

БАКСАНСКИЙ ПОДЗЕМНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ТЕЛЕСКОП

*Е.Н.Алексеев, Л.Н.Алексеева, В.Н.Бакатанов,
М.М.Болиев, А.В.Воеводский, В.А.Догужаев,
В.Н.Закидышев, В.А.Козяривский, Ю.Ф.Новосельцев,
Р.Н.Новосельцева, В.Я.Поддубный, В.Я.Петков,
О.В.Суворова, А.К.Цябук, А.Е.Чудаков*

Институт ядерных исследований РАН, Москва

ВВЕДЕНИЕ	631
ИЗУЧЕНИЕ НЕЙТРИНО ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ	632
ПОИСК ТЯЖЕЛОГО МАГНИТНОГО МОНОПОЛЯ	633
РЕГИСТРАЦИЯ ВСПЛЕСКОВ НЕЙТРИННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ГРАВИТАЦИОННЫЙ КОЛЛАПС ЗВЕЗД	634
ПОИСК РАСПАДА ПРОТОНА	635
ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕРВИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ	635
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	636

БАКСАНСКИЙ ПОДЗЕМНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ТЕЛЕСКОП

*Е.Н.Алексеев, Л.Н.Алексеева, В.Н.Бакатанов,
М.М.Болиев, А.В.Воеводский, В.А.Догужаев,
В.Н.Закидышев, В.А.Козяревский, Ю.Ф.Новосельцев,
Р.Н.Новосельцева, В.Я.Поддубный, В.Я.Петков,
О.В.Суворова, А.К.Цябук, А.Е.Чудаков*

Институт ядерных исследований РАН, Москва

Дан краткий обзор экспериментальных результатов, полученных на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе. Осуществлено исследование потоков нейтрино от галактических источников и установлено ограничение на их поток. При поиске медленных ионизирующих частиц установлен верхний предел на поток тяжелых магнитных монополей. Зарегистрирован сигнал от нейтринного импульса от процесса рождения сверхновой. Установлено ограничение на распад протона. При регистрации мюонов от широких атмосферных ливней установлено постоянство их химического состава до $5 \cdot 10^{15}$ эВ.

Experimental results obtained at the Baksan underground scintillation telescope are reviewed. Galactic source neutrino fluxes were investigated. In slow ionizing particle searches an upper limit was established on a heavy magnetic monopole flux. A neutrino pulse from a supernovae birth was registered. An upper limit on a proton decay time was established. By means of a muon registration originated from wide atmospheric showers and absence of a variation of their chemical composition was established up to $5 \cdot 10^5$ eV.

1. ВВЕДЕНИЕ

Использование потока атмосферных нейтрино высокой энергии для изучения характеристик слабых взаимодействий было предложено М.А.Марковым [1,2]. Для этого предлагалось регистрировать возникающий в результате взаимодействия нейтрино с веществом в толще Земли поток мюонов, приходящих из нижней полусферы. В работе М.А.Маркова и И.М.Железных [3] была рассмотрена возможность регистрации в таких экспериментах нейтрино от галактических источников. Эти идеи были реализованы на подземном сцинтилляционном телескопе Баксанской нейтрин-

ной обсерватории ИЯИ РАН. Возможности созданной установки оказались значительно шире. В данной статье кратко описаны основные результаты, полученные на телескопе.

2. ИЗУЧЕНИЕ НЕЙТРИНО ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Телескоп находится в подземной выработке объемом $24 \times 24 \times 16$ м под склоном горы Андырчи на расстоянии 550 м от входа в горизонтальную штольню. Он представляет собой четырехэтажное здание размером $16,7 \times 16,7 \times 11,1$ м. Расстояние между этажами равно 3,6 м. Все шесть внешних и две внутренние плоскости здания сплошь покрыты сцинтилляционными детекторами. Площадь каждого детектора $0,5 \text{ м}^2$. Общее число детекторов равно 3150, а вес сцинтиллятора в них — 330 тонн. Глубина заложения телескопа 850 м.в.э.

Для отбора мюонов, идущих снизу, была использована времяпролетная методика. За более чем 10 лет «чистого» времени наблюдений на телескопе зарегистрировано около 700 событий прохождения через телескоп мюонов из нижней полусферы от взаимодействия нейтрино с веществом или $(0,177 \pm 0,006)$ событий в сутки, что соответствует потоку:

$$I(E > 1 \text{ ГэВ}) = (2,72 \pm 0,16) \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}.$$

В пределах неопределенностей измеренный темп счета находится в согласии с ожидаемым, что позволило установить на 90% доверительном уровне следующие ограничения на параметры $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ осцилляций:

$$\Delta m^2 < 2,73 \cdot 10^{-4} \text{ эВ}^2 \text{ при } \sin^2(2\theta) = 1$$

$$\sin^2(2\theta) < 0,23 \text{ при } \Delta m^2 > 3,20 \cdot 10^{-2} \text{ эВ}^2$$

и, соответственно, $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$:

$$\Delta m^2 < 3,12 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}^2 \text{ при } \sin^2(2\theta) = 0,95,$$

$$\sin^2(2\theta) < 0,03 \text{ при } \Delta m^2 > 3,03 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}^2.$$

В предположении, что осцилляции нейтрино отсутствуют, можно сделать ограничение на поток нейтрино внеатмосферного происхождения, или провести поиск потоков нейтрино от локальных источников. Для поиска источников было использовано несколько методов.

В таблице приведены результаты обработки данных для 11 наиболее известных источников, видимых в гамма-диапазоне, доступных для наблюдения нашей установкой.

Таблица

Источник	Координаты		Число событий в окне	Фон	Ограничения на поток × 10 ⁻¹⁴ см ⁻² · с ⁻¹
	α	δ			
SMC X-1	1:15	- 73	3	2,9	0,81
LMC X-4	5:32	- 66	2	2,3	0,70
LMC X-3	5:38	- 64	1	2,0	0,53
Cen X-3	11:19	- 60,3	1	2,0	0,56
Cir X-1	15:16	- 57	0	2,1	0,41
Cen A	13:25	- 42,8	4	1,7	3,8
Vela X-1	9:02	- 40,5	1	1,5	0,77
Gal Cen	17:42	- 30	0	1,8	0,67
Sco X-1	16:19	- 15	2	1,3	1,5
3C273	12:28	+ 2,1	2	1,1	2,0
Crab Psr	5:32	+ 22	0	0,7	1,9

Из таблицы видно, что по данным телескопа нет никаких указаний на существование значимых потоков нейтрино высоких энергий от источников, видимых в гамма-диапазоне.

Относительно небольшая глубина заложения телескопа позволяет решать задачи, связанные как с низким фоном (поиск магнитного монополя, регистрация нейтрино от коллапса звезд и др.), так и с мюонами космических лучей, поток которых на данной глубине достаточно велик (14 в секунду).

3. ПОИСК ТЯЖЕЛОГО МАГНИТНОГО МОНОПОЛЯ

В 1974 году было показано, что магнитные монополи с необходимостью возникают в широком классе теорий великого объединения. В этих теориях предсказывается не только заряд, совпадающий с зарядом монополя Дирака, но и масса частицы, достигающая величины $10^{16} - 10^{17}$ ГэВ. Очевидно, что

частицы с такой массой могли рождаться только на ранней стадии образования Вселенной и в дальнейшем, ускоряясь в галактических магнитных полях, приобретать скорости порядка $10^{-3} - 10^{-2}$ с.

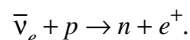
Для наблюдения монополей производился поиск медленных ионизирующих частиц, проходящих через телескоп, в диапазоне скоростей $2 \cdot 10^{-4} \div 10^{-1}$ с по времени пролета. При анализе данных, набранных за 63030 часов живого времени, не было найдено кандидатов, удовлетворивших критериям отбора. Это позволило установить верхний предел на поток сверхтяжелых магнитных монополей:

$$f < 2,0 \cdot 10^{-16} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \text{ ср}^{-1}.$$

Следует отметить, что этот предел также справедлив и для любых медленных ионизирующихся частиц, способных проникать глубоко под землю.

4. РЕГИСТРАЦИЯ ВСПЛЕСКОВ НЕЙТРИННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ГРАВИТАЦИОННЫЙ КОЛЛАПС ЗВЕЗД

Согласно современным представлениям коллапсирующая в конце своей эволюции массивная звезда может дать короткий, но мощный всплеск энергетичных (~ 10 МэВ) нейтрино. Сцинтиллятор детекторов телескопа с высоким содержанием водорода используется для обнаружения электронных антинейтрино по реакциям их захвата протонами:



Поскольку пробег образовавшегося позитрона мал, он полностью укладывается в объеме детектора. Серия одиночных сработавших детекторов в течение короткого периода времени, определяемого длительностью нейтринной вспышки, позволяет отличить эффект от фона случайно распределенных шумовых сигналов.

Эффективность регистрации нейтрино больше 80%, если спектр — тепловой с «температурой» нейтрино, равной 3,5 МэВ.

Проверкой готовности телескопа явилась регистрация нейтринного сигнала от сверхновой SN 1987A, вспыхнувшей в соседней галактике Большое Магелланово Облако 23 февраля 1987 года, находящейся на расстоянии 50 кпс. Одновременно с японским детектором *Kamiokande II* и американским детектором IMB, был обнаружен сигнал из 5 событий в течение 9,1 с в массе мишени 200 т.

Непрерывный набор информации был начат в 1980 г. В 1997 г. полное время наблюдения составило 15 лет. За это время не было обнаружено ни одного сигнала, который достоверно можно было бы интерпретировать как всплеск галактических электронных антинейтрино. Отсюда можно получить нижнее ограничение на средний интервал между гравитационными коллапсами в Галактике, допуская, что их частота подчиняется закону Пуассона. Принимая вероятность пропуска сигнала, равной 10%, получаем следующее ограничение на 90% уровне достоверности: $T > 6,5$ лет.

5. ПОИСК РАСПАДА ПРОТОНА

Из теорий великого объединения следует, что протон нестабилен и должен распадаться с нарушением закона сохранения барионного числа. Наблюдение такого процесса на опыте явилось бы прямым экспериментальным подтверждением идеи объединения.

Телескоп не предназначался специально для изучения нестабильности нуклона, поэтому при постановке и проведении этого эксперимента нужно было исходить из имеющихся возможностей уже действующей установки.

Реально в эксперименте измерялось общее энерговыделение в одном из двух внутренних слоев сцинтилляторов при условии, что ни в одном из наружных, а также в других внутренних слоях нет сигнала на уровне 5 МэВ. Второе требование состояло в том, чтобы число сработавших в данном слое детекторов (обычно смежных) было не менее двух. Далее полученное энергетическое распределение сравнивалось с расчетным.

Из сравнения экспериментального и теоретического распределений был получен нижний предел на время жизни протона (нейтрона) $1,25 \cdot 10^{30}$ лет (90% доверительный уровень) для всех безнейтринных мод распада.

6. ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕРВИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

При энергии выше 10^5 ГэВ/нуклон единственным источником сведений о химическом составе космических лучей становятся косвенные методы измерений: широкие атмосферные ливни и изучение их остатков в подземных экспериментах, какими являются мюонные группы.

Конструкция телескопа и его расположение на относительно небольшой глубине позволяют исследовать характеристики групп мюонов в широком диапазоне зенитных углов и расстояний между мюонами в группах.

Анализ спектров кратностей мюонов для глубин $1000 \div 5000$ гт/см² совместно с анализом данных, полученных на других установках, показал, что существующие данные по мюонным группам не противоречат постоянному химическому составу до энергий $5 \cdot 10^{15}$ эВ. Статистические ошибки в экспериментах при наибольших энергиях не позволяют увидеть предполагаемый излом энергетического спектра первичного излучения при энергии $3 \cdot 10^{15}$ эВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Марков М.А., Железныкх И.М.** — Nuclear Phys., 1961, v.27, p.385.
2. **Марков М.А., Зацепин Г.Т.** — Изв. АН, сер. физ., 1962, т.25, с.738.
3. **Марков М.А., Железных И.М.** — Препринт ОИЯИ Д-677, Дубна, 1960, с.17.