

# 15. НЕЙТРИНО

## 15.1 Регистрация нейтрино

Подземная лаборатория Гран Сассо (Италия) является самой большой подземной лабораторией в мире. Она расположена в 120 км от Рима в десятикилометровом туннеле, проходящем под массивом Гран Сассо, на высоте 963 м над уровнем моря и под толщиной горных пород около 1400 м. Горный массив, расположенный над подземной лабораторией, ослабляет поток мюонов космических лучей - основной фон для проводимых исследований - в миллион раз. Другой источник фона - нейтроны - также очень мал благодаря низкому содержанию урана и тория в скальных породах. Экспериментальные установки размещены в трех больших залах высотой около 20 м, шириной 20 м и длиной 100 м.



Эксперимент по регистрации нейтринного излучения от сверхновых проводится в Лаборатории Гран Сассо на установке *LVD* (Large Volume Detector - детектор большого объема). Установка *LVD* предназначена для исследований в области нейтринной физики, астрофизики, физики космических лучей и поиска редких процессов, предсказываемых теорией, но, как было обнаружено в последние годы, может быть использована и в ядерной геофизике для предсказания землетрясений.



Установка *LVD* - самый крупный в мире сцинтилляционно-трековый телескоп. Она состоит из трех башен, имеющих модульную структуру (по 35 модулей в каждой башне). Модуль содержит 8 сцинтилляционных счетчиков. *LVD* состоит из 840 сцинтилляционных счетчиков, содержащих 1010 тонн сцинтиллятора, и 105 трековых детекторов. Трековая система позволяет измерять направление прихода заряженных частиц с точностью 0.5 градуса. Каждый счетчик, изготовленный из нержавеющей стали, содержит 1.2 тонны жидкого сцинтиллятора на основе уайт-спирита и просматривается тремя фотоумножителями российского производства. Информация с каждого счетчика считывается независимо. Модульная структура установки позволяет

проводить регламентные работы по поддержанию установки в рабочем состоянии без остановки системы сбора информации, что обеспечивает непрерывный набор статистического материала по программам в области физики нейтрино, нейтринной физики и астрофизики.

Основная задача *LVD* - регистрация нейтринных вспышек от коллапсирующих звезд. Преимущество *LVD* перед большими водяными детекторами заключается в наличии углерода в сцинтилляторе, что позволяет разделять разные типы нейтрино. Детектор способен зарегистрировать как электронные антинейтрино (реакция на водороде), так и мюонные и тау-нейтрино и антинейтрино (реакция на углероде сцинтиллятора). Для первого процесса при взрыве сверхновой в центре Галактики (8,5 килопарсек) ожидается от 300 до 600 событий. Другие процессы дадут гораздо меньше событий. Например, в отсутствие осцилляций будут регистрироваться всего 6 событий от взаимодействий электронных нейтрино с углеродом сцинтиллятора. Выход мал в основном из-за того, что слишком малы энергии электронных нейтрино. Но осцилляции преобразуют мюонные и тау-нейтрино, которые генерируются с более высокими энергиями (примерно в два раза выше), в электронные нейтрино. Выход увеличится до нескольких десятков событий.



Сейчас создана глобальная международная сеть из различных детекторов для слежения за коллапсами звезд.

Помимо этого ведется постоянный контроль темпа счета на *LVD* с целью изучения вариации концентрации радона, выходящего в атмосферу подземного помещения из горных пород перед землетрясениями. Радон образуется в грунте в результате деления и распадов элементов урановых и ториевого рядов и выходит в атмосферу подземного помещения через множественные микротрещины в породе или из воды, насыщающейся радоном (радон хорошо растворяется в воде) на пути через скальную породу до подземного зала.

Поскольку количество микротрещин увеличивается при деформациях земной коры перед землетрясениями, то усиливается и испускание радона.

На возможности установки *LVD* по изучению вариаций концентрации радона под землей было обращено внимание после обнаружения аномального повышения фонового темпа счета детектора в дни наиболее сильных сейсмических толчков в сентябре 1997 г. Эпицентр толчков находился в Центральной Италии, примерно в 300 км от установки. В течение 1997 года все сильные толчки были зарегистрированы. После похожего увеличения темпа счета в 1999 году, которое по времени появления было ассоциировано с разрушительным землетрясением в Турции, началось целевое изучение вариаций темпа счёта фоновых событий с низкими энергиями как отражающих временное поведение концентрации радона. С ним связывались надежды выделить предвестники сильных землетрясений. При измерениях используется регистрация гамма-излучения ядер радоновой группы. Большая (около 1000 квадратных метров) площадь установки, через которую гамма-кванты проникают в счетчики, обеспечивает высокую статистическую достоверность полученных результатов, то есть установка *LVD* является идеальным прибором для изучения вариаций концентрации радона под землей. Она обладает высочайшими чувствительностью и быстродействием, большой регистрирующей поверхностью, за счёт чего усредняются локальные изменения концентрации радона в разных точках зала, непрерывно работает в режиме "on-line".



Разработан алгоритм выделения радоновых выбросов. Они регистрируются установкой как пики на счетной характеристике фона, превышающие в максимуме средний темп счета до 2 раз. Микросейсмический фон, создаваемый технической деятельностью, оказывает существенное влияние на состояние подпочвенных радоновых полей. Техногенные вибрации грунта ежедневно приводят к инжекции радона из подпочвенного слоя. Готовящееся сейсмическое событие за счёт деформации земной коры и предшествующих микротолчков способствует насыщению подпочвенного слоя радоном, постоянно образующимся в грунте. Таким образом, информация о предстоящем землетрясении может содержаться в амплитуде и мощности техногенных радоновых пиков.

Одной из важных экспериментальных задач, решаемых на установке *LVD*, является изучение проникающей компоненты космических лучей, в основном мюонов. Изучение атмосферных мюонов на больших глубинах под землей позволяет получить информацию о первичном спектре космических лучей и взаимодействиях элементарных частиц при высоких энергиях. Кроме того, проникающая компонента является фоном для экспериментов по поиску редких событий, проводимых глубоко под землей.

## 15.2 Регистрация частиц тёмной материи

В настоящее время в подземных лабораториях Англии и США ведется поиск частиц "темной материи". Двухфазный ксеноновый детектор - перспективное решение для регистрации таких частиц. *WIMP*, упруго рассеиваясь на ядре ксенона, вызывает образование нейтральных атомов и ионов с  $Z=1$  и энергией от 0 до нескольких десятков кэВ. Этот процесс сопровождается сцинтилляцией. Электроны первичной ионизации под действием приложенного электрического поля дрейфуют к границе жидкой фазы ксенона, затем переходят в газообразную фазу, ускоряются там под действием мощного электрического поля и возбуждают молекулы ксенона. Снятие возбуждения приводит к возникновению вторичной сцинтилляции – электролюминесценции, сигнал которой пропорционален значению первичной ионизации, что используется для "усиления" ионизации. Оба сигнала регистрируются при помощи одних и тех же фотодетекторов. Различие в распределениях энергии между процессами для частиц с различной плотностью ионизации позволяет отделить фон гамма квантов и электронов от частиц тёмной материи.

Физики из Колумбийского университета США пытаются зарегистрировать частицы тёмной материи продолжают эксперимент с ксеноновым детектором. Подземный детектор заполнен тонной жидкого ксенона, и представляет собой телескоп из десяти времянезависимых камер.