

р-резонанса) по отношению к примесной компоненте с противоположной чётностью, являющейся π -резонансом. Именно сочетание неск. факторов усиления позволяет крайне слабому эффекту проявляться с величиной, характерной для ядерного взаимодействия.

Взаимодействия с нарушением барионного числа. Теоретич. модели *великого объединения* и *суперобъединения* предсказывают нестабильность барионов — их распад в лептоны и мезоны. Эти распады могут быть заметны только для легчайших барионов — p и n , входящих в состав атомных ядер. Для взаимодействия с изменением барионного числа на 1, $\Delta B = 1$, можно было бы ожидать превращения N . типа: $p \rightarrow e^+ \pi^+$, $n \rightarrow \pi^0 \nu_e$ или превращения с испусканием странных мезонов. Поиски такого рода процессов производились в экспериментах с применением подземных детекторов с массой в неск. тысяч тонн. На основании этих экспериментов можно сделать заключение, что время распада N . с нарушением барионного числа составляет более 10^{32} лет.

Др. возможный тип взаимодействия с $\Delta B = 2$ может привести к явлению взаимопревращения N . и *антинейтронов* в вакууме, т. е. к осцилляции $n \rightleftharpoons \bar{n}$. В отсутствие внеш. полей или при их малой величине состояния N . и антинейтрона вырождены, поскольку массы их одинаковы, поэтому даже сверхслабое взаимодействие может их перемешивать. Критерием малости внеш. полей является малость энергии взаимодействия магн. момента N . с магн. полем (n и \bar{n} имеют противоположные по знаку магн. моменты) по сравнению с энергией, определяемой временем T наблюдения N . (согласно соотношению неопределённости), $\Delta \mathcal{E} \leq \hbar T^{-1}$. При наблюдении рождения антинейтронов в пучке N . от реактора или др. источника T есть время пролёта N . до детектора. Число антинейтронов в пучке растёт с ростом времени пролёта квадратично: $N_{\bar{n}}/N_n \sim (T/\tau_{\text{осц}})^2$, где $\tau_{\text{осц}}$ — время осцилляции.

Прямые эксперименты по наблюдению рождения \bar{n} в пучках холодных N . от высокопоточного реактора дают ограничение $\tau_{\text{осц}} > 10^7$ с. В готовящихся экспериментах можно ожидать увеличения чувствительности до уровня $\tau_{\text{осц}} \sim 10^9$ с. Ограничивающими обстоятельствами являются макс. интенсивность пучков N . и имитация явлений аннигиляции антинейтронов в детекторе космич. лучами.

Др. метод наблюдения осцилляций $n \rightleftharpoons \bar{n}$ — наблюдение аннигиляции антинейтронов, к-рые могут образовываться в стабильных ядрах. При этом из-за большого отличия энергий взаимодействий возникающего антинейтрона в ядре от энергии связи N . эфф. время наблюдения становится $\sim 10^{-22}$ с, но большое число наблюдаемых ядер ($\sim 10^{22}$) частично компенсирует уменьшение чувствительности по сравнению с экспериментом на пучках N . Из данных подземных экспериментов по поиску распада протона об отсутствии событий с энерговыделением ~ 2 ГэВ можно заключить с нек-рой неопределённостью, зависящей от незнания точного вида взаимодействия антинейтрона внутри ядра, что $\tau_{\text{осц}} > (1-3) \cdot 10^7$ с. Существ. повышение предела $\tau_{\text{осц}}$ в этих экспериментах затруднено фоном, обусловленным взаимодействием космич. нейтрино с ядрами в подземных детекторах.

Следует отметить, что поиски распада нуклона с $\Delta B = 1$ и поиски $n\bar{n}$ -осцилляций являются независимыми экспериментами, т. к. вызываются принципиально разл. видами взаимодействий.

Гравитационное взаимодействие N . Нейтрон — одна из немногих элементарных частиц, падение к-рой в гравитац. поле Земли можно наблюдать экспериментально. Прямое измерение ускорения свободного падения для N . выполнено с точностью 0,3% и не отличается от макроскопического. Актуальным остаётся вопрос о соблюдении *эквивалентности принципа* (равенства инертной и гравитац. масс) для N . и протонов.

Самые точные эксперименты выполнены методом Этвеша для тел, имеющих разные ср. значения отношения A/Z , где A — ат. номер, Z — заряд ядер (в ед. элементарного заряда e). Из этих опытов следует одинаковость ускорения свободного падения для N . и протонов на уровне $2 \cdot 10^{-9}$, а равенство гравитац. и инертной масс на уровне $\sim 10^{-12}$.

Гравитац. ускорение и замедление широко используются в опытах с ультрахолодными N . Применение гравитац. рефрактометра для холодных и ультрахолодных N . позволяет с большой точностью измерить длины когерентного рассеяния N . на веществе.

Н. в космологии и астрофизике

Согласно совр. представлениям, в модели Горичей Вселенной (см. *Горичей Вселенной теория*) образование барионов, в т. ч. протонов и N ., происходит в первые минуты жизни Вселенной. В дальнейшем нек-рая часть N ., не успевших распасться, захватывается протонами с образованием ${}^4\text{He}$. Соотношение водорода и ${}^4\text{He}$ при этом составляет по массе 70% к 30%. При формировании звёзд и их эволюции происходит дальнейший *нуклеосинтез*, вплоть до ядер железа. Образование более тяжёлых ядер происходит в результате взрывов сверхновых с рождением нейтронных звёзд, создающих возможность последоват. захвата N . туклидами. При этом комбинация т. н. s -процесса — медленного захвата N . с β -распадом между последовательными захватами и r -процесса — быстрого последоват. захвата при взрывах звёзд в осн. может объяснить наблюдаемую *распространённость элементов* в космич. объектах.

В первичной компоненте космич. лучей N . из-за своей нестабильности вероятно отсутствуют. N ., образующиеся у поверхности Земли, диффундирующие в космич. пространство и распадающиеся там, по-видимому, вносят вклад в формирование электронной и протонной компоненты *радиационных поясов* Земли.

Лит.: Гуревич И. С., Тарасов Л. В., Физика нейтронов низких энергий, М., 1965; Александров Ю. А., Фундаментальные свойства нейтрона, 2 изд., М., 1982.

В. М. Лобашов.

НЕЙТРОНИЗАЦИЯ ВЕЩЕСТВА — превращение протонов, входящих в состав вещества звёзд, в нейтроны на заключит. стадиях *эволюции звёзд*. Молодые звёзды состоят в основном из водорода с добавкой гелия и малой примесью более тяжёлых хим. элементов, поэтому в начале термоядерной эволюции звёзд все нейтроны в звёздном веществе связаны в атомных ядрах и их суммарное число невелико (на 6 протонов в среднем приходится ок. 1 нейтрона). В конце эволюции кол-во нейтронов резко возрастает, на что указывает существование *нейтронных звёзд* — одного из продуктов звёздной эволюции.

После завершения водородных термоядерных реакций (см. *Водородный цикл* и *Углеродно-азотный цикл*), в результате к-рых водород в центр. области звезды полностью превращается в гелий, нейтроны и протоны в звёздном веществе становятся примерно поровну. Это обогащение звёздного вещества нейтронами не оказывает решающего влияния на строение звезды, главное здесь — выделение энергии в термоядерных реакциях синтеза гелия.

Однако на заключит. стадиях эволюции звёзд плотность вещества в их центр. областях сильно возрастает и электронный газ становится вырожденным (см. *Вырожденный газ*). Энергия вырожденных электронов достигает такой величины, что они уже могут, несмотря на энергетич. барьер, захватываться атомными ядрами. Начинаются процессы т. н. обратного *бета-распада*, посредством к-рых протоны превращаются внутри атомных ядер в нейтроны. Именно этот процесс множеств. захвата электронов атомными ядрами, сопровождающийся испусканием нейтрино ν , наз. *п* и *е* — *т* р о н и з а ц и е й.