

НЕЙТРИНО В КОСМОСЕ

Прежде чем приступить к обсуждению роли нейтрино в космосе, вспомним свойства нейтрино.

Нейтрино появилось в физике около 30 лет назад, когда в некоторых ядерных реакциях энергия как будто исчезла. Физики придумали нейтрино для того, чтобы объяснить это кажущееся несохранение энергии. Таким образом, нейтрино было придумано как «похититель» энергии в некоторых ядерных процессах. Здесь я приведу некоторые примеры:

электрон+протон \rightarrow нейтрон+нейтрино

(это один из видов известного процесса бета-радиоактивности).

мю-мезон+протон \leftarrow нейтрон+нейтрино,

мю-мезон+гелий-3 \leftarrow тритий+нейтрино.

На фотографии последнего процесса, полученной в так называемой диффузионной камере, наполненной гелием-3, можно увидеть, что мю-мезон останавливается и в месте его остановки испускается заряженная частица — ядро трития. Масса мю-мезона ассоциирована с энергией 100 Мэв, а кинетическая энергия трития, которую можно измерить по длине его следа, — только 2 Мэв. Куда исчезли остальные 98 Мэв?

Если нейтрино — «воришка», похитивший эту энергию, то его заряд должен быть равен нулю, масса крайне мала (а это означает, что оно движется всегда со скоростью, очень близкой к скорости света). Нейтрино — вращательный объект (или, как говорят физики, оно имеет спин) и должно обладать необычайной проникающей способностью. Иначе «воришку» было бы легко наблюдать, а это совсем не так.

Я останавливаюсь на проникающей способности нейтрино, так как с этим свойством связана его роль в космосе.

Время, характерное для процессов с испусканием нейтрино (например, процесс бета-распада), удивительно продолжительно. Бета-распад, в котором испускаются мегавольтные

нейтрино, например, имеет время жизни около 10 минут. В мире элементарных частиц это фантастически длинное время, так как там характерно время около 10^{-24} секунды. Нейтрино по природе очень лениво, оно очень слабо взаимодействует с другими частицами и поэтому обладает колоссальной проникающей способностью. Я могу, как говорят, на пальцах рассчитать, насколько велика проникающая способность нейтрино, но я думаю, что мне можно поверить на слово, если я назову окончательную цифру. Среднюю длину, которую нейтрино проходит до взаимодействия (как говорят физики, длину свободного пробега нейтрино), можно представить в виде чугунной плиты толщиной, в миллиарды раз превышающей расстояние от Земли до Солнца.

В связи с этим довольно долго думали, что нейтрино неуловимо. Но все-таки физики поймали нейтрино, поскольку в последнее время они располагают очень интенсивными источниками нейтрино. Такими источниками могут быть мощные ядерные реакторы и гигантские ускорители заряженных частиц. От реактора можно получить поток мегавольтных нейтрино, приблизительно равный 10^{13} нейтрино/см²сек (это в условиях, когда нейтрино совсем чисто, т. е. другие, менее проникающие виды излучения поглощались мощной чугунной защитой). От ускорителя можно получить поток нейтрино «только» 10^7 нейтрино/см²сек, зато они имеют энергию *Бэв* и больше.

Для того чтобы показать, что экспериментальные исследования нейтрино — довольно трудная вещь, я расскажу о масштабе одного важного опыта, в котором было открыто, что в природе имеются два сорта нейтрино. Он был выполнен в Америке. Достаточно сказать, что защита, необходимая для «фильтрования» нейтрино от других фоновых излучений, должна превышать по весу 5 тысяч тонн.

Сейчас ясно, что нейтрино могут выходить даже из центральной части звезд легче, чем свет проникает через оконное стекло. Поэтому они могут иметь большое значение в космосе.

Роль нейтрино, по-видимому, значительна не только в ряде астрофизических процессов, но, согласно теории Зельдовича, Смородинского и других, и в космогонии. Но сегодня я хочу остановиться только на нейтринной астрономии, причем на первой задаче, которая стоит перед нейтринной астрономией: зарегистрировать нейтрино от Солнца.

Вы знаете, что энергия на Солнце образуется в результате термоядерных реакций, в которых в конечном счете водород превращается в гелий. В разных превращениях внутри Солнца испускаются нейтрино. На поверхности Земли интенсивность нейтрино, приходящих от Солнца, по порядку величины равна 10^{10} нейтрино/см²сек (это только расчет, так как пока никому еще не удалось зарегистрировать нейтрино от Солнца).

Такой интенсивности нейтрино соответствует перенос энергии, составляющей приблизительно 5% от всей энергии Солнца. Это колоссальная энергия, но все равно поймать нейтрино очень трудно!

Несколько слов о характере нейтринного излучения от Солнца. Термоядерные реакции происходят интенсивнее при высокой температуре; значит, если бы мы имели «нейтринные очки», мы увидели бы только центральную часть Солнца. До сих пор в астрономии зарегистрированы излучения лишь от самых поверхностных слоев небесных тел. Когда же нейтринная астрономия перестанет быть только темой докладов и будет, наконец, осуществлена на деле, можно будет увидеть, скажем, центр Солнца.

Но как зарегистрировать нейтрино от Солнца? К сожалению, простого метода нет. Есть только один метод, о котором я хочу рассказать. Надеюсь, что в дальнейшем люди придумают лучшие, но пока, хотя ученые все время и думают над этим, есть только довольно громоздкий способ решения задачи. Речь идет о следующей ядерной реакции: нейтрино + хлор = ^{37}Ar + электрон.

Эта реакция удобна (относительно!) потому, что из колоссальной массы соединений хлора (таких, как четыреххлористый углерод) можно извлечь даже несколько атомов аргона-37. Аргон-37 радиоактивен, и его активность можно зарегистрировать счетчиком. Колоссальная масса четыреххлористого углерода необходима потому, что нейтрино так инертно, что, если бы мы использовали массу четыреххлористого углерода, скажем, только в несколько тонн, то не получили бы достаточного эффекта. По расчету необходимо иметь массу четыреххлористого углерода порядка 1000 тонн для того, чтобы получить измеряемый эффект (скажем, несколько отсчетов в день). Отсюда ясно, как трудна задача.

Представьте себе такой детектор на глубине около 2 километров под землей. Вот как сложно устроить нейтринную астрономическую обсерваторию!

В принципе можно получать довольно точные сведения о разных реакциях, отвечающих за энергию Солнца, и о температуре в центре Солнца. Различные ядерные реакции, в которых рождаются нейтрино, имеют разные температурные зависимости, причем очень крутые. Но для всего этого необходимо парадоксальное сочетание: обсерватории — под землей!