

ми, взаимодействие всех 4 частиц, происходит в одной точке пространства одновременно. Эта теория объяснила осн. черты β -распада [форму спектра, связь граничной энергии (Q) со временем распада] и, т. о., явилась первым подтверждением гипотезы о Н. Были предсказаны новые процессы с участием Н.: обратный β -распад

$$p + \bar{\nu}_e \rightarrow n + e^+ \quad (2)$$

и электронный захват:

$$p + e^- \rightarrow n + \nu_e. \quad (3)$$

Первые эксперименты по обнаружению Н. Несмотря на успех теории Ферми, требовались качественно новые подтверждения реальности Н. как частицы. Кроме энергии Н. должно уносить импульс. Первые эксперименты, проведенные в 1936 А. И. Лейбуном, дали лишь слабые указания на неколлинеарность импульсов электрона и конечного ядра в β -распаде. В 1938 А. И. Алиханов и А. И. Алиханян предложили исследовать отдачу ядра ${}^7\text{Li}$ в реакции K -захвата: ${}^7\text{Be} + e^- \rightarrow {}^7\text{Li} + \nu_e$, в k -рой импульс ${}^7\text{Li}$ должен быть равен по величине и противоположен по направлению импульсу ν_e . Эксперимент был осуществлен Дж. Алленом (J. Allen) в 1942, и его результаты оказались в согласии с предсказаниями [2].

Решающим доказательством того, что Н. — физ. частица, является обнаружение её взаимодействий на нек-ром расстоянии от точки рождения. Эксперименты по поиску ионизации воздуха под действием Н. не привели положит. результата [Чедвик и др., 1933, М. Наммас (M. E. Nahmias), 1934]. Лишь через 23 года после формулировки гипотезы Паули успех был достигнут на пути регистрации обратного β -распада (2). Ещё в 1934 Х. Бете (H. A. Bethe) и Р. Пайерлс (R. Peierls), используя теорию Ферми, оценили вероятность этого процесса, k -рая оказалась исключительно малой. Она соответствует тому, что Н. с энергией 3—10 МэВ должно пройти в среднем расстояние в 100 световых лет в веществе с плотностью воды, прежде чем испытает взаимодействие. Регистрация столь редких событий стала возможной лишь после создания ядерных реакторов, являющихся мощными источниками антинейтрино, и больших водородосодержащих сцинтилляц. детекторов. Эксперимент был осуществлен Ф. Райнсом (F. Reines) и К. Коуэном (C. L. Cowan) в 1953—56 [3] (рис. 1). Реакция (2) происходила под действием $\bar{\nu}_e$ от реактора

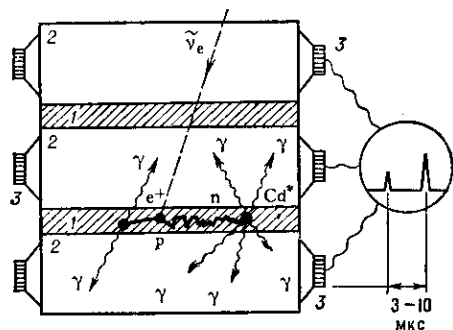


Рис. 1. Схема установки Райнса — Коуэна (1956—57): 1 — мишень; 2 — сцинтилляционные детекторы; 3 — ФЭУ.

на протонах, содержащихся в воде, в k -рой была растворена соль CdCl_2 . Регистрировались оба продукта реакции e^+ и n . Позитрон практически мгновенно тормозился и аннигилировал с электроном среды, давая первую сцинтилляц. вспышку. Нейтрон, рассеиваясь на водороде, замедлялся в течение 5—10 мкс и затем захватывался ядром кадмия; образовавшееся возбужденное ядро Cd^* испускало γ -кванты с энергиями 3—10 МэВ, k -рые, попадая в детекторы, давали вторую

сцинтилляц. вспышку. Характерная цепочка событий — две вспышки с интервалом 5—10 мкс позволяла с помощью техники запаздывающих совпадений достаточно надёжно выделить сигнал из фона. Измеренное сечение реакции (2) находилось в согласии с предсказанием.

Мюонные Н. Представление о мюонных Н., отличающихся от электронных Н., испускаемых при β -распаде, возникло в связи с изучением распадов мюона, π - и K -мезонов. Было установлено, что распады этих частиц сопровождаются вылетом Н.:

$$\mu^\pm \rightarrow \bar{\nu}_\mu(\nu_\mu) + \nu_e(\bar{\nu}_e) + e^\pm, \quad (4)$$

$$\pi^\pm \rightarrow \nu_\mu(\bar{\nu}_\mu) + \mu^\pm, \quad (5)$$

$$K^\pm \rightarrow \nu_\mu(\bar{\nu}_\mu) + \mu^\pm. \quad (6)$$

На петожественность ν_μ и ν_e , т. е. частиц, k -рые рождаются вместе с мюонами и электронами, указывало отсутствие каналов распада $\mu \rightarrow e\gamma$, $\mu \rightarrow ee^+e^-$ и др. Идею о двух типах Н. сформулировали в 1957 М. А. Марков, Ю. Швингер (J. Schwinger), К. Нишиджима (K. Nishijima) и др. [4], а её проверка [предложенная Б. М. Понтекорво и независимо от него М. Шварцем (M. Schwartz)] была осуществлена в экспериментах на ускорителях в Брукхейвене, США [1962, Л. М. Ледерман (L. M. Lederman), М. Шварц, Дж. Стейнбергер (J. Steinberger)] и в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН), Швейцария (1964). Было показано, что во взаимодействиях Н. от распадов (5) и (6) с ядрами мишени рождаются мюоны: $\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$ и не происходит генерации электронов. Так были открыты мюонные Н.

τ -нейтрино. В 1975 в Стаффорде (США) на встречных e^+e^- -пучках группой физиков во главе с М. Л. Перлом (M. L. Perl) в реакции $e^+ + e^- \rightarrow \tau^+ + \tau^-$ был открыт новый, тяжёлый лептон с массой ок. 1.8 ГэВ — τ -лептон (см. *Tau-лептон*) [6]. Анализ энергетич. спектров электронов и мюонов, образующихся при распаде τ -лептона, показал, что кроме e^\pm или μ^\pm рождаются ещё два Н.:

$$\tau^+ \rightarrow \mu^+(e^+) + \nu_\mu(\nu_e) + \bar{\nu}_\tau, \quad (7)$$

$$\tau^- \rightarrow e^-(\mu^-) + \bar{\nu}_e(\bar{\nu}_\mu) + \nu_\tau. \quad (8)$$

Одно из них соответствует мюону или электрону, другое — τ -лептону. Отличие ν_τ от ν_e и ν_μ подтверждается существованием сильных запретов на моды распада $\tau \rightarrow \mu\gamma$, $\tau \rightarrow e\gamma$, $\tau \rightarrow ee^+e^-$, равенством вероятностей распадов $\tau \rightarrow \mu\nu$ и $\tau \rightarrow e\nu$, а также отрицат. результатами поиска τ -лептонов во взаимодействиях пучков ν_μ и ν_e с веществом.

Основные свойства Н.

Спин и спиральность Н. Величина спина Н. устанавливается с помощью закона сохранения угл. момента по известным спином частиц, участвующих в реакциях вместе с Н. При этом используются дополнит. соображения: правила отбора для разрешённых ядерных переходов, форма спектров заряж. частиц в распадах, точечность взаимодействий.

Во всех проведенных экспериментах Н. проявляли себя как частицы с определённой спиральностью λ : Н. — как левополяризованные ($\lambda = -1/2$), антинейтрино — как правополяризованные ($\lambda = +1/2$). (В статье использована система единиц, в k -рой $\hbar = c = 1$.) Этот факт при ненулевой массе Н. $m_\nu \neq 0$ объясняется ($V-A$)-структурой взаимодействий (см. *Слабое взаимодействие*) и ультрарелятивистским характером излучившихся Н. ($p_\nu \gg m_\nu$). В этом случае примесь состояния с противоположной спиральностью, т. е. Н. с $\lambda = +1/2$ или антинейтрино с $\lambda = -1/2$, подавлена фактором $(m_\nu/p_\nu)^2$. Если Н. безмассовое и описывается *Вейля уравнением*, то строго фиксированная спиральность — не только следствие ($V-A$)-характера взаимодействий, но и свойство самих Н. (см. ниже).