

свою энергию в основном на ионизацию атомов (за счёт эл.-магн. взаимодействия с ними) и обычно не успевают до своей остановки взаимодействовать с атомными ядрами. При этом остановившийся  $\pi^+$ -мезон распадается на положительно заряженный мюон и мюонное нейтрино.  $\pi^+$ -мезон после остановки притягивается положит. зарядом ближайшего ядра, образуя  $\pi$ -мезоатом (см. *Адронные атомы*) с размерами в  $m_\pi/m_e \approx 270$  раз меньшими, чем размеры обычного атома, а затем поглощается и расщепляет ядро с образованием т. н. звезды (рис. 2, а).  $\pi^+$ -мезоны с энергиями  $\geq 100$  МэВ сильно взаимодействуют с атомными ядрами, вызывая, как правило, их расщепление (рис. 2, б).

В области энергий выше порога мезообразования и до  $\sim 10^9$  эВ при взаимодействии пионов с протонами или нуклонами ядер наблюдается интенсивное образование квазисвязанных мезонных и барионных систем, т. н. резонансов, с временем жизни  $10^{-22} - 10^{-24}$  с. Эти состояния могут проявляться, напр., в виде максимумов в энергетич. зависимости полных или дифференц. сечений реакций рассеяния пионов (рис. 3). Неупругие взаимодействия пионов с энергией  $\geq 10^{10}$  эВ обусловлены преим. процессами множеств. рождения частиц (см. *Множественные процессы*). Процессы рассеяния адронов (в т. ч.

Использование пионов. Реакции взаимодействия и распада пионов служат ценным источником информации не только о свойствах пионов, но и об общих закономерностях взаимодействий элементарных частиц. В качестве примеров можно привести следующие. Измерения отношения вероятностей распадов  $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$  и  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$  были использованы для проверки предположения М. Гелл-Мана (M. Gell-Mann) и Р. Фейнмана (R. Feynman), а также Р. Маршака (R. Marshak) и Э. Сударшана (E. Sudershan) о векторно-аксимальном ( $V - A$ ) варианте гамльтониана слабого взаимодействия. Открытие бета-распада пиона  $\pi^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$  (Ю. Д. Прокошкин и др.) явилось эксперим. подтверждением сформулированной С. С. Герштейном и Я. Б. Зельдовичем гипотезы о сохранении векторного тока в слабом взаимодействии (см. *Векторного тока сохранение*). Теоретич. объяснение эксперим. значения вероятности распада  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$  в кварковой теории оказалось возможным лишь при использовании предположения о том, что кварки обладают квантовым числом *цвет*. Исследование спектра эфф. масс и распределений по углам вылета системы из трёх  $\pi$ -мезонов, образованных в результате дифракционного рассеяния  $\pi^+$ -мезона на ядрах (т. е. рассеяния без изменения состояния ядра-мишени), привело к обнаружению новых мезонов — резонансных состояний с массами 1240(30) МэВ и 1770(30) МэВ и квантовыми числами, совпадающими с квантовыми числами пионов. Эти состояния, названные  $\rho'$ - и  $\pi'$ -мезонами, интерпретируются как радиальные возбуждения системы из двух кварков, входящих в пион (А. А. Тяпкин и др.).

Интенсивные пучки  $\pi$ -мезонов средних энергий, получаемые на мезонных фабриках, начинают применять в прикладных целях, в частности в лучевой терапии злокачеств. опухолей. Наиб. эффект даёт использование  $\pi^+$ -мезонов, т. к. дополнит. энерговыделение, связанное с расщеплением ядер при поглощении ими остановившихся  $\pi^+$ , может быть хорошо локализовано в поражённом органе. Медленные заряж. пионы, и особенно образующиеся при их распаде мюоны, используются для изучения структуры вещества (см. *Мезонная химия*).

Лит.: Росси В., Частицы больших энергий, пер. с англ., М., 1955; Газизоров И. С., Физика элементарных частиц, пер. с англ., М., 1969; Перкинс Д., Введение в физику высоких энергий, пер. с англ., М., 1975; Окунь Л. В., Лептоны и кварки, 2 изд., М., 1990. А. И. Лебедев, Г. В. Мицельмахер.

pin-ДИОД — полупроводниковый диод, в к-ром центральная (базовая) область легирована настолько слабо, что уже при небольшом обратном смещении она полностью перекрывается областью пространственного заряда (ОПЗ)  $p - n$ -перехода.

пионов) высоких энергий с большой передачей импульса (*глубоко неупругие процессы*) описываются на основе квантовой хромодинамики. Исследование процессов глубоко неупругого рассеяния пионов позволяет определить т. н. структурную функцию  $F_2(x)$  и  $F_L(x)$ , характеризующую распределение по импульсам кварков антикварков (партонов), входящих в состав рассеивающегося пиона (рис. 4).

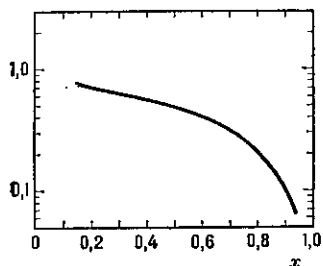


Рис. 4. Структурная функция заряженных пионов, характеризующая распределение входящих в пион кварков (партонов) в зависимости от доли  $x$  полного импульса пиона.

Теоретич. описание процессов сильного (и эл.-магн.) взаимодействия пионов промежуточных и низких энергий носит феноменологич. характер. Основой теоретич. описания процессов взаимодействия и распада адронов низких энергий с участием пионов является т. н. киральная симметрия, справедливая в приближении равенства нулю массы псевдоскалярных мезонов (пионов).

Взаимодействие пионов с  $\gamma$ -квантами определяется их эл.-магн. свойствами — электрич. зарядом, эл.-магн. радиусом, формфактором, поляризуемостью. Эл.-магн. характеристики пионов были определены в спец. опытах, в к-рых изучались редкие процессы рассеяния пионов высоких энергий на атомных электронах и на кулоновском поле атомных ядер. Найденное значение эл.-магн. радиуса заряженных пионов составляет  $0,66(0,01) \cdot 10^{-13}$  см, поляризуемости  $\alpha_\pi = 6,9(1,4) \cdot 10^{-43}$  см<sup>3</sup>. Взаимодействие фотонов с адронами при энергиях выше  $\sim 150$  МэВ определяется в основном процессами фоторождения пионов.

Обычно этот прибор является  $pvn$ - либо  $pni$ -диодом, где  $v$ ,  $n$  означают слаболегиров. материал  $n$ - либо  $p$ -типа проводимости. Материал с собств. проводимостью ( $i$ -материал; от англ. *intrinsic* — собственный) может быть получен только путём точной взаимной компенсации легирующих примесей; технологически такая компенсация весьма сложна и применяется редко.

Используются pin-диоды обычно в качестве переключателей, аттенюаторов, ограничителей и модуляторов СВЧ-колебаний, а также в качестве быстродействующих фотоприёмников и мощных выпрямит. диодов.

Общим свойством pin-диода, к-рое используется при всех видах управления СВЧ-сигналом, является сильное изменение его проводимости под воздействием внеш. управляющего источника напряжения (тока). Такой диод включается в СВЧ-тракт, и путём изменения его проводимости производится изменение прохождения, отражения либо поглощения СВЧ-мощности. Увеличение проводимости осуществляется *инжекцией* неосновных носителей  $p - i$ - и  $n - i$ -переходами при смещении их в прямом направлении, а уменьшение — выведением носителей во внеш. цепь при обратном смещении и комбинацией.

При резком приложении прямого смещения  $p - n$ -переход (рис. 1, 2) инжектирует дырки в базу, их поле