

Вычисления, включающие полную релятивистскую динамику кварков, не обладают пока достаточной степенью завершённости, и вопрос о судьбе фазового перехода в этом случае окончательно не решён. В рамках несколько упрощённой постановки задачи с помощью числ. расчёта обнаружено, что в окрестности темп-ры T_c резко меняется зависимость плотности энергии от темп-ры (рис. 2). При $T \ll T_c$ численные данные хорошо



Рис. 2. Зависимость плотности энергии от темп-ры (численный расчёт при нулевой плотности барионного заряда).

аппроксимируются плотностью энергии идеального адронного газа с известным из опыта и используемым в вычислениях спектром масс реальных адронов, а при $T \gg T_c$ — ф-лой Стефана — Больцмана $\epsilon(T) = \sigma T^4$ с коэф. σ , как у идеального газа безмассовых кварков и глюонов.

Теоретич. свидетельства в пользу существования К.-г. п. стимулируют эксперим. исследования, направленные на её обнаружение. Наиб. заманчиво предложение создать необходимые условия для её образования в лаборатории путём соударения тяжёлых ядер высокой энергии. Оценки, основанные на экстраполяции существующих эксперим. данных, показывают, что образующаяся в области столкновения ядер сильно взаимодействующая система будет существовать достаточно долго для достижения как термодинамич., так и хим. равновесия, а её энергия и сжатие могут быть достаточными для достижения фазы К.-г. п. при использовании уже функционирующих ускорителей, переоборудованных для ускорения тяжёлых ионов (см. *Релятивистская ядерная физика*).

Не решённой до конца проблемой является идентификация формирования К.-г. п. Сложность её связана гл. обр. с тем, что К.-г. п. образуется на большом фоне, обусловленном обычными процессами сильного взаимодействия, и существует лишь нек-рую часть полного времени эволюции адронной системы. В качестве наиб. важных сигналов, дающих информацию о формировании К.-г. п., предполагается использовать процессы образования лептонных пар, эмиссии прямых фотонов и события аномально большого числа рождений странных частиц.

Эксперим. обнаружение К.-г. п. и исследование её характеристик могло бы внести ясность в наши осн. представления о поведении адронной материи как в обычных, так и в экстремальных состояниях и явиться подтверждением КХД.

Лит.: 1) Шелест В. П., Зиновьев Г. М., Миранский В. А., Модели сильно взаимодействующих элементарных частиц, т. 2, М., 1976; 2) Фейнберг Е. Л., Термодинамические фейрболы, «УФН», 1983, т. 139, с. 3; 3) Горенштейн М. И. и др., Точно решаемая модель фазового перехода между адронной и кварк-глюонной материей, «ТМФ», 1982, т. 52, № 3, с. 346; 4) Gorenstein M. I., Lipskikh S. J., Zinovjev G. M., Model of deconfinement phase transition in baryonic quark-gluon bag system, «Z. Phys. Ser. C», 1984, v. 22, p. 189; 5) Shuryak E. V., Quantum chromodynamics and the theory of superdense matter, «Phys. Repts», 1980, v. 61, p. 71; 6) Satz H., Critical behaviour in finite temperature QCD, «Phys. Repts», 1982, v. 88, p. 349.

В. П. Шелест.

КВАРК-ГЛЮОННЫЙ ПОДПРОЦЕСС в квантовой хромодинамике — процесс взаимодействия кварков и глюонов на малых расстояниях, определяющий сечение жёстких процессов с участием адронов. Напр., в процессе рождения в адрон-адронном соударении пары мюонов с большой относит. энергией К.-г. п. служит аннигиляция кварка адрона A_1 и т. н. морского антикварка адрона A_2 в пару мюонов через виртуальный γ -квант (γ^*): $q + \bar{q} \rightarrow \gamma^* \rightarrow \mu^+ + \mu^-$ (см. *Партонь*, рис. 2, а). Из-за наличия инфракрасных

расходимостей К.-г. п. должны быть регуляризованы в области малых импульсов (см. *Регуляризация расходимостей*), при этом зависимость от размерного параметра регуляризации выделяется в виде множителя и включается в структурные функции участвующих в процессе адронов.

А. В. Ефремов.

КВАРКИ — микроскопич. частицы со спином $1/2$; элементарные составляющие всех адронов: барионов и мезонов. В пределах точности совр. эксперимента К. — точечные, бесструктурные образования (их размеры $< 10^{-16}$ см).

К нач. 80-х гг. было известно 5 типов К.: u, d, s, c, b . Однако имеются серьёзные теоретич. основания предполагать (см. *Аномалии в квантовой теории поля*) существование по крайней мере ещё одного, шестого К. — t -К. Типы К. различаются значениями присущих им квантовых чисел и массами. Каждый тип кварка q_i представлен тремя разностиностями q_i^α , у к-рых квантовые числа и масса одинаковы, но есть различие в особой характеристике (отсутствующей у адронов), названной *цветом* и принимающей три разл. значения, $\alpha = 1, 2, 3$. В первом приближении каждый барион B состоит из трёх К., вообще говоря, разных типов, каждый мезон (M) — из кварка и антикварка. Символически: $B = (qqq)$, $M = (q\bar{q})$, причём в обоих случаях реализуются суммы определ. комбинаций цветов (см. ниже).

Гипотеза о том, что адроны построены из специфич. субъединиц — К., была впервые выдвинута М. Гелл-Маном (M. Gell-Mann) и независимо от него Дж. Цвейгом (G. Zweig) в 1964 для объяснения существования групп частиц (октетов и декуплетов) с близкими свойствами (см. *Элементарные частицы*). С тех пор она получила многочисл. косвенные эксперим. подтверждения (см., напр., *Партонь*). Назв. «К.» для элементарных составляющих адронов было введено М. Гелл-Маном. Оно не имеет прямого смыслового значения и было заимствовано из романа Дж. Джойса «Поминки по Финнегану», герою к-рого в снах часто слышались слова о таинственных трёх кварках. (Заметим, что в 1964 для построения всех известных тогда адронов было достаточно трёх типов элементарных слагающих.)

Всем К. обычно приписывают *барионное число* $B = 1/3$, с тем чтобы барионы имели $B = 1$. Для мезонов при этом автоматически получается $B = 0$.

Тип К. характеризуется прежде всего значениями след. внутренних квантовых чисел: *изотопического спина* (I) и его проекции I_3 , *странности* (S), *очарования* (C) и *красоты* (b), определяющих т. н. аромат К. Не исключено, что в аромат могут входить и др. квантовые числа, напр. истинность (t), связанная с t -К. Электрич. заряд К. выражается через упомянутые внутренние квантовые числа и даётся (в единицах элементарного заряда e) обобщённой ф-лой Гелл-Мана — Нишиджимы:

$$Q = I_3 + \frac{1}{2} (B + S + C - b + t?). \quad (1)$$

Удвоенное значение второго слагаемого называют *гиперзарядом*. Значения квантовых чисел К. и результирующий электрич. заряд, а также их символы и названия приведены в таблице.

В соответствии со сказанным выше для каждого типа К. аромат (и электрич. заряд) одинаковы для всех цветов, т. е. для всех значений α . Характерной особенностью К. является дробный электрич. заряд, кратный $1/3 e$, не встречающийся у др. изученных элементарных частиц. Анализ имеющихся эксперим. данных согласуется с этим свойством К. Обсуждается, однако, и др. точка зрения, согласно к-рой электрич. заряды, а также барионные числа К. могут быть целочисленными. В этом случае Q и B должны были бы зависеть от цвета и лишь усреднённые по цветам значения Q и B для каждого К. совпадали бы со значениями, приведён-