

близких к скорости света c , теория ядерных процессов становится связанной с решением фундам. проблем теории квантовых полей. Для описания ядерных взаимодействий при скоростях ядерных частиц, близких к c , понятие нуклона становится неадекватным, а протон-нейтронная модель — недостаточной. В качестве составляющих части ядерной материи (квантов) начинают выступать *кварки* и *глюоны*, динамика к-рых определяется ур-ниями квантовой хромодинамики (см. *Кварковые модели*).

Инвариантные переменные. Характерное явление Р. я. ф. — множественное рождение частиц (рис. 1).

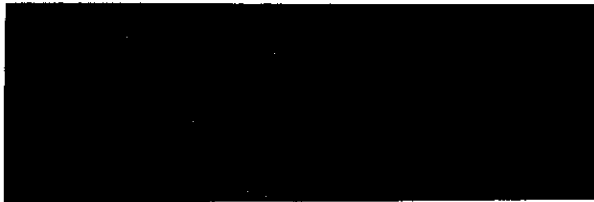


Рис. 1. Множественное рождение адронов при столкновении релятивистского ядра углерода с ядром Та (пропановая пузырьковая камера).

Пусть I и II — сталкивающиеся ядра (A_1, A_2 — массовые числа), а 1, 2, 3, ... — продукты реакции (A_1, A_2, A_3):

$$I + II \rightarrow 1 + 2 + 3 + \dots$$

Эксперим. методики позволяют определить импульсы всех частиц p_i, p_k , их массы m_i, m_k , энергии $\mathcal{E}_i, \mathcal{E}_k$ (здесь индексы i, k обозначают и сталкивающиеся ядра и продукты реакции). Эти величины связаны соотношением

$$\mathcal{E}_k^2 - p^2 = p_k^2 = m_k^2$$

(в системе $h = c = 1$), где p_k — четырехмерный вектор импульса (см. *Скорость четырехмерная*). Они служат основой для выбора кинематич. переменных, наиб. адекватно описывающих динамич. закономерности процессов.

Физически значимой характеристикой пучков ядер является энергия, приходящаяся на 1 нуклон. Точно также энергию и импульс участвующих в реакции объектов надо делить на число составляющих их элементов (к о н с т и т у е н т о в). Отношения импульсов адронов к их массам выступают в качестве характеристики ср. импульса, приходящегося на 1 конститuent. Вследствие этого процессы в Р. я. ф. описывают в терминах инвариантных положит. величин (безразмерных):

$$b_{ik} = - \left(\frac{p_i}{m_i} - \frac{p_k}{m_k} \right)^2 = -(u_i - u_k)^2, \quad (1)$$

где u_i, u_k — 4-векторы скоростей. Т. к. $p_i^2/m_i^2 = p_k^2/m_k^2 = 1$, то

$$b_{ik} = 2(u_i u_k - 1) = 2[(\mathcal{E}_i \mathcal{E}_k - p_i p_k) / m_i m_k - 1].$$

В системе покоя одной из частиц, напр. k , $b_{ik} = 2T_i/m_i$, где T_i — кинетич. энергия частицы i в системе покоя частицы k . Если частица k — ядро, то

$$b_{ik} = 2T_i/A_i m_0,$$

где $m_0 = 931$ МэВ (~ 1 ГэВ) — атомная единица массы (АЕМ). Для взаимодействия ядер i и k величина b_{ik} является кинетич. энергией одного из ядер, приходящейся на 1 нуклон и выраженной в АЕМ (практически — в ГэВ).

Распределения вероятностей W (сечения) процессов зависят только от b_{ik} и не зависят от энергии, передачи импульса и т. п. (при фиксированных b_{ik}). Это позво-

ляет воспользоваться методами подобия теории. Помимо соображений размерности и инвариантности в теории подобия используется гипотеза о том, что решения (в нашем случае — сечения) обладают асимптотич. поведением. Если разбить совокупность экспериментально определяемых величин на 2 группы $\{\dots b_{ik}\dots\}$ и $\{\dots b_{ik}\dots\}$, то принцип самоподобия (автомодельности) приводит при достаточно больших α и β к соотношению

$$W(b_{\alpha k}, b_{\beta k}, b_{\alpha\beta}, \dots) = b_{\alpha\beta}^{-n} W^1(b_{\alpha k}, x_k). \quad (2)$$

Здесь индексы α, β могут относиться как к частицам, так и к образующимся комплексам частиц (кластерам), $x_k = b_{\beta k}/b_{\alpha\beta}$. Из (2) видно, что W^1 не зависит от $b_{\alpha\beta}$ (только от x_k) и обладает по этой переменной автомодельностью. Число n определяется из теории и измеряется в эксперименте. Из двух параметров подобия $b_{\alpha k}$ и x_k только x_k является масштабно инвариантным (см. *Масштабная инвариантность*).

Важным результатом обобщения эксперим. наблюдений является ослабление взаимодействия объектов α и β (ядер, адронов, кластеров в пространстве 4-скоростей) при увеличении их относит. скорости (при больших $b_{\alpha\beta}$). Это свойство может быть записано в виде

$$W^1 - W^{\alpha} W^{\beta} \rightarrow 0, \quad (3)$$

где W^{α}, W^{β} — вероятности процессов для подсистем α и β . Объединение свойств (2) и (3) даёт

$$W = b_{\alpha\beta}^{-n} W^{\alpha} W^{\beta}. \quad (4)$$

Распределения частиц в пространстве 4-скоростей распадаются на кластеры — группы точек u_i , расстояния между к-рыми $b_{ik} = -(u_i - u_k)^2$ значительно меньше ср. расстояния между всеми точками ансамбля. Изучение кластеризации в множественном образовании частиц позволило получить релятивистски инвариантное описание струй — резко направленных выбросов адронной материи при столкновении частиц и ядер. Согласно существующим представлениям струи являются продуктами превращения в адроны кварка или глюона, выбитого при столкновении исходных частиц. Изучение образования струй в столкновениях ядро — ядро важно для выяснения возможностей квантовой хромодинамики в описании микроструктуры атомных ядер. Исследование струй показало, что они в осн. состоят из *пи-мезонов*. В системе покоя кластера α ($u_{\alpha} = 0$) кинетич. энергия пиона составляет 150 МэВ.

Классификация ядерных взаимодействий. Величины b_{ik} определяют области применимости моделей, описывающих механизмы взаимодействия частиц. Зависимость сечений взаимодействия от b_{ik} различна в разных интервалах их значений. Анализ множественных процессов при столкновениях релятивистских ядер указывает на существование неск. характерных диапазонов значений b_{ik} . При $b_{ik} \sim 10^{-2}$ можно рассматривать внутриядерное движение нуклонов, определяемое ср. кинетич. энергией движения нуклонов в ядрах. При $10^{-2} < b_{ik} < 1$ столкновения ядер можно рассматривать как столкновения квазисвободных нуклонов с распределением по импульсам внутр. движения, задаваемым обычной ядерной динамикой. При $b_{ik} \sim 1$ следует рассматривать движение связанных кварков. При $b_{ik} \gg 1$ можно говорить о столкновениях квазисвободных кварков. Значение b_{ik} , начиная с к-рого реализуются режимы, обусловленные преобладанием кварковых степеней свободы, определяется условием

$$b_{ik} \gtrsim 5 - 8. \quad (5)$$

Это соответствует относит. скоростям частиц $v > 0,95 c$. Применение критерия (5) к столкновению ядер I и II даёт величину кинетич. энергии, необходимой