

7,6±3,3 SNU, а последние экспериментальные результаты — 1,9±0,3 SNU. Фон от космических лучей гораздо ниже получаемого нами значения. Поэтому то, что мы видим, скорее всего, так или иначе связано с Солнцем, с какими-то процессами на нем. Но на самом деле трудно строго доказать, что вы действительно видите Солнце в «нейтринном свете».

Корреспондент. И все-таки, не смущают ли Вас расхождения между теорией и полученными экспериментальными результатами?

Р. Дэвис. Всякое противоречие — вещь сама по себе положительная. Оно стимулирует научные исследования и новые эксперименты и, что более важно, новые теории. Проводя эксперименты, я руководствовался теорией. Без хорошо обоснованного предсказания скорости счета наблюдаемое число атомов ^{37}Ag , образующихся в день, потеряло бы большую часть своей научной ценности. Но я не могу сказать, что меня ужасно удручает наблюдаемое расхождение.

Корреспондент. Ему можно дать различные объяснения. Что Вы думаете, например, о нейтринных осцилляциях?

Р. Дэвис. Нейтринные осцилляции — очень привлекательное объяснение эффекта. Мне хотелось бы верить, что они существуют.

Корреспондент. Но если это осцилляции, то нейтрино должны иметь массу...

Р. Дэвис. Да, об этом сейчас много говорят. Я слышал лекцию о результатах группы Любимова, слышал и критику в их адрес. Это очень хорошие работы, но полученные результаты пока нельзя принимать безоговорочно. Я думаю, что было бы забавным, если бы нейтрино имели массу. С научной точки зрения это выглядело бы интереснее.

Корреспондент. И, наконец, традиционный вопрос о Ваших дальнейших планах?

Р. Дэвис. Сейчас мы ведем подготовку к новому эксперименту, в котором вместо хлора будет использоваться галлий. У нас уже есть около двух тонн галлия, а необходимо иметь 40—50 тонн. В этом-то и вся трудность. Работы будут проходить в три этапа. На первом этапе намечена проверка всех экспериментальных процедур, и в частности процесса извлечения германия из хлорида галлия, а

также определение фона космического излучения. На втором этапе запланированы эксперименты с радиоактивными источниками, цель которых — определить сечение реакций $^{71}\text{Ga}(\nu_e, e^-)^{71}\text{Ge}$. Для таких опытов нам нужно будет уже около 17 тонн галлия. Третий этап — непосредственный поиск солнечных нейтрино. Мы надеемся начать его через 5 лет.

На меня произвели большое впечатление работы по подготовке галлиевого эксперимента на Баксанской нейтринной обсерватории. Я видел шесть тонн галлия. Меня познакомили с планом проведения эксперимента, и я считаю, что он очень хорошо задуман. Эксперимент более сложен и утончен, чем наш, резервуар — больше, а прорытый туннель производит большое впечатление.

Корреспондент. Стало быть, Вы прощаетесь с хлор-аргоновым методом?

Р. Дэвис. Ни в коем случае. Я полон желания продолжить эксперименты с хлором в ближайшие десять лет и даже дольше. Если, разумеется, я буду в состоянии сделать это.

Б. М. Понтекорво: «Я не абсолютно уверен, что «загадка солнечных нейтрино» реально существует»

Корреспондент. Бруно Максимович, в свое время Вы предложили использовать радиохимические методы для регистрации нейтрино. Как Вы пришли к этой идее?

Б. М. Понтекорво. Меня интересовала сама проблема регистрации нейтрино. В 40-е годы с сомнением относились к мысли, что можно зарегистрировать свободные нейтрино. Так думали просто потому, что вероятность столкновения нейтрино с ядра-

ми вещества до смешного мала. Ведь ожидаемая длина свободного пробега нейтрино с энергией в несколько мегаэлектронвольт в конденсированном веществе имеет астрономические масштабы: в воде она в миллиард раз превышает расстояние от Земли до Солнца.

Сцинтилляционные счетчики, столь успешно использованные в 50-е годы Ф. Райнесом и К. Коузном для регистрации свободных антинейтрино от реактора, тогда еще не были

изобретены. Мне показалось, что для этого наиболее пригодны методы радиохимии, позволяющие отделить считанные атомы радиоактивного элемента от громадной массы всего вещества, облучавшегося нейтрино. И в 1946 г. я предложил радиохимические методы для детектирования свободных нейтрино, в частности хлор-аргоновый метод. Радиохимические методы вполне подходят для регистрации нейтрино с энергией приблизительно 0,5—15 МэВ.

Корреспондент. Как известно, до сих пор именно хлор-аргоновый метод применялся при поиске солнечных нейтрино. В чём его преимущества?

Б. М. Понтекорво. Хлор-аргоновый метод, обоснованию которого я посвятил ряд экспериментальных и теоретических работ, основан на реакции

$$^{37}\text{Cl} + \nu_e \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e^-.$$

Чем хороша эта реакция? Во-первых, можно использовать перхлорэтилен — сравнительно дешёвую, не ядовитую, не огнеопасную жидкость, содержащую хлор. Ее можно применять в качестве гигантской мишени. Во-вторых, аргон — благородный элемент, и процедура извлечения нескольких атомов ^{37}Ar из огромного количества C_2Cl_4 относительно проста. Однако я хотел бы подчеркнуть, что, несмотря на эту «простоту», опыт Дэвиса потребовал героических усилий автора. И, наконец, существенно то, что радиоактивный ^{37}Ar живёт достаточно долго — около 35 дней. Его распад — это следствие захвата ядром электрона с К-оболочки, в которой в результате образуются «дырка». Когда электроны с других оболочек займут эту «дырку», избыточная энергия выделится в виде рентгеновского излучения и (или) пойдёт на отрыв одного из электронов внешних оболочек (так называемый эффект Оже). В любом случае суммарная выделяющаяся энергия имеет вполне определённое значение — 2,8 кэВ. Я не сразу осознал принципиальную важность этого обстоятельства и вначале предполагал использовать счётчик Гейгера в качестве детектора извлеченного из мишени радиоактивного аргона. Однако вскоре мы с Дж. Ханна обнаружили, что небольшое количество ионов (порядка 100), образующихся в счётчике при освобождении энергии 2,8 кэВ, позволяет применить пропорциональные счётчики с большим коэффициентом газового усиления. (Ранее считалось, что при больших коэффициентах усиления пропорциональные счётчики работать не могут.)

Так я пришел к выводу о необходимости использования



Б. М. Понтекорво

пропорциональных счётчиков в хлор-аргоновом методе. В пропорциональном счётчике, в отличие от гейгеровского, распад ^{37}Ar оставляет красивый и довольно отчетливый «автограф», и это позволяет значительно снизить фон. Уменьшение достигается не только возможностью измерения в пропорциональном счётчике амплитуды импульсов, но и их формы. Второе обстоятельство стало мне ясно только в 1968 г., и я сообщил о нем Дэвису на нейтринной конференции в Москве.

Корреспондент. Какие нейтрино Вы предполагали изучать с помощью радиохимических методов?

Б. М. Понтекорво. Об источниках нейтрино я скажу два слова. В 1946 г. я обсуждал три возможных источника: Солнце, работающий ядерный реактор и продукты деления «горячего» урана, извлеченные из реактора. Я отмечал тогда, что поток нейтрино от Солнца на поверхности Земли достаточно велик, порядка 10^{10} см $^{-2}$ с $^{-1}$, но что энергия нейтрино маловата для регистрации хлор-аргоновым методом. Однако это не означает, что я не возвращался позже к проблеме нейтрино от Солнца: она до сих пор меня очень интересует.

Корреспондент. Что Вы думаете о «загадке солнечных нейтрино»?

Б. М. Понтекорво. Под «загадкой» понимается обстоятельство, что поток солнечных нейтрино, зарегистрированный Дэвисом и его сотрудниками, значительно меньше, чем теоретически ожидаемая величина. Напоминаю, что полученное в экспериментах значение потока солнечных нейтрино, как и все величины, измеряемые в физике, имеет некоторую неопределенность. Кроме того, и ожидаемая величина потока, рассчитанная в работах Дж. Бакала, также имеет неопределенность, которую совсем не просто оценить.

Дело в том, что с помощью реакции превращения хлора в аргон можно зарегистрировать лишь относительно малоинтенсивную часть спектра солнечных нейтрино (в основном, нейтрино с достаточно большой энергией, испускаемые, согласно оригинальной работе В. Фаулера, ядрами ^8B). Поток нейтрино от ^8B в значительной степени определяется температурой в центре Солнца и другими его параметрами. Я бы сказал, что теоретический результат сильно зависит от принимаемой модели Солнца. Кроме того, в погрешность расчетов вносят свой вклад вероятности ядерных столкновений, значения которых до сих пор не очень хорошо известны.

Расчетная величина потока солнечных нейтрино с 1964 г. уменьшилась в пять раз, хотя в последние несколько лет она более или менее стабилизировалась. Быть может, я слишком осторожен, но я не абсолютно уверен, что «загадка солнечных нейтрино» реально существует.

В настоящее время в СССР и США готовятся эксперименты с использованием другого радиохимического метода, который был впервые упомянут В. А. Кузьминым. Я имею в виду так называемый галлий-германиевый метод, основанный на реакции превращения ^{71}Ga в ^{71}Ge . Эту реакцию способны вызвать и те солнечные нейтрино, которые «ускользают» от

регистрации хлор-аргоновым методом. В первую очередь, здесь важны нейтрино низких энергий от интенсивной части нейтринного спектра Солнца. Такие нейтрино испускаются в реакции $p + p \rightarrow de + \nu_e$; эта часть спектра прекрасно рассчитывается и почти не зависит от модельных предположений. Предстоящие опыты помогут выяснить, действительно ли существует «загадка солнечных нейтрино».

Корреспондент. Представим себе, что «загадка» все же существует, т. е. в будущем эксперименты также покажут, что число детектируемых нейтрино меньше ожидаемого. Как ее можно объяснить?

Б. М. Понтекорво. Об одном объяснении «загадки», если она все-таки остается, я уже фактически говорил — принимаемая в качестве «стандартной» модель Солнца может быть не совсем верной.

Другое возможное объяснение относится к самой природе нейтрино. Речь идет о конечной массе нейтрино и явлении нейтринных осцилляций. Если имеют место осцилляции, лишь некоторая часть нейтрино, дошедших от Солнца до Земли, может быть зарегистрирована; остальные нейтрино в этом смысле как бы «стерильны». Это и дает уменьшенную величину измеряемого потока солнечных нейтрино.

Я предсказывал и обсуждал явление осцилляций нейтрино еще до того, как появились сообщения Дэвиса о «загадке». Они были придуманы как очень чувствительный метод проверки закона сохранения лептонного заряда. Конечно, я был бы очень рад, если бы опыты с хлор-аргоновым методом определенно указали на существование «загадки» и, возможно, на наличие осцилляций нейтрино. К сожалению, как я уже говорил, это может быть и не так.

Не исключено, что именно опыты с галлий-германиевым детектором ответят на вопрос о существовании осцилляций. Эксперименты с солнечными нейтрино — самый чувствительный метод поиска осцилляций. Эта проблема очень актуальна. Она

не менее важна, чем решенная Дэвисом задача регистрации нейтрино от Солнца.

Корреспондент. С момента появления на свет «загадки солнечных нейтрино» высказывались многочисленные гипотезы о ее происхождении. Чем выделена гипотеза осцилляций?

Б. М. Понтекорво. Действительно, выдвигались довольно экзотические предположения. Думали, что нейтрино могут распадаться по пути от Солнца к Земле. Предполагалось, что энергия Солнца не термоядерного происхождения. Считали, что внутри Солнца может находиться черная дыра. Высказывалось предположение, что в прошлом Солнце приобрело извне значительную часть своей массы, так что его внутренние и внешние части имеют совершенно разный состав, что делает все вычисления абсолютно неправильными...

Объяснение «загадки солнечных нейтрино» с помощью осцилляций выделяется своей неэкзотичностью. Оно привлекательно с точки зрения физики элементарных частиц и не придумано ad hoc, специально для объяснения результатов Дэвиса. Гипотеза осцилляций, в принципе, допускает проверку, независимую от опытов с солнечными нейтрино, например в экспериментах на реакторах, мезонных фабриках и ускорителях. Правда, опыты с солнечными нейтрино несравненно более чувствительны к осцилляциям, чем другие эксперименты.

Корреспондент. Что Вы думаете о вариациях потока солнечных нейтрино?

Б. М. Понтекорво. Под вариациями нейтринной интенсивности в последнее время понимается якобы существующая зависимость от времени потока нейтрино от Солнца, зарегистрированного Дэвисом. Вполне возможно, что вариации имеют место, но, по моему мнению, опубликованные до сих пор результаты пока не указывают на существование таких вариаций. Вопрос о вариациях нейтринного потока можно будет решить на Баксанской нейтринной observa-

тории, когда там заработает хлор-аргоновая установка, по объему в пять раз превышающая установку Дэвиса.

Корреспондент. Каково Ваше мнение о наличии массы у нейтрино?

Б. М. Понтекорво. Отличная от нуля масса нейтрино, полученная в экспериментах сотрудников Института экспериментальной и теоретической физики, — результат, который не всеми рассматривается как окончательный. В 1983 г. эта группа, руководимая В. А. Любимовым, добились существенных методических достижений в постановке эксперимента. Можно надеяться, что окончательный результат не слишком далек. Опыт весьма остроумен, но очень сложен. Аналогичные поиски массы нейтрино предпринимаются в различных лабораториях мира: в СССР, Франции, США, в Европейской организации ядерных исследований и др.

Я бы сказал, что нулевая масса нейтрино выглядит очень красиво. Но не менее красиво было бы, если бы она оказалась отличной от нуля. Дело в том, что не известен принцип, заставляющий массу нейтрино равняться нулю. Для фотона, например, такой принцип есть. Пусть опыт решит этот важнейший вопрос. Кстати, напомню, что осцилляции возможны только при конечных и разных массах нейтрино.

Корреспондент. И в заключение, как Вы оцениваете значение опытов Дэвиса?

Б. М. Понтекорво. Я хотел бы подчеркнуть, что Р. Дэвис, зарегистрировав солнечные нейтрино, сделал большое астрономическое открытие и экспериментально доказал, что энергия звезд действительно имеет термоядерное происхождение. Однако проблема солнечных нейтрино не закрыта и дальнейшие эксперименты могут сыграть важную роль в развитии наших представлений как о Солнце, так и о свойствах самих нейтрино.

Интервью взяла
И. Н. Арутюнян