

高能核-核作用中不同带电强子快度分布*

冯笙琴 王正清

(宜昌师范专科学校物理系 湖北 443000)

1995-12-25 收稿

摘 要

在反应体质心系中, 依据热化模型并考虑碰撞参量的涨落及核阻止性, 对工作在BNL/AGS上E-802合作组给出的中心和周边Si与Au、Cu和Al相互作用的强子快度分布进行了分析和讨论.

关键词 碰撞参量的涨落, 反应体质心系, 核阻止本领.

1 引 言

随着高能重离子碰撞实验进一步深入, 已经可以给出象质子p、介子 K^+ 和 π^+ 等带电强子分布, 通过分析这些分布的一些特征, 可以进一步了解核-核相互作用机制.

最近的一些工作表明^[1-4], 在BNL/AGS上进行的Si+A相互作用, 虽然能量不高(14.6 GeV/n), 但是却具有较高的核阻止性, 当系统解冻时, 产生粒子系统的重子数密度大约为普通核物质密度($\rho_0=0.145 \text{ fm}^{-3}$)的5倍, 持续时间也较长, 因此我们可近似认为在BNL/AGS上进行的重离子碰撞形成的火球系统为一个势平衡系统.

在文献[5]中, 曾利用玻尔兹曼分布讨论了不同带电强子的快度分布, 他们在引入热化和纵向流设想后, 就可以拟合一些Si+Al相互作用结果. 在本文中, 也引入热化模型, 并从实验上分析, 引入碰撞参量 b 的涨落, 用这种思想解释了最近E-802合作组给出的Si与Au、Cu和Al中心与周边相互作用强子快度分布特征.

2 唯象分析

2.1 最近E-802合作组实验结果分析

最近, 工作在美国布鲁克海汶实验室(BNL/AGS)的E-802合作组给出了在入射能量 $E_{\text{lab}}=14.6 \text{ GeV/n}$ 下, Si与Au、Cu和Al中心和周边相互作用质子和介子快度分布^[6], 总结起来, 有三个明显特征:

* 湖北省青年发展基金资助.

(i) 对于中心碰撞, 质子和介子快度分布对靶大小有很强依赖关系, 靶越重, 分布峰的位置越趋近于靶快度区.

(ii) 质子快度分布与碰撞中心度有很强依赖关系, 周边碰撞的质子快度分布形状与中心碰撞的分布形状完全不同, 但是, 中心度改变对介子分布影响却不大.

(iii) 对于核-核周边碰撞, 质子和介子快度分布与靶大小近似无关, 它们的分布曲线都以核子-核子(N-N)碰撞质心快度 y_{NN} 为中心呈对称分布, 只不过 y_{NN} 为质子分布最低点, 却近似对应介子分布峰值位置.

下面结合反应体内热化模型对以上实验特征进行解释.

2.2 中心碰撞带电强子快度分布

两核经过激烈碰撞后, 形成的火球系统经历了形成、膨胀和冷却三个阶段, 当系统解冻时, 假定此时系统温度 T 与核大小和作用机制无关^[8], 取 $T=0.14$ GeV, 认为由此火球系统生成的强子呈玻尔兹曼分布形式

$$E \frac{d^3N}{dp^3} = gV_{fr} E \exp(-E/T), \quad (1)$$

其中 g 为产生强子的自旋和同位旋的简并因子, V_{fr} 为火球解冻时体积, $V_{fr} = \frac{N_f}{\rho_{fr}}$, 由文献[3, 4], 取解冻时重子数密度 $\rho_{fr} = 5\rho_0$, 由重子数守恒, 反应前后重子数目应相等, $N_f = P_s(A_{PF} + A_{TF})$, 其中 A_{PF} 和 A_{TF} 为某一碰撞参量 b 下射弹和靶参加反应的核子数目, 我们把所有参加反应核子组成的系统称为反应体, P_s 为核-核相互作用中全阻止几率, 对应反应体质心的快度(相对于实验室系)近似为

$$y_{CMP} = \frac{1}{2} \ln \left(1 + 2E_{lab} \frac{A_{PF}}{A_{TF}} \right), \quad (2)$$

A_{PF} 和 A_{TF} 是碰撞参量 b 的函数, 具体求法可参看文献[7], E_{lab} 为入射核能量 $E_{lab} = 14.6$ GeV/n. 在反应体质心系中对应发射强子能量 $E = m_T \cosh(y - y_{CMP})$, 其中 $m_T = \sqrt{m^2 + P_T^2}$ 为质量 m 的强子横质量, 将(1)式对 m_T 积分而得到

$$\frac{dN}{dy}(b) = gV_{fr} m^2 T \left[\left(1 + \frac{m}{T \cosh(y - y_{CMP})} \right)^2 + \frac{m^2}{T^2 \cosh^2(y - y_{CMP})} \right] e^{-\frac{T \cosh(y - y_{CMP})}{m}}, \quad (3)$$

为了解释E-802合作组实验结果, 我们引入在 $b=0$ 附近碰撞参量的涨落, 即对 $b=0$ 附近不同碰撞参量的结果求平均, 可得到中心碰撞的快度分布

$$\frac{dN}{dy} = \frac{\int_0^{b_m} \frac{dN}{dy}(b) b db}{\int_0^{b_m} b db}, \quad (4)$$

b_m 表示碰撞参量在 $b=0$ 附近涨落的幅值, 对不同靶 b_m 值不同, 通过拟合E-802组实

验结果, 分别给出 Si 与 Au、Cu 和 Al 的 b_m 值为 0.94、0.89 和 0.87. 在图 1 中分别给出了 Si 与 Au、Cu 和 Al 相互作用的质子分布, 图 2 中给出了 Si 与 Au 相互作用 π^+ 和 K^+ 介子的速度分布.

下面讨论一下在 $b=0$ 附近引入碰撞参量涨落的实验依据. 我们知道, 在重离子碰撞实验中, 在某一特定的方向上选择较大多重事例为中心碰撞事例, 这时多重数是在一定范围内给出的, 并且特定方向也有一定范围, 因此, 对应碰撞中心度也有一定范围, E-802 合作组给出中心碰撞截面与总截面之比在 7% 内, 理论上可以用 $b_m^2 / (R_p + R_t)^2$ 来衡量中心度涨落与总截面之比, 对于 Au、Cu 和 Al 它们大小分别为 7.4%、7.2% 和 9.8%, 基本上与实验一致.

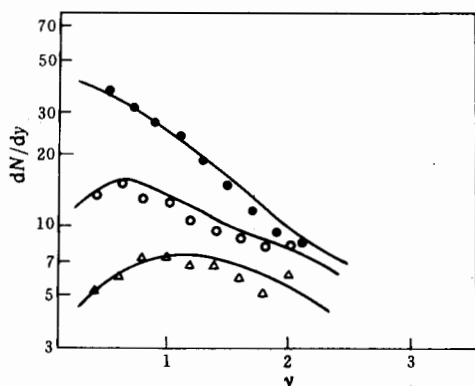


图 1 ^{28}Si 与 ^{197}Au 、 ^{64}Cu 和 ^{27}Al 中心相互作用质子速度分布

实线为热化模型计算结果, ^{197}Au 、 ^{64}Cu 和 ^{27}Al 的核全阻止几率分别为 0.96、0.91 和 0.88.

● Au, ○ Cu, △ Al.

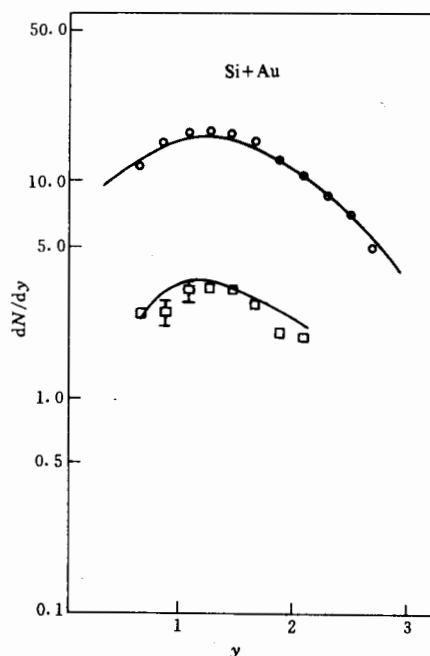


图 2 在 14.6 GeV/n 入射能量下, ^{28}Si 与 ^{197}Au 中心碰撞产生的 π^+ 、 K^+ 介子的速度分布

实线为本文计算结果, 实验点取自 E-802 合作组实验结果, ^{197}Au 核全阻止几率为 0.96.

● π^+ , □ K^+ .

2.3 周边碰撞的速度分布

2.3.1 质子分布的定性分析

对于两核周边碰撞, 由于参加反应的核子数较少, 核阻止本领也较小, 因此形成火球的初态温度较低, 对于质子, 它的质量较大, 由碰撞生成的质子数目很少, 因此就不能用热化模型来讨论周边碰撞的质子速度分布. E-802 合作组也给出了周边碰撞质子速度分布与中心碰撞完全不同特征. 对于较重靶, 在周边作用中参加反应核子数比较轻核多不了几个, 因此就会出现质子分布与靶大小近似无关的实验特征.

随着碰撞参量的进一步增大, 这时不管靶有多重, 核-核碰撞都接近于核子打固定核子靶的碰撞, 此时反应体质心速度都近似等于核子-核子质心速度 (y_{NN}). 由实验还

可发现, 质子速度分布是以 y_{NN} 为极小值的对称分布, 在靶快度区 ($y_T=0$) 和射弹快度

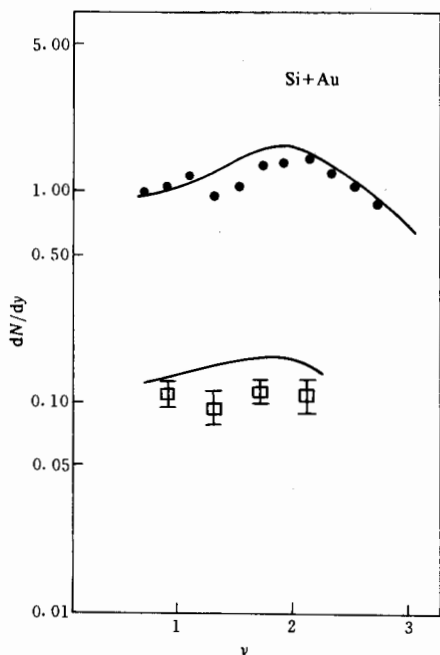


图3 在 14.6 GeV/n 入射能量下, ^{28}Si 与 ^{197}Au 周边碰撞产生的 π^+ 和 K^+ 介子的快度分布
实线为计算结果, 实验点取自 E-802 合作组实验结果.

● π^+ , □ K^+ .

区 ($y_P=3.36$) $\frac{dN}{dy}$ 有较大值, 这也说明周边碰撞核阻止本领小, 说明有较多参加反应核子在反应前后快度没有改变而直接穿透, 由此看来核阻止本领与碰撞参量有关. 对于中心碰撞, 由于 b 涨落不大, 因此可近似取 P_s 为常量, 但对于 b 涨落较大的周边碰撞, 必须考虑碰撞参量对核阻止本领大小的影响.

2.3.2 周边碰撞介子的快度分布

虽然周边碰撞参加反应的核子数较少, 核阻止本领也不大, 但由于 π 和 K 介子质量不大, 产生数目较多, 仍可用玻尔兹曼分布来分析它们的快度分布, 因此一些分析与中心碰撞的相同, 只是要考虑碰撞参量对核阻止本领大小的影响, 取

$$P_s = \left[1 - \left(\frac{b}{R_p + R_T} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (R_p \text{ 和 } R_T \text{ 分别对应}$$

射弹和靶的半径). 为了拟合 E-802 周边碰撞的实验结果, 引入碰撞参量 b 在 $b_n - R_p + R_T$ 之间涨落. 在图 3 中给出了 Si+Au 作用中 π^+ 和 K^+ 介子快度分布以及与 E-802 组实验结果的比较, 涨落下限 $b_n = 8.2\text{fm}$, 对应

周边碰撞涨落截面与总截面之比为 $1 - \frac{b_n^2}{(R_p + R_T)^2} \approx 40\%$, 在 E-802 实验结果的 50%

以内.

3 总结与讨论

本文用一种热化模型对现今 AGS 能区核-核相互作用的实验特征进行了分析, 总体上讲, 可以得到两点认识: (1) 从实验分析出发, 引入碰撞参量涨落, 也即是考虑核几何对作用机制的影响, 说明了核-核相互作用中, 不同带电强子分布对核几何仍具有一定的依赖关系; (2) 对于 AGS 能区的两核中心碰撞, 总体上讲核阻止本领都较大, 并且随着靶加重, 核阻止性还会增强. 另一方面, 核阻止本领对碰撞参量也有很强依赖关系, 随着 b 增大, 核阻止本领在明显地减小.

按照上述反应体质心内热化模型可以对 E-802 合作组的实验结果进行解释:

(a) 对于固定射弹核的中心碰撞, 靶越重, 对应靶核中参加反应核子数较多, 由

(2—4) 式可以看出, 反应体质心系快度却在减小, 对应产生粒子分布峰位置将移向靶快度区, 这样就解释 E-802 合作组的实验特征 (i).

(b) 对于碰撞参量 b 较大的周边碰撞, 参加反应核子数较少, 核阻止本领在减小, 对应核穿透性却较大, 由于有较多未参加作用的穿透核子, 对应质子分布在靶快度区 ($y_T=0$) 和射弹快度区 ($y_p=3.36$) 取较大值. 另外, 由于周边作用形成的火球温度较低, 质子质量又较大, 从而产生质子数目就很少, 不能用热化模型来解释, 因此周边作用质子分布与中心碰撞质子分布特征完全不同. 但对于质量较小的 π^+ 和 K^+ 介子, 由于产生粒子数较多, 且分布受穿透核子影响较小, 因此 b 改变时介子分布影响较小, 这就对应特征 (ii).

(c) 当碰撞参量 b 增大到一定程度时, 不管靶核多重, 核-核碰撞都接近于核子打固定靶, 此时反应体质心快度接近于核子-核子作用质心快度 (y_{NN}). 结合上面的讨论可以看出, 对于周边作用质子分布将是以 y_p 和 y_T 处为极大值和以 y_{NN} 为极小值的分布曲线; 而对介子分布将近似以 y_{NN} 为峰位置的分布曲线, 与中心作用介子分布特征基本上相同, 这就对应实验特征 (iii).

参 考 文 献

- [1] J. Barrette *et al.*, E814, Coll., *Phys. Rev. Lett.*, **64**(1990) 1219; **70**(1993) 2996.
- [2] J. Barrette, *et al.*, E814 Coll., *Z. Phys.*, **C59**(1993) 211; S. E. Eiseman *et al.*, E810 Coll., *Phys. Lett.* **B292**(1992) 10.
- [3] H. Sorge, A. Von Keitx, R. Mattiello, *et al.*, *Phys. Lett.*, **B243**(1990) 7; H. Sorge, R. Mattiello, H. Stocker *et al.*, *Phys. Lett.*, **B271**(1991) 37.
- [4] Y. Pang, T. Schlagel, S. K. Kahana, *Phys. Rev. Lett.*, **68**(1992) 2743.
- [5] P. Braun-Munzinger, J. Stachel, J. P. Wessels *et al.*, *Phys. Lett.*, **B343**(1995) 43.
- [6] T. Abbott *et al.*, E802 Coll., *Phys. Rev.*, **C50**(1994) 1024.
- [7] X. Cai, S. Q. Feng, Y. D. Li *et al.*, *Phys. Rev.*, **C51**(1995) 3336.
- [8] J. Stachel, P. Braun-Munzinger, *Phys. Lett.*, **B216**(1989) 1, and references therein.

Rapidity Distribution of Various Charged Hadrons in High Energy Nucleus–Nucleus Interactions

Feng Shengqin Wang Zhengqing

(Department of Physics, Yichang Teachers College, Hubei 443000)

Received 25 December 1995

Abstract

In this paper, we analyse the various charged hadron distributions given by E–802 Collaboration at BNL/AGS in terms of thermalization model, which considers the fluctuation of impact parameter and stopping power of nucleus in the center–of–mass frame of participants.

Key words fluctuation of impact parameter, center–of–mass frame of participants, stopping power.