

$p\bar{p}$ -СОУДАРЕНИЯ И e^+e^- -АННИГИЛЯЦИЯ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

И.Л.Розенталь, Ю.А.Тарасов

Производится сравнение экспериментальных данных при максимально достигнутых энергиях сталкивающихся $p\bar{p}$ и e^+e^- -пучков с гидродинамической теорией множественных процессов. Демонстрируется согласие между теоретическими предсказаниями и экспериментальными данными, полученными на коллайдере.

В рамках гидродинамической теории ¹ множественные процессы разбиваются на три стадии: 1) диссоциация первичных адронов на конститuentы, 2) взаимодействие между конститuentами, 3) превращение конститuentов во вторичные адроны. Моделирование этих стадий является основной задачей теории множественных процессов.

Различные характеристики множественных процессов обусловлены в большей или меньшей степени различными стадиями. В рамках гидродинамической теории средняя множественность $\langle N_{ch} \rangle$ заряженных частиц формируется, в основном, на первой стадии; распределение по быстрой y (или псевдобыстрой η) обусловлено второй и третьей стадиями; рост среднего поперечного импульса $\langle p_{\perp} \rangle$ с энергией E_L первичной частицы определяет почти целиком второй стадией, т. е. стадией гидродинамического разлета. Поэтому, зависимость $\langle p_{\perp} \rangle (E_L)$ является пробным камнем гидродинамической концентрации, и увеличение $\langle p_{\perp} \rangle$ с энергией – важное следствие поперечного гидродинамического движения.

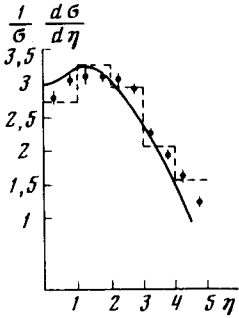
Мы остановились на этих трех характеристиках, поскольку они измерялись на запущенном недавно $p\bar{p}$ -ускорителе – коллайдере – с полной энергией сталкивающихся частиц в C -системе $\sqrt{s} = 540$ ГэВ ($E_L \sim 150$ ТэВ)^{2,4}. Оказалось, что при этой энергии значение $\langle p_{\perp} \rangle \sim 500$ МэВ ¹⁾, в то время как при энергии $E_L \sim 1$ ТэВ (ускоритель ISR) – $\langle p_{\perp} \rangle \sim 370 - 400$ МэВ.

Численные расчеты ^{5,6}, основанные на квазиодномерном приближении ⁷, дают $\langle p_{\perp} \rangle = 380$ МэВ при $E_L \sim 1$ ТэВ и $\langle p_{\perp} \rangle = 480$ МэВ при $E_L \sim 150$ ТэВ. Это соответствует весьма слабому росту $\langle p_{\perp} \rangle \propto E_L^{1/14} - E_L^{1/12}$. (Напомним, что квазиодномерное приближе-

¹⁾ Отметим, что эта цифра получена косвенным методом.

ние основано на допущении, что продольное движение квазиодномерно и определяется гидродинамикой, а поперечное движение обусловлено тепловым распределением).

Средняя множественность $\langle N_{ch} \rangle$ при энергиях $E_L \lesssim 100$ ГэВ определяется точными значениями статистических весов, а при энергиях $100 \leq E_L \leq 1000$ ГэВ зависимость $\langle N_{ch} \rangle(E_L)$ сшивается с функцией $aE_L^{1/4}$ ($a = \text{const}$). Если исключить первичные нуклоны, которые не входят в статистическую систему (лидирующие частицы)¹⁾, то теория при $E_L \sim 150$ ТэВ приводит к значению $\langle N_{ch} \rangle \sim 30-32$, тогда как на опыте наблюдается $\langle N_{ch} \rangle = 27, 4 \pm 2$.



На рисунке представлено экспериментальное и теоретическое (сплошная кривая) распределения по псевдобыстроте η . Теоретический расчет производился в квазиодномерном приближении по формуле

$$\frac{dN}{d\eta} = \frac{\langle N_{ch} \rangle (2\pi \bar{L})^{-1/2}}{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{K_2(n)}{n}} \int_0^{\infty} \frac{x^2 \sqrt{1+x^2} dx}{\sqrt{x^2 + (\text{ch}\eta)^{-1}}} \sum_{m=1}^{\infty} K_1(m \sqrt{1+x^2}) \times \exp \left\{ - \frac{\text{Ar th}^2 \left(\frac{x \text{ th } \eta}{\sqrt{x^2 + (\text{ch}\eta)^{-1}}} \right)}{2\bar{L}} \right\}, \quad (1)$$

где K_1, K_2 – функция Бесселя, $\bar{L} = \frac{3}{4} \ln \frac{E_L}{m_p}$, m_p – масса нуклона.

Перейдем к анализу данных по e^+e^- -аннигиляции. В интервале энергий $\sqrt{s} \sim 10-40$ ГэВ обнаружено поразительное сходство этого процесса⁹⁻¹¹ и pp -взаимодействий (если из них исключить лидирующие частицы) для следующих характеристик: множественность и инклюзивные спектры, двухструйность распределение по p_{\perp} . Имеются также указания на слабый рост $\langle p_{\perp} \rangle$ с энергией.

Подобная аналогия указывает на возможность гидродинамического описания обоих процессов. Однако, для e^+e^- -аннигиляции трудность состоит в отсутствии характеристической массы (в отличие от pp -столкновений). Поэтому для аннигиляции массу m_x следует считать свободным параметром. Используя кварк-глюонную интерпретацию гидродинамической теории¹², можно получить следующее выражение для множественности $\langle N_{ch}^{e^+e^-} \rangle$ вторичных частиц при e^+e^- -аннигиляции:

$$\langle N_{ch}^{e^+e^-} \rangle \simeq 2,7 \left(\frac{m_x}{m_p} \right)^{1/4} \left(\frac{\sqrt{s}}{m_p} \right)^{1/2}. \quad (2)$$

¹⁾ Подробнее о методе вычисления $\langle N_{ch} \rangle$ см.⁸.

| \sqrt{s} (ГэВ) | 5 | 7 | 9 | 11 | 15 | 19 | 23 | 31 | 35 | 39 |
|-----------------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $\langle N_{ch}^{e^+e^-} \rangle$ | 4,3 $\pm 0,3$ | 5,5 $\pm 0,2$ | 6,0 $\pm 0,15$ | 6,7 $\pm 0,15$ | 7,8 $\pm 0,15$ | 8,7 $\pm 0,2$ | 9,6 $\pm 0,2$ | 11,2 $\pm 0,2$ | 11,8 $\pm 0,2$ | 12,4 $\pm 0,2$ |
| m_x/m_p | 0,27 | 0,36 | 0,31 | 0,33 | 0,32 | 0,31 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,31 |

Из сопоставления этого соотношения с экспериментальными данными¹¹ можно определить m_x (см. таблицу). Из таблицы видно, что значение m_x близко к $\frac{1}{3} m_p$, т. е. к величине массы составляющего кварка. Возможно, что это совпадение не случайно.

Таким образом, основные характеристики множественных процессов согласуются с гидродинамической теорией.

Литература

1. Ландау Л.Д. Изв. АН СССР, сер. физ., 1953, 17, 51.
2. Alpgard K. et al. Phys. Lett., 1981, 107B, 310.
3. Alpgard K. et al. Phys. Lett., 1981, 107B, 315.
4. Aruison G. et al. Phys. Lett., 1981, 107B, 320.
5. Милехин Г.А. ЖЭТФ, 1958, 35, 1185.
6. Волженская В.П., Сарычева Л.И. Изв. АН СССР, сер. физ., 1966, 30, 1954.
7. Розенталь И.Д. ЖЭТФ, 1956, 31, 278.
8. Daibog E.I., Rosental I.L., Tarasov Yu.A. Fortschritte der Physik, 1979, 27, 313.
9. Basile M. et al. Phys Lett., 1981, 99B, 247.
10. Basile M. et al. Lett. Nuovo Cim., 1981, 31, 273.
11. Basile M. et al. Niovo Cim., 1981, 65A, 400.
12. Тарасов Ю.А. ЯФ, 1981, 34, 211.