

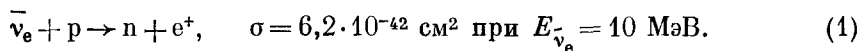
Г. Т. Зацепин, О. Г. Рязская. Служба поиска коллапсов звезд в Галактике. Теория предсказывает, что звезды с массивными ядрами в конце эволюции испытывают гравитационный коллапс. По современным представлениям процесс должен сопровождаться мощной нейтринной вспышкой¹. Полная энергия, уносимая нейтрино, составляет $0,1 M_{\odot} c^2$ ядра звезды. Измерение энергетического и временного распределения нейтрино во вспышке позволит получить информацию о динамике коллапса ядра звезды. Наиболее полно коллапсы были рассмотрены в работах²⁻⁶. Результаты расчета параметров нейтринной вспышки, сопровождающей коллапс, приведены в табл. I.

Таблица I

Модель	W_1 , эрг	W_2 , эрг	W_3 , эрг	W_4 , эрг	$\bar{E}_{\bar{\nu}}$, МэВ	T , с
2	$(2,5-14) \cdot 10^{53}$	$(1-3) \cdot 10^{53}$	$(1-3) \cdot 10^{53}$	10^{52}	12,6	20
3					10	5

W_1 — полная энергия вспышки, перешедшая в нейтрино всех сортов, W_2, W_3 — полная энергия, уносимая ν_e и $\bar{\nu}_e$, соответственно, W_4 — энергия ν_e на стадии нейтронизации звезды за время $\leq 3 \cdot 10^{-3}$ с, $\bar{E}_{\bar{\nu}}$ — усредненная по спектру энергия $\bar{\nu}_e$, T — длительность нейтринной вспышки. Наблюдение коллапсов по нейтринному излучению явилось бы важным подтверждением наших астрофизических воззрений⁷.

В настоящее время в опытах по поиску нейтринных вспышек используется реакция



Детектор, сцинтилляционный или черенковский, наполнен водородсодержащим веществом; сцинтилляции от e^+ регистрируются фотоэлектронными умножителями (ФЭУ). Нейтринная вспышка идентифицируется по появлению серии сцинтилляций с амплитудами в диапазоне (E_n — 50) МэВ за время ≤ 20 с, E_n — пороговая энергия, с которой регистрируются сцинтилляции. Число импульсов в серии при прочих равных условиях пропорционально массе детектора и эффективности регистрации позитронов η_{e^+} . Фон может имитировать истинное событие. Ожидаемая частота коллапсов в Галактике — один раз в 5—50 лет, и частота имитаций должна быть меньше этой величины. Чтобы снизить фон, детекторы помещают глубоко под землю, применяют антисовпадательную защиту. Однако имитации возможны и в условиях минимального фона, не говоря уже об имитациях, вызванных электрическими помехами. Для достоверности регистрации коллапса очень важной является работа нескольких независимых детекторов.

В табл. II приведены характеристики десяти детекторов. Первые четыре строки относятся к детекторам, работающим, работавшим или начавшим работать по программе регистрации коллапса. Остальные либо существуют, но пока использовались для поиска распада нуклона, либо находятся в стадии проектирования или монтажа.

Баксанский сцинтилляционный телескоп (БСТ) состоит из 3130 модулей. Модуль имеет прямоугольную форму ($0,7 \times 0,7 \times 0,3 \text{ м}^3$) и просматривается одним ФЭУ. БСТ — уникальный многоцелевой детектор, и поиск коллапсов — лишь одна задача его обширной программы работы. Для уменьшения фона его внешние модули использованы как антисовпадательную защиту. Ячеистая структура позволяет снизить фон, используя антисовпадательную методику при отборе событий в рабочем объеме, до весьма малой величины.

Артемовский сцинтилляционный детектор (АСД) — единый 105-тонный счетчик, просматривается 128 ФЭУ. Из-за малой глубины и низкого порога фоновые условия не благоприятны. Однако высокая чувствительность детектора позволила предложить и реализовать идею снижения фона методом регистрации обеих частиц e^+ и p в (1). Нейтрон замедляется в сцинтилляторе с $\tau = 170 \text{ мкс}$ и захватывается водородом:



Сцинтилляции от $E_\gamma = 2,2 \text{ МэВ}$ регистрируются по высокочувствительному каналу, который открывается на время 500 мкс импульсом от позитрона. Это позволяет снизить фон в 2,5 раза. Жидкостный сцинтилляционный детектор (LSD) расположен в туннеле под Монбланом, состоит из 72 модулей при-

Таблица II

Детектор	Глубина, м. в. з.	Тип детектирующего вещества	Полная масса, т	Рабочая масса, т	Порог регистрации, МэВ	Эффективность регистрации η_{e^+} *	Ожидаемое число импульсов в серии \bar{n} ($R=10 \text{ кпс}$ **)	Частота фоновых импульсов $\eta_{\text{ф}}$, с ⁻¹	R, кпс ***)	Время экспозиции, лет
БСТ, СССР ⁸	850	Сцинтилляционное, $C_n H_{2n+2}$	330	130	12,5	0,45	27	0,031	21,2	3,8
АСД, СССР ⁹	570	То же	105	105	5	0,97	47	0,18	20,2	3,5
LSD, СССР — Италия ¹⁰	5200	» »	90	90	6	0,89	36	0,003	34,1	0,1 с 1985 г.
НСД, США ¹¹	4200	Черенковское, H_2O	300	150	10	0,50	24	0,3		2,0 до 1982 г.
НСД, США ¹²	4200	Сцинтилляционное, $C_n H_{2n}$	140	140	10	~0,65	41			Монтаж
IMB, США ¹³	1570	Черенковское, H_2O	7000	3300	30	~0,02	21			
Камиоканде, Япония ¹⁴	2700	То же	3000	880	10	~0,65	190			
JACK, Япония ¹⁵	2700	» »	50 000	22 000	6	~0,9	6300			Проект
HT, США ¹⁶	4200	Сцинтилляционное, $C_n H_{2n}$	1406	1406	10	~0,65	410			»
LVD, Италия ¹⁷	4200	Сцинтилляционное, $C_n H_{2n+2}$	> 1000	> 1000	6	0,89	> 400			»

*) Эффективность регистрации η_{e^+} зависит от порога и конструктивных особенностей детектора.
 **) Ожидаемое число импульсов в серии вычислено по модели ², по модели ³ оно вдвое меньше ¹⁸.
 ***) R — расстояние до звезды, на котором эффект в детекторе соответствует частоте имитаций 10^3 год^{-1} для типичного коллапса. Эта величина характеризует возможности различных детекторов с учетом соотношения сигнал — шум.

моугольной формы ($1 \times 1 \times 1,5 \text{ м}^3$). Модуль просматривается 3 ФЭУ. Как и в АСК, здесь применен метод регистрации нейтронов.

Хоумстейкский черенковский детектор (HCD) работал до 1982 г. В настоящее время находится в стадии замены черенковских модулей на сцинтилляционные ($0,3 \times 0,3 \times 8 \text{ м}^3$). По плану реконструированный детектор (HSD) начнет работать в 1985 г. Из остальных детекторов следует отметить J АСК — черенковский счетчик цилиндрической формы, высота и диаметр цилиндра — 40 м, 40% поверхности занято фотокатодами 11 000 ФЭУ. Это единственный детектор, способный зарегистрировать излучение на фазе нейтронизации звезды по реакции

$$\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^- \quad (3)$$

Этот детектор, а также хоумстейкский трековый спектрометр (HT) и LVD могут зафиксировать коллапс не только в Галактике, но и в Магеллановых облаках.

В случае регистрации факта коллапса важно измерить амплитудное и временное распределение \dot{v} во вспышке, что дает информацию о динамике коллапса ядра звезды. Здесь преимущество имеют детекторы с минимальным порогом и максимальной η_{e^+} . Черенковские детекторы могут дать направление на коллапсирующую звезду¹⁹.

Таблица III

К	2	3	4	5
$t (\geq 2, K), \%$	64	90	97	99

Служба поиска коллапсов звезд должна включать в себя несколько работающих одновременно детекторов. Уже два детектора дают уверенную регистрацию коллапса даже на уровне фоновых имитаций каждого 100 год^{-1} . При этом случайные совпадения составляют ~ 1 раз в 100 лет. Действующими сейчас детекторами контролируется практически вся Галактика. «Живое» время работы одного детектора вряд ли можно сделать больше 80% полного времени. В табл. III показана доля времени, в течение которого работают не менее двух детекторов из «К», $t (\geq 2, K)$ при $t_{ж} = 80\%$. Из таблицы видно, что для эффективного поиска коллапсов в Галактике требуется не менее трех независимых детекторов. За время работы установок более 3,5 лет частота имитации соответствует расчетной, т. е. коллапсы не были зарегистрированы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зельдович Я. Б., Гусейнов О. Х.— ДАН СССР, 1965, т. 162, с. 791.
2. Надежин Д. К., Отрощенко Н. В. Препринт ИИМ АН СССР № 70.— Москва, 1978.
3. Имшенник В. С., Надежин Д. К. Препринты ИТЭФ №№ 91, 98.— Москва, 1980.
4. Bowers R., Wilson J. R.— *Astroph. J.*, 1982, v. 263, p. 366.
5. Burrows A., Mazurek T. L.— *Nature*, 1983, v. 301, p. 315.
6. Burrows A.— *Astrophys. J.*, 1984, v. 283, p. 848.
7. Domogatsky G. V., Zatsepin G. T.— In: Proc. of 9th Intern. Cosmic Ray Conference (ICRC).— London, 1965, v. 2, p. 1030.
8. Alexeyev E. N., Alexeyeva L. N. et al.— Proc. of 16th ICRC. Kyoto, 1979, v. 10, p. 282.
9. Korzhagin P. V., Ryassny V. G. et al. Paris,— *Ibidem.*, p. 299.
10. Badino G., Castagnoli C. et al.— In: Proc. of 18th Workshop on Weak Interaction and Neutrino.— Javea, Spain, 1982, p. 325.
11. Cherry M. L., Deakynе M. et al.— In: Proc. of 17th ICRC.— Paris, 1981, v. 10, p. 342.
12. Cherry M. L., Davidson J. et al.— In: Proc. of 1982 Summer Workshop on Proton Decay Experiments. Argonne Nat. Lab., ANL-HEP, Pr-82-24, 300, 1982, p. 150.
13. Goldhaber M., Kropp W. et al.— Proposal for Nuclear Decay Detector.— Irvine, Michigan, Brookhaven, 1979.
14. Ikeda H., Nichimura A. et al. Preprints LICEPP, UTLICEPP-82-04.— Tokyo, 1982.

15. K o s h i b a M.— In.: Proc. XXII Intern. Conference on High Energy Physics.— Leipzig, 1984.
16. The Homestake Tracking Spectrometer. A One-mile Deep 1400-ton Liquid Scintillation Nucleon Decay Detector.— Argonne National Lab., ANL-HEP-Pr-82-24, 1982, p. 150.
17. Proposal for a Large Volume Detector (LVD) for the Gran Sasso Laboratory.— CERN, 1984.
18. Зацепин Г. Т., Ряжская О. Г., Рясный В. Г., Хальчук Ф. В. Препринт ИЯИ АН СССР П-0388,— Москва, 1985.
19. B e l y a e v A. A., R y a z h s k a y a O. G., K o p y s o v Yu. S., Z a t s e - r i n G. T.— In: Proc. of Neutrino-78— Purdue, 1979, p. 871.