

ИЗУЧЕНИЕ КРИВОЙ НЕЙТРИННОГО БЛЕСКА СОЛНЦА С ПОМОЩЬЮ ХЛОР-АРГОНОВОГО НЕЙТРИННОГО ДЕТЕКТОРА

В.Н.Гаврин, Ю.С.Копысов, Н.Т.Макеев

Показано, что на уровне значимости не ниже 99,5% скорость образования ^{37}Ar в брукхейвенском детекторе солнечных нейтрино пульсирует с периодами 20 ± 1 , $25,5 \pm 1,5$ месяцев и ~ 11 лет и с глубиной модуляции $\gtrsim 0,3$. Эти пульсации интерпретируются как результат модуляции потока нейтрино гравитационными колебаниями солнечного центра. Обсуждаются дальнейшие эксперименты по изучению кривой нейтринного блеска Солнца с помощью хлор-аргонового нейтринного детектора.

В работах ¹⁻⁴ были приведены аргументы в пользу того, что брукхейвенские измерения скорости образования ^{37}Ar в хлор-аргоновом нейтринном детекторе следует рассматривать как указание на возможность пульсаций потока солнечных нейтрино с периодами ~ 26 месяцев и ~ 11 лет, и на корреляцию этих пульсаций с солнечной активностью и космическими лучами. Критика этих аргументов была дана в ⁵. Ниже мы обсудим проблему статистической обеспеченности выводов о пульсации потока нейтрино.

1. 11-ти летние вариации. Из измерений 1970 – 1980 г ⁶ легко выделить период с августа 1974 года по февраль 1979 года (циклы №36 ÷ 58), когда скорости образования ^{37}Ar ; $\bar{\nu}_e$ бы-

ли максимальны. Средняя скорость образования ^{37}Ag по этим $k = 23$ циклам составляет $\bar{r}_{max} = 0,563$. По остальным циклам $\bar{r}_{min} = 0,289$. Отсюда глубина модуляции $m = (\bar{r}_{max} - \bar{r}_{min}) / ((\bar{r}_{max} + \bar{r}_{min}) / 2)$ с периодом ~ 11 лет составляет $0,322$. Производя оценку степени статистической обеспеченности вывода об 11-ти летней модуляции с помощью критерия Стьюдента

$$t = \frac{\bar{r}_{max} - \bar{r}_{min}}{\sigma_t} \quad (1)$$

где

$$\sigma_t = \sigma \sqrt{\frac{n}{k(n-k)}}, \quad \sigma = \sqrt{\frac{\{\sum_i r_i^2 - k\bar{r}_{max}^2 - (n-k)\bar{r}_{min}^2\}}{(n-2)}}$$

а n — полное число циклов измерений, находим $t = 3,25$, т. е. доверительный предел для $m = 0,322$ не ниже 99,7%.

2. *Квазидвухлетние вариации.* Для выявления вариаций с периодом ~ 2 лет был использован метод наложения эпох. Полное время измерений разбивалось на интервалы с периодом (Π) от 0,3 года до 5 лет и производились наложения, типичный пример которых для $\Pi = 1,65$ года показан на рис. 1. Для каждого наложения выделялись области минимальных и максимальных скоростей счета ^{37}Ag и рассчитывался параметр t по формуле (1).

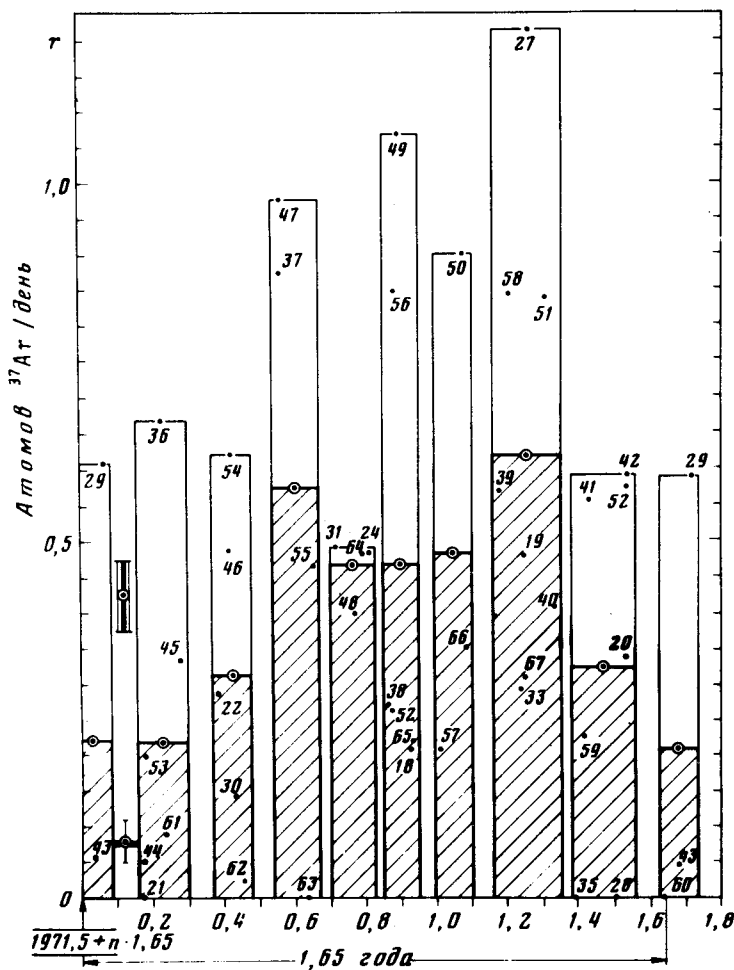


Рис. 1. Компонента кривой нейтринного блеска Солнца с периодом $\Pi_1 = 1,65$ года. Числа около точек обозначают номера соответствующих циклов измерений; вертикальные линии ограничивают те циклы, по которым найдена средняя скорость счета атомов ^{37}Ag , обозначенная точками, обведенными кружками

Зависимость от Π , представленная на рис. 2, обнаруживает два высоких пика с максимумами при 1,65 и 2,12 года, где $t_{max} \geq 3$. Максимальные значения t -критерия и ширины пиков на уровне $(t_{max} - 1)$ показывают, что в доверительных пределах не ниже 99,5% ско-

рость образования ^{37}Ag в хлорном детекторе пульсирует с периодами $\Pi_1 = 20 \pm 1$ месяцев и $\Pi_2 = 25,5 \pm 1,5$ месяцев и с глубиной модуляции $m \gtrsim 0,3^1$.

Эти две линии можно было бы рассматривать как результат модуляции периодического процесса с $\Pi_0 \simeq 22$ месяца другим периодическим процессом с периодом $T = 2\Pi_1\Pi_2(\Pi_2 - \Pi_1)$. Учитывая неопределенность Π_1 и Π_2 находим, что T лежит в интервале 10 лет $\lesssim T \lesssim 30$ лет, т. е. характерный для Солнца период 11,136 года ⁷ как раз попадает в этот интервал. Нам, однако, не удалось выделить "несущую" частоту $\omega_0 = 2\pi/\Pi_0$. Считать же одну из частот $\omega_1 = 2\pi/\Pi_1$, $\omega_2 = 2\pi/\Pi_2$ "несущей" пока нет оснований, так как пики в области 1,25 и 2,7 года трудно считать статистически обеспеченными. По всей вероятности 11-ти летнюю модуляцию скорости счета ^{37}Ag следует рассматривать как результат биения двух периодических процессов с периодами Π_1 и Π_2 .

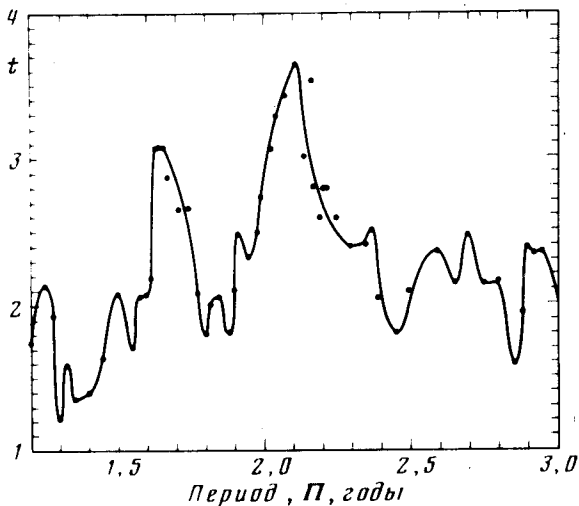


Рис. 2. Критерий Стьюдента t в зависимости от периода Π , с которым производилось разбиение и наложение бруксейвских данных. Каждая точка соответствует отдельному наложению

3. *Интерпретация и дальнейшие эксперименты.* Если вариации скорости образования ^{37}Ag приписать пульсациям потока нейтрино, то кривая нейтринного блеска Солнца в доверительных пределах не ниже 99,5% представляет собой суперпозицию двух компонент с периодами Π_1 и Π_2 . В рамках сейсмоядерного механизма модуляции потока солнечных нейтрино, разработанного в ⁸, наличие двух компонент может быть объяснено возбуждением двух соседних дипольных g -мод солнечного ядра, вещество которого близко к адиабатическому равновесию. Важная черта этого механизма — возникновение сейсмической волны, опережающей на $\pi/2$ гравитационные колебания ядра. Достигая поверхности Солнца сейсмическая волна могла бы оказывать модулирующее воздействие на солнечную активность и в силу сдвига фаз на $\pi/2$ вызвать отрицательную корреляцию между потоком нейтрино и индексами солнечной активности, обнаруженную в ². В связи с этим дальнейшее подтверждение пульсаций потока нейтрино и уточнение характерных периодов имело бы исключительное значение как для нейтринной спектроскопии солнечного ядра, так и для всей проблемы солнечно-земных связей.

Статистическую беспечность вывода о пульсациях потока нейтрино можно было бы считать достаточной, если бы удалось получить $t \approx 6$. Поскольку $t \sim n$, то необходимо довести число циклов измерений скорости образования ^{37}Ag до ~ 100 , т. е. требуется еще ~ 10 лет работы бруксейвского детектора. В этом отношении существенно большими возможностями обладал бы баксанский хлор-аргоновый детектор, предполагаемая масса которого приблизительно в пять раз больше бруксейвского. Такое же, как и в бруксейвском детекторе, число атомов ^{37}Ag в баксанском детекторе будет образовываться за 10 дней, т. е. необходимые 100 циклов экспозиции могли бы быть выполнены за 3 года.

¹⁾ Аналогичные периоды методом гармонического анализа обнаружены Ю.Р.Ривиним (ИЗМИРАН).

Установление же корреляции между скоростями счета обоих детекторов окончательно решило бы вопрос о пульсациях потока солнечных нейтрино.

Важной задачей является изучение формы кривой нейтринного блеска Солнца, поскольку она несет информацию о характере движения солнечного центра. Наметившийся двугорбовый характер обеих компонент кривой нельзя считать статистически обеспеченным. Для выявления ее деталей необходим дальнейший набор статистики и снижение времени экспозиции.

В заключение авторы выражают благодарность Р.Дэвису и Б.Кливленду, любезно предоставивших в распоряжение ИЯИ АН СССР неопубликованные результаты измерений и их обработки, благодарят А.Е.Чудакова, И.Р.Барабанова, А.В.Копылова, В.А.Кузьмина, А.А.Поманского и В.Г.Сборщикова за полезные дискуссии, а также Г.Т.Зацепина за плодотворное обсуждение, поддержку и интерес к данной работе.

Литература

1. Sakurai K. Nature, 1979, 279, 146, Publ. Astron. Soc. Japan, 1980, 32, 547, Solar Phys., 1981, 44, 35.
2. Базилевская Г.А., Стожков Ю.И., Чарахчян Т.Н. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 273.
3. Sheldon W.R. Nature, 1969 221, 650.
4. Subramanian A. Curr. Sci., 1979, 48, 705.
5. Lanzerotti L.J., Raghavan R.S. Nature, 1981, 293, 122.
6. Davis R., Jr. Proc. Infor. Conf. on Status and Future of Solar Neutrino Research, ed-by G. Friedlander, Brookhaven National Laboratory Upton, New York, 11973, 1978, v. 1, 1981; private communication.
7. Dicke R.H. Nature, 1978, 276, 676.
8. Копысов Ю.С. Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 289; Доклад на сессии ОЯФ АН СССР, МИФИ, Москва, 1982 г.