

**ЖУРНАЛ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ  
И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

ОСНОВАН В МАРТЕ 1873 ГОДА  
ВЫХОДИТ 12 РАЗ В ГОД  
МОСКВА

ТОМ 114, ВЫПУСК 6(12)  
ДЕКАБРЬ, 1998  
«НАУКА»

**ПОИСК НИЗКОЭНЕРГИЧНОГО НЕЙТРИННОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ  
ГАММА-ВСПЛЕСКОВ НА БАКСАНСКОМ ПОДЗЕМНОМ  
СЦИНТИЛЛЯЦИОННОМ ТЕЛЕСКОПЕ**

©1998 *Е. Н. Алексеев, Л. Н. Алексеева\*, В. Н. Закидышев, В. Я. Поддубный*

*Институт ядерных исследований Российской академии наук  
117312, Москва, Россия*

Поступила в редакцию 27 мая 1998 г.

На основе данных каталога 4В эксперимента BATSE по регистрации гамма-всплесков и Баксанского сцинтилляционного телескопа по программе поиска нейтрино от коллапсирующих звезд был выполнен анализ по поиску возможного нейтринного сопровождения гамма-всплесков в окрестности суток вокруг них. Значимые превышения над фоном не обнаружены. В предположении, что ожидаемое излучение имеет характеристики сходные с характеристиками коллапсных нейтрино, установлен нижний предел для расстояния до источника, который свидетельствует, наиболее вероятно, о космологическом происхождении гамма-всплесков.

**1. ВВЕДЕНИЕ**

Огромный интерес к явлению гамма-всплесков возник во всем мире после апреля 1991 г., когда был запущен космический корабль Compton Gamma Ray Observatory, на борту которого стояла аппаратура для изучения гамма-излучения в различных диапазонах энергии: >150 кэВ (эксперимент OSSE), 20–300 кэВ (эксперимент BATSE), 0.75–30 МэВ (эксперимент COMPTEL), 0.6–170 МэВ и 30 МэВ–30 ГэВ (эксперимент EGRET) (см. [1] и ссылки там). Вместо ожидаемой концентрации источников гамма-всплесков к плоскости нашей Галактики, данные BATSE (как наиболее информативного и

\*E-mail: alexeyev@msl.inr.ac.ru, alexeev@niutr.novoch.ru

© Российская академия наук, Отделение общей физики и астрономии,  
Институт физических проблем им. П. Л. Капицы, 1998 г.

статистически обеспеченного эксперимента) показали, что они изотропно распределены по небу, но при этом распределение гамма-всплесков по интенсивностям является пространственно-неоднородным [2].

За прошедшие семь лет работы BATSE зарегистрировал свыше 2000 гамма-всплесков, однако проблема их происхождения и определения расстояний до них остается открытой.

По мере накопления экспериментальной информации продолжались поиски различных анизотропий, в том числе и повторных событий от одного источника. Некоторые авторы находили угловую анизотропию для отдельных групп всплесков [3] и даже возможное совпадение некоторых гамма-всплесков с рентгеновскими источниками [4], тогда как анализ полных данных всегда приводил к отрицательному результату [5, 6].

Открытым остается и вопрос об интерпретации бимодальности, наблюдаемой в распределении всплесков по длительностям [7], согласно которому имеются «короткие» всплески с длительностями, лежащими в интервале 0.03–2 с, и «длинные» с диапазоном 2–1000 с.

Энергии фотонов могут достигать очень высоких значений, как это показала регистрация на установке EGRET задержанного относительно сигнала BATSE события GRB 940217 с энергией 18 ГэВ [8] и ряд других событий [9].

Ситуация стала еще более сложной, когда в 1997 г. с помощью спутника ВерроSAX, также осуществляющего мониторинг всплесков, но с лучшей угловой точностью, было зарегистрировано сопровождение нескольких гамма-всплесков в рентгеновском и оптическом диапазонах [10], а для одного из них, GRB 970508, по наблюдаемым линиям поглощения и излучения удалось определить красное смещение, равное 0.835 (см. [1, 12] и ссылки там).

Интерпретация такого большого количества экспериментального материала побудила к созданию многих моделей, авторы которых четко разделились на приверженцев либо галактической, либо космологической природы этого явления, хотя разнообразие наблюдательных данных вполне может заключать в себе и различия в природе гамма-всплесков.

Чисто галактические модели, испытывая трудности в объяснении угловой изотропии гамма-всплесков, вводят существование у Галактики протяженной короны с радиусом 200–300 кпс, наполненной нейтронными звездами, покинувшими Млечный Путь (см., например, [13]). Механизм образования гамма-всплесков предполагается подобным рентгеновским источникам.

И напротив, наблюдаемые изотропность и неоднородность распределений всплесков легко объясняются, если они находятся на космологических расстояниях [14].

Следует отметить, что оба подхода имеют трудности с объяснением всей совокупности экспериментальных данных, связанных с этим явлением. Детальное исследование собственно сигналов BATSE также пока не позволяет сделать однозначный выбор между моделями (см., например, [15]).

Большинство предлагаемых космологических моделей образования гамма-всплесков ассоциируется с гравитационным коллапсом массивного объекта, при котором освобождается столь много энергии, что будет вполне обеспечено необходимое ее количество примерно  $10^{51}$  эрг на гамма-всплеск. Это может быть слияние двойных нейтронных звезд или двойных черных дыр и т. д. [16–18], или обусловленный аккрецией коллапс белых карликов [19], или звездный коллапс с явлением сверхновых типа Ib [20], или взрыв очень массивной быстровращающейся звезды с образованием черной дыры

после коллапса ядра, так называемая «гиперновая» [21], или коллапс «голового» звездного ядра в двойной системе — модель «мини-сверхновой» [22], или гравитационный коллапс в черную дыру сверхмассивной звезды, масса которой превышает массу Солнца более чем в 50000 раз [23, 24].

Каждая из названных моделей имеет свои достоинства и недостатки при описании полных количественных характеристик гамма-всплесков, но всех их объединяет одна черта — обязательное существование вспышки нейтринного излучения. Свойства таких нейтрино могут быть аналогичны свойствам образуемых при коллапсе ядра массивной звезды с явлением сверхновой II типа, т. е. средняя энергия частиц  $\nu_e, \bar{\nu}_e$  составляет 10–15 МэВ, полная излученная энергия  $\sim 3 \cdot 10^{52}$  эрг, но при этом длительность нейтринной вспышки может быть много короче, меньше 1 с, а относительная доля электронных антинейтрино  $\bar{\nu}_e$  в несколько раз выше, чем в стандартной модели [17]. Немного другие характеристики нейтрино появляются в модели «сверхмассивной» звезды, а именно: средняя энергия 4–8 МэВ, полная энергия  $10^{58}$  эрг, длительность меньше нескольких секунд [24], правда, при этом остается открытым вопрос о существовании таких объектов.

Несмотря на то что излучения, ассоциируемые с гамма-всплесками, могут приходиться с далеких расстояний и вероятность зарегистрировать такое сопровождение от одиночного события на современных, действующих одновременно с BATSE, детекторах очень низкая, с учетом широкого спектра возможностей, открываемых вышеперечисленными экспериментально зарегистрированными свойствами явления гамма-всплесков, был предпринят ряд поисков таких излучений. И кроме того, ввиду сложности обсуждаемого явления любая дополнительная информация является очень желательной.

Были предприняты поиски как нейтринного сопровождения гамма-всплесков на подземных детекторах IMB [25], LSD [26] и LVD [27], так и высокоэнергичных фотонов с энергией выше 1 ГэВ на больших установках по изучению широких атмосферных ливней [28, 29], однако положительный эффект не был найден. Правда, следует отметить, что работы, выполненные на подземных детекторах, были не очень хорошо обеспечены статистически, поскольку на установке IMB использовались данные, полученные по 53 гамма-всплескам до октября 1990 г., т. е. до запуска корабля Compton Gamma Ray Observatory (CGRO); используемая в анализе масса мишени установки LSD была относительно невелика для понижения фона (30 т), а первая часть установки LVD начала набор информации с середины 1993 г.

Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп ведет непрерывное слежение за Галактикой в нейтринном излучении с 1980 г. Чувствительность установки такова, что она «просматривает» 95% галактических звезд в поисках одиночных нейтринных вспышек от гравитационных коллапсов ядер массивных звезд. Работоспособность детектора была подтверждена регистрацией наряду с установками IMB и Kamiokande нейтринного сигнала от сверхновой 1987А БМО [30]. Эффективность набора «живого» времени составляет свыше 90%, что позволяет использовать практически все данные по гамма-всплескам для поиска их возможного нейтринного сопровождения. В данной работе описаны методы такого анализа совместных данных телескопа и эксперимента BATSE, опубликованных в каталоге 4В [31], и получено нижнее ограничение на расстояние до источников гамма-всплесков.

## 2. ДЕТЕКТОР

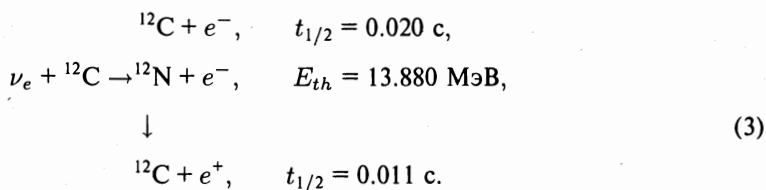
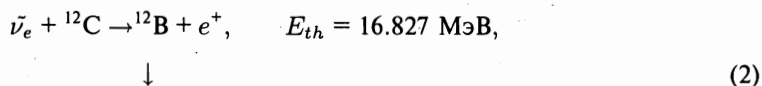
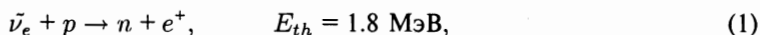
Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп расположен в горах Северного Кавказа в тоннеле на глубине 850 м водного эквивалента [32]. Он состоит из восьми плоскостей (четыре вертикальные, четыре горизонтальные, из которых три нижние называются «внутренними»), образующих замкнутую форму, сплошь покрытую стандартными счетчиками, наполненными органическим сцинтиллятором  $C_9H_{20}$  со специальными добавками. Каждый из счетчиков просматривается одним фотоумножителем с диаметром фотокатода равным 15 см. Полная масса мишени составляет 330 т, масса «внутренней» части 130 т. Энергетический порог регистрации на детекторах горизонтальных слоев составляет 8 МэВ, на детекторах вертикальных плоскостей — 10 МэВ, мертвое время установки 4 мс, точность привязки абсолютного времени 1 мс.

Поскольку телескоп расположен на относительно небольшой глубине, для понижения фона от его основного источника — мюонов космических лучей, которые при пересечении телескопа оставляют траекторию сработавших счетчиков, — в данной программе поиска коллапсных нейтрино записываются на ленту для последующей обработки только одиночные срабатывания всех счетчиков. В зависимости от цели работы можно использовать данные, поступающие с любой части телескопа. Например, в программе поиска коллапсных нейтрино «внутренние» 130 т сцинтиллятора используются как триггерная масса, т. е. после нахождения в ней какого-либо интересного сигнала обрабатывается информация с всего телескопа.

## 3. ОТБОР СОБЫТИЙ И МЕТОДЫ ИХ ОБРАБОТКИ

Несмотря на то что в ряде моделей предсказываются мощные потоки нейтрино, ассоциируемые с гамма-всплесками, мы все же не знаем *a priori* детальные параметры этого излучения и временное соотношение между этими двумя вспышками.

На Баксанском телескопе уверенно можно регистрировать два типа низкоэнергичных нейтрино по следующим реакциям взаимодействия с веществом сцинтиллятора:



В реакции (1) регистрируется только сигнал от позитрона, т. е. в детекторах ожидаются одиночные события, сопровождающие гамма-всплески. В реакциях (2) и (3) можно зарегистрировать по два сигнала — от электронов и позитронов — во временных интервалах, равных трем периодам бета-распада  ${}^{12}\text{B}$  и  ${}^{12}\text{N}$ , составляющим соответственно  $\sim 100$  мс и  $\sim 50$  мс. Поиск двойных сигналов, сопровождающих гамма-всплески,

значительно улучшит соотношение сигнал—фон, особенно с учетом верхних энергетических границ спектров распада (13.37 МэВ для  $^{12}\text{B}$  и 16.4 МэВ для  $^{12}\text{N}$ ).

Для последующей обработки в данные телескопа были введены следующие ограничения.

1) Отбирались такие периоды работы установки, когда все системы работали нормально. Это привело к тому, что из 1736 всплесков каталога 4В при наличии информации о длительностях только у 1234 всплесков в анализе было использовано 1198 гамма-всплесков.

2) Отбирались события с детекторов только «внутренних» плоскостей как наиболее защищенных от фона мюонов космических лучей, причем каждому из них было разрешено сработать не более трех раз в сутки (усредненный темп счета «внутренних» детекторов составляет один отсчет в сутки). Такое условие выбраковывало из анализа детекторы с повышенным собственным шумом.

3) Отбирались события, амплитуда которых не превышала 0.5 энерговыделения релятивистской частицы в стандартном детекторе. Таким образом, диапазон разрешенных энергий составлял 8–25 МэВ.

В результате в последующей работе были использованы данные, поступившие с массы мишени телескопа, равной 126 т, со средним темпом счета одиночных импульсов, приблизительно равным 0.012 событий в секунду.

Из каталога 4В была использована следующая информация.

1) Обработка была выполнена с использованием длительностей как  $\tau_{50}$ , так и  $\tau_{90}$  ( $\tau_{50}$  ( $\tau_{90}$ ) — временной интервал, в течение которого регистрируется 50% (90%) потока гамма-квантов).

2) Гамма-всплески были разделены на четыре группы по длительностям: 0–1 с, 1–10 с, длительности > 10 с и все длительности.

3) Всплески с полной энергией > 20 кэВ, определенной суммированием по всем каналам, были разделены по интенсивности на три группы: «сильные» с потоком  $I > 10^{-6}$  эрг/см<sup>2</sup>, «слабые» с потоком  $I < 10^{-6}$  эрг/см<sup>2</sup> и смешанная группа.

Далее отобранные и разделенные таким образом события были обработаны несколькими способами.

Поскольку в результате реакции (1) регистрировались бы только одиночные импульсы от позитронов и *a priori* мы ничего не знаем о временном соотношении между гамма-всплесками и предполагаемым нейтринным излучением, совместные данные были обработаны на основе следующих предположений.

А. Было предположено, что гамма-всплески независимо от индивидуальных параметров имеют одну и ту же природу, и поэтому можно ожидать, что нейтринное излучение, если оно существует, находится приблизительно на одном и том же расстоянии на временной оси от всплеска. Тогда, суммируя соответствующие данные телескопа в интервале 24 ч с центром на положении начала всплеска и анализируя эти данные в различных временных окнах с длительностями от 1 с до 10 мин, можно искать статистически значимые превышения над фоном как для полного числа всплесков, так и для различных выбранных групп. Такой анализ информации был выполнен, но значимые превышения над фоном не были найдены. На рис. 1 показан для примера типичный вид распределения, просуммированного по всем 1198 всплескам, числа одиночных событий телескопа в окне 30 с (ось ординат) в интервале 3600 с вокруг всплеска (ось абсцисс). На рисунке хорошо видно, что ожидаемого сигнала нет.

Б. Было предположено, что гамма-всплески представляют собой сигналы различ-

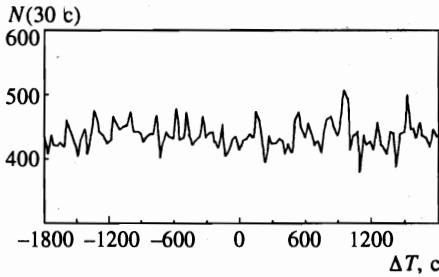


Рис. 1

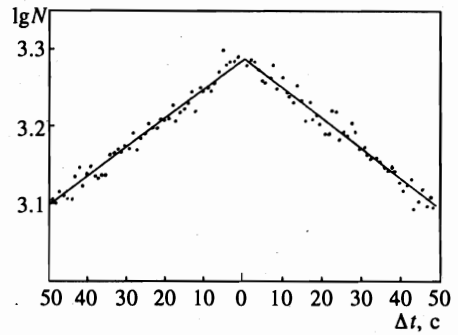


Рис. 2

Рис. 1. Распределение одиночных событий телескопа в окне 30 с  $N(30 \text{ с})$  в интервале  $\pm 1800$  с вокруг 1198 гамма-всплесков, совмещенных по началу сигналов;  $\Delta T$  — время от начала всплесков

Рис. 2. Распределение временных интервалов между одиночными событиями телескопа  $N(\Delta t)$ , просуммированных по 1198 гамма-всплескам, в интервале 24 ч вокруг них. Центр оси абсцисс соответствует положению начала гамма-сигналов;  $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ . Прямые линии — результат расчета по формуле Пуассона

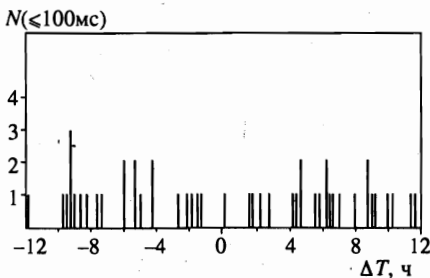


Рис. 3. Распределение пар событий телескопа с временным интервалом между ними  $\leq 100$  мс в окне 600 с  $N(\leq 100 \text{ мс})$ , просуммированное по 1198 гамма-всплескам, в течение 24 ч вокруг них. Положение начала гамма-всплесков находится в точке  $\Delta T = 0$

ного происхождения, тогда и нейтринное излучение, если оно существует, может приходиться в различные времена относительно всплеска. В этом случае можно анализировать временные интервалы между парами событий телескопа и, суммируя соответствующие данные телескопа по всем гамма-всплескам или их различным выбранным группам, можно искать статистически значимые превышения над фоном. Таким способом была обработана информация телескопа в интервале 24 ч вокруг всплесков. На рис. 2 показан результат такой обработки данных для случая «все всплески». По оси абсцисс отложена величина интервала между событиями, при этом нуль оси соответствует положению начала гамма-всплесков. Две ветви рисунка отражают распределения, найденные «до» и «после» гамма-всплесков.

Видно, что в полученном таким способом распределении временных интервалов между событиями телескопа нет никаких особенностей, и что все хорошо описывается соответствующей формулой Пуассона.

Представленные результаты работы получены с одиночными событиями телескопа,

которые характеризуются относительно высоким уровнем фона. Значительно лучшим соотношением между сигналом и фоном будет для продуктов реакций (2) и (3). Был выполнен поиск возможного нейтринного сигнала с использованием парных событий телескопа с временным интервалом между ними  $< 100$  мс по методу, описанному в пункте А. На рис. 3 показан результат такой обработки данных для случая «все всплески». На оси абсцисс отложено время по обе стороны от всплесков, на оси ординат — число парных событий в окне  $< 100$  мс, просуммированных по интервалам 600 с ввиду их малого количества. Парные события равномерно распределены вокруг всплесков, никаких превышений над фоном нет.

Таким образом, все предложенные методы обработки информации по поиску нейтринного излучения на Баксанском телескопе, ассоциируемого с гамма-всплесками из каталога 4B BATSE, дали отрицательный результат.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные позволяют найти ограничение на расстояние до источников гамма-всплесков в рамках рассматриваемой модели нейтринного сопровождения. Поскольку длительность нейтринного излучения и его положение на временной оси относительно гамма-всплесков для каждого случая неизвестны, для нахождения ограничения необходимо исходить из самых общих предположений об этих параметрах, а именно — сравнивать полные числа экспериментально зарегистрированных и теоретически ожидаемых событий телескопа в различных временных интервалах от начала гамма-всплесков.

На рис. 4 показано интегральное распределение фоновых одиночных событий телескопа, просуммированное по всем 1198 всплескам (ось ординат), в зависимости от временного интервала «до» (левая кривая) и «после» (правая кривая) начала гамма-всплесков, положение которых находится в нуле (ось абсцисс). На этом рисунке видно, что фон телескопа абсолютно симметричен (без каких-либо особенностей) относительно центра оси. Именно среди этих событий и следовало бы ожидать позитронные импульсы от взаимодействий электронных антинейтрино в реакции (1), которая наиболее надежно регистрируется на телескопе. Такие сигналы не были обнаружены, поэтому для оценки расстояний до источников были использованы данные, показанные на рис. 4, и было принято, что ожидаемое нейтринное излучение имеет те же характеристики, что и нейтрино от коллапсирующих ядер массивных звезд, т. е. полная нейтринная энергия составляет  $3 \cdot 10^{53}$  эрг, частицы имеют тепловые спектры Ферми—Дирака с температурой 3.5 МэВ (рассмотрены также случаи 4 МэВ и 4.5 МэВ), и все типы нейтрино рождаются в равных количествах. Последнее допущение несколько ухудшает искомую оценку для телескопа по сравнению с предсказываемой в [17] большей долей электронных антинейтрино, но в нашем случае более общего рассмотрения это не очень существенно.

Полученное на 90%-ом уровне достоверности ограничение на расстояние до источников гамма- и нейтринного излучения показано на рис. 5, где по оси ординат отложено расстояние, а по оси абсцисс — временной интервал «до» («после») начала гамма-всплесков от 1 с до 12 ч. Кривая 1 представляет случай, когда «температура» тепловых нейтрино равна 3.5 МэВ, кривая 2 — для «температуры» нейтрино равной 4 МэВ, кривая 3 — для случая 4.5 МэВ на один всплеск.

Как видно на этом рисунке, при любом расположении нейтринного сигнала отно-

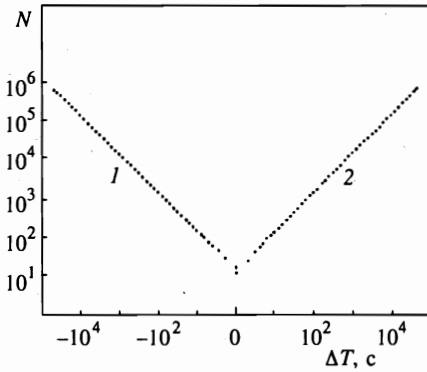


Рис. 4

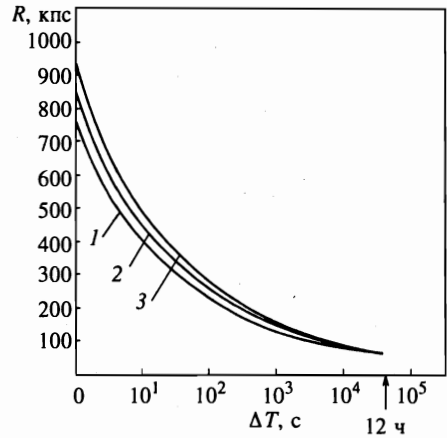


Рис. 5

Рис. 4. Интегральное распределение одиночных событий телескопа в интервале 24 ч вокруг 1198 гамма-всплесков  $N(\Delta T)$  как функция временного интервала «до» (1) и «после» (2) начала гамма-сигналов. Ноль соответствует положению начала гамма-всплесков

Рис. 5. Зависимость нижних ограничений на расстояние  $R$  до источников гамма-всплесков и нейтрино от временного интервала  $\Delta T$  до начала гамма-сигналов. Различные кривые соответствуют различным «температурам» ожидаемых нейтрино: 1 — 3.5 МэВ, 2 — 4 МэВ, 3 — 4.5 МэВ

сительно гамма-всплеска полученное ограничение свидетельствует о внегалактической природе источников гамма-всплесков, а для близких по времени нейтринного и гамма-излучений ограничение на расстояние достигает практически 1 Мпс.

Таким образом, выполненный анализ данных Баксанского подземного сцинтилляционного телескопа, регистрируемых по программе поиска нейтринных вспышек от коллапсирующих звезд, совместно с данными каталога 4В по гамма-всплескам, регистрируемым в эксперименте BATSE на спутнике CGRO, не дал положительного эффекта. Результаты работы показывают, что если действительно в источниках гамма-всплесков образование гамма-излучения сопровождается мощным нейтринным излучением или это нейтринное излучение предшествует образованию гамма-излучения, то эти источники имеют внегалактическую природу и находятся на расстояниях свыше 1 Мпс.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить профессора И. Г. Митрофанова за полезные обсуждения по теме исследования.

Работа была поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 95-02-04660-а). •

## Литература

1. J. Greiner, M. Sommer, N. Bade et al., *Astron. Astrophys.* **302**, 121 (1995).
2. G. J. Fishman, *Public. Astron. Soc. Pacific* **107**, 1145 (1995).



3. B. Link and R. Epstein, E-print archive, astro-ph/9704244 (1997).
4. K. Hurley, P. Li, A. Smette et al., *Astroph. J.* **464**, 342 (1996).
5. M. Briggs, W. S. Paciesas, and G. N. Pendleton, *Astroph. J.* **459**, 40 (1996).
6. R. M. Kippen, J. M. Ryan, A. Connors et al., *Astroph. J.* **492**(1), (1998).
7. C. Kouveliotou, C. A. Meegan, G. J. Fishman et al., *Astroph. J. Lett.* **41**, L101 (1993).
8. K. Hurley, *Nature* **372**, 652 (1994).
9. B. L. Dingus, J. R. Catelli, and E. J. Schneid, in *Proc. 25th ICRC, Durban, South Africa (1997)*, vol. 3, p. 29.
10. F. Frontera, E. Costa, D. Dal Fiume et al., in *Proc. 25th ICRC, Durban, South Africa (1997)*, vol. 3, p. 25.
11. M. G. Baring, in *Proc. 5th Workshop on TeV Gamma-Ray Astrophysics, Kruger National Park, South Africa (1997)*.
12. D. E. Reichart, E-print archive, astro-ph/9801139, submitted to *Astroph. J. Lett.*
13. D. Q. Lamb, *Public. Astron. Soc. Pacific* **107**, 1152 (1995).
14. B. Paczynski, *Public. Astron. Soc. Pacific* **107**, 1167 (1995).
15. I. G. Mitrofanov, M. L. Litvak, and D. A. Ushakov, E-print archive, astro-ph/9707128 (1997), *Astroph. J.* (in press).
16. С. И. Блинников, И. Д. Новиков, Т. В. Переводчикова, А. Г. Полнарев, *Письма в АЖ* **10**, 177 (1984).
17. M. Ruffert, H.-Th. Janka, K. Takahashi, and G. Schafer, *Astron. Astrophys.* **319**, 122 (1997).
18. J. R. Wilson, J. D. Salmonson, and J. Matthews, in *Proc. 4th Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium, Huntsville, September (1997)*.
19. V. V. Usov, *Nature* **357**, 472 (1992).
20. S. E. Woosley, *Astroph. J.* **405**, 273 (1993).
21. B. Paczynski, in *Proc. 4th Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium, Huntsville, September (1997)*; E-print archive astro-ph/9712123 (1997).
22. S. I. Blinnikov and K. A. Postnov, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **293**, L29 (1998).
23. G. M. Fuller and X. Shi, E-print archive, astro-ph/9711020 (1997), submitted to *Astroph. J.*
24. X. Shi and G. M. Fuller, E-print archive, astro-ph/9801106 (1998), submitted to *Astroph. J.*
25. R. Becker-Szendy, C. B. Bratton, J. Breault et al., in *Proc. 23th ICRC, Calgary, USA (1993)*, vol. 4, p. 476.
26. M. Aglietta, P. Antonioli, G. Badino et al., *Astroph. Space Sci.* **231**, 355 (1995); in *Proc. 24th ICRC, Rome, Italy (1995)*, vol. 2, p. 73.
27. M. Aglietta, B. Alpat, E. D. Alyea et al., in *Proc. 24th ICRC, Rome, Italy (1995)*, vol. 1, p. 662.
28. L. Padella, B. Funk, H. Krawczynski et al., in *Proc. 25th ICRC, Durban, South Africa (1997)*, vol. 3, p. 57.
29. S. D. Bathelmy, P. Butterworth, R. Cabrera et al., in *Proc. 25th ICRC, Durban, South Africa (1997)*, vol. 3, p. 73.
30. L. N. Alexeyeva, *Highlights of Astronomy* **8**, 229 (1989).
31. Catalog 4B, <http://www.batse.msfc.nasa.gov/data/grb/4bcatalog>
32. Е. Н. Алексеев, Л. Н. Алексеева, В. И. Волченко и др., *ЖЭТФ* **104**, 2897 (1993).