

О ВОЗМОЖНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ПОИСКУ РАСПАДА НУКЛОНА

Г. М. Тер-Акопьян

Обсуждается эксперимент по поиску распада нуклона, связанного в атомном ядре. Регистрация нейтронов, испарившихся из возбужденных ядер, позволяет наблюдать распад нуклона при периоде полураспада $\leq 10^{31}$ лет.

Вопрос о стабильности нуклона приобрел остроту в последнее время, в связи с результатами некоторых теорий, находящихся в согласии с экспериментальными данными об электромагнитных, слабых и сильных взаимодействиях и предсказывающих время жизни нуклона, которое может быть меньше 10^{32} лет. Предел времени жизни нуклона, полученный в экспериментах Райниса и др. (см. [1]), оценивается в $3 \cdot 10^{30}$ лет в предположении, что среди продуктов его распада присутствуют мюоны. Сообщалось (см. [2]) о нескольких подготавливаемых экспериментах, рассчитанных на детектирование вероятных видов распада нуклона.

Возможен и другой подход к обнаружению такого распада, основанный на наблюдении различных ядерных превращений, вызываемых им. В конце пятидесятых годов Флеровым и др. [3] были проведены эксперименты с целью наблюдения спонтанного деления тория. Полученный предел периода полураспада тория составил — 10^{21} лет, что позволило установить предел периода полураспада нуклона — $2 \cdot 10^{23}$ лет. В дальнейшем методы детектирования спонтанного деления были улучшены в процессе поисков в природе сверхтяжелых элементов (см. [4]). Нам представляется, что они могут быть применены и для поиска распада нуклона. Чтобы обосновать этот вывод, остановимся на принципе действия нейтронных детекторов. Они включали блок замедлителя, окружавший чувствительный объем, в котором помещался образец. Внутри замедлителя располагались пропорциональные счетчики, наполненные ^3He , которые регистрировали нейтроны, испущенные из образца. Среднее время жизни теплового нейтрона (τ) составляло несколько десятков мксек. Признаком спонтанного деления являлось наблюдение событий, в которых за время $(4 - 5)\tau$ регистрировались два или более нейтронов. Запуск схемы, осуществлявшей поиск таких событий, происходил при появлении одиночного импульса с любого из счетчиков. Измерения проводились на глубине 1100 метров водного эквивалента с подавлением фона от космических мюонов с помощью системы антисовпадений. За несколько лет измерений был получен предел фона кратных событий — менее одного события в год.

Описанный принцип может быть использован для наблюдения распада нуклонов, связанных в тяжелых атомных ядрах. Действительно, распад нуклона должен происходить с образованием сильновзаимодействующих частиц. Например, SU_5 -модель предсказывает большую вероятность для распадов $p \rightarrow e^+ \pi^0$ и $n \rightarrow e^+ \pi^-$ [5]. Спонтанная генерация внутри ядра пиона, рожденного в одном из подобных процессов, должна приводить

к развитию внутриядерного каскада, вылету каскадных частиц и образованию возбужденных ядер. Суммарная энергия возбуждения ядра, внутри которого произошел распад нуклона, и других ядер, которые могут либо захватить остановившийся π^- -мезон, либо испытать вторичное взаимодействие с каскадными нейтронами составит от 100 до 400 МэВ. Процесс девозбуждения таких ядер характеризуется испарением 10 – 20 нейтронов. При других допустимых способах распада нуклонов также будут образовываться возбужденные ядра, испускающие примерно такое же число нейтронов. Такие события могут быть зарегистрированы нейтронным детектором с вероятностью, приближающейся к единице.

Заметим, что в экспериментах по поиску сверхтяжелых элементов в природе определялся фон, для чего в чувствительный объем установки помещались образцы свинца, окиси-закиси железа и кварца. Общее время измерений, приведенное на стандартный образец свинца весом 100 кг, составило около 50 суток. Так как при этом не было зарегистрировано ни одного множественного события, из этих данных следует предел периода полураспада нуклона $5 \cdot 10^{27}$ лет.

Для того, чтобы довести этот предел до значений, предсказываемых теорией, необходимо существенно увеличить вес образца и время измерения. Общее количество свинца в детекторе можно увеличить сравнительно просто до 100 тонн. Для этого потребуется, например, сборка из 50 свинцовых блоков размером $0,22 \times 0,44 \times 2$ м³, окруженных слоями оргстекла, в которые помещены ³He-счетчики. В такую сборку потребуется поместить около 1000 счетчиков длиной 2 м и диаметром 3 см, заполненных ³He при давлении 5 атм. Внешние размеры установки $3,1 \times 2,7 \times 2$ м³, вес свинца – около 110 тонн. Вероятность регистрации одиночных нейтронов, испущенных из свинцовых блоков, будет составлять около 0,4. При одновременном испускании 10 – 20 нейтронов с вероятностью $> 0,95$ будет зарегистрировано 2 или более нейтронных сигнала. Вероятность регистрации 5 и более нейтронов составит 0,8. Поэтому, если бы период полураспада связанного в ядре нуклона равнялся 10^{31} лет, за год было бы зарегистрировано 3 события с кратностью 5 – 10.

Рассмотрим различные источники фона, которые возникнут при подобном измерении. К регистрации кратных нейтронных событий будет приводить спонтанное деление примеси урана, содержащейся в образце. По-видимому, не представляется сложным получение свинца, содержащего не более 10^{-9} г/г урана. В этом случае в течение года в образце весом 100 тонн будет происходить около $2 \cdot 10^4$ делений и будет зарегистрировано более $3 \cdot 10^3$ событий с кратностью ≥ 2 . Однако, вероятность наблюдения событий с кратностью ≥ 5 будет мала (одно событие за 5 – 10 лет). Другой источник фона возникает в результате взаимодействий атмосферных мюонов и нейтрино. При работе на глубине 1,5 – 2 км число ядерных взаимодействий мюонов составит 1000 – 1500 за год. Число взаимодействий атмосферных нейтрино составит около 20 за год. Эти взаимодействия будут приводить к рождению адронных ливней и, в конечном счете, к испарению нейтронов из возбужденных ядер. Однако, большая часть таких событий будет резко отличаться от событий распада нуклона по числу зарегистрированных нейтронов

(более 10) и по топологии. Мюонный фон практически полностью подавляется с помощью системы антисовпадений, которая также позволит исключить значительную часть нейтринного фона от взаимодействий заряженных токов.

Итак, фон описанной установки, по-видимому, составит 1 – 2 события в год. Не исключено, что более тщательный анализ позволит уменьшить и этот фон. Приняв, однако, указанную оценку, приходим к выводу, что в подобном эксперименте можно наблюдать распад нуклона, если его период полураспада $\leq 10^{31}$ лет. Ввиду того, что результат такого эксперимента, по-видимому, в наименьшей степени зависит от предположений о каналах распада нуклона, его проведение представляется оправданным. Кроме поиска распада нуклона, такой детектор может дать новую информацию о потоках нейтрино высокой энергии.

Автор благодарен Г.Н.Флерову за инициативу и стимулирующие обсуждения и Ю.Ц.Оганесяну, дискуссии с которым были полезны при подготовке этой работы.

Объединенный
институт ядерных исследований

Поступила в редакцию
30 марта 1981 г.

Литература

- [1] J.Learned, F.Reines, A.Soni. Phys. Rev. Lett., **43**, 907, 1979.
 - [2] M.Goldhaber, P.Langacker, R.Slansky. Preprint LA-UR-80-356, Los Alamos, 1980.
 - [3] Г.Н.Флеров и др. ДАН СССР, **118**, 69, 1958.
 - [4] Г.Н.Флеров и др. ЯФ, **26**, 449, 1977.
 - [5] M.Machacek. Nucl. Phys. B159, 37, 1979.
-