

О НАЛИЧИИ ЛОЖНЫХ ВАРИАЦИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО В РАДИОХИМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Б. М. Владимирский, А. В. Брунс*

*Крымская астрофизическая обсерватория
98409, Научный, Крым, Украина*

Поступила в редакцию 4 апреля 2003 г.

Накопленные к настоящему времени данные о вариациях потока солнечных нейтрино в радиохимических экспериментах пока не поддаются простому истолкованию. Не исключено, что на результаты измерений потока нейтрино влияет неизученный, неконтролируемый фактор, коррелирующий с показателями солнечной активности. Для проверки этого предположения все доступные данные по радиохимическим измерениям, полученные на установках Брукхевен, GALLEX и SAGE, были проанализированы с точки зрения возможной нестабильности эффективности регистрации. Рассматривалась гелиофизическая ситуация на самой заключительной стадии экспозиции — последние 7–27 сут экспозиции, когда продукты реакции нейтрино с веществом мишени уже накоплены. Обнаружено, что для хлор-аргоновых измерений воспроизводятся все основные результаты, полученные ранее другими авторами. Наибольшее влияние на зафиксированный поток нейтрино оказывает преобладание определенного знака радиальной составляющей межпланетного магнитного поля в последние 14 (или 7) сут экспозиции. Эффект меняет знак при смене полярности общего поля Солнца. Влияние межпланетного магнитного поля на зафиксированный поток нейтрино обнаружено также для коротких экспозиций в галлий-германиевом эксперименте, но знак эффекта для данного временного интервала в измерениях на установке SAGE является обратным тому, который обнаружен на установках Брукхевен и GALLEX. Существенный вклад в вариации потока на установке GALLEX вносит антикорреляция с индексом активности A_p , отсутствующая в измерениях SAGE. Найдено, что результаты измерений на установках GALLEX и SAGE для экспозиций, заканчивавшихся синхронно с точностью около или менее 10 сут, антикоррелируют, а на установках Брукхевен и GALLEX — коррелируют. Делается общее заключение о присутствии в рассмотренных измерениях ложных вариаций, обусловленных влиянием на физико-химическую кинетику вещества мишени геофизических факторов (вероятно, сверхнизкочастотных электромагнитных полей), контролируемых солнечной активностью. Если все эти эффекты и в самом деле реальны, поток нейтрино в радиохимических измерениях занижен.

PACS: 95.55.Vj, 95.85.Ry

1. ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о возможных вариациях солнечных нейтрино в хлор-аргоновом эксперименте, поставленный еще в 60-х годах Г. Т. Зацепиным и инициированный публикацией Базилювской и др. [1], обсуждается уже почти два десятилетия. Многие авторы независимо анализировали накопленные экспериментальные данные с привлечением различных гелиогеофизических показателей. Если подвести крат-

кие итоги этой работы, то возникает следующая картина (все необходимые сведения о самом эксперименте и библиография ранних публикаций приведены в монографии [2]).

1.1. Хлор-аргоновый эксперимент

1. Имеет место значительная антикорреляция между потоком нейтрино и интегральным показателем солнечной активности — числами Вольфа R — только после 1977 г. [3, 4]. Не предложено убедительного истолкования отсутствия подобной связи для 1970–1976 гг.

*E-mail: bvlad@crao.crimea.ua

2. Подобная же антикорреляция обнаруживается, если в качестве гелиофизического показателя используются фотосферные магнитные поля, измеряемые магнитографом. Связь оказывается статистически значимой только для данных, относящихся к низким гелиоширотам (центр диска [5, 6]). Она также лучше выражена для 1977–1990 гг., причем важный вклад в подобные вариации вносят весенние месяцы каждого года.

3. Большинство авторов согласны с тем, что в вариациях интенсивности имеется годовой период [7–9]. Он обнаруживается при анализе данных безотносительно к каким-либо гелиофизическим индексам [10, 11], а также при сопоставлении потока Q с числами Вольфа R [3, 8] и с корональным индексом (интенсивность линии $\lambda = 5303 \text{ \AA}$ [12]). Все авторы трактуют годовой период как следствие пространственных перемещений Земли относительно гелиоэкватора.

4. Имеет место небольшая положительная корреляция потока нейтрино с уровнем магнитной активности (индекс A_p [13, 14], индекс aa [6]). Эта связь обычно истолковывается как обусловленная изменениями в параметрах солнечного ветра. Похоже, она лучше выражена для плотности ветра, полученной в прямых измерениях (1973–1993 гг. [15]). Не вполне ясно, как эта связь соотносится с антикорреляцией потока нейтрино с числами Вольфа.

5. Имеет место положительная корреляция потока нейтрино с интенсивностью галактических космических лучей, измеряемой нейтронными мониторами. Большинство авторов согласны, что такая связь не является причинной, но является следствием антикорреляции величин Q и R . Не подтвердилась связь потока нейтрино с хромосферными вспышками.

6. Обнаруживается значительная линейная антикорреляция между потоком нейтрино и смещением частот собственных акустических колебаний Солнца (P -моды, 1980–1991 гг. [16]). Неясно, является ли эта связь причинной. Поскольку упомянутое смещение антикоррелирует с радиусом Солнца, можно считать, что поток нейтрино положительно коррелирует с вариациями солнечного радиуса.

7. В вариациях потока нейтрино обнаруживается некоторый набор периодов. Разные авторы (их свыше десятка) единодушны в том, что наблюдается околодвухлетний период (2.17 ± 0.03 года). Что касается других периодов, то результаты не вполне согласуются. Чаще других фигурируют значения периодов 8–9 лет, 4.5–5 лет (см., например, [17–20]). Ясно, что в периодограммах — спектрах мощности —

должен быть представлен период в 1 год — он действительно присутствует. При этом часто представлен еще и период 1.3 года. Большим сюрпризом было обнаружение в варианте потока нейтрино одной из мод вращения Солнца (28, 34 сут) [21].

8. Существуют убедительные аргументы, свидетельствующие о преувеличении многими авторами статистической значимости своих результатов, касающихся вариаций интенсивности нейтрино и соответствующих корреляционных связей [22–24]. Невозможно согласиться, однако, с мнением о том, что все перечисленные результаты обусловлены статистическими флуктуациями. Большинство их согласуется с хорошо известными закономерностями физики солнечно-земных связей. Например, почти все периоды вариаций (перечислены в п. 7) — это хорошо известные космофизические периоды.

1.2. Галлий-германиевые эксперименты

По понятным причинам вопрос о вариациях потока нейтрино в экспериментах на установках GALLEX и SAGE менее ясен. Похоже, в таких измерениях не обнаруживается связь с изменениями чисел Вольфа [25], хотя, видимо, присутствует годовой период. Два конкретных результата заслуживают пристального внимания.

1. В измерениях на установке GALLEX обнаружен период, очень близкий одной из мод солнечного вращения (28 сут). Возможно, имеется также период, совпадающий с известной гармоникой собственных инерционных колебаний Солнца (около 157 сут) [25]. Очень близкий к 28 сут период присутствует, возможно, в данных Брукхевенского эксперимента [25].

2. В совокупных данных обоих галлий-германиевых экспериментов имеется примечательная особенность: распределение результатов обнаруживает два максимума. Бимодальность распределения могла бы указывать на существование двух «дискретных» значений интенсивности [26]. Временная шкала «перехода» между «состояниями», согласно оценке авторов, лежит в пределах 10–60 сут.

Обрисованная ситуация должна быть дополнена данными о высокоэнергичных нейтрино, наблюдаемых черенковскими детекторами. Согласно данным группы КАМИОКАНДЕ [27], поток нейтрино не обнаруживает антикорреляции с числами Вольфа для 22-го цикла солнечной активности (не исключается слабая корреляция). Отсутствие в этих и последующих измерениях вариаций интенсивностей, коррелирующих с солнечной активностью, ставит под во-

прос реальность изменений потока нейтрино в радиохимических экспериментах.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Описанные выше закономерности необходимо далее сопоставить с тремя основными классами моделей, описывающими вариации.

1. Источник нейтрино в солнечном ядре стабилен; вариации возникают при распространении потока нейтрино в солнечном веществе из-за переходов между различными состояниями нейтрино, в частности, вследствие взаимодействия с солнечными подфотосферными магнитными полями, коль скоро у нейтрино постулируется наличие большого магнитного момента (о физике этих явлений см. [28]).

2. Источник нейтрино в ядре пульсирует из-за раскочки особых колебаний; эти колебания осуществляются синхронно с вариациями солнечной активности [29, 30].

3. Поток нейтрино стабилен и в солнечном ядре, и близ Земли; вариации возникают из-за незамеченных изменений в эффективности регистрации в самом приборе, т. е. являются фиктивными. Такие изменения оказываются сопряженными с вариациями солнечной активности по той причине, что сама солнечная активность через геофизические поля влияет на технологию измерений, выступая в роли неконтролируемого фактора [31].

Первому типу моделей посвящено очень много публикаций. Знакомство с ними показывает, что при сопоставлении экспериментальных данных с конкретными расчетными моделями делается большое число различных подгоночных предположений. Поэтому широко распространенное мнение о том, что проблема вариаций потока нейтрино на этом пути почти решена, является сильным преувеличением.

Идея о колебании солнечного ядра, напротив, встречает мало поддержки. Эти колебания, если они реально существуют, должны, казалось бы, быть синхронизованы с естественным таймером — осцилляциями, обусловленными движением Солнца относительно барицентра системы. Периоды, найденные для параметров этого движения (в годах): 2.41, 3.51, 4.26, . . . [32], плохо согласуются со значениями периодов, найденными в хлор-аргоновом эксперименте (см. в п. 1.7).

Третий класс моделей большинству исследователей представляется совершенно неправдоподобным. Основная идея в данном случае состоит в том, что в

жидкости мишени продукты реакции (радиоактивные Ar^{37} и Ge^{71}) могут оказаться как-то связанными с определенной молекулярной структурой и не всегда полностью попадают в счетную систему. Подобное связывание, конечно, в принципе возможно на каком-то этапе достаточно сложной технологии извлечения малого числа атомов-продуктов из большого числа атомов мишени. Кажется, что такая возможность исключается, ибо эффективность извлечения оперативно контролируется путем введения в вещество мишени известного числа атомов соответствующего стабильного изотопа. Однако такая процедура не является вполне корректной: для контроля вводятся нейтральные атомы Ar^{36} , а продукт реакции с нейтрино появляется в виде «быстрого» иона. Не исключено, что связывание в некоторую структуру в этих случаях будет разным. Эту известную проблему «горячего» иона решают путем введения в вещество мишени подходящего радиоактивного изотопа, где извлекаемый продукт также появляется в «горячем» виде. Однако и в этом случае элемент неуверенности не устраняется полностью: этот опыт только имитирует реальную ситуацию, не повторяя ее во всех деталях. Кроме того, такие измерения носят характер единичных эпизодов. Остается открытым основной вопрос: не изменяется ли эффективность извлечения от одного сеанса к другому в «обычных» рабочих условиях.

Процесс связывания ионов Ar^{+37} или Ge^{+71} может включать в себя различные реакции. До сих пор обсуждался только один тип процесса такого рода — попадание в молекулярную ловушку-полость. В частности, для Ar^{+37} были предложены три возможных варианта «футляра» для продукта реакции с нейтрино: Джакобс [33] полагал, что важную роль в возможном связывании аргона могут играть глобулы, образующиеся при полимеризации перхлорэтилена. Далее, возможно, что аргон в процессе охлаждения оказывается связанным в структуре, образованной в микропузырьке — бэбстоне [34]. Если в перхлорэтилене имеется в виде примеси вода, то вероятно возникновение газгидрата второго типа — структуры вида $A \cdot 2B \cdot 17\text{H}_2\text{O}$, где A и B — полости («фонари»), заселяемые различными молекулами, радикалами и ионами. Полость B может быть кавитандом для Ar^{37} [31].

В описываемой модели связь с солнечной активностью возникает по той причине, что состояние жидкости-мишени зависит от параметров фоновых геофизических полей, в частности, электромагнитных полей очень низкой частоты, контролируемых солнечной активностью. В случае захвата Ar^{37} в кла-

тратную структуру от экспозиции жидкости в упомянутых полях зависит, например, концентрация этих структур в мишени.

В свое время такого рода соображения не могли быть убедительно обоснованы и воспринимались как спекуляция. За последнее десятилетие ситуация существенно изменилась. Следующие аргументы составляют ныне относятся к идее модуляции солнечной активностью эффективности регистрации с полной серьезностью.

Во-первых, сам характер зависимости вариаций потока нейтрино от гелиогеофизических показателей в точности повторяет известные из физики солнечно-земных связей закономерности, обусловленные поверхностными эффектами солнечной активности. Показательно, что 28-суточный период с его «духами», найденный Старроком с сотр. [21] — это как раз тот период, который в изучаемую эпоху наблюдали в числах Вольфа [25]. Далее, известно, что гелиофизические показатели, взятые для центральной зоны солнечного диска, лучше коррелируют с параметрами чисто земных процессов, нежели те же показатели, усредненные по всему диску. Характерно, что поток нейтрино обнаруживает связь как с глобальными солнечными индексами (относящимися ко всему диску), так и с параметрами солнечного ветра (магнитной активности), отражающими процессы в узкой зональной области для данной гелиошироты. В солнечно-земной физике это относят к двум различным каналам связи через коротковолновое излучение (ионосферу) и через солнечный ветер (магнитосферу).

Во-вторых, были получены прямые указания на нестабильность эффективности регистрации в хлор-аргоновом эксперименте. Например, почему-то имеет место странная антикорреляция величины потока Q с длительностью экспозиции [4, 24]. Если она реальна, такая связь могла бы соответствовать существованию в некоторые интервалы времени процесса непрерывного «связывания» продукта реакции — его фиктивного «уничтожения». Не менее странно выглядит антикорреляция между величиной потока Q и фоновой поправкой [24].

Наконец (в-третьих), к настоящему времени накопился целый ряд примеров, когда воздействие солнечной активности на процессы в конденсированных фазах обнаружены с полной определенностью. Непосредственно действующий агент — возмущения электромагнитного фона очень низких частот — выступает во всех таких случаях как некоторый неконтролируемый в условиях данного эксперимента фактор. Широко известный пример — регулярное возраста-

ние измеряемых скоростей биохимической реакции во время каждого минимума солнечной активности на протяжении трех 11-летних циклов [35]. В рамках цитированных исследований (так называемых макроскопических флуктуаций) с помощью техники сравнения гистограмм удалось обнаружить характерные периоды около 27 сут и около года для «обычных» измерений скорости счета радиоактивных эталонов [36]. Однотипный результат поведения в 11-летнем цикле получен также при анализе измерений гравитационной постоянной с помощью крутильного маятника [37]. В данном случае точкой приложения действия неконтролируемого фактора является нить подвеса крутильного маятника. Такое вывод сделан после изучения зависимости результатов измерений на этой установке от индекса, который используется далее в этой работе — знака радиальной составляющей межпланетного магнитного поля [38]. Даже в измерениях массы нейтрино теперь известны полугодовые вариации, похожие, той же природы [39] (обзор эффектов влияния солнечной активности на «техносферу» представлен в монографии [40, гл. 7]). В общем, коль скоро эффект солнечной активности, видимо, модулирует эффективность регистрации во многих случаях, специальный поиск аналогичных эффектов в радиохимических экспериментах вполне оправдан. Несмотря на то что мишени в этих экспериментах располагаются на относительно больших глубинах, они все равно находятся в пределах досягаемости электромагнитных возмущений. Для типичных значений электропроводности горных пород величина скин-слоя для частоты 8 Гц составляет несколько километров. Кроме того, в вариациях этих геофизических полей имеется значительная составляющая литосферного происхождения. Эта компонента электромагнитного фона также изменяется синхронно вариациям солнечной активности.

Если вариации потока нейтрино в радиохимических экспериментах обусловлены не изменениями числа атомов продуктов реакции, накопленных во время экспозиции, а изменением числа этих атомов при их извлечении из вещества мишени, то большое значение при анализе результатов имеет гелиогеофизическая ситуация в конце экспозиции. В следующих разделах изложены некоторые результаты анализа данных хлор-аргонового эксперимента и экспериментов на установках GALLEX и SAGE в связи с вариациями солнечной активности и магнитной возмущенности, когда соответствующие индексы подсчитывались для заключительного этапа экспозиции (менее 25 % длительности сессии).

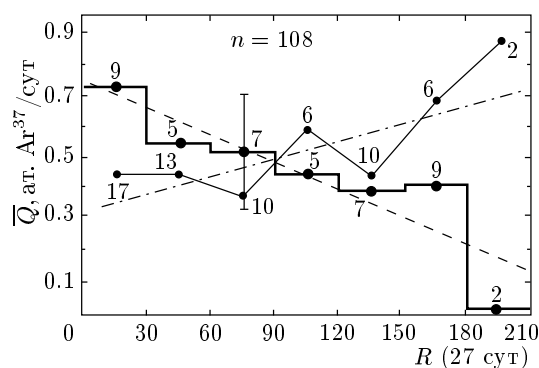


Рис. 1. Зависимость среднего потока нейтрино от чисел Вольфа R , усредненных за последние 27 сут экспозиции для четного (тонкая сплошная и штрихпунктирная кривые) и нечетного (жирная сплошная и штриховая кривые) циклов солнечной активности. Величина \bar{Q} подсчитана для всех экспозиций, попавших в данный интервал чисел R . Цифры около точек — число таких экспозиций. Ошибка — типичный среднеквадратичный разброс; прямые проведены методом наименьших квадратов; n — число экспозиций

3. ЗАВИСИМОСТЬ ПОТОКА НЕЙТРИНО В РАДИОХИМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ ОТ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ В КОНЦЕ ЭКСПОЗИЦИИ

3.1. Хлор-аргоновый детектор

В качестве исходного материала использовались данные измерений, обработанные методом максимального правдоподобия [41] (всего 108 экспозиций, 1970–1994 гг). Бралась невзвешенная значения (best fit). Гелиогеофизические индексы — числа Вольфа R , индексы магнитной активности A_p — брались из бюллетеня Solar-Geophysical Data. Индекс I среднеширотной E -ионосферы затабулирован в работе [42]. Восстановленные по геофизическим данным знаки межпланетного магнитного поля брались из каталога Лаборатории полярных измерений ИЗМИРАН [43]. Из общих соображений ясно, что должен существовать некоторый оптимальный интервал времени, для которого влияние эффектов гелиогеофизических вариаций на вещество мишени выражено наиболее ясно. Эта величина неизвестна. Поэтому во многих случаях использовались, как правило, три различных интервала: 27, 14 и 7 сут. Они отсчитывались назад от даты окончания эксперимента, который и был основной реперной датой проводимого анализа. Как принято в физике сол-

нечно-земных связей, четные-нечетные солнечные циклы рассматриваются отдельно. Не менее важно различать эпохи смены знака общего магнитного поля Солнца. В табл. 1 представлено распределение экспозиций (перечислены их номера) для этих выделенных интервалов времени. Установление знака поля в полярных районах Солнца происходит, как известно, сравнительно медленно. Поэтому отнесение определенной экспозиции к интервалу той или иной полярности в такие переходные эпохи спорно.

Представленные ниже диаграммы построены одним и тем же стандартным методом: полученное для данной экспозиции (ее заключительной части) значение гелиофизического индекса позволяло отнести его в некоторый интервал значения этого индекса (бин). В пределах этого интервала значения потоков Q (в единицах атом/сут) усреднялись. Индексы R (числа Вольфа) и A_p (магнитная активность) использовались для сравнения с соответствующими данными других авторов. Ионосферные данные и данные по межпланетному магнитному полю (interplanetary magnetic field, IMF) более «физичны».

Связь потока нейтрино \bar{Q} с числами Вольфа R в последние 27 сут экспозиции показана на рис. 1 (величина Q усреднена для каждого интервала (бина) R). Ясно выраженная антикорреляция для нечетного цикла соответствует антикорреляции, найденной для примерно этого временного интервала другими авторами, использовавшими средние R для всей экспозиции (см., например, [4]). Для четных циклов заметна слабая противоположная тенденция. Вполне аналогичная картина имеет место для ионосферного индекса I (рис. 2) в последние 27 сут экспозиции; индекс I имеет смысл скорректированной среднесуточной критической частоты. Аналогично построенные данные для индекса A_p показаны на рис. 3. Индекс усреднялся за последние 7 сут экспозиции. В данном случае видна тенденция к возрастанию \bar{Q} с увеличением A_p для четного цикла (такая тенденция для всего массива данных была найдена и другими авторами, которые использовали средние значения индекса для всего времени экспозиции).

Наконец, на рис. 4–6 показана зависимость интенсивности нейтрино от знака IMF в последние 14 сут экспозиции (сумма числа дней положительной, отрицательной и смешанной полярностей, отнесенная к 14). Отчетливо заметна тенденция к уменьшению интенсивности с увеличением преобладания знака положительной полярности на рис. 4а и смена знака эффекта при смене полярности общего поля Солнца. Эта картина в целом не изменяется, если

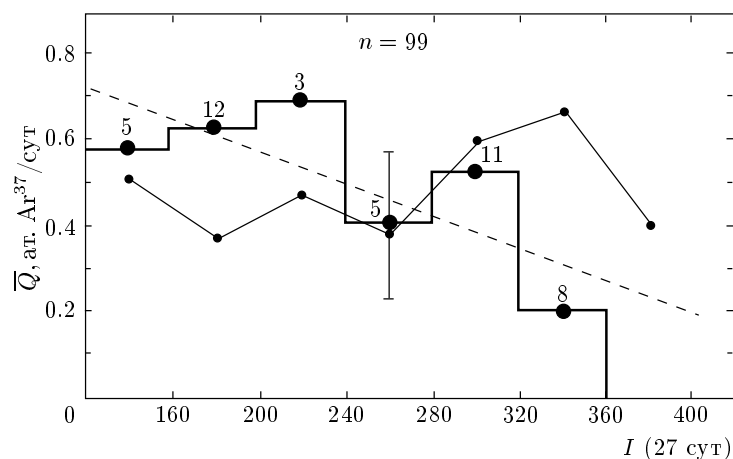


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для индекса I среднеширотной E -ионосферы станции «Москва». Четный цикл солнечной активности — тонкая сплошная кривая, нечетный — жирная сплошная и штриховая кривые

Таблица 1

Выявленный интервал	Экспозиции
20-й четный цикл, 1970–1976 гг.	18–46
21-й нечетный цикл, 1977–1986 гг.	47–91
22-й четный цикл, 1987–1994 гг.	92–133
«Плюс» на северном полюсе Солнца	18–64; 109–133
«Минус» на северном полюсе Солнца	65–108

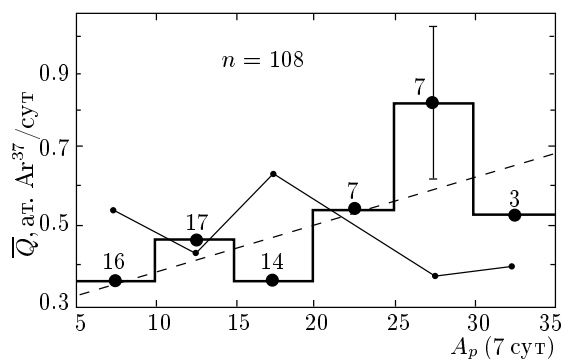


Рис. 3. То же, что на рис. 1, но для индекса магнитной активности A_p в последние 7 сут экспозиции. Четный цикл солнечной активности — жирная сплошная и штриховая кривые, нечетный — тонкая сплошная кривая

знаки IMF брать в последние 7 и 27 сут экспозиции, но для 14 сут она выражена более ясно. На рис. 5 показана свертка данных для всего массива

(рис. 4б обращен относительно нулевой линии). Общие средние для разных полярностей отличаются друг от друга согласно критерию Манна–Уиттни на уровне значимости 10^{-2} . На рис. 6 можно видеть, что эффект носит систематический характер, причем в средних он проявляется в перераспределении экстремальных значений: 80 % значений, близких к нулю, принадлежат одному знаку IMF, все значения $\bar{Q} > 1.0$ — другому.

Путем прямого сопоставления нетрудно убедиться, что зависимость \bar{Q} от знака IMF вносит заметный вклад в годовую вариацию. В соответствии с известным законом Колмена–Розенберга фаза этой вариации сменяется на обратную при смене полярностей общего поля Солнца.

Существенно подчеркнуть, что зависимость $\bar{Q}(R)$, выраженная ясно для нечетного цикла (см. рис. 1), имеет место независимо от знака IMF. Если построить подобную зависимость отдельно для всех случаев разной полярности IMF, она остается в силе. Таким образом, зависимости $\bar{Q}(R)$ и $\bar{Q}(IMF)$

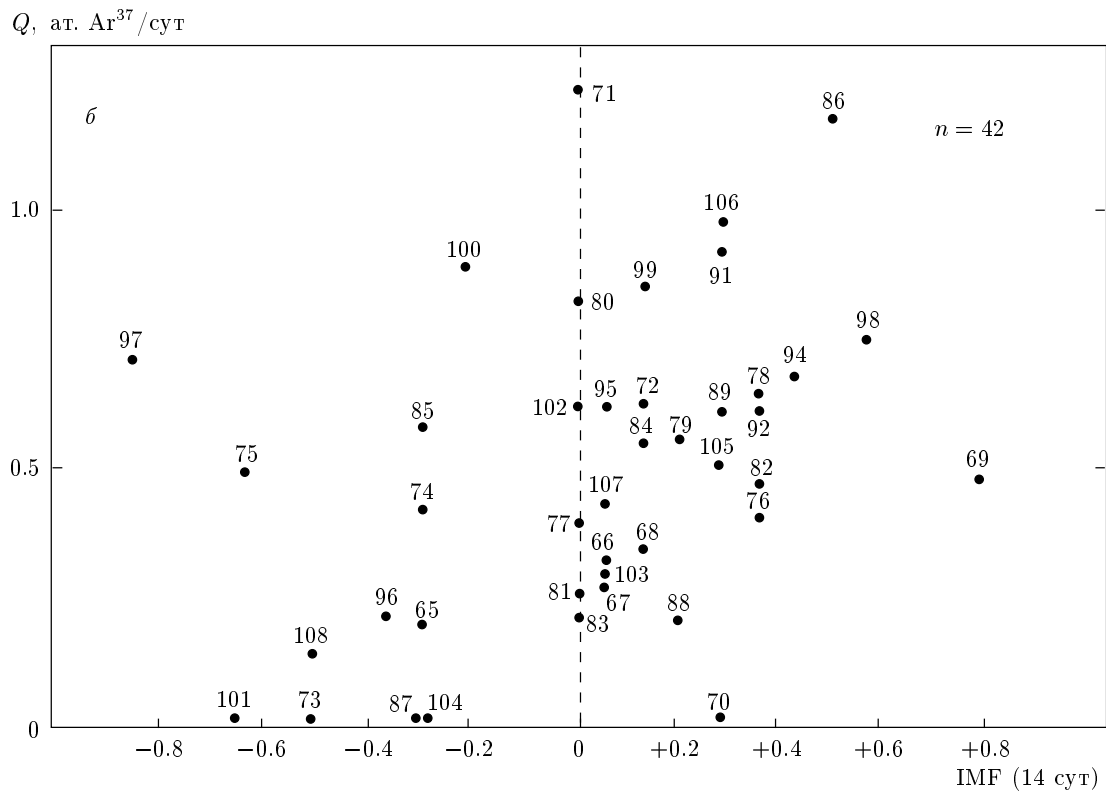
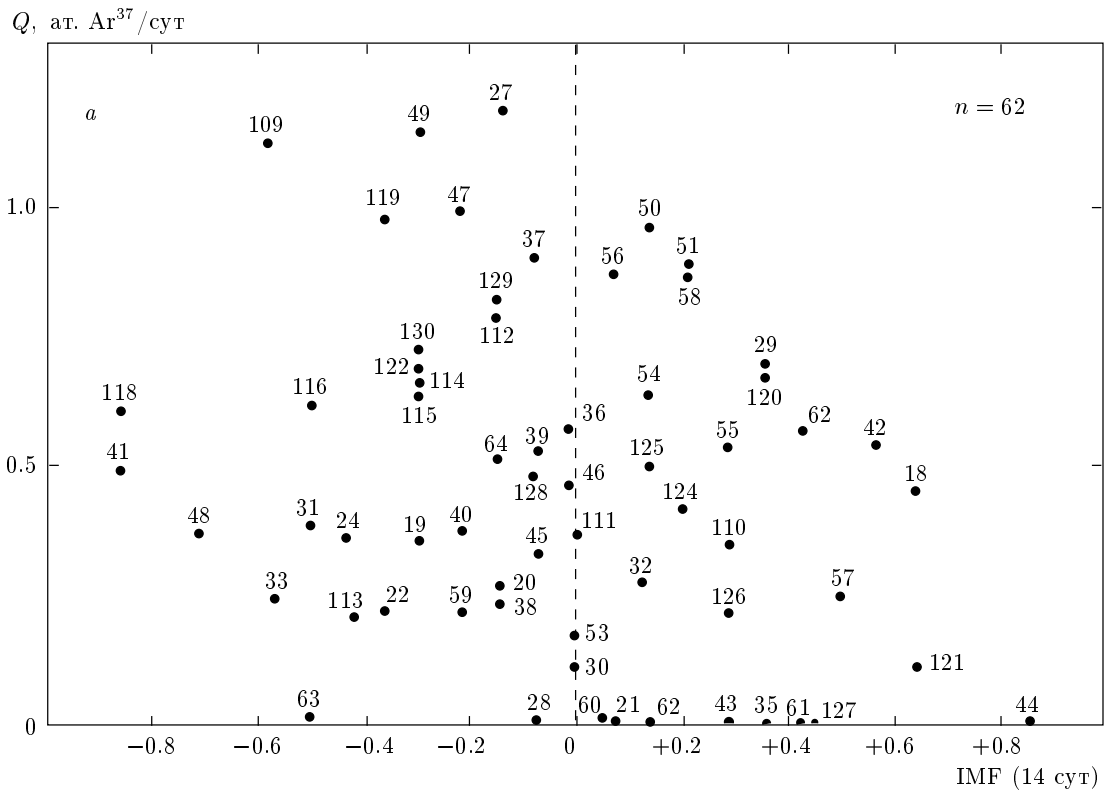


Рис. 4. Диаграмма рассеяния в координатах «поток нейтрино Q и средний знак полярностей IMF в последние 14 сут экспозиции»: *a* — общее поле Солнца на северном полюсе положительно; *b* — общее поле Солнца на северном полюсе отрицательно. Цифры около точек — номер экспозиции

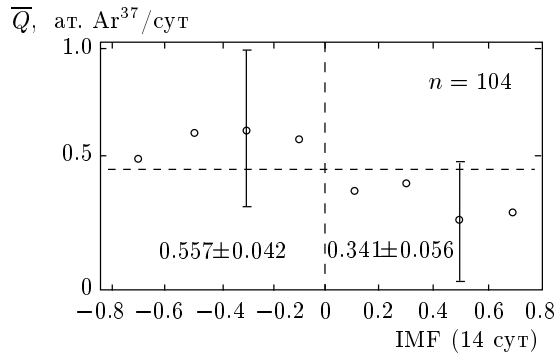


Рис. 5. Свертка данных, приведенных на рис. 4а и 4б после инверсии данных на рис. 4б относительно нулевой линии IMF. Различие средних 0.557 ± 0.042 и 0.341 ± 0.056 соответственно для отрицательных и положительных знаков IMF значимо на уровне 10^{-2}

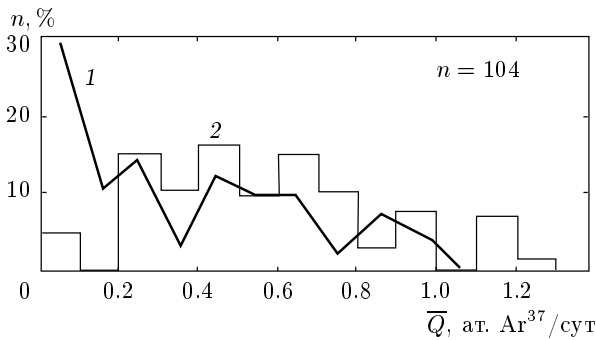


Рис. 6. Распределение (частота встречаемости) результатов измерений величины \bar{Q} для положительной (1) и отрицательной (2) полярностей IMF

не сводимы друг к другу и представляют собой разные эффекты. Это особенно важно учитывать при рассмотрении установленной в [4] зависимости величины потока \bar{Q} от длительности экспозиции. Она показана в принятом здесь формате на рис. 7а и имеет место независимо от уровня активности (R) и знака IMF. Для четного цикла подобной общей антикорреляции нет. Однако, как выяснилось, такого рода связь существует для разных полярностей IMF (рис. 7б). Как видно, для разных знаков IMF тенденции прямо противоположны. Следует заметить, что зависимости рис. 7б невозможно объяснить «связыванием» Ar^{37} с постоянной скоростью («старением» раствора), как это, казалось бы, следовало сделать для случая рис. 7а. Методика построения кривых на рис. 7б такова, что речь должна идти, скорее, об отсутствии «связывания» для одного из знаков IMF при коротких экспозициях. Эффект в ослабленном виде для более длительных экс-

позиций оказывается заметным из-за «инерции» применяемого показателя. Если знак IMF берется для заключительных 7 сут экспозиции (а не 14 сут, как на рис. 7б), это различие в потоках \bar{Q} резко исчезает при значении продолжительности экспозиции $L = 60$ сут. Величина знакового индекса IMF, как правило, мало отличается от одного 27-дневного интервала к другому. Поэтому, когда используется этот интервал, эффект для $L < 80$ сут полностью исчезает. Но в случаях, когда знаки IMF берутся для 7 и 14 сут при $L \leq 60$ сут, изменения средних одни и те же: $\bar{Q}(-)/\bar{Q}(+) \approx 3$ (во всех случаях при смене знака общего магнитного поля Солнца полярности IMF также менялись в соответствии с закономерностью, представленной на рис. 4). Различие \bar{Q} для интервала 30–50 сут значимо на уровне $1.7 \cdot 10^{-3}$, для интервала 50–60 сут — на уровне $4.8 \cdot 10^{-2}$.

Важный для дальнейшего эффект влияния знака IMF в последние дни экспозиции на величину зарегистрированного потока нейтрино \bar{Q} допускает независимую проверку. Для набора экспозиций, использованных в рассматриваемом эксперименте (медианное значение около 70 сут) индекс IMF для конечных и начальных интервалов экспозиций, как можно показать, не коррелирует. Поэтому свертка зависимости Q от знака IMF была еще раз построена, но для начальных 14 сут экспозиции. При этом зависимость Q от знака IMF не была обнаружена: соответствующие значения составили $\bar{Q}(-) = 0.476 \pm 0.041$ и $\bar{Q}(+) = 0.479 \pm 0.048$ (см. рис. 5, где соответствующие средние различаются в 1.6 раза; стандартные отклонения относятся к разбросу точек разного знака).

3.2. Галлий-германиевые детекторы — эксперименты на установках GALLEX и SAGE

Исходным материалом для анализа эксперимента на установке GALLEX послужили известные опубликованные данные (GALLEX Coll., 1993, 1994, 1996 и 1999 [44–48], 65 экспозиций 1991–1997 гг.). Для сопоставления с магнитной активностью использовались также 19 экспозиций продолжения этих измерений (GNO, 1998–1999). Результаты измерений на установке SAGE были получены от авторов эксперимента (1989–2000 гг., 80 экспозиций). Методика анализа была аналогичной, применявшейся выше. Все космофизические данные подсчитывались для последних 7 сут экспозиции. Поскольку оценка полярности IMF для семидневного интервала может содержать существенную ошибку из-за неверно-

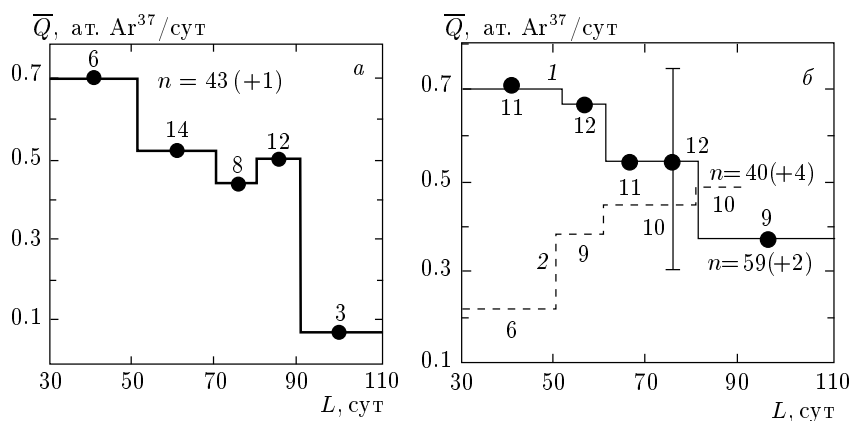


Рис. 7. а) Зависимость среднего потока нейтрино \bar{Q} от продолжительности экспозиции L , обнаруженная в работе [4]. Данные относятся к нечетному циклу активности № 21. б) Поток нейтрино \bar{Q} для данного интервала продолжительности экспозиции L для положительного (кривая 1) и отрицательного (кривая 2) знаков IMF в последние 14 сут экспозиции. Цифры около точек — число экспозиций в данном интервале L . Для интервала 70–80 сут показан типичный среднеквадратичный разброс. Шесть точек из всего массива данных исключены из рассмотрения (полярность IMF равна нулю, $L > 110$). Различие средних \bar{Q} для интервала 30–50 сут значимо согласно критерию Манна–Уиттни на уровне $1.7 \cdot 10^{-3}$

го определения знака поля какого-либо одного дня в каталоге ИЗМИРАН, данные проверялись по независимым прямым измерениям (база данных OMNI). Пропуски в этих данных заполнялись интерполяцией. Знак IMF считался определенным надежно только тогда, когда он совпадал в обоих видах данных. Для интервала измерений на установке GALLEX знак оказался неопределенным для 25 % экспозиций, а на установке SAGE — для 10 % (расхождение данных в упомянутых каталогах в половине случаев обусловлено тривиальной причиной — геомагнитными возмущениями). Хотя на первый взгляд статистика экспозиций галлий-германиевых экспериментов сопоставима с таковой хлор-аргоновых измерений, анализ данных, полученных на установках GALLEX и SAGE, встречается с дополнительными трудностями. На весну 1996 г. приходится переход от 22-го (четного) цикла солнечной активности к нечетному 23-му, так что эти измерения не перекрывают полностью цикла данного типа. Возможные вариации по упомянутым двум каналам солнечно-земных связей происходят в значительной мере независимо. Поэтому, для того чтобы обнаружить связь интенсивности нейтрино с данным космофизическим показателем, необходимо рассматривать только те данные, которые получены при неизменных значениях другого показателя. Последовательно реализовать такой подход при накопленном объеме данных невозможно.

Тем удивительнее, что важнейший результат по

вариациям интенсивности хлор-аргонового эксперимента (см. рис. 7б) воспроизводится и для галлий-германиевых измерений. Он показан в тех же обозначениях на рис. 8. Соответствующий цифровой материал представлен в табл. 2. Как видно, результаты измерений на установке GALLEX для данного интервала измерений ведут себя точно также, как брукхевенские данные: интенсивность выше для отрицательных полярностей IMF для коротких экспозиций и становится близкой с средним значением для экспозиций более продолжительных (рис. 8а). Для данных, полученных на установке SAGE, эффект менее ясно выражен и имеет обратный знак (рис. 8б).

В среднем, интенсивность вообще несколько выше для коротких экспозиций для обоих рассматриваемых экспериментов (как в хлор-аргоновых экспериментах, примерно 20 %). Более существенным является то, что для коротких экспозиций характерно значительное (в 1.7 раза) увеличение дисперсии. Это можно рассматривать как указание на более высокую чувствительность измерений к влиянию неконтролируемого фактора именно для коротких экспозиций. На рис. 9 показана диаграмма рассеяния в координатах « \bar{A}_p (7 сут) — интенсивность» в измерениях на установках GALLEX. Имеет место слабая тенденция к антикорреляции (-0.22 ± 0.09), наблюдаемая отдельно и для 19-и экспозиций GNO. Она более ясно выражена для коротких экспозиций и определенно отсутствует для данных SAGE. Это

Таблица 2

Эксперимент	Экспозиция	«+» IMF	<i>n</i>	«+» IMF	<i>n</i>	<i>P(U*)</i>
GALLEX	около 21 сут	42.4 ± 69.5	7	94.4 ± 45.7	10	0.13
	около 28 сут	73.3 ± 39.9	18	75.6 ± 43.4	10	—
SAGE	35 сут	84.6 ± 60.9	20	63.1 ± 49.9	15	0.24
	около 45 сут	64.4 ± 35.4	10	70.9 ± 50.3	14	—

Примечание: *n* — число экспозиций, *P(U*)* — уровень значимости.

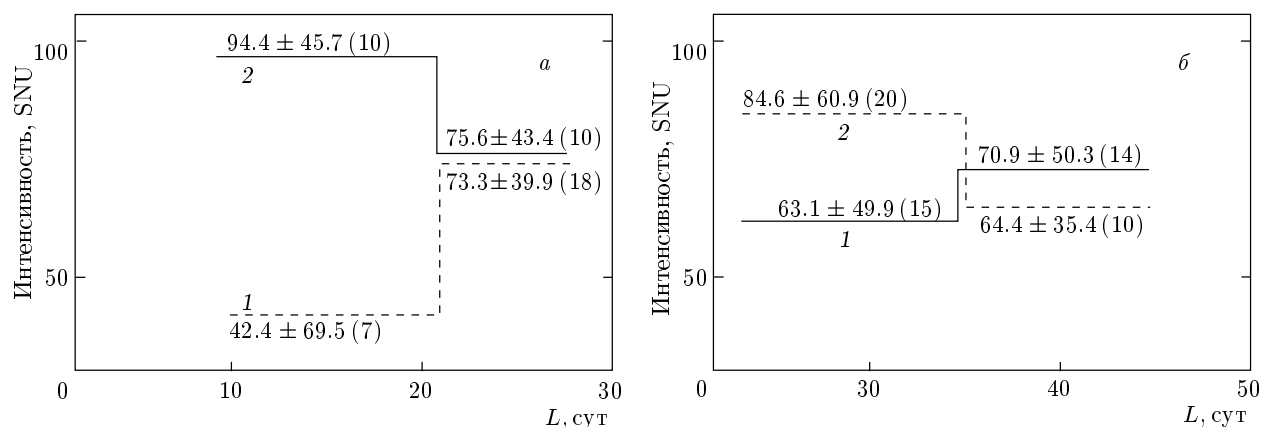


Рис. 8. Поток нейтрино (SNU) для данного интервала продолжительности экспозиции для положительного (кривая 1) и отрицательного (кривая 2) знаков IMF в последние 7 сут экспозиции. Цифры — соответствующие средние с их стандартными отклонениями, в скобках — число экспозиций. Аналог рис. 7б, но для установок GALLEX (а) и SAGE (б)

можно видеть из табл. 3, где представлены значения средних с их среднеквадратичными отклонениями при разбиении всего массива данных на группы для «спокойных» и «возмущенных» условий. Условная граница соответствует \bar{A}_p (7 сут) = 12.5.

Значения $A_p > 25$ с высокой степенью вероятности соответствуют попаданию в применяемый семидневный интервал магнитной бури с внезапным началом. Это особый тип глобального электромагнитного возмущения. Такие события следует рассматривать отдельно. Соответствующие подсчеты суммированы в табл. 4. (Магнитные бури не фигурируют в правой части табл. 3 и на рис. 9.)

Для облегчения сравнения различных экспериментов в последней колонке в табл. 4 представлены данные, нормированные на соответствующие средние. Как видно, во всех случаях наблюдается однотипный эффект (во всех случаях средние значения \bar{A}_p (7 сут) > 30). Если выявленные закономерности реальны, то имеет смысл еще раз вернуться к табл. 2, чтобы проверить чувствительность изме-

рений к смене знака IMF для наиболее благоприятных условий — коротких экспозиций и фиксированного уровня геомагнитной активности. Число соответствующих экспозиций, конечно, уменьшается. Результат виден из табл. 5.

Можно отметить, что тенденции вариаций в анализируемых экспериментах прямо противоположны: в измерениях на установке GALLEX интенсивность повышена, когда в конце экспозиции доминирует отрицательная полярность IMF, а на установке SAGE — положительная. С повышением геомагнитной возмущенности на установке GALLEX интенсивность убывает, на установке SAGE — возрастает (последняя колонка в табл. 5 — значимость различий средних для разного знака в спокойных условиях). Наконец, отобрав экспозиции, окончание которых пришлось на геомагнитно-спокойные условия ($A_p < 12.5$), можно попытаться обнаружить возможное влияние вариаций чисел Вольфа на результаты измерений. Полученная картина ясна из табл. 6. Условная граница между «высоким» и «низ-

Таблица 3

Эксперимент	Экспозиция	Все данные	Условия		$P(U^*)$
			Спокойные, $A_p < 12.5$	Возмущенные, $A_p > 12.5$	
GALLEX	менее 21 сут	82.5 ± 75.5 $n = 28$	86.1 ± 62.0 $n = 13$	41.4 ± 75.6 $n = 7$	0.18
	около 28 сут	74.6 ± 44.9 $n = 37$	89.1 ± 46.7 $n = 16$	67.1 ± 38.6 $n = 19$	0.20
SAGE	35 сут	86.1 ± 75.4 $n = 51$	73.1 ± 55.8 $n = 30$	85.3 ± 74.6 $n = 15$	—
	около 45 сут	70.4 ± 43.3 $n = 29$	72.4 ± 43.4 $n = 17$	62.1 ± 40.2 $n = 11$	—

Таблица 4

Эксперимент	n	Интенсивность, SNU	Нормированные значения
Брукхевен	18	3.09 ± 1.49	1.19 ± 0.58
GALLEX	10	95.9 ± 79.1	1.30 ± 1.08
SAGE	7	136.6 ± 115.7	1.77 ± 1.50

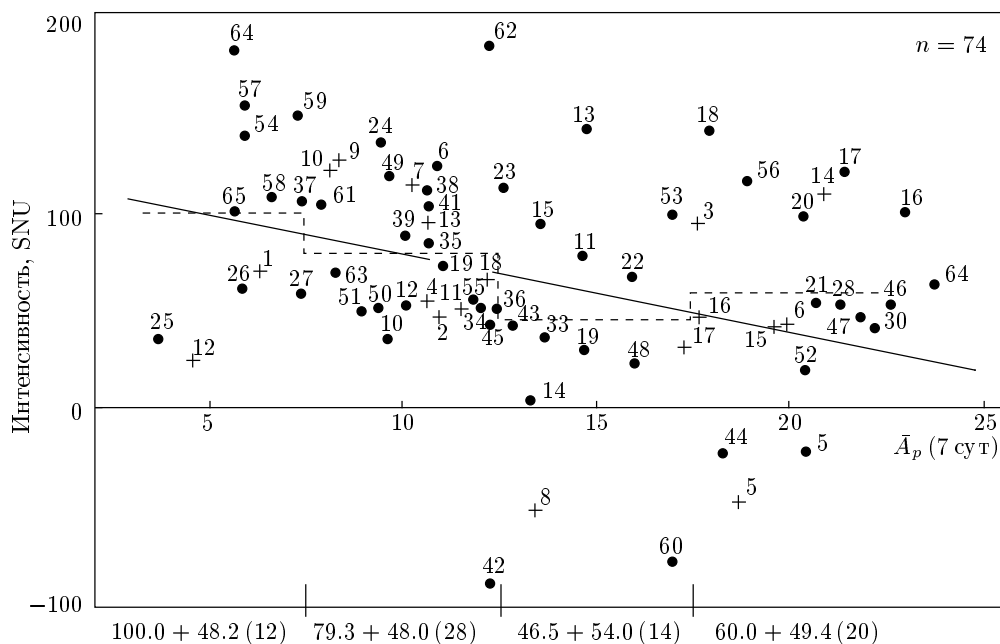


Рис. 9. Диаграмма рассеяния результатов измерений GALLEX (кружки) и GNO (кресты) в координатах «интенсивность, SNU, и индекс A_p в последние 7 сут экспозиции». Цифры около точек — номера экспозиции. Штриховой гистограмме отвечают значения средних, приведенные внизу рисунка; ошибки — стандартные отклонения, в скобках — число экспозиций в данном интервале. Коэффициент корреляции $r = 0.22 \pm 0.09$

Таблица 5

Эксперимент	Спокойные условия, $A_p < 12.5$		Возмущения, $A_p > 12.5$		$P(U^*)$
	«+» IMF	«-» IMF	«+» IMF	«-» IMF	
GALLEX	76.3 ± 20.5 $n = 3$	103.1 ± 40.0 $n = 7$	17.0 ± 81.5 $n = 4$	74.0 ± 51.3 $n = 3$	0.19
SAGE	79.6 ± 61.9 $n = 14$	48.8 ± 23.1 $n = 9$	96.2 ± 56.8 $n = 6$	84.7 ± 68.1 $n = 6$	0.23

Таблица 6

Эксперимент	Цикл	Солнечная активность		$P(U^*)$
		Низкая, $R < 60$	Высокая, $R \geq 60$	
GALLEX	22-й, четный	62.4 ± 50.1 $n = 14$	82.6 ± 40.9 $n = 5$	0.16
CNO	23-й, нечетный	125.8 ± 40.3 $n = 11$	74.9 ± 28.7 $n = 10$	0.16
SAGE	22-й, четный	77.4 ± 45.8 $n = 13$	60.8 ± 73.4 $n = 10$	0.29
	23-й, нечетный	61.1 ± 36.6 $n = 12$	84.6 ± 41.7 $n = 14$	0.01

ким» уровнями солнечной активности принята для $R = 60.0$. Как следует из данных, полученных в п. 3.1 для хлор-аргоновых измерений, четные и нечетные циклы активности следует рассматривать отдельно.

Как видно из рассмотрения табл. 6, различия имеют маргинальную значимость, но получается связанная картина: данные эксперимента GALLEX–GNO обнаруживают корреляцию для четного (22-го) солнечного цикла и антикорреляцию для нечетного (23-го) цикла. Это полностью соответствует данным, полученным выше для брукхевенских данных. Вариации для изменений на установке SAGE противоположны — антикорреляция для четного числа, корреляция для нечетного. Из приведенных данных следует, что результаты измерений на установках GALLEX и SAGE ведут себя противоположным образом для всех рассмотренных космофизических показателей: для знака IMF (табл. 2), для индексов магнитной активности A_p (табл. 5), для чисел Вольфа (табл. 6). Если перечисленные тенденции реальны, данные, полученные на этих установках, должны, вообще говоря, антикоррелировать, а на установках Брукхевен и

GALLEX, напротив, коррелировать.

3.3. Сравнение данных, полученных на разных установках

Для проверки такого предсказания необходимо выбрать из соответствующих массивов измерений экспозиции, которые заканчивались бы одновременно, с некоторым небольшим рассогласованием. Для величины такого рассогласования в случае галлий-германиевых измерений было выбрано $|\Delta| \leq 5$ сут, для установок Брукхевен и GALLEX — $|\Delta| \leq 10$ сут. Для 12-и синхронных экспозиций в первом случае реально оказалось значение $|\Delta| = 3.2 \pm 1.6$ сут, во втором — $|\Delta| = 4.5 \pm 3.1$ сут. Далее, из составленных таким образом каталогов можно выбрать меньшие (большие) значения интенсивности для всего массива данных и подсчитать среднее синхронных экспозиций для другой установки. Контролем может служить обратная процедура. Цифровые данные, нормированные на соответствующие средние, представлены в табл. 7 и 8.

Большая дисперсия в первой точке в правой колонке в табл. 7 обусловлена присутствием двух экс-

Таблица 7

GALLEX–GNO, исходная выборка меньше $M = 78.0$	SAGE, среднее синхронных экспозиций	$P(U^*)$
$n = 6; 0.43 \pm 0.35$	$n = 6; 1.86 \pm 1.79$	$5 \cdot 10^{-2}$
SAGE, исходная выборка меньше $M = 77.0$	GALLEX–GNO, среднее синхронных экспозиций	
$n = 7; 0.56 \pm 0.25$	$n = 7; 1.05 \pm 0.41$	$3 \cdot 10^{-2}$

Таблица 8

GALLEX Исходная выборка больше $M = 78.0$	Брукхевен Среднее синхронных экспозиций
$n = 7; 1.76 \pm 0.84$	1.27 ± 0.46
Брукхевен Исходная выборка больше $M = 0.478$	GALLEX Среднее синхронных экспозиций
$n = 9; 1.40 \pm 0.29$	1.37 ± 0.96

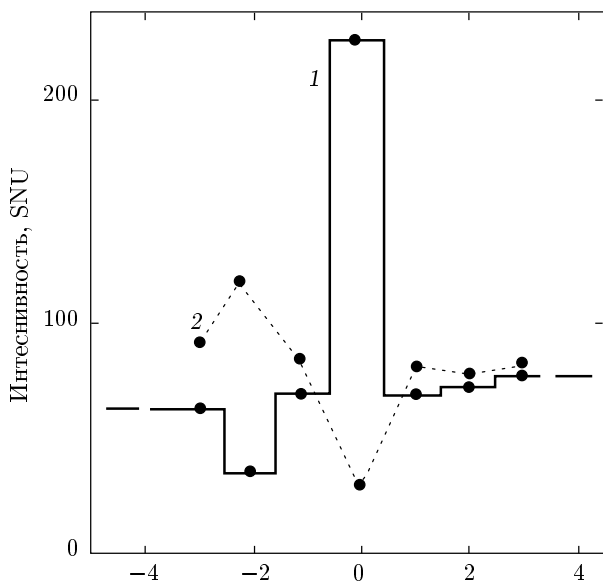


Рис. 10. Зависимость интенсивности, SNU, от выборки экспозиций на установках SAGE (1) и GALLEX (2). Интервал «нуль» — синхронные экспозиции (рассогласование их окончания составляет не более 10 сут). Исходная выборка SAGE — экстремально большие значения (> 150 SNU). Левее, правее нуля соответствующие экспозиции, прилегающие к синхронным (минус — предшествующие, плюс — последующие)

тремально больших значений. Если их не рассматривать, неравенство остается в силе. Еще один вариант проверки наличия антикорреляции данных, полученных на установках GALLEX и SAGE, — поиск синхронных экспозиций для экстремальных значений интенсивности на какой-нибудь установке. Соответствующий просмотр показал, что экстремально большим значениям, полученным на установке SAGE (более 150 SNU), удается отыскать 7 «двойников» в данных GALLEX–GNO, если ослабить требование к синхронности до $|\Delta| \leq 10$ сут. Результат сопоставления по методу наложения эпох показан на рис. 10. Как видно, аномально высоким значениям для эксперимента SAGE соответствуют экстремально низкие значения для GALLEX–GNO. Среднее значение рассогласования экспозиций составляет для этой выборки $|\Delta| = 6.7 \pm 2.7$ сут, $P(U^*) < 10^{-3}$.

К сожалению, число соответствующих синхронных экспозиций для аномальных значений другого знака слишком мало. Сказанное выше позволяет предположить, что годовая вариация интенсивности нейтрино должна обнаружить определенное сходство в измерениях на установках GALLEX и Брукхевен. Напротив, годовой ход измерений на установках GALLEX и SAGE должен быть различен. Действительно, если построить годовой ход для четного солнечного цикла, то для данных эксперимента GALLEX наблюдаются характерные минимумы в

апреле и ноябре, максимум в сентябре, известные давно для хлор-аргоновых измерений. Данные эксперимента SAGE не содержат указанных деталей и даже обнаруживают тенденцию к антикорреляции с упомянутым профилем (уместно напомнить что годовой ход в данном случае строился для даты окончания экспозиций).

4. ОБСУЖДЕНИЕ

Итак, если кратко суммировать самое основное, что изложено выше, то измеренная интенсивность солнечных нейтрино во всех трех радиохимических экспериментах зависит от гелиофизических индексов, относящихся к самому последнему интервалу экспозиции. В хлор-аргоновых измерениях при этом воспроизводятся все основные результаты, известные ранее, с тем существенным уточнением, что антикорреляция потока нейтрино с числами Вольфа имеет место только для нечетного цикла солнечной активности, а наибольшее влияние на зарегистрированный поток оказывает знак IMF. Это влияние для более коротких экспозиций обнаруживается и для галлий-германиевых измерений. Для всех трех установок обнаружен однотипный эффект магнитных бурь, выражающийся в резком увеличении среднего разброса результатов. По ряду признаков вариации на установках Брукхевен и GALLEX однотипны, а на установке SAGE противоположны. Для экспозиций, заканчивающихся одновременно с точностью в несколько суток, результаты измерений на установках GALLEX и SAGE, видимо, антикоррелируют, а на установках Брукхевен и GALLEX — напротив, коррелируют.

Во многих случаях статистические значимости полученных выше результатов невысоки (10^{-2}) и, строго говоря, они нуждаются в подтверждении. Такая проверка может быть реализована только при накоплении дополнительного материала. Статистическая надежность определяется в данном случае уровнем случайных флуктуаций (не систематическими ошибками). Поэтому для оценки реальности рассматриваемых закономерностей важны и косвенные признаки. В частности, важно, что полученные результаты складываются в некоторую самосогласованную картину. Можно обратить внимание, в частности, на то, что зависимости потока нейтрино от знака IMF, индексов R и A_p с непреложной необходимостью приводят к появлению уже обнаруженной примерно 27-дневной периодичности. Эти же зависимости позволяют качественно понять бимо-

дальный характер распределения результатов работы [26]: два обнаруженных в ней «состояния» соответствуют, возможно, двум знакам IMF и соответствующим квазипериодическим изменениям индекса A_p . Некоторые периоды, найденные в вариациях потока нейтрино (см. п. 7 Введения), совпадают с периодами, обнаруженными в вариациях параметров IMF (1.3 года, около 3-х лет, около 4.5 лет). Наиболее интересным из них является годовой период. Как уже отмечалось, для установок Брукхевен и GALLEX профиль годовых вариаций для четного солнечного цикла имеет общие характерные черты. Интересно, что в различных видах прецизионных измерений, при которых годовой период неизвестного происхождения также обнаруживается (уход частоты атомных стандартов, поиск «темной» материи и др.), экстремальные точки располагаются аналогичным образом. Наконец, можно заметить, что просмотр результатов калибровочных измерений на установке GALLEX с применением изотопа Cr^{51} (семь экспозиций, июнь–июль 1994 г. [48]) позволяет понять, почему эта процедура также не снимает полностью вопрос о вариациях потока: упомянутые экспозиции проводились при различных значениях применявшихся здесь космофизических показателей. Какое значение восстановленной активности источника следует взять — при малой геомагнитной возмущенности (60.7 ± 3.9 ед.) или при повышенной (72.2 ± 2.1 ед.)?

Разумеется, далеко не все эмпирические данные, изложенные выше, понятны. Даже в тех случаях, когда для данного эффекта удается отыскать простое истолкование, оно чаще всего оказывается неоднозначным либо не может быть проведено исчерпывающим образом. Не удалось отыскать какой-либо идеи, позволяющей понять, почему для всех трех экспериментов измеренная величина потока в среднем выше для более коротких экспозиций. Различие четных и нечетных циклов по самым разным признакам общеизвестно, но каковы эти различия конкретно по параметрам действующих электромагнитных полей неясно. Антикорреляция ионосферного индекса с величиной потока нейтрино, в принципе, могла бы быть важным аргументом в пользу предоставленной здесь гипотезы о воздействии сверхнизкочастотных эмиссий на вещество мишени. Однако нельзя считать доказанным, что антикорреляция ионосферного показателя с величиной потока для нечетного цикла (см. рис. 2) является причинной. Возможно, что связь возникает просто из-за корреляции I и R .

Напротив, влияние знака радиальной составляющей IMF на результат измерений в данном случае

можно трактовать однозначно. Давно известно, что в секторах IMF разного знака все параметры геомагнитных микропульсаций и излучений низкой частоты существенно изменяются. Надежно установлено, что некоторые физико-химические системы реагируют на смену знака сектора IMF (в частности, это было установлено для тестовой реакции, обнаруживающей 11-летний цикл солнечной активности, см. [49]). Понятно, что эта зависимость должна менять знак со сменой полярности общего магнитного поля Солнца (хотя динамика подобных явлений изучена мало). Следует подчеркнуть, что изменение знака IMF и сопряженное с этим изменение режима возбуждения геомагнитных микропульсаций и магнитосферных эмиссий килогерцового диапазона — эффект геофизический. Поэтому большие изменения потока нейтрино Q при разных знаках IMF в конце экспозиции — решительный довод в пользу того, что в радиохимических экспериментах имеют место фиктивные вариации, не обусловленные реальными изменениями.

Рассматриваемая модель вариаций предполагает, что действие на физико-химическую кинетику по обоим каналам (через коротковолновое излучение Солнца — ионосферу и через солнечный ветер — магнитосферу) всегда только уменьшает измеряемый поток, по-разному в разные эпохи и на разных установках. Поэтому измеряемые потоки должны быть ниже реальных. Простейшую оценку реального значения зафиксированного потока можно сделать, полагая, что все рассмотренные корреляции реальны. В случае хлор-аргонового детектора — это корреляции (антикорреляции) с числами Вольфа, критическими частотами ионосферы и индексом A_p . Рассматривая распределение этих индексов, можно получить следующие граничные их значения для высокого (низкого) уровня активности: $R > (<)90$; $I > (<)220$; $A_p > (<)12.5$. Выбирая интервалы «стимулирующих» величину потока полярностей IMF и требуя выполнения одновременно выписанных выше неравенств, получаем

для нечетного цикла

$$\overline{Q}_{max} = 0.726 \pm 0.338 \quad (n = 9),$$

$$\overline{Q}_{min} = 0.431 \pm 0.313 \quad (n = 35),$$

для четного цикла

$$\overline{Q}_{max} = 0.690 \pm 0.226 \quad (n = 17),$$

$$\overline{Q}_{min} = 0.400 \pm 0.267 \quad (n = 47),$$

для всего массива

$$\overline{Q}_{max} = 0.702 \pm 0.293 \quad (n = 26),$$

$$\overline{Q}_{min} = 0.413 \pm 0.228 \quad (n = 82)$$

(все ошибки — стандартные отклонения)

Наконец, если учесть существенное влияние знака IMF (см. рис. 7б) и исключить из списка для \overline{Q}_{max} длительные экспозиции ($\Delta > 70$ сут), можно получить крайнее значение $\overline{Q}_{max} = 0.768 \pm 0.289$ ($n = 17$; 4.5 ± 1.5 в единицах SNU). Очевидно, если принять в качестве реального значения эту величину потока, проблема его дефицита делается менее острой. К сожалению, подобная оценка для данных экспериментов на установках GALLEX и SAGE из-за малой статистики невозможна. Следует, однако, напомнить о результате рассмотрения распределения данных (гистограммы) в галлий-германиевых измерениях [26]. Возможно, что два «состояния», обнаруженные в этой работе, соответствуют двум знакам IMF, причем более высокое «состояние» приближается к теоретическому значению потока.

Никак не касаясь здесь сложного вопроса о влиянии слабых электромагнитных полей на физико-химическую кинетику растворов (где важнейшие события разворачиваются на мезоуровне, например, «втягивание» ионов или атомов в нанотрубки), перечислим коротко возможные варианты проверки изложенных выше представлений. Большинство из них просты и вполне реализуемы.

1. Было бы весьма полезно провести цикл прямых измерений вариаций электромагнитных полей низких и сверхнизких частот близ установки, включая частоты фундаментальной моды шумановского ионосферного резонанса и геомагнитных микропульсаций типа Pс3.

2. Представляется интересным провести цикл измерений на всех радиохимических установках (например, в течение года) таким образом, чтобы экспозиции на них заканчивались одновременно.

3. Целесообразно измерять в районе расположения установки эффективность регистрации подходящего радиоактивного эталона с помощью стандартных измерительных устройств, желательно одновременно по нескольким каналам (сцинтилляторы, счетчики Гейгера, полупроводниковые детекторы). Вполне вероятно, что измерения скорости счета в этом случае могли бы коррелировать (антикоррелировать) с зарегистрированными вариациями потока нейтрино.

4. Кажется интересным и важным наладить автоматизированный мониторинг параметров жидкости мишени (например, перхлорэтилена) в стабильных лабораторных условиях. Различные параметры жидкости, которые можно было бы систематически

измерять, такие как электрическая проводимость, тангенс диэлектрических потерь, коэффициент теплопроводности и т. п., связаны. Поэтому, если в веществе мишени под влиянием внешних условий происходит фазовый переход жидкость–жидкость, влияющий на эффективность извлечения Ag^{37} (Ge^{71}), его можно будет зафиксировать. Такой мониторинг интересен по многим причинам, и было бы целесообразно проводить его синхронно в нескольких точках на кооперативной основе (Крымская астрофизическая обсерватория, Институт биофизики РАН (Пущино), Институт химической физики РАН (Москва)).

С точки зрения излагаемых здесь гипотетических представлений, слабые вариации потока нейтрино могут быть обнаружены также на водных черенковских детекторах. Воздействие солнечной активности — геомагнитной возмущенности на физико-химические явления носит универсальный характер [40]. На упомянутых установках воздействие на скорость счета нейтрино возможно через изменение коэффициента преломления воды (интенсивность черенковского света зависит от этого параметра квадратично) и вариации квантового выхода катодов ФЭУ [50]. Думается, наиболее легко можно было бы обнаружить околонедельный и около 27-дневный периоды в эпохи высоких значений гелиошироты Земли. Такие вариации можно было бы обнаружить и подробно исследовать в лабораторных условиях путем измерений на водных черенковских детекторах бета-активности подходящего радиоактивного эталона.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Поток нейтрино во всех радиохимических экспериментах зависит от гелиогеофизической ситуации, сложившейся к самому концу экспозиции, когда продукт реакции с нейтрино уже накоплен.

2. Эта зависимость имеет место для ионосферных и магнитосферных индексов, таких как критические частоты ионосферы, знак радиальной составляющей межпланетного поля, т. е. геофизических индексов.

3. Зависимость потока нейтрино от космофизических индексов в основном или полностью обусловлена вариациями в эффективности регистрации. Они возникают, вероятно, в связи с воздействием на вещество мишени фоновых электромагнитных полей

крайне низких частот, контролируемых солнечной активностью.

4. Предлагаемая модель вариации может только уменьшить регистрируемый поток нейтрино, поэтому средняя величина потока нейтрино в радиохимических измерениях, вероятно, занижена.

Авторы очень признательны Г. С. Иванову-Холодному за предоставление неопубликованных ионосферных данных и полезные замечания; В. И. Одинцову за предоставление данных по IMF; С. Э. Шнюлю и А. А. Конрадову за полезную дискуссию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Базилевская, Ю. И. Стожков, Т. Н. Чарачьян, Письма в ЖЭТФ **35**, 273 (1982).
2. Дж. Бакалл, *Нейтринная астрофизика*, Мир, Москва (1993).
3. J. W. Bieber, D. Sechel, T. Stanev, and G. Steigman, *Nature* **348**, 407 (1990).
4. J. N. Bahcall and W. H. Press, *Astrophys. J.* **370**, 730 (1991).
5. D. S. Oakly, H. B. Snodgrass, R. K. Ulrich, and T. L. Van De Kop, *Astrophys. J.* **437**, L63 (1994).
6. V. N. Obridko and Yu. R. Rivin, *Astron. Astrophys.* **308**, 951 (1996).
7. Ю. Р. Ривин, *Циклы Земли и Солнца*, Наука, Москва (1989), с. 48.
8. L. I. Dorman, V. L. Dorman, and A. W. Wolfendale, in *Contributed Papers of 23-nd ICRC*, Vol. 3, Calgary (1993), p. 872.
9. Ю. Р. Ривин, В. Н. Обридко, *Астрон. ж.* **70**, 392 (1993).
10. P. A. Sturrock, G. Walther, and M. S. Wheatland, *Astrophys. J.* **507**, 978 (1998).
11. Л. И. Дорман, *ЯФ* **63**, 1064 (2000).
12. S. Massetti and M. Storini, *Astrophys. J.* **472**, 827 (1996).
13. D. Basu, *Solar Phys.* **81**, 363 (1982).
14. R. Wilson, *Solar Phys.* **149**, 391 (1994).
15. R. L. Mc Nutt, *Science* **270**, 1635 (1995).
16. Ph. Delache, V. Gavryusev, E. Gavryuseva et al., *Astrophys. J.* **407**, 801 (1993).

17. H. J. Haubold and E. Gerh, *Astron. Nachr.* **306**, 203 (1985).
18. H. J. Haubold and E. Gerh, *Solar Phys.* **127**, 347 (1990).
19. V. Gavryusev, E. Gavryuseva, and A. Roslyakov, *Solar Phys.* **133**, 161 (1991).
20. I. Liritzis, *Solar Phys.* **161**, 29 (1995).
21. P. A. Sturrock, G. Walther, and M. S. Wheatland, *Astrophys. J.* **491**, 409 (1997).
22. G. Walther, *Astrophys. J.* **513**, 990 (1999).
23. J. Boger, R. L. Hahn, and J. B. Cumming, *Astrophys. J.* **537**, 1080 (2000).
24. R. B. Wilson, *Astrophys. J.* **545**, 532 (2000).
25. P. A. Sturrock, J. D. Scargle, G. Walther, and M. S. Wheatland, *Astrophys. J.* **523**, L177 (1999).
26. P. A. Sturrock and J. D. Scargle, *Astrophys. J.* **550**, L101 (2001).
27. Y. Fukuda, T. Hayakawa, K. Inoue et al., *Phys. Rev. Lett.* **77**, 1683 (1996).
28. Ю. В. Козлов, В. П. Мартемьянов, К. Н. Мухин, *УФН* **167**, 849 (1997).
29. Y. S. Kopysov, in *Proc. Int. Conf. Neutrino-82*, Vol. 1, Budapest (1982), p. 274.
30. O. V. Chumak and V. N. Oraevsky, in *Proc. of Fourth SOHO Workshop Helioseismology*, ESA SP-376, Pacific Grove, USA (1995), p. 59.
31. Б. М. Владимирский, Л. Д. Кисловский, *Изв. Крымской астрофиз. обсерватории* **82**, 153 (1990).
32. А. И. Хлыстов, В. П. Долгачев, Л. М. Доможилова, *Труды ГАИШ* **64**, 91 (1995).
33. K. S. Jacobs, *Nature* **256**, 560 (1975).
34. В. П. Васильев, А. И. Калиниченко, в сб. *Исследования по физике космических лучей*, Якутск (1985), с. 62.
35. С. Э. Шноль, В. А. Коломбет, Е. В. Пожарский и др., *УФН* **168**, 1129 (1998).
36. S. E. Shnoll, E. U. Pozharskii, T. A. Zenchenko et al., *Phys. Chem. Earth A* **24**, 711 (1999).
37. В. П. Измайлов, О. В. Карагиоз, А. Г. Пархомов, в сб. *Атлас временных вариаций естественных, антропогенных и социальных процессов*, т. 2, Научный мир, Москва (1998), с. 163.
38. Б. М. Владимирский, А. В. Брунс, *Биофизика* **43**, 720 (1998).
39. V. M. Lobashov, V. N. Aseev, A. I. Belevsev et al., *Phys. Lett.* **460B**, 227 (1999).
40. Б. М. Владимирский, Н. А. Темурьянц, *Влияние солнечной активности на биосферу-ноосферу*, МНЭПУ, Москва (2000).
41. B. T. Cleveland, T. Daily, R. Davis et al., *Astrophys. J.* **496**, 505 (1998).
42. П. А. Антонова, Г. С. Иванов-Холодный, В. Е. Чертопруд, *Аэронавтика слоя E*, Янус, Москва (1996).
43. <http://www.izmiran.rssi.ru/magnetism/SSIMF/index.htm>
44. GALLEX Coll., P. Anselmann et al., *Phys. Lett. B* **314**, 445 (1993).
45. GALLEX Coll., P. Anselmann et al., *Phys. Lett. B* **327**, 377 (1994).
46. GALLEX Coll., P. Anselmann et al., *Phys. Lett.* **388B**, 384 (1996).
47. GALLEX Coll., P. Anselmann et al., *Phys. Lett.* **447B**, 127 (1999).
48. GALLEX Coll., P. Anselmann et al., *Phys. Lett.* **447B**, 440 (1999).
49. Н. В. Удальцова, В. А. Коломбет, С. Э. Шноль, *Возможная космофизическая обусловленность макроскопических флуктуаций*, Пушино (1987).
50. А. В. Брунс, Б. М. Владимирский, Л. Г. Лиманский, С. М. Шумко, в сб. *Солнечная физика*, Труды 7-го симпозиума по солнечно-земной физике России и стран СНГ, Троицк (1999), с. 179.