

ВЛИЯНИЕ РЕЛИКТОВЫХ НЕЙТРИНО НА БЕТА РАДИОАКТИВНОСТЬ

А.Г. Пархомов
www.chronos.msu.ru

Представлены результаты расчетов распределения и движения темной материи. Рассмотрение *нейтрино* как одного из компонентов темной материи с учетом особенностей взаимодействия медленных нейтрино с веществом приводит к выводу о том, что они могут вполне ощутимо проявлять себя не только в глубинах Вселенной, но и на Земле. Представлены экспериментальные результаты, подтверждающие предсказанные эффекты: ритмические изменения бета радиоактивности и всплески бета радиоактивности источника, размещенного в фокусе параболического зеркала. На основе данных, полученных из астрономических наблюдений, сделана оценка массы частицы, влияющей на бета радиоактивность (около 20 эВ), и плотности их потока (около 10^{13} частиц/см²с). Обсуждается отличие полученного значения массы от ограничения на массу нейтрино 2 эВ, установленного в экспериментах с тритием.

Темная материя состоит из субстанции, находящейся в рассеянном состоянии, очень слабо взаимодействующей с веществом и поэтому крайне трудно обнаруживаемой [1]. Проявляется она влиянием гравитации скрытой от непосредственных наблюдений массы на движение объектов, доступных астрономическим наблюдениям. Частицы темной материи должны иметь отличные от нуля массы, так как концентрироваться в гравитационных полях галактик и звезд могут только объекты, имеющие скорость не выше тысячных долей от скорости света. Летящие со скоростью света безмассовые частицы (например, фотоны) могут дать лишь практически равномерный фон, не проявляющий себя гравитационно.

Темная материя многокомпонентна, ее изучение в значительной мере находится на уровне гипотез. В настоящее время преобладает точка зрения, что основным компонентом темной материи являются гипотетические частицы, предсказанные теорией "великого объединения" и квантовой хромодинамикой. Экспериментальных доказательств существования этих частиц не получено. И только один из возможных компонентов темной материи «освоен» современной наукой – нейтрино, которые образовались в самом начале формирования вселенной («реликтовые нейтрино») [1,2,23]. Энергия этих нейтрино столь мала, что при наличии у них даже очень маленькой массы скорость их движения много меньше скорости света. Поскольку нельзя исключить иные механизмы появления в Космосе нейтрино очень низких энергий, этим объектам лучше дать общее название «медленные нейтрино», подчеркивающее их наиболее важное отличие от релятивистских нейтрино, возникающих при β распадах и ядерных реакциях. Считается, что на нейтрино приходится около 1 % скрытой массы. Но и это очень много. Достаточно сказать, что, по оценкам космологов, число реликтовых нейтрино превосходит число атомов во Вселенной примерно в миллиард раз.

Несмотря на малопонятность состава темной материи, имеющихся астрономических данных достаточно для расчета ее распределения и движения. Рассмотрение *нейтрино* как одного из компонентов темной материи с учетом особенностей взаимодействия медленных нейтрино с веществом приводит к выводу о том, что они могут вполне ощутимо проявлять себя не только в глубинах Вселенной, но и на Земле. Получены экспериментальные результаты, подтверждающие предсказанные эффекты.

Распределение и движение темной материи

Темная материя может находиться в гравитационно-связанных системах в "размазанном" по космическому пространству состоянии лишь при условии ее движения с вполне определенными скоростями. Поскольку в настоящее время нет оснований для сомнения в универсальности законов гравитации, разумно предположить, что траектории движения объектов темной материи, независимо от их природы, 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. Такие расчеты содержатся в книгах [3,4]. Сделаны такие выводы.

Объекты темной материи являются членами той же иерархической последовательности гравитационно-связанных систем, что и наблюдаемые объекты: земной, солнечной, звездного скопления, галактики, скопления галактик. Земную поверхность достигают потоки темной материи каждой из этих систем. Для каждой из этих систем характерны свои скорости движения. У поверхности Земли скорости лежат в нескольких зонах в диапазоне от 7,9 до нескольких тысяч км/с (рис.1). Угловые распределения для каждой из зон различны. *Внегалактические* частицы, по-видимому, приходят со всех направлений с примерно равной вероятностью (за исключением небольшой околосолнечной области). Больше всего *галактических* частиц приходит из двух областей в созвездиях Орла и Персея, а также из околосолнечной области. Частицы, движущиеся *по орбитам в Солнечной системе*, приходят из областей, движущихся вслед за Солнцем вдоль эклиптики. Потоки частиц, движущихся *по орбитам в системе Земля-Луна*, зависят не только от взаимного положения Земли, Луны и Солнца, но и от рассеяния их в Земле и поэтому имеют очень сложную пространственно-временную изменчивость.

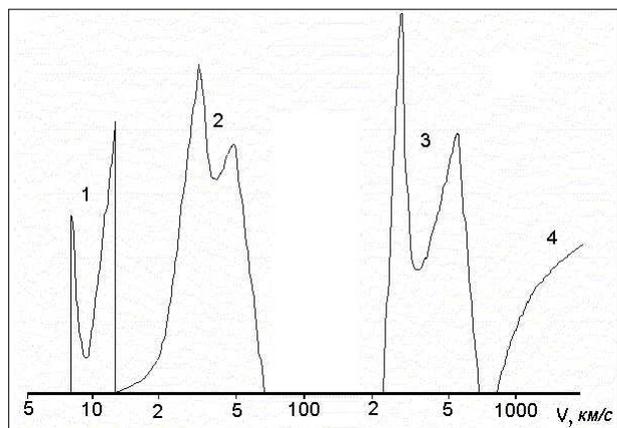


Рис.1. Вид распределения плотности потока темной материи по скоростям встречи с поверхностью Земли [3]. 1 – околосолнечные потоки, 2 – потоки Солнечной системы, 3 – галактические потоки, 4- внегалактические потоки

На потоки, связанные с орбитальными движениями, накладываются явления, связанные с гравитационной фокусировкой потоков темной материи при прохождении их мимо небесных тел. Этот эффект аналогичен хорошо известному гравилинзированию света. Но в связи с тем, что скорости частиц темной материи много меньше скорости света, их фокусировка гравитационными полями небесных тел происходит несравненно сильнее. 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. Гравитационная фокусировка *не меняет* общее число частиц, а только перераспределяет их, увеличивая плотность потока в центральной угловой области за счет ослабления на периферии. Поэтому для обнаружения сфокусированных потоков необходимы инструменты (своеобразные телескопы), обладающие достаточно хорошим угловым разрешением, так как усреднение,

охватывающее вместе с областью повышенной плотности потока окружающую область пониженной плотности, резко снижает величину эффекта. 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 различной длительности.

Результаты расчета коэффициентов усиления потока галактических частиц типичными космическими объектами при угловом разрешении телескопа 1" приведены в таблице 1. Интересно, что самыми "яркими", наиболее эффективно фокусирующими объектами являются самые трудно наблюдаемые оптическими методами небесные тела: нейтронные звезды, белые карлики, черные дыры. Самая яркая планета Венера является плохим усилителем, но зато далекая планета Нептун по "яркости" превосходит Солнце, невидимый глазом белый карлик Сириус В в потоках галактических частиц многократно превосходит ярчайшую звезду Сириус А.

Таблица 1. Коэффициенты усиления при гравитационной фокусировке изотропного потока частиц некоторыми космическими объектами при скорости частиц 300 км/с [3]

Солнце	нормальная звезда	$3,3 \cdot 10^4$
Юпитер	планета	$1,6 \cdot 10^4$
Сатурн	планета	$1,2 \cdot 10^4$
Нептун	планета	$1,0 \cdot 10^5$
Венера	планета	6
Бетельгейзе	звезда-сверхгигант	$2,4 \cdot 10^7$
Сириус А	нормальная звезда	$5,6 \cdot 10^{10}$
Сириус В	белый карлик	$4,0 \cdot 10^{11}$
NP 0531	нейтронная звезда	$1,6 \cdot 10^{11}$
Лебедь X1	черная дыра	$4,0 \cdot 10^{11}$
M5	шаровое звездное скопление	$1,6 \cdot 10^{11}$

У гравитационной фокусировки есть еще одно важное свойство. Если фокусирующее тело движется в направлении перпендикулярном оси, соединяющей тело и наблюдателя, сфокусированный поток воспринимается как две дуги (а при достаточно большой скорости - как две точки). Причем, одна из них видна вблизи того места, где звезда находилась во время прохождения мимо нее потока, т.е. много тысячелетий назад. Другая точка видна вблизи того места, где звезда находится, когда сфокусированные звездой частицы достигают наблюдателя, т.е. в том самом месте, где звезда была бы видна, если бы сигнал распространялся мгновенно [5].

Здесь уместно напомнить об удивительных результатах, полученных Н.А.Козыревым. Козырев наблюдал звезды при помощи телескопа - рефлектора, в фокусе которого находился особый датчик, нечувствительный к свету [6]. Козырев утверждал, что в таком телескопе движущиеся звезды видны в трех положениях, причем одно из них соответствует месту, где они находятся не в момент испускания света, а в момент наблюдения. Отсюда был сделан вывод о том, что регистрируется сигнал, распространяющийся мгновенно. Но полученный результат можно объяснить и иным, не посягающим на устоявшиеся физические принципы способом, если предположить, что Козырев регистрировал поток темной материи, сфокусированный гравитационным полем движущихся звезд [5].

Свойства нейтрино как компонента темной материи

Из всех "освоенных" современной наукой элементарных частиц только нейтрино годятся на роль одной из компонент темной материи. Может ли нейтрино быть частицей, которая ощутимо влияет на радиоактивность или на ход каких-то иных процессов? На первый взгляд, эта идея кажется абсурдной, так как за нейтрино укрепилась слава самой неуловимой частицы. Но эта "неуловимость" присуща нейтрино, имеющим энергию порядка 1 МэВ и выше, возникающим в β распадах и ядерных реакциях. Нейтрино темной материи имеют энергию на 10 порядков ниже и скорость много меньше скорости света, поэтому свойства, обнаруженные у нейтрино высоких энергий, нельзя переносить на нейтрино, входящие в темную материю. Это примерно то же самое, что свойства гамма-излучения приписывать радиоволнам, а свойства α частиц – жидкому гелию.

Коренное отличие состоит в том, что поток медленных нейтрино обладает ярко выраженными волновыми свойствами, причем длина волны имеет макроскопическую величину, вплоть до нескольких миллиметров. Этот вывод следует из оценки длины волны де-Бройля [3]. Такие нейтрино взаимодействуют не с единичными ядрами или электронами, а одновременно с огромным их числом, что радикально увеличивает эффективность взаимодействия [7,8,22]. Взаимодействие таких нейтрино с веществом подобно взаимодействию света с прозрачной средой: происходит преломление, отражение, рассеяние на неоднородностях с передачей импульса, но практически без энергообмена. Если поверхность раздела сред достаточно гладкая, преломление и отражение происходит по законам геометрической оптики, что делает возможной фокусировку линзами или зеркалами. Другой способ фокусировки может быть основан на явлении интерференции.

Итак, плотность потока нейтрино темной материи может резко возрасть во время всплесков, связанных с гравитационной фокусировкой, и, кроме того, ее можно дополнительно увеличить, используя линзы, зеркала или дифракционные устройства. Но достаточно ли этого, чтобы хотя бы во время всплесков нейтрино могли себя проявить ощутимо? Наиболее надежный способ детектирования *именно нейтрино*, а не чего-либо иного основан на ядерных реакциях обратного β -распада



Этот способ применяется для регистрации электронных нейтрино и антинейтрино с энергиями около 1 МэВ и выше [9]. Реакции обратного β распада со стабильными нуклидами неизбежно имеют энергетический порог. Понятно, что нейтрино (антинейтрино), имеющие близкую к нулю кинетическую энергию и очень малую энергию покоя, не могут вступать в ядерную реакцию обратного β распада со стабильными нуклидами. В этом случае в качестве мишени необходимо использовать β радиоактивные нуклиды, у которых энергетический порог отсутствует. При действии на β радиоактивные ядра потоков нейтрино очень низких энергий дополнительно к непрерывному спектру спонтанно испускаемых β частиц появляются моноэнергетические электроны с энергией, превышающей границу β спектра на величину, эквивалентную массе нейтрино (рис. 2).

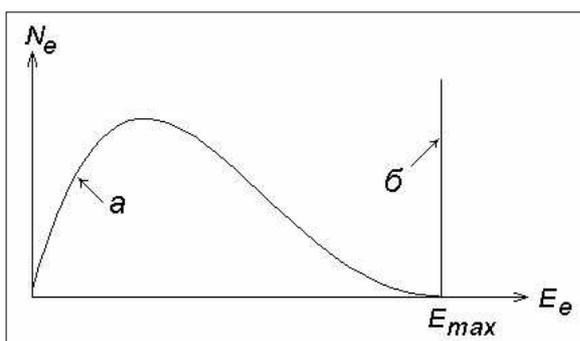


Рис. 2. Спектры электронов (позитронов) прямого (а) и обратного (б) β – распадов, вызванного низкоэнергетичными нейтрино. N_e – число испущенных электронов (позитронов), E_e – энергия электронов (позитронов), E_{max} – максимальная энергия β спектра

Используя детектор с достаточно хорошим энергетическим разрешением и амплитудный дискриминатор, эти электроны

можно регистрировать отдельно от β частиц спонтанного распада.

Привычное отношение к нейтрино как к неуловимой частице внушает мысль о крайней сложности практической реализации этого метода для регистрации нейтрино темной материи. Однако, теоретическое рассмотрение [3] показывает, что эффект от космических потоков медленных нейтрино может быть вполне ощутимым. Даже простое применение тех же приемов, которые приводят к исчезающе малым сечениям взаимодействия с веществом у нейтрино «ядерных» энергий, показывает, что эффект от космических потоков медленных нейтрино темной материи может быть значительным.

Воспользуемся подходом, использованным Бете и Пайерлсом [10] для определения вероятности инициируемых нейтрино реакций обратного β распада, который позволил впервые дать правильную оценку сечения этой ядерной реакции. Такой подход, основанный на равновероятности прямых и обратных процессов, приводит к формуле

$$\sigma = \lambda^3 / T\nu, \quad (1)$$

где σ - сечение реакции, λ - длина волны де-Бройля нейтрино, T – среднее время жизни радиоактивных ядер, ν - скорость нейтрино.

В случае релятивистских нейтрино, с которыми имеют дело в ядерной физике, $\lambda = hc/E$ (h - постоянная Планка, c - скорость света, E - энергия нейтрино). Соотношение (1) переходит в формулу

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

Подставив в (2) 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.

В случае нейтрино очень низких энергий $\nu \ll c$, $\lambda = h/m\nu$ (m - масса нейтрино), и соотношение (1) переходит в формулу

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

Из соотношения (3) следует, что

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

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

Найдем отношение скорости обратных β распадов к скорости спонтанной β радиоактивности $K = n/A$, воспользовавшись соотношением (4) :

$$K = \phi h^3 / m^3 \nu^4. \quad (5)$$

Из этой формулы следует, что увеличение активности на 1% при массе нейтрино $m = 1 \text{ эВ}$ ($1,8 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$) и скорости $\nu = 3 \cdot 10^5 \text{ м/с}$ происходит при плотности потока $\phi = 6 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Анализ имеющихся экспериментальных данных позволяет сделать иную оценку массы нейтрино, отличающуюся от общепринятой величины (см. ниже).

Важная особенность соотношения (5) – независимость от периода полураспада ядер. Любые β радиоактивные источники, находясь в одинаковом потоке медленных нейтрино, приобретают одинаковое относительное увеличение активности.

Из вышеприведенного рассмотрения свойств медленных нейтрино следует, что, если при своем движении Земля проходит области с различной скоростью или плотностью потока нейтрино, должны происходить одинаковые относительные изменения активности различных β источников.

Эти расчеты не претендуют на точность и корректность, но наглядно показывают, что галактические нейтринные потоки являются вполне ощутимым космическим агентом. Оценка влияния на радиоактивность *солнечных* и *околоземных* нейтринных потоков пока не представляется возможной.

Экспериментальные подтверждения

До недавнего времени считалось, что ядерные распады (за исключением e -захватов) обусловлены исключительно *внутриядерными* процессами, на ход которых обычные внешние воздействия (электромагнитные, тепловые, акустические и т.п.) заметно влиять не могут. Поэтому при измерениях радиоактивности должно происходить лишь экспоненциальное снижение результатов измерений с хаотическими флуктуациями, соответствующими статистике Пуассона. Но в последнее время, когда появилась возможность проводить многолетние точные измерения, получены экспериментальные результаты, указывающие на наличие ритмических и спорадических отклонений от экспоненциального снижения. Ряд независимых исследователей [3,11-16,24] обнаружили, что радиоактивность различных источников (^{60}Co , ^{32}Si , ^{90}Sr - ^{90}Y , продукты распада ^{226}Ra , тритий) меняется с периодом в 1 год и амплитудой около 0,3% от среднего значения (рис. 3). Кроме того, обнаружены всплески радиоактивности ^{60}Co и ^{40}K , размещенного в фокусе параболического зеркала [3,12,17] (рис. 4).

Важно отметить, что периодические изменения и всплески зарегистрированы только при использовании β радиоактивных источников, но не обнаружены в экспериментах с α источниками. Это указывает на связь таких эффектов с действием потоков нейтрино, так как нейтрино (антинейтрино) являются атрибутом β процессов и не участвуют в α распадах. В статье [13] высказано предположение, что колебания скорости β распадов связаны с изменением плотности потока испускаемых Солнцем нейтрино в результате изменения расстояния между Землей и Солнцем при орбитальном движении Земли. Но это предположение выглядит крайне сомнительным из-за чрезвычайной слабости взаимодействия с веществом солнечных нейтрино, имеющих энергию около 1 МэВ и выше. Напомню, что, например, в эксперименте Дэвиса [18] в детекторе массой 610 тонн регистрируется примерно 1 солнечное нейтрино в сутки.

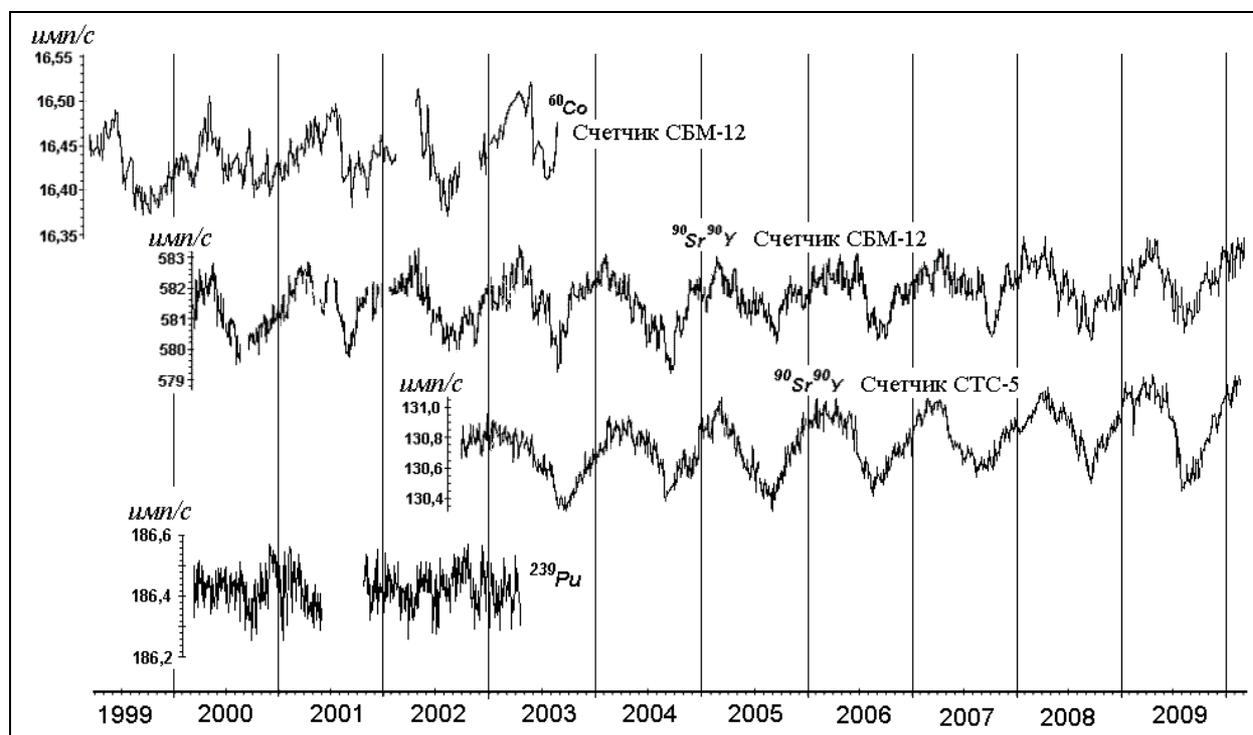


Рис. 3. Скорость счета β источников ^{60}Co и ^{90}Sr - ^{90}Y , измеренная счетчиками Гейгера, с поправкой на снижение активности с периодами полураспада 5,26 и 27,7 лет, а так же скорость сч α источника ^{239}Pu , измеренная полупроводниковым детектором [3,16]. В случае β источников годовичная периодичность очевидна. В результатах измерений α активности ритмические изменения не обнаружены.

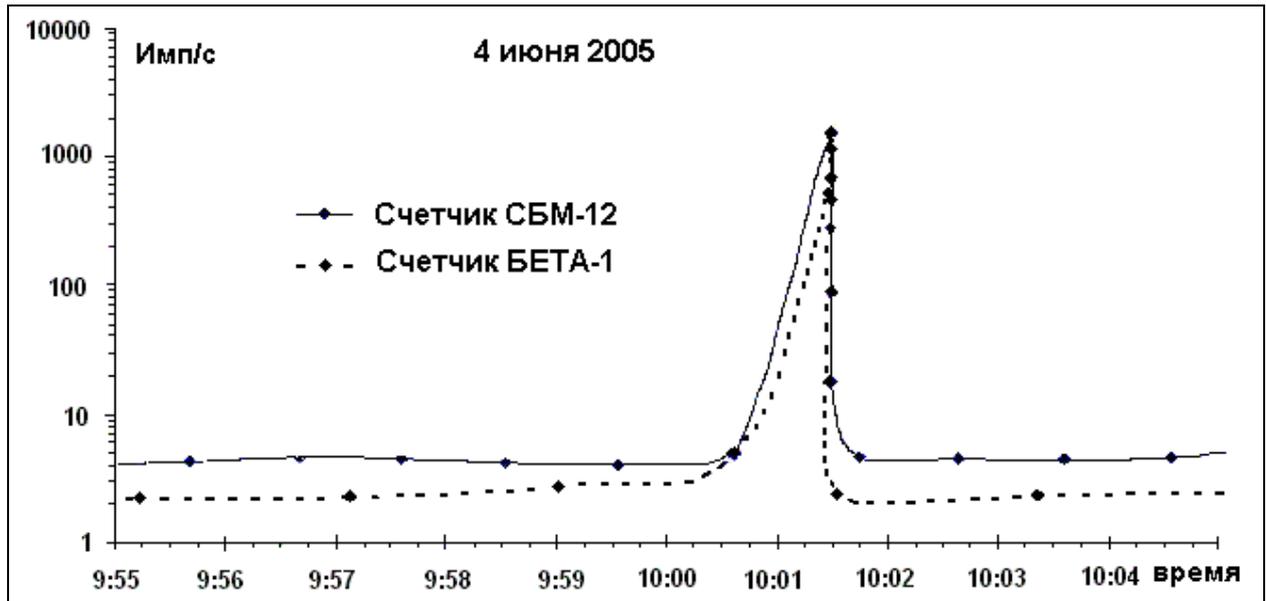


Рис.4. Пример всплеска скорости счета β источника, расположенного в фокусе зеркала с параболической поверхностью. Излучение ^{60}Co независимо регистрировалось двумя разными счетчиками Гейгера [3,17].

Как было уже отмечено, помимо нейтрино, излучаемых в ходе ядерных реакций, в Космосе очень много нейтрино, имеющих крайне низкую энергию. Сделанная выше теоретическая оценка влияния потока этих нейтрино на β радиоактивность показывает, что оно может быть вполне ощутимым. Независимость соотношения (5) от периодов полураспада радионуклидов и одинаковость амплитуды экспериментально обнаруженных годовых изменений *всех* исследованных на наличие этого эффекта β радионуклидов является еще одним указанием на то, что он является проявлением действия космических потоков медленных нейтрино.

Соединив результаты астрономических наблюдений с соотношениями (4, 5), можно сделать оценку массы нейтрино и плотности их потока. Из соотношения (4) видно, что величина эффекта сильно зависит от скорости. Предположим, что основной причиной колебания активности с периодом 1 год является то, что скорость приходящего к Солнечной системе нейтринного потока суммируется со скоростью орбитального движения Земли вокруг Солнца. Согласно [4], в районе Солнечной системы поток темной материи, включая нейтрино, имеет скорость около $3 \cdot 10^5 \text{ м/с}$ и направлен преимущественно перпендикулярно движению Солнца в Галактике со скоростью около $2,5 \cdot 10^5 \text{ м/с}$. Скорость движения Земли вокруг Солнца $3 \cdot 10^4 \text{ м/с}$. Исходя из этих данных нетрудно рассчитать, что скорость встречи Земли с потоком галактических нейтрино меняется на протяжении года от $3,7 \cdot 10^5$ до $4,1 \cdot 10^5 \text{ м/с}$. Этому изменению скоростей соответствует определенное из экспериментов изменение активности A с размахом $0,006A$. Отношение изменения активности к изменению скорости $\Delta n/\Delta v = -1,5 \cdot 10^{-7} A$. С другой стороны, дифференцируя (4), получим $\Delta n/\Delta v = -4A\phi^3/m^3 v^5$. Учитывая, что $\phi = \rho v/m$, где ρ – массовая плотность нейтрино в околоземном пространстве, получим

$$m = 9,4 \cdot 10^{-24} \rho^{1/4} / v \quad (6)$$

В районе Солнечной системы плотность галактической темной материи около $5 \cdot 10^{-22} \text{ кг/м}^3$ [3,4]. Если на долю нейтрино приходится 1%, $\rho = 5 \cdot 10^{-24} \text{ кг/м}^3$, и для скорости $4 \cdot 10^5 \text{ м/с}$ получим $m = 3,5 \cdot 10^{-35} \text{ кг}$ (20 эВ) при плотности потока $\phi = 5,7 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Отношение числа β распадов, вызванных действием нейтринного потока к числу спонтанных $K = 1,5\%$.

Изменение доли нейтрино в пределах от 0,1 до 10% меняет оцениваемую величину массы нейтрино в пределах от 11 до 35 эВ.

Полученная оценка массы нейтрино находится в согласии с результатами экспериментов с дифракционными решетками, позволившими определить длины волн действующего на β радиоактивность агента. Обнаружено несколько зон с длинами волн λ 5,2...7,3 мкм; 46...68 мкм 0,3...0,5 мм; 1,4 мм...2,0 мм [3]. Если предположить, что максимальной длине волны 2 мм соответствует минимально возможная скорость $v = 7,9$ км/с, по формуле де-Бройля $\lambda = h/mv$ можно оценить массу дифрагирующей частицы $m = 23$ эВ ($4,1 \cdot 10^{-35}$ кг). Для такой массы указанным зонам соответствуют скорости 7,9-11,2; 31-53; 230-350; 2100-3000 км/с, что вполне соответствует предсказанному распределению скоростей частиц, движущихся в гравитационных полях Земли, Солнечной системы и Галактики, а также приходящих из межгалактического пространства (см. рис. 1). Это указывает на то, что регистрируемый агент действительно является компонентом темной материи.

Предположение о возможности фокусировки потоков нейтринной компоненты темной материи нашло подтверждение в обнаружении всплесков β радиоактивности источника, расположенного в фокусе параболического зеркала (рис. 4). Фокусировка возможна, если действующий агент способен к зеркальному отражению. А это возможно при наличии у него волновых свойств. Всплесковый характер мононаправленных потоков – свойство, характерное именно для потоков темной материи, подвергшихся гравитационной фокусировке. Тот факт, что наблюдаются всплески излучения β источников, дает еще одно указание на то, что действующим агентом является нейтрино.

Обсуждение

Вышеизложенное рассмотрение свойств медленных космических нейтрино сделано без введения каких бы то ни было «новых сущностей», с применением небесной механики и квантовой физики к результатам, полученным при астрономических наблюдениях. Из этого рассмотрения следуют проверяемые выводы, нашедшие экспериментальное подтверждение (ритмические изменения β радиоактивности, всплески скорости счета β источника, размещенного в фокусе параболического зеркала, влияние дифракционных решеток). На основе экспериментальных результатов сделана оценка массы нейтрино.

Обращает на себя внимание, что полученная оценка массы нейтрино около 20 эВ противоречит опубликованным результатам измерений массы электронных нейтрино, испускаемых при распаде трития (не выше 2,2 эВ) [19, 23]. Отметим важную особенность этих экспериментов. Измеренный спектр β частиц вблизи максимальной энергии достоверно отличается от теоретического, приводя к значению массы нейтрино, лежащему в отрицательной области, причем результаты меняются от измерения к измерению с годичным периодом (рис.5 вверх). Ограничение на массу нейтрино 2,2 эВ получено после введения поправок, приближающих измеренный спектр к теоретическому.

В статье [19] для объяснения этого неожиданного результата выдвинута гипотеза о том, что на спонтанный β распад трития происходит наложение *обратного* β распада, инициируемого околосолнечным нейтринным облаком: «В качестве объяснения можно рассмотреть возникновение монохроматической линии в спектре в результате двухчастичного процесса. Таким двухчастичным процессом мог бы быть захват нейтрино тритием с испусканием монохроматического электрона. Этот процесс является обратным по отношению к β распаду. Если такой процесс происходит, то мы должны наблюдать в конце β спектра трития монохроматическую линию с энергией перехода примерно 18,6 кэВ... Нейтринное облако должно быть таким, чтобы движение Земли в его пределах создавало модуляции эффекта из-за переменной плотности». Итак, результаты экспериментов с тритием подводят к идеям, аналогичным вышеизложенным.

Отметим, что усредненный ход скорости счета β источников похож на ход изменения величины эффекта, обнаруженного в Троицке (рис.5). Это еще раз демонстрирует родственность результатов, полученных при длительных измерениях радиоактивности и при измерениях спектра трития.

Ограничение на массу $2,2 \text{ эВ}$ получается, если убрать расположенный вблизи края спектра пик, связанный предположительно с поглощением космических нейтрино. В то же время, объяснить столь сильные колебания непосредственных измерений, достигающие 20 эВ , можно только предположив, что поглощаемая частица имеет массу не менее этой величины. Таким образом, получается довольно странная картина: антинейтрино *испускаемое* имеет массу меньше $2,2 \text{ эВ}$, а нейтрино *поглощаемое* имеет массу больше 20 эВ . В этом противоречии предстоит еще разобраться. Отметим, что оценка массы поглощаемого тритием нейтрино не противоречит оценке величины массы нейтрино около 20 эВ , полученной из анализа годовых ритмов радиоактивности и опытов с дифракционными решетками.

Следует заметить, что наличие у нейтрино единственной фиксированной массы не является обязательным. Есть предположение о том, что масса электронного нейтрино может иметь несколько значений вплоть до 17 кэВ и даже о том, что существует множество слабо взаимодействующих частиц с различными массами [20-23]. Нынешнее состояние теории и экспериментов оставляет много простора для самых разнообразных суждений о массе нейтрино.

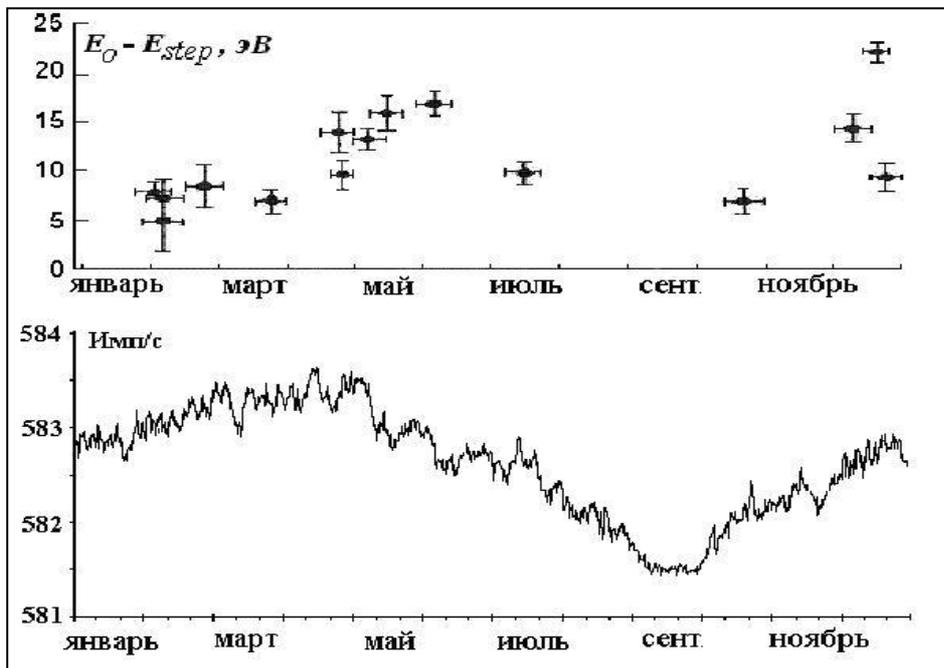


Рис.5. Вверху: эксперимент в Троицке. Разница между теоретическим и экспериментальным участками спектра β распада трития вблизи граничной энергии в зависимости от времени года (1994-2001) [19]. **Внизу:** усредненный ход скорости счета β источника $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ (2000 -2007) [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Клапдор-Клайнротхаус Г.В., Штаудт А. *Неускорительная физика элементарных частиц*. Пер. с нем. – М.: Наука. Физматлит. 1997. – 528 с.
2. Зельдович Я.Б., Сюняев Р.А. *Астрономические следствия массы покоя нейтрино* // Письма в Астрономический журнал, 1980, т.6, № 8, с. 451-469
3. Пархомов А.Г. *Космос. Земля. Человек. Новые грани науки*. – М.: Наука, 2009, 272 с.
4. Пархомов А.Г. *Распределение и движение скрытой материи*. – М.: МНТЦ ВЕНТ, 1993, 76 с.
http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/parkhomov_raspredelenie.pdf
5. Пархомов А.Г. *Астрономические наблюдения по методике Козырева и проблема мгновенной передачи сигнала* // Физическая мысль России, №1, с. 18-25 (2000)
6. Козырев Н.А. *Избранные труды*. Л.: Изд. Лен. университета, 1991. 448 с.
7. Шварцман В.Ф., Брагинский В.Б., Герштейн С.С., Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. *О возможности регистрации реликтовых массивных нейтрино* // Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики, 36, 224-226 (1982).
8. Aharonov Y., Avignone F.T. *Constraints and anomalous scattering of neutrinos from crystals* // Phys. Rev. Lett., 58(12), 1173-1175(1987).
9. Ву Ц.С., Мошковский С.А. *Бета распад*. Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1970, 397 с.
10. Bethe H., Peierls R. *The «Neutrino»* - Nature, vol.133, p.532, 689-690 (1934)
11. Alburder D.E., Harbottle G., Norton E.F. *Half-life of ³²Si* //Earth and Planet. Sci.Lett, 78, 169, (1986).
12. Пархомов А.Г., Макляев Е.Ф. *Исследование ритмов и флуктуаций при длительных измерениях радиоактивности, частоты кварцевых резонаторов, шума полупроводников, температуры и атмосферного давления* // Физическая мысль России, №1, с. 1-12 (2004)
http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/parkhomov_ritmy/parkhomov_ritmy.htm
13. Jere H. Jenkins, Ephraim Fischbach, John B. Buncher et al. *Evidence for Correlations Between Nuclear Decay Rates and Earth-Sun Distance* //arXiv:0808.3283v1 [astro-ph].
<http://arxiv.org/abs/0808.3283>
14. E. Fischbach · J.B. Buncher · J.T. Gruenwald et al, *Time-Dependent Nuclear Decay Parameters: New Evidence for New Forces?* // Space Sci Rev 145: 285–335 (2009)
15. Siegert H., Shrader H., Schotzis U. *Half-life Measurements of Europium Radionuclides and the Long-term Stability of Detectors* //Appl. Radiat. Isot. 49, pp. 1397-1401 (1998)
16. Parkhomov A.G. *Researches of alpha and beta radioactivity at long-term observations*
[arXiv:1004.1761v1](http://arxiv.org/abs/1004.1761v1) [physics.gen-ph]
17. Parkhomov A.G. *Bursts of Count Rate of Beta-Radioactive Sources during Long-Term Measurements* // International Journal of Pure and Applied Physics Vol. 1, No.2, 119 (2005)
18. Davis R. (Jr), Harmer D. S., Hoffman K. C. *Search for neutrinos from the Sun* // Phys. Rev. Lett. **20** 1205 (1968)
19. Лобашев В.М. *Измерение массы нейтрино в бета-распаде трития* //Вестник РАН, 73(1), с.14-27 (2003)
20. Scott D.,Rees V.J.,Sciama D.W. *Dark Matter Decay, Reionization and Microwave Background Anisotropics* //Astron. Astroph., v. 250, No 2, p.295-301 (1991)
21. Bilenky S.M., Masiero A., Petcov S.T. *On the 17 keV mass neutrino* //Phys. Let. B v. 263, N. 3-4, с. 448-454 (1991)
22. Studenikin A., Ternov A. *Neutrino quantum states in matter*// arXiv:hep-ph/0410297v1
23. Giunti C., Kim C.W. *Fundamentals of neutrino physics and astrophysics*. Oxford University Press. 2007. 728 p.
24. Falkenberg E.D. *Radioactive decay caused by neutrinos?* Apeiron, **8**, No .2, p. 32-45 (2001)

Англоязычный вариант этой статьи опубликован [arXiv:1010.1591v1](http://arxiv.org/abs/1010.1591v1) [physics.gen-ph]