

Ритмические и спорадические изменения скорости бета распадов. Возможные причины

А.Г. Пархомов

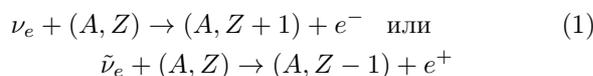
Аннотация—В ряде экспериментов при регистрации частиц, испускаемых в бета-распадах, обнаружены периодические колебания скорости счета с амплитудой до десятых долей процента от средней величины и найдены короткие всплески, значительно превышающие обычную скорость счета. В то же время, в других экспериментах отличия от “нормального” хода бета-распадов более 0,01% не были обнаружены. В статье показано, что противоречивость экспериментальных результатов обусловлена различной методикой измерения. Предположение о возможном участии в бета распадах космических медленных нейтрино позволяет комплексно объяснить не только периодические и спорадические изменения скорости бета распадов, но также ряд других непонятных явлений, связанных с бета радиоактивностью. На основе проведенных экспериментов оценивается плотность потока медленных космических нейтрино.

I. ВВЕДЕНИЕ

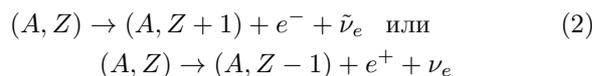
До недавнего времени строго экспоненциальный характер изменения скорости распадов радиоактивных нуклидов считался несомненным. Но в последнее время опубликовано много статей с результатами измерений радиоактивности, которые дают основание для сомнений в незыблемости этого свойства радиоактивности. Обнаружены как периодические (прежде всего, с периодом 1 год) [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], так и спорадические [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21] отклонения. Сделаны попытки объяснить эти аномалии действием потока солнечных [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13] или реликтовых [14], [15], [16], [17], [18] нейтрино. В то же время, в ряде статей приведены результаты измерений, в которых аномалии скорости радиоактивного распада незаметны [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29]. Результаты, полученные в процессе этих тщательных измерений, на первый взгляд, опровергают сообщения об аномалиях скорости радиоактивного распада, что ставит под вопрос целесообразность продолжения исследований в этом направлении. Покажем, что отсутствие наблюдаемых аномалий можно объяснить неадекватной методикой проведения экспериментов.

alexparh@mail.ru

Допустим, что аномалии скорости бета распадов связаны с действием нейтрино или антинейтрино в соответствии с ядерными реакциями



Это происходит на фоне спонтанных распадов



Задача заключается в том, чтобы обнаружить небольшое число актов реакции (1) на фоне большого числа актов реакции (2). Это возможно в связи с тем, что в реакциях (2) возникают электроны или позитроны с энергиями от нуля до верхней границы E_{max} , характерной для каждого нуклида. В случае реакции (1) возникающие электроны или позитроны имеют энергию, превышающую E_{max} на энергию поглощенного нейтрино или антинейтрино. Если регистрируются нейтрино (антинейтрино), возникающие в ядерных реакциях, например, в недрах Солнца, превышение достигает нескольких МэВ. Если регистрируются реликтовые нейтрино, имеющие очень низкую энергию, электроны имеют энергию близкую к E_{max} .

Если число индуцированных реакций много меньше числа спонтанных распадов, для обнаружения эффектов, связанных с действием нейтрино (антинейтрино), необходимо иметь детекторы, которые могут избирательно регистрировать электроны (позитроны) с энергией, превышающей E_{max} . Счетчики Гейгера, пропорциональные счетчики, ионизационные камеры, полупроводниковые и сцинтилляционные детекторы позволяют регистрировать бета частицы непосредственно. Причем эти детекторы позволяют отчасти решить проблему выделения частиц высокой энергии путем расположения между источником и детектором слоя вещества, поглощающего основную часть частиц, возникающих при спонтанных бета распадах, и пропускающего большую часть частиц более высокой энергии.

Заманчиво для регистрации бета распадов использовать гамма – спектрометры. Применение таких детекторов основано на том обстоятельстве, что в большинстве случаев в результате бета распадов образуются ядра в возбужденном состоянии, снимающие возбуждение путем испускания гамма квантов. Но энергия возникающих гамма квантов не зависит от энергии возникающих электронов. Поэтому, регистрируя гамма кванты, выделить интересующие нас события, связанные с действием нейтрино (антинейтрино), практически невозможно.

Таким образом, для обнаружения вариаций скорости бета распадов, если они связаны с действием нейтрино (антинейтрино), необходимо использовать бета спектрометры или детекторы бета частиц в сочетании с оптимальными поглотителями частиц, образующихся при спонтанных распадах. Регистрация гамма квантов [22], [24], [28] не может привести к успеху. Не может быть успеха в поиске вариаций в распадах, не связанных со слабым взаимодействием: в изомерных переходах с излучением гамма квантов (например, $^{121}\text{Sn}^m$ [22]), а также в альфа распадах [16], [17], [23], [26], если они не являются членами цепочки, включающей бета активные нуклиды.

Некоторые работы, например, [27], опровергающие наличие аномалий в скорости бета распадов, сделаны весьма тщательно, но в них не выполнены условия, позволяющие выделить связанные с искомым эффектом небольшие изменения на высоком фоне спонтанных бета распадов. В этой работе, так же, как и в некоторых других [22], [25], исследуется отношение скоростей распада различных нуклидов. Но если поток нейтрино одинаково влияет на скорость распада различных нуклидов, отсутствие вариаций *отношения* активностей не означает отсутствие вариаций активностей *отдельных* радионуклидов.

В работе [25] сделана попытка объяснить обнаруженные вариации сезонными изменениями температуры. Нет сомнения, что непостоянство факторов окружающей среды в той или иной мере влияет на результаты измерений. Возможно, что в некоторых исследованиях, несмотря на принятые меры, влияние этих факторов проявляется. Но важно обратить внимание на то, что нестабильность аппаратуры, воздействие меняющейся температуры, давления, влажности воздуха, фона ионизирующих излучений, электропитания и т.п. очень различны в разных лабораториях. Тем не менее, если эффект удастся обнаружить, его период, фаза и величина при измерениях разных радионуклидов в различных лабораториях с использованием разнотипной аппаратуры, близки [14], [15], [16], [17]. Это указывает на существование нетривиального агента, одинаково влияющего на активность различных бета радионуклидов. Приходящий из Космоса поток нейтрино является наиболее подходящим кандидатом на роль такого агента.

С экспериментами, в которых обнаружены аномалии в процессе бета распадов, можно ознакомиться в

статьях [1-21]. В этой статье будут изложены лишь некоторые результаты, полученные автором.

II. ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТИ БЕТА РАСПАДОВ

Для обнаружения аномалий в ходе радиоактивного распада потребовалось создать комплекс установок, позволяющий получать и непрерывно регистрировать на протяжении многих лет разнообразную информацию [16]. Комплекс состоит из датчиков с источниками питания, термостатов и устройства для длительной непрерывной многоканальной регистрации информации, поступающей от датчиков. Сбор информации производился более чем по 20 каналам. В том числе, собирались данные об основных параметрах окружающей среды. Сопоставление этой информации с результатами измерений радиоактивности позволяет судить о том, являются ли обнаруживаемые эффекты результатом воздействия на аппаратуру изменений в окружающей среде.

Испытание разнообразных детекторов показало, что наиболее подходящими для многолетней регистрации бета частиц являются галогенные счетчики Гейгера, а для альфа частиц полупроводниковые детекторы. Для снижения влияния изменений температуры термостатировались не только детекторы с усилителями сигналов, но и источники питания.

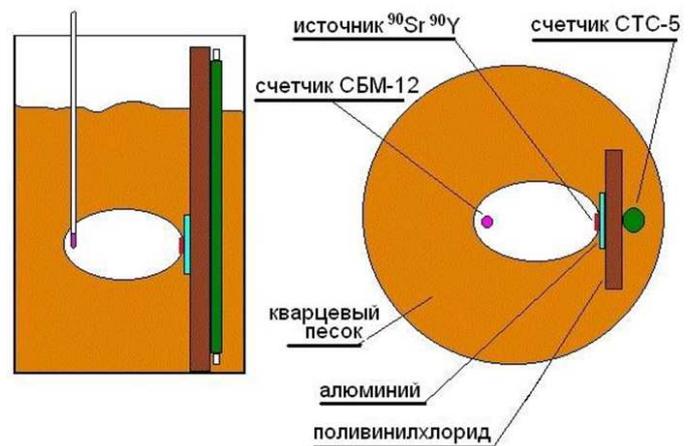


Рис. 1. Установка для долговременного измерения активности бета источника ^{90}Sr ^{90}Y двумя счетчиками. Система термостатирования (датчик температуры, нагреватель, теплоизоляция) на рисунке не показана.

На рис. 1 показано устройство установки, на которой регистрировалось излучение бета источника ^{90}Sr ^{90}Y . Этот источник состоит из двух находящихся в равновесии радионуклидов. ^{90}Sr излучает относительно мягкие бета частицы с максимальной энергией 546 кэВ, а ^{90}Y излучает жесткие частицы с энергией до 2,3 МэВ [30]. Первый счетчик Гейгера типа СБМ-12 находится в воздушной полости на расстоянии 2 см от источника. Второй счетчик Гейгера типа СТС-5 отделен от источника слоем алюминия и поливинилхлорида. Сосуд с

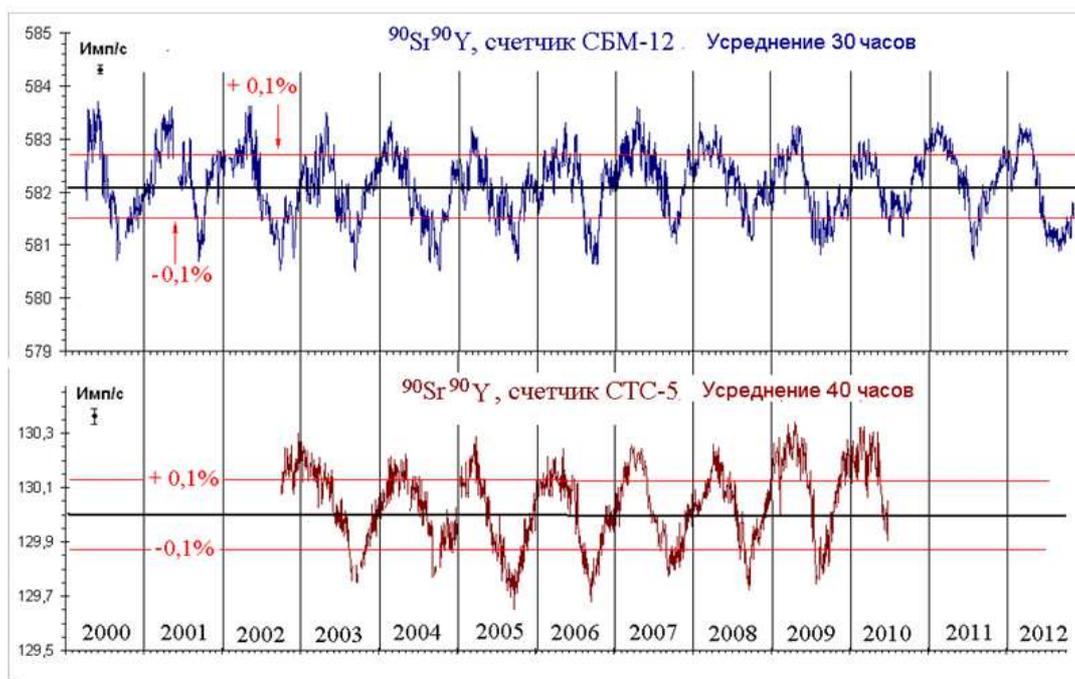


Рис. 2. Результаты измерений активности бета источника ^{90}Sr ^{90}Y двумя счетчиками Гейгера

источником и детекторами заполнен кварцевым песком для исключения влияния на результаты измерений бета частиц, отраженных внешними предметами. Система термостабилизации поддерживает в установке температуру $31 \pm 0,1^\circ\text{C}$. Источники питания счетчиков тоже термостатированы.

Счетчик, находящийся в воздушной полости, регистрирует излучение обоих радионуклидов, а второй, отделенный от источника слоем вещества, поглощающего излучение стронция, регистрирует излучение только иттрия.

На рис. 2 показано, что получилось в результате 12-летних измерений при усреднении, охватывающем более 10 млн. импульсов, с поправкой на экспоненциальный спад активности (период полураспада 28,6 лет). Такое усреднение требуется для того, чтобы колебания стали отчетливо видны на фоне статистических флуктуаций. Величина этих флуктуаций показана около вертикальной шкалы. Красные линии показывают отклонение от среднего на 0,1%. Несмотря на то, что измерения делались счетчиками разных типов и счетчики находились в разных условиях, они регистрируют синфазные колебания скорости счета с амплитудой более 0,1% от средней величины.

На рис. 3 в верхней части показано, как в среднем меняется скорость счета бета источников на протяжении года. Усреднены результаты, полученные в каждый календарный день года на протяжении 7 лет. Видно, что результаты, полученные тремя разными детекторами от двух разных бета источников, в среднем меняются на протяжении года почти одинаково. В то же время основные параметры окружающей среды, которые можно заподозрить в качестве источника нестабиль-

ности регистрирующей аппаратуры – радиационный фон, температура, атмосферное давление, влажность воздуха, ведут себя иначе. Это указывает на то, что здесь наблюдается явление, связанное именно с бета источниками, а не с регистрирующей аппаратурой.

Помимо бета радиоактивности, были проведены долговременные исследования процесса альфа распадов. Для этого альфа источник ^{239}Pu , расположенный рядом с полупроводниковым детектором, вместе с усилителем был размещен в термостате при температуре 18°C . Полученные на протяжении более трех лет результаты показаны на рис. 4. Красные линии показывают отклонение от среднего на 0,1%. Зеленые линии показывают отличие от среднего на 3 стандартных отклонения по Пуассону. Видно, что результаты измерений флуктуируют хаотично. Никаких ритмичностей на уровне сотых долей процента не просматривается.

Большой объем накопленных данных дает возможность применить частотный анализ, что позволяет не только уточнить параметры замеченных годовых ритмов, но и выявить иные периодичности, незаметные на фоне статистических флуктуаций и помех, действующих в случайные моменты времени. В [14], [15], [16], [17] показаны периодограммы результатов измерений скорости счета бета частиц источника ^{90}Sr ^{90}Y . Для анализа применено быстрое преобразование Фурье с последующим пересчетом частоты в периоды. На периодограммах выделяется пик с периодом 1 год (амплитуда 0,13%) и его гармоники (половина, треть, четверть года). В районе околomeсячных периодов видны пики с амплитудой около 0,01%.

Возникает вопрос, с каким из известных ритмов можно связать обнаруженные околomeсячные периодично-

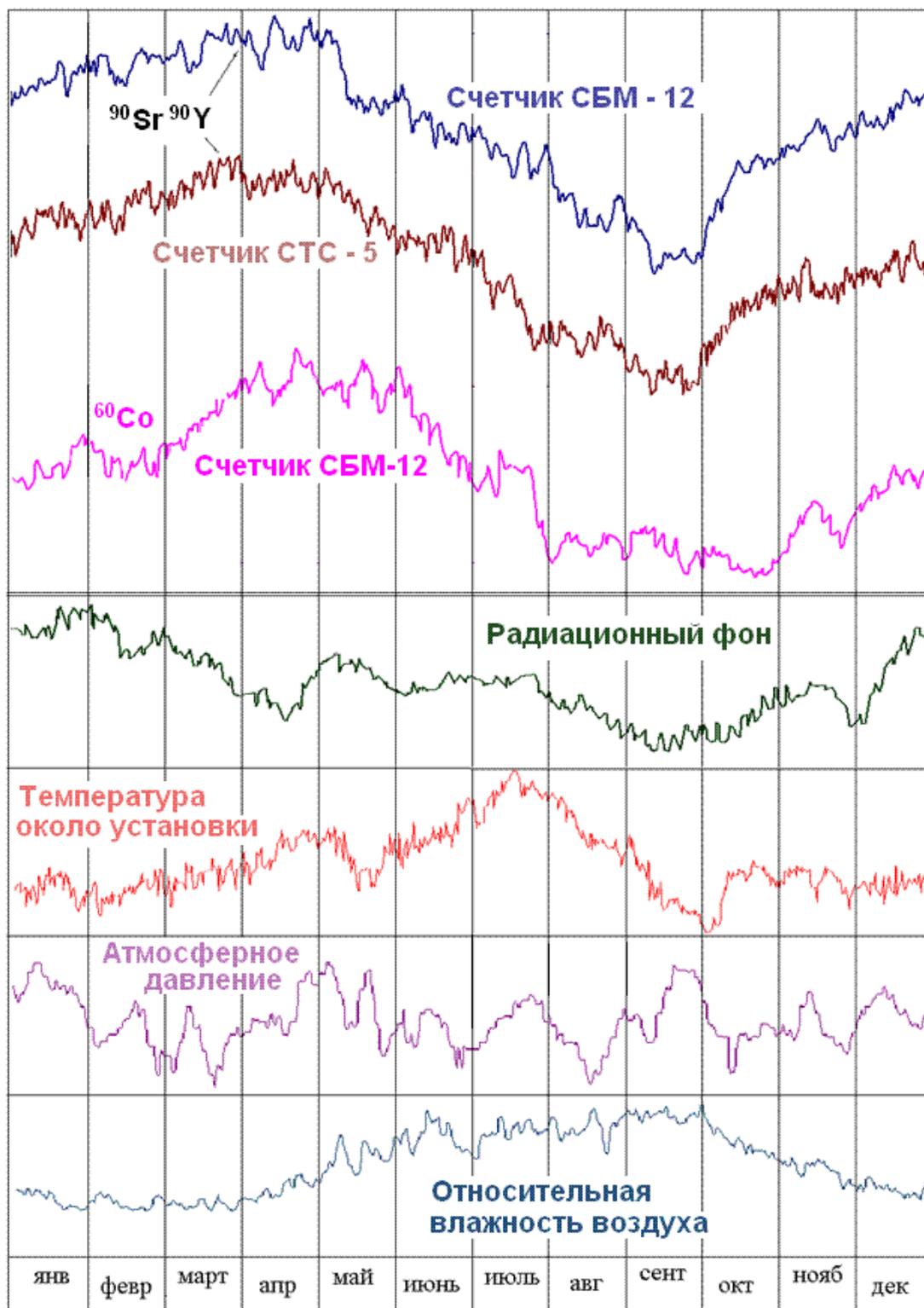


Рис. 3. Усредненный ход скорости счета бета источников, а также основных параметров окружающей среды на годовом периоде. Анализировались данные, полученные с 2003 по 2009 г.

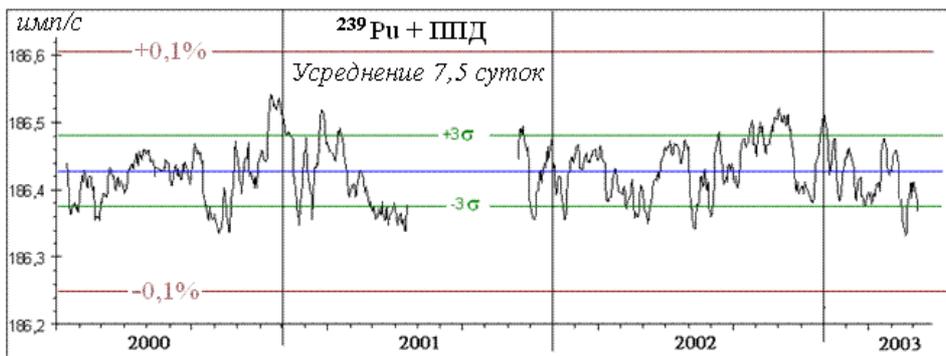


Рис. 4. Результаты продолжительных измерений активности альфа источника ^{239}Pu

сти? С периодом смены лунных фаз, периодом обращения Луны относительно звезд, периодом изменения расстояния до Луны, а может быть, с периодом изменения солнечной активности, связанным с вращением Солнца - который тоже близок к 1 месяцу? Анализ показывает, что наиболее четкое соответствие наблюдается с синодическим лунным месяцем, имеющим средний период 29,5 суток. Это наглядно демонстрирует усреднение результатов измерений радиоактивности ^{90}Sr ^{90}Y по 87 циклам синодического месяца [14], [15], [16], [17]. Скорость счета в новолунии в среднем на 0,02% выше, чем в полнолунии. Без специального анализа такие изменения, в отличие от годовых, совершенно незаметны, и только наложение эпох и усреднение по большому числу циклов позволяет вполне достоверно выявить ритмы столь небольшой амплитуды.

В области более коротких периодов отчетливо заметен пик *солнечно-суточного* периода, около которого видны пики, соответствующие *звездно-суточному* и *лунно-суточному* периодам [14], [15], [16], [17]. Амплитуда околосуточных вариаций не превышает тысячных долей процента от средней величины и, в отличие от вариаций с годовыми и месячными периодами, нельзя с уверенностью утверждать, что они не вызваны полностью или частично температурными влияниями на измерительную аппаратуру.

Подводя итоги этого раздела с учетом результатов, полученных при использовании разнообразных детекторов и радионуклидов [1-19] можно сделать следующие выводы:

- Ритмические изменения характерны для бета распадов и незаметны в альфа распадах.
- Величина обнаруженного эффекта с периодом 1 год около 0,1% от среднего значения, максимумы с января до марта, минимумы с июля до сентября.
- Амплитуды и фазы колебаний скорости бета распадов у радионуклидов с периодами полураспада от 2,6 часов до 300000 лет близки.
- Амплитуда колебаний с периодом около 1 месяца 0,01%.
- Амплитуда колебаний с периодом около суток не превышает тысячных долей процента.

III. КРАТКОВРЕМЕННЫЕ ВСПЛЕСКИ АКТИВНОСТИ БЕТА РАДИОАКТИВНЫХ НУКЛИДОВ

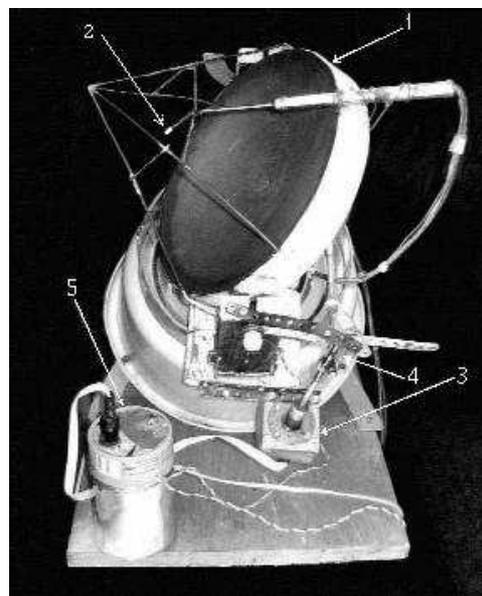


Рис. 5. Телескоп для наблюдения всплесков. 1 – стальное зеркало с параболической поверхностью, 2 – счетчик Гейгера с закрепленным на нем бета источником, 3 – шаговый двигатель, 4 – механизм поворота вокруг оси склонений, 5 – устройство управления шаговым двигателем.

Сильные всплески скорости счета бета частиц были обнаружены при продолжительном сканировании небесной сферы своеобразными телескопами, в которых бета источник расположен в фокусе параболического зеркала. Один из такого рода телескопов, с помощью которого получены наиболее яркие результаты, имеет стальное зеркало с параболической поверхностью диаметром 22 см с фокусным расстоянием 10 см (рис. 5). В фокусе расположен маленький бета источник ^{60}Co , соединенный с миниатюрным счетчиком Гейгера. Подобно астрономическим телескопам, телескоп имеет две оси вращения. Одна параллельна оси Земли. Другая ось перпендикулярна земной оси. Такая конструкция позволяет определять, в какую область небесной сферы телескоп направлен. Подробное

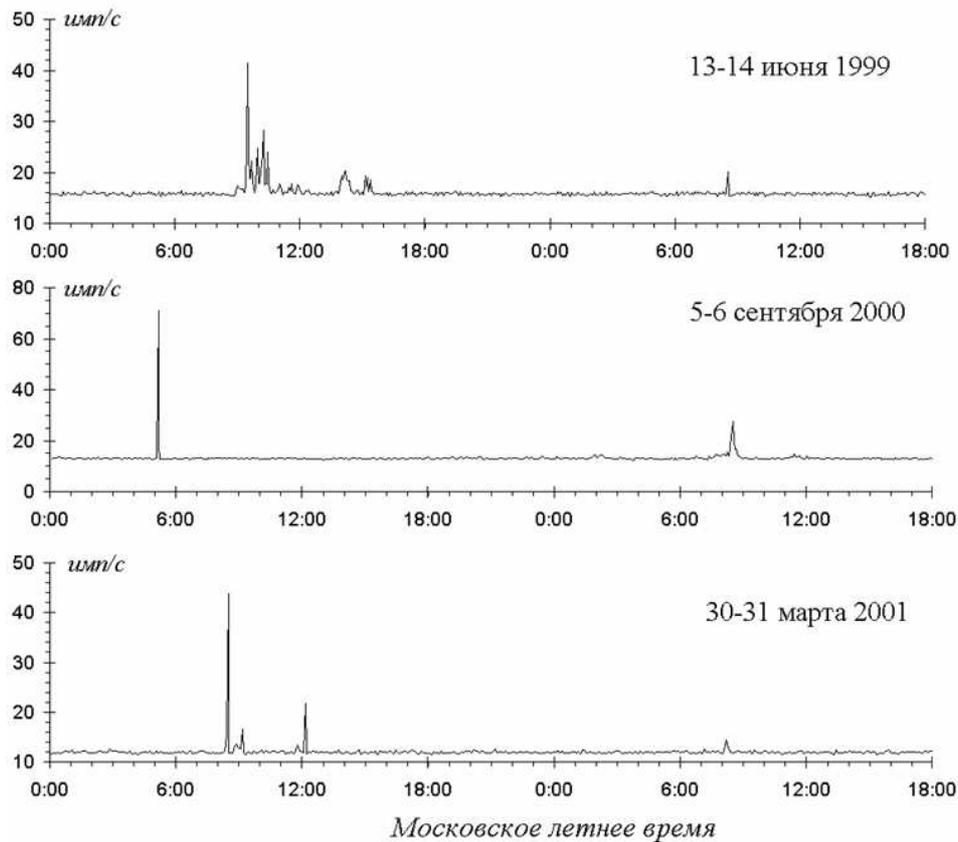


Рис. 6. Примеры записи всплесков скорости счета ^{60}Co , расположенного в фокусе телескопа-рефлектора [16].

описание методики этих экспериментов и полученных результатов можно найти в книге [16] и статье [21].

На первом этапе исследований телескоп был ориентирован в направлении, близком к восточному, при фиксированном наклоне над горизонтом. Вращаясь вместе с Землей, телескоп “просматривал” полосу небесной сферы шириной около 1° . Скорость счета непрерывно регистрировалась компьютером. Астрономические координаты места небесной сферы, на которое в данный момент направлен телескоп (склонение и прямое восхождение), определялись с погрешностью около 1° исходя из наблюдений за движением изображения Солнца. Иногда, с интервалами несколько месяцев, регистрировались всплески скорости счета продолжительностью от нескольких секунд до часа, при которых скорость счета многократно превышала фоновую (рис. 6). Обнаружить эти всплески удалось только благодаря большой длительности почти непрерывных наблюдений, так как общая продолжительность зарегистрированных всплесков не превышала $1/1000$ от времени работы установки.

Результативность наблюдений повысилась до нескольких всплесков в сутки при переходе от одномерного сканирования к двумерному. Для этого телескопу было придано колебательное движение перпендикулярно линии сканирования, связанной с суточным вращением Земли. Амплитуда колебаний

до 40° , “прямой ход” около 10 мин, “обратный ход” около 1 минуты, время начала и конца обратного хода регистрируется компьютером с точной привязкой ко времени, что позволяет определять, в какую точку небесной сферы телескоп “смотрит” в момент регистрации всплеска.

Важные результаты были получены при использовании сцинтилляционного детектора, позволяющего более четко выделять бета частицы с энергией, близкой к максимальной энергии бета спектра [17]. В фокус параболического зеркала был помещен источник ^{90}Sr ^{90}Y . Испускаемые бета частицы регистрировались детектором, состоящим из стильбенового сцинтиллятора и так называемого “кремниевого ФЭУ”. Такой детектор позволяет не только считать частицы, но и определять их энергию. Электронная схема позволяет проводить регистрацию по двум каналам. В первом регистрировались импульсы от частиц почти всего бета спектра. Порог дискриминации во втором канале поднят до величины, при которой скорость счета на три порядка величины меньше скорости счета в первом канале, но намного больше фонового счета без источника. В этом канале регистрировались бета частицы, имеющие энергию вблизи границы бета спектра 2,3 МэВ.

На рис. 7 показан фрагмент записи сигналов в этих двух каналах. В обоих каналах видны совпадающие по времени всплески скорости счета. Причем, величина

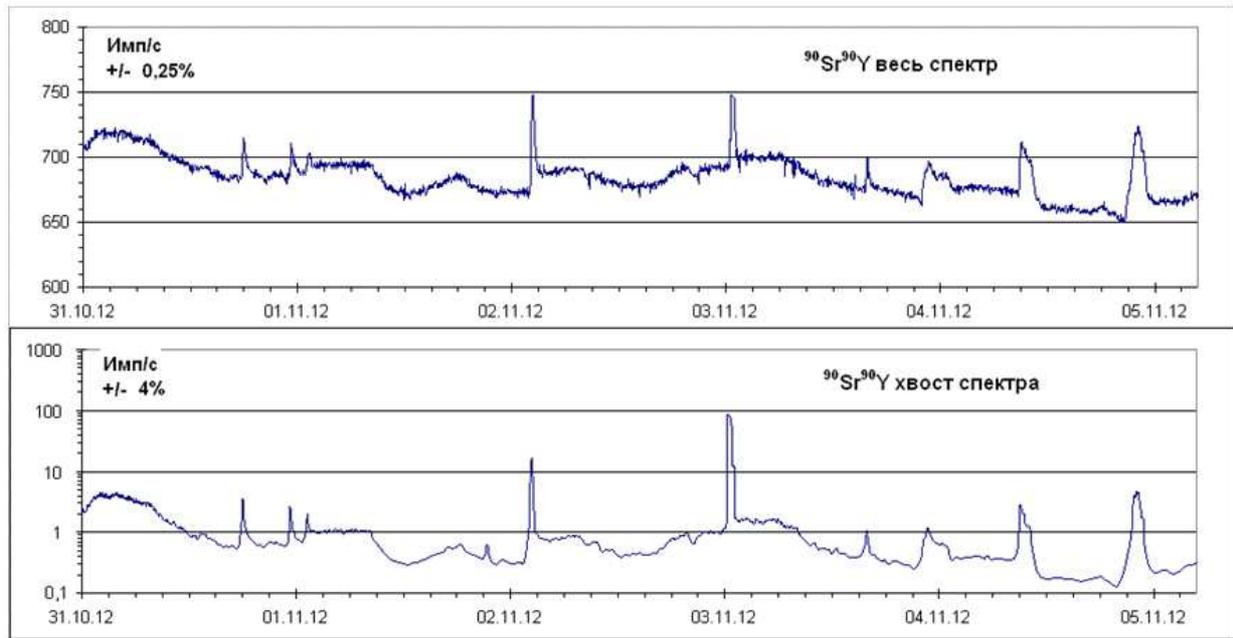


Рис. 7. Сопоставление всплесков скорости счета при различных уровнях дискриминации. По горизонтальной оси даты 2012 г.

этих всплесков в канале, где регистрируются частицы с энергией, близкой к граничной, примерно равна величине всплесков в канале, где регистрируются частицы всего спектра. Это указывает на то, что в ходе исследуемого эффекта возникают частицы, имеющие энергию, близкую к граничной, а не “размазанный” спектр, присущий обычному бета распаду. Таким образом, во время всплесков происходит не интенсификация обычного “прямого” бета распада, а протекает ядерная реакция типа “обратный” бета распад, в результате которой при взаимодействии нейтрино с ядрами возникающие электроны не распределены по спектру, а имеют фиксированную энергию.

Проведенные исследования дают основания для следующих обобщений [16], [17], [21]:

- Динамика всплесков во времени разнообразна. Наиболее простой вид - одиночные всплески продолжительностью несколько секунд. При этом возрастание скорости счета может превышать три порядка. Более длительные события (продолжительностью до нескольких часов) состоят из коротких всплесков различной амплитуды, сложным образом распределенных во времени.
- Число всплесков в сутки и их связь с ориентацией телескопа однозначно не воспроизводятся, хотя в соседние дни иногда наблюдаются всплески в близких районах небесной сферы.
- Распределение по небесной сфере направлений телескопа, при которых зарегистрированы всплески, неравномерное. На разных участках число зарегистрированных событий на квадратный градус различается более чем на 2 порядка.
- Во время всплесков протекает ядерная реакция типа “обратный бета распад”, в результате кото-

рой при взаимодействии нейтрино с ядрами возникающие электроны не распределены по спектру, а имеют энергию, превышающую максимальную энергию бета частиц спонтанных распадов.

IV. ВЛИЯНИЕ МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРИНО НА БЕТА РАДИОАКТИВНОСТЬ

Гипотеза о связи вариаций скорости распада бета источников с нейтрино, возникающими в ядерных процессах на Солнце [7-13], вызывает большое сомнение в связи с чрезвычайной слабостью взаимодействия с веществом нейтрино, возникающими в ядерных реакциях. Впервые на это указали Бете и Пайерлс вскоре после появления гипотезы о нейтрино [31]. Их подход основан на предположении, что вероятности прямых и обратных процессов одинаковы, а размер области взаимодействия соответствует длине волны де-Бройля нейтрино. Считая, что этот подход справедлив не только в релятивистской области, получим формулу

$$\sigma = \lambda^3 / Tv \quad (3)$$

где σ - сечение реакции, λ - длина волны де-Бройля нейтрино, T - среднее время жизни радиоактивных ядер, v - скорость нейтрино. В этой формуле λ^3 - объем, в котором происходит взаимодействие, а Tv - длина, которую проходит нейтрино за время бета процесса, характерное для данного нуклида.

В случае релятивистских нейтрино, с которыми имеют дело в ядерной физике, $\lambda = hc/E$ (h - постоянная Планка, c - скорость света, E - энергия нейтрино), соотношение (3) переходит в формулу

$$\sigma = h^3 c^2 / E^3 T. \quad (4)$$

Подставив в (4) типичные для ядерной физики значения $E = 1 \text{ МэВ}$ ($1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$), $T=1000 \text{ с}$, получим значение $\sigma \sim 6 \cdot 10^{-48} \text{ м}^2$, которое впоследствии было подтверждено экспериментами [32].

Из соотношения (4) следует, что

$$n = N\phi\sigma = N\phi h^3 c^2 / E^3 T = A\phi h^3 c^2 / E^3 \quad (5)$$

где n - число актов обратных бета распадов в секунду, $A = N/T$ - число прямых бета распадов в секунду (активность источника), N - общее число радиоактивных ядер, ϕ - плотность потока нейтрино.

Найдем отношение скорости обратных бета распадов к скорости спонтанной бета радиоактивности $K = n/A$, воспользовавшись соотношением (5):

$$K = \phi h^3 c^2 / E^3 \quad (6)$$

Подставив в (6) плотность потока солнечных нейтрино $\phi \sim 6 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ [32], получим $K \sim 3 \cdot 10^{-30}$. Столь ничтожное изменение активности измерить нереально.

В случае имеющих массу покоя нейтрино очень низких энергий (*реликтовых нейтрино*) $v \ll c$, $\lambda = h/mv$ (m - масса нейтрино) соотношение (3) переходит в формулу

$$\sigma = h^3 / m^3 v^4 T. \quad (7)$$

Так как нейтрино, обладающие очень маленькой кинетической энергией и энергией покоя, не могут дать заметный вклад в энергетику ядерных реакций, они могут реагировать лишь с ядрами, не имеющими энергетического порога. Такие ядра обладают бета радиоактивностью.

Следует заметить, что устоявшийся термин “реликтовые нейтрино” возник в связи с тем, что первоначально наличие во Вселенной огромного числа нейтрино с очень низкими энергиями было предсказано теорией “большого взрыва”. Но нельзя исключить, что могут быть и иные источники таких нейтрино. Для нас важно, что эти частицы имеют массу покоя и скорость движения настолько низкую, что они удерживаются гравитационными полями Галактики, звезд и иных массивных объектов. Поэтому лучше такие частицы называть “медленные нейтрино”. Нельзя исключить также, что аномалии в бета распадах связаны не только с нейтрино, а с иными электронейтральными частицами, способными вступать в слабые взаимодействия. Но мы рассматриваем лишь нейтрино, так как исходное допущение о равной вероятности прямых и обратных бета распадов подразумевает идентичность испускаемых при спонтанных распадах и поглощаемых при обратных бета распадах частиц.

Из соотношения (7) следует, что

$$n = N\phi\sigma = A\phi h^3 / m^3 v^4, \quad (8)$$

где n - число актов обратных бета распадов в секунду, $A = N/T$ число прямых бета распадов в секунду,

N - общее число радиоактивных ядер, ϕ - плотность потока нейтрино.

Найдем отношение скорости обратных бета распадов к скорости спонтанной бета радиоактивности $K = n/A$, воспользовавшись соотношением (8):

$$K = \phi h^3 / m^3 v^4. \quad (9)$$

Важная особенность соотношения (9) - независимость от среднего времени жизни ядер T (или периода полураспада ядер $T_{1/2} = 0,693T$). Любые бета радиоактивные источники, находясь в одинаковом потоке медленных нейтрино, приобретают одинаковое относительное увеличение активности. Если при своем движении Земля проходит области с различной скоростью и плотностью потока нейтрино, должны происходить одинаковые относительные изменения активности различных бета источников.

Эти расчеты не претендуют на точность, но наглядно показывают, что нейтринные потоки могут быть вполне ощутимым космическим агентом. В дальнейшем мы будем считать, что агентом, вызывающим дополнительные бета распады, являются нейтрино, движущиеся в гравитационном поле Галактики. Помимо галактических нейтрино, по-видимому, на бета радиоактивность могут влиять нейтринные потоки, движущиеся в околосолнечных и околосолнечных гравитационных полях [33]. Но оценка их влияния на радиоактивность пока проблематична.

Соединив результаты астрономических наблюдений с соотношением (9), можно сделать оценку плотности потока нейтрино, вызывающих периодические изменения скорости бета распадов. Величина эффекта сильно зависит от скорости ($\sim 1/v^4$). Это обстоятельство является основной причиной колебаний с периодом 1 год.

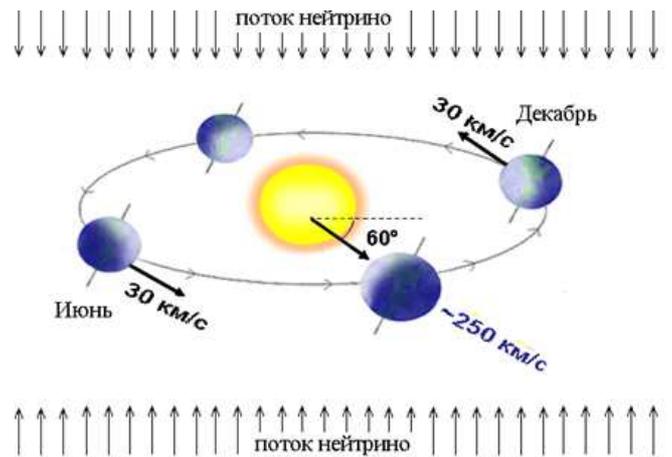


Рис. 8. Движение системы Солнце - Земля в потоке галактических нейтрино.

Скорость приходящего к Солнечной системе нейтринного потока суммируется со скоростью орбитального движения Земли вокруг Солнца. Согласно [16],

[33], в районе Солнечной системы потоки темной материи, включая нейтрино, преимущественно движутся как к центру Галактики, так и от центра со скоростью около $3 \cdot 10^5$ м/с. Солнечная система движется со скоростью около $2,5 \cdot 10^5$ вокруг центра Галактики по орбите, близкой к круговой (рис. 8). Скорость движения Земли вокруг Солнца $3 \cdot 10^4$ м/с. Исходя из этих данных, можно рассчитать, что скорость встречи Земли с потоком галактических нейтрино меняется на протяжении года от $V_{min} = 3,7 \cdot 10^5$ до $V_{max} = 4,1 \cdot 10^5$ м/с.

При изменении скоростей от V_{min} до V_{max} возрастание активности за счет обратного бета распада меняется на $\Delta K = \frac{\phi h^3}{m^3}(V_{min}^{-4} - V_{max}^{-4}) = 2a$, где a – амплитуда относительного изменения активности. Отсюда следует, что

$$\phi = \frac{2am^3}{h^3(V_{min}^{-4} - V_{max}^{-4})}. \quad (10)$$

В работах [1-18] обнаружено изменение скорости счета бета частиц с годичным периодом величиной до 0,3%. Эти результаты доказывают существование вариаций, но они не позволяют судить о величине a , так как были получены при сильном подавлении бета частиц спонтанного распада. Прецизионные измерения с регистрацией всех или большей части бета распадов [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29] не выявили вариаций с амплитудой больше 0,01%. Положив $a = 0,0001$, мы сможем оценить верхнюю границу величины ϕ .

В настоящее время нет точных данных о массе электронного нейтрино (антинейтрино). Разнообразные эксперименты и астрономические наблюдения указывают, что она не превышает 1 эВ [32]. Соотношение (10), если принять $a = 0,0001$, $m=1$ эВ, $V_{min} = 3,7 \cdot 10^5$ м/с и $V_{max} = 4,1 \cdot 10^5$ м/с, дает $\phi = 3 \cdot 10^{10}$ м⁻²с⁻¹. Такая плотность потока соответствует массовой плотности $\rho = \phi m/v = 1,3 \cdot 10^{-31}$ кг/м³, что не противоречит астрономическим данным [16], [33], [32].

Обратим внимание на то, что длина волны де-Бройля $\lambda = h/mv$ медленных нейтрино с массой 1 эВ, движущихся в Галактике со скоростью около $4 \cdot 10^5$ м/с относительно земного наблюдателя, имеет величину порядка 1 мм. Это означает, что область взаимодействия охватывает огромное число атомов ($\sim 10^{20}$ в конденсированном веществе), в отличие от релятивистских нейтрино, которые взаимодействуют лишь с одной частицей. Это является главной причиной радикального увеличения эффективности взаимодействия нейтрино с веществом при очень низких энергиях. Другой причиной является то, что скорость движения невелика, в результате чего продолжительность контакта нейтрино с каждой частицей вещества становится намного больше, чем в случае “ядерных” нейтрино, движущихся со скоростью близкой к скорости света. Взаимодействие медленных нейтрино с веществом подобно взаимодействию света с прозрачной средой [16]: происходит преломление, отражение, рассеяние на неоднородностях

практически без энергообмена. Поглощение возможно лишь при взаимодействии с бета радиоактивными ядрами. Кроме того, в потоках медленных нейтрино возможна интерференция и дифракция.

Если поверхность раздела сред достаточно гладкая (неровности меньше длины волны), преломление и отражение происходит по законам геометрической оптики, что делает возможной фокусировку линзами или зеркалами. Это обстоятельство позволяет создать телескопы для медленных нейтрино, используя зеркала с вогнутой параболической поверхностью с размещенным в фокусе бета источником. Преимущество зеркал перед линзами состоит в одинаковом положении фокуса для любого фокусируемого агента. Коэффициенты отражения и преломления влияют лишь на степень усиления плотности потока в фокусе χ .

Для телескопов диаметром D и фокусным расстоянием f при действии мононаправленного агента, имеющего длину волны λ , $\chi = 0.14kD^4/f^2\lambda^2$, где k – коэффициент, учитывающий потери при отражении от зеркал или в результате поглощения в линзах. Телескоп, упомянутый в предыдущем разделе, имеет диаметр 22 см и фокусное расстояние 10 см. Для такого телескопа при $\lambda = 1$ мм $\chi = 3,3 \cdot 10^5 k$. Величина k неизвестна. Но ясно, что телескоп дает большое усиление даже при очень слабом отражении от зеркала. Например, при $k = 0,01$ $\chi = 3300$.

Телескопы имеет смысл использовать лишь в том случае, если регистрируемый агент является узко направленным. Наличие узко направленных пучков в потоках медленных нейтрино связано с влиянием на их движение гравитационных полей. Траектории движения медленных нейтрино, так же как и других объектов темной материи, не отличаются от траекторий любых других космических объектов (звезд, планет, астероидов, космической пыли и т.п.) и могут быть рассчитаны обычными методами небесной механики с учетом квантовых эффектов при высокой концентрации частиц. На потоки, связанные с орбитальными движениями, накладываются явления, связанные с гравитационной фокусировкой потоков при прохождении их мимо небесных тел. Сущность эффекта гравитационной фокусировки состоит в том, что траектории частиц, пролетающих мимо массивного тела, например звезды, изгибаются к оси, соединяющей центр гравитирующего тела и наблюдателя. Величина изгиба зависит от расстояния траектории до центра гравитации. Существует такое расстояние, при котором изогнувшаяся траектория попадает точно в наблюдателя. Все частицы, проходящие на таком расстоянии от центра гравитации, “схлопываются” в точке наблюдения, в результате чего плотность потока резко возрастает. При гравитационной фокусировке могут концентрироваться даже потоки с “размытым” угловым распределением, образуя почти мононаправленные пучки с высокой плотностью потока [16], [33].

Этот эффект аналогичен хорошо известному гравитационному линзированию света. Но в связи с тем, что скоро-

сти частиц темной материи (включая нейтрино) много меньше скорости света, их фокусировка гравитационными полями небесных тел происходит несравненно сильнее. Поскольку гравитационная фокусировка происходит при вполне определенном взаимном положении фокусирующего небесного тела и мишени, которые находятся в движении, этот эффект должен наблюдаться в виде всплесков. Именно такой характер сигналов наблюдался при работе с такого рода телескопами, в частности, с телескопом, описанным в предыдущем разделе этой статьи. Сильные всплески, при которых скорость счета бета частиц возрастала на 2 - 3 порядка величины, регистрировались довольно редко (в лучшем случае, несколько раз в сутки) в непредсказуемые моменты времени (см. рис. 6 и 7). Но, помимо этого, были зарегистрированы события, которые произошли в предсказанное время при направлении телескопа в заданный район небесной сферы.

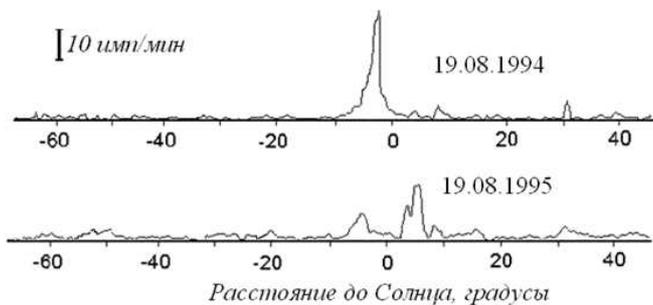


Рис. 9. Фрагменты записи сигнала при сканировании полосы небесной сферы со склонением от 12 до 15 градусов 19 августа 1994 г. и 19 августа 1995 г. В эти дни звезда ν Leo проходила от центра Солнца на расстоянии 5' [16], [17].

Замысел этого эксперимента опирался на идею о гравитационной фокусировке потоков медленных нейтрино некоторой звездой и вторичной фокусировке Солнцем. Наблюдать этот эффект можно в том случае, если звезда, центр Солнца и наблюдатель, находящийся на Земле, находятся на одной прямой, т.е. происходит соединение звезды и Солнца. Тесные соединения Солнца с не слишком далекими звездами – довольно редкие события, время которых несложно определить, используя астрономические атласы. Например, 19 августа каждого года звезда ν Leo проходит на расстоянии 5 угловых минут от центра Солнца. 19 августа 1994 г. телескоп был ориентирован таким образом, чтобы трасса сканирования небесной сферы проходила через Солнце. Когда телескоп оказался направленным на область вблизи Солнца, был зарегистрирован сильный всплеск скорости счета. Аналогичный всплеск был зарегистрирован ровно через год (рис. 9). Подобные всплески были зарегистрированы 1 и 28 августа 1994 г., когда происходили тесные соединения с Солнцем звезд δ Спс и 45 Leo, а также многократно 29 и 30 июля 1994 г., когда солнечный диск проецировался на рассеянное звездное скопление M44 [16]. В другие дни значительных всплесков скорости счета при

сканировании околосолнечной области небесной сферы обнаружено не было.

V. ВЫВОДЫ

В различных экспериментах обнаружены периодические изменения скорости счета бета-частиц с амплитудой до десятых долей процента. Однако такие вариации могут быть обнаружены только при преобладающей регистрации частиц с энергией около максимальной энергии бета-спектра. Это указывает на то, что наблюдаемые колебания скорости счета связаны с действием потоков нейтрино. Об этом также свидетельствует отсутствие подобных аномалий в альфа распадах, в которых нейтрино не участвует. Эксперименты, в которых регистрируется большинство частиц бета спектра, не показывают периодических отклонений от обычного бета-распада более 0,01%. Это указывает на то, что периодические аномалии не превышают 1/10000 от средней скорости бета-распада. Краткосрочные всплески скорости счета бета частиц можно наблюдать при размещении радиоактивного источника в фокусе вогнутого параболического зеркала. Эти всплески могут сильно превышать нормальную скорость счета. Энергия регистрируемых частиц, как и в случае периодических аномалий, близка к максимальной энергии спектра спонтанных бета-распадов. В отличие от гипотезы о влиянии на бета радиоактивность солнечных нейтрино, предположение о возможном участии космических медленных нейтрино в процессе бета распада позволяет, не выходя за рамки существующих научных знаний, комплексно объяснить не только периодические и спорадические изменения скорости бета распадов, но и ряд других связанных с бета радиоактивностью явлений, например, непонятные результаты, полученные при измерении массы нейтрино путем исследования бета распада трития [15], [17], [34]. Важно отметить, что гипотеза о влиянии медленных нейтрино на бета распада дает экспериментально проверяемые прогнозы, некоторые из которых уже подтверждены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] H. Siegert, H. Shrader, U. Schotzis. Half-life Measurements of Europium Radionuclides and the Long-term Stability of Detectors. *Appl. Radiat. Isot.*, 49:1397–1401, 1998.
- [2] А.Г. Пархомов. Исследование неслучайных вариаций результатов измерений радиоактивности. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов, т. 3, М.: Янус-К, 2002 с. 607-612.
- [3] K.J. Ellis. The effective half-life of a broad beam $^{238}\text{PuBe}$ total body neutron irradiator. *Phys. Med. Biol.*, 35(8):1079–1088, 1990.
- [4] D.E. Alburder, G. Harbottle, E.F. Norton. Half-life of ^{32}Si , Earth and Planet. *Sci. Lett.*, 78:169, 1986.
- [5] А.Г. Пархомов. Researches of alpha and beta radioactivity at long-term observations, arXiv:1004.1761v1 [physics.gen-ph] (2010).
- [6] P.A. Sturrock, A.G. Parkhomov, E. Fischbach, J. H. Jenkins. Power Spectrum Analysis of LMSU Nuclear Decay-Rate Data. *Astropart. Phys.*, 35:755–758, 2012.
- [7] J.H. Jenkins, et al. Evidence of correlations between nuclear decay rates and Earth-Sun distance. *Astropart. Phys.*, 32:42–46, 2009.

- [8] P.A. Sturrock, J.B. Buncher, E. Fischbach et al. Power Spectrum Analysis of Physikalisch-Technische Bundesanstalt Decay-Rate Data: Evidence for Solar Rotational Modulation, arXiv:1010.2225v1 [astro-ph.SR] (2010).
- [9] J.H. Jenkins et al. Evidence for Correlations Between Nuclear Decay Rates and Earth-Sun Distance, arXiv:0808.3283v1 [astro-ph] (2008).
- [10] J.H. Jenkins et al. Additional experimental evidence for a solar influence on nuclear decay rates, arXiv:1207.5783v1 [nucl-ex] (2012).
- [11] H. Schrader. Seasonal variations of decay rate measurement data and their interpretation. *Applied Radiation and Isotopes*, 114:202–213, 2016.
- [12] P.A. Sturrock, et al. Comparative study of beta-decay data for eight nuclides measured at the Physikalisch-Technische Bundesanstalt. *Astropart. Phys.*, 59:47–58, 2014.
- [13] E.D. Falkenberg. Radioactive decay caused by neutrinos? *Apeiron*, 8 (2) (2001) 32-45.
- [14] A.G. Parkhomov. Periods Detected During Analysis of Radioactivity Measurements Data, arxiv:1012.4174v1 [physics.gen-ph] (2010).
- [15] A.G. Parkhomov. Deviations from beta radioactivity exponential drop. *J. Mod. Phys.*, 2:1310–1317, 2011.
- [16] А.Г. Пархомов. *Космос. Земля. Человек. Новые грани науки*. Наука, М., 2009. 272 с.
- [17] А.Г. Пархомов. Исследование альфа и бета радиоактивности при многолетних измерениях. Презентация доклада на семинаре ИЯИ РАН. <http://www.inr.ru/rus/kud-sem/parkhomov-18-02-13.pdf>.
- [18] A.G. Parkhomov. Influence of Relic Neutrinos on Beta Radioactivity, arXiv:1010.1591v1 [physics.gen-ph] (2010).
- [19] J.H. Jenkins, E. Fischbach. Perturbation of nuclear decay rates during the solar flare of 2006 December 13. *Astropart. Phys.*, 31:407–411, 2009.
- [20] A.G. Parkhomov. Effect of radioactivity decrease. Is there a link with solar flares? arXiv:1006.2295v1 [physics.gen-ph] (2010).
- [21] A.G. Parkhomov. Bursts of Count Rate of Beta-Radioactive Sources during Long-Term Measurement. *International Journal of Pure and Applied Physics*, 1(2):119–128, 2005.
- [22] E.B. Norman, E. Browne, H.A. Shugart, T.H. Joshi, R.B. Firestone. Evidence against correlations between nuclear decay rates and Earth-Sun distance. *Astropart. Phys.*, 31:135–137, 2009.
- [23] P.S. Cooper. Searching for modifications to the exponential radioactive decay law with the Cassini spacecraft. arXiv:0809.4248v1 [astro-ph] (2008).
- [24] E. Bellotti, C. Brogini, G. Di Carlo, et al. Search for correlations between solar flares and decay rate of radioactive nuclei. *Physics Letters B*, 720:116–119, 2013.
- [25] T.M. Semkow, et al. Oscillations in radioactive exponential decay. *Physics Letters B*, 675:415–419, 2009.
- [26] S. Pommé, H. Stroh, J. Paepen et al. Evidence against solar influence on nuclear decay constants. *Physics Letters B*, 761:281–286, 2016.
- [27] S.D. Bergeson, J. Peatross, M.J. Ware. Precision long-term measurements of beta-decay-rate ratios in a controlled environment. *Physics Letters B*, 767:171–176, 2017.
- [28] E. Bellotti, et al. Precise measurement of the ^{222}Rn half-life: A probe to monitor the stability of radioactivity. *Physics Letters B*, 743:526–530, 2015.
- [29] E. Bellotti, C. Brogini, G. Di Carlo, M. Laubenstein, R. Menegazzo. Search for time modulations in the decay constant of ^{40}K and ^{226}Ra at the underground Gran Sasso Laboratory. arXiv:1802.09373v1 [nucl-ex] (2018).
- [30] *Таблицы физических величин. Под ред. И.К.Кикоина*. Атомиздат, М., 1976. 958 с.
- [31] H. Bethe, R. Peierls. The 'neutrino'. *Nature*, 133.3362:532, 1934.
- [32] C. Giunti, C. W. Kim. *Fundamentals of neutrino physics and astrophysics*. Oxford University Press, Oxford, 2007.
- [33] А.Г. Пархомов. Распределение и движение скрытой материи. - М.: МНТЦ ВЕНТ, 1993, 76 с. http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/parkhomov_gaspredelenie.pdf.
- [34] В.М. Лобашев и др. Измерение массы нейтрино в бета-распаде трития. *Вестник РАН*, 73(1):14–27, 2013.