

e^+e^- -АННИГИЛЯЦИЯ В АДРОНЫ И СОУДАРЕНИЯ С ЯДРАМИ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ МНОЖЕСТВЕННОГО РОЖДЕНИЯ

Э.В.Шуряк

Приведены простые оценки ряда характеристик указанных реакций в рамках гидродинамического подхода. Экспериментальные данные качественно согласуются с этими оценками, расходясь в ряде пунктов с выводами партонной модели.

В последние годы усилился интерес к гидродинамической теории Ландау [1] в связи с тем, что экспериментальные данные по адронным столкновениям оказались согласующимися с ее предсказаниями [2]. Предметом этой статьи является рассмотрение с точки зрения этой теории e^+e^- -аннигиляции в адроны и адрон-ядерных столкновений. Следует подчеркнуть качественный характер рассмотрения, так как ни наши оценки, ни обсуждаемые данные не могут претендовать на высокую точность.

Основное отличие случая e^+e^- -аннигиляции от адронных столкновений состоит в том, что энергия выделяется в малой пространственно-временной области и гидродинамический разлет имеет радиальный характер [3], а не квазиодномерный [1]. Эксперименты [4] действительно демонстрируют изотропию вторичных частиц; причем стройная картина, предсказанная партонной моделью не наблюдается.

Простые термодинамические соотношения [3] приводят к следующему выражению для средней энергии вторичных частиц $\langle E \rangle$:

$$\langle E \rangle \sim a(E_{i.o.i} / V_0)^{\frac{c^2}{1+c^2}}$$

где E_{tot} — полная энергия, имеется в виду уравнение состояния $p = c^2 \epsilon$ (p — давление, ϵ — плотность энергии) с постоянным параметром c^2 , имеющим смысл квадрата скорости звука. V_0 — начальный объем, оценка которого требует дополнительных предположений. Величина c^2 оценивалась в [5] двумя способами: прямым вычислением по методу Бета — Уленбека и по данным по распределению по множественности. Оба способа дали $c^2 \approx 0,2$. Данные [4] о среднем импульсе вторичных частиц показаны на рис. 1. Большинство вторичных частиц — ультра-релятивистские пионы, так что $\langle p \rangle \approx \langle E \rangle$. Наблюдаемая зависимость $\langle p \rangle$ от полной энергии согласуется с (1) при $V_0 \approx \text{const}$ и противоречит "скейлингу" $\langle E \rangle \propto E_{tot}$, предсказанному партонной моделью.

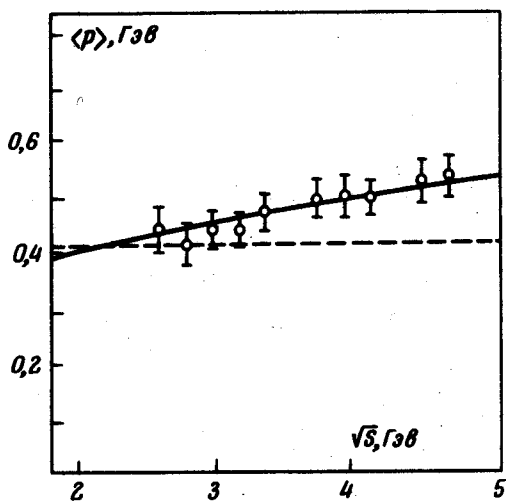


Рис.1. Средний импульс вторичных частиц в e^+e^- -аннигиляции в адроны как функция полной энергии [4]. Штриховая линия отвечает тепловому спектру с $T = m_\pi$, сплошная — зависимость $\langle p \rangle = 0,34s^{1/8}$

Вычисление распределения вторичных частиц по энергиям требует решения уравнений релятивистской гидродинамики [3, 6]. Однако при достаточно низких энергиях $E_{tot} \leq 10$ Гэв важно лишь, что распределение по быстротам коллективного движения имеет вид пика при некотором y_0 , зависящем от энергии. Поэтому гидродинамические эффекты сводятся к доплеровскому сдвигу теплового спектра. При этом сохраняется его экспоненциальный характер с наклоном, определяемым из (1). Представленные на рис. 2. данные хорошо с этим согласуются. Такое поведение спектров можно спутать с ростом температуры, однако различие выясняется при обсуждении состава вторичных частиц, отвечающему фиксированной конечной температуре в гидродинамической теории.

Перейдем теперь к обсуждению соударений адронов с ядрами. В работах [8] была создана сравнительно детальная гидродинамическая теория этого явления. Ее основой является рассмотрение производства энтропии в ударных волнах, точность которого неясна из-за неучета диссипативных и квантовых эффектов, существенных на начальной ста-

ди. Простые качественные оценки можно получить, основываясь на модельном предположении, предложенном Готтфридом [9] (см. также [10]). Оно состоит в том, что налетающий адрон и трубка, выбитая им из ядра, образуют на начальной стадии единую статистическую систему. Тогда простым пересчетом этот случай сводится к соударению адрона с адроном. Приведем зависимость средней множественности от атомного номера A :

$$R_A \equiv \frac{\langle N \rangle_{hA}}{\langle N \rangle_{hh}} = A^{\frac{1}{6} \frac{1-c^2}{1+c^2}}, \quad (2)$$

полученную подстановкой в обычную формулу для множественности вместо $s = 2p_{LAB}^m$ инварианта соударения адрон-трубка $s = as A^{1/3}$.

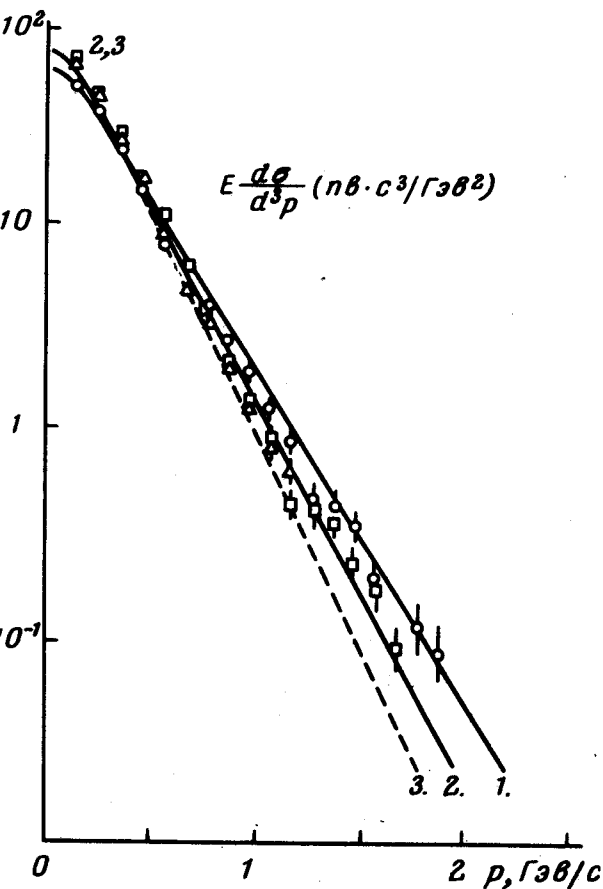


Рис. 2. Спектры вторичных частиц в e^+e^- -аннигиляции в адроны [4] при полных энергиях \sqrt{s} : 0 — 4,8 Гэв, □ — 3,8 Гэв, Δ — 3,0 Гэв. Кривые отвечают гидродинамической модели при энергиях: 1 — 5 Гэв, 2 — 3 Гэв. Для сравнения показан тепловой спектр с $T = 160$ Мэв (штриховая кривая 3).

При $c^2 = 0,2$ степень в (2) равна 0,11, в то время как по данным [14] она $0,131 \pm 0,005$ и согласие разумное. В то же время в партонной модели получается [14] $R_A = 1 + \frac{\text{const } A^{1/3}}{\ln s}$ в расхождении с примерным постоянством R_A в широком интервале энергий $10 - 10^4$ Гэв [9].

Распределение вторичных частиц по быстротам предсказывается приближенно гауссовым, с центром в точке y_c , отвечающей системе покоя адрон-трубка: $y_c \approx \frac{1}{2} \ln \frac{E_{LAB}}{2m} + \frac{1}{6} \ln A$. Данные [11], показанные на рис. 3 хорошо отвечают этим выводам. Отметим, что в быстрой части спектра согласно партонной модели кривые для ядер и нуклонов должны совпадать. Экспериментальные данные, в частности и показанные на рис. 3, свидетельствуют о том, что спектры на ядрах идут ниже, в согласии с описанной выше моделью. Кроме того, представление о коллективном статистическом взаимодействии с трубкой может помочь понять наблюдения [13] экспоненциального хвоста спектра пионов, летящих назад, тянущегося далеко за порог однонуклонного процесса.

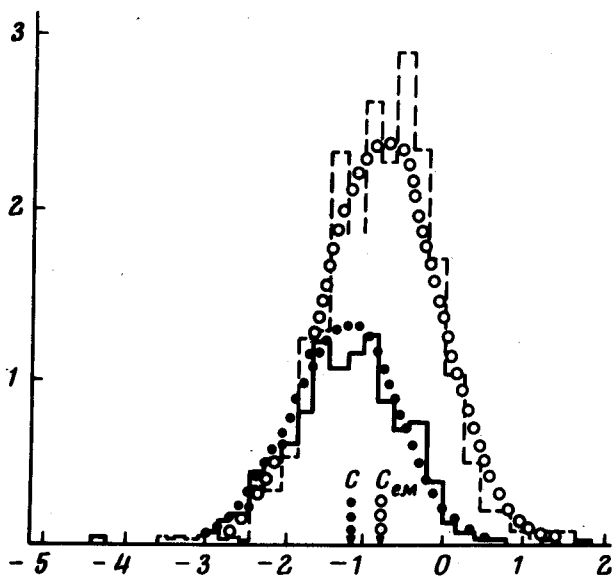


Рис. 3. Распределение по $\lg \operatorname{tg} \theta$ для pp -соударений (сплошная кривая и точки) и соударений протонов с ядрами эмульсии (штриховая гистограмма и открытые точки). Гистограммы отвечают данным [11, 9] при энергии 200 Гэв, точки — модели, описанной в тексте

В заключение отметим, что для уверенного разделения различных теоретических возможностей, в частности гидродинамической и партонной моделей, использованных данных все же недостаточно. Необходимы более точные данные, особенно при более высоких энергиях.

Институт ядерной физики
Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
12 марта 1975 г.

Литература

- [1] Л.Д.Ландау, Известия АН СССР, сер. физ., 17, 51, 1953.
- [2] Э.В.Шуряк. ЯФ, 16, 95, 1972. P.N.Curruthers, Minh Duong-van. Phys. Lett., 42B, 597, 1972; F.Cooper, B.Schonberg. Phys. Rev. Lett., 30, 880, 1973.

- [3] E.V.Shuryak. Phys. Lett., 34B, 509, 1971.
- [4] LBL-SIAC SPEAR Colloboration. Report at april 1974 Washington APS Meating.
- [5] О.В.Жиров, Э.В.Шуряк. ЯФ, в печати, E.V.Shuryak. Proceedings of the V Simposium on many particle hadrodynamics. Leipzig, 1974.
- [6] F.Cooper, G.Frye, E.Schonberg. Phys. Rev. Lett., 32, 862, 1974; J.Вааске. Phys. Lett., 49B, 297, 1974.
- [7] Е.Л.Фейнберг. ЯФ, 13, 659, 1971; Э.В.Шуряк. ЯФ, 20, 549, 1974.
- [8] И.Л.Розенталь, Д.С.Чернавский, УФН, 52, 185, 1954; С.З.Беленький, Л.Д.Ландау. УФН, 56, 309, 1955. Г.А.Милехин. Труды ФИАН, 16, 51, 1961.
- [9] K.Gottfried. Talk at the High Energy Physics and Nuclear Structure conference. Upsala, 1973. Th-1735 CERN preprint.
- [10] А.З.Паташинский. Письма в ЖЭТФ, 19, 654, 1974.
- [11] Сотрудничество Батавия – Бухарест, см. [9].
- [12] О.В.Канчели. Письма в ЖЭТФ, 18, 465, 1973.
- [13] А.М.Балдин и др. ЯФ, 18, 79, 1973.
- [14] A.Curtu et al. Phys. Lett., 50B, 391, 1974.
-