

нейшим примером иордановой алгебры служит множество самосопряжённых операторов, действующих в гильбертовом пространстве квантовых состояний. В терминах А. формулируются канонические перестановочные соотношения операторов рождения и уничтожения для статистики Ферми — Дирака.

В. Н. Ситко.

АНТИНЕЙТРИНО ($\bar{\nu}$, $\bar{\nu}$) — античастица по отношению к нейтрино. Эксперим. данные показывают, что с электроном и мюоном ассоциируются два разл. типа нейтрино и соответственно два типа А.: электронное ($\bar{\nu}_e$) и мюонное ($\bar{\nu}_\mu$). Предполагается, что *тяжёлому лептону* (τ) отвечает свой сорт нейтрино и, следовательно, существует и τ -лептонное А. ($\bar{\nu}_\tau$). Принято определять А. как лёгкий нейтральный лептон, образующийся в процессах слабого взаимодействия вместе с соответствующим отрицательно заряженным лептоном. Напр., $\bar{\nu}_\mu$ определяется как частица, рождающаяся вместе с μ^- в распаде $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$. Такое определение А. предполагает, что каждому типу лептонов соответствует своё сохраняющееся *лептонное число* (электронное, мюонное, τ -лептонное). Спин А. равен $1/2$. Во всех наблюдавшихся процессах рождения и взаимодействия А. обладает определённой — *правой* — спиральностью. Вопрос о существовании А. с левой спиральностью остаётся открытым. Этот вопрос особенно важен в связи с возможным наличием у нейтрино массы. Если масса нейтрино — дираковская (т. е. нейтрино описывается четырёхкомпонентной волновой ф-цией, удовлетворяющей Дирака уравнению), то должны существовать и состояния А. с левой спиральностью. Если масса нейтрино — майорановская (т. е. нейтрино — массивная майорановская частица), то нейтрино оказывается истинно нейтральным фермионом и наблюдаемые состояния нейтрино и А. являются разными спиральными состояниями одной *истинно нейтральной частицы*.

М. Ю. Хлопов.

АНТИНЕЙТРОН (\bar{n} , \bar{n}) — античастица по отношению к нейтрону. А. электрически нейтрален имеет спин $1/2$ и массу, равную массе нейтрона. Магн. моменты А. и нейтрона равны по абс. величине, но противоположны по направлению (по отношению к их спинам). А. имеет *барионное число* $B = -1$. Столкновение медленного А. с нуклоном вызывает их аннигиляцию преимущественно с образованием нескольких (5—6) π -мезонов. В отсутствие вещества свободный А. нестабилен по отношению к распаду на антипротон, позитрон и электронное нейтрино. В соответствии с *CPT*-инвариантностью квантовой теории поля (см. *Теорема CPT*) время жизни А. относительно такого распада совпадает с временем жизни нейтрона относительно распада на протон, электрон и электронное антинейтрино.

А. был впервые зарегистрирован в 1956 Б. Корком (B. Cork), Г. Ламбертсоном (G. Lambertson), О. Пиччони (O. Piccioni) и У. Венцелем (W. A. Wenzel) в опытах по рассеянию пучка антипротонов в веществе. Антипротоны рождались при взаимодействии энергичных протонов с ядрами вещества, при этом пара из антипротона и протона ядра превращалась в пару $n\bar{n}$ (процесс перезарядки). Рождение А. идентифицировалось по регистрации продуктов его аннигиляции с нуклоном.

Лит.: Корк Б. и др., Антинейтроны, полученные путём перезарядки антипротонов, «УФН», 1957, т. 62, с. 385.

М. Ю. Хлопов.

АНТИНУКЛОН — античастица по отношению к нуклону. Ядерное взаимодействие между А. может приводить к образованию ядер атомов *антивещества*, а между А. и нуклоном — к образованию *бариония*.

АНТИПОДЫ ОПТИЧЕСКИЕ — см. *Оптические изомеры*.

АНТИПРОТОН (\bar{p} , \bar{p}) — античастица по отношению к протону. Масса и спин А. такие же, как у протона, барионное число $B = -1$. Электрич. заряд (и магн. момент) А. отрицателен и равен по абс. величине электрич. заряду (магн. моменту) протона.

А. был впервые обнаружен экспериментально в 1955 О. Чемберленом (O. Chamberlain), Э. Сегре (E. Segré), К. Вигандом (C. Wiegand) и Т. Ипсилантисом (T. Ypsilantis) в Беркли (США) на ускорителе протонов с макс. энергией 6,3 ГэВ. Вследствие сохранения барионного числа рождение А. должно сопровождаться рождением протона, поэтому для рождения А. необходимо, чтобы суммарная кинетич. энергия сталкивающихся частиц в системе центра масс превышала энергию покоя пары протон-А. Это условие выполнялось на ускорителе в Беркли для соударения протонов с ядрами мишени. Опыт был поставлен след. образом. Пучок протонов из ускорителя падал на медную мишень, в к-рой в результате взаимодействия протонов с ядрами меди рождались разл. частицы. Магниты отбирали отрицательно заряженные частицы (прим. π^- -мезоны), отклоняя их в направлении черенковских счётчиков, измерявших скорости частиц. Отождествление частицы с А. проводилось по величине её массы, к-рая определялась из соотношения между импульсом (измеряемым по отклонению в магн. поле) и скоростью частицы. В опыте рождалось неск. А. на 10^{11} столкновений протонов с мишенью.

В отсутствие вещества А., как и протон, с очень высокой степенью точности стабилен. В веществе «время жизни» медленного А. определяется скоростью его *аннигиляции*.

Кулоновское взаимодействие между А. и ядрами может вызывать образование антипротонных атомов — связанных водородоподобных систем (см. *Адронные атомы*). На малых расстояниях между А. и циклоном действуют ядерные силы притяжения, к-рые могут приводить к образованию связанной системы А.— нуклон (*бариония*). В результате сильного (ядерного) взаимодействия между А. и антинуклонами могут образовываться ядра *антивещества*, а в результате эл.-магн. (кулоновского) взаимодействия между А. и позитроном — атомы антиводорода.

К сер. 80-х гг. на ускорителях получают пучки А. высоких энергий, вплоть до 270 ГэВ (в столкновениях протонов высоких энергий с ядрами выход $A \geq 1\%$). Результаты исследования взаимодействия таких А. с нуклонами показывают, что с ростом энергии А. его аннигиляция с нуклонами становится всё менее вероятной, а полное сечение $\bar{p}N$ -взаимодействия (в согласии с *Померанчука теоремой*) всё более сближается с сечением pN -взаимодействия.

Согласно кварковой модели адронов (см. *Кварки*), А. состоит из трёх конституентных антикварков: двух *u*-кварков и одного *d*-кварка.

Рождение пар протон-А. наблюдается не только в столкновениях адронов, но и в столкновениях встречных пучков электронов и позитронов с энергиями выше 1 ГэВ. Экспериментально установлено, что относит. вероятность рождения А. растёт с ростом энергии пучков e^+e^- и при энергии ок. 30 ГэВ составляет неск. десятков процентов. Столь большая вероятность может быть объяснена фрагментацией в адроны жёстких *глюонов*, вероятность рождения к-рых с ростом энергии увеличивается.

Длительное существование А. возможно только при низкой плотности нуклонов — в *накопителях* заряж. частиц, а также в космич. пространстве.

Наблюдение А. в космич. лучах указывает на наличие космических источников А. Таким источником может быть взаимодействие высокоэнергичных частиц космич. лучей с межзвёздным веществом. А. могут также рождаться, напр., в оболочке пульсара при взаимодействии с её веществом высокоэнергичных частиц, ускоряемых магн. полем пульсара, а также в окрестности активного ядра Галактики. В связи с превышением наблюдаемого потока космич. А. (особенно в области энергий < 1 ГэВ) над ожидаемым от естеств. источников обсуждались такие возможные механизмы рождения А., как испарение первичных чёрных дыр, рождение А. в