

Солодовник А.А., Бапашева М.Е.

Северо-Казахстанский Государственный университет им. М.Козыбаева

Нейтрино во Вселенной и их роль в эволюции вещества

В научных работах последнего время нередко рассматривается проблематика нейтрино. С чем связан этот интерес? Что это за частица, какую роль она играет в физике элементарных частиц и во Вселенной? Когда нейтрино впервые появилось в поле зрения физики, ученые уже были известны такие элементарные частицы, как нейтроны и протоны - составляющие атомное ядро. В 1931 г. швейцарский физик Вольфганг Паули пришел к выводу, что в природе должна существовать нейтральная частица с массой, намного меньшей, чем у нейтрона – «маленький нейтрон» или с лёгкий руки Энрико Ферми – «нейтрино».

Поток нейтрино, детектируемых на Земле, характеризуется тем, что в нём можно выделить несколько типов частиц по энергии, соответственно различаются и методы детектирования, наиболее чувствительные к разным типам нейтрино. Поток частиц почти беспрепятственно пронизывает вещество, включая саму Землю, поэтому нейтрино долетают до детектора как днем – сверху, так и ночью – со стороны Земли. К тому же этот поток не отклоняется магнитными полями, а, следовательно, можно точно определить его источник. Поток нейтрино имеет относительно слабую интенсивность по сравнению с другими частицами.

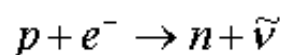
Для нейтринных детекторов справедливо следующие конструктивные особенности. Каждый детектор приспособлен для детектирования одного типа нейтрино от определенного источника. Детекторы располагают глубоко под Землей (~ 1 км) или под водой для защиты от фоновых излучений; защита необходима также от источников нейтрино на Земле и естественного радиационного фона Земли. Детекторы должны иметь большие размеры для набора достаточной статистики в виду малого сечения взаимодействия нейтрино. Скорость захвата нейтрино зависит от реакции детектирования и от энергии нейтрино.

Нейтринные телескопы – крупнейшие экспериментальные установки, с большим числом регистрирующих каналов. Методика регистрации заряженных частиц, рожденных при взаимодействии с нейтрино, самая разнообразная – сцинтилляционные баки (Баксанский сцинтилляционный телескоп), стримерные трубки (установка MACRO), регистрация черенковского света в воде (установки

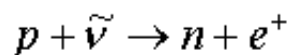
Super-Kamiokande и SNO). Энергетический порог установок 5-10 МэВ. Достаточно подробный обзор нейтринных телескопов приведен в работе [1].

Самый простой способ регистрации нейтрино с помощью черенковских счётчиков предполагает использование фотоумножителей, работа которых синхронизируется лазером, которые регистрируют попадающий на них свет. Затем по мере расшифровки полученной информации восстанавливает треки частиц, породивших этот свет. Траектории, идущие сверху вниз или даже горизонтально, отбрасываются. Принимаются во внимание только мюоны, пришедшие из-под горизонта. Их появление связано с тем, что высокоэнергичное нейтрино, пролетая сквозь Землю, взаимодействует с ядром какого-либо атома, находящегося в пределах нескольких километров от детектора, порождая высокоэнергичный мюон. Он долетает до детектора и, двигаясь в воде с релятивистской скоростью, излучает черенковские фотоны. Оказывается, что примерно на 2 миллионан мюонов, прилетающих сверху, приходится только один, вылетающий из-под горизонта.

Источниками нейтрино во Вселенной являются все звёзды. Они поставляют то, что можно назвать «фоновыми нейтрино». Особенно же интересны Сверхновые звёзды II типа, дающие резкие всплески потоков нейтрино. Излучение нейтринных потоков у них обусловлено термоядерными процессами, протекающими взрывообразно в центральной части звёзд, в ходе коллапса ядра. Само ядро может после этого стать нейтронной звездой. Важнейшей реакцией является соединение протона с электроном, в результате которого образуется нейтрон и антинейтрино:



С другой стороны, важнейшей реакцией, идущей при участии нейтрино, является превращение протона в нейтрон с испусканием позитрона:



Последняя реакция исключительно важна на заключительных стадиях эволюции звёзд, которые могут быть отмечены взрывом Сверхновых I и II типов. Трудно сказать, для каких вспышек этот механизм особенно актуален. Но для Сверхновых II он важен, безусловно [2].

Обратив внимание на возможность влияния нейтрино на процессы характерные для взрыва Сверхновых II типа, мы тем самым утверждаем актуальность изучения совершенно новой проблемы. Её можно сформулировать как «инициированные потоками нейтрино взрывы Сверхновых звёзд». Речь может идти даже о возможности протекания цепочки взрывов Сверхновых на

самых ранних стадиях эволюции галактик во Вселенной. Такому процессу способствовала бы и значительно большая плотность материи на этой стадии эволюции Вселенной, то есть меньшие расстояния между галактиками и звёздами. Основываясь на этом предположении можно ожидать, что частота вспышек Сверхновых должна быть тем выше, чем более отдалённые объекты мы наблюдаем. В самом деле, ведь при этом мы изучаем всё более молодые стадии эволюции галактик и всего мира. Такое предположение может быть проверено благодаря применению наиболее крупных современных и перспективных телескопов. Однако, следует учесть, что из-за влияния эффекта красного смещения вспышки Сверхновых эффективнее искать не в оптическом, а в инфракрасном диапазоне [3].

Природа нейтрино действительно ключевая, междисциплинарная проблема, которая пронизывает всю физику элементарных частиц, космологию и астрофизику. Наличие ненулевых масс у нейтрино важно для построения современных теорий элементарных частиц, понимания строения Вселенной и образования в ней крупномасштабных структур типа скоплений галактик. Здесь нейтрино могут играть роль так называемой горячей темной (или скрытой) материи. По-видимому, только благодаря исследованию потоков космических нейтрино можно будет получить информацию о самых отдаленных уголках Космоса.

В последнее время широко обсуждается возможность, что нейтрино дают ключ к объяснению барионной асимметрии. То есть образование избытка барионов (по отношению к антибарионам) возможно за счет нарушения CP симметрии в лептонном секторе с участием нейтрино. Таким образом, без понимания свойств нейтрино невозможно даже приблизиться к ответу на вопрос о том, почему окружающий нас мир именно так устроен.

С другой стороны, физика нейтрино и слабых взаимодействий теснейшим образом граничит с областью так называемой *новой физики* или физики за рамками Стандартной модели элементарных частиц. Эта область, безусловно, существует. Именно в процессе ее исследования может быть построена новая, более общая теория элементарных частиц (например, на основе идеи суперсимметрии). Основной интерес здесь лежит в сфере поиска таких процессов, частиц и закономерностей, которые противоречат теоретическим представлениям Стандартной модели.

Литература:

- 1) Ж. И.Алферов, Г. Кремер, Дж. С. Килби Нобелевские лекции по физике Регистрация космических нейтрино и открытие космических рентгеновских источников – 2002 г.

2) Алан А. Джигоев, А.И. Вдовин. Нейтрино–ядерные реакции в Сверхновых. ЛТФ СИЯИ, Дубна. – 2014.

3) Сверхновая звезда (http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/astromiya/SVERHNOVAYA_ZVEZDA.html)