

快报

相对论重离子碰撞中的多重数分布 与核的几何*

赵维勤 刘波

(中国北京理论物理中心,中国科学院高能物理所,北京)

摘 要

用基于几何考虑的模型,很好地符合了 NA35 的多重数分布数据,并得到确定碰撞核时的 KNO scaling. $\langle n \rangle$ 与 D 随 E_T -cut 增高的变化也得到解释.

最近, NA35 组发表了 60GeV/N 与 200GeV/N 入射能的 ^{16}O 与不同靶核碰撞中产生的多重数分布的新结果^[1]. 流光室使他们有可能在不同的实验条件下测量带正电和带负电粒子的多重数. 这些数据,以及 CERN 其他实验组较早发表的 E_T -分布的数据^[2]引起了人们很大的兴趣. 这些材料正被广泛用于检验现有的模型^[3,4]. 作为第一步,对这些材料的分析基于如下的假设: 在核-核 (A-A) 碰撞时,除了那些被碰撞的核子之外,不存在特别的机制. 这一步的工作可以帮助我们理解高能 A-A 碰撞的大部分实验材料,而且将提供进一步研究未知现象的基础,比如: 研究集体效应和物质新形态的形成.

很多作者^[3-5]已经指出,在 高能重离子碰撞中,核的几何起着重要的作用. 碰撞参数 b 确定了两个核的重叠区域. 对于在一个确定碰撞参数上的事例,在重叠区内的核子叫做参加者. 参加者的数目可以从几何考虑计算得到. 当考虑碰撞参数 b 的变化时,就能得到参加者数目的分布. 为了研究 A-A 碰撞中的某物理观察量,作为输入量,每个参加者对这一观察量的贡献应该从自由的 p-p 过程确定. (在 p-p 碰撞中,有两个参加者.) 在具有 μ_p 个人射核中的参加者, μ_T 个靶核中的参加者的事例中,对于某观察量的总贡献可以将 $\mu_p + \mu_T$ 个单独参加者的贡献卷积而得到.

基于类似的考虑,文献[3, 4]已对 ^{16}O 和 ^{32}S 与不同靶核碰撞中的 E_T 分布进行了计算,结果与实验符合很好. 由于在 p-p 碰撞中多重数近似与横能成正比,人们自然想到: 在 A-A 碰撞中如果没有别的机制存在,则相同的正比关系应当仍然存在. 因此,就值得用类似于分析 E_T 分布的方法来分析多重数分布的数据.

本文根据简单的几何考虑分析了 NA35 组最新发表的多重数 (n -) 分布的数据. 首先,我们讨论一个人射核 B 与一个靶核 A 在固定碰撞参数 b 上的碰撞. 为了计算在两个核重叠区内的参加者数目, $\mu_B(b) + \mu_A(b)$, 我们引入单核子断面函数

* 国家自然科学基金资助的课题.
本文 1988 年 8 月 4 日收到.

$$D_i(\mathbf{s}) = \int dz \rho_i(\mathbf{s}, z). \quad (1)$$

这里 $\rho_i(\mathbf{s}, z)$ 是在核 i 中单核子的密度分布(归一为1), $s = \sqrt{x^2 + y^2}$. 由此得到

$$\begin{aligned} \mu_B(b) &= B \int dx dy D_B(\sqrt{x^2 + (b-y)^2}) \theta(s_A + x_0 - \sqrt{x^2 + y^2}) \\ \mu_A(b) &= A \int dx dy D_A(\sqrt{x^2 + y^2}) \theta(s_B + x_0 - \sqrt{x^2 + (b-y)^2}). \end{aligned} \quad (2)$$

(2)式中的 s_A 与 s_B 是由下面的条件确定的:

$$\begin{aligned} A \sigma_H D_A(s_A) &= 1 \\ B \sigma_H D_B(s_B) &= 1. \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 式中的 σ_H 是核子-核子非弹截面. 这个条件要求, 核 $A(B)$ 中的核子至少要被核 $B(A)$ 中的核子碰一次才叫参加者. 参数 x_0 是考虑到 N-N 碰撞的作用范围而引入的.

为了得到在固定碰撞参数 b , 亦即具有固定数目的参加者 $\mu_A(b) + \mu_B(b)$, 的事例的 n -分布, 需要引入每个参加者的 n -分布作为输入量, 采用 Berliner 模型^[6]的参数化形式, 每个参加者提供如下的 n -分布:

$$p(n) = (3/\langle n_0 \rangle)^3 \cdot n^2 / 2 \cdot \exp(-3n/\langle n_0 \rangle). \quad (4)$$

这里 $\langle n_0 \rangle$ 是一个参加者所提供的平均多重数. 相应的 p-p 碰撞的 n -分布是

$$P_{1+1}(n) = (3/\langle n_0 \rangle)^6 \cdot n^5 / 5! \cdot \exp(-3n/\langle n_0 \rangle). \quad (5)$$

(5)式能很好符合 $E_L = 60 - 200 \text{ GeV}$ 的 p-p 碰撞的数据. 对于在 A-A 碰撞中具有 $\mu(b) = \mu_A(b) + \mu_B(b)$ 个参加者的事例, 得到的 n -分布是

$$P_{\mu(b)}(n) = (3/\langle n_0 \rangle)^{3\mu(b)} n^{3\mu(b)-1} / (3\mu(b)-1)! \cdot \exp(-3n/\langle n_0 \rangle). \quad (6)$$

对碰撞参数 b 作平均就得到最后的 n -分布

$$P(n) = 1/\pi b_{\max}^2 \int_0^{b_{\max}} 2\pi b db P_{\mu(b)}(n). \quad (7)$$

其中 b_{\max} 是从下面的条件确定的:

$$\min(\mu_A(b_{\max}), \mu_B(b_{\max})) = 1. \quad (8)$$

在我们的计算中, 每个参加者所提供的带负电粒子的平均多重数是从 p-p 碰撞中得到的. 在 $200 \text{ GeV}/N$ 时, 取 $\langle n_0 \rangle = 1.6$; 在 $60 \text{ GeV}/N$ 时, 取 $\langle n_0 \rangle = 1.0$. 在核中的单核子密度对于 $A > 16$ 取为

$$\rho_i(r) = \rho_{0i} / [1 + \exp((r - C_i)/Z_i)],$$

对于 $A = 16$ 取为

$$\rho(r) = \rho_0 (1 + \alpha r^2/a^2) \exp(-r^2/a^2).$$

参数 C_i, Z_i, a 与 α 取自文献[7]. 在(2)式中的 $x_0 = 0.6 \text{ fm}$, $\sigma_H = 30 \text{ mb}$. 我们得到的平均多重数和弥散与 NA35 数据^[1]的比较列于表1中. 图1是计算的带负电粒子多重数分布的 KNO 形式与相应实验结果^[1]的比较. 对确定的碰撞核我们的 KNO 曲线是与入射能量无关的, 并与实验数据的行为一致. 所得到的宽的 KNO 分布清楚地显示了在 A-A 碰撞中的几何效应: 碰撞参数的变化引起参加者数目很大的起伏. 由于几何效应对 KNO scaling 起本质的作用, 所得的结果对于输入每个参加者的 n -分布是不敏感的. 如果没有新的机制, 这一 KNO scaling 行为将会保持到更高的入射能量.

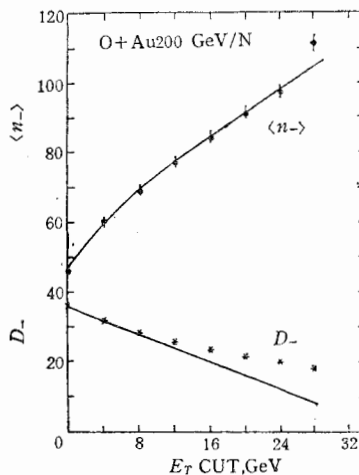
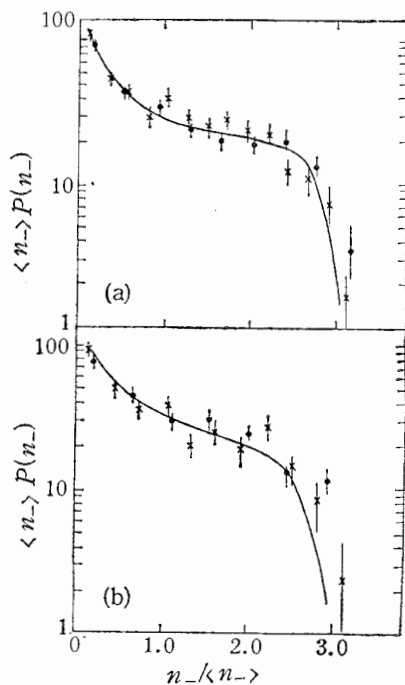


图 1 在 $^{16}\text{O}-\text{Au}$ 和 $^{16}\text{O}-\text{Cu}$ 碰撞中产生的负粒子多重数分布的 KNO 曲线. 实验材料取自文献[1]

图 2 200GeV/N 的 $^{16}\text{O}-\text{Au}$ 碰撞中产生的带负电粒子平均多重数和弥散随 $E_T\text{-cut}$ 的变化. 实验材料取自文献[1]

(a) O + Au (b) O + Cu
 ● 60GeV/N ● 60GeV/N
 × 200GeV/N × 200GeV/N

表 1 在 $^{16}\text{O}-$ 核碰撞中产生的带负电粒子的多重数分布的平均多重数和弥散与实验的比较, 实验材料取自文献[1].

靶	Cu				Au			
	60		200		60		200	
$E/A(\text{GeV})$	$\langle n_- \rangle$	D_-	$\langle n_- \rangle$	D_-	$\langle n_- \rangle$	D_-	$\langle n_- \rangle$	D_-
实验 ($\theta_{\text{Lab.}} < 60^\circ$)	22.3 ± 1.0	18.1 ± 1.1	34.7 ± 1.6	27.9 ± 1.7	27.0 ± 1.2	23.5 ± 1.4	45.6 ± 1.6	36.0 ± 2.1
计算	20.0	14.3	32.1	22.8	31.2	23.4	49.9	37.4

基于多重数近似地与横能成正比这一实验事实, 在我们的模型中每个参加者平均亦产生相同的横能 $\langle E_T \rangle$. 由此计算得, 随着测量中引入的横能 $(E_T)\text{cut}$ 的增高, 平均多重数逐渐增大, 而弥散逐渐减小. 这一结果及其与文献[1]中数据的比较在图 2 中给出. 对于 $2.3 < \eta < 3.8$, 我们选择 $\langle E_T \rangle = 0.3\text{GeV}$ 得到图 2 的结果. 这一选择与过去的工作^[47]是一致的. 这个结果来源于纯几何的原因: $E_T\text{-cut}$ 的增高意味着选择较小的碰撞参数, 亦即选择具有较小起伏的大的参加者数目的事例. 这必将导致 $\langle n \rangle$ 的增大与 D 的减

小.

本文基于几何考虑, 计算了不同碰撞参数时的参加者数目, 由此很好地符合了新的 NA35 组的多重数分布数据. 本文预言, 如果没有新的机制出现, 对确定碰撞核, 存在 KNO scaling. 对于平均多重数和弥散随着 E_T -cut 增高的变化也作了解释.

参 考 文 献

- [1] A. Bamberger et al. (NA35), *Phys. Lett.* **205B**(1988), 583.
- [2] See, for example, T. Akesson et al., (HELIOS), preprint CERN-EP/87-176; T. H. Humanic (NA 35), in Proc. of International Europhysics Conference on High Energy Physics, June 25-July 1, 1987 in Uppsala, Sweden; G. Claesson (WA80), *ibid.*
- [3] A. Capella, J. Tran Thanh Van, *Nucl. Phys. A* **461**(1987), 501c;
Bo. Andersson, *Nucl. Phys.* **A461**(1987), 513c;
A. D. Jackson, H. Boggild, *Nucl. Phys.* **A470**(1987), 669.
- [4] Liu Lian-sou, Meng Ta-chung, Peng Hong-an Preprint FUB-HEP/87-5a;
Liu Lian-sou, Meng Ta-chung, Pan Ji-cai, Peng Hong-an, preprint FUB-HEP/88-1;
Chao Wei-qin, Ren Jiang-long, preprint BIHEP-TH-88-11 .
- [5] See, for example, A. Beal, M. Bleszynski, W. Czyz, *Nucl. Phys.* **B111** (1976), 461.
- [6] Liu Lian-sou, Meng Ta-chung, *Phys. Rev.* **D27**(1983), 2640;
Chou Kuang-chao, Liu Lian-sou, Meng Ta-chung, *Phys. Rev.* **D28**(1983), 1080;
Cai Xu, Chao Wei-qin, Meng Ta-chung, *Huang Chao-shang Phys. Rev.* **D33**(1986), 1287.
- [7] C. W. De Jager et al., *Atomic Data and Nuclear Data Tables* **14**(1974), 479.

MULTIPLICITY DISTRIBUTION AND NUCLEAR GEOMETRY IN RELATIVISTIC HEAVY ION COLLISIONS*

ZHAO WEIQIN LIU BO

(Center of Theoretical Physics, CCAST (World Lab.), Beijing)

and

Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing)

ABSTRACT

Based on a geometric consideration the multiplicity distribution data of NA 35 are fitted very well. The KNO scaling for the same colliding nuclei is obtained. The change of $\langle n \rangle$ and D with increasing E_T -cut is also explained.

* Supported by the National Science Foundation of China