаживает зависимость величин F_n от $\bar{\nu}$, а выбор $\sigma_{\nu}^2 = 0$ смещает в сторону больших значений также и правую границу интервала оценивания $\bar{\nu}$. Отсюда следует, что оценка величины $\bar{\nu}$, приведенная в^{1/}, является завышенной.

В работе Г.Флина и др.^{/8/} для оценивания величины $\bar{\nu}$ сравнивались величины $\bar{n} = \sum_{n \geq 2} n N_n / \sum_{n \geq 2} N_n$, полученные

на основании данных измерений дубненской группы, и величины $\bar{n} = \sum_{n \geq 2} n F_n$, полученные расчетным путем.

При расчете величин F_n авторами^{/7/} были сделаны такие же предположения о $\bar{\nu}$ и σ_{ν}^2 , что и в работе^{/1/}. Для $\bar{\nu} \geq 4$ величины F_n получались путем экстраполяции значений, полученных при малых $\bar{\nu}$. Подобный метод оценивания является также весьма приближенным не только вследствие ограничений, наложенных на значения $\bar{\nu}$ и σ_{ν}^2 , но и вследствие того, что при $\epsilon < 0,3$ \bar{n} слабо зависит от $\bar{\nu}$. Например, при $\epsilon = 0,3$ при изменении $\bar{\nu}$ от 1 до 12 величина \bar{n} изменяется от 2 до 3. В работе^{/7/} указано лишь наиболее вероятное значение $\bar{\nu}$ и не приведены границы доверительных интервалов, в то время как следовало бы указать $1,5 < \bar{\nu} < 12$.

В ходе дальнейших экспериментов по поиску в природе сверхтяжелых элементов удалось обнаружить неиз-

вестный нуклид также и в земных образцах^{/2/}. Для обработки результатов, полученных в этих экспериментах, был применен метод наибольшего правдоподобия.

Функция правдоподобия L строилась на основе мультиномиального распределения. Наиболее вероятные значения параметров $\bar{\nu}$ и σ_{ν}^2 могут быть оценены из условия максимума L. Однако при малой статистике более ценные сведения дает исследование поверхности функции правдоподобия.

Этот же метод был применен к обработке данных измерений активности образцов метеоритов. Расчеты для метеоритов показали, что величина $\bar{\nu}$ заключена в интервале $1,5 < \bar{\nu} < 6$. Было установлено, что оценки величин $\bar{\nu}$ и σ_{ν}^2 сильно коррелируют между собой. Например, значениям $\bar{\nu} = 1,5$ соответствуют значения $\sigma_{\nu}^2 = 4$, а $\bar{\nu} = 6 - \sigma_{\nu}^2 = 0,5$. Наиболее вероятными оказываются значения $\bar{\nu}$, близкие к нижней границе интервала при больших значениях дисперсии.

Метод наибольшего правдоподобия использовался также Д.Кольбом^{/9/}. Автором, на основании дубненских данных для излучателя, содержащегося в метеорите Алленде, были получены значения $\bar{\nu} = 3-8$. В работе^{/8/} не приводятся детали вычислений, однако мы полагаем, что оценка только одного параметра $\bar{\nu}$ является недостаточной для характеристики распределения.

Представляет интерес сравнение полученных оценок с предсказаниями. В одной из ранних работ Д.Никса^{/10/} предполагался монотонный рост $\bar{\nu}$ с ростом заряда делящегося ядра и для нуклида с $z = 114$ предсказывалось $\bar{\nu} = 11$ при двойном и $\bar{\nu} = 14$ при тройном делении. Х. Шмитт и У. Мозель^{/11/} сделали вывод о том, что $\bar{\nu} = 8-10$. В работе Д. Кольба^{/12/} для случая двойного деления также приводятся значения $\bar{\nu} = 8$, однако при тройном делении, которое, по мнению автора, может преобладать, среднее число нейтронов должно быть мало: $\bar{\nu} = 2-4$.

Относительно дисперсии распределения нейтронов множественности имеются лишь качественные указания на то, что величина σ_{ν}^2 при спонтанном делении сверхтяжелых элементов может быть больше, чем при делении

актинидов (смотри, например, обзор Ю.Лазарева¹³). Таким образом, с учетом возможности тройного деления теоретическими предсказаниями перекрыт весь диапазон $2 < \bar{\nu} < 14$.

Сравнение оценок $\bar{\nu}$ и σ_V^2 , полученных для нового излучателя, обнаруженного в метеоритах¹¹ и минеральной фракции гидротермальных источников полуострова Челекен¹², свидетельствует в пользу того, что в этих экспериментах наблюдался распад одного и того же излучателя.

В настоящее время имеются экспериментальные данные, указывающие на отклонение от тенденции к быстрому монотонному росту $\bar{\nu}$ с ростом массы и заряда делящихся ядер. В этой связи уточнение данных о $\bar{\nu}$ и σ_V^2 для нового излучателя, обнаруженного дубненской группой, представляется особенно интересным. Повышение точности оценок путем набора большего числа событий затруднено, поскольку активность имеющихся препаратов весьма мала, а накопление значительных количеств нового излучателя требует больших усилий. Вместе с тем, возможности экспериментальной методики использованы еще не полностью. Например, в последнее время были разработаны детекторы нейтронов на базе пропорциональных ^3He -счетчиков с эффективностью регистрации нейтронов $\epsilon = 0,6$. Реальным является создание аналогичных детекторов, имеющих $\epsilon = 0,8$. Такое повышение эффективности регистрации нейтронов не приводит к существенному увеличению числа отсчетов. Однако зависимость наблюдаемых в экспериментах величин N_n от $\bar{\nu}$ и σ_V^2 усиливается с ростом ϵ , и точность оценивания этих параметров возрастает.

Более существенное повышение точности оценок может быть достигнуто путем выделения информации о величине N_1 -числе совпадений одиночных нейтронов с мгновенными γ -квантами деления. Возможно, что дальнейшее усовершенствование этой методики позволит измерять также и величину N_0 .

Наиболее перспективным является применение метода регистрации совпадений осколков и нейтронов деления.

Этот метод был использован группой Р.Брандта в ФРГ¹³ для исследования сульфидной фракции метеорита Алленде. Однако возможность реализации преимуществ метода совпадений связана с успехами в концентрировании нового излучателя.

Авторы глубоко признательны Г.Н.Флерову за постановку задачи и стимулирующие дискуссии. Ю.Ц.Оганесяну автору благодарны за ряд полезных замечаний. Авторы благодарят также Е.А.Сокола за помощь в проведении расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1977, 26, с.449.
2. Флеров Г.Н. и др. Препринт ОИЯИ Д7-11724, Дубна, 1978.
3. Brandt R. In Proc. Int. Symp. on Superheavy Elements, Lubbock, Texas, USA, 1978.
4. Hermann G. Inorganic Chemistry, Series 2, 1973, v.8, p.221.
5. Ter-Akopian G.M. In Proc. the 4th Inter. Symp. on Trans-plutonium Elements, Baden-Baden, FRG, 1975.
6. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1974, 20, с.472.
7. Попеко А.Г. и др. ЯФ, 1975, 21, с.1220.
8. Flyn G. et al. In Proc. IX Intern. Conf. Lunar and Planetary Science, Houston, Texas, USA, 1978.
9. Kolb D. GSI-Bericht J-1-78 p.90, Darmstadt, 1978.
10. Nix J.R. Phys.Lett., 1969, 30B, p.1.
11. Schmitt H.W. and Mosel U., Nucl.Phys., 1972, A136, p.1.
12. Kolb D. Phys.Lett.B, 1976, 65B, p.319.
13. Lazarev Yu.A. Atomic Energy Review, 1977, 15, p.75.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 июля 1978 года.