

高能诱导核反应中的核碰撞几何 与末态粒子的间歇行为*

王海桥 蔡勛

(华中师范大学粒子物理研究所, 武汉 430070)

1992年9月4日收到

摘 要

考虑到核碰撞几何, 我们推导出高能诱发核反应中二阶阶乘矩与参加反应核子数涨落之间的关系. 分析表明, 在核碰撞的射弹碎裂区, 强子-核反应末态粒子的间歇性质决定于其强子-强子过程的间歇特征; 而在靶碎裂区, 它却主要依赖于参加反应核子数的涨落. 推广到核-核反应 ($B \ll A$), 其间歇强度低于强子-核反应.

关键词 高能诱导, 核反应, 核碰撞几何, 间歇性质.

1 引 言

有关局域相空间中粒子涨落的实验研究表明^[1], 多粒子产生过程的末态粒子具有间歇行为. 人们普遍相信, 在核碰撞中, 有可能制造出形成夸克-胶子等离子体 (QGP) 的高密和高温条件. 而从 QGP 到强子物质的相变, 还有目前尚不清楚的微喷注 (mini-jet) 现象, 都会导致局域相空间中粒子的非统计性涨落, 呈现出间歇特征. 在本文中, 我们的分析表明, 由于核碰撞几何 (NCG), 它也会导致高能诱发核反应中的小快度区间内参加反应核子数的涨落, 而这种涨落又直接影响末态粒子的间歇行为.

2 高能强子-核反应的间歇行为

现有的模型认为, 高能强子-核反应 (hA) 可以看作是高能强子-核子反应 (hN) 的叠加^[2]. 在这种模型框架下, 考虑核碰撞几何, 入射强子在核内的 hN 碰撞数目的涨落, 来源于碰撞参数不同造成的几何条件变化. 由于几何因素, 使得 hN 碰撞产生的末态粒子在不同的运动学范围内出现涨落. 也就是说, 由于核的碰撞几何, 对于所观测的小快度区间, 其中给出的涨落, 是受撞核子数涨落和 hN 碰撞产生粒子数涨落的共同贡献.

* 国家自然科学基金, 国家教委优秀青年教师基金和霍英东基金资助.

设我们分析的整个快度空间的大小为 ΔY , 将它等分为 M 个区间, 则每个区间的大小为 $\delta y = \Delta Y/M$. 第 m 个区间内所观测的末态粒子数为 n_m , 它是 ν_m 个受撞核子共同的贡献. 设 ν_m 有涨落, 几率为 $f(\nu_m)$, 则观测到 n_m 的几率为

$$P(n_m) = \sum_{\nu_m} f(\nu_m) P_{\nu_m}(n_m), \quad (1)$$

其中, $P_{\nu_m}(n_m)$ 表示在固定的 ν_m 时观测到 n_m 的几率, 它是 ν_m 次 hN 基元碰撞的多重数分布 $p(k_m^{(i)})$, $i = 1, 2, \dots, \nu_m$ 的卷积

$$P_{\nu_m}(n_m) = \sum_{\{k_m^{(i)}\}} \delta(n_m - \sum_{i=1}^{\nu_m} k_m^{(i)}) \prod_i p(k_m^{(i)}). \quad (2)$$

定义 hN 反应和 hA 反应的末态粒子数的生成函数分别为^[3]

$$\phi^{\text{hN}}(\theta) = \sum_{k_m} \theta^{k_m} p(k_m), \quad (3)$$

和

$$\phi^{\text{hA}}(\theta) = \sum_{n_m} \theta^{n_m} P(n_m). \quad (4)$$

将式(1)和式(2)代入, 我们得到

$$\phi^{\text{hA}}(\theta) = \sum_{\nu_m} \prod_{i=1}^{\nu_m} \phi^{\text{hN}}(\theta). \quad (5)$$

再将生成函数对 θ 求导, 我们有

$$\begin{aligned} \langle n_m \rangle &= \left. \frac{\partial \phi^{\text{hA}}(\theta)}{\partial \theta} \right|_{\theta=1} \\ &= \sum_{\nu_m} f(\nu_m) \sum_{i=1}^{\nu_m} \langle k_m^{(i)} \rangle, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \langle n_m(n_m - 1) \rangle &= \left. \frac{\partial^2 \phi^{\text{hA}}(\theta)}{\partial \theta^2} \right|_{\theta=1} \\ &= \sum_{\nu_m} f(\nu_m) \sum_{i=1}^{\nu_m} \langle k_m^{(i)} \rangle \sum_{i \neq j}^{\nu_m} \langle k_m^{(j)} \rangle \\ &\quad + \sum_{\nu_m} f(\nu_m) \sum_{i=1}^{\nu_m} \langle k_m^{(i)}(k_m^{(i)} - 1) \rangle. \end{aligned} \quad (7)$$

由于对于固定的 ν_m 值, $\langle k_m^{(i)} \rangle$, $i = 1, 2, \dots, \nu_m$, 这些数与碰撞的序号 i 的先后无关, 可以比较合理地假定

$$\langle k_m^{(1)} \rangle = \langle k_m^{(2)} \rangle = \dots = \langle k_m^{(\nu_m)} \rangle, \quad (8)$$

$$\langle k_m^{(1)}(k_m^{(1)} - 1) \rangle = \langle k_m^{(2)}(k_m^{(2)} - 1) \rangle = \dots = \langle k_m^{(\nu_m)}(k_m^{(\nu_m)} - 1) \rangle, \quad (9)$$

于是得到

$$\langle n_m \rangle = \langle \nu_m \rangle \langle k_m \rangle, \quad (10)$$

$$\langle n_m(n_m - 1) \rangle = \langle \nu_m(\nu_m - 1) \rangle \langle k_m \rangle^2 + \langle \nu_m \rangle \langle k_m(k_m - 1) \rangle. \quad (11)$$

二阶阶乘矩的定义为^[4]

$$F_2 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{\langle n_m(n_m - 1) \rangle}{\langle n_m \rangle^2}, \quad (12)$$

将 $\langle n_m \rangle, \langle n_m(n_m - 1) \rangle$ 的表达式代入上式, 我们得到

$$\begin{aligned} F_2^{hA} &= \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left[\frac{1}{\langle \nu_m \rangle} \frac{\langle k_m(k_m - 1) \rangle}{\langle k_m \rangle^2} + \frac{\langle \nu_m(\nu_m - 1) \rangle}{\langle \nu_m \rangle^2} \right] \\ &= \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left[\frac{1}{\langle \nu_m \rangle} F_2^{hN}(m) + F_2^{NCG}(m) \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

由此看到, 高能 hA 反应中所观测到的二阶阶乘矩由两个部分组成: 前一部分是 hN 碰撞的贡献 $F_2^{hN}(m)$, 由于存在因子 $1/\langle \nu_m \rangle \leq 1$, 这部分的贡献被减弱; 另一部分的贡献来自参加反应核子数 ν_m 在小快度区间内的涨落, 造成这种涨落的原因是核碰撞几何(NCG).

显然, 在 hA 反应的射弹碎裂区, 应当有 $\langle \nu_m \rangle \approx 1$, 观测到的间歇行为仅由相应区间内的 hN 碰撞的间歇特征决定. 在 hA 反应的靶碎裂区, 由于 $\langle \nu_m \rangle \gg 1$, 作为子过程的 hN 碰撞对于间歇行为的贡献被大大压低, 而在这个区间内参加反应核子数的涨落起了主要作用.

3 高能核-核反应的间歇行为

在这一节中, 我们采用一种简单的模型来讨论高能核-核碰撞 ($B \ll A$). 把 hA 碰撞作为 BA 反应的基元过程, 设在射弹核 B 中有 μ 个人射核子与靶核 A 发生碰撞的几率为 $f_B(\mu)$, 这样在第 m 个小快度区间内观测到 n_m 个末态粒子的几率为

$$P(n_m) = \sum_{\mu_m} f_B(\mu_m) P_{\mu_m}(n_m), \quad (14)$$

其中, $P_{\mu_m}(n_m)$ 是共有 μ_m 次 hA 碰撞所出现 n_m 的几率, 它等于

$$P_{\mu_m}(n_m) = \sum_{\{n_m^{(i)}\}} \delta \left(n_m - \sum_{i=1}^{\mu_m} n_m^{(i)} \right) \prod_{i=1}^{\mu_m} P^{hA}(n_m^{(i)}). \quad (15)$$

$P^{hA}(n_m^{(i)})$ 是第 i 次 hA 碰撞产生 $n_m^{(i)}$ 个粒子的几率.

类似于 hA 反应的 F_2 的推导过程, 我们又可得到 BA 反应的二阶阶乘矩

$$F_2^{BA} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left(\frac{1}{\langle \mu_m \rangle} F_2^{hA}(m) + F_2^{inc}(m) \right), \quad (16)$$

其中,

$$F_2^{hA}(m) = \frac{\langle n_m'(n_m' - 1) \rangle}{\langle n_m' \rangle^2}, \quad (17)$$

$$F_2^{inc}(m) = \frac{\langle \mu_m(\mu_m - 1) \rangle}{\langle \mu_m \rangle^2}. \quad (18)$$

为了便于估计, 作如下简化. 假定对于 M 个不同的小快度区间, μ_m 的分布起伏较小, 可以忽略它们的差别, 即 $\langle \mu_m \rangle = \langle \mu \rangle, m = 1, 2, \dots, M$, 则有

$$F_2^{BA} = \frac{1}{\langle \mu \rangle} \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M F_2^{hA}(m) + \frac{\langle \mu(\mu - 1) \rangle}{\langle \mu \rangle^2}. \quad (19)$$

上式显然表明, 高能 BA 反应的间歇强度低于相应的 hA 反应的强度。在目前 BNL/AGS 和 CERN/SPS 加速器上进行的高能重离子碰撞实验中^[5], 已明显地观察到这种现象。

参 考 文 献

- [1] W. Kittel, Nijmegen Preprint, HEN-335/90; invited reviews at the XXth Int. Symp. on Multiparticle Dynamics, Dortmund, Germany, Sept. 10-14, 1990 and references cited therein.
- [2] 王海桥 蔡勳, 高能物理与核物理, 14(1990), 333; 王海桥 蔡勳 刘庸, 高能物理与核物理, 16(1992), 359.
- [3] L. Van Hove, CERN-TH-5069/1988.
- [4] A. Bialas and R. Peschanski, *Nucl. Phys.*, **B308** (1988), 857.
- [5] M. I. Adamovich et al., (EMU01 Collaboration), *Phys. Lett.*, **263B** (1991), 539.

Intermittent Behaviour of Final-State Particles and Nuclear Collision Geometry in High Energy Induced Nuclear Reactions

Wang Haiqiao Cai Xu

(*Institute of Particle Physics, Hua-Zhong Normal University, Wuhan 430070*)

Received on September 4, 1992

Abstract

The relation between the second order factorial moment and the number of participant nucleons in high energy induced nuclear reactions is deduced by taking account of the nuclear collision geometry. It is shown that in projectile fragmentation region of the high energy collisions the intermittent property of the final-state particles in hadron-nucleus reactions is dependent on the intermittent character of the sub-process of hadron-hadron collisions, but in target fragmentation region it mainly depends on the fluctuation of the number of participant nucleons. For nucleus-nucleus reactions ($B \ll A$), its intermittent strength is lower than that of hadron-nucleus reactions.

Key Words High energy induced, Nuclear reaction, Nuclear collision geometry, Intermittent property.