



МНОЖЕСТВЕННОЕ РОЖДЕНИЕ ЧАСТИЦ

Авторы: О. В. Канчели

МНОЖЕСТВЕННОЕ РОЖДЕНИЕ ЧАСТИЦ, образование большого числа вторичных адронов при столкновении частиц очень высокой энергии. Так, напр., в столкновении двух протонов с энергией 100 ГэВ каждый рождается ок. 20 вторичных частиц (в осн. π -мезонов). При встречном соударении двух ядер золота с энергиями 100 ГэВ/нуклон может рождаться до 3000 вторичных частиц. М. р. ч. впервые было обнаружено в процессах столкновения космич. частиц высокой энергии в кон. 1940-х гг. Свойства М. р. ч. детально изучены в многочисл. экспериментах на ускорителях; предложены теории, объясняющие это явление. М. р. ч. может происходить и при столкновениях лептонов с лептонами (в процессах электрон + позитрон \rightarrow адроны) и адронами. М. р. ч. может происходить в любом столкновении, в котором кваркам и глюонам адронов передаётся достаточно большая энергия, которая затем трансформируется во вторичные частицы.

Частицы, рождённые при столкновениях, имеют в ср. малые поперечные импульсы и летят в двух узких конусах вокруг направлений, задаваемых импульсами сталкивающихся частиц. Состав вторичных частиц слабо зависит от их энергии и типа реакции:

π -мезоны составляют ок. 80–90%, К-мезоны и др. странные частицы – ок. 10–20%, очарованные частицы – ок. 1%.

π - и

К-мезоны в значит. степени являются продуктами распада короткоживущих резонансов (

ρ , ω , K^* и др.). Ср. множественность вторичных частиц (число частиц, рождённых в одном акте) очень мала по сравнению с максимально возможной множественностью

E/mc^2 , определяемой полной энергией

E сталкивающихся частиц. Распределение множественности достаточно широкое, с дисперсией порядка среднего значения.

В конечном состоянии М. р. ч. могут возникать редкие конфигурации, содержащие разл. адронные струи с большим поперечным импульсом, а также состояния с сильно повышенной множественностью. Число струйных конфигураций увеличивается с ростом полной энергии. Струи чётко проявляются в реакции электрон

+ позитрон

→ адроны, где конечное состояние при не очень больших энергиях образовано двумя кварковыми струями, а с ростом энергии появляются и глюонные струи. Наиболее сложная картина возникает при столкновении тяжёлых ядер, когда может родиться до 10^3 – 10^4 частиц. В этом случае из-за большой плотности частиц становятся существенными разл. коллективные явления в конечном состоянии и возможны переходы системы в новые фазы (напр., в кварк-глюонную плазму).

Теоретич. представления о сильных взаимодействиях при высоких энергиях и о механизмах М. р. ч. развивались в три этапа. Первый этап начался с того, что В. [Гейзенберг](#) предсказал это явление ещё до его эксперим. открытия, исходя из аналогии сильного нелинейного мезонного взаимодействия с гидродинамикой. Этот подход позволил Э. [Ферми](#), Л. Д. [Ландау](#) и др. объяснить мн. качественные свойства М. р. ч. Предполагается, что при столкновении образуется некий нагретый сгусток, который затем расширяется и распадается на вторичные частицы.

На втором этапе (1957–75) было установлено, что осн. характеристики М. р. ч. почти не зависят от тонких деталей сильных взаимодействий, а определяются общими свойствами, такими как унитарность, причинность, ренормируемость. Было установлено, что в процессе столкновения адронов (в среднем) нагретый сгусток не образуется, а происходит лишь обмен небольшим импульсом. На этом этапе был развит реджевский подход к адронной физике высоких энергий (см. [Редже полюсов теория](#)), который остаётся одним из осн. методов описания М. р. ч. В его основе лежит модель, согласно которой амплитуды взаимодействия при высоких энергиях можно описывать при помощи обмена реджеонами – виртуальными составными

частицами с нецелым угловым моментом. В результате такого обмена сталкивающиеся частицы могут превратиться в струи адронов с ограниченными поперечными импульсами или испытать лишь упругое дифракционное рассеяние или же может произойти рассеяние с обменом квантовыми числами между сталкивающимися частицами. Осн. вклад в сечение М. р. ч. вносит спец. реджеон – померон с вакуумными квантовыми числами. При взаимодействии реджеонов амплитуде любого процесса столкновения сопоставляется совокупность реджеонных диаграмм; каждая из них соответствует определённой конфигурации мягких струй адронов в конечном состоянии. Это даёт возможность вычислить вероятности разл. процессов множеств. рождения частиц.

Третий этап (с 1975 до наших дней) связан с возникновением квантовой хромодинамики (КХД) – теории сильных взаимодействий. Важным шагом было построение (Л. Н. Липатов с сотрудниками, 1977) теории пертурбативного померона как связанной бесцветной системы, состоящей в осн. из глюонов. Это позволило объяснить значения ряда входящих в реджевскую схему параметров, а также описать процессы жёсткого М. р. ч. в глубоко неупругих лептон-адронных реакциях.

Модель партонов (1965–75) дала ясную пространственно-временную картину взаимодействий, приводящих к М. р. ч. В её основе представление о партонах как об эффективных замороженных внутр. степенях свободы быстрой частицы, которые в КХД можно отождествлять с глюонами и кварками. Квантовое состояние быстрой частицы можно изобразить как суперпозицию всевозможных многопартонных вкладов. В доминирующих конфигурациях партоны выстроены по логарифмам энергий, а поперечные импульсы партонов невелики, так что ср. число партонов растёт с увеличением энергии примерно логарифмически. При столкновении адрона, состоящего из партонов, с мишенью или с др. адроном взаимодействуют гл. обр. малоэнергичные партоны. В результате этого когерентность системы партонов разрушается, партоны разделяются в продольном направлении и каждый из них постепенно переходит в отд. адрон или комбинацию адронов. Это разделение происходит за времена, большие по сравнению со временем столкновения $\tau_0 \approx 10^{-23}$ с. Партон с эффективной массой m и энергией

ε переходит в частицы примерно за времена

$\tau(\varepsilon) \approx \tau_0 \varepsilon / mc^2$, так что полное время протекания процесса М. р. ч. велико:

$t \approx \tau_0 E / mc^2$. В КХД ср. плотность малоэнергичных партонов медленно увеличивается с ростом энергии быстрого адрона, что объясняет рост сечений. При повышении энергии может достигаться насыщение плотности малоэнергичных партонов, и дальше растёт лишь плотность партонов с большими поперечными импульсами.

М. р. ч. – сложное коллективное явление; его свойства, изученные в многочисл. экспериментах, в осн. находятся в согласии с предсказаниями теории сильного взаимодействия.

Литература

Лит.: Мурзин В. С., Сарычева Л. И. Множественные процессы при высоких энергиях. М., 1974; Коллинз П. Введение в реджевскую теорию и физику высоких энергий. М., 1980; Анисович В. В. и др. Аддитивная кварковая модель и процессы множественного рождения адронов // Успехи физических наук. 1984. Т. 144. № 12; Леонидов А. В. Плотная глюонная материя в соударениях ядер // Там же. 2005. Т. 175. № 4; Дремин И. М., Кайдалов А. Б. Квантовая хромодинамика и феноменология сильных взаимодействий // Там же. 2006. Т. 176. № 3.