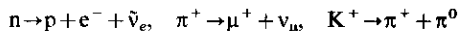


Основные свойства элементарных частиц. Классы взаимодействий

Все Э. ч. — объекты исключительно малых масс и размеров. У большинства из них массы m имеют порядок величины массы протона, равной $1,6 \cdot 10^{-24}$ г (заметьте меньше лишь масса электрона: $9 \cdot 10^{-28}$ г). Определённые из опыта размеры протона, нейтрона, π - и K -мезонов по порядку величины равны 10^{-13} см (см. «Размер» элементарной частицы). У электрона и мюона определить размеры не удалось, известно лишь, что они меньше 10^{-16} см. Микроскопич. массы и размеры Э. ч. лежат в основе квантовой специфики их поведения. Характерные длины волн, которые следует приписать Э. ч. в квантовой теории ($\lambda = h/mc$ — комптоновская длина волны), по порядку величин близки к типичным размерам, на к-рых осуществляется их взаимодействие (напр., для π -мезона $h/mc \approx 1,4 \cdot 10^{-13}$ см). Это и приводит к тому, что квантовые закономерности являются определяющими в поведении Э. ч.

Наиб. важное квантовое свойство всех Э. ч. — их способность рождаться и уничтожаться (испускаться и поглощаться) при взаимодействии с др. частицами. В этом отношении они полностью аналогичны фотонам. Э. ч. — это специфич. кванты материи, более точно — кванты соответствующих полей физических. Все процессы с Э. ч. протекают через последовательность актов их поглощения и испускания. Только на этой основе можно понять, напр., процесс рождения π^+ -мезона при столкновении двух протонов ($p + p \rightarrow p + n + \pi^+$) или процесс аннигиляции электрона и позитрона, когда взамен исчезнувших частиц возникают, напр., два γ -кванта ($e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$). Но и процессы упругого рассеяния частиц, напр. $e^- + p \rightarrow e^- + p$, также связаны с поглощением нач. частиц и рождением конечных частиц. Распад нестабильных Э. ч. на более лёгкие частицы, сопровождаемый выделением энергии, отвечает той же закономерности и является процессом, в к-ром продукты распада рождаются в момент самого распада и до этого момента не существуют. В этом отношении распад Э. ч. подобен распаду возбуждённого атома на осн. состояние и фотон. Примерами распадов Э. ч. могут служить



(знак «тильда» над символом частицы здесь и в дальнейшем соответствует античастице).

Разл. процессы с Э. ч. при относительно небольших энергиях [до ≈ 10 ГэВ в системе центра масс (с. ц. м.)] заметно отличаются по интенсивности их протекания. В соответствии с этим порождающие их взаимодействия Э. ч. можно феноменологически разделить на неск. классов: *сильное взаимодействие*, *электромагнитное взаимодействие* и *слабое взаимодействие*. Все Э. ч. обладают, кроме того, *гравитационным взаимодействием*.

Сильное взаимодействие выделяется как взаимодействие, к-рое ответственно за процессы с Э. ч., протекающие с наибольшей интенсивностью по сравнению с др. процессами. Оно приводит к самой сильной связи Э. ч. Именно сильное взаимодействие обуславливает связь протонов и нейтронов в ядрах атомов и обеспечивает исключит. прочность этих образований, лежащую в основе стабильности вещества в земных условиях.

Эл.-магн. взаимодействие характеризуется как взаимодействие, в основе к-рого лежит связь с эл.-магн. полем. Процессы, обусловленные им, менее интенсивны, чем процессы сильного взаимодействия, а порождаемая им связь Э. ч. заметно слабее. Эл.-магн. взаимодействие, в частности, ответственно за процессы излучения фотонов, за связь атомных электронов с ядрами и связь атомов в молекулах.

Слабое взаимодействие, как показывает само название, слабо влияет на поведение Э. ч. или вызывает очень медленно протекающие процессы изменения их состояния. Иллюстрацией этого утверждения может служить, напр., тот факт, что нейтрно, участвующие только в слабом взаимодействии, беспрепятственно пронизывают, напр., толщу Земли и Солнца. Слабое взаимодействие ответ-

ственно за сравнительно медленные распады т. н. квазистабильных Э. ч. Как правило, времена жизни этих частиц лежат в диапазоне 10^{-8} — 10^{-12} с, тогда как типичные времена переходов для сильного взаимодействия Э. ч. составляют 10^{-23} с.

Гравитац. взаимодействия, хорошо известные по своим макроскопич. проявлениям, в случае Э. ч. в силу чрезвычайной малости их масс на характерных расстояниях $\sim 10^{-13}$ см дают исключительно малые эффекты. В дальнейшем (за исключением раздела 7) они обсуждаться не будут.

«Силу» разл. классов взаимодействий можно приближённо охарактеризовать безразмерными параметрами, связанными с квадратами соответствующих констант взаимодействий. Для сильного, эл.-магн., слабого и гравитац. взаимодействий протонов при энергии процессов ~ 1 ГэВ в с. ц. м. эти параметры соотносятся как $1:10^{-2}:10^{-10}:10^{-38}$. Необходимость указания ср. энергии процесса связана с тем, что в феноменологич. теории слабого взаимодействия безразмерный параметр зависит от энергии. Кроме того, интенсивности разл. процессов очень по-разному зависят от энергии, а феноменологическая теория слабого взаимодействия при энергиях больших M_W в с. ц. м. перестаёт быть справедливой. Всё это приводит к тому, что относит. роль разл. взаимодействий, вообще говоря, меняется с ростом энергии взаимодействующих частиц и разделение взаимодействий на классы, основанное на сравнении интенсивностей процессов, надёжно осуществляется при не слишком высоких энергиях.

По совр. представлениям, при энергиях выше M_W (т. е. 80 ГэВ в с. ц. м.) слабое и эл.-магн. взаимодействия сравниваются по силе и выступают как проявление единого *электрослабого взаимодействия*. Выдвинуто также привлекательное предположение о возможном выравнивании констант всех трёх видов взаимодействий, включая сильное, при сверхвысоких энергиях, больших 10^{16} ГэВ (модель т. н. *Великого объединения*).

В зависимости от участия в тех или иных видах взаимодействий все изученные Э. ч., за исключением фотона, W - и Z -бозонов, разбиваются на две осн. группы: *адроны* и *лептоны*. Адроны характеризуются прежде всего тем, что они участвуют в сильном взаимодействии, наряду с эл.-магнитным и слабым, тогда как лептоны участвуют только в эл.-магнитном и слабом взаимодействиях. (Наличие общего для той и другой группы гравитац. взаимодействия подразумевается.) Массы адронов по порядку величины близки к массе протона (m_p), иногда превышая её в неск. раз; мин. массу среди адронов имеет π -мезон: $m_\pi \approx 1/7 m_p$. Массы лептонов, известных до 1975—76, были невелики ($\leq 0,1 m_p$) — отсюда их название. Однако более поздние данные свидетельствуют о существовании тяжёлых τ -лептонов с массой ок. двух масс протона.

Адроны — самая обширная группа из известных Э. ч. В неё входят все барионы и мезоны, а также т. н. резонансы (т. е. большая часть упомянутых 350 Э. ч.). Как уже указывалось, эти частицы имеют сложное строение и на самом деле не могут рассматриваться как элементарные. Лептоны представлены тремя заряженными (e , μ , τ) и тремя нейтральными частицами (ν_e , ν_μ , ν_τ). Фотон, W^\pm и Z^0 -бозоны образуют вместе важную группу калибровочных бозонов, осуществляющих перенос эл.-слабого взаимодействия. Элементарность частиц из этих двух последних групп пока не подвергается серьёзному сомнению.

Характеристики элементарных частиц

Каждая Э. ч., наряду со спецификой присущих ей взаимодействий, описывается набором дискретных значений определ. физ. величин или своими характеристиками. В ряде случаев эти дискретные значения выражаются через целые или дробные числа и нек-рый общий множитель — единицу измерения; об этих числах говорят как о *квантовых числах* Э. ч. и задают только их, опуская единицы измерения.