

коритель со встречными пучками протонов и антипротонов в ЦЕРНе) зарегистрированы события с М. вторичных заряд. частиц ( $n_{ch}$ ) от 2 до 80, тогда как средняя  $M. \langle n_{ch} \rangle = 27(2)$  много меньше максимально возможного числа вторичных частиц, разрешенного законом сохранения энергии. Средняя  $M. \langle n_{ch}(s) \rangle$  в адронных взаимодействиях медленно растёт с увеличением энергии и описывается зависимостью:

$$\langle n_{ch}(s) \rangle = a_1 + b_1 \ln s + c_1 (\ln s)^2, \quad (1)$$

где  $a_1 = 0,88(10)$ ,  $b_1 = 0,44(05)$  и  $c_1 = 0,118(6)$  для  $\sqrt{s} \geq 5$  ГэВ. Так, в интервале энергий в с. п. и. от 5 ГэВ до 540 ГэВ  $\langle n_{ch} \rangle$  меняется от 5 до 27 (рис. 1).

В процессах аннигиляции электронов и позитронов в адроны,  $e^+e^- \rightarrow hX$  (где  $h$  — наблюдаемый адрон,  $X$  — совокупность остальных частиц), обнаружен более быстрый рост

$$\langle n_{ch}(s) \rangle = n_0 + a \exp[b\sqrt{\ln(s/\Lambda^2)}], \quad (2)$$

где  $\Lambda = 0,3$  ГэВ,  $n_0 = 2,0(2)$ ,  $b = 1,9(2)$ ,  $a = 0,027(10)$  для интервала  $\sqrt{s}$  от 2 до 40 ГэВ (рис. 2). В то же время зависимость  $\langle n_{ch} \rangle$  от  $s$  примерно одинакова во всех типах процессов, если учесть, что в адронных соударениях б. ч. энергии тратится на образование т. н. лидирующих частиц (уносящих в ср. ок. 0,5 нач. энергии). Вероятность рождения  $n_{ch}$  частиц, к-рая является одной из существ. характеристик множественных процессов, удовлетворительно описывается выражением:

$$P(n_{ch}, s) \approx \psi(n_{ch} / \langle n_{ch}(s) \rangle) / \langle n_{ch}(s) \rangle, \quad \text{где}$$

$$\psi \approx \pi(n_{ch} / \langle n_{ch}(s) \rangle) \exp(-1/4 \pi^2 n_{ch}^2 / \langle n_{ch}(s) \rangle^2),$$

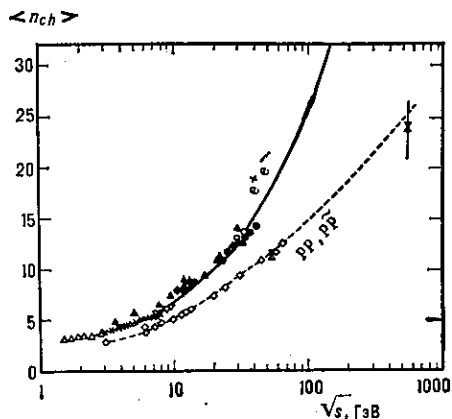


Рис. 2. Зависимость средней множественности заряженных частиц  $\langle n_{ch} \rangle$  от полной энергии в системе центра инерции  $\sqrt{s}$  для взаимодействий pp [пунктирная линия — формула (1)] и для  $e^+e^-$  [сплошная линия — формула (2)].

для  $\sqrt{s} \geq 10$  ГэВ и разл. типов первичных частиц и явно не зависит от энергии — т. н. скейлинг по множественности, или KNO-скейлинг [по имени Кобы (Z. Koba), Нильсена (H. B. Nielsen) и Олесена (P. Olesen)].

Лит.: Гришин В. Г., Инклюзивные процессы в адронных взаимодействиях при высоких энергиях, М., 1982; Фейнберг В. Л., Термодинамические фейрболы, «УФН», 1983, т. 139, с. 3; Мурзин В. С., Сарычева Л. И., Взаимодействие адронов высоких энергий, М., 1983. В. Г. Гришин.

**МНОЖЕСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ** — рождение большого числа вторичных адронов в одном акте взаимодействия частиц при высокой энергии. М. п. особенно характерны для столкновений адронов, и при энергиях выше неск. ГэВ они доминируют над процессами одиночного рождения частиц. М. п. наблюдаются и в соударениях др. частиц: в процессах аннигиляции электронов и позитронов в адроны и в *глубоко неупругих процессах* взаимодействия лептонов с нуклонами. Впервые М. п. наблюдались в *космических лучах*; детальное их исследование началось после создания ускорителей заряд. частиц высоких энергий. Наиб. полно они изучены в т. н. мягких адрон-адронных взаимодействиях, в к-рых характерные поперечные к оси соударений импульсы вторичных частиц не превышают 1 ГэВ [1, 2]. Исследование М. п. существенно для выяснения структуры адронов и построения теории сильного взаимодействия. Особенно важно установление осн. закономерностей переходов *кварков* и *глюонов* в адроны, к-рые определяются неизвестным пока механизмом удержания (конфайнмента) кварков в *квантовой хромодинамике* (КХД) (см. *Удержание цвета*).

Из-за большого числа вторичных частиц (большой *множественности*) осн. метод изучения М. п. — инклюзивный (см. *Инклюзивный процесс*) [3]. Исследуются характеристики процессов:  $ab \rightarrow cX$ ,  $ab \rightarrow c_1c_2X$  в зависимости от энергии и типа первичных ( $a, b$ ) и вторичных ( $c_1, c_2$ ) частиц ( $X$  — совокупность остальных, не регистрируемых частиц). По этим процессам получены данные вплоть до полной энергии  $\sqrt{s} = 540$  ГэВ в системе центра инерции (с. п. и.).

**Состав и множественность вторичных адронов.** В мягких адронных соударениях среди вторичных долгоживущих частиц ( $\tau \geq 10^{-13}$  с), к-рые регистрируются эксперим. установками, доминируют пионы. Их доля несколько уменьшается от 0,9 до  $\sim 0,8$  при увеличении энергии  $\sqrt{s}$  от 60 до 540 ГэВ. В этом же интервале энергий доля К-мезонов растёт от 0,06 до 0,12, а доля барьонов и антибарьонов — от 0,04 до 0,09. Вместе с тем эти долгоживущие адроны часто ( $\geq 80\%$ ) являются продуктами распадов короткоживущих ( $\tau \lesssim 10^{-22}$  с) *резонансов*. Выделение этих состояний крайне сложно при большой множественности. Состав их в первом приближении соответствует рождению адронов *изотопическими мультиплетами* (за исключением странных и очарованных частиц). С увеличением поперечных импульсов вторичных частиц до 5–10 ГэВ и в  $e^+e^-$ -аннигиляции доля пионов уменьшается до 0,55, а доля К-мезонов и пар нуклон — антинуклон увеличивается соответственно до 0,27 и 0,18. Ср. множественность пионов  $\langle n(\pi) \rangle$  медленно растёт с увеличением энергии ( $\sim \ln^2 s$ ), в то время как  $\langle n(K) \rangle$  и  $\langle n(\bar{B}) \rangle$  растут значительно быстрее, что связано с открытием новых каналов их образования ( $\bar{B}$  — антибарьон).

**Распределение адронов по поперечному импульсу.** Одной из главных закономерностей М. п. является относительно небольшая величина поперечных импульсов ( $p_\perp$ ) вторичных частиц. Ср. поперечный импульс  $\langle p_\perp \rangle$  вторичных адронов значительно меньше их полного импульса ( $\langle p_\perp \rangle \ll \sqrt{s} / \langle n \rangle$ ) и очень медленно растёт с энергией (используется система единиц, в к-рой скорость света  $c = 1$ ); напр., он увеличивается от 0,360(10) ГэВ при  $\sqrt{s} \approx 20$  ГэВ до 0,420(30) ГэВ при