

# 核-核碰撞间歇现象的混合效应\*

胡源 邓越 刘连寿

(华中师范大学粒子物理研究所 武汉 430070)

1996-05-28收稿

## 摘 要

通过对核-核碰撞中归一化阶乘矩反常标度性的一些实验结果的观察,发现在末态高维相空间中,阶乘矩和空间分割数的双对数图呈急剧上翘的现象.经过仔细分析,用核-核碰撞是许多基元碰撞混合叠加的观点,对上述现象进行了定性的解释.基于这一观点,建立了一个随机级联模型,用 Monte Carlo 方法给出了与实验现象的定性符合.讨论了这一结果的可能的应用.

**关键词** 高能核-核碰撞, 间歇现象, 基元碰撞过程, 混合效应.

## 1 引 言

我们知道,高能碰撞末态相空间存在着非统计性起伏,即所谓的间歇现象.1986年 Bialas 和 Peschanski 提出用阶乘矩方法消除统计起伏.研究间歇现象<sup>[1]</sup>.即将整个末态相空间 $\Delta$ 分成  $M$  个子区域,每个子区域的大小为 $\delta$  ( $\delta = \Delta / M$ ).定义阶乘矩

$$F_q(M) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{\langle n_m(n_m-1)\cdots(n_m-q+1) \rangle}{\langle n_m \rangle^q}, \quad (1)$$

式中 $\langle \cdots \rangle$ 是对事件平均, $n_m$ 为第  $m$  个 $\delta$ 子区域中的多重数.如果当  $M \rightarrow \infty$ ,  $\delta \rightarrow 0$  时,阶乘矩有反常标度行为

$$\lim_{\substack{M \rightarrow \infty \\ \delta \rightarrow 0}} F_q(M) \propto M^{\phi_q}, \quad (2)$$

则称为存在间歇,(2)式中的 $\phi_q$ 称为间歇指数.

间歇现象已经在各种不同性质,不同碰撞能量的高能碰撞实验中进行了研究<sup>[2]</sup>.发现,在末态一维相空间,核-核碰撞的间歇指数比轻子-轻子,轻子-强子,强子-强子碰撞过程的间歇指数要小.且在核-核碰撞中,参与碰撞的核越重,其末态间歇越弱<sup>[3]</sup>.其原因可以解释为:核-核碰撞是许多基元碰撞的叠加,其末态为许多分形体的混合,这种混合效应使得间歇变弱<sup>[4]</sup>.

\* 国家自然科学基金资助.

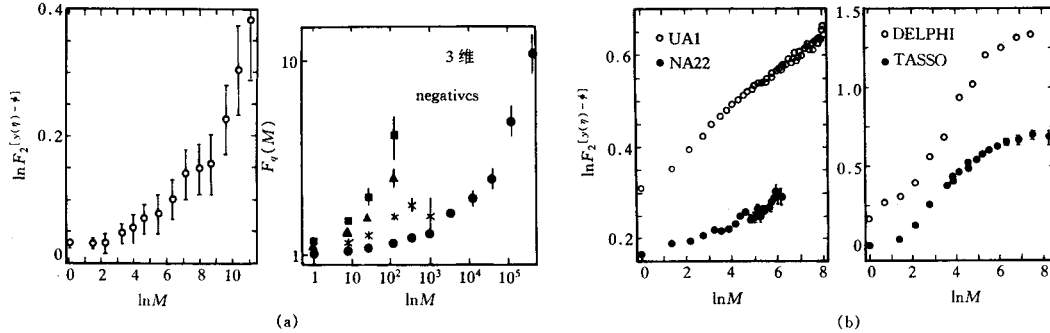


图 1 (a) NA35 实验组 O-Au 200 A GeV 在二维和三维相空间中的  $\ln F$ - $\ln M$  关系

■  $F_5$ , ▲  $F_4$ , \*  $F_3$ , ●  $F_2$ .

(b) 一些实验组有关轻子-轻子, 强子-强子碰撞过程的末态高维相空间中  $\ln F$ - $\ln M$  的关系  
数据取自文献 [2]

UA1:  $p-\bar{p}$  630 GeV; DELPHI:  $e^+e^-$  91 GeV;

NA22:  $h-p$  22 GeV; TASSO:  $e^+e^-$  35 GeV.

然而, 在第二十五届多粒子动力学国际会议上, B. Woseik 指出<sup>[5]</sup>, 在分析 EMU13 的 160 A GeV Pb-Em 实验时, 发现在末态一维快度空间, 间歇指数的确很小; 但在二维快度-方位角空间中,  $\ln F$  随  $\ln M$  增加而剧烈上翘. 实际上, NA35 实验组给出的 200 A GeV O-Au 实验分析结果表明<sup>[6]</sup>, 在末态二维和三维相空间  $\ln F$ - $\ln M$  关系均上翘很厉害如图 1(a). 上述核-核碰撞末态高维相空间中  $\ln F$ - $\ln M$  的剧烈上翘, 明显不同于轻子-轻子, 轻子-强子, 强子-强子碰撞过程的末态高维相空间中  $\ln F$ - $\ln M$  的关系 (如图 1(b)). 这种核-核碰撞高维相空间  $\ln F$ - $\ln M$  的剧烈上翘与核-核碰撞一维相空间间歇指数最小的规律正好相反. 是什么原因造成上述现象呢? 使核-核碰撞一维间歇减弱的基元碰撞混合效应为何在高维反而使得阶乘矩上翘加剧呢? 本文试图对此作出回答.

## 2 分 析

实际上, 在强子-强子碰撞末态, 其  $\ln F$ - $\ln M$  关系在高维相空间也略有上翘. 对此, 吴元芳和刘连寿成功地用末态相空间各向异性的观点进行了解释<sup>[7,8]</sup>, 并用 NA22 数据进行了验证<sup>[9]</sup>. 其主要内容是: 在末态高维相空间 (如下例中的二维相空间), 纵向和横向的分形标度不相同, 称为各向异性分形, 如图 2(a). 两者的对数比  $H = \lambda_{\parallel} / \lambda_{\perp} \neq 1$  称为赫斯特指数, 标志了分形的各向异性程度.

高能碰撞末态相空间的各向异性使得末态粒子分布是  $H < 1$  的各向异性分形. 然而, 人们在进行阶乘矩分析时往往按  $H = 1$  对相空间各向同性地分割, 如图 2(b). 分析阶乘矩时所用的相空间分割方式和实际相空间的各向异性性质不一致, 对各向异性的自仿射分形进行了各向同性的自相似分析, 导致强子-强子碰撞  $\ln F$ - $\ln M$  的微弱上翘.

那么, 核-核碰撞末态高维相空间中  $\ln F$ - $\ln M$  关系的上翘现象是否也是上述末态相空间各向异性的原因造成的呢? 当然, 在核-核碰撞中各基元碰撞过程的末态也是各向异性的. 但仅据此无法解释为何核-核碰撞中  $\ln F$ - $\ln M$  的急剧上翘.

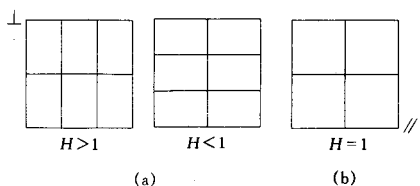


图 2 末态二维相空间分形示意图  
(a) 各向异性分形; (b) 各向同性分形.

分布区域各不相同. 这些基元碰撞末态相互错位的叠加, 使得在纵向, 整个末态的有效分割数大于每个基元碰撞末态的分割数,

$$M_{\parallel}^{\text{有效}} \gg M_{\parallel}, \quad (3)$$

如图 3. 而在横向方位角空间, 不同的基元碰撞末态分布区域均是  $[0, 2\pi]$ . 它们的叠加不改变整个末态的分割数. 即: 在横向, 整个末态的有效分形标度  $M_{\perp}$  等于每个基元碰撞的分形标度,

$$M_{\perp}^{\text{有效}} = M_{\perp}. \quad (4)$$

由于核-核碰撞基元过程混合叠加引起纵横两向的有效分形标度有不同的变化, 使得整个末态的有效分形标度的相对值(赫斯特指数)增大,

$$H^{\text{有效}} = \frac{M_{\parallel}^{\text{有效}}}{M_{\perp}^{\text{有效}}} \gg H = \frac{M_{\parallel}}{M_{\perp}}. \quad (5)$$

如果仍然使用基元碰撞末态分形的  $H$  值去分析核-核碰撞末态的间歇性质, 就会使得所得到的  $\ln F - \ln M$  关系上翘. 且碰撞核越重, 相互叠加的基元碰撞数越多, 纵向的混合效应越明显, 有效分形标度变得越大, 从而有效  $H$  值也越大,  $\ln F - \ln M$  上翘越剧烈. 这样就定性地解释了核-核碰撞末态高维相空间  $\ln F - \ln M$  的急剧上翘现象.

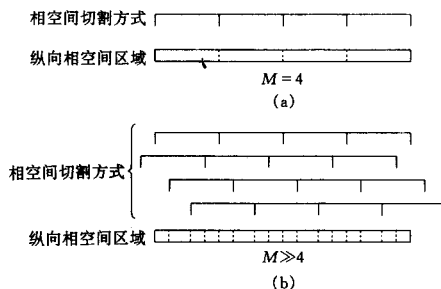


图 3 纵向速度区间的切割方式  
(a) 基元碰撞过程; (b) 叠加.

### 3 模型结果

为了证实上述观点, 我们采用一个简单的随机级联模型, 进行 Monte Carlo 模拟.

为了计算方便, 我们的模型建立在二维相空间, 并设每个基元碰撞的  $H=1$ .

在纵向, 每个基元碰撞的末态分布为一大小为  $1+w$  ( $w > 0$ ) 的动态区间  $[-wr, 1+w-wr]$ , 如图 4. 其中,  $r$  为属于  $[0, 1]$  的随机数, 随不同的事件, 不同的基元碰撞而变化. 而在横向, 每个基元碰撞末态分布区域均为  $[0, 1]$ . 将每个事件中不同基元碰撞的末态粒子混合叠加作为此事件的末态, 并对它进行阶乘矩分析. 分析时取  $H=1$ .

模拟结果如图 5 所示. 首先, 当基元碰撞数  $A=1$  时,  $\ln F - \ln M$  为非常好的直线. 说明我们使用的方法和模型能正确反映碰撞本身所具有的间歇性质.

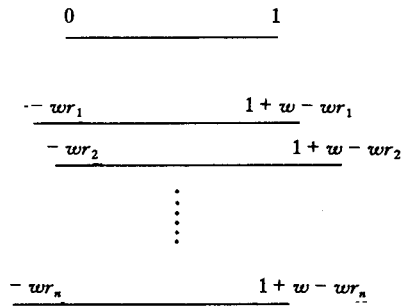


图 4

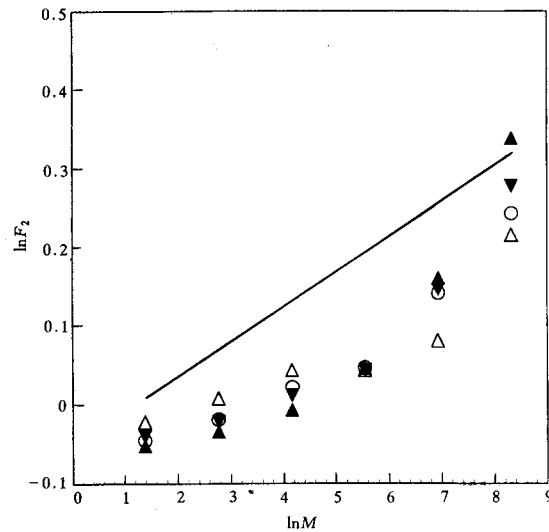


图 5 多个基元过程纵向随机平移叠加的 Monte Carlo 模拟结果

$A$  表示基元碰撞数目 —  $A=1$ ;  $\blacktriangle$   $A=5$ ;

$\blacktriangledown$   $A=4$ ;  $\circ$   $A=3$ ;  $\triangle$   $A=2$ .

当  $A=2, 3, 4, 5$  时,  $\ln F-\ln M$  为上翘曲线, 且随着  $A$  增加, 上翘越剧烈, 较好地符合核-核碰撞末态高维相空间  $\ln F-\ln M$  上翘的实验现象, 且随着核变重, 上翘越剧烈.

## 4 小结和讨论

以上通过分析核-核碰撞中基元碰撞的叠加在纵向和横向的不同效果, 指出这一叠加使得纵向有效分割数变大, 而横向有效分割数不变. 其结果, 有效赫斯特指数变得大于一. 这是对核-核碰撞末态进行  $H=1$  的自相似阶乘矩分析时, 高维相空间  $\ln F-\ln M$  剧烈上翘的原因. 用 Monte-Carlo 模拟的结果证实了这一论断.

从这一结果, 可以得出以下两个推论:

i 如果对核-核碰撞数据采用大于一的赫斯特指数  $H > 1$  进行分析, 即: 让纵向相空间的分割比横向相空间的分割更细, 将能使  $\ln F-\ln M$  的上翘曲线变直.

ii 在现有能量下, 相互碰撞的核越重,  $\ln F-\ln M$  上翘越剧烈. 但是, 如果在未来的超高能核-核碰撞中形成了夸克-胶子等离子体 (QGP), 则整个系统将融为一个单一的整体, 不再有基元碰撞的叠加效应, 因而即使是很重的核对撞  $\ln F-\ln M$  也不会剧烈上翘.

用实验来检验这两条预言是很有趣的. 特别是, 在用  $H=1$  进行各向同性分析时,  $\ln F-\ln M$  剧烈上翘的消失可以作为夸克-胶子等离子体 (QGP) 生成的一个新的, 易于观察的信号.

## 参 考 文 献

- [1] A. Bialas, R. Peschanski, *Nucl. Phys.*, **B273**(1986)703; **B308**(1988)851.
- [2] N. Schmitz, in *Proceedings of the XXI Int. Symp. on Multiparticle Dynamics*, edited by Wu Yuanfang and Liu Lianshou (World Scientific, Singapore, 1992) and the papers cited therein.
- [3] 同 [2].
- [4] B. Buschbeck, P. Lipa, The first paper in *the Proceedings of the Cracow Workshop In Multiparticle Production*, edited by R. C. Hwa (World Scientific, May 1993).
- [5] B. Woseik, talk given at *the XXV Int. Symp. on Multiparticle Dynamics*, Stara Lesna, 1995.
- [6] NA35, I. Derado, in the *Proc. Ringberg Workshop on Multiparticle Production*, Ringberg Castle Germany (1991), (World Scientific).
- [7] Wu Yuanfang, Liu Lianshou, *Phys. Rev. Lett.*, **70** (1993) 3197.
- [8] 吴元芳、刘连寿, *中国科学*, **A24** (1994)1299.
- [9] EHS/NA22 Collaboration, Self-affine Fractality in  $\pi^+ p$  and  $K^+ p$  Collisions at 250 GeV/c, to be published; Nijmegen preprint HEN-387 (1996).

## Compensation Effect of Intermittency in N-N Collisions

Hu Yuan    Deng Yue    Liu Lianshou

*(Institute of Particle Physics, Huazhong Normal University, Wuhan 430070)*

Received 28 May 1996

## Abstract

The experiments about anomalous scaling of the factorial moments in nuclear-nuclear collisions show that in the final state higher-dimensional phase space, the log-log plot of the factorial moments versus partition number seem to show a strongly upward bending. Taking into account that the nuclear-nuclear collision is mixture of many elementary collisions, we give an explanation for the above phenomenon. A random cascading model is set up based on the above view point, and the Monte Carlo simulation fits the experimental phenomenon qualitatively. The possible application of this effect is discussed.

**Key words** N-N collision, intermittency, elementary collision, compensation effect.