

Пионы — наиб. лёгкие в обширном классе адронов, что обуславливает их особую роль среди элементарных частиц. Облако виртуальных π -мезонов, окружающих адроны, определяет размеры адронов, составляющие в соответствии с неопределённостью соотношением величину $\hbar/m_{\pi}c \sim 10^{-13}$ см.

Распады пионов. Пионы участвуют во всех известных типах взаимодействий: сильном, электромагнитном, слабом и гравитационном. Поскольку π -мезоны имеют наименьшую массу среди адронов, их распад на более лёгкие частицы не может происходить за счёт сильного взаимодействия и связан с появлением др. взаимодействий. Способы распада пионов определяются их квантовыми числами. Распад π^0 происходит за счёт эл.-магн. взаимодействия и из-за сохранения зарядовой чётности в этом взаимодействии возможен лишь на чётное число фотонов (фотон имеет отрицат. зарядовую чётность). Сохранение электр. заряда требует, чтобы при распаде заряженного π^{\pm} -мезона его заряд компенсировался присутствием среди продуктов распада заряж. лептона (μ^{\pm} или e^{\pm}). В свою очередь сохранение лептонного числа требует появления μ^{\pm} или e^{\pm} в паре с соответствующим типом нейтрино (антинейтрино), так чтобы их суммарное лептонное число равнялось нулю (табл.). Обязат. присутствие среди продуктов распада π^{\pm} -мезонов слабо взаимодействующей частицы — нейтрино (антинейтрино) означает, что распад π^{\pm} обусловлен слабым взаимодействием. Это приводит к относительно большому (по сравнению с π^0) времени жизни заряж. пионов.

Процессы образования пионов. Пионы являются осн. продуктом сильного взаимодействия адронов при высоких энергиях. По этой причине пионы в значит. степени определяют состав космических лучей в пределах земной атмосферы. Будучи осн. продуктами ядерных взаимодействий частиц первичного космич. излучения (протонов и более тяжёлых ядер) с ядрами атомов воздуха, пионы входят в состав электронно-ядерных и широких атм. ливней. Распадаясь, π^{\pm} -мезоны создают проникающую компоненту космич. излучения — мюоны и нейтрино высоких энергий, а π^0 -мезоны — электронно-фотонную компоненту.

Искусств. путём пионы получают на ускорителях. Благодаря сравнительно большому времени жизни из релятивистских заряж. пионов можно сформировать пучки и отвести их на значит. расстояния от точки образования пионов. При взаимодействии ускоренных протонов с ядрами на совр. ускорителях заряж. частиц можно получить пучки пионов с энергией до неск. сотен ГэВ. Продукты распада нейтральных пионов используются для получения пучков высокоэнергичных γ -квантов, электронов и позитронов. Поток пионов, получаемые на мезонных фабриках — высокоинтенсивных ускорителях средних энергий (≤ 1 ГэВ), могут превышать в пучке 10^{10} пионов/с.

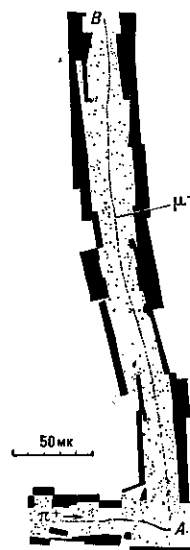
История открытия. Существование пионов было постулировано Х. Юкавой (H. Yukawa) в 1935 для объяснения короткодействующего характера и большой величины ядерных сил. Из соотношения неопределённостей для энергии и времени следовало, что если действующие между нуклонами в ядре силы обусловлены обменом квантами поля ядерных сил, то масса этих квантов (позднее названных π -мезонами) должна составлять примерно 300 электронных масс. Поиски заряж. π -мезонов увенчались успехом лишь в 1947, когда Дж. Латтесом (G. Lattes), Х. Мьюирхедом (H. Muirhead), Дж. Оккиалини (G. Occhialini) и С. Ф. Пауэллом (S. F. Powell) были найдены в ядерных фотоэмульсиях, облучённых космич. лучами на большой высоте над поверхностью Земли, треки частиц, свидетельствующие о распаде $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$ (рис. 1).

Существование нейтральных пионов следовало из обнаруженной на опыте зарядовой независимости ядерных сил (взаимодействие между одинаковыми нуклонами — двумя протонами или двумя нейтронами — может

осуществляться только путём обмена нейтральными ионами). Экспериментально π^0 -мезоны были обнаружены в 1950 по γ -квантам от их распада $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$; π^0 рождались в столкновениях фотонов и протонов с энергией ~ 300 МэВ с ядрами. Заряж. пионы в лаб. условиях были впервые получены в 1948 на ускорителе в Беркли (США). Обладая массой, пионы требуют для своего рождения затраты энергии, не меньшей их энергии покоя $m_{\pi}c^2$. Так, для рождения пиона при столкновении двух нуклонов, $N + N \rightarrow N + N + \pi$, необходимо, чтобы кинетич. энергия нуклона (в лаб. системе), налетающего на покоящийся нуклон, была выше пороговой энергии $\mathcal{E}_p = 292$ МэВ; для фоторождения пиона на нуклоне, $\gamma + N \rightarrow \pi + N$, $\mathcal{E}_p \approx 150$ МэВ.

Взаимодействие пионов. Количеств. изучение свойств пионов и их взаимодействий выполнены преим. на пучках частиц высоких энергий

Рис. 1. Фотография одного из первых зарегистрированных в ядерных фотоэмульсиях случаев распада $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$.



на ускорителях. Нейтральные пионы в силу малого времени жизни, как правило, распадаются до взаимодействия в веществе. Заряж. пионы с энергией ~ 10 МэВ и ниже при движении в веществе тратят

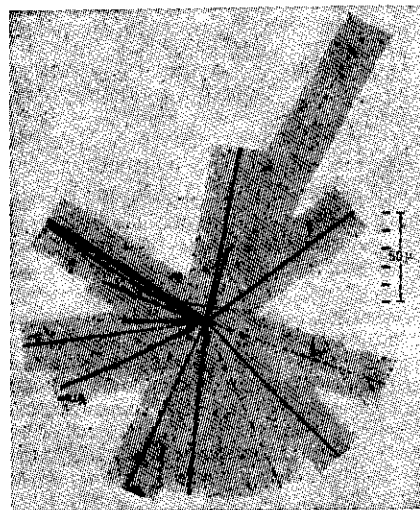
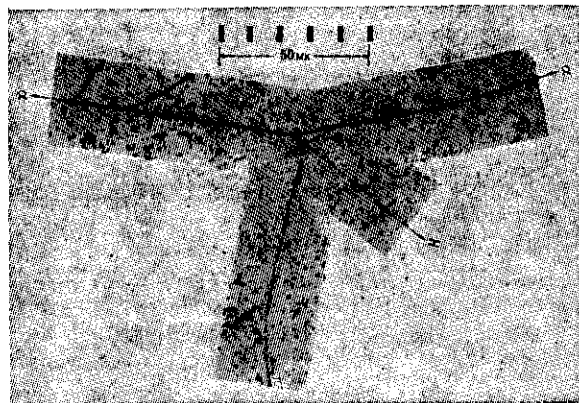


Рис. 2. Расщепление ядра одного из атомов фотоэмульсии: а — оставившимся π^+ -мезоном; б — заряженным пионом с энергией 3,8 ГэВ.