

В.А. Горунович, "ЗАГАДКА" СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ПОЛЕВОЙ ТЕОРИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ.

Содержание:

- 1. Поток солнечных электронных нейтрино**
- 2. Нейтринные осцилляции**
- 3. Энергия переносимая солнечными электронными нейтрино**
- 4. Спектр солнечных электронных нейтрино**
- 5. Электрические поля электронных нейтрино и их взаимодействия**
- 6. Энергия, приобретаемая заряженной частицей при прохождении через электрическое поле движущегося электронного нейтрино**
- 7. Потеря электронным нейтрино кинетической энергии при прохождении через вещество**
- 8. Взаимодействие электронных нейтрино с ионами лавы**
- 9. Взаимодействие электронных нейтрино с морской водой**
- 10. Взаимодействие электронных нейтрино с металлами**
- 11. Взаимодействие электронных нейтрино с плазмой**
 - 11.1. Движение заряженной частицы в направлении, перпендикулярном действующей на нее силы.**
 - 11.2. Движение заряженной частицы по направлению действия ускоряющей силы.**
 - 11.3. Движение заряженной частицы в направлении, обратном действия на нее силы.**
 - 11.4. Влияние начальной скорости на направление передачи кинетической энергии**
- 12. Вместо итога**
- 13. Поток и энергии реакторных электронных антинейтрино**
 - 13.1. Деление ядра урана-235**
 - 13.2 Поток реакторных антинейтрино и загоняемая им в земную кору энергия**
- 14. Сечение реакции аннигиляции электронного нейтрино с антинейтрино**
- 15. Окончание**

1. Поток солнечных электронных нейтрино

Согласно полевой теории элементарных частиц электронное нейтрино (как и любая другая элементарная частица с ненулевой величиной массы покоя) обладает переменным электромагнитным полем с постоянной составляющей, т.е. нейтрино обладает:

- постоянным дипольным электрическим полем,
- постоянным дипольным магнитным полем,
- постоянным магнитным полем магнитного момента
- переменным электромагнитным полем.

С другой стороны согласно классической электродинамике постоянные электрические, магнитные и переменные электромагнитные поля разных элементарных частиц взаимодействуют. Это взаимодействие приведет к обмену энергией между элементарными частицами. Отсюда следует, что при прохождении релятивистских электронных нейтрино (таких как излучаемых нашим солнцем в результате термоядерных реакций) через вещество Земли, электронное нейтрино будет постепенно терять свою кинетическую энергию и замедляться. Данная потеря энергии обусловлена, в основном, взаимодействием электронных нейтрино с электронами вещества Земли (см. С.С. Герштейн "Загадки солнечных нейтрино").

Потеряв значительную часть своей кинетической энергии, электронное нейтрино сможет незамеченным пройти через детекторы, поскольку энергии будет недостаточно для осуществления внутри детектора реакции с участием электронных нейтрино. У реакций по обнаружению электронных нейтрино есть энергетический порог, ниже которого реакция невозможно, поскольку это будет противоречить закону сохранения энергии. Таким образом, достаточно замедленные электронные нейтрино будут проходить незамеченными через детекторы и другое аналогичное оборудование по их регистрации.

Теперь нам остается вспомнить, что регистрация солнечных электронных нейтрино происходит непрерывно методом накопления и днем и ночью. Т.е. и когда солнце светит сверху, а электронное нейтрино отделяет от детектора всего лишь километры земли, и когда солнце светит с противоположной стороны планеты, а электронному нейтрино приходится пройти через всю планету. А потом мы еще удивляемся, почему в экспериментах GALLEX, SAGE и GNO удастся уловить солнечных электронных нейтрино в 2 раза меньше чем должно быть. - Посмотрите, какую часть времени суток солнце светит сверху, и станет все понятно. Очевидно, что аналогичный галлиевый детектор, помещенный в космическом пространстве рядом с Землей, будет ловить (в среднем за год) в 2 раза больше солнечных электронных нейтрино (чем его земные аналоги) в полном соответствии со Стандартной солнечной моделью.

Чтобы убедиться в этом, посмотрим немного цифр.

Наиболее чувствительным из созданных до настоящего времени типов нейтринных детекторов является галлиевый детектор с энергетическим порогом 0.233 МэВ. С его помощью производились эксперименты по регистрации потока электронных нейтрино GALLEX, SAGE (наиболее длительный) и GNO. В результате этих экспериментов получены следующие данные:

- GALLEX (результат за период 1991-1997 гг) 77.5(SNU)
- SAGE (результат за период 1990-2010 гг) 65.4(SNU) с точностью 6% .
- GNO (1998 - 2002 гг) 65.2

где SNU - солнечная нейтринная единица.

Причем эксперимент GNO проводился в той же лаборатории, что и GALLEX. Но результат его совпал не с экспериментом GALLEX, а с экспериментом SAGE проводившимся в лабораториях РХМДН ОЛВЭНА и ГГНТ БНО, что дает основания утверждать, что данные эксперимента SAGE являются наиболее точными.

Таким образом, поток солнечных электронных нейтрино (измеренный экспериментом SAGE и подтвержденный экспериментом GNO) равен 65.4(SNU), что составляет 0.503 от теоретически предсказанного солнечными моделями значения 130 ± 8 (SNU). Но полевая теория элементарных частиц, учитывая особенность работы галлиевого детектора, уменьшила для последнего теоретическое значение в 2 раза и теперь оно составляет 65(SNU). Когда будут разработаны более чувствительные нейтринные детекторы (с более низким энергетическим порогом), это число может стать другим для этих детекторов (возможно, будет выше). И тогда возможно найдутся "потерянные" солнечные электронные нейтрино или их часть. Но для галлиевого детектора на Земле оно останется 65(SNU).

Таким образом: **отклонение среднего экспериментального значения (65.4) от теоретического (65) составляет 0.6%.** Это не выходит за пределы точности эксперимента SAGE (6%) и **полностью согласуется со Стандартной солнечной моделью.**

Итак, с *загадкой малого количества солнечных электронных нейтрино мы разобрались.* Согласно полевой теории элементарных частиц и особенности реакции обнаружения электронных нейтрино, галлиевый нейтринный детектор будет хорошо улавливать те электронные нейтрино, которые идут сверху (через небольшую толщину земли) и будет слеп по отношению ко многим электронным нейтрино, прошедшим через всю планету. Таким образом, результат эксперимента будет зависеть, как от широты местности, где расположен нейтринный детектор, так и от времени года (когда производились измерения).

Таким образом, становится очевидным, что в связи с отсутствием дефицита солнечных электронных нейтрино **природе не нужны нейтринные осцилляции (противоречащие законам природы).**

2. Нейтринные осцилляции

Не сумев разобраться с неожиданно малым числом солнечных электронных нейтрино, регистрируемых на Земле, была сочинена новая сказочка под названием «нейтринные осцилляции». Сущность ее заключается в следующем: *“нейтрино какого-то определенного типа будет при своем движении в вакууме периодически переходить в нейтрино (или антинейтрино) других типов и обратно”*. Ну а поскольку считается, что в природе существует три типа нейтрино, то получилось правдоподобное объяснение наблюдаемому дефициту солнечных электронных нейтрино.

А теперь посмотрим на это с точки зрения полевой теории элементарных частиц.

- Нейтрино существует не три типа, а два. Тау-лептон является первым возбужденным состоянием мюона - следовательно, тау-нейтрино в действительности является первым возбужденным состоянием мюонного нейтрино.
- Энергия первого возбужденного состояния мюонного нейтрино значительно (в несколько раз) выше внутренней энергии мюонного нейтрино - следовательно, осцилляции между мюонным нейтрино и его первым возбужденным состоянием будут противоречить закону сохранения энергии.
- Величина массы покоя мюонного нейтрино значительно отличается от величины массы покоя электронного нейтрино (у этих элементарных частиц квантовые числа не совпадают) - следовательно, осцилляции между мюонным нейтрино и электронным нейтрино будут противоречить закону сохранения энергии.

Таким образом, нейтринные осцилляции будут идти с нарушением закона сохранения энергии, такого нелюбимого стандартной моделью и квантовой теорией. Этот закон разрешает не превращение, а распад более тяжелого мюонного нейтрино. В продуктах такого распада будут присутствовать электронные нейтрино вместе с другими достаточно легкими элементарными частицами. Кроме того закон сохранения энергии разрешает иные реакции элементарных частиц при наличии достаточной кинетической энергии. Но чудесные превращения одних элементарных частиц в другие - это из мира сказок.

Нейтринные осцилляции противоречат еще и законам электродинамики. Самопроизвольное превращение любого нейтрино в антинейтрино невозможно, поскольку эти частицы имеют противоположный знак электрических и магнитных полей. Возможна реакция их аннигиляции, как и для любой другой пары "частица-античастица". Также противоречит законам электродинамики самопроизвольное превращение нейтрино одного типа в нейтрино другого типа, поскольку у них разные линейные

размеры, а также различная структура их электрических и магнитных полей.

А теперь посмотрим, что происходит на самом деле с превращениями нейтрино.

Электронное нейтрино может превратиться в мюонное нейтрино, но не самопроизвольно, а в результате столкновения с другим электронным нейтрино при наличии достаточной кинетической энергии. Такие столкновения могут происходить на Солнце, а выдуманные осцилляции здесь не причем. Кроме того на Солнце будут происходить столкновения нейтрино разных реакций в результате которых частицы будут также обмениваться энергиями - электронные нейтрино более высоких энергий будут передавать часть своей энергии остальным электронным нейтрино, будут рождаться пары нейтрино-антинейтрино, сталкивающиеся электронные нейтрино будут переходить в возбужденные состояния и т.д..

Мюонное нейтрино как более тяжелое (чем электронное нейтрино) является нестабильной элементарной частицей и по истечении времени жизни оно распадется (вероятнее всего по одному из следующих каналов распада):

- в электронное нейтрино плюс пара электронное нейтрино-антинейтрино
- в электронное нейтрино плюс пара фотонов.

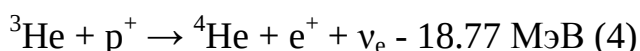
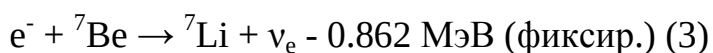
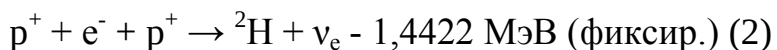
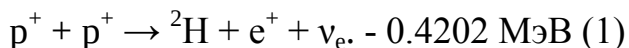
Первое возбужденное состояние мюонного нейтрино является еще более короткоживущим состоянием, чем мюонное нейтрино, поскольку у него еще больше возможностей для перехода в состояния с более низкой энергией. В результате этих превращений на выходе мы получим некоторое число электронных нейтрино.

Таким образом, к нашей планете в результате нейтринных реакций долетит не меньше, а несколько больше электронных нейтрино. Как видим, **«нейтринные осцилляции» как самопроизвольное превращение одних нейтрино в другие - это очередная сказка, противоречащая законам природы и придуманная в целях подгонки под экспериментальные данные.**

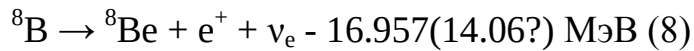
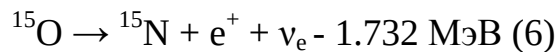
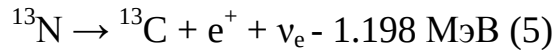
3. Энергия переносимая солнечными электронными нейтрино

Поток солнечных электронных нейтрино через поверхность нашей планеты сегодня оценивается физикой как $0.66 \cdot 10^{11}$ нейтрино/(см² · с).

Кинетическая энергия, переносимая солнечными электронными нейтрино, зависит от реакции, в которой они образовались:



плюс β^+ распады:



где указана максимальная (или фиксированная) энергия, уносимая электронным нейтрино.

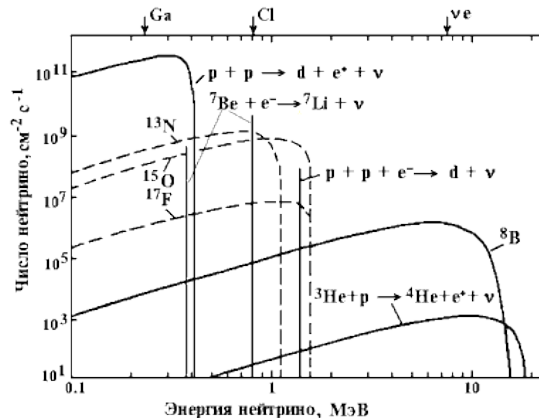


Рис 1. Спектр солнечных электронных нейтрино (у источника)

Как видим, большинство составляют электронные нейтрино первой реакции (1). Участникам эксперимента Borexino, удалось зарегистрировать следы других реакций - обработав собранные за два с половиной года данные, они сообщили о том, что им удалось зарегистрировать солнечные электронные нейтрино с энергией в диапазоне 1,0-1,5 МэВ.

Ну а поскольку подавляющее большинство (около 91%) составляют электронные нейтрино первой реакции - будем рассматривать только электронные нейтрино первой реакции

Наиболее чувствительным, из созданных до настоящего времени типов нейтринных детекторов электронных нейтрино, является галлиевый детектор. Его энергетический порог составляет 0,233 МэВ. На основании данного детектора с 1991 по 1997 г. проводился галлиевый эксперимент "GALLEX". Чтобы защитить детектор от помех космического излучения, он был помещен на глубину 3300 м под горой в Италии, в Гран-Сассо (восточнее Рима). В результате данного эксперимента было зарегистрировано около 50% от предсказанного солнечными моделями потока солнечных электронных нейтрино. Ну а поскольку средняя продолжительность светлого времени суток, когда детекторы могут улавливать солнечные электронные нейтрино, равна 12 часам, то мы получаем, что экспериментальные данные согласуются с первым разделом данной статьи.

Но данный эксперимент позволяет сделать еще некоторые выводы. Для того чтобы электронные нейтрино стали невидимыми для галлиевого детектора, необходимо чтобы при прохождении через вещество Земли они снизили свою кинетическую энергию до уровня ниже 0,233 МэВ. Отсюда можно сделать заключение, что при прохождении через нашу планету на широте Рима электронное нейтрино теряет, как минимум, часть своей кинетической энергии (если учесть возможное изменение энергии электронных нейтрино при их движении через солнце, то получится иная величина). В результате можно подсчитать минимальный процент энергии теряемой солнечными электронными нейтрино первой реакции при их прохождении через 1 км вещества Земли.

Средний радиус нашей планеты (r) составляет 6371 км, широта Рима - 41° 52', отсюда можно определить максимальное расстояние, пройденное солнечными электронными нейтрино через вещество Земли:

$$l=2\cdot6371\cdot\cos(41^\circ 52')=12742\cdot0.74466=9487.5 \text{ км. (9)}$$

Среднее расстояние будет примерно в 2 раза меньше и составит приблизительно $l=4744$ км.

Теперь мы можем оценить минимальный процент энергии теряемой солнечным электронным нейтрино при прохождении через вещество нашей планеты.

Пусть при прохождении через 1 км вещества планеты электронное нейтрино (реакции 1) в среднем теряет некоторую часть своей кинетической энергии,

$$E_1 = E_0/(1 + \alpha_{\text{cp}}) \text{ (10)}$$

где E_0 - средняя начальная энергия при входе электронного нейтрино в вещество планеты, E_1 - средняя энергия после прохождения 1 км вещества планеты, α_{cp} - параметр определяющий потерю энергии солнечными электронными нейтрино реакции (1).

Пройдя 1 километров через вещество планеты, электронное нейтрино потеряет больше энергии, и новая энергия будет равна:

$$E_l = E_0/(1 + \alpha_{\text{cp}})^l \text{ (11)}$$

Средняя энергия солнечных электронных нейтрино первой реакции (E_0) соответствует максимуму в спектре (рис.1) - 0.3 МэВ.

А теперь зная $E_0=0.3$ МэВ, $E_l=0.233$ МэВ и l можно решить обратную задачу и определить α_{cp} . В результате получим

$$\alpha_{\text{cp}} = 0.00005328. \text{ (12)}$$

Т.е. при прохождении через 1 км вещества солнечное электронное нейтрино первой реакции теряет в среднем **не менее** 0.005328% своей кинетической энергии. Эта величина очень малая и потому оставалась незамеченной, зато наша планета достаточно большая, а для чего - мы скоро увидим.

Для начала посмотрим, сколько кинетической энергии теряет солнечное электронное нейтрино первой реакции при прохождении сквозь середину Земли. В данном случае l будет равно удвоенному радиусу нашей планеты 12742км, а

$$1/(1 - \alpha_{cp})^l = 1/(1 - 0.00005328)^{12742} = 0.5145 \quad (13)$$

В результате солнечное электронное нейтрино первой реакции при прохождении через середину Земли потеряет не менее 48.5% своей кинетической энергии, что соответствует 0.1457 МэВ.

Перемножим поток солнечных электронных нейтрино с их теряемой энергией, мы получим плотность потока энергии, проходящую через центр поверхности нашей планеты и остающуюся внутри ее не менее:

$$0.66 \cdot 10^{11} \text{ нейтрино}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}) \cdot 0.1457 \cdot 10^6 \text{ эВ} = 0.9616 \cdot 10^{16} \text{ эВ}/(\text{см}^2 \cdot \text{с}) = 0.154 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/\text{см}^2 = 15.4 \text{ Вт}/\text{м}^2 \quad (14)$$

Для сравнения плотность потока солнечного излучения составляет 1360 Вт/м². Несмотря на то, что данная энергия, переносимая солнечными электронными нейтрино первой реакции, значительно меньше энергии солнечного света и ее влиянием на температуру поверхности планеты можно пренебречь, эта энергия постоянно разогревает внутреннюю часть нашей планеты и с этим разогревом придется считаться.

Теперь мы можем оценить полный поток энергии солнечных электронных нейтрино первой реакции. Конечно, можно взять определенный интеграл и с помощью ЭВМ его точно посчитать, но можно и просто взять максимальное значение поделить его на два (для получения среднего значения). А затем умножить на площадь окружности с радиусом, равным среднему радиусу Земли. В итоге мы получим следующее приблизительное значение (не менее):

$$1/2 \cdot 15.4 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \pi r^2 = 7.7 \cdot 3.14159 \cdot 6371000^2 \text{ Вт} = 9.81873 \cdot 10^{14} \text{ Вт}. \quad (15)$$

Средняя плотность потока входящей энергии (получится путем деления на площадь поверхности Земли) будет не менее:

$$9.81873 \cdot 10^{14} \text{ Вт}/(4 \pi r^2) = 1.925 \text{ Вт}/\text{м}^2 \quad (16)$$

Полный поток нейтринной энергии, проходящий сквозь Землю, будет:

$$0.3 \text{ МэВ}/\text{нейтрино} \cdot 3.14159 \cdot 6371000^2 \text{ м}^2 \cdot 0.66 \cdot 10^{15} \text{ нейтрино}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) = 0.25248 \cdot 10^{29} \text{ МэВ}/\text{с} = 4.045 \cdot 10^{15} \text{ Вт}. \quad (17)$$

Как мы видим, при прохождении сквозь Землю, нейтрино теряет не менее 24% своей кинетической энергии. Но не менее - это не значит равно.

Посмотрим с точки зрения физики, что будет постепенно происходить с остывшей планетой размеров как у Земли и помещенной на таком же расстоянии от солнца, несколько миллиардов лет назад.

- Сначала быстро прогреется поверхность планеты до некоторой средней температуры.

- Тепло с поверхности будет постепенно проникать вовнутрь, при этом поверхность планеты будет продолжать уже медленно нагреваться.
- Затем температура внутри планеты достигнет средней температуры на ее поверхности и будет дальше медленно повышаться, разогреваемая нейтринной энергией.
- Затем температура в центре планеты достигнет уровня, при котором начнется плавление легкоплавких веществ, и процесс преобразования планеты ускорится.
- Затем с одной стороны расширится зона плавления легкоплавких веществ, а в центре планеты температура вырастет до уровня плавления других пород.
- Зона плавления будет постепенно возрастать, начнется процесс перемещения более тяжелых пород ближе к центру планеты. Этот процесс будет длительным.
- Затем, когда зона плавления приблизится к поверхности планеты и ей останется преодолеть кору толщиной несколько десятков километров, начнется активная вулканическая деятельность и подвижки коры планеты. В результате этого резко увеличится выход внутренней энергии на поверхность планеты и ее разогрев.
- Постепенно планета будет сбрасывать лишнюю накопленную внутри энергию и перейдет в более умеренное русло. Температура поверхности планеты будет плавно понижаться, иногда будут возникать извержения вулканов и землетрясения, сбрасывающие избыточную энергию.
- Через некоторое время средняя температура поверхности планеты стабилизируется. Будут иногда происходить извержения вулканов и землетрясения. В таком состоянии планета может находиться сколь угодно долго, пока рядом постоянно с прежней активностью светит Солнце, если конечно на данной планете нет разумных существ, активно изменяющих поверхность планеты и ее климат.

Более подробно и точно это могут описать математические модели Земли после их соответствующей коррекции. Необходимо отметить, что этот процесс зависит от размеров планеты. С уменьшением размеров планеты поглощаемая нейтринная энергия уменьшится, а условия для отвода тепла с центра планеты улучшатся - в итоге увеличится толщина коры планеты и снизится ее тектоническая активность, а вулканическая деятельность вообще может прекратиться. Ну а с приближением к Солнцу возрастут оба потока энергии как световой, так и нейтринной со всеми вытекающими отсюда последствиями (рост температуры на поверхности, повышение вулканической активности и т.д.).

Вернемся к нашей планете. Средняя плотность потока входящей энергии (переносимой солнечными электронными нейтрино) не менее 1.925 Вт/м^2 следовательно можно было ожидать, что и средняя плотность выходящей

из планеты тепловой энергии такая же. Но по оценкам моделей Земли тепловой поток, идущий из Земли в несколько раз меньше. Если данные моделей Земли точны, то возникает вопрос: что мы не учли?

- Прежде всего, имеет место приблизительность вычислений, а также не учет зависимости $\alpha_{\text{ср}}$ от кинетической энергии солнечных электронных нейтрино и неоднородности вещества планеты. Поэтому приведенные здесь вычисления следует рассматривать как предварительную оценку.
- При прохождении через вещество Солнца, электронное нейтрино может терять (также как на Земле) или приобретать некоторую часть кинетической энергии. Величина этих изменений пока физикой не установлена.
- При движении от Солнца электронное нейтрино (мюонное нейтрино за это время распадутся) может затрачивать некоторую часть своей кинетической энергии на разрушение повстречавшихся соединений молекулярного нейтрино.
- Часть энергии будет выходить из Земли вместе с термальными водами.
- Но самое главное: *часть энергии поступающей вовнутрь Земли будет накапливаться, пока она не сможет вырваться в виде извержений вулканов, землетрясений, изменения поверхности планеты и тектонической деятельности.*

В третьей части мы вернемся к данному вопросу.

Как мы видим, кроме распадов долгоживущих радиоактивных изотопов (калия-40, урана-238, урана-235 и тория-232), которым ранее отводилась роль чуть ли не единственных источников внутреннего тепла Земли, *есть еще один значительный источник энергии - Солнце*. А все утверждения о всепроникающей способности нейтрино - неточны. *Не надо ставить знак равенства между реакциями с участием нейтрино и их взаимодействиями - это разные понятия.*

Таким образом: согласно полевой теории элементарных частиц, одним из природных источников энергии землетрясений, вулканической деятельности, геотермальной деятельности, теплового потока, исходящего из недр Земли, является поток кинетической энергии солнечных электронных нейтрино, возникающий в результате термоядерных реакций на Солнце и проходящий сквозь нашу планету.

4. Спектр солнечных электронных нейтрино

В первой части статьи было установлено, что величина полного потока солнечных электронных нейтрино измеренного в нейтринных экспериментах SAGE (наиболее длительным) и GNO согласуется со

стандартной солнечной моделью. Возникает следующий вопрос: а как обстоят дела со спектром.

В эксперименте Homestake под руководством Р. Дэвиса с использованием хлор-аргонового детектора с энергетическим порогом 0.814 МэВ был измерен поток солнечных электронных нейтрино равный 2.56 SNU (где SNU - стандартная солнечная единица в нейтринной астрономии).

Посмотрим, что должны были получить в результате эксперимента. Для этого вновь рассмотрим спектр солнечных электронных нейтрино, рассчитанный John Bahcall и Pinsonneaul (Рис.2).

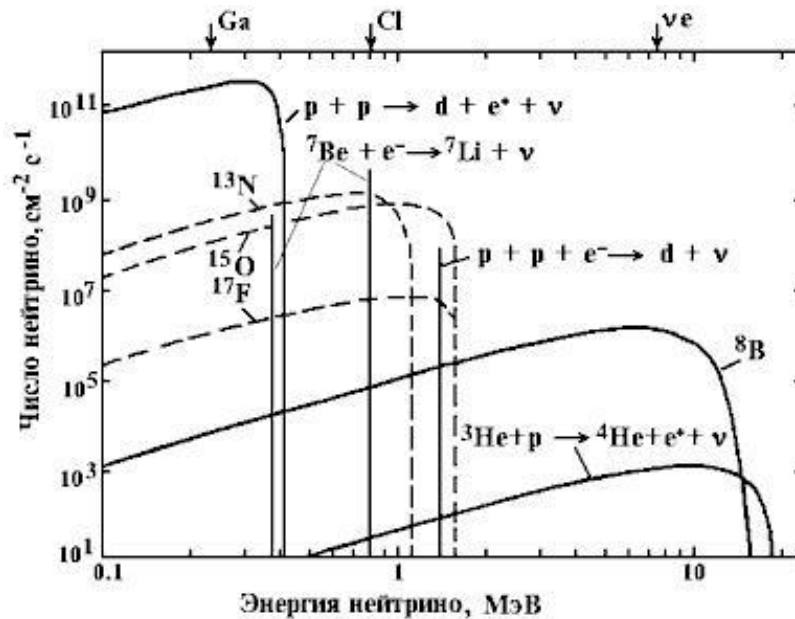


Рис 2. Рассчитанный спектр солнечных электронных нейтрино

В таблице 1 представлены некоторые дополнительные данные, необходимые для определения того, что должен был зарегистрировать хлор-аргоновый детектор.

Таблица 1. Рассчитанный поток энергии солнечных электронных нейтрино

Реакции:	поток ν	%	Емакс(МэВ)	Еср(МэВ)	поток Е(МэВ)
pp	6,00E+10	90,955	0,4202	0,3	1,80E+10
pep	1,43E+08	0,217	1,4422	1,4422	2,06E+08
^7Be	4,89E+09	7,413	0,862	0,862	4,22E+09
^8B	5,69E+06	0,009	16,957	6,5	3,70E+07
^{13}N	4,92E+08	0,746	1,198	0,7	3,44E+08
^{15}O	4,26E+08	0,646	1,732	1	4,26E+08
^{17}F	1,00E+07	0,015	1,738	1,1	1,10E+07
всего:	6,60E+10			0,352	2,32E+10

Как видно из рис.2 и таблицы 1 хлор-аргоновый детектор должен фиксировать:

- все солнечные электронные нейтрино реакции pp - 0.217%,
- все солнечные электронные нейтрино реакции ${}^7\text{Be}$ - 7.413%,
- немногим менее половины солнечных электронных нейтрино β^+ распада изотопа ${}^{13}\text{N}$ - $0.746 \cdot 0.45 = 0.336\%$,
- немногим более половины солнечных электронных нейтрино β^+ распада изотопа ${}^{15}\text{O}$ - $0.646 \cdot 0.55 = 0.355\%$,
- более половины солнечных электронных нейтрино β^+ распада изотопа ${}^{17}\text{F}$ - $0.015 \cdot 0.6 = 0.009\%$,
- около 90% солнечных электронных нейтрино β^+ распада изотопа ${}^8\text{B}$ - $0.009 \cdot 0.9 = 0.008\%$,

В итоге получим приблизительно 8.338% от всего потока солнечных электронных нейтрино с учетом поправки от полевой теории, т.е. от 65 SNU.

$$65 \text{ SNU} \cdot 0.08338 = 5.4 \text{ SNU (18)}$$

Итак, из ожидаемых 5.4 SNU единиц потока солнечных электронных нейтрино было зарегистрировано менее половины (2.56 SNU). - Почему?

Еще одно заключение о спектре солнечных электронных нейтрино позволяют сделать галлиевые нейтринные эксперименты SAGE (наиболее длительный на сегодня эксперимент) и GNO. В результате данных экспериментов был зафиксирован поток солнечных электронных нейтрино в соответствии со стандартной солнечной моделью. Но как видно из рис.2, тридцать два процента солнечных электронных нейтрино реакции (pp) не могут быть зарегистрированы галлиевым детектором, поскольку их энергия лежит ниже энергетического порога детектора. А галлиевый детектор, тем не менее, показал правильное значение. - Почему?

Как мы видим, оба нейтринных детектора как хлор-аргоновый, так и галлиевый показали несоответствие рассчитанного спектра (рис. 2) потоку солнечных электронных нейтрино, поступающих на Землю. Совпало только общее число поступающих солнечных электронных нейтрино (по галлиевому детектору), но имеются значительные отклонения в энергиях. Так из галлиевых экспериментов следует, что максимум энергии потока солнечных электронных нейтрино реакции (pp) не может быть равен ни 0.3 МэВ, ни 0.352 МэВ, а находится значительно выше: не менее 0.533 МэВ. А из хлор-аргонового эксперимента следует, что максимум энергии

потока солнечных электронных нейтрино реакции (pp) находится не выше 0.694 МэВ.

Как видно из результатов работы обоих нейтринных детекторов максимум энергии находится где-то между уровнями 0.533 МэВ и 0.694 МэВ. Возьмем среднее значение 0,6135 МэВ, в этом случае плотность потока нейтринной энергии проходящей через нашу планету будет более:

$$6.60 \cdot 10^{10} \cdot 0.6135 \text{ МэВ} = 4 \cdot 10^{10} \text{ МэВ}/(\text{см}^2 \text{ с}) = 4 \cdot 10^{20} \text{ эВ}/(\text{м}^2 \text{ с}) \quad (19)$$

Половина солнечных электронных нейтрино с энергиями выше 0.814 МэВ (в основном бериллиевых электронных нейтрино с энергией 0.862 МэВ составляющих 7.4% общего потока) потеряло часть своей кинетической энергии (не менее 0.048 МэВ) и переместилось в диапазон ниже 0.814 МэВ - теперь эти солнечные электронные нейтрино стали невидимыми для хлор-аргонового детектора.

Остается найти ответ на вопрос, почему у солнечных электронных нейтрино изменилась величина кинетической энергии? Ответ на данный вопрос кроется в строение элементарных частиц и структуре их электромагнитных полей. Для этого придется обратиться к полевой теории элементарных частиц и классической электродинамике.

Дело в том, что спектр рис.2 относится к месту образования солнечных электронных нейтрино - а не к месту их детектирования. Пролетая от места образования (от ядра Солнца) через часть солнечного ядра, зону лучевого переноса, конвективную зону, фотосферу, хромосферу и корону Солнца до места детектирования на Земле, солнечное электронное нейтрино повстречало на своем пути гигантское количество элементарных частиц, с которыми оно очень слабо, но взаимодействовало. А следствием взаимодействий является обмен частью энергии. И если на Земле электронные нейтрино выступают исключительно в качестве источников энергии - на Солнце эти нейтрино могут получать дополнительную энергию, например, от фотонов.

5. Электрические поля электронных нейтрино и их взаимодействия

Может показаться, что в названии ошибка. Какие могут быть электрические поля у нейтральной элементарной частицы, ведь ее электрический заряд равен нулю. Но из нулевой величины электрического заряда не следует отсутствие электрических полей у элементарной частицы. Первичным является не заряд, а поле. Электрические поля элементарных частиц создаются не электрическими зарядами, а постоянной составляющей электромагнитного поля, и эти поля дипольные.

Электрический заряд мы наблюдаем потому, что нарушается симметрия между наружными и внутренними участками, генерирующими постоянное электрическое поле элементарной частицы.

Элементарные частицы устроены куда интереснее, чем считают квантовая теория и стандартная модель, а кварки, глюоны, гравитоны, бозоны Хиггса им не нужны.

Итак, вспомним структуру электромагнитных полей нейтральной элементарной частицы с квантовым числом $L > 0$, например, электронного нейтрино. Согласно полевой теории элементарных частиц, электронное нейтрино обладает:

- постоянным электрическим дипольным полем,
- постоянным магнитным дипольным полем,
- постоянным магнитным полем магнитного момента
- переменным электромагнитным полем.

Нулевая величина суммарного электрического заряда не говорит об отсутствии постоянного электрического поля, равно как и отсутствие данных о величине магнитного момента (и даже его нулевая величина) не говорит об отсутствии постоянных магнитных полей.

Рассмотрим постоянные электрические дипольные поля нейтральных элементарных частиц. Все, что здесь будет говориться, относится и к электронному нейтрино.

Под диполем в физике понимается система из двух электрических зарядов $+q$ и $-q$ расположенных на расстоянии s между ними. В случае элементарных частиц $q = 0.75e$ (следствие полевой теории), а s определяется толщиной кольцевой области генерирующей постоянное электрическое поле и обратно пропорционально массе покоя элементарной частицы (в случае электронного нейтрино с массой покоя 0.28 эВ , $s = 6.12 \cdot 10^{-5} \text{ см}$).

Но разница заключается в том, что зарядов внутри элементарных частиц нет, а имеются векторные электрические поля (да и векторные магнитные поля тоже). Физика с такими полями раньше не сталкивалась, и опыта работы с ними пока еще нет. Но кое-что сделать можно. За пределами элементарной частицы векторные поля преобразуются в электрические, с которыми классическая электродинамика умеет работать. Мы можем заменить реальное векторное электрическое поле полем двух замкнутых кольцевых параллельных равномерно распределенных электрических зарядов $+q$ и $-q$ расположенных на расстоянии s между их плоскостями. На расстояниях, в несколько раз превышающих s , эти поля будут мало чем отличаться от реального поля, но данная замена позволит компьютеру рассчитать их взаимодействия, исходя из законов классической электродинамики. Сделанная замена правомерна, поскольку в природе взаимодействуют не электрические заряды, а электрические поля. Согласно классической электродинамике, энергия такого взаимодействия определяется как разница суммы энергий полей каждой из

взаимодействующих заряженных частиц и энергии их результирующего поля (все в строгом соответствии с законом сохранения энергии). Ну а с электрическими зарядами работать проще, чем интегрировать поля по всему пространству.

На расстояниях (r) превышающих $10s$ данные поля будут такими же, как и электрические дипольные поля точечных зарядов $+q$ и $-q$ расположенных на расстоянии s между ними. Задачу расчета таких полей физика уже решала, и имеются соответствующие уравнения.

В физике имеется векторная величина под названием электрический дипольный момент ($\vec{p}$)

$$\vec{p} = q\vec{s} \quad (20)$$

В случае элементарных частиц

$$s=0.85\hbar/m_0c \quad (21)$$

и тогда:

$$\vec{p} = 0.75e\vec{s}, \quad |\vec{p}| = 0.6375e\hbar/m_0c \quad (22)$$

где стрелками сверху обозначены вектора, $\hbar$ - постоянная Планка, e - элементарный электрический заряд, m_0 - масса покоя заключенная в переменном электромагнитном поле элементарной частицы, c - скорость света, $|\vec{p}|$ - величина дипольного электрического момента $\vec{p}$ нейтральной элементарной частицы. Множитель 0.85 взят из полевой теории потому, что средняя точка расположения эквивалентного электрического заряда должна лежать не на поверхности области генерирующей поле, а примерно на 15% глубже (следствие геометрии формы векторного поля).

Напряженность поля электрического диполя (в системе СИ) равна:

$$\vec{E} = \frac{3\vec{n}(\vec{n}\cdot\vec{p})-\vec{p}}{4\pi\epsilon_0 r^3} \quad (23)$$

где $\vec{n} = \frac{\vec{r}}{r}$ - единичный вектор из центра диполя в направлении точки измерения, точкой ($\cdot$) обозначено скалярное произведение, ϵ_0 - электрическая постоянная, $\vec{p}$ - вектор электрического дипольного момента, r - расстояние от центра диполя до точки измерения.

Сила, действующая на электрический заряд (q) находящийся в поле электрического диполя $\vec{p}$, будет:

$$\vec{F} = q\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{3\vec{n}(\vec{n}\cdot\vec{p})-\vec{p}}{r^3} \quad (24)$$

Потенциал (ϕ) поля электрического диполя $\vec{p}$ в точке A:

$$\phi(A) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos \alpha}{r^2} \quad (25)$$

где α - угол между вектором $\vec{p}$ и направлением на точку наблюдения (A).

Энергия (W) точечного заряда (q) находящегося в поле электрического диполя $\vec{p}$ в точке (A) равна произведению величины электрического заряда на потенциал поля:

$$W = q \times \phi(A) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{p \cos \alpha}{r^2} \quad (26)$$

Как видим, потенциал поля электрического диполя (в отличие от поля электрического заряда) убывает по закону $1/r^2$.

Используя принцип суперпозиции можно посчитать энергию взаимодействия электрических зарядов диполя p_1 с полем электрического диполя p_2 , а затем их сложить (учитывая знак каждого заряда диполя p_1). В результате мы получим энергию (W) взаимодействия двух диполей p_1 и p_2 находящихся в точках 1 и 2 соответственно:

$$W_{12} = \frac{p_1 p_2}{4\pi\epsilon_0 r^3} (\cos \theta_{12} - 3 \cos \theta_1 \cos \theta_2) \quad (27)$$

или в векторной форме:

$$W_{12} = \frac{\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2}{4\pi\epsilon_0 |r|^3} - 3 \frac{(\vec{p}_1 \cdot \vec{r})(\vec{p}_2 \cdot \vec{r})}{4\pi\epsilon_0 |r|^5} \quad (28)$$

где r - расстояние между точками 1 и 2, θ_{12} - угол между векторами дипольных электрических моментов p_1 и p_2 , θ_1 и θ_2 - углы между векторами p_1 и p_2 и вектором r , W_{12} - энергия диполя p_1 в поле диполя p_2 .

Из уравнений (27, 28) следует: $W_{21}=W_{12}$ (следствие симметрии тригонометрической функции $\cos$).

Формулы (27, 28) справедливы для больших расстояний ($r \gg s$), в этом случае энергия взаимодействий электрических дипольных полей убывает по закону $1/r^3$, еще быстрее, чем для точечного заряда в поле электрического диполя. А величина этой энергии пропорциональна произведению векторов электрических дипольных моментов элементарных частиц (p_1 и p_2) и зависит от их взаимной ориентации ($\cos \theta_{12} - 3 \cos \theta_1 \cos \theta_2$).

Теперь остается подставить в уравнение (27) величину дипольного электрического момента (полученную с помощью полевой теории) $p=0.6375e\hbar/m_0c$ и мы получим:

$$W_{12} = \frac{0.4064e^2\hbar^2}{4\pi\epsilon_0 c^2 m_{0\sim 1} m_{0\sim 2} r^3} (\cos \theta_{12} - 3 \cos \theta_1 \cos \theta_2) \quad (29)$$

где $0.4064=0.6375^2$, $m_{0\sim 1}$ и $m_{0\sim 2}$ - массы покоя заключенные в переменном электромагнитном поле ($m_{0\sim}$) элементарной частицы 1 и 2 соответственно.

В (29) мы получили формулу энергии электрических дипольных взаимодействий пары нейтральных элементарных частиц на расстояниях ($r \gg s$). На более близких расстояниях величина энергии может быть вычислена с помощью компьютера с применением классической электродинамики.

Для того, чтобы формула (29) могла приблизительно работать и на меньших расстояниях добавим в знаменатель к r^3 еще r_e и два слагаемых: r_{01}^3 и r_{02}^3 соответственно по одному для элементарной частицы 1 и 2.

$$W_{12} = \frac{0.4064e^2\hbar^2}{4\pi\epsilon_0 c^2 m_{0\sim 1} m_{0\sim 2} (|r-r_e|(r+0.6r_e)^2 + r_{01}^3 + r_{02}^3)} (\cos \theta_{12} - 3 \cos \theta_1 \cos \theta_2) \quad (30)$$

где r_e - электрический радиус нейтральной элементарной частицы, создающей электрическое дипольное поле.

В формуле (30) мы заменили электрическое дипольное поле двух точечных зарядов (величиной $+0.75e$ и $-0.75e$) на поле из двух групп по три равных точечных заряда (величинами $+0.25e$ и $-0.25e$), лежащих в параллельных плоскостях, равноудаленных друг от друга и находящихся на расстоянии r_e от оси симметрии элементарной частицы. Такая замена электрического заряда на три равных дробных заряда является минимальной для отражения внутренней структуры поля - с воображаемыми кварками это никак не связано.

Зная величину энергии при $r=0$ и известной ориентации, можно решить обратную задачу и определить параметр r_0 для каждой элементарной частицы.

Аналогичным образом можно доработать уравнение (26) для энергии заряженной элементарной частицы 2 (обладающей малыми размерами, по сравнению с элементарной частицей 1) в электрическом дипольном поле нейтральной элементарной частицы 1.

$$W = q \times \phi(A) = \frac{0.6375e\hbar q}{4\pi\epsilon_0 m_{0\sim 1} c} \frac{\cos \alpha}{(|r-r_e|^{\frac{2}{3}}(r+0.5r_e)^{\frac{4}{3}} + (h-h_e)^2 + r_{0\phi 1}^2)} \quad (31)$$

где параметр $r_{0\phi}$ для потенциала (аналогичен параметру r_0 для энергии) равен $1.5 L\hbar/m_{0\sim 1}c$.

Как видно, у нас появились дробные степени, но то, что подходит для уравнения (30) не совсем подходит для уравнения (31). Если разбить электрический дипольный заряд электронного нейтрино на четыре равные части уравнение примет более удобный вид:

$$W = q \times \phi(A) = \frac{0.6375e\hbar q}{4\pi\epsilon_0 m_{0\sim 1} c} \frac{\cos \alpha}{(|r-r_e|(r+r_e)+(h-h_e)^2+r_{0\phi 1}^2)} \quad (32)$$

где h - расстояние между плоскостями обеих частиц, h_e - средняя высота расположения электрического заряда в нейтральной элементарной частице 1 (равна $0.5s$ из уравнения 4), r - расстояние между осью (вращения переменного электромагнитного поля) элементарной частицы 1 и центром элементарной частицы 2, r_e - электрический радиус нейтральной элементарной частицы, создающей электрическое дипольное поле, $r_{0\phi 1}$ - нормировочный параметр равен $1.5L\hbar/m_{0\sim 1}c$, α - угол между вектором дипольного момента ($\vec{p}$) частицы 1 и направлением на точку нахождения частицы 2, $m_{0\sim 1}$ - масса покоя заключенная в переменном электромагнитном поле ($m_{0\sim}$) элементарной частицы 1, создающей электрическое дипольное поле (для электронного нейтрино она равна $0.97755m_0$, где m_0 - масса покоя), остальные обозначения - общепринятые в физике.

Ну а поскольку по сравнению с электронным нейтрино все остальные элементарные частицы с квантовым числом $L > 0$ можно рассматривать как точечные объекты, то уравнения (30) - (32) будут приблизительно работать и на малых расстояниях.

Теперь можно посмотреть несколько графиков.

Так выглядит график рассчитанной потенциальной энергии взаимодействий электрических дипольных полей двух электронных нейтрино, лежащих в одной плоскости с антипараллельными спинами.

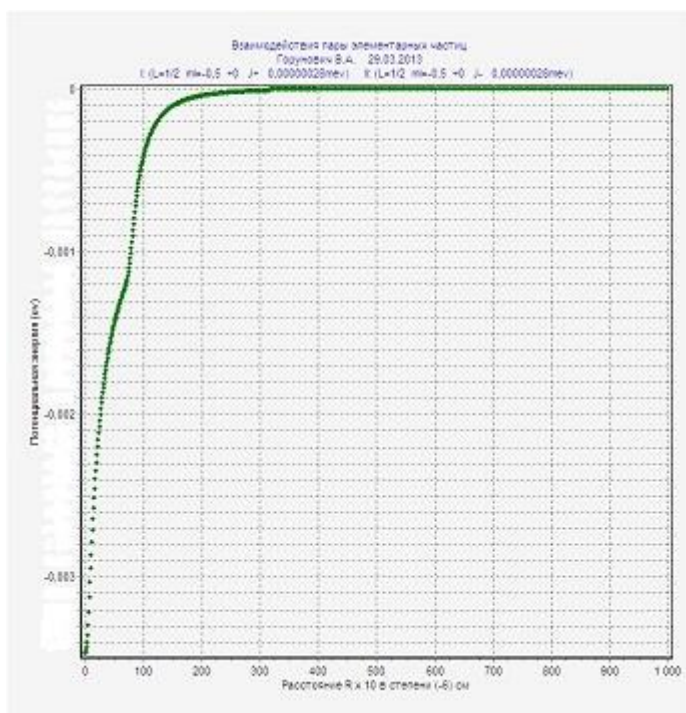


Рис.3 Взаимодействие электрических полей двух электронных нейтрино.

Из графика видно наличие сил притяжения между элементарными частицами, действующих в ближней зоне.

А так выглядит график рассчитанной потенциальной энергии взаимодействий электрических дипольных полей электронного нейтрино с нейтроном, лежащих в одной плоскости с антипараллельными спинами.

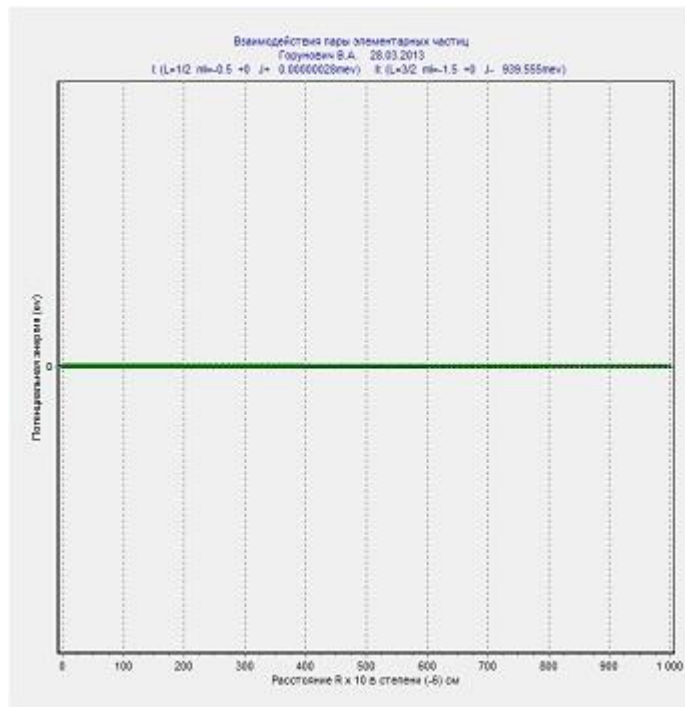


Рис.4 Взаимодействие электрических полей электронного нейтрино и нейтрона.

Из графика все видно, а ответ на вопрос: "почему" находится в уравнении (30). Надо только сравнить величины масс покоя нейтрона и электронного нейтрино. Легко убедиться, что аналогичный результат получится и с любой другой нейтральной элементарной частицей, кроме нейтрино.

А теперь то, ради чего писалась статья: электрические взаимодействия электронного нейтрино с электроном и с протоном.

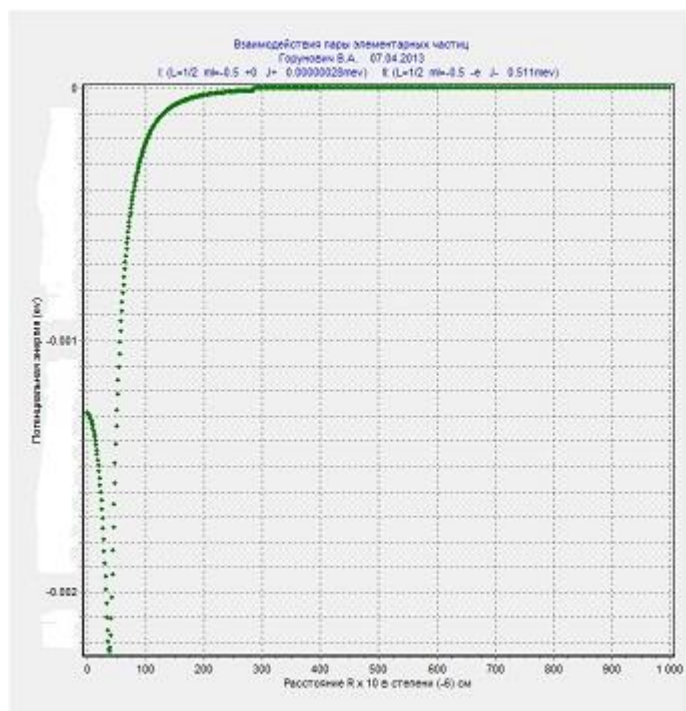


Рис.5 Взаимодействие электрического поля электронного нейтрино с электроном.

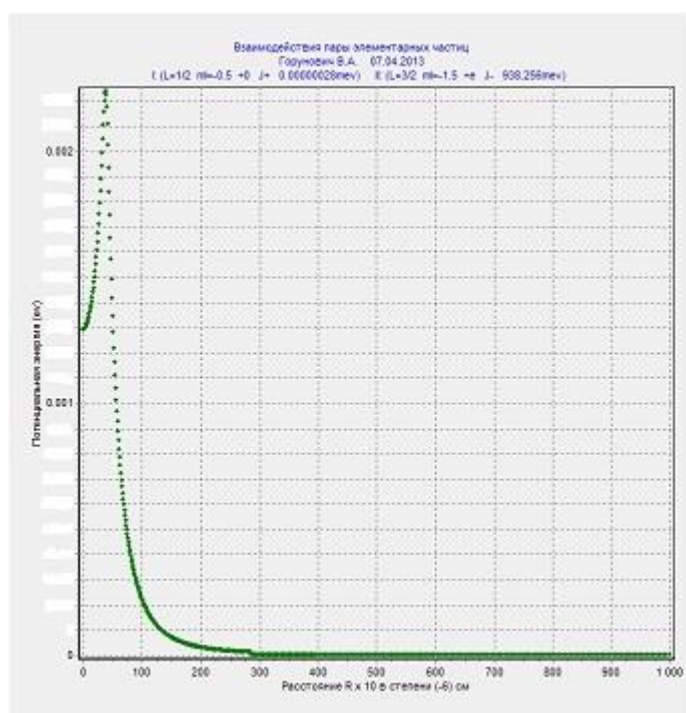


Рис.6 Взаимодействие электрического поля электронного нейтрино с протоном.

В обоих расчетах заряженная частица лежит в плоскости, параллельной плоскости электронного нейтрино и со смещением в плюс равным радиусу электронного нейтрино.

Мы получили, что **электронное нейтрино может обмениваться энергией с заряженными элементарными частицами**. Как Вы понимаете, продолжение следует.

Но кое-что недоделанное осталось и здесь. На рисунках 5 и 6 виден пик, расположенный на расстоянии равном электрическому радиусу (r_e) электронного нейтрино. Поскольку элементарная частица в центре пустая, то максимум напряженности электрического поля нейтральной частицы приходится на расстояние, равное радиусу элементарной частицы из полевой теории ($L\hbar/m_0c$). Электрический радиус будет немного больше, вследствие асимметрии между внешней и внутренней полусферами, генерирующими постоянное электрическое поле элементарной частицы. По мере роста квантового числа L эта асимметрия будет уменьшаться, вследствие чего величина электрического радиуса элементарной частицы будет стремиться к величине полевого радиуса.

у обоих нейтрино электрический радиус на 10.6% больше полевого радиуса,

- у нейтрального пи-мезона, и других нейтральных мезонов - на 3,54%,
- у нейтрона и других нейтральных барионов эта разница составляет уже 1.77%,
- у нейтральных векторных мезонов (один из которых нам всеми силами пытаются выдать за воображаемый бозон Хиггса) со спином 1 разница составляет 1,06%,
- у пока не открытых нейтральных барионов со спином 3/2 разница будет 0,7%.

У заряженных элементарных частиц величина электрического радиуса будет иной.

Вообще попытки приспособить математику точечных зарядов к реальным полям - это задача труднодостижимая или почти недостижимая, она может быть решена за счет потери точности.

В общем случае (для электронного нейтрино) перед нами стоит задача взаимодействия точечного электрического заряда с электрическим дипольным полем двух параллельных кольцевых распределенных зарядов ($\pm 0.75e$) и тут требуются интегралы и соответственно компьютерный расчет. Если в качестве источника электрического поля будет выступать другая нейтральная элементарная частица - придется учитывать еще структуру и заряженной элементарной частицы.

А с уравнением (30) дела обстоят еще сложнее. Это видно на взаимодействиях электрических полей нейтронов.

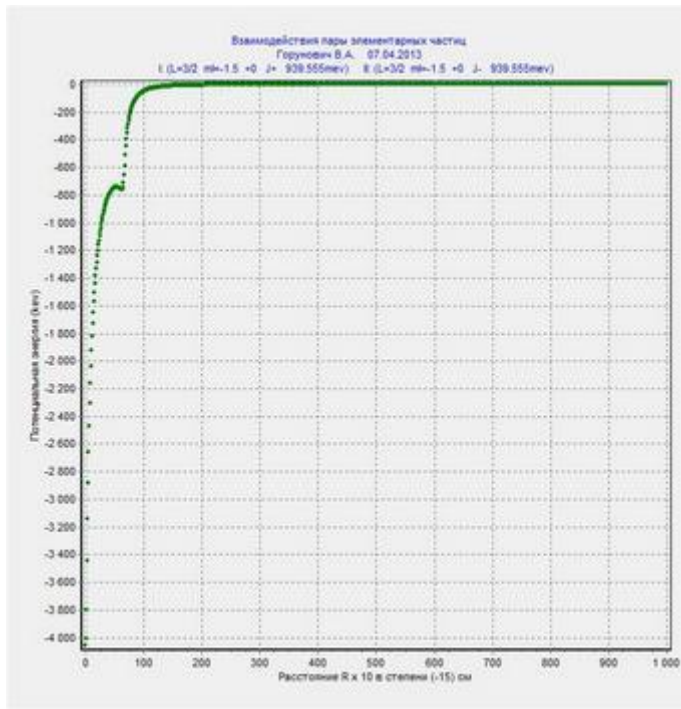


Рис. 7 Взаимодействие электрических полей нейтронов с антипараллельными спинами.

6. Энергия, приобретаемая заряженной частицей при прохождении через электрическое поле движущегося электронного нейтрино

Зададимся вопросом: какую кинетическую энергию приобретет заряженная частица (не обязательно элементарная) через которую пройдет волна постоянного электрического поля напряженностью E и длительностью Δt , создаваемого движущимся с около световой скоростью электронным нейтрино.

Согласно законам электродинамики, на частицу с зарядом q в электрическом поле напряженностью E действует сила f , равная:

$$f = qE \quad (33)$$

Под действием этой силы, согласно классической механике, заряженная частица приобретет ускорение a , равное:

$$a = \frac{f}{m} = \frac{qE}{m} \quad (34)$$

где m - масса заряженной частицы.

Если рассматриваемая частица первоначально покоилась, то за время Δt она приобретет скорость V , равную:

$$V = a\Delta t = \frac{qE}{m} \Delta t \quad (35)$$

Если эта скорость не релятивистская, то приобретенная кинетическая энергия W (за пребывание в течение времени Δt в поле напряженностью E) будет равна:

$$W = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} \left(\frac{qE\Delta t}{m} \right)^2 = \frac{q^2}{2m} (E\Delta t)^2 \quad (36)$$

В случае неоднородного электрического поля для определения приобретенной скорости придется брать определенный интеграл:

$$V = \frac{q}{m} \int_0^{\Delta t} E dt \quad (37)$$

В этом случае приобретенная кинетическая энергия будет:

$$W = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} \left(\frac{q}{m} \int_0^{\Delta t} E dt \right)^2 = \frac{q^2}{2m} \left(\int_0^{\Delta t} E dt \right)^2 \quad (38)$$

Множитель $q^2/2m$ зависит от электрического заряда и массы частицы. Наибольшую величину он принимает у электрона - легчайшей заряженной элементарной частицы (в случае более массивной заряженной частицы, например, протона, приобретаемая частицей кинетическая энергия будет в 1836 раз меньше). Таким образом, при прохождении через вещество Земли, солнечные электронные нейтрино должны разогревать, прежде всего, свободные электроны вещества (там, где они имеются). Кроме свободных электронов, в значительно меньшей степени, будут разогреваться другие свободные заряды, например, свободные ионы вещества, как в воде (ионы водорода - в основном протоны, гидроксиды, солей ...), так и в расплавленных породах (например, в лаве внутри Земли).

Разогреву атомов электрически нейтрального вещества будет препятствовать электрическое поле атомных ядер. Под действием внешнего электрического поля электронного нейтрино произойдет смещение средних положений электронов в атомах, в результате чего в атоме возникнет электрическое поле, противоположное по направлению внешнему полю, не позволяющее электронам дальше смещаться. Это не даст электронам возможность набрать кинетическую энергию от электронного нейтрино. Тут будет иной механизм и другие уровни энергии.

Величина приобретаемой кинетической энергии пропорциональна квадрату напряженности электрического поля и квадрату времени нахождения заряженной частицы в электрическом поле. В случае электрического дипольного поля электронного нейтрино это зависит от ориентации спина электронного нейтрино и траектории прохождения заряженной частицы через нейтрино (в системе отсчета, связанной с центром электронного нейтрино). Наибольшая напряженность электрического поля и длительность взаимодействия двух частиц будет при прохождении заряженной частицы через центр электронного

нейтрино и ориентации спина электронного нейтрино в направлении, перпендикулярном направлению движения. В этом случае, время взаимодействия, согласно полевой теории элементарных частиц будет:

$$\Delta t = 4 \frac{L\hbar}{(m_{0\sim}c)} = 2 \frac{\hbar}{m_{0\sim}c^2} \quad (39)$$

где $m_{0\sim}$ - масса переменного электромагнитного поля электронного нейтрино, $L\hbar/m_{0\sim}c$ - радиус элементарной частицы в полевой теории элементарных частиц, для электронного нейтрино равный $3.6044 \cdot 10^{-7}$ м, L - главное квантовое число (у лептонов равное $1/2$), $\hbar$ - постоянная Планка, деленная на 2π , c - скорость света.

К этому можно еще добавить взаимодействие после выхода заряженной частицы из внутреннего электрического дипольного поля электронного нейтрино, что добавит еще несколько процентов к основной величине кинетической энергии.

Ну а напряженность электрического поля возьмем из классической электродинамики.

Напряженность постоянного электрического поля диполя на перпендикуляре, восстановленном к оси из его середины (именно этот случай мы и будем рассматривать) в системе СИ:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3} \quad (40)$$

где p - электрический дипольный момент, r - расстояние от центра диполя до точки наблюдения, множитель $1/(4\pi\epsilon_0)$ - из электродинамики, равный $8.98755 \cdot 10^9$ м/ф, действует в СИ.

Величина электрического дипольного момента электронного нейтрино была определена с помощью полевой теории элементарных частиц. В случае распределения 1 она равна:

$$P = 0.6375 \frac{e\hbar}{m_{0\sim}c} \quad (41)$$

где e - элементарный электрический заряд, $m_{0\sim}$ - масса электронного нейтрино, заключенная в переменном электромагнитном поле.

В виду того, что нас интересует поле внутри элементарной частицы, то вместо r надо подставить калибровочный параметр r_0 , определяющий напряженность электрического дипольного поля на границе элементарной частицы. Поскольку напряженность электрического поля внутри электронного нейтрино еще не измеряли, то нам остается предположить,

что она будет такой же. Для электрического дипольного поля электронного нейтрино будет:

$$r_0 = 0.75 \frac{\hbar}{m_{0\sim} c} \quad (42)$$

Теперь подставим (41) и (42) в (40)

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{r^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{0.6375e\hbar(m_{0\sim}c)^3}{m_{0\sim}c (0.75\hbar)^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111e(m_{0\sim}c)^2}{\hbar^2} \quad (43)$$

Теперь умножим E (43) на Δt (39)

$$E\Delta t = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111e(m_{0\sim}c)^2}{\hbar^2} \frac{2\hbar}{m_{0\sim}c^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{3.0222em_{0\sim}}{\hbar} \quad (44)$$

Теперь надо возвести (44) в квадрат и подставить в (36) для электрона, получим:

$$W_e = \frac{e^2}{2m_e} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{3.0222em_{0\sim}}{\hbar} \right)^2 = 4.5669 \left(\frac{e^4 m_{0\sim}^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 m_e \hbar^2} \right) \quad (45)$$

Для произвольной заряженной частицы в выражении появится дополнительный множитель z^2 (квадрат заряда частицы), а m_e заменится на m_z (массу частицы).

$$W_z = 4.5669 \left(\frac{z^2 e^4 m_{0\sim}^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 m_z \hbar^2} \right) \quad (46)$$

Как видно из уравнений (45) и (46) приобретаемая кинетическая энергия (W) пропорциональна квадрату массы покоя электронного нейтрино, а это легчайшая элементарная частица с ненулевой величиной массы покоя. Сегодня физика оценивает ее массу покоя как 0.28ev. По мере осуществления физикой более точных измерений величины массы покоя электронного нейтрино, все последующие выражения, в которых неявно фигурирует $m_{0\sim}$ придется пересчитать. Кроме того, энергия обратно пропорциональна величине массы заряженной частицы, а точнее определяется соотношением z^2/m . Следовательно, основными получателями кинетической энергии должны быть свободные электроны.

Подставим все необходимые начальные данные в (45) и получим максимальную кинетическую энергию, приобретаемую одним свободным электроном вещества Земли, от взаимодействия с электрическим дипольным полем электронного нейтрино, и это будет:

$$W_e\left(\frac{\pi}{2}\right) = 3.73 \times 10^{-11} \text{ev} \quad (47)$$

У протона (иона водорода) W будет в 1836 раз меньше:

$$W_p\left(\frac{\pi}{2}\right) = 2.03 \times 10^{-14} \text{ev} \quad (48)$$

а иона хлора, находящегося в морской воде,

$$W_{Cl}(\frac{\pi}{2}) = 5.77 \times 10^{-16} \text{eV} \quad (49)$$

Получилась чрезвычайно малая величина (даже для электрона) и не удивительно, что экспериментаторы ее не замечали. Можно было бы сказать, что взаимодействие заряженной частицы с электрическим дипольным полем электронного нейтрино чрезвычайно мало и не стоит обращать на него внимания. Но не будем повторять сказки стандартной модели насчет слабого взаимодействия и разберемся с этим вопросом подробнее.

Посмотрим, как зависит приобретаемая кинетическая энергия от ориентации спина электронного нейтрино.

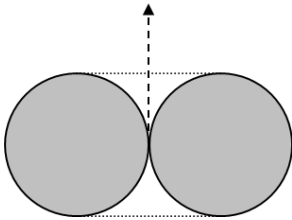


Рис. 8 Нейтрино

Если направление спина электронного нейтрино будет параллельным направлению движения, то максимальное расстояние проходимое заряженной частицей через внутреннее электрическое дипольное поле электронного нейтрино сократится в 2 раза:

$$\Delta t = 2 \frac{L\hbar}{(m_0 \sim c)c} = \frac{\hbar}{m_0 \sim c^2} \quad (50)$$

В этом случае величина приобретаемой кинетической энергии уменьшится в 4 раза и будет (для свободного электрона):

$$W_e(0) = 9.33 \times 10^{-12} \text{eV} \quad (51)$$

Для ориентаций спина от 0 до $\pi/3$ будет верно (50), а, следовательно, и (51).

Но приобретаемая кинетическая энергия зависит не только от спина, но еще, по какой траектории заряженная частица пролетела через электронное нейтрино. Максимум достигается при прохождении через центр области генерирующей постоянное электрическое поле электронного нейтрино, а при смещении от центра вступают в действие законы геометрии.

Введем обозначение Δl - расстояние проходимое заряженной частицей внутри электронного нейтрино в пределах его однородного внутреннего электрического поля. Тогда:

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{c} \quad (52)$$

$$E \Delta t = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111e(m_0\sim c)^2}{\hbar^2} \frac{\Delta l}{c} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111ec(m_0\sim)^2 c \Delta l}{\hbar^2} \quad (53)$$

Теперь надо подставить в (36) для свободного электрона, получим:

$$W_e = \frac{e^2}{2m_e} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111ec(m_0\sim)^2 c \Delta l}{\hbar^2} \right)^2 = 0.75555 \left(\frac{e^4 c^2 m_0\sim^4 \Delta l^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 m_e \hbar^4} \right) \quad (54)$$

В (54) необходимо подставить Δl , которая изменяется в пределах:

- 0 - $2 \hbar/m_0\sim c$, для направлений спина от $\pi/3$ до $\pi/2$,
- 0 - $\hbar/m_0\sim c$, для направления спина от 0 до $\pi/3$.

Для остальных направлений спина Δl берется симметрично.

Для произвольной заряженной частицы (с зарядом z) получим выражение, аналогичное (54):

$$W_z = \frac{z^2 e^2}{2m_z} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111ec(m_0\sim)^2 c \Delta l}{\hbar^2} \right)^2 = 0.75555 \left(\frac{z^2 e^4 c^2 m_0\sim^4 \Delta l^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 m_z \hbar^4} \right) \quad (55)$$

7. Потеря электронным нейтрино кинетической энергии при прохождении через вещество

Определим, какую энергию теряет электронное нейтрино при прохождении через 1 метр однородного вещества.

Рассмотрим случай параллельной ориентации спина (наименьшая потеря энергии).

Площадь сечения электронного нейтрино в плоскости, проходящей через центр частицы и перпендикулярной ее спину, будет:

$$S = 4\pi r_v^2 = 4\pi \left(\frac{L\hbar}{m_0\sim c} \right)^2 = 1.6326 \times 10^{-12} \text{ м}^2 \quad (56)$$

где r_v - радиус электронного нейтрино в полевой теории элементарных частиц.

Пройдя через 1 метр вещества, электронное нейтрино повстречает на своем пути N_i заряженных частиц i :

$$N_i = n_i \times S \times 1 \text{ м} = n_i \times 1.6326 \times 10^{-12} \quad (57)$$

где n_i - концентрация заряженных частиц i в кубическом метре.

Если в веществе содержатся свободные заряженные частицы разных типов (например, ионы разных химических элементов), то надо взять сумму по каждому типу заряженных частиц отдельно, поскольку энергия взаимодействия электронного нейтрино с разными заряженными частицами будет разной. В этом случае энергия, теряемая электронным нейтрино при прохождении 1 метра вещества, будет:

$$W_{1м} = \sum_i (N_i * W_i) = \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_i} \times \left(\frac{1.2335 \times 10^{-12} e^4 c^2 m_0^4 \Delta l^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^4} \right) \quad (58)$$

поскольку

$$\Delta l = 2 \frac{L\hbar}{(m_0 c)} \quad (59)$$

то

$$\Delta l_{ср.}^2 = 2 \left(\frac{L\hbar}{m_0 c} \right)^2 \quad (60)$$

Учитывая, что для лептонов, к которым относится электронное нейтрино, главное квантовое число в полевой теории элементарных частиц:

$$L = \frac{1}{2} \quad (61)$$

получим среднюю энергию, теряемую электронным нейтрино при прохождении 1 метра вещества:

$$W_{1м ср.} = \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_i} \times \left(\frac{1.2335 \times 10^{-12} e^4 c^2 m_0^4 \hbar^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^4 2(m_0 c)^2} \right) = \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_i} \times \left(\frac{0.61676 \times 10^{-12} e^4 m_0^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} \right) \quad (62)$$

Подставим в (62) начальные данные, в результате получим:

$$W_{1м ср.} = 7.3545 \times 10^{-73} \times \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_i} \text{ Дж} \times \text{кг} \quad (63)$$

и для вещества со свободными электронами:

$$W_{1м ср.е} = n_e \frac{1}{m_e} \times \left(\frac{0.61676 \times 10^{-12} e^4 m_0^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 \hbar^2} \right) = n_e \times 8.0735 \times 10^{-43} \text{ Дж} \quad (64)$$

Теперь добавим в (63) плотность потока солнечных электронных нейтрино на поверхности нашей планеты и в результате получим поток энергии, теряемой солнечными электронными нейтрино, при прохождении через 1 метр земного вещества:

$$W_{1\text{м потерь}} = 7.3545 \times 10^{-73} \times \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_i} (\text{дж} \times \text{кг}) \times 6.6 \times 10^{14} \frac{1}{\text{м}^2 \text{сек}} = 4.8539 \times 10^{-58} \times \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_i} \frac{\text{вт} \times \text{кг}}{\text{м}^2} \quad (65)$$

Для сравнения плотность потока солнечного излучения составляет 1360 вт/м^2 .

Даже если в (65) подставим массу электрона (законно предположив, что будут разогреваться, прежде всего, свободные электроны, поскольку энергия, идущая на разогрев других заряженных частиц, обратно пропорциональна величине их массы), мы все равно получим малую величину:

$$W_{1\text{м потерь } e} = 5.3285 \times 10^{-28} \times n_e \frac{\text{вт}}{\text{м}^2} \quad (66)$$

Теперь остается уточнить, сколько свободных электронов (можно свободных зарядов) имеется в одном кубическом метре вещества. Это зависит от вещества и его температуры. В обычных минералах, при средних для поверхности Земли температурах, все электроны связаны в атомы и молекулы, а свободных зарядов там почти нет. Через такое вещество поток солнечных электронных нейтрино с легкостью пройдет, почти без потерь энергии. Но, во-первых, есть металлы, а в них свободные электроны имеются и их не мало. А во-вторых, обычные минералы можно разогреть до температур (расплавить), при которых они станут проводить электрический ток (в них появятся свободные носители электрического заряда) и такие температуры существуют в недрах Земли. Минералы, являющиеся диэлектриками в твердом состоянии, в расплавленном состоянии проводят электрический ток, а под корой Земли находится океан расплавленной лавы (в расплавленном состоянии, проводника электрического тока, обладающим свободными носителями электрического заряда).

А теперь зададимся вопросом: сколько будет свободных электронов в одном кубическом метре расплавленной лавы, разогретой до температуры, при которой свободен хотя-бы 1 валентный электрон на тысячу молекул (это не такое уж жесткое требование). Для этого надо посчитать число молекул в кубическом метре вещества.

К примеру, возьмем лаву из 50% диоксида кремния SiO_2 и 50% из оксида алюминия Al_2O_3 . Ее плотность можно взять равной $2.8 \cdot 10^6 \text{ г/м}^3$. Молярная масса SiO_2 равна 60.05 г/моль, а Al_2O_3 - 101.96 г/моль. Теперь остается вспомнить число молекул в одном моле вещества (число Авогадро) $N_A = 6,022 \ 141 \ 29 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Число молекул находящихся в 1 кубическом метре лавы будет:

$$n_{\text{мол.}} = \frac{6.02214129 \times 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} \times 2.8 \times 10^6 \text{ г}}{0.5(60.05 + 101.96) \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 2.0816 \times 10^{28} \quad (67)$$

Отсюда число свободных электронов в 1 кубическом метре лавы:

$$n_e = \frac{n_{\text{мол.}}}{1000} = 2.0816 \times 10^{25} \quad (68)$$

Подставим его в (66), получим:

$$W_{\text{1м потеря } e} = 5.3285 \times 10^{-28} \times 2.0816 \times 10^{25} \frac{\text{ВТ}}{\text{м}^2} = 1.10918 \times 10^{-2} \frac{\text{ВТ}}{\text{м}^2} \quad (69)$$

Т.е. при прохождении через 6 км такой расплавленной лавы, находящейся в мантии Земли, солнечные электронные нейтрино теряют практически всю свою кинетическую энергию. А ведь мы учитывали только электрические взаимодействия и только прохождение через внутреннее поле электронного нейтрино. Но у электронного нейтрино должно быть и постоянное магнитное поле, а магнитные поля тоже взаимодействуют.

И наконец, не следует забывать, что радиус расплавленной мантии Земли в тысячу раз больше.

Вспомним из второй части, плотность потока нейтринной энергии проходящей через нашу планету :

$$6.60 \times 10^{14} \frac{1}{\text{м}^2 \text{с}} \times 0.6135 \text{ МэВ} = 4 \times 10^{20} \frac{\text{эВ}}{\text{м}^2 \text{с}} = 65 \frac{\text{ВТ}}{\text{м}^2} \quad (70)$$

что составляет 4.8% от плотности потока энергии солнечного излучения.

Полный поток нейтринной энергии, поглощаемый нашей планетой (с учетом результатов части 2) приблизительно будет:

$$0.6135 \text{ МэВ/нейтрино} \cdot 3.14159 \cdot 6346000^2 \text{ м}^2 \cdot 0.66 \cdot 10^{15} \text{ нейтрино/}(\text{м}^2 \cdot \text{с}) = 0.5 \cdot 10^{29} \text{ МэВ/с} = 8 \cdot 10^{15} \text{ вт.} \quad (71)$$

Здесь взят не радиус Земли, а средний радиус расплавленной мантии, активно поглощающей кинетическую энергию солнечных электронных нейтрино. **И эта энергия разогревает нашу планету изнутри!** Использование части этой энергии может сделать извержения вулканов более редкими, поскольку через извержения идет сброс избыточной накопленной энергии.

Таким образом, вывод, сделанный в первой части статьи, можно уточнить: согласно полевой теории элементарных частиц, основным природным источником энергии землетрясений, вулканической

деятельности, тектонической деятельности, геотермальной деятельности, теплового потока, исходящего из недр Земли, является поток кинетической энергии солнечных электронных нейтрино, возникающий в результате термоядерных реакций на Солнце и проходящий сквозь нашу планету. Теперь физика может это утверждать.

Можно рассмотреть иную ориентацию спина электронного нейтрино по отношению к направлению движения (когда поглощается больше энергии), но выводов это уже существенно не изменит.

8. Взаимодействие электронных нейтрино с ионами лавы

Для примера, сначала рассмотрим частный случай, когда практически все молекулы минералов лавы, рассмотренных ранее, (SiO_2 и Al_2O_3) полностью ионизированы (имеет место 100% ионизация молекул вещества). Так, вместо каждой молекулы SiO_2 мы будем иметь 1 ион кремния (Si) с зарядом $+4e$ и 2 иона кислорода (O) с зарядом $-2e$, а вместо молекулы Al_2O_3 - 2 иона алюминия (Al) с зарядом $+3e$ и три иона кислорода (O) с зарядом $-2e$. Т.е. вместо 2 молекул мы получили 8 ионов. Итак, согласно (67), мы имеем:

$$\text{Si}^{4+}: n_1 = 1.0408 \cdot 10^{28}, z_1 = +4, m_1 = 4.480 \cdot 10^{-26} \text{ кг},$$

$$\text{Al}^{3+}: n_2 = 2.0816 \cdot 10^{28}, z_2 = +3, m_2 = 4.663 \cdot 10^{-26} \text{ кг},$$

$$\text{O}^{2-}: n_3 = 5.2040 \cdot 10^{28}, z_3 = -2, m_3 = 2.657 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

Подставив их в (63), получим среднюю энергию, теряемую электронным нейтрино при прохождении 1 метра расплавленной лавы со 100% ионизацией:

$$W_{1\text{м ср.}} = 7.0287 \times 10^{-73} \times \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_i} \text{ дж} \times \text{кг} = 1.1996 \times 10^{-17} \text{ дж} \quad (72)$$

А подставив их в (65) получим поток энергии, теряемой солнечными электронными нейтрино при прохождении 1 метра расплавленной лавы со 100% ионизацией:

$$W_{1\text{м потеря}} = 7.0287 \times 10^{-73} \times \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_i} (\text{дж} \times \text{кг}) \times 6.6 \times 10^{14} \frac{1}{\text{м}^2 \text{сек}} = 7.917 \times 10^{-3} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (73)$$

Но ионизация вещества не всегда бывает 100% и поэтому приходится ввести коэффициент ионизации k_i показывающий отношение концентрации ионов (i) в веществе к максимально возможному значению,

$k_i \leq 1$. Поскольку коэффициент ионизации сильно зависит от температуры вещества, то при разных температурах будет различный ионный состав вещества, т.к. энергия диссоциации для каждого иона молекулы своя. Кроме того, приходится ввести новый параметр $m_{i\text{эфф}}$ вместо m_i . Поскольку вещество не полностью ионизировано, то в нем ионы будут находиться в окружении молекул вещества, с которыми они будут взаимодействовать посредством молекулярных сил. Вместе с ионом в электрическом поле электронного нейтрино будет двигаться и связанное с ним молекулярными силами окружение (часто значительно более массивное), а это приведет к увеличению массы всего образования, а значит к уменьшению ускорения a , следовательно, и получаемой кинетической энергии.

Поток энергии, теряемой солнечными электронными нейтрино при прохождении 1 метра частично ионизированной расплавленной лавы с коэффициентом ионизации k_i , будет:

$$W_{1\text{м потерь}} = 7.0287 \times 10^{-73} \times \sum_i k_i \times n_i \frac{z_i^2}{m_{i\text{эфф}}} (\text{дж} \times \text{кг}) \times$$

$$6.6 \times 10^{14} \frac{1}{\text{м}^2 \text{сек}} = 4.639 \times 10^{-58} \times \sum_i k_i \times n_i \frac{z_i^2}{m_{i\text{эфф}}} \frac{\text{вт} \times \text{кг}}{\text{м}^2} \quad (74)$$

Получилось немного, но под корой Земли (с толщиной измеряемой десятками километров) в мантии находится расплавленная лава, и чтобы отдать ей всю свою кинетическую энергию электронному нейтрино требуется пройти около 8 километров (при 100% ионизации) или несколько сот километров (при средней ионизации в 10%). И это если не считать взаимодействия электронных нейтрино со свободными электронами, которые тоже присутствуют в расплавленном веществе. Толщины верхней мантии Земли достаточно для поглощения практически всей кинетической энергии солнечных электронных нейтрино. Высокоэнергичных борных солнечных электронных нейтрино, проникающих глубже, мало: 0,009%. Отсюда следует, что энергия солнечных электронных нейтрино разогревает в основном верхнюю мантию Земли. Именно по этой причине наблюдается такой высокий перепад температур с ростом глубины в коре Земли. До ядра Земли кинетическая энергия солнечных электронных нейтрино не доходит, следовательно: тепловой поток, исходящий из недр Земли, исходит, в основном, из верхней мантии Земли. А утверждения, о постепенном “остывании” когда-то (4.54 миллиарда лет назад) разогретой Земли, вызывают только улыбку.

Кроме того, не стоит забывать, что с ростом глубины растет и температура лавы, а вместе с ней растут и коэффициент ионизации, а также концентрация свободных электронов. Так что более глубокие слои расплавленного вещества будут лучше поглощать кинетическую энергию солнечных электронных нейтрино, а все “выводы о всепроникающей способности нейтрино” можно с большой натяжкой отнести только к твердой породе не металлического вещества при температурах, обычных для поверхности Земли. Но подавляющее количество вещества нашей планеты находится не в твердом, а в жидком (расплавленном) состоянии и с таким состоянием вещества солнечные электронные нейтрино взаимодействуют. А энергии, поступающей с потоком солнечных электронных нейтрино достаточно для поддержания этого вещества в расплавленном состоянии.

Можно посмотреть другой состав пород с другими ионами, но выводов это существенно не изменит.

9. Взаимодействие электронных нейтрино с морской водой

Как известно, морская вода проводит электрический ток. В морской воде растворены разнообразные соли, молекулы которых диссоциируют на ионы. А ионы являются носителями электрического заряда и будут взаимодействовать с электрическим полем электронного нейтрино. В каждом литре морской воды растворено в среднем 35г солей, в основном NaCl. Кроме того в морской воде также растворены газы: кислород, азот, углекислый, есть места с большим содержанием сероводорода (Черное море, на глубинах более 200м). К этому можно было бы еще добавить диссоциацию самих молекул воды на ионы H^+ и OH^- .

Состав части ионов морской воды приведен в таблице 2.

Таблица 2. Ионный состав морской воды.

Ион	%(моль/кг)	Z	$n_i(1/m^3)$	m(кг)
Cl^-	0,54586	-1	3,36653E+26	5,88716E-26
Na^+	0,46906	+1	2,89288E+26	3,81761E-26
Mg^{2+}	0,05282	+2	3,25762E+25	4,03601E-26
SO_4^{2-}	0,02824	-2	1,74167E+25	1,59520E-25
Ca^{2+}	0,01028	+2	6,34008E+24	6,65523E-26
K^+	0,0102	+1	6,29074E+24	6,49254E-26
Br^-	0,00084	-1	5,18061E+23	1,32686E-25

Sr^{2+}	0,00009	+2	5,55066E+22	1,45499E-25
F^-	0,00007	-1	4,31718E+22	3,15482E-26
HCO_3^-	0,00177	-1	1,09163E+24	1,01323E-25
CO_3^{2-}	0,00026	-2	1,60352E+23	9,96489E-26
OH^-	0,00001	-1	6,16740E+21	2,82419E-26
B(OH)_4^-	0,0001	-1	6,16740E+22	1,30920E-25

Таблица 2. Ионный состав морской воды.

Где: % - процентный состав в молях на килограмм морской воды, z - электрический заряд иона, n_i - число ионов в кубическом метре морской воды, m - масса иона.

Если эти данные подставить в (63) получим верхний предел энергии, теряемой электронным нейтрино при прохождении 1 метра морской воды:

$$W_{1\text{м ср.}} = 7.0287 \times 10^{-73} \times \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_i} \text{ дж} \times \text{кг} = 1.01377 \times 10^{-20} \text{ дж} \quad (75)$$

Добавив плотность потока солнечных электронных нейтрино на поверхности нашей планеты, и в результате получим верхний предел потока энергии, теряемой солнечными электронными нейтрино, при прохождении через 1 метр морской воды:

$$W_{1\text{м потерь}} = 1.01377 \times 10^{-20} \text{ дж} \times 6.6 \times 10^{14} \frac{1}{\text{м}^2 \text{сек}} = 6.69087 \times 10^{-6} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (76)$$

Получилась величина в 1000 раз меньшая, чем в (74), реальная величина будет еще меньше. - Электронные нейтрино значительно более слабо взаимодействуют с морской водой, чем с расплавленной лавой находящейся в мантии Земли. Но даже и в этом случае для полной отдачи кинетической энергии требуется пройти не менее 9284 км морской воды. Получилось расстояние немного меньше диаметра Земли - солнечные электронные нейтрино способны прогревать изнутри планету, целиком состоящую из морской воды и с размерами, близкими к размерам Земли. Но если только она будет достаточно удалена от Солнца, чтобы среднесуточная температура на ее поверхности была отрицательной и планета была целиком покрыта льдом. Со временем на такой планете тоже разовьется вулканическая деятельность - но место вулканов займут гейзеры.

Для того, чтобы получить настоящие значения необходимо для каждого иона учесть его окружение из поляризованных молекул воды, как это было сделано для расплавленной лавы в (74). Здесь также вместо m_i необходимо поставить $m_{i\text{эфф}}$, а k_i исчезнет, поскольку в начальных данных уже имеется реальная концентрация ионов. В результате получим поток энергии, теряемой солнечными электронными нейтрино, при прохождении через 1 метр морской воды:

$$W_{1\text{м потерь}} = 7.0287 \times 10^{-73} \times \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_{i\text{эфф}}} (\text{дж} \times \text{кг}) \times 6.6 \times 10^{14} \frac{1}{\text{м}^2 \text{сек}} = 4.639 \times 10^{-58} \times \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_{i\text{эфф}}} \frac{\text{вт} \times \text{кг}}{\text{м}^2} \quad (77)$$

10. Взаимодействие электронных нейтрино с металлами

Металлы, как в твердом, так и в жидком состоянии являются проводниками электрического тока. Проведенные физикой опыты показали, что в создании электрического тока в металлах участвуют только электроны проводимости. При отсутствии внешнего электрического поля, считается, что электроны проводимости в металле могут перемещаться хаотически, как электронный газ. Концентрация электронов проводимости в металле имеет величину того же порядка, что и число атомов в единице объема. Под действием внешнего электрического поля электроны проводимости начинают упорядоченно двигаться, а ионы металла остаются на своих местах в кристаллической решетке. Для выхода электрона за пределы металла необходимо преодолеть работу выхода, величина которой измеряется единицами электрон-вольт (ev).

Поскольку электроны проводимости в металле без наличия достаточной энергии не могут покинуть кристаллическую решетку металла, то они не являются свободными носителями электрического заряда. Под действием внешнего электрического поля электроны проводимости в металле сначала сместятся. Но поскольку покинуть металл они не могут, они создадут свое собственное электрическое поле, которое нейтрализует внешнее электрическое поле и не даст электронам дальше ускоряться (приобретать энергию).

Наличие электронов проводимости в металле еще не делает их свободными - а вот высокая температура (при которой начинается термоэлектронная эмиссия) делает часть электронов свободными. Такие электроны будут забирать кинетическую энергию у солнечных электронных нейтрино.

В общем виде, для каждого электрона металла необходимо учесть его окружение из атомов и иных электронов. Здесь также как в (74) вместо m_i необходимо поставить $m_{i\text{эфф}}$. В результате получим поток энергии, теряемой солнечными электронными нейтрино, при прохождении через 1 метр металла:

$$W_{1\text{м потерь}} = 7.3545 \times 10^{-73} \times \frac{n_e}{m_{e\text{эфф}}} (\text{дж} \times \text{кг}) \times 6.6 \times 10^{14} \frac{1}{\text{м}^2 \text{сек}} = 4.854 \times 10^{-58} \times \frac{n_e}{m_{e\text{эфф}}} \frac{\text{вт} \times \text{кг}}{\text{м}^2} \quad (78)$$

Параметр $n_e/m_{e\text{эфф}}$ сильно зависит как от вещества, так и от температуры.

11. Взаимодействие электронных нейтрино с плазмой

Идеальным объектом для взаимодействия с электронными нейтрино является плазма - содержащая свободные электрические заряды. В данном случае в качестве свободных носителей электрического заряда будут выступать:

- свободные заряженные элементарные частицы (электроны, протоны),
- атомные ядра, лишенные электронов,
- ионы вещества (атомы, как лишившиеся части электронов, так и захватившие электроны других атомов).

Спектры масс и электрических зарядов будут определяться химическим составом плазмы, а также ее температурой. Поэтому величина потока энергии, теряемой солнечными электронными нейтрино, при прохождении через 1 метр плазмы будет:

$$W_{1\text{м потерь}} = 7.3545 \times 10^{-73} \times \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_i} (\text{дж} \times \text{кг}) \times 6.6 \times 10^{14} \frac{1}{\text{м}^2 \text{сек}} = 4.8539 \times 10^{-58} \times \sum_i n_i \frac{z_i^2}{m_i} \frac{\text{вт} \times \text{кг}}{\text{м}^2} \quad (79)$$

где i - любые свободные электрические заряды плазмы, n_i - их концентрация в единице объема (м^3), z_i - их электрические заряды, m_i - их релятивистская масса (поскольку скорости у элементов плазмы могут быть сопоставимы со скоростью света).

Получилось выражение аналогичное, как и в (63), что и должно было быть. Но поскольку в плазме в обязательном порядке присутствуют свободные электроны, то они будут основными потребителями кинетической энергии электронных нейтрино. Вторыми по значению потребителями кинетической энергии солнечных электронных нейтрино будут свободные от электронов, атомные ядра.

Во всех предыдущих разделах мы рассматривали случаи, когда электронные нейтрино взаимодействуют с покоящимися или почти покоящимися заряженными частицами. Если даже заряженная частица имела небольшую скорость, то это не оказывало влияния на результаты, поскольку начальная и приобретенная скорости складывались по правилам сложения векторов. Ну а поскольку кинетическая энергия пропорциональна квадрату скорости, то получалось в среднем, при каждом последующем взаимодействии, энергия добавлялась. Но в плазме, например на Солнце, могут быть высокие скорости и даже релятивистские. Теперь время взаимодействия заряженной частицы с полем электронного нейтрино зависит не только от линейных размеров

нейтрино, но и от направления и величины скорости самой заряженной частицы.

Рассмотрим несколько таких случаев с ориентацией спина электронного нейтрино вдоль направления движения с начальной скоростью заряженной частицы V_0 .

11.1. Движение заряженной частицы в направлении, перпендикулярном действующей на нее силы.

В этом случае скорость заряженной частицы не может оказать влияние на время нахождения в ускоряющем ее электрическом поле электронного нейтрино. У заряженной частицы будут две ортогональные компоненты скорости:

- V_0 - скорость начального движения,
- $V_{вз}$ - скорость, полученная в результате взаимодействия частицы с электрическим полем электронного нейтрино.

Первая компонента скорости не изменится, поскольку в этом направлении сила не действует, а значит, отсутствует и ускорение. Для второй компоненты останется верным выражение (43), определенное ранее.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111e(m_0\sim c)^2}{\hbar^2} \quad (80)$$

Δt будет:

$$\Delta t = 2 \frac{L\hbar}{(m_0\sim c)c} = \frac{\hbar}{m_0\sim c^2} \quad (81)$$

Теперь умножим E (80) на Δt (81)

$$E\Delta t = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111e(m_0\sim c)^2}{\hbar^2} \frac{\hbar}{m_0\sim c^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111em_0\sim}{\hbar} \quad (82)$$

$V_{вз}$ будет:

$$v_{вз} = \frac{ze}{m_z} E\Delta t = \frac{z}{m_z} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111e^2m_0\sim}{\hbar} \quad (83)$$

где z - заряд частицы в единицах элементарного заряда, m_z - ее релятивистская масса. Если в (83) подставить начальные данные для свободного электрона низкотемпературной плазмы, то получится величина скорости, равная 1,77 м/сек, а для свободного протона плазмы чуть менее 1 мм/сек.

Начальная кинетическая энергия заряженной частицы, при не релятивистской скорости, будет:

$$W_0 = \frac{m_z v_0^2}{2} \quad (84)$$

а изменение кинетической энергии (вспомним, что V_0 и $V_{вз}$ перпендикулярны) будет:

$$\Delta W_z = \frac{m_z v_{вз}^2}{2} = \frac{z^2}{2m_z} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111 e^2 m_0}{\hbar} \right)^2 = 1.1417 \left(\frac{z^2 e^4 m_0^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 m_z \hbar^2} \right) \quad (85)$$

Как видим, поскольку начальная скорость V_0 не повлияла на Δt , то она и не смогла повлиять на передаваемую энергию ΔW_z .

Но обратим внимание на одну маленькую деталь. В выражениях (83) и (85) в знаменателе стоит не масса покоя заряженной частицы, а ее релятивистская масса. Следовательно, с ростом начальной скорости V_0 будет уменьшаться передаваемая кинетическая энергия, и она теперь будет:

$$\Delta W_z = 1.1417 \sqrt{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)} \left(\frac{z^2 e^4 m_0^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 m_{0z} \hbar^2} \right) \quad (86)$$

где m_{0z} - масса покоя заряженной частицы z .

Так что, при взаимодействии на Солнце с релятивистскими заряженными частицами, теряемая электронным нейтрино энергия будет меньше, чем в аналогичном случае взаимодействия с земной плазмой.

11.2. Движение заряженной частицы по направлению действия ускоряющей силы.

Сначала рассмотрим нерелятивистский случай (земная плазма). Напряженность электрического поля E останется прежней, как в (80), но время нахождения заряженной частицы в ускоряющем электрическом поле Δt изменится. Теперь оно уменьшится и будет:

$$\Delta t = 2 \frac{L\hbar}{(m_0 \sim c)(c+v_0)} = \frac{\hbar}{(m_0 \sim c)(c+v_0)} \quad (87)$$

В этом случае изменение скорости будет:

$$\Delta v = \frac{ze}{m_z} E \Delta t = \frac{ze}{m_z} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111 e (m_0 \sim c)^2}{\hbar^2} \frac{\hbar}{(m_0 \sim c)(c+v_0)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111 z e^2 m_0 \sim c}{m_z \hbar (c+v_0)} \quad (88)$$

Новая величина скорости заряженной частицы, после взаимодействия, будет:

$$v_z = v_0 + \Delta v = v_0 + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111 z e^2 m_0 \sim c}{m_z \hbar (c+v_0)} \quad (89)$$

Новая величина кинетической энергии заряженной частицы, при не релятивистской скорости, будет:

$$W_z = \frac{m_z v_z^2}{2} = \frac{m_z}{2} \left(v_0^2 + \frac{2v_0}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{m_z \hbar (c+v_0)} + \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{m_z \hbar (c+v_0)} \right)^2 \right) \quad (90)$$

Изменение кинетической энергии будет:

$$\Delta W_z = \frac{m_z v_z^2}{2} - \frac{m_z v_0^2}{2} = \frac{m_z}{2} \left(\frac{2v_0}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{m_z \hbar (c+v_0)} + \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{m_z \hbar (c+v_0)} \right)^2 \right) \quad (91)$$

Как видим, начальная скорость V_0 существенно повлияла как на Δt , так и на передаваемую энергию.

Теперь посмотрим, что произойдет при переходе к релятивистским скоростям. Выражение (87) останется прежним (в нем нет m_z), а выражения (88) и (89) изменятся:

$$\Delta v = \frac{ze}{m_z} E \Delta t = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)} \left(\frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{m_{0z} \hbar (c+v_0)} \right) \quad (92)$$

$$v_z = v_0 + \Delta v = v_0 + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)} \left(\frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{m_{0z} \hbar (c+v_0)} \right) \quad (93)$$

Поскольку скорости релятивистские, то изменение энергии придется считать иначе. Сначала определим полную начальную внутреннюю энергию заряженной частицы до взаимодействия с электронным нейтрино, при начальной скорости V_0 . Это будет:

$$W_{0z} = m_{z(v_0)} c^2 = \frac{m_{0z} c^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)}} \quad (94)$$

А при скорости V_z :

$$W_{1z} = m_{z(v_z)} c^2 = \frac{m_{0z} c^2}{\sqrt{\left(1 - \frac{v_z^2}{c^2}\right)}} \quad (95)$$

Разница полных внутренних энергий (величина энергии теряемой электронным нейтрино):

$$\Delta W_z = \frac{m_{0z} c^2}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{v_z^2}{c^2}\right)}} - \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)}} \right) \quad (96)$$

Поскольку в (93) $\Delta v \ll V_0$, выражение (96) можно записать и в следующем виде, используя производную от функции (94):

$$\Delta W_z = \frac{m_{0z}v_0\Delta v}{\left(1-\frac{v_0^2}{c^2}\right)\sqrt{\left(1-\frac{v_0^2}{c^2}\right)}} = \frac{m_{0z}v_0\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\sqrt{\left(1-\frac{v_0^2}{c^2}\right)}\left(\frac{1.5111ze^2m_{0\sim}c}{m_{0z}\hbar(c+v_0)}\right)}{\left(1-\frac{v_0^2}{c^2}\right)\sqrt{\left(1-\frac{v_0^2}{c^2}\right)}} = \frac{\frac{v_0}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{1.5111ze^2m_{0\sim}c}{\hbar(c+v_0)}\right)}{\left(1-\frac{v_0^2}{c^2}\right)} \quad (97)$$

11.3. Движение заряженной частицы в направлении, обратном действия на нее силы.

Напряженность электрического поля E остается прежней, как в (80), но время нахождения заряженной частицы в электрическом поле Δt иное. Теперь оно вырастет и будет:

$$\Delta t = 2 \frac{L\hbar}{(m_{0\sim}c)(c-v_0)} = \frac{\hbar}{(m_{0\sim}c)(c-v_0)} \quad (98)$$

Как видно из (87) и (98) заряженная частица, при достаточно большой скорости, больше времени отдает свою кинетическую энергию электронному нейтрино, чем ее получает. Когда скорость заряженной частицы была значительно меньше скорости света, эти времена практически совпадали. А теперь они отличаются.

В этом случае изменение скорости будет отрицательным, заряженная частица будет тормозиться и передавать часть своей кинетической энергии электронному нейтрино:

$$\Delta v = -\frac{ze}{m_z}E\Delta t = -\frac{ze}{m_z}\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{1.5111e(m_{0\sim}c)^2}{\hbar^2}\frac{\hbar}{(m_{0\sim}c)(c-v_0)} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{1.5111ze^2m_{0\sim}c}{m_z\hbar(c-v_0)} \quad (99)$$

Новая величина скорости заряженной частицы, после взаимодействия, будет:

$$v_z = v_0 + \Delta v = v_0 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{1.5111ze^2m_{0\sim}c}{m_z\hbar(c-v_0)} \quad (100)$$

Новая величина кинетической энергии заряженной частицы, при не релятивистской скорости, будет:

$$W_z = \frac{m_z v_z^2}{2} = \frac{m_z}{2} \left(v_0^2 - \frac{2v_0}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111ze^2m_{0\sim}c}{m_z\hbar(c-v_0)} + \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111ze^2m_{0\sim}c}{m_z\hbar(c-v_0)} \right)^2 \right) \quad (101)$$

Изменение кинетической энергии будет:

$$\Delta W_z = \frac{m_z v_z^2}{2} - \frac{m_z v_0^2}{2} = \frac{m_z}{2} \left(-\frac{2v_0}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111ze^2m_{0\sim}c}{m_z\hbar(c-v_0)} + \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111ze^2m_{0\sim}c}{m_z\hbar(c-v_0)} \right)^2 \right) \quad (102)$$

Как видим, здесь начальная скорость V_0 существенно повлияла не только на передаваемую энергию, но даже на направление передачи энергии.

Теперь посмотрим, что произойдет при переходе к релятивистским скоростям. Выражение (98) останется прежним (в нем нет m_z), а выражения (99) и (100) изменятся:

$$\Delta v = -\frac{ze}{m_z} E \Delta t = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)} \left(\frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{m_{0z} \hbar (c-v_0)}\right) \quad (103)$$

$$v_z = v_0 + \Delta v = v_0 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)} \left(\frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{m_{0z} \hbar (c-v_0)}\right) \quad (104)$$

Поскольку скорости релятивистские, то изменение энергии придется считать по формулам (94), (95) и (96). Поскольку в (93) $|\Delta V| \ll V_0$, выражение (96) можно записать и в следующем виде (аналогично (97)), используя производную от функции (94):

$$\Delta W_z = \frac{m_{0z} v_0 \Delta v}{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right) \sqrt{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)}} = -\frac{m_{0z} v_0 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)} \left(\frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{m_{0z} \hbar (c-v_0)}\right)}{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right) \sqrt{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)}} =$$

$$-\frac{\frac{v_0}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{\hbar (c-v_0)}\right)}{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)} \quad (105)$$

Как видно из (105), даже релятивистское нейтрино можно разгонять.

11.4. Влияние начальной скорости на направление передачи кинетической энергии

Сложим вместе выражения: 2 (86) + 0.5 (97) + 0.5(105) - возьмем среднее значение передачи энергии (по ортогональным направлениям).

$$\Delta W_{z \text{ ср.}} = 2 \frac{z^2}{2m_{0z}} \sqrt{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1.5111 e^2 m_0 \sim}{\hbar}\right)^2 + 0.5 \frac{\frac{v_0}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{\hbar (c+v_0)}\right)}{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)} +$$

$$0.5 \left(-\frac{\frac{v_0}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1.5111ze^2 m_0 \sim c}{\hbar (c-v_0)}\right)}{\left(1 - \frac{v_0^2}{c^2}\right)}\right) \quad (106)$$

Как видно из (106), направление передачи кинетической энергии определяется начальной скоростью заряженной частицы. С ростом этой скорости уменьшается теряемая энергия, но растет приобретаемая. Поэтому при некоторой скорости направление передачи энергии меняется

на противоположное. Желаящие могут определить эту величину скорости самостоятельно.

Можно повторить расчеты и для другой ориентации спина электронного нейтрино (желающие могут это проделать сами), но это не изменит основного вывода: электронное нейтрино может, как отдавать часть своей кинетической энергии, так и получать часть кинетической энергии частицы, с которой оно взаимодействует.

12.Вместо итога

Первоначально я хотел подвести итог всего сказанного, но природа решила все за меня иначе: ФУКУСИМА.

Будет еще одна часть.

Что касается итогов - часть их очевидна:

Образующиеся в результате термоядерных реакций на Солнце, электронные нейтрино, во время движения от ядра Солнца к короне, взаимодействуют с множеством элементарных частиц, как забирающих, так и отдающих энергию. Поэтому, на выходе из Солнца, кинетическая энергия электронных нейтрино значительно отличается от ее величины у источника образования, рассчитанной John Bahcall и Pinsonneault. Проходящий через планету (не только нашу), поток электронных нейтрино разогревает ее изнутри, питая энергией землетрясения, извержения вулканов, тектоническую деятельность, геотермальную деятельность и тепловой поток, исходящий из недр планеты. Миновавший планеты поток электронных нейтрино выбрасывается за пределы солнечной системы. В процессе движения солнечные электронные нейтрино сталкиваются с молекулярными соединениями электронных нейтрино, находящихся в межзвездном и межгалактическом пространстве (в основном в виде молекул ν_2 , значительно реже ν_4) и разбивают их. Молекулярные соединения электронных нейтрино являются неустойчивыми образованиями и распадаются в результате столкновения с движущимися электронными нейтрино (рожденными звездами) а также с фотонами (создавая еще и красное смещение, по ошибке приписываемое вымышленному разбеганию галактик в результате сказочного Большого взрыва). На это уходит соответствующая часть кинетической энергии. Высвобожденное электронное нейтрино через некоторое время повстречается с другим высвобожденным электронным нейтрино, и снова создадут связанное состояние. При каждом образовании связанного состояния пары электронных нейтрино, происходит выделение энергии в виде электромагнитного излучения с частотой соответствующей основному пику микроволнового фонового космического излучения, исторически (по ошибке) называемого “реликтовым излучением”.

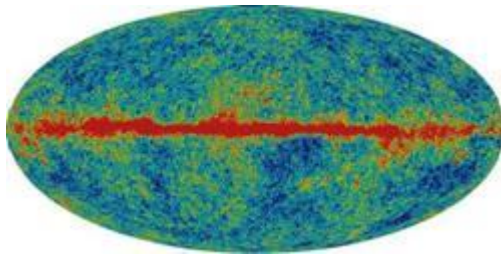


Рис.8 Карта микроволнового фонового космического излучения - ПОДЛИННАЯ, БЕЗ ПОДГОНКИ под "реликтовое излучение".

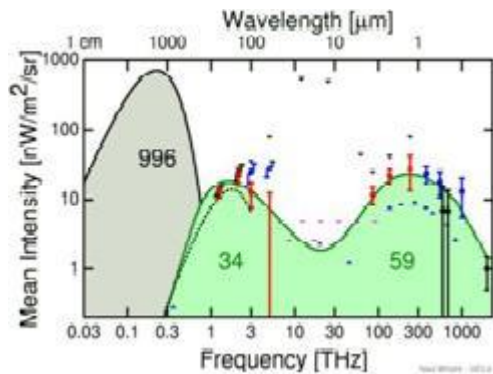


Рис.9 Спектр микроволнового фонового космического излучения, исторически называемого "реликтовым излучением"

Со временем, отдав всю свою кинетическую энергию, полученную от Солнца, электронное нейтрино повстречает другое потерявшее энергию электронное нейтрино и создаст с ним связанное состояние в виде молекулярного соединения (молекулы ν_2 , которые в свою очередь могут слиться в молекулы ν_4). Тем самым молекулярные соединения электронных нейтрино пополняют собой "темное" вещество Вселенной. Как понимаете, "темное" вещество в отличие от сказочной "темной материи" обладает электромагнитной природой. Ну а свет оно излучает - но только в виде микроволнового фонового космического излучения, что мы и наблюдаем во Вселенной.

До сих пор мы имели дело с потоком солнечных электронных нейтрино, средней энергией 0,61 МэВ. Но в результате деятельности человечества появились и активно развиваются новые источники нейтринного излучения на Земле - атомные электростанции. Посмотрим, сколько и каких нейтрино создаются на атомных электростанциях.

13. Поток и энергии реакторных электронных антинейтрино

Для примера рассмотрим современную атомную электростанцию на тепловых нейтронах. В ней энергия выделяется в результате расщепления ядер изотопа урана 235, плутония 239 и плутония 241 после поглощения ядром теплового нейтрона. При делении получаются два несимметричных осколка и, в среднем, 2-3 нейтрона:

- один из нейтронов деления после замедления участвует в новой реакции деления;

- один из нейтронов деления пойдет на реакцию преобразования урана 238 в плутоний 239;
- три нейтрона пойдет на реакцию преобразования урана 238 в плутоний 241, но эти реакции более редкие, чем реакция образования плутония 239;
- оставшаяся часть нейтронов либо распадется, либо будет захвачена поглотителем.

Таким образом, получается:

- некоторое количество антинейтрино от цепочек бета-распадов продуктов деления.
- 2 антинейтрино бета-распадов, реакции образования плутония 239 (0,813 и 0,511 МэВ) или плутония 241 (1,172 и 0,836 МэВ);
- 0,25 электронных антинейтрино от распада оставшихся нейтронов (0,546 МэВ).

Количество антинейтрино продуктов цепочек бета-распадов и их энергии зависят от того, как и какое ядро поделилось.

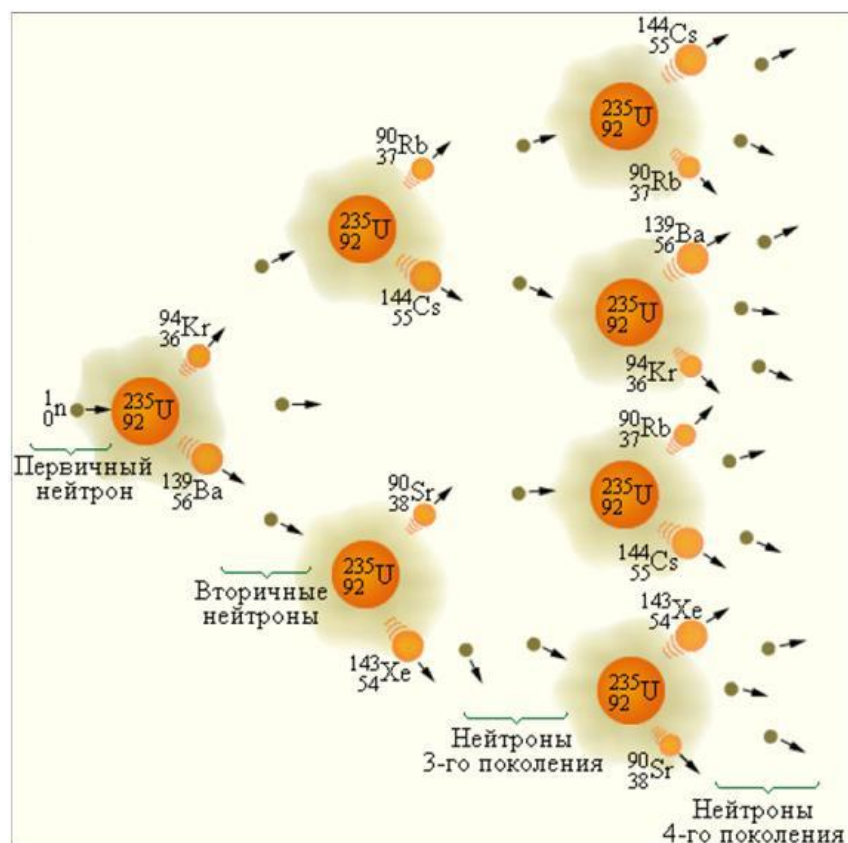


Рис.9 Деление изотопа уран-235 тепловыми нейтронами (картинка взята из интернет-источника)

В таблицах 3-1 и 3-2 приведены энергии бета распадов осколков деления.

Таблица 3-1. Энергии бета-распадов осколков деления ядер урана и плутония (начало).

A/Z	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
78	10,400	12,640	6,366	8,154	0,955	4,209	нет	0,727														
79		11,100	9,110	6,960	4,146	2,281	0,151															
80		15,440	7,300	10,380	2,639	5,609	нет	2,002														
81			11,880	8,320	6,233	3,855	1,583															
82			10,800	12,520	4,700	7,274	нет	3,092														
83			13,100	11,500	8,980	5,481	3,688	0,973														
84				14,100	7,900	9,852	1,847	4,632	нет	0,894												
85				13,000	10,220	9,110	6,180	2,873	0,687													
86				15,400	9,300	11,441	5,099	7,626	нет	1,776												
87					11,800	10,580	7,277	6,852	3,888	0,283												
88					11,200	12,580	6,850	8,962	2,917	5,312												
89					13,400	12,100	9,370	8,160	4,982	4,497	1,492											
90						14,400	8,720	10,350	4,382	6,580	0,545	2,283										
91						13,400	11,200	9,800	6,435	5,900	2,700	1,545										
92						15,700	9,980	12,205	5,987	8,096	1,945	3,649	нет	0,357								
93						12,300	11,020	8,597	7,488	4,138	2,894	0,091										
94							11,000	13,300	7,453	10,287	3,588	4,918	нет	2,045								
95								12,100	9,854	9,262	6,091	4,450	1,129	0,925								
96								14,400	8,220	11,720	5,408	7,096	0,161	3,187	нет	0,255						
97								13,200	10,480	10,428	7,470	6,689	2,659	1,934								
98									9,420	12,420	5,870	8,819	2,242	4,583	нет	1,796						
99									11,380	11,310	8,010	7,568	4,558	3,639	1,358	0,292						
100									10,500	13,520	7,070	9,310	3,340	6,244	нет	3,202						
101										11,810	9,500	8,550	5,482	4,589	2,824	1,614						
102											8,810	9,850	4,610	7,207	1,009	4,532	нет	1,150				
103											11,300	9,470	6,950	5,530	3,747	2,861	0,764					
104											10,500	11,400	5,920	8,110	2,160	5,598	нет	2,441				
105											12,800	11,000	8,450	6,490	4,950	3,637	1,918	0,567				
106												12,900	7,400	9,155	3,520	6,547	0,039	3,541	нет	0,195		
107												12,500	9,700	8,040	6,160	4,820	2,943	1,504	0,034			
108												14,500	8,500	10,600	4,650	7,720	1,350	4,504	нет	1,651		
109													10,800	9,100	7,330	6,320	4,160	2,596	1,160			
110													9,700	11,900	5,460	9,020	2,800	5,569	нет	2,892		
111														10,500	8,120	7,450	5,690	3,644	2,217	1,038		
112														13,000	7,200	9,480	4,260	6,596	0,288	3,956	нет	0,665
113														11,900	9,600	8,500	6,480	5,010	3,342	2,017	0,321	
114															8,400	10,830	5,100	7,867	1,452	5,071	нет	1,988
115															10,800	9,330	7,780	6,190	4,890	3,100	1,447	0,498

Таблица 3-2. Энергии бета-распадов осколков деления ядер урана и плутония (окончание).

A/Z	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
125	8,5600	7,1200	5,4185	2,3565	0,7672														
126	11,3300	5,4800	8,2100	0,3800	3,8640	нет	1,2580												
127	9,6200	8,4700	6,5090	3,2010	1,5811	0,7019													
128	12,5000	7,0600	8,9700	1,2800	4,3821	нет	2,1220												
129	10,7000	9,7400	7,6500	4,0380	2,3752	1,4998	0,1944												
130	15,4000	8,29	10,2490	2,1530	5,0594	нет	2,9497	нет	0,3610										
131		12,8400	9,1740	4,6730	3,2220	2,2350	0,9710												
132		11,7200	14,1340	3,1200	5,5080	0,5180	3,5805	нет	1,2788										
133			13,05	7,99	4,005	2,942	1,7586	0,4274											
134			14,8000	7,3700	8,3890	1,5130	4,0525	нет	2,0589										
135			13,6000	8,9100	8,1200	5,9590	2,6280	1,1640	0,2690										
136				8,4000	9,5300	5,0700	6,9250	нет	2,5482	нет	0,4280								
137				10,0000	9,2600	6,9400	5,8790	4,1660	1,1760										
138					10,7300	6,4000	7,8200	2,7270	5,3746	нет	1,0430								
139					10,5000	8,0400	6,8030	5,0580	4,2127	2,3177									
140						7,2700	8,7200	4,0600	6,2210	1,0500	3,7620								
141						8,9200	7,8100	6,1480	5,2500	3,2120	2,5021	0,5808							
142						8,3000	9,7800	5,0350	7,3080	2,2120	4,5030	нет	2,1630						
143							8,8400	7,2310	6,2650	4,2510	3,4250	1,4810	0,9344						
144							10,7000	5,9700	8,1990	3,1210	5,5470	0,3190	2,9972	нет	0,5510				
145								7,9680	7,3540	5,5800	4,1100	2,5310	1,8080						
146								6,9200	9,3800	4,1200	6,5600	1,0300	4,2210	нет	1,5420				
147								8,7200	8,5800	6,2500	5,1800	3,4250	2,6969	0,8960	0,2242				
148									10,7100	5,1200	7,2600	2,1400	4,8830	нет	2,4702				
149									9,6500	7,3100	5,9000	4,3600	3,3210	1,6900	1,0709				
150									11,6000	6,4000	7,8200	3,4800	5,3900	нет	3,4543	нет	0,9720		
151									10,6000	8,5000	7,2000	5,2700	4,1820	2,4430	1,1870	0,0770			
152										7,5000	9,0100	4,7000	6,3480	1,1020	3,5080	нет	1,8202		
153										9,3000	8,4000	6,3300	5,7200	3,3340	1,8810	0,8080			
154											10,3000	5,5000	7,4900	2,8100	3,9616	нет	1,9682		
155											9,6000	7,4000	6,6700	4,5000	3,2270	1,8275	0,2526		
156													6,5000	8,6300	3,6900	5,1500	0,7230	2,4490	нет 0,4330

Данные в таблице 3 получены с помощью интернет ресурса: (http://cdf.e.sinp.msu.ru/services/calc_thr/calc_thr_ru.html#3) ЦЕНТРА ДАННЫХ ФОТОЯДЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ Национального центра ядерных данных США (USA National Nuclear Data Center - NNDC). Номер строки указывает атомный номер осколка деления, а номер столбца указывает его электрический заряд. В первой части таблицы представлен вероятный более легкий осколок деления, а во второй - более тяжелый. В таблице представлены наиболее вероятные осколки продуктов деления, желающие могут рассмотреть другие варианты деления ядер самостоятельно.

В таблице 3 представлена энергия бета-распадов, но нас интересует кинетическая энергия, уносимая антинейтрино. А ее придется посчитать в соответствии с законами физики. Для этого воспользуемся законами сохранения энергии и импульса, а также учтем тот факт, что масса осколка ядра значительно (на несколько порядков) превышает массу покоя электрона, а тем более и электронного антинейтрино. Поэтому энергия распада будет практически полностью делиться между электроном и электронным антинейтрино, а это уже нетрудно подсчитать.

В таблицах 4-1 и 4-2 приведены результаты таких вычислений.

Таблица 4-1. Средняя кинетическая энергия, уносимая реакторными электронными антинейтрино в результате бета-распадов осколков деления ядер урана и плутония (начало).

A/Z	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	
78	5,4440	6,5660	3,4200	4,3180	0,6440	2,3320																	
79		5,7940	4,7970	3,7280	2,3000	2,3500	0,1340																
80		7,9670	3,8890	5,4340	1,5340	3,0050																	
81			6,1850	4,4010	3,3530	2,1540	0,9860																
82			5,5440	6,5050	2,5800	3,8760																	
83			6,7960	5,9650	4,7320	2,9640	2,0580	0,6540															
84				7,2970	4,1900	5,1690	1,1240	2,5460															
85				6,7460	5,3530	4,7970	3,3260	1,6520	0,4900														
86				7,9470	4,8920	5,9650	2,7820	4,0520															
87					6,1450	5,5340	3,8770	3,6640	2,1700	0,2330													
88					5,8440	6,5360	3,6630	4,7230	1,6760	2,8890													
89					6,9460	6,2950	4,9270	4,3200	2,7230	2,4780	0,9360												
90						7,4470	4,6010	5,4180	2,4250	3,5270	0,4040	1,3490											
91						6,9460	5,8440	5,1430	3,4540	3,1850	1,5650	0,9640											
92						8,0970	5,2330	6,3480	3,2290	4,2680	1,1750	2,0450											
93							6,3950	5,7540	4,5400	3,9730	2,2960	1,6640	0,0840										
94							5,7440	6,8960	3,9660	5,3870	1,9770	2,6900											
95								6,2950	5,1700	4,8730	3,2810	2,4540	0,7380	0,6270									
96								7,4470	4,3510	6,1050	2,9360	3,7860	0,1420	1,8140									
97								6,8460	5,4740	5,4580	3,9740	3,5820	1,5440	1,1690									
98									4,9520	6,4550	3,1480	4,6510	1,3290	2,5210									
99									5,9350	5,8990	4,2450	4,0230	2,5090	2,0440	0,8650	0,2400							
100									5,4940	7,0060	3,7730	4,8970	1,8920	3,3580									
101										6,1500	4,9920	4,5160	2,9750	2,5140	1,6280	1,0010							
102											4,6460	5,1680	2,5350	3,8420	0,6740	2,4960							
103											5,8940	4,9770	3,7130	2,9990	2,0980	1,5450	0,5350						
104											5,4940	5,9450	3,1950	4,2950	1,2870	3,0330							
105											6,6460	5,7440	4,4660	3,4820	2,7070	2,0430	1,1610	0,4180					
106												6,6960	3,9390	4,6190	1,9830	3,5110	0,0380	1,9940					
107												6,4950	5,0930	4,2600	3,3160	2,6410	1,6890	0,9430	0,0330				
108												7,4970	4,4910	5,5440	2,5550	4,1000	0,8600	2,4810					
109													5,6440	4,7920	3,9040	3,3960	2,3080	1,5110	0,7330				
110													5,0930	6,1950	2,9640	4,7520	1,6160	3,0190					
111														5,4940	4,3000	3,9640	3,0790	2,0460	1,3160	0,6890			
112														6,7480	3,8390	4,9620	2,3580	3,5350	0,2360	2,2040			
113															6,1950	5,0430	4,4910	3,4770	2,7370	1,8930	1,2120	0,2590	
114																4,4410	5,6590	2,7820	4,1730	0,9150	2,7680		
115																	5,6440	4,9070	4,1300	3,3310	2,5750	1,7690	0,9120
																						0,3750	

Таблица 4-2. Средняя кинетическая энергия, уносимая реакторными электронными антинейтрино в результате бета-распадов осколков деления ядер урана и плутония (окончание).

A/Z	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
125	4,5210	3,7980	2,9430	1,3880	0,5370													
126	5,9090	2,9740	4,3460	0,2990	2,0560													
127	5,0530	4,4760	3,4910	1,8210	0,9840	0,4990												
128	6,4950	3,7680	4,7270	0,8230	2,4200													
129	5,5940	5,1130	4,0650	2,2460	1,3980	0,9400	0,1680											
130	7,9470	4,386	5,3680	1,2830	2,7620													
131		6,6660	4,8290	2,5670	1,8320	1,3250	0,6530											
132		6,1050	7,3140	1,7800	2,9880	0,3880	2,0140											
133			6,771	4,235	2,229	1,689	1,076	0,33										
134			7,6470	3,9240	4,4350	0,9470	2,2530											
135			7,0460	4,6970	4,3000	3,2150	1,5280	0,7600	0,2230									
136				4,4410	5,0070	2,7670	3,7000											
137				5,2430	4,8720	3,7080	3,1750	2,3110	0,7660									
138					5,6090	3,4370	4,1500	1,5790	2,9210									
139					5,4940	4,2600	3,6390	2,7610	2,3340	1,3680								
140						3,8740	4,6010	2,2570	3,3470	0,6970	2,1060							
141						4,7020	4,1450	3,3090	2,8580	1,6260	1,4630	0,4260						
142						4,3910	5,1330	2,7490	3,8930	1,3140	2,4810	α						
143							4,6620	3,8540	3,3690	2,3540	1,9350	0,9200	0,6320	α				
144								3,2200	4,3400	1,7800	3,0070	0,2580	1,7170	α				
145								4,2180	3,9160	3,0240	2,2820	1,4780	1,1020	α				
146								3,6980	4,9320	2,2870	3,5170	1,9820	2,3380	α				
147								4,6010	4,5310	3,3610	2,8230	1,9350	1,5630	0,6110	0,1900	α		
148									5,5990	2,7920	3,8690	1,2760	2,6730	α				
149									5,0680	3,8940	3,1850	2,4090	1,8820	1,0410	0,7080	α		
150									6,0450	3,4370	4,1500	1,9630	2,9280					
151									5,5440	4,4910	3,8390	2,8680	2,3190	1,4330	0,7720	0,0720	α	
152										3,9890	4,7470	2,5800	3,4100	0,7260	1,9770	α		
153										4,8920	4,4410	3,4010	3,0950	1,8890	1,1410	0,5610	α	
154											5,3930	2,9840	3,9840	1,6210	2,2070			
155											5,0430	3,9390	3,5720	2,4790	1,8340	1,0080	0,211	α
156												3,4870	4,5560	2,0690	2,8070	0,5110	1,4360	

Как видно из приведенных в таблице 4 данных, кинетическая энергия реакторных электронных антинейтрино, в подавляющем большинстве

случаев распада, значительно превосходит кинетическую энергию солнечных нейтрино и находится в пределах 0,03 - 8 МэВ. Знак α обозначает α -распад, в результате которого Z осколка уменьшится на 2, а A - на 4, после чего бета-распады могут быть продолжены уже на другой строке.

Теперь возникает закономерный вопрос: а что произойдет при столкновении нейтральной частицы и античастицы соответствующих кинетических энергий. Например, при столкновении нейтрона и антинейтрона произойдет хорошо известная физике микромира реакция под названием "аннигиляция". Тоже произойдет и при столкновении любой другой нейтральной пары частица-античастица группы барионов. А почему при столкновении электронных нейтрино с антинейтрино ничего не должно произойти. Напоминаю, что слабого взаимодействия в природе нет - все это сказки Стандартной модели. А из того, что сечение взаимодействия электронного нейтрино с барионным веществом очень мало следует, что мала вероятность реакции с поглощением электронного нейтрино веществом, и только. Но о взаимодействии электронного нейтрино с электронным антинейтрино это ничего не говорит. Таким образом, у нас нет серьезных оснований считать невозможной реакцию аннигиляции электронного нейтрино с электронным антинейтрино - голословные утверждения Стандартной модели оставим ей самой. Ну а раз полевая теория элементарных частиц утверждает, что у всех элементарных частиц имеются электромагнитные поля, а классическая электродинамика утверждает, что электромагнитные поля взаимодействуют друг с другом - следовательно, реакция аннигиляции электронного нейтрино с электронным антинейтрино должна иметь место.

Посмотрим, что получится в результате реакции аннигиляции электронного нейтрино с электронным антинейтрино.

Как утверждает физика, все реакции между элементарными частицами, а значит, и реакция аннигиляции подчиняются известным законам сохранения: энергии, импульса, спина, электрического заряда и иным законам природы.

Из закона сохранения электрического заряда следует, что суммарный электрический заряд продуктов реакции также будет равен нулю - следовательно, в продуктах реакции вероятнее всего должны присутствовать нейтральные элементарные частицы, например, фотоны. Из закона сохранения импульса следует, что суммарный импульс продуктов реакции должен совпадать с суммарным импульсом на входе.

Ну а поскольку практически вся энергия обоих нейтрино сосредоточена в их кинетической энергии - то на выходе будут фотоны. И импульс у пары фотонов будет мало отличаться от импульса частиц на входе. Из закона сохранения спина следует, что если спины частиц на входе были антипараллельны, то на выходе реакции получится 2 фотона с антипараллельными спинами. Ну а если спины частиц на входе реакции были параллельны, то на выходе реакции будут 3 фотона - у одного из фотонов спин будет совпадать с направлением спина частиц на входе реакции, а у остальной пары фотонов спины будут направлены в противоположные стороны.

Ну а закон сохранения энергии, совместно с законом сохранения импульса распределят между продуктами реакции энергию и импульс.

Таким образом, в результате реакции аннигиляции электронного нейтрино с электронным антинейтрино мы, чаще всего, должны наблюдать два либо три фотона с кинетической энергией, (у пары фотонов) незначительно отличающейся от кинетической энергии аннигилирующих частиц. И эти фотоны будут образовываться в дневное время (пока над землей светит солнце) как в воздухе, так и под землей. При этом, немного менее половины фотонов, образующихся в воздухе, полетят в сторону земли с кинетической энергией, соответствующей кинетической энергии солнечных электронных нейтрино, с помощью которых они образовались. Т.е. будет постепенно разогреваться вещество коры нашей планеты в районе расположения АЭС. И как Вы понимаете, чем больше рядом расположено АЭС (например, как в Японии) - тем сильнее. В ночное время половина электронных антинейтрино, образующихся на атомных электростанциях, полетит в землю и благодаря более высокой кинетической энергии, проникнет глубже солнечных электронных нейтрино. Последние частицы будут воздействовать на более глубокие слои нашей планеты, чем солнечные электронные нейтрино. Механизм их воздействия на природу совпадает с механизмом воздействия солнечных электронных нейтрино. Каковы последствия такого воздействия на природу - это отдельный предмет изучения наукой деяний человечества.

13.1. Деление ядра урана-235

Сначала в качестве примера подсчитаем энергию, уносимую электронными антинейтрино, при делении ядра урана-235 тепловым нейтроном, как это отображено на рис.9.

Таблица 5. Пример кинетической энергии, уносимой реакторными электронными антинейтрино в результате бета-распадов осколков деления ядер урана-235, по схеме рис.9.

A/Z	Элемент	W(MeV)						Σ (Mev)	Итого:
94/36	Kr	3,9660	5,3870	1,9770	2,6900			14,0200	
139/56	Ba	1,3680						1,3680	15,3880
90/37	Pb	3,5270	0,4040	1,3490				5,2800	
144/55	Cs	4,3400	1,7800	3,0070	0,2580	1,7170		11,1020	16,3820
90/38	Sr	0,4040	1,3490					1,7530	
143/54	Xe	3,8540	3,3690	2,3540	1,9350	0,9200	0,6320	13,0640	14,8170

А теперь посмотрим, как изменится верхняя строка таблицы 5, если в результате деления получатся два свободных нейтрона.

Таблица 6. Пример кинетической энергии, уносимой реакторными электронными антинейтрино в результате двух-нейтронных бета-распадов осколков деления ядер урана-235.

A/Z	Элемент	W(MeV)				Σ (Mev)	Итого:
94/36	Kr	3,9660	5,3870	1,9770	2,6900	14,0200	
140/56	Ba	0,6970	2,1060			2,8030	16,8230

Как видим, итоговая суммарная энергия выросла.

А теперь посмотрим, как изменится верхняя строка таблицы 5, если протоны в ядре поделаются иначе.

Таблица 7. Пример кинетической энергии, уносимой реакторными электронными антинейтрино в результате трех-нейтронных бета-распадов осколков (94 и 139) деления ядер урана-235 с разным распределением протонов.

A/Z	Элемент	W(MeV)						Σ (Mev)	Итого:
94/34	Se	5,7440	6,8960	3,9660	5,3870	1,9770	2,6900	26,6600	
139/5	Ce	0						0	26,660

8									0
94/35	Br	6,896 0	3,966 0	5,387 0	1,977 0	2,690 0		20,916 0	
139/5 7	La	0						0	20,916 0
94/36	Kr	3,966 0	5,387 0	1,977 0	2,690 0			14,020 0	
139/5 6	Ba	1,368 0						1,3680	15,388 0
94/37	Pb	5,387 0	1,977 0	2,690 0				10,054 0	
139/5 5	Cs	2,334 0	1,368 0					3,7020	13,756 0
94/38	Sr	1,977 0	2,690 0					4,6670	
139/5 4	Xe	2,761 0	2,334 0	1,368 0				6,4630	11,130 0
94/39	Y	2,690 0						2,6900	
139/5 3	I	3,639 0	2,761 0	2,334 0	1,368 0			10,102 0	12,792 0
94/40	Zr	0						0,0000	
139/5 2	Te	4,260 0	3,639 0	2,761 0	2,334 0	1,368 0		14,362 0	14,362 0
94/41	Nb	0						0,0000	
139/5 1	Sb	5,494 0	4,260 0	3,639 0	2,761 0	2,334 0	1,368 0	19,856 0	19,856 0

Как видно из таблицы 7, среднее значение энергии (по протонам) для осколков с 94 и 139 нуклонами будет 16,8575 МэВ, что незначительно отличается от энергии таблицы 6 (варианта деления с двумя свободными нейтронами). Ну а поскольку среднее число свободных нейтронов в результате деления ядра урана-235 равно 2,452 то, следовательно, больше половины ядер урана-235 делятся через два свободных нейтрона. Посмотрим, как при этом изменится таблица 7. Пусть будет два осколка: 94 и 140.

Таблица 8. Пример кинетической энергии, уносимой реакторными электронными антинейтрино в результате двух-нейтронных бета-распадов

осколков (94 и 140) деления ядер урана-235 с разным распределением протонов.

A/Z	Элемент	W(MeV)						Σ (Mev)	Итого:
94/34	Se	5,744 0	6,896 0	3,966 0	5,387 0	1,977 0	2,690 0	26,660 0	
140/58	Ce	0						0	26,660 0
94/35	Br	6,896 0	3,966 0	5,387 0	1,977 0	2,690 0		20,916 0	
140/57	La	2,106						2,106	23,022 0
94/36	Kr	3,966 0	5,387 0	1,977 0	2,690 0			14,020 0	
140/56	Ba	0,697 0	2,106 0					2,8030	16,823 0
94/37	Pb	5,387 0	1,977 0	2,690 0				10,054 0	
140/55	Cs	3,347 0	0,697 0	2,106 0				6,1500	16,204 0
94/38	Sr	1,977 0	2,690 0					4,6670	
140/54	Xe	2,257 0	3,347 0	0,697 0	2,106 0			8,4070	13,074 0
94/39	Y	2,690 0						2,6900	
140/53	I	4,601 0	2,257 0	3,347 0	0,697 0	2,106 0		13,008 0	15,698 0
94/40	Zr	0						0,0000	
140/52	Te	3,874 0	4,601 0	2,257 0	3,347 0	0,697 0	2,106 0	16,882 0	16,882 0

В этом случае среднее значение энергии (по протонам) для осколков с 94 и 140 нуклонами вырастет и будет 18,3376 МэВ.

Можно рассмотреть другие варианты осколков деления и учесть их вероятности образования для получения среднего значения энергии уносимой реакторными электронными антинейтрино. Желаящие могут это проделать самостоятельно как по урану-235, так и по изотопам плутония. Также надо учесть постепенное выгорание урана-235 и

преобразование урана-238 в плутоний-239 и плутоной-241, т.е. плавную смену химического состава атомного реактора.

Но если точность не требуется, то можно взять из Википедии выход осколков деления U-235 и обработать его.

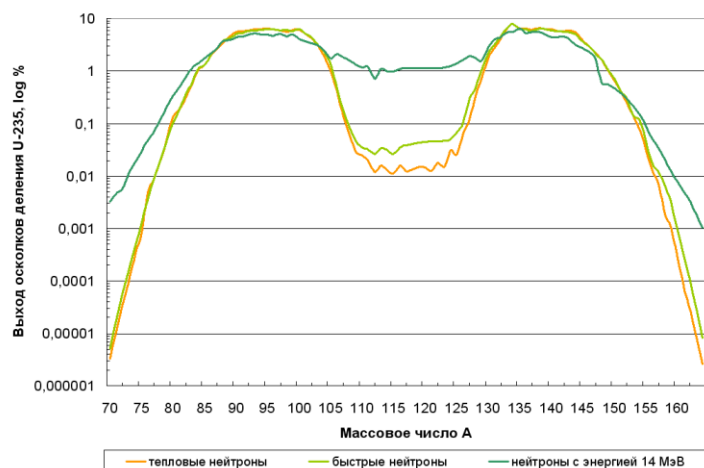


Рис.10 Выход осколков деления U-235 (картинка взята из интернет-источника Википедия)

Рисунок 10 позволяет выделить две области наиболее вероятных осколков: 90-101 и 133-144. А далее надо подсчитать энергию электронных антинейтрино каждого из осколков деления, с известным числом нуклонов и произвольным распределением между ними протонов и вычислить среднее.

Таблица 9. Энергии электронных антинейтрино осколков деления U-235 с разным распределением протонов.

3n	A1\Z1	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
90/143	90	7,447	4,601	5,418	2,425	3,527	0,404	1,349				
91/142	91	6,946	5,844	5,143	3,454	3,185	1,565	0,964				
92/141	92	8,097	5,233	6,348	3,229	4,288	1,175	2,045				
93/140	93		6,395	5,754	4,540	3,973	2,296	1,664	0,084			
94/139	94		5,744	6,896	3,966	5,387	1,977	2,690				
95/138	95			6,295	5,170	4,873	3,281	2,454	0,738	0,627		
96/137	96			7,447	4,351	6,105	2,936	3,786	0,142	1,814		
97/136	97			6,846	5,474	5,458	3,974	3,582	1,544	1,169		
98/135	98				4,952	6,455	3,148	4,651	1,329	2,521		
99/134	99				5,935	5,899	4,245	4,023	2,509	2,044	0,865	0,240
100/133	100				5,494	7,006	3,773	4,897	1,892	3,358		

A2\Z2	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
143					4,862	3,854	3,369	2,354	1,935	0,920	0,632
142				4,391	5,133	2,749	3,893	1,314	2,481		
141				4,702	4,145	3,309	2,858	1,828	1,463	0,426	
140				3,874	4,601	2,257	3,347	0,697	2,106		
139			5,494	4,260	3,639	2,781	2,334	1,368			
138			5,609	3,437	4,150	1,579	2,921				
137		5,243	4,872	3,708	3,175	2,311	0,766				
136		4,441	5,007	2,767	3,700						
135	7,046	4,697	4,300	3,215	1,528	0,760	0,223				
134	7,647	3,924	4,435	0,947	2,253						
133	6,771	4,235	2,229	1,689	1,076	0,330					

3n	A1\Z1	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
90/144	90	7,447	4,601	5,418	2,425	3,527	0,404	1,349				
91/143	91	6,946	5,844	5,143	3,454	3,185	1,565	0,964				
92/142	92	8,097	5,233	6,348	3,229	4,288	1,175	2,045				
93/141	93		6,395	5,754	4,540	3,973	2,296	1,664	0,084			
94/140	94		5,744	6,896	3,966	5,387	1,977	2,690				
95/139	95			6,295	5,170	4,873	3,281	2,454	0,738	0,627		
96/138	96			7,447	4,351	6,105	2,936	3,786	0,142	1,814		
97/137	97			6,846	5,474	5,458	3,974	3,582	1,544	1,169		
98/136	98				4,952	6,455	3,148	4,651	1,329	2,521		
99/135	99				5,935	5,899	4,245	4,023	2,509	2,044	0,865	0,240
100/134	100				5,494	7,006	3,773	4,897	1,892	3,358		
101/133	101					6,150	4,992	4,516	2,975	2,514	1,628	1,001

A2\Z2	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
144					3,220	4,340	1,780	3,007	0,258	1,717	
143				4,862	3,854	3,369	2,354	1,935	0,920	0,632	
142				4,391	5,133	2,749	3,893	1,314	2,481		
141				4,702	4,145	3,309	2,858	1,828	1,463	0,426	
140				3,874	4,601	2,257	3,347	0,697	2,106		
139			5,494	4,260	3,639	2,781	2,334	1,368			
138			5,609	3,437	4,150	1,579	2,921				
137		5,243	4,872	3,708	3,175	2,311	0,766				
136		4,441	5,007	2,767	3,700						
135	7,046	4,697	4,300	3,215	1,528	0,760	0,223				
134	7,647	3,924	4,435	0,947	2,253						
133	6,771	4,235	2,229	1,689	1,076	0,330					

Рассматривая различные варианты распределения между осколками протонов, и учитывая среднее количество нейтронов в результате деления ядра (2,452), получаем среднюю суммарную энергию электронных антинейтрино: 16,91 МэВ. Это энергия для атомных электростанций, работающих на чистом уране-235, или вновь построенных атомных электростанциях на смеси урана-235 и урана-238, не успевших наработать плутоний. Для таких электростанций аналогично получаем и среднее число электронных антинейтрино осколков деления ядер, равное 6,39. К ним надо добавить (для атомных электростанций на смеси урана-235 и урана-238) два электронных антинейтрино от бета-распада $U-239 \rightarrow Np-239 \rightarrow Pu-239$ с энергией 0,8126 и 0,5109 МэВ соответственно, а также 0,368 электронных антинейтрино с энергией 6,93 МэВ от поглощения нейтрона изотопом бор-11, входящим в состав поглотителя (для АЭС на смешанном топливе), или 1,183 таких электронных антинейтрино (для реакторов на чистом уране-235).

Мы получили энергию электронных антинейтрино осколков деления U-235. Для атомных электростанций, работающих на смеси урана-235 и урана-238, необходимо подсчитать энергию электронных антинейтрино осколков деления ядер плутония. Желющие могут произвести аналогичные расчеты самостоятельно (см. рис. 10 кривую распределения Pu-239 из интернет-источника <http://nuclphys.sinp.msu.ru/fission/fis02.htm>).

13.2 Поток реакторных антинейтрино и загоняемая им в земную кору энергия

Теперь определимся со средним потоком вырабатываемых электронных антинейтрино. Для деления урана-235 имеем:

- 6,39 электронных антинейтрино суммарной энергии 16,91 МэВ испускаются осколками деления ядер U-235;
- 2 электронных антинейтрино с энергиями 0,8126 и 0,5109 МэВ - продукты реакции $U-239 \rightarrow Np-239 \rightarrow Pu-239$;
- немногим менее 0,452 электронных антинейтрино от поглощения нейтронов поглотителем.

Последнее зависит от используемого поглотителя нейтронов. При использовании поглотителя нейтронов на основе бора будет 0,368 электронных антинейтрино с энергией 6,931 МэВ. В итоге получится 8,84 электронных антинейтрино суммарной энергии 20,82 МэВ.

Для деления плутония-239 имеем:

- 5,83 электронных антинейтрино суммарной энергии 13,84 МэВ испускаются осколками деления ядер Pu-239;
- 2 электронных антинейтрино с энергиями 0,8126 и 0,5109 МэВ - продукты реакции $U-239 \rightarrow Np-239 \rightarrow Pu-239$;

- немногим менее 0,895 электронных антинейтрино от поглощения нейтронов поглотителем.

При использовании поглотителя нейтронов на основе бора последняя строка будет 0,729 электронных антинейтрино с энергией 6,931 МэВ. В итоге получится 8,56 электронных антинейтрино суммарной энергии 20,25 МэВ.

При запуске атомного реактора первоначально идет реакция исключительно на уране-235, но по мере выработки урана-235 и наработки плутония-239 реакция переходит на плутоний. Поэтому на АЭС, функционирующих более года, процент урановых реакций обычно не превышает 10%, а остальные более 90% составляют плутониевые реакции. У атомных реакторов, построенных для иных целей, процент обогащения урана иной - поэтому и соотношения будут иными.

Для мирного атома возьмем 10% от урана-235 и 90% от плутония-239, в итоге получим: 8,59 электронных антинейтрино суммарной энергии 20,31 МэВ, что соответствует 2,364 МэВ на частицу - это в 3,85 раз больше средней энергии солнечных электронных нейтрино, поддерживающих в расплавленном состоянии земную мантию. И эта энергия, уносимая электронными антинейтрино, не отводится охладителем, а воздействует на земную кору в районе АЭС.

Для определения среднего количества делящихся ядер в секунду, при известной мощности реактора, воспользуемся данными о средней энергии, выделяемой при делении одного ядра урана-235 (202,5 МэВ - энергия самого деления + энергия осколков, кроме нейтрино), а также коэффициенте полезного действия атомных электростанций (средний КПД равен 33,5%). Энергия деления одного ядра плутония-239 будет немного отличаться, обычно на 0,5-5 МэВ в разную сторону.

Итак, энергетический блок АЭС или любого атомного реактора электрической мощностью в 1 мегаватт производит (в среднем) 300 киловатт нейтринной энергии и совместно с Солнцем загоняет в земную кору 215 киловатт нейтринной энергии ежесекундно, во время своей работы, создавая поток антинейтрино равный $2,648 \cdot 10^{17}$ частиц в секунду.

Когда загоняешь в земную кору энергию, не следует забывать забрать ее обратно (например, с геотермальными источниками), если не хочешь, чтобы она там накапливалась и однажды сама нашла выход (в виде землетрясения, извержения вулкана и т.д.). Но загоняемая в земную кору дополнительная энергия может стать спусковым

механизмом высвобождения части солнечной нейтринной энергии, накопленной в недрах Земли за время существования планеты. Нас от океана этой энергии отделяет и защищает только тонкая скорлупа земной коры.

14. Сечение реакции аннигиляции электронного нейтрино с антинейтрино

Полевая теория элементарных частиц позволяет определить линейные размеры элементарных частиц, когда известна величина их массы покоя. Так, для покоящейся элементарной частицы (кроме фотона), область пространства (в котором сосредоточено переменное электромагнитное поле, а также значительная часть энергии ее постоянного электрического и магнитного полей) определяется радиусом:

$$r_w = (L + \frac{1}{2}) \times \frac{\hbar}{m_0 c} \quad (107)$$

У группы лептонов, к которой принадлежит электронное нейтрино квантовое число $L=1/2$, следовательно, ожидаемая величина радиуса будет:

$$r_w = (\frac{1}{2} + \frac{1}{2}) \times \frac{\hbar}{m_0 c} = \frac{\hbar}{m_0 c} = 7.2 \times 10^{-7} \text{ м} \quad (108)$$

Здесь в качестве величины массы покоя взято 0,28 эВ. Когда физика установит более точное значение величины массы покоя электронного нейтрино, эту цифру, и все следующие из нее, придется пересчитать. Высота этой области не зависит от квантового числа L и определяется как равная:

$$h_w = \frac{\hbar}{m_0 c} \quad (109)$$

Как видим, с точки зрения геометрии, электронное нейтрино (а также антинейтрино) следует рассматривать как шар, радиуса r_w , сжатый с полюсов в два раза.

В физике, эффективное сечение определяется как "площадь поперечного сечения такой области пространства около частицы-мишени, при пересечении которой бомбардирующей частицей-точкой со 100 % вероятностью возникает взаимодействие". В нашем случае налетающая частица обладает размерами, того же порядка, что и размеры другой налетающей частицы, с которой она будет взаимодействовать, находясь в веществе Земли, в результате чего произойдет хорошо известная в физике реакция под названием: аннигиляция пары частица-античастица. В результате этой реакции получатся два фотона. Поскольку реакция

аннигиляции обязательно должна произойти при прямом столкновении частицы и античастицы, то при расчете эффективного сечения реакции необходимо учесть и ориентации спинов частиц пары. Из полевой теории элементарных частиц следует, что максимальное сечение реакции аннигиляции пары частица-античастица (в нашем случае электронное нейтрино и электронное антинейтрино) будет достигаться при ориентациях спинов каждой частицы, в направлении другой частицы (т.е. спины как параллельные, так и антипараллельные, но они ориентированы вдоль линии, соединяющей центры обеих частиц). В этом случае сечение будет:

$$\sigma = \pi(3r_w)^2 = 1.47 \times 10^{-11} \text{ м}^2 \quad (110)$$

Сечение для других ориентаций спинов желающие могут рассчитать самостоятельно, оно будет несколько меньше. Получилась большая, по меркам микромира, величина. Но она относится к случаю медленно движущихся частиц, а элементарные частицы (с античастицами) в реальности движутся со скоростью, мало чем отличающейся от скорости света. Полевая теория элементарных частиц не рассматривала изменение размеров релятивистских элементарных частиц и природу их кинетической энергии. Для покоящихся элементарных частиц их линейные размеры обратно пропорциональны величине их массы. Если предположить, что аналогичное имеет место и для релятивистских частиц, то мы получим, что формулы останутся прежними, вот только величина массы в формуле для r_w изменится - это уже будет не масса покоя соответствующей элементарной частицы, а ее релятивистская масса. А поскольку энергии у взаимодействующих частиц будут отличаться, следовательно, будут отличаться и их линейные размеры. В этом случае, сечение реакции пары электронное нейтрино - электронное антинейтрино (условно обозначаемые как 1 и 2) будет:

$$\sigma_{1,2} = 2.25 \pi(r_{w1} + r_{w2})^2 = 2.25 \pi \frac{\hbar^2}{c^2} \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \right)^2 \quad (111)$$

где m_1 и m_2 - релятивистские массы аннигилирующих частиц.

Поскольку, при прохождении через вещество коры Земли, электронное нейтрино и антинейтрино будут постепенно терять свою кинетическую энергию, а значит и величину массы, то в результате этого будут увеличиваться их линейные размеры, вследствие чего, согласно (111), и сечение их реакции аннигиляции. Кроме того, надо помнить, что реакторные электронные антинейтрино выпускаются с широким спектром энергий от десятых долей до нескольких единиц МэВ. Также неоднороден

и спектр энергий солнечных электронных нейтрино. Следовательно: *сечение реакции аннигиляции у каждой пары аннигилирующих частиц будет свое собственное и очень сильно зависеть как от источника, так и от пройденного пути, в том числе и от материала и температуры вещества, через которое прошла каждая из двух частиц до начала реакции.*

15. Окончание

Пришло время подвести итоги. В формуле (71) третьей части был определен полный поток нейтринной энергии, поглощаемый нашей планетой. Если его умножить на время существования планеты (сегодня оцениваемое наукой как $4,54 \cdot 10^9$ лет $\pm 1\%$), при условии, что Солнце загорелось раньше, мы получим величину нейтринной энергии, полученной от солнца недрами нашей планеты за все время ее существования, и это будет:

$$W_v = 8 \cdot 10^{15} \text{ вт} \cdot 1,43 \cdot 10^{17} \text{ сек} = 1,15 \cdot 10^{33} \text{ Дж (112)}$$

Этой энергии достаточно, чтобы многократно расплавить всю нашу планету и так бы произошло, если бы энергия не нашла себе выход и постепенно не отводилась через действующие вулканы, геотермальные источники, ... и используя тонкую скорлупу земной коры. Что касается радиоактивных источников энергии, которым наука ранее приписывала ответственность за вулканическую деятельность, так это уже в прошлом. Сегодня физика нашла иные ответы на загадки природы.

Но время идет, уровень развития человечества постоянно поднимается и очень скоро оно с легкостью сможет уничтожить себя. И при этом, совсем не обязательно развязывать новую мировую, теперь уже термоядерную, войну в угоду алчности бизнеса на крови и связанных с ним политиков, достаточно сначала что-то делать на планете, а потом думать.

Я бы не стал писать данную статью, выходящую за рамки моих научных интересов, не пояись математическая сказка под названием "Нейтринные осцилляции". Данная, имеющая смутное представление о науке, математическая сказка утверждает о возможности превращения одной элементарной частицы в другую. Ее авторы о законах природы не задумываются, возможно, по незнанию таковых. Каждая элементарная частица обладает собственным набором квантовых чисел и структурой электромагнитных полей. Превращение одной элементарной частицы в другую будет идти с нарушением законов электромагнетизма - законов природы и, такого нелюбимого сказочниками от науки, закона сохранения

энергии. Но когда требуется создать наукоподобие - о законах природы не вспоминают, если о них вообще знают.

*В обществе, построенном на надувательстве, где не обманешь - не продашь, каковым и является капитализм, где господствует нажива, трудно рассчитывать на честность науки, когда в нее идут не только честные люди, но и рвутся всякие плуты. Как просто сочинить сказку, которую невозможно сегодня опровергнуть и стать в гордую позу "первооткрывателя". Особенно легко "открыть" малую экзо-планету с помощью давно вышедшего из строя космического "телескопа" Кеплер, не способного видеть напрямую ни одной планеты. Падкие до сенсаций папарацци, не знакомые с законами физики, попадутся на удочку и разболтают об очередном "открытии" на всю планету. И за липовое открытие могут даже дать и Нобелевскую премию, как уже не раз было. Считаете, что я ошибаюсь - а как на счет бозона Хиггса. Да и из предыдущих премий по физике только половина за физику. Это сто лет назад были такие понятия как честь и честность, а **сегодня человечество имеет такую "науку", какой оно достойно.***

Владимир Горунович

14.01.2015