

539.123

УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОБОДНЫХ НЕЙТРИНО

Б. М. Понтикорво

Теперь нейтринная физика с ее применениями в области астрофизики — это целая область процветающей науки. При подготовке обзорного доклада о нейтринной физике и астрофизике я искал компактную форму изложения, которая могла бы передать слушателям впечатление о масштабе и успехах раздела физики, о котором идет речь. С этой целью я подготовил некоторые таблицы существующих установок для исследований свободных нейтрино. Таблицы, по мнению редакции журнала «Успехи физических наук», могут представлять интерес для читателей этого журнала и они представлены ниже.

В таблицы включено подавляющее большинство установок, на которые отпущены средства, т. е. установки, уже работающие или реально создающиеся (исключение составляет установка ДЮМАНД, реальное создание которой пока еще проблематично, но информация о ней приводится вследствие экзотичности этой установки).

Имеются четыре таблицы, условно разделенные следующим образом:

I — установки для исследований искусственных нейтрино «низких» энергий.

II — установки для исследований искусственных нейтрино высоких энергий.

III — установки для исследований космических нейтрино «низких» энергий.

IV — установки для исследований космических нейтрино высоких энергий.

Информация, включенная в таблицы, часто имеет ориентировочный характер по объективным причинам, по субъективным причинам (недостаточная информация у автора таблиц) и по причинам, связанным с ограниченным объемом самих таблиц. Литература, конечно, совсем не полная и отобрана в основном с учетом последних работ данной группы.

В заключение я хотел обратить внимание на то, что исследование свободных нейтрино уже дало нам ряд крупных открытий в области физики элементарных частиц. Безусловно, это будет продолжаться. Роль нейтрино в астрофизике уже теоретически обоснована. Нет сомнения в том, что создание крупных установок, перечисленных в таблицах, также даст свои плоды.

Мне приятно поблагодарить В. С. Кафтанова за помощь и обсуждения.

Объединенный институт ядерных исследований,
Дубна (Московская обл.)

Таблица I

Установки для исследований искусственных нейтрино «низких» энергий

Исследовательская группа, лаборатория	Энергия нейтрино	Источник нейтрино	Поток нейтрино вблизи детектора; число событий	Расстояние между детектором и источником, м	Исследования	Тип детектора
Лос-Аламос ¹	Несколько $M_{\text{эв}}$ ($\tilde{\nu}_e$)	Продукты деления в реакторе «Река Саванна»	$\sim 10^{13} \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$	$\sim 13 \text{ м}$	Обнаружение свободных нейтрино в реакциях обратного β -распада	Сцинтилляционные счетчики
Калифорнийский университет ²	То же	То же	$\sim 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}; \leqslant 1 \text{ событий/сутки}$	То же	Поиски процессов $\tilde{\nu}_e + e \rightarrow \tilde{\nu}_e + e$	То же
ЛАМПФ (проекты, но уже очень многое готово) ³	$10 - 50 M_{\text{эв}}$ ($\nu_e, \nu_\mu, \tilde{\nu}_\mu$)	Остановившиеся пионы и мюоны в мезонных фабриках	$\sim 1 \text{ событие } \nu_e - e\text{-рассеяния в сутки}$	~ 7	$\nu_e - e\text{-рассеяние}; \nu_\mu - e\text{-рассеяние};$ сохранение лептонного заряда и т. д.	Электронные и радиохимические методы
ИЯН АН СССР (проект) ⁴	$10 - 300 M_{\text{эв}}$ ($\nu_e, \tilde{\nu}_e, \nu_\mu, \tilde{\nu}_\mu$)	Мюоны, накопившиеся в сверхпроводящей ловушке и распадающиеся на лету	$\sim 10 \text{ событий } \nu_e - e\text{-рассеяния в сутки на ускорителе типа ЛАМПФ}$	~ 7	$\nu_e - e\text{-рассеяние};$ нейтральные токи (возбуждение ядер)	Электронные методы регистрации; детектор весом несколько тонн

Таблица II

Установки для исследования искусственных нейтрино высоких энергий

Исследовательская группа, лаборатория	Энергия нейтрино	Источник нейтрино	Поток нейтрино вблизи детектора; число событий	Расстояние между детектором и источником, м	Исследования	Тип детектора
АРГОН ⁵	$0,5 - 2 \Gamma_{\text{эв}}$ ($\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$)	Пионы, распадающиеся на лету	$\sim 2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$	~ 30	Сравнение заряженных и нейтральных токов, особенно реакции типа $\nu + N \rightarrow \begin{cases} \mu + N + \pi \\ \nu + N + \pi \end{cases}$	Водородно-дейтериевая пузырьковая камера (26 м^3)
ЦЕРН ⁶	$1 - 10 \Gamma_{\text{эв}}$ ($\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu, \nu_e$)	Пионы, каоны и мюоны, распадающиеся на лету	$\sim 2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$; одно событие на ~ 20 импульсов	~ 40	Нейтральные токи; структура нуклона; лептонный заряд; $\nu_\mu - e$ -рассеяние; $\mu - e$ -симметрия; поиски очарованных частиц	Пропан-фреоновая пузырьковая камера «Гаргамель» ($\sim 10 \text{ м}^3$)
Брукхейвен ⁷	$1 - 10 \Gamma_{\text{эв}}$ ($\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$)	Пионы и каоны, распадающиеся на лету	$\sim 2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$	~ 40	$\nu_\mu \neq \nu_e$; одиночное рождение пионов; исследования $\nu_\mu - p$ -упругого рассеяния	Электронные методы многокубовая водородная камера (6 м^3)
ИФВЭ—ИТЭФ ⁸	$4 - 20 \Gamma_{\text{эв}}$ ($\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$)	То же	$\sim 10^5 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$; на 100-тонном детекторе одно событие на ~ 3 импульса	~ 200	Поиски димюонных событий; нейтральные токи; $\nu_\mu - e$ -рассеяние; прямое образование нейтрино	Электронные детекторы
ИФВЭ	$4 - 20 \Gamma_{\text{эв}}$ ($\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$)	»	$\sim 10^5 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$; одно событие на 20 импульсов	~ 250	Нейтральные токи; структура нуклона; $\nu_\mu - e$ -рассеяние; поиски новых квантовых чисел	Пропан-фреоновая пузырьковая камера СКАТ (9 м^3)

Продолжение табл. II

Б. М. ПОНТЕКОРНО

Исследовательская группа, лаборатория	Энергия нейтрино	Источник нейтрино	Поток нейтрино вблизи детектора; число событий	Расстояние между детектором и источником, м	Исследования	Тип детектора
Гарвард, Пенсильвания Висконсин, Фермилаб ⁹	20—200 ГэВ (ν_μ , $\tilde{\nu}_\mu$, ν_e)	Пионы, каоны и мюоны, распадающиеся на лету	$\sim 10^5 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$	~ 1100	Димюонные события и очарование; нейтральные токи; структура нуклона; прямое образование нейтрино; $\mu-e$ -симметрия	Калориметр-мишень $3 \times 3 \text{ м}^2$ (60 м сцинтиллятора) и магнит с железным сердечником (60 м); проектируется увеличение диаметра магнита от 4 до 8 м
Калифорнийский технологический институт, Фермилаб ¹⁰	Пучок с максимумами при 50 и 150 ГэВ (ν_μ , $\tilde{\nu}_\mu$)	Монохроматические пионы и каоны, распадающиеся на лету	$\sim 2 \cdot 10^3 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$	~ 700	Нейтральные токи; димюонные события; поиски тяжелых лептонов и W -бозона	Калориметр $1,5 \times 1,5 \text{ м}^2$ с прослойками железа (150 м); проектируется увеличение площади до $3 \times 3 \text{ м}^2$
Фермилаб ¹¹	20—200 ГэВ (ν_μ , $\tilde{\nu}_\mu$, ν_e)	Пионы, каоны и мюоны, распадающиеся на лету	$\sim 10^5 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$; в пучке ν_μ одно событие на ~ 10 импульсов (20% Ne)	~ 1100	Нейтральные токи; очарование; странные частицы; прямое образование нейтрино	Многометровая водородная (+ 20% Ne) пузырьковая камера (30 м^3)
ЦЕРН (проект) ¹²	20—200 ГэВ (ν_μ , $\tilde{\nu}_\mu$, ν_e)	То же	$\sim 10^5 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$	~ 500		Пузырьковые камеры «Гаргамель» и ВЕВС (30 м^3 Н и D); электронный детектор 150 м

Таблица III

Установки для исследований космических нейтрино «низких» энергий

Исследовательская группа, лаборатория	Энергия нейтрино	Источник нейтрино	Поток нейтрино вблизи детектора; число событий	Расстояние между детектором и источником, км	Исследования	Тип детектора
Брукхейвен ¹³	Несколько $M_{\text{эв}}$ (ν_e)	Термоядерные реакции в Солнце, особенно распад B^8	$\leqslant 10^6 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$; $\leqslant 0,2 \text{ событий/сутки}$	$\sim 150 \cdot 10^6$	Астрофизика Солнца; физика нейтрино	$\text{Cl}-\text{Ar}$ -метод, C_2Cl_4 (800 м) на глубине 4500 м H_2O -эквивалента
ИЯИ АН СССР (проект) ¹⁴	То же	То же	$\leqslant 10^6 \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$	То же	То же	C_2Cl_4 (3000 м) на глубине 4500 м H_2O -эквивалента (Баксанская станция)
То же ¹⁵	Больше чем несколько сотен киловольт (ν_e)	Термоядерные реакции в Солнце, особенно $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e$	$\sim 10^{11} \text{ см}^{-2}\text{сек}^{-1}$	» »	Физика Солнца; физика нейтрино; нейтринные осцилляции	Радиохимический $\text{Ga}-\text{Ge}$ -метод ($> 20 \text{ м Ga}$) (Баксанская станция)
Пенсильванский университет (проект)	То же	То же	То же	» »	То же	То же
Пенсильванский университет ¹⁶	Несколько десятков $M_{\text{эв}}$ ($\tilde{\nu}_e$)	Коллапсирующая звезда	Вспышка из ~ 10 событий на тонну вещества детектора	$\sim 10^{17}$	Фундаментальная астрофизика	Черенковские детекторы весом 1,8–28 м H_2O (реакция $\tilde{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$); проектируются детекторы весом 400 и 2000 м
ИЯИ АН СССР (проект) ¹⁷	То же	То же	То же	То же	То же	Две спаренные установки весом 100 и 600 м, находящиеся на Артемошской и Баксанской станциях

Таблица IV

Установки для исследований космических нейтрино высоких энергий

Исследовательская группа, лаборатория	Энергия нейтрино	Источник нейтрино	Поток нейтрино вблизи детектора; число событий	Расстояние между детектором и источником, км	Исследования	Тип детектора
Калифорнийский университет ¹⁸	10—1000 Гэв (ν_μ , $\bar{\nu}_\mu$)	Пионы и каоны, образуемые в атмосфере космическими лучами	~ 10 событий/год	Десятки километров	Горизонтальные нейтрино	Сцинтилляционные счетчики площадью ~ 100 м ² на глубине 7500 м H ₂ O-эквивалента в Южной Африке
Бомбей—Оскака ¹⁹	10—100 Гэв (ν_μ , $\bar{\nu}_\mu$)	То же	~ 20 событий/несколько лет	То же	Горизонтальные нейтрино; поиски тяжелых лептонов	Годоскопические счетчики площадью ~ 50 м ² на глубине 7100 м H ₂ O-эквивалента в Индии
ИЯИ АН СССР (проект, но многое готово)	10—100 Гэв (ν_μ , $\bar{\nu}_\mu$)	» »	~ 50 событий/год	~ 10 000	Нейтрино, проходящие через землю; неожиданности; точность измерения углов 2°	Сцинтилляционные счетчики площадью 300 м ² , весом 300 т на глубине 800 м H ₂ O-эквивалента
Предложение международного эксперимента (проект ДЮМАНД) ²⁰	1000 Гэв (ν_μ , $\bar{\nu}_\mu$); десятки Мэв ($\bar{\nu}_e$)	Пионы и каоны, образуемые в атмосфере космическими лучами; коллапсирующая звезда	~ 1000 событий/год	~ 10 000, > 10 ¹⁷	Нейтрионная физика в области очень высокой энергии; фундаментальная астрофизика	Черенковский водяной детектор объемом ~ 10 ⁸ м ³ в Тихом океане (5 км глубиной)

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. F. Reines, C. L. Cowan et al., Phys. Rev. **117**, 159 (1960).
2. F. Reines, H. W. Sobel, H. S. Gurr, in: Neutrino-75, v. 1, Budapest, 1975, p. 174.
3. LAMPF Neutrino Facility Proposal, LA-4842-MS.
H. H. Chen, J. F. Latthroop, цит. в ² сборник, v. 2, p. 92.
4. Б. М. Лобашов, в кн.: Труды семинара по $\mu - e$ -проблеме, М., «Наука», 1974, стр. 323.
5. S. J. Barish, M. Derrick et al.; V. Barnes et al., in: Neutrino-75, Budapest, 1975 (post deadline papers).
6. G. Bertrand-Coremans, цит. в ² сборник, v. 1, p. 6, 156; v. 2, p. 80.
H. Faissner, ibid., v. 1, p. 116.
7. G. Danby et al., Phys. Rev. Lett. **9**, 36 (1962).
E. Cazzoli et al., in: Proc. of the Conference on High Energy Neutrino Physics, Paris, Ed. CNRS, 1975, p. 155.
8. M. Kubantsev, ibid., p. 151 (обзорный доклад работы В. Кафтанова, М. Кубанцева, В. Шевченко, В. Хованского и др. и С. Герштейна, А. Мухина, А. Самойлова и др.).
A. Mukhin et al., ibid., p. 331.
A. Vovenko et al., цит. в ² сборник, v. 1, p. 113.
9. C. Rubbia, цит. в ² сборник, p. 91.
D. Cline, ibid., p. 107.
A. Mann, ibid., p. 273.
D. Reeder, цит. в ² сборник, v. 1, p. 91.
10. S. J. Barish et al., цит. в ² сборник, p. 131.
F. Sciuli, цит. в ² сборник, v. 1, p. 13.
11. F. Nezrick et al., ibid., p. 32.
F. Harris, ibid., p. 60.
12. J. Steinberger, ibid., v. 2, p. 134.
13. R. Davis et al., in: Neutrino-72, Budapest, v. 1, p. 5.
14. I. Barabany, A. Pomansky, ibid., p. 85.
I. Barabany et al., цит. в ² сборник, v. 2, p. 387.
15. A. Pomansky, A. Sevastjanov, ibid., p. 383.
G. Zatsepin et al., ibid., p. 385.
16. K. Lande et al., ibid., p. 396.
17. G. Zatsepin et al., in: Proc. of the 13th Intern. Conference on Cosmic Rays, Denver, 1973.
18. F. Reines et al., цит. в ¹³ сборник, v. 2, p. 199.
19. J. Osborne et al., ibid., p. 223.
M. Menon et al., Phys. Lett. **B57**, 105 (1975).
20. Proceedings of the 1975 Summer Workshop on the Deep Underseas Muon and Neutrino Detector, Ed. P. Kotzer et al., August 1976.