

# 高能强子-核碰撞中 KNO 标度多重数分布的普适性破坏与多源模型\*

周景晨 蔡 勳

(华中师范大学粒子物理研究所, 武汉)

## 摘 要

本文用多源模型 (Multisource Model) 计算了高能强子-核碰撞的多重数高次矩。计算结果与最近的 N. N. Biswas 等人的实验数据符合较好, 自然地解释了强子-核碰撞的 KNO 标度普适性破坏。

高能强子-核碰撞给我们提供了研究强相互作用时空演化的可能性。这方面的研究之一是关于产生粒子多重数的分布问题: 对于不同大小的靶核, KNO 标度的多重数分布是否具有普适性。最近 Biswas<sup>[1]</sup> 等人在强子与不同靶核碰撞的实验中观察到, KNO 标度的多重数分布明显偏离强子-强子碰撞中所观测到的标度分布, 并且偏离程度与靶核的大小  $A$  有关。这个问题已引起了理论研究的注意<sup>[2]</sup>。

强子-核碰撞中的 KNO 标度普适性要求多重数分布的高次矩应与靶核的大小无关。在本文中, 我们用蔡勳、赵维勤、孟大中等人提出的多源模型 (Multisource Model)<sup>[3]</sup> 计算高能强子-核碰撞多重数分布的高次矩, 得到的各次矩的值与  $A$  明显相关。

在强子-核相互作用中, 入射强子要与靶核内的几个核子碰撞; 末态不仅取决于碰撞核子数, 还取决于入射强子怎样与这些核子相互作用。

多源模型引入了一个有效靶概念 (ET)——碰撞核子数的集合。假设在 ET 内的  $\nu_{ET}$  个核子中, 有  $\nu$  个核子与入射强子发生非衍相互作用, 并且每一个非衍过程可以用统计模型<sup>[4]</sup>来描述。根据多源模型, 入射强子与 ET 中的  $\nu$  个核子发生  $\nu$  次非衍碰撞, 将形成一个  $P^*$  系统, 一个  $C^*$  系统和  $\nu$  个  $T^*$  系统。 $P^*$  和  $\nu$  个  $T^*$  系统的形成与衰变和强子-强子碰撞的情况相同。也就是说, 每一个系统的物质化能量随机地从两个能源上获得。因此, 每一个系统所产生的带电强子的多重数分布(假设带电强子的多重数与物质化能量成正比)将满足:

$$\langle n_i \rangle P(n_i) = 4 \frac{n_i}{\langle n_i \rangle} \exp \left[ -2 \frac{n_i}{\langle n_i \rangle} \right] \quad (1)$$

式中  $i$  表示  $P^*$  系统和  $\nu$  个  $T^*$  系统中的任意一个。

定义系统  $i$  的多重数矩<sup>[5]</sup>

\* 国家自然科学基金和国家教委优秀年轻教师基金资助课题。  
本文 1988 年 12 月 24 日收到。

$$G_q^{(i)} = \langle n_i^q \rangle / \langle n_i \rangle^q, \quad q = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

则由(1)式立即得到

$$\begin{aligned} G_q^{(i)} &= \frac{1}{\langle n_i \rangle^q} \int_0^\infty n_i^q P(n_i) dn_i \\ &= \frac{(q+1)!}{2^q} \end{aligned} \quad (3)$$

与  $P^*$  和  $\nu$  个  $T^*$  系统不同,  $C^*$  系统从  $\nu+1$  个源中随机地获得它的物质化能量, 因此相应的带电强子多重数分布满足下列公式:

$$P_C(n_C | 1 + \nu) = \frac{(\nu+1)^{\nu+1}}{\nu!} \frac{1}{\langle n_C \rangle^\nu} \left[ \frac{n_C}{\langle n_C \rangle} \right]^\nu \exp \left[ -(\nu+1) \frac{n_C}{\langle n_C \rangle} \right] \quad (4)$$

由此不难导出  $C^*$  系统的多重数矩为

$$\begin{aligned} G_q^{(C)}(\nu) &= \frac{1}{\langle n_C \rangle^q} \int_0^\infty n_C^q P_C(n_C | 1 + \nu) dn_C \\ &= \frac{(q+\nu)!}{\nu!(\nu+1)^q} \end{aligned} \quad (5)$$

由于  $P^*$ ,  $C^*$  和  $\nu$  个  $T^*$  系统相互独立, 所以在这样一个事件中观察到  $n$  个带电粒子的几率为

$$P(n | 1 + \nu) = \sum P_P(n_P) P_C(n_C | 1 + \nu) P_T(n_{T1}) P_T(n_{T2}) \cdots P_T(n_{T\nu})$$

求和符号上面的撇号表示求和必须满足条件

$$n = n_P + n_C + n_{T1} + n_{T2} + \cdots + n_{T\nu}$$

那么入射强子与 ET 中的  $\nu$  个核子发生  $\nu$  次非衍碰撞一个事件的多重数矩是

$$\begin{aligned} G_q(\nu) &= \langle n^q \rangle / \langle n \rangle^q \\ &= \frac{1}{\langle n \rangle^q} \int (n_C + n_P + n_{T1} + n_{T2} + \cdots + n_{T\nu})^q P_C(n_C | \nu+1) \\ &\quad \cdot P_P(n_P) P_T(n_{T1}) P_T(n_{T2}) \cdots P_T(n_{T\nu}) \\ &\quad \cdot dn_C dn_P dn_{T1} dn_{T2} \cdots dn_{T\nu} \\ &= \sum_{I+J+K_1+K_2+\cdots+K_\nu=q} \frac{q! \alpha^I \left( \frac{1-\alpha}{1+\nu} \right)^{J+K_1+K_2+\cdots+K_\nu}}{I! J! K_1! K_2! \cdots K_\nu!} G_I^{(C)}(\nu) G_J^{(P)} G_{K_1}^{(T)} G_{K_2}^{(T)} \cdots G_{K_\nu}^{(T)} \end{aligned} \quad (6)$$

其中  $0 \leq I \leq q, 0 \leq J \leq q, 0 \leq K_1 \leq q, \dots, 0 \leq K_\nu \leq q$ ; 决定各系统相对大小的参量  $\alpha = 0.5$ , 取自文献[6]及其所引用的文献。

将(3),(5)式代入(6)中得到

$$\begin{aligned} G_q(\nu) &= \sum_{I+J+K_1+K_2+\cdots+K_\nu=q} \\ &\quad \times \frac{q! \alpha^I \left( \frac{1-\alpha}{1+\nu} \right)^{J+K_1+K_2+\cdots+K_\nu}}{I! \nu! (\nu+1)^I 2^{J+K_1+K_2+\cdots+K_\nu}} (I+\nu)! (J+1) (K_1+1) (K_2+1) \cdots (K_\nu+1) \end{aligned} \quad (7)$$

实验观察到的是具有不同  $\nu$  的事件的一个统计平均, 因此还需要靶核  $A$  的  $\nu$  分布,  $W_A(\nu)$ . 假设核密度为常数, 并且考虑到在一个有效靶 ET 内有  $\nu$  个核子发生非衍碰撞的几率是一个二项式分布式

$$B(\nu|\nu_{ET}, p) = \binom{\nu_{ET}}{\nu} p^\nu (1-p)^{\nu_{ET}-\nu}, \quad (8)$$

式中,  $p = 0.75$ , 取自文献[3].

于是, 我们有

$$W_A(\nu) = \frac{1}{N} \sum_{\nu_{ET}=\nu}^{\nu_{ET}(\max)} F_A(\nu_{ET}) B(\nu|\nu_{ET}, p), \quad (9)$$

式中,  $N$  是归一化常数,  $F_A(\nu_{ET})$  表示在有效靶中有  $\nu_{ET}$  个核子参加碰撞的几率

$$F_A(\nu_{ET}) = \frac{b^2(\nu_{ET}) - b^2(\nu_{ET} + 1)}{b^2(\nu_{ET} = 1)}. \quad (10)$$

$b(\nu_{ET})$  是碰撞参数  $b$  作为  $\nu_{ET}$  的函数, 本文的计算中采用了文献[3]的假设.

这样入射强子与质量数为  $A$  的靶核碰撞的多重数矩为

$$C_q(A) = \sum_{\nu} G_q(\nu) W_A(\nu)$$

我们计算了 2 到 5 次的矩, 结果和实验数据的对比, 列在表 1 中. 由表 1 可见, 多源模型给出的计算结果, 几乎落在实验数据的误差范围之内. 可以看出, 多重数各高次矩与靶核的大小  $A$  有关, 随  $A$  的增加而增大. 因此, 用多源模型能够很自然地解释了高能强子-核碰撞的 KNO 标度普适性破坏.

表 1 强子与不同靶核相互作用的多重数矩  $C_q$  值, 多源模型的计算值下面列出的是实验数据  
(实验数据从文献[1]中的多重数分布得到)

射 弹	靶核 A	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$P/\bar{P}$ (100GeV/c)	$^{24}\text{Mg}$	1.24 1.26±0.07	1.87 1.91±0.11	3.35 3.39±0.20	7.08 6.79±0.39
	$^{108}\text{Ag}$	1.25 1.29±0.04	1.89 2.00±0.06	3.43 3.52±0.11	7.30 6.78±0.21
	$^{197}\text{Au}$	1.27 1.34±0.05	1.97 2.15±0.08	3.70 3.87±0.15	8.25 7.53±0.28
$\pi^+/\pi^-$ (100GeV/c)	$^{24}\text{Mg}$	1.26 1.27±0.06	1.94 1.97±0.10	3.58 3.59±0.18	7.78 7.40±0.38
	$^{108}\text{Ag}$	1.30 1.34±0.04	2.13 2.23±0.06	4.25 4.28±0.12	10.01 9.13±0.26
	$^{197}\text{Au}$	1.29 1.35±0.04	2.07 2.22±0.07	4.02 4.17±0.13	9.34 8.64±0.27

作者感谢庄鹏飞博士在计算中给予的帮助.

### 参 考 文 献

- [1] N. N. Biswas et al., *Phys. Rev.*, **D33**(1986), 3167.  
[2] E. R. Nakamura et al., *Phys. Rev.*, **D27**(1983), 1457;  
A. Capella et al., *Phys. Rev.*, **D35**(1987), 2921;  
D. Kiang et al., *Phys. Rev.*, **D31**(1985), 31.  
[3] Cai Xu, Chao Wei-qin and Meng Ta-chung, *Phys. Rev.*, **D36**(1987), 2009.  
[4] Liu Lian-sou and Meng Ta-chung, *Phys. Rev.*, **D27**(1983), 2640;  
Chou Kuang-chao et al., *ibid.*; **28**(1983), 1080;  
Cai Xu et al., *ibid.*, **33**(1986), 1287.  
[5] 蔡勳, 吴元芳, 刘连寿, 高能物理与核物理, **11**(1987), 554.  
[6] Cai Xu LUNFD6/(NFFK-7061) 1-28(1985) 及所引用的文献.

## BREAK DOWN OF UNIVERSALITY OF KNO SCALED MULTIPLICITY DISTRIBUTIONS IN HIGH ENERGY HADRON-NUCLEUS COLLISIONS AND MULTISOURCE MODEL

ZHOU JINGCHEN CAI XU

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

### ABSTRACT

Higher moments of the multiplicity distributions in high energy hadron-nucleus collisions are calculated in the framework of the Multisource Model. The results are in agreement with the data presented by N. N. Biswas et al. It naturally explains the break down of the universality of KNO scaling in high energy hadron-nucleus collisions.