

Лауреаты  
Ленинских премий  
рассказывают  
о своих работах

# СЛАБЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И НЕЙТРИНО

◇  
**Б. ПОНТЕКОРВО**  
Член-корреспондент Академии  
наук СССР

Некоторое время назад редакция «Правды» попросила меня написать статью о слабых взаимодействиях элементарных частиц. Когда я рассказал об этом своим друзьям (не физикам), они стали иронизировать по поводу слабости вообще, видя в ней только отрицательные черты. Поэтому ниже я попытаюсь убедить читателей в том, что «слабость» не обязательно признак второстепенности. Кстати, силы тяготения, вошедшие в научно-популярную литературу после подвига Гагарина, гораздо слабее слабых взаимодействий.

Но здесь следует открыть скобки и сказать несколько слов о разных взаимодействиях элементарных частиц.

## Три вида взаимодействий

Читателю знакомы разные силы. Но, может быть, он никогда не задумывался над тем, что типов взаимодействия, глубоко различающихся по природе, очень мало. Если не считать тяготения, которое играет существенную роль только в присутствии огромных масс, то известны лишь три вида взаимодействий: сильные, электромагнитные и слабые.

Электромагнитные взаимодействия давно известны. С этим классом взаимодействий связаны все химические и молекулярные явления.

Сильные взаимодействия стали известны только после раскрытия внутренней структуры атомного ядра. В 1932 году советские и иностранные ученые нашли, что атомное ядро состоит из нуклонов (нейтронов и протонов). Именно сильные взаимодействия соединяют нуклоны в ядре и обуславливают ядерные силы, которые, в отличие от электромагнитных, характеризуются очень малым радиусом действия и большой интенсивностью. Кроме того, сильные взаимодействия проявляются при столкновениях частиц высоких энергий, когда рождаются мезоны и так называемые «странные» частицы.

А соударения элементарных частиц, обусловленные слабыми взаимодействиями, очень трудно наблюдать в лаборатории. Эти редчайшие столкновения остаются незамеченными в океане «сильных» и «электромагнитных» соударений. Но

имеется все же ряд «слабых процессов», доступных исследованию. Речь идет о многочисленных самопроизвольных превращениях разных элементарных частиц, как, например, бета-распад нуклона, о котором речь будет идти ниже.

Надо сказать, что любой процесс взаимодействия элементарных частиц характеризуется некоторым временем, определяющим его среднюю продолжительность. Процессы, вызванные слабыми взаимодействиями, часто называют «медленными», так как это время относительно велико. Читатель, правда, может удивиться тому, что явление, происходящее, скажем, за одну миллионную долю секунды, классифицируется как медленное. Такое время жизни характерно, например, для распада мю-мезона, вызванного слабыми взаимодействиями. Но все познается в сравнении. В мире элементарных частиц такой промежуток времени действительно весьма продолжителен, поскольку он сравнивается с «нормальным» масштабом времени, характерным для сильных взаимодействий (10<sup>-23</sup> секунды).

## Сходство или единство?

Большое значение приобретает сходство между разными процессами самопроизвольного превращения частиц, которые в принципе ничего общего между собой могли не иметь. Это сходство было осознано в результате упорной работы физиков — теоретиков и экспериментаторов всего мира в течение последних 30 лет. Оно позволяет классифицировать самые различные процессы (бета-распад нуклона, распад мю-мезона и пи-мезона, захват мю-мезона нуклоном и разные распады «странных» частиц) как проявления слабых взаимодействий.

Но это не все. Имеем ли мы дело только со сходством или с чем-то более глубоким? Имеем ли мы дело с классом взаимодействий или с одним, «универсальным», взаимодействием? Я приведу

пример из области, более знакомой читателю. Сила тяготения между двумя телами «универсальна». Она зависит только от расстояния между телами и от их масс. Но она не зависит от того, из какого материала состоят тела, будь то золото или грязь. Электрическая сила притяжения положительно и отрицательно заряженных частиц зависит только от величин зарядов и расстояния частиц, но не зависит от того, какие именно частицы являются носителями зарядов.

Итак, очень важная проблема физики элементарных частиц: универсально ли слабое взаимодействие элементарных частиц? То есть описываются ли все «медленные» процессы с участием самых разнообразных частиц одним математическим законом?

Очень много трудов в последние годы было посвящено решению этого вопроса. В Дубне недавно были получены интересные экспериментальные результаты о слабых взаимодействиях пи- и мю-мезонов: имеются серьезные указания на то, что слабое взаимодействие универсально, но последнее слово по этому поводу еще не сказано.

## Слабость или мощность?

Интенсивность взаимодействий удобно оценивать по так называемой длине свободного пробега частиц в некотором веществе, то есть средней величине пути, который частица может пройти в этом веществе до разрушающего или сильно отклоняющего соударения. Ясно, что чем больше длина свободного пробега, тем менее интенсивно взаимодействие.

Если рассматривать частицы очень высокой энергии, то соударения, обусловленные сильными взаимодействиями, характеризуются длиной свободного пробега частиц, равной по порядку величины десяткам сантиметров в меди или железе.

Иначе обстоит дело при слабых взаимодействиях. Длина свободного пробега частицы, испытывающей только слабые взаимодействия, измеряется в астрономических толщинах (то указывает на удивительно малую интенсивность этих взаимодействий). Оказывается, слабые взаимодействия очень распространены, в том смысле, что все элементарные частицы

их испытывают. Но это не означает, что длина свободного пробега этих частиц в веществе велика. Дело в том, что они, как правило, испытывают и другие взаимодействия — электромагнитные или сильные. Но имеется одна частица — нейтрино, — которая отличается тем, что не подвержена ни сильным, ни электромагнитным взаимодействиям. А нейтрино испытывают только слабое взаимодействие. Длина его свободного пробега, если хотите, его проникающая способность — потрясающая. Оно, нейтрино, может беспрепятственно проникать, скажем, через чугунную плиту, толщина которой в миллиарды раз превышает расстояние от Земли до Солнца! Читатель здесь почувствует диалектику и поймет, что предельный «слабости» — довольно мощный материальный объект!

## Нейтрино и космос

Именно с этим удивительным и своеобразным свойством нейтрино связана его роль в космосе.

Учтите, что нейтрино могут выходить даже из центра Солнца, где они рождаются, свободно, чем лучи света проходят через окно. Энергия, излучаемая нашим светилом в виде нейтрино, огромна. Она примерно в десять раз меньше полной энергии, испускаемой им в виде света. Представьте, что эти нейтрино проходят через каждый квадратный сантиметр вашего тела в количестве десяти миллиардов в секунду! Пока эти нейтрино еще никто не зарегистрировал. Когда человеку удастся это сделать, откроется страница новой области науки — экспериментальной нейтринной астрономии.

Теоретическая же нейтринная астрофизика уже процветает. Из теоретических расчетов, впервые сделанных советскими физиками, следует, что должны существовать горячие и плотные звезды, «нейтринная светимость» которых превышает обычную светимость.

Есть основания предполагать, что нейтрино играют важную роль и в космогонии.

## Зачем «придумали» нейтрино?

Но здесь я должен объяснить название этой удивительной частицы.

Когда она впервые появилась в физике, ученые уже твердо знали о существовании других, неизмеримо более тяжелых элементарных частиц, нейтронов, являющихся совместно с протонами «кирпичиками», из которых состоит атомное ядро. Нейтрон не имеет электрического заряда и по этой причине его так называ-

ли. Известный швейцарский физик Паули в 1931 году по причинам, которые я объясню ниже, пришел к выводу, что в природе должна существовать еще одна нейтральная частица с массой, много меньшей, чем у нейтрона. Когда он высказывал свои идеи о возможном существовании гипотетического, как он говорил, «маленького нейтрона» с трибуны международного совещания маститых физиков, знаменитый итальянский физик Ферми перебил его словами:

— Называйте его нейтрино!

Дело в том, что по-итальянски окончание «нино» — ласковое уменьшение (соответствующее в русском языке существительным с суффиксами «чик», «ушк» и другими). Русское «Антошка» по-итальянски звучит как «Антонно», так что «нейтрино» в переводе с итальянского будет означать «маленький нейтральный». Таким образом, нейтрино изобрел Паули, а окрестил Ферми.

Но что заставило Паули «изобрести» нейтрино? Как часто бывает в науке, новые идеи выдвигаются тогда, когда в рамках существующих знаний возникает парадокс. Изобретение нейтрино вызвано кажущимся парадоксом, обнаруженным при экспериментальном исследовании процесса бета-распада. Этот процесс обнаруживался как самопроизвольное испускание электронов атомными ядрами. Оказалось, что измеренные энергии вылетающих электронов в этом процессе не строго определенные, а самые разнообразные. В большинстве случаев явно не хватало энергии. Создавалось впечатление, что она куда-то исчезает, как будто закон сохранения энергии не был верным. Трудности были настолько серьезными, что знаменитые физики предлагали даже отказаться от закона сохранения энергии! Кажущееся несохранение энергии, однако, имело довольно странный характер. Действительно, если энергия не сохраняется в процессе бета-распада, мы должны были бы ожидать, что иногда энергии электронов не хватает, а иногда она бывает излишней. Однако оказалось, что «выигрыша» энергии не бывает.

Изобретатель нейтрино рассуждал так: кажущееся несохранение энергии обусловлено тем, что процесс бета-распада неправильно представлен простым испусканием электронов. В распаде должна участвовать не наблюдаемая на опыте нейтральная (и поэтому практически необнаружимая) частица, нейтрино, уносящая «исчезающую» энергию. И хотя в каждом процессе выделяется точно определенная суммарная энергия всех частиц, она распределяется между продуктами распада так, что в разных случаях электрон получает разные ее порции.

Я хотел заметить здесь, что теоретическое открытие нейтрино с логической точки зрения вытекало из того типа рассуждений, которые часто встречаются при решении даже самых простых парадоксов. Возьмем старый парадокс с цирюльником. В маленьком городке, скажем, Дубне на Волге, живет парикмахер, который подстригает всех мужчин, не стригущих самих себя. Спрашивается, стрижет ли себя сам парикмахер? Ясно, что как положительный, так и отрицательный ответ на этот вопрос ведет к противоречию. Парадокс решается при осознании того, что нет и не может быть такого парикмахера в Дубне.

Если вы внимательно проследите за рассуждениями Паули, вы увидите, что аргументы в пользу существования нейтрино в природе и отсутствия нашего парикмахера в Дубне очень похожи.

Итак, нейтрино — это частица, которая при бета-распаде уносит часть энергии. Так предполагали физики-теоретики, которые с самого начала изобрели ее как «неуловимую» частицу. И сразу же были предсказаны свойства новой частицы: она должна быть электрически нейтральной, очень проникающей и чрезвычайно малой по массе. Иначе экспериментаторам было бы нетрудно обнаружить ее, а мы увидим, что это совсем не так. Последнее свойство — крайне малая величина массы согласно теории относительности приводит к тому, что нейтрино не может находиться в состоянии покоя: оно всегда движется со скоростью света.

После того, как гипотеза о существовании нейтрино была сформулирована, физики попытались найти и другие доказательства его присутствия в бета-распаде. Как известно, при превращениях частиц сохраняется не только энергия, но и импульс. Закон сохранения импульса, вероятно, известен читателю. На нем основан принцип действия ракет.

В многочисленных опытах, первый из которых был поставлен советским физиком Лейпунским, действительно было показано, что суммарный импульс при бета-распаде не сохраняется, если не допускать существования нейтрино. «Неуловимая» частица уносит «исчезающий» импульс. Во всех процессах нейтрино выступает как «расхититель» энергии и импульса!

## Свободные нейтрино

Теоретическое изобретение нейтрино и косвенные аргументы в пользу его существования, конечно, вполне обоснованы. Но нельзя забывать, что нейтрино вполне материально и в принципе до-

ступно регистрации, что его ненаблюдаемость была временной, вызванной лишь трудностями, связанными с уровнем экспериментальной техники.

Мы видели, что, как правило, в соударениях элементарных частиц число событий, вызываемых слабым взаимодействием, ничтожно по сравнению с «фоном» событий, вызванных сильными взаимодействиями. Но фон этот в том случае, когда нейтрино попадают в вещество, должен отсутствовать. Значит, была возможность поймать неуловимое — зарегистрировать эффекты, вызванные «свободными» нейтрино. Вот что было необходимо для доказательства существования этой таинственной частицы. Сложность задачи состояла в колоссальной проникающей способности нейтрино. Решить ее удалось несколько лет назад американским физиком. Они использовали мощный урановый реактор как источник неуловимых частиц, а зарегистрировали ядерные превращения, вызванные свободными нейтрино, при помощи хорошо известных, но сложных экспериментальных методов ядерной физики. Непойманные расстратчики энергии, наконец, были пойманы. Мистический ореол был снят с нейтрино.

Но это не все. Совсем недавно было доказано, что в природе имеются разные типы нейтрино. Я сейчас об этом коротко расскажу.

В последние годы родилась новая область исследований элементарных частиц, связанная с работами советских и иностранных физиков — физика нейтрино высоких энергий. Здесь исследуются свойства нейтрино «мезонной природы», то есть тех неуловимых частиц, которые рождаются в процессах распада мезонов. Поскольку интенсивные и удобные лучи мезонов создаются при помощи мощных современных ускорителей, то эти гигантские машины являются источниками нейтрино мезонной природы.

Здесь возникает вопрос — являются ли «неуловимые» частицы, испускаемые в совершенно разных процессах, тождественными частицами? Оказалось, что «электронные» нейтрино (испускаемые в процессах бета-распада) и «мезонные» нейтрино (испускаемые в процессах распада мезонов) — разные частицы!

Хотелось бы закончить этот разговор образным примером: оказывается, что нейтрино больше похоже на штопор, чем на шарик.

В заключение хотел бы уверить читателя, что нерешенных задач в области физики слабых взаимодействий достаточно и нет опасения безработицы для физиков, работающих в этой области науки.