

ОГРАНИЧЕНИЕ НА ВРЕМЯ ЖИЗНИ ПРОТОНА ПО ДАННЫМ БАКСАНСКОГО ПОДЗЕМНОГО СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ТЕЛЕСКОПА*

*Совместно с Е.Н. Алексеевым, В.Н. Бакатановым, А.В. Буткевичем,
А.В. Воеводским, А.А. Гительсоном, А.Е. Даншиным, Г.П. Кейдан,
А.А. Кирюшиным, О.И. Петковой, Б.Е. Штерном*

Для исследования распада протона используются два внутренних слоя сцинтилляторов Баксанского подземного телескопа. Шесть внешних слоев служат антисовпадательной защитой. За время экспозиции 0.47 года не наблюдалось ни одного сигнала с энергией ≥ 500 МэВ. На этом основании нижний предел на время жизни протона (нейтрона) оценивается как $1.25 \cdot 10^{30}$ года.

Согласно идее так называемого великого объединения протон в принципе должен быть нестабилен и распадаться с нарушением сохранения барионного числа. Наблюдение этого процесса на опыте является, по-видимому, единственным мыслимым прямым экспериментальным подтверждением этой идеи, которая может стать основой для построения единой теории сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий. В рассматриваемых моделях энергия, при которой происходит "объединение", столь велика (10^{15} ГэВ), что полностью недоступна как для любых фантастических ускорительных машин, так и для любых астрофизических объектов в настоящее время. Исключение составляет только момент сингулярности, первые мгновения "Большого взрыва". Если в этот момент температура достигала указанной фантастической величины, то протекали бы быстрые процессы с несохранением барионного числа, которые в принципе способны привести к наблюдаемой барионной асимметрии Вселенной.

Возможность экспериментального обнаружения спонтанного распада протона определяется тем, насколько велико его время жизни. В рассматриваемых сейчас моделях это время оценивается от 10^{27} до 10^{34} лет. Наиболее вероятным в модели SU-5 считается время 10^{30} лет, что приблизительно соответствует уже имеющемуся экспериментальному нижнему пределу. Этот предел был получен в экспериментах десятилетней давности [1], специально не предназначенных для поиска протонного распада. Сейчас в стадии осуществления находятся несколько проектов специальных больших установок. Все они располагаются на возможно большой глубине под землей и имеют массу вещества, в котором регистрируется распад протона или нейтрона* от 100 до 10 000 тонн. На первой из них - стотонной установке в глубокой

* Письма в ЖЭТФ, т. 33, вып.12, 664 (1981).

* Как протон, так и нейтрон, связанные в ядре, имеют одинаковые времена жизни, такие же, как и свободный протон. Ядро, естественно, оказывает некоторое влияние на кинематику вылетающих продуктов распада, когда это адроны.

шахте KGF в Индии - в конце 1980 г уже начат эксперимент [2]. Баксанский сцинтилляционный телескоп расположен на сравнительно небольшой глубине 850 м водного эквивалента и хотя поток мюонов космических лучей ослаблен в 5000 раз по сравнению с поверхностью, именно мюонный фон создает серьезную трудность в использовании этой установки для поиска протонного распада. Тем не менее в течение 1980 г нами предпринята такая попытка после введения некоторых конструктивных изменений, улучшающих антисовпадательную защиту.

Напомним, что телескоп состоит из четырех горизонтальных и четырех вертикальных слоев сцинтилляционных детекторов и имеет форму прямоугольного параллелепипеда с внешними размерами $17 \times 17 \times 12 \text{ м}^3$ [3]. Для данного эксперимента все четыре вертикальных слоя, а также верхний и нижний горизонтальные осуществляли функцию антисовпадательной защиты. Только два внутренних горизонтальных слоя использованы как детекторы протонного распада. Полная масса телескопа 2.5 тысячи тонн, из них 330 тонн жидкого сцинтиллятора во всех 3200 детекторах, а масса двух внутренних слоев составляет 770 тонн, из них 85 тонн жидкого сцинтиллятора, остальное железобетон. Возможность регистрации распада протона (нейтрона) в этих условиях зависит от того, какая доля полной энергии распада 938 МэВ выделится в сцинтилляторе толщиной 23 г/см^2 . Измерялось общее энерговыделение в одном из двух внутренних слоев сцинтилляторов при условии, что ни в одном из наружных, а также других внутренних слоев нет сигнала на уровне 5 МэВ . Второе требование - чтобы число сработавших в данном слое детекторов (обычно смежных) на уровне 12.5 МэВ было не менее двух. Последнее требование позволяет исключить спонтанные разряды в ФЭУ.

Е, МэВ	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$N_{\text{экс}}$	920	470	96	27	7	0	0	0	0	0
$N_{\text{рас}}$	215	172	72	42	25	13	8	6	2	0
$\tau \cdot 10^{-30}$	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	1.25	0.77	0.57	0.19	-
90% дов. ур.	1.2 ¹⁾	1.3 ¹⁾	1.2 ¹⁾	1.2 ¹⁾	1.2 ¹⁾					

¹⁾ С вычитанием фона в предположении, что он точно равен измеренной интенсивности

Во второй строке таблицы представлено интегральное энергетическое распределение отбираемых указанным способом событий за полное время измерений 0.47 года. В третьей строке представлены результаты розыгрыша методом Монте-Карло 1000 нуклонных распадов в указанных 770 тоннах вещества. Розыграно 500 распадов протона по моде $p \rightarrow e^+ + \pi^0$ и 500 распадов нейтрона $n \rightarrow e^+ + \pi^-$, что соответствует $\tau = 2.2 \cdot 10^{29}$ лет. Отношение ожидаемого эффекта к фону непрерывно улучшается с ростом энергетического порога, но эффективность непрерывно падает и при 500 МэВ составляет всего 1.3 %. В четвертой строке указаны нижние пределы времени жизни протона (нейтрона) в зависимости от выбираемого энергетического порога. Экспериментальное распределение во второй

строке хорошо совпадает как по форме, так и по абсолютной величине с фоном от мюонов, проникающих в щели анти совпадательной защиты. Этот фон был изучен в параллельном эксперименте. Крутое обрезание энергетического распределения фона объясняется отсутствием мюонов вблизи горизонтального направления из-за поглощения их в окружающих горных массивах. Вычитание фона в принципе возможно, но из таблицы видно, что наилучший результат получается практически при пороге 500 МэВ, когда фона нет и поэтому нет нужды обсуждать корректность операции вычитания. Вместе с тем, следует отметить, что высокий порог ограничивает не только эффективную массу в данном эксперименте, но, вообще говоря, нечувствительность его к некоторым модам распада. Строго, полученный результат относится только к разыгранным двухчастичным модам. Однако качественное рассмотрение показывает, что вероятность поглощения половины энергии распада в плоском слое сцинтиллятора толщиной 23 г/см² не уменьшается для многочастичных мод, если только заметная доля энергии не уносится нейтрино. Поэтому установленный в данной работе нижний предел времени жизни протона (нейтрона) составляет $1.25 \cdot 10^{30}$ лет (90% доверительный уровень) для всех безнейтринных мод распада.

Литература

1. J. Learned, F. Reines et al., Phys. Rev. Lett., **43**, 907 (1979).
2. V. S. Narasimham, Test of conservation of baryon number.
Proposal for an experiment at K.G.F. Preprint.
3. E. N. Alexeyev et al., Proc. 16th ICRC, Kyoto, **10**, 276 (1979).