关于多重产生中的间歇现象

吴元芳　张昆实*　刘连寿

(华中师范大学粒子物理研究所，武汉 430070)

关键词　间歇、阶乘矩、多重数、快度、相空间

近两年来，在多粒子产生领域中，对窄快度窗口中的阶乘矩的研究引起了很大的兴趣. Bialas 和 Peschanski 提出[1]，利用阶乘矩能够消去多粒子产生中的统计起伏，而使动力学起伏显露出来. 他们建议用阶乘矩的对数对快度间隔倒数的对数的斜率 φ_i 在间隔宽度趋于零时的极限

$$\varphi_i = \lim_{\delta y \to 0} \frac{\ln F_i}{\ln (1/\delta y)} \tag{1}$$

作为表征动力学起伏的特征量. 如果对于某一过程 φ_i 不为零，则称这一过程中有间歇现象. 对于在所考虑的快度区间 Δy 中有固定多重数 n 的事件，(1) 式中的阶乘矩定义为

$$F_i = M^{i-1} \sum_{m=1}^{M} \frac{\langle n_m(n_m-1)\cdots(n_m-i+1)\rangle}{n(n-1)\cdots(n-i+1)}, \tag{2}$$

其中 M 是在区间 Δy 中的间隔数，n_m 是在第 m 个间隔中的粒子数. 对于有不同多重数的事件，F_i 的定义是

$$F_i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^{M} \frac{\langle n_m(n_m-1)\cdots(n_m-i+1)\rangle}{\langle n_m\rangle^i}. \tag{3}$$

在实际实验中，$\delta y \to 0$ 的条件不可能严格满足，(1) 式中定义的斜率 φ_i 只能测量到实验的分辨率所容许的限度. 在短短两年内，对不同能量下的不同类型碰撞都进行了这样的测量[2-4]，在所有情况下都观察到了不为零的 φ_i. 这一现象通常被称为间歇或阵发混沌 (Intermittency)，尽管它和湍流与混沌理论中的间歇和阵发混沌的联系还并不很清楚.

在这篇短文中，我们要利用 Bialas 和 Peschanski[1] 类似于湍流理论中的随机乳化模型[5] 提出的 α 模型，讨论上述间歇现象，分析间歇指数随各种物理参量变化的趋势.

本文包括两部分. 第一部分对模型加以发展，使之能满足几率守恒和能量守恒. 第二部分讨论间歇程度随能量、多重数和横动量而变化的一般趋势，并给出一种可能的解释.

在最初提出的 α 模型[1]中，存在两个问题：一个是在快度窗口分割的每一步几率不守恒；另一个是，它只在快度中心区成立，在这一区域中，快度平台近似是平的，能量守恒的影响可以忽略. 此外，在分割的每一步中，起伏的大小被取为一个固定的数，只是它的几率随机. 这样处理虽然比较简单，但是一般说来不符合实际情况.

我们用如下的方法来保证几率守恒. 首先让区间 Δy 中的几率为 $p_0 = 1$；然后将这一

本文 1990 年 3 月 10 日收到.

* 通信处：荆州师范专科学校物理科.

区间分为两部分，在这两部分中的几率分别取为 $p_1 = p_0W_1$ 和 $p_2 = p_0W_2$，而

$$W_1 = \frac{1+\alpha r}{2};\quad W_2 = \frac{1-\alpha r}{2}, \tag{4}$$

其中 r 是在 $[-1,1]$ 中均匀取值的一个随机数，$0 \leqslant \alpha \leqslant 1$ 是表征间歇程度的一个参数．所得到的两个子区间又各分为两部分，其中的几率再一次用相应子区间中的几率乘以 W_1、W_2 得到．这一过程继续进行下去，得到不断分细的快度间隔中的几率．这一几率的矩在间隔宽度减小时有反常指数规律，从而构成了间歇现象的一个数学模型．显然，在这样做的时候，分割的每一步的几率都是归一化的；而且分割的每一步中起伏的大小在 $[-\alpha,\alpha]$ 范围内随机地变化，而不是一个固定的数．

其次，让我们来考虑能量守恒的要求．能量守恒的影响使得全快度区中的快度平台不平，而且不同多重数的快度平台有不同的形状[6]．为了满足这一要求，在将快度区间 $[y_1, y_2]$ 分为两部分 $[y_1, y']$ 和 $[y', y_2]$ 时，先计算面积

$$I_1 = \int_{y_1}^{y'} \left.\frac{dn}{dy}\right|_n dy,\ I_2 = \int_{y'}^{y_2} \left.\frac{dn}{dy}\right|_n dy, \tag{5}$$

其中下标 n 表示被积函数是固定多重数 n 的快度平台；然后让所得到的两个子区间中的几率分别为 $p_1 = p_0W_1$ 和 $p_2 = p_0W_2$，其中 p_0 是原区间 $[y_1, y_2]$ 中的几率，而

$$W_1 = \frac{I_1}{I_1+I_2} + \alpha r,\ W_2 = \frac{I_2}{I_1+I_2} - \alpha r, \tag{6}$$

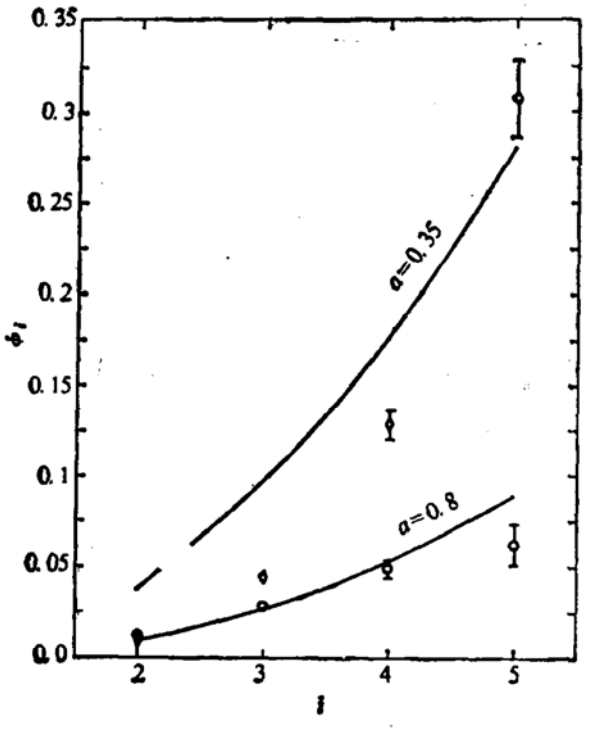


图 1　阶乘矩的对数对快度间隔倒数的对数的斜率 φ_i 作为 i 的函数

数据取自文献 [3] 和 [4]．曲线是二分量模型当 $\alpha = 0.3$、$a = 0.35$ 和 0.8 的计算结果．

◇ NA22$\pi^+p\sqrt{s}$ = 22GeV；○ UA1$p\bar{p}\sqrt{s}$ = 630GeV

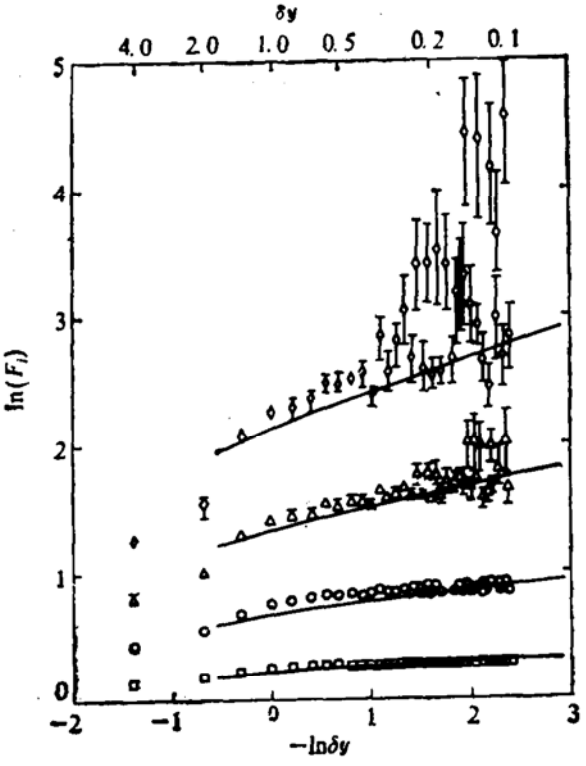


图 2　阶乘矩作为间隔宽度的函数

数据取自文献 [3]；曲线是二分量模型 $\alpha = 0.3$、$a = 0.35$ 的计算结果．

NA22$\pi^+p\sqrt{s}$ = 22GeV，□ Order $i-2$；○ Order $i=3$；△ Order $i=4$；◇ Order $i=5$

r 是在 $[-A, A]$ 中的一个随机数，

$$A = \min\left(\frac{I_1}{I_1 + I_2}, \frac{I_2}{I_1 + I_2}\right).$$

这样做能复现半单举快度平台，表明能量守恒的要求得到了满足．这样，我们就成功地将 α 模型改造得同时满足几率守恒和能量守恒．

现在让我们转而讨论间歇程度随不同物理特征量的变化．实验数据[2-4]表明，当能量，多重数和横动量增大时，间歇程度变弱．在强子-强子和核-核碰撞中都是这样．通常都相信，对于高碰撞能量，以及(或者)大多重数和大横动量，夸克胶子等离子体（QGP）更容易形成．因此，间歇现象看来并不像和 QGP 有联系．受到这一点的启发，我们认为，间歇是描述相空间中的非均匀性．末态粒子在相空间中分布越均匀，间歇现象就越弱．如果末态粒子在相空间中完全均匀地分布，就不会有任何间歇现象．有可能在 QGP 形成时会发生后一情况．

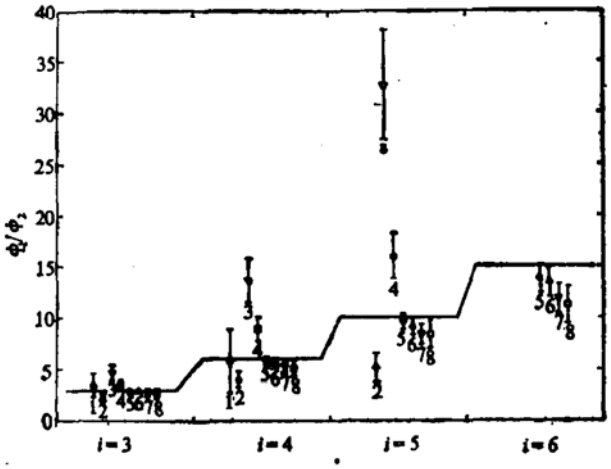


图 3　实验观察到的比值 φ_i/φ_2 和 $i(i-1)/2$（图中的阶梯线）的比较

实验数据取自文献[3,4,8,9].

1. TASSO e^+e^- 35 GeV；2. UA1 $\bar{p}p$ 630 GeV；3. NA22 $\pi(K) - p$ 22GeV，$\Delta y = 4$；4. NA22 $\pi(K) - p$ 22 GeV $\Delta y = 3$；5. WA80 O − C 200 GeV，$E_{ZDC} = 2.1$—2.4；6. WA80 O − C 200GeV，$E_{ZDC} \leqslant 1.7$；7. WA80 O − C 200GeV，$E_{ZDC} = 1.0$—1.8；8. WA80 O−C 200 GeV，$E_{ZDC} \leqslant 0.4$

为了使上述论断更清楚，让我们考虑一个简单的二分量模型，其中一个分量有 $\alpha = 0.3$ 的间歇，另一个分量无间歇．令后一分量所占比例为 a．当 a 增加时，$\ln F_i$ 对 $\ln(1/\delta y)$ 的斜率 φ_i 减小．在图 1 和图 2 上画出了 NA 22 和 UA 1 实验组的数据以及二分量模型在 $a = 0.35$ 和 0.8 时的计算结果．由图可见，模型的计算结果和实验的趋势相符．自然，这一模型过于粗糙，它只不过表明，当能量升高时，相空间中分布的均匀性增加可能是导致间歇程度随能量的升高而变弱的原因．

我们还想指出，α 模型预言比值 φ_i/φ_2 接近于 $i(i-1)/2$[1]．这远远小于 $\sqrt{s} = 22$GeV 的强子-强子碰撞实验中所观察到的相应比值，如图 3．对于集团模型[7]，这一比值甚至更小一些．这一重要事实表明，可能存在和“随机乳化”及“成团”不同的其它机制．

参　考　文　献

[1] Bialas, A. and Peschanski, R., *Nucl. Phys.*, **B273**(1986), 703; *ibid.* **B308**(1988),857.

[2] Kittel, W., *Acta Phys. Polonica*, **B20**(1989), 391.

[3] EHS/NA22 Collaboration, Intermittency effects in $\pi_+ p$ and $K^+ p$ collisions at 250GeV/c,Submitted paper to *HEP*'89, Madrid(1989).

[4] Buschbeck, R. and Lipa, P., A study of intermittency in $\bar{p}p$ collisions at $\sqrt{s} = 630$ GeV, Preprint UA1/TN 89-06.

[5] See for example, Paladin, G. and Vulpiani, A., *Phys. Reports*, **156** (1987).

[6] Cai Xu, Liu Lianshou and Meng Tachung, *Phys. Rev.*, **D29**(1984), 869; 刘连寿、秦立红、庄鹏飞，中国科学，A辑，1986,710.

[7] Seibert, D. In termittency in high-energy and nuclear Collisions, Preprint, 1989.

[8] Albrecht, R. et al. (WA80), *Phys. Lett.*, **B221**(1989), 427.

[9] Braunschweig, W. et al., *TASSO*, DESY, Preprint, 89—092.