

ОБ ОЦЕНКЕ НАЧАЛЬНОГО ОБЪЕМА И МНОЖЕСТВЕННОСТИ В СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ МНОЖЕСТВЕННОГО РОЖДЕНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Б.Л. Иоффе

Исходя из оценок величин эффективных продольных расстояний в процессах глубоко-неупругого электророждения и в адронных столкновениях, получены зависимости от энергии начального объема и множественности в гидродинамической теории Ландау, отличные от общепринятых.

В статистико-гидродинамической теории множественного рождения частиц при высоких энергиях Ландау [1, 2] существенным параметром, определяющим развитие процесса, является начальный объем системы, образующейся сразу после столкновения. Согласно Ландау, процесс гидродинамического расширения после столкновения происходит адиабатически и множественность рождающихся частиц n пропорциональна энтропии S . Если принять [1, 2] ультрарелятивистское уравнение состояния вещества в этом процессе $p = \epsilon/3$ (p – давление, ϵ – плотность энергии), то

$$S \sim VT^3, \quad (1)$$

где V – объем системы, T – ее температура в данный момент. В силу сохранения энтропии в процессе расширения и закона сохранения энергии $E_{\text{ц.и.}} = (V_0)_{\text{ц.и.}} T_0^4$ из (1) следует

$$n \sim S \sim E_{\text{ц.и.}}^{3/4} V_0^{1/4} \text{ ц.и.}, \quad (2)$$

где V_0 – объем системы в начальный момент. Обычно предполагается [1–4], что при столкновениях адронов (или например, при столкновении нуклона с реальным или виртуальным фотоном) в начальный момент адрон в своей системе покоя можно рассматривать как шар радиуса $r \sim 1/m_0$, где m_0 – некоторая масса порядка 1–2 масс пиона. Тогда, благодаря лоренцову сокращению, начальный объем в системе центра инерции при столкновении двух адронов будет порядка $V_0 \sim (m/E_{\text{ц.и.}}) m_0^{-3}$ и согласно (2), $n \sim E_{\text{ц.и.}}^{1/2} \sim E_{\text{лаб.}}^{1/4}$. Из сплюснутой формы начального объема в с.ц.и. вытекает также в гидродинамической теории Ландау угловое распределение рождающихся частиц в виде двух струй.

Цель настоящей статьи – обратить внимание на то, что указанное выше предположение о форме и размерах начального объема не является обязательным или даже естественным и указать другую возможность с вытекающими из нее следствиями.

Рассмотрим сначала наиболее чистый с теоретической точки зрения процесс глубоко-неупругого электророждения на нуклоне, который можно трактовать, как процесс столкновения виртуального фотона с квадратом массы $q^2 < 0$ с нуклоном (предполагается, что $|q^2| \gg m^2$).

m — масса нуклона). Исследование пространственно-временной картины процесса электророждения при больших $|q^2|$ показывает [5], что существенные в этом процессе поперечные расстояния $\rho^2 \sim 1/|q^2|$, а продольные расстояния в лабораторной системе $z \sim \nu/|q^2| m$ ($\nu = m(E - E')$, E и E' — начальная и конечная энергии электрона). Рост продольных расстояний z с энергией виртуального фотона $q_0 = \nu/m$ (при фиксированном q^2) следует [5, 6] из существующих экспериментальных данных по электророждению и может быть объяснен, если предположить, что время жизни виртуального фотона в его системе покоя $\tau \sim 1/\sqrt{|q^2|}$ (такая оценка возникает, например, в партонной модели). Таким образом, в глубоко-неупругом электророждении начальный объем в лаб. системе пропорционален

$$V_{\text{о.лаб}} \sim \nu/(q^2)^2 m, \quad (3)$$

а начальный объем в с.ц.и. при $\nu \gg m^2$

$$V_{\text{о.ц.и.}} \sim \frac{\nu}{(q^2)^2} \frac{E_{\text{ц.и.}}}{\nu} = \frac{E_{\text{ц.и.}}}{(q^2)^2}. \quad (4)$$

Из (2) и (4) следует, что в глубоко-неупругом электророждении множественность n должна быть пропорциональна

$$n \sim \frac{E_{\text{ц.и.}}}{\sqrt{|q^2|}} = \sqrt{\frac{q^2 + 2\nu + m^2}{|q^2|}} \quad (5)$$

в отличие от обычно принимаемой [4] $n \sim E_{\text{ц.и.}}/\nu^{1/4}$. Соотношение (5) не противоречит экспериментальным данным [7], хотя детальное сравнение затруднено тем, что большинство существующих данных соответствует небольшим q^2 .

При выводе соотношений (4), (5) рассматривался только случай больших $|q^2| \gg m^2$. Это ограничение связано с тем, что при $|q^2| \gg m^2$ отсутствуют периферические взаимодействия, для которых неприменима гидродинамическая теория Ландау. В связи с этим при перенесении подобных рассуждений на случай чисто адронных столкновений необходимо, как, впрочем, всегда в подобных случаях [3], иметь критерий выделения центральных соударений. Если, однако, оставить этот кардинальный вопрос в стороне, то изложенные соображения могут быть непосредственно перенесены на адронные столкновения. Налегающий адрон виртуально диссоциирует на различные составляющие, причем по соотношению $\Delta E \Delta t \sim 1$ время такой диссоциации в его системе покоя $\Delta t \sim 1/M_{\text{эфф}}$, где $M_{\text{эфф}}$ — эффективная масса составляющих. По аналогии с виртуальным фотоном, где этот факт вытекает из эксперимента, можно ожидать, что $M_{\text{эфф}}$ не растет с энергией (хотя, строго говоря, такая возможность не исключена [8]). Тогда в лабораторной системе $\Delta t \sim (E_{\text{лаб}}/m)/M_{\text{эфф}}$, эффективные продольные

расстояния $z \sim \Delta t \sim (E_{\text{лаб}}/m)/M_{\text{эфф}}$ и начальный объем

$$V_{\text{о.лаб}} \sim \frac{E_{\text{лаб}}}{m} \frac{1}{M_{\text{эфф}}^3} \quad (6)$$

В системе центра инерции начальный объем в отличие от случая Ландау не сжат, а вытянут и

$$V_{\text{о.ц.и.}} \sim \frac{E_{\text{ц.и.}}}{m M_{\text{эфф}}^3} \quad (7)$$

Таким образом, при данной оценке начального объема множественность

$$n \sim E_{\text{ц.и.}} \sim E_{\text{лаб}}^{1/2} \quad (8)$$

Интересно отметить, что зависимость n от E (8) совпадает с зависимостью, полученной Померанчуком [9] из совсем иных соображений.

Возникающая при начальном объеме (7) картина гидродинамического расширения будет непохожей на гидродинамическое расширение Ландау. При сравнении ее с опытом необходим, как уже говорилось выше, критерий отбора центральных соударений. Возможно, что в качестве такого критерия можно использовать отбор событий, в которых, по крайней мере, одна рождающаяся частица характеризуется большим p_{\perp} .

В заключение отметим, что в случае e^+e^- аннигиляции в адроны, соображения, основанные на оценке существенных в данном процессе пространственно-временных расстояний, также приводят [10] к оценке начального объема $V_{\text{о.}} \sim E_{\text{ц.и.}}^{-3}$ и множественности $n \sim \text{const}$, отличных от общепринятых $V_{\text{о.}} \sim m_{\text{о.}}^{-3}$ и $n \sim E_{\text{ц.и.}}^{3/4}$.

Выражаю глубокую благодарность Э.В.Шуряку, Г.Т.Зацепину и, особенно, Е.Л.Фейнбергу за ценные обсуждения затронутых выше вопросов.

Институт теоретической
и экспериментальной физики

Поступила в редакцию
1 августа 1974 г.

Литература

- [1] Л.Д.Ландау. Изв. АН СССР, сер. физ., 17, 51, 1953.
- [2] С.З.Беленький, Л.Д.Ландау. УФН, 56, 309, 1955.
- [3] Е.Л.Фейнберг. Phys. Rev., 5С, 237, 1972.
- [4] P. Carruthers, M. Duong-Van. Phys. Lett., 44В, 507, 1973.
- [5] Б.Л.Иоффе. Письма в ЖЭТФ, 10, 143, 1969; Phys. Lett., 30В, 123, 1969.
- [7] J. Pestieau, P. Roy, H. Terazawa. Phys. Rev. Lett., 25, 402, 1970.
- [7] J. Ballam et. Phys. Rev., D3, 545, 1971.
- [8] В.Н.Грибов, Б.Л.Иоффе, И.Я.Померанчук. ЯФ, 2, 768, 1967.
- [9] И.Я.Померанчук. ДАН СССР, 78, 889, 1951.
- [10] J.D.Bjorken. Preprint SLAC-PUB-1318, 1973.