

高能 p-A 碰撞的碰撞几何、能量损失和横能分布¹

刘福虎

(山西师范大学物理系 临汾 041004)

摘 要 采用一种仔细考虑了作用截面、表面弥散和形变效应的核碰撞几何,同时考虑到在每一次碰撞中领头质子损失能量,得到了高能 p-Al 碰撞的横能分布,计算结果与 200 GeV/c p-Al、Cu 及 U 碰撞的实验数据符合.

关键词 p-A 碰撞 核碰撞几何 能量损失 横能分布

分类号 O572

1 引 言

对目前加速器能区重离子实验数据的分析表明:高能核-核(A-A)碰撞的主要特征强烈依赖于核碰撞几何.引入一个确定的核碰撞几何,采用独立的核子-核子(N-N)碰撞图像,并采用一种能够描写 N-N 碰撞的模型,A-A 碰撞实验分布的一些主要特征,诸如横向能量分布、前向能量分布和多重数分布等,原则上都能得到解释^[1].

但最近对 200 GeV/c 质子-核(p-A)碰撞的实验数据分析表明^[2]:基于碰撞几何的简单模型^[3],可以描述像 Al 这样的轻靶核及像 Cu 这样的中等靶核相应的横能(E_T)分布,不能描述像 W 及 U 这样的重靶核相应的横能分布.这就是说,用一种不变的几何图像不能对不同靶核的 p-A 碰撞进行统一描述.

文献[2]认为,对 p-A 碰撞,单次 p-N 碰撞有较大可能产生高的 E_T ,这使得总 E_T 分布与碰撞次数的关联减弱.而对 A-A 碰撞,因为有许多核子参加碰撞,单次 p-N 碰撞产生的高的 E_T 对总 E_T 分布的贡献相对较小,这使得几何图像对 A-A 碰撞的描述是可以接受的.

根据文献[2]的解释,对 p-A 碰撞,如果在单次 p-N 碰撞中产生了高的 E_T ,应在总 E_T 分布的尾部反映出来.但从几何图像与 p-A 碰撞实验数据的比较可以看出,二者之间的

偏离仅存在于重靶核相应数据的低 E_T 端.这意味着,不能把这种偏离归于在单次 p-N 碰撞中产生了高的 E_T ,这种偏离主要还是由于没有仔细考虑核碰撞几何的缘故.而对 A-A 碰撞,因为有许多核子参加碰撞,只需粗略考虑核碰撞几何,就能描述实验数据.

通过仔细考虑作用截面、表面弥散和形变效应的核碰撞几何^[4],同时考虑到在每一次碰撞中领头质子损失能量^[5],得到了与实验数据^[2]符合的高能 p-A 碰撞的横能分布.

2 碰撞几何和能量损失

丁林垲等人^[4]适当修改原子核电荷分布的表层厚度,取作核的核子密度分布.考虑核子具有一个硬心结构,用 Monte Carlo 方法随机地决定一个核中各个核子的位置.用一个质子从一个随机的方向和一个随机的瞄准参量射击一个用计算机产生的靶核,并用一个重迭函数决定二元 p-N 碰撞的几率.在仔细考虑了强子作用截面、原子核的表面弥散、重核的形变以及双核子关联后,建立了一个处理高能核碰撞几何的 Monte Carlo 模拟程序^[6].运行这个模拟程序,可以得到高能 p-A 碰撞中碰撞次数 ν 的几率分布 $P(\nu)$.

当高能质子通过原子核时,与靶核子发生 ν 次非弹性碰撞.在每一次碰撞中,领头质子损失能量,如何得到关于领头质子能量损

失方面的知识是很重要的. 实验结果表明, 对于在自由空间的核子-核子碰撞, 每次碰撞约损失掉入射能量(或动量)的 50%. 而对于高能质子与靶核子的 ν 次碰撞, 有几种能量损失模型: 如文献[7]取每一次 p-N 碰撞中能量损失 50%, 文献[8]取第一次碰撞中能量损失 50%, 以后各次碰撞中能量损失 25%, 而文献[9]取最后一次碰撞中能量损失 50%, 以前各次碰撞中能量损失 25%. 由此看来, 在质子与靶核子的 ν 次碰撞中, 每次碰撞都有能量损失, 但具体损失多少尚需从实验数据进一步确定. 文献[5]通过对 200 GeV/c p-Ar 及 Xe 碰撞的负粒子多重数分布的分析表明, 文献[9]给出的能量损失模型更符合实验.

3 横能分布

在质子与靶核子的 ν 次碰撞中, 每次 p-N 碰撞损失的能量用于产生粒子, 设第 i 次碰撞后产生粒子的平均多重数为 $\langle n_i \rangle$, 它应与在第 i 次碰撞质心系中丢失的能量 ΔE_i 有关. 文献[10]给出了一个经验性的公式为

$$\langle n_i \rangle = 2.47 + 0.03 \cdot \exp\left[1.97 \sqrt{\ln\left(\frac{\Delta E_i}{0.5}\right)^2}\right] \quad (1)$$

式中, ΔE_i 的单位是 GeV.

实验结果表明, 平均横能正比于平均多重数. 考虑到赙快度的取值范围, 第 i 次碰撞法计算得到的归一化条件 $\int dE_T \frac{d\sigma}{dE_T} =$

$f(E_T)$, 这里 σ 是 p-A 碰撞的截面. 对一定的碰撞次数 ν 取最后一次(第 ν 次)碰撞中动量损失 50%, 以前 $\nu-1$ 次碰撞中动量均损失 10%, 对 Al、Cu 和 U 分别取 (2) 式中的 $k = 0.61, 0.65$ 和 0.72 GeV 时, 得到的结果见图 1 中的虚线直方图.

从图中可以看出, 对 p-A 碰撞来说, 仔细考虑了核碰撞几何和能量损失后, 基于几何图像的横能分布不仅可以描述轻靶核(如 Al)和中等靶核(如 Cu)相应的横能分布, 而且对重靶(如 U)相应的横能分布也非常符合得非常

贡献的有效平均横能 $\langle E_{T,i} \rangle$ 为

$$\langle E_{T,i} \rangle = k_1 k_2 \langle n_i \rangle = k \langle n_i \rangle \quad (2)$$

式中, k_1 是平均每一个产生粒子贡献的横能, k_2 是产生粒子落入赙快度取值范围的几率, $k = k_1 k_2$. 具体对一次 p-N 碰撞来说, 其横能 $E_{T,i}$ 的分布取为同文献[2]和[3]相同的形式, 即

$$f_{p-N}(E_{T,i}) = \frac{4E_{T,i}}{\langle E_{T,i} \rangle^2} \cdot \exp\left(-\frac{2E_{T,i}}{\langle E_{T,i} \rangle}\right) \quad (3)$$

ν 次碰撞的总横能分布是 ν 个(3)式的卷积

$$f_\nu(E_T) = \int dE_{T,1} \cdots dE_{T,\nu} \cdot f_{p-N}(E_{T,1}) \cdots f_{p-N}(E_{T,\nu}) \delta(E_{T,1} + \cdots + E_{T,\nu} - E_T) \quad (4)$$

而实验测得的横能分布是 ν 取各种可能值时的横能分布加权之和:

$$f(E_T) = \sum_{\nu=1}^{\nu_{\max}} P(\nu) f_\nu(E_T) \quad (5)$$

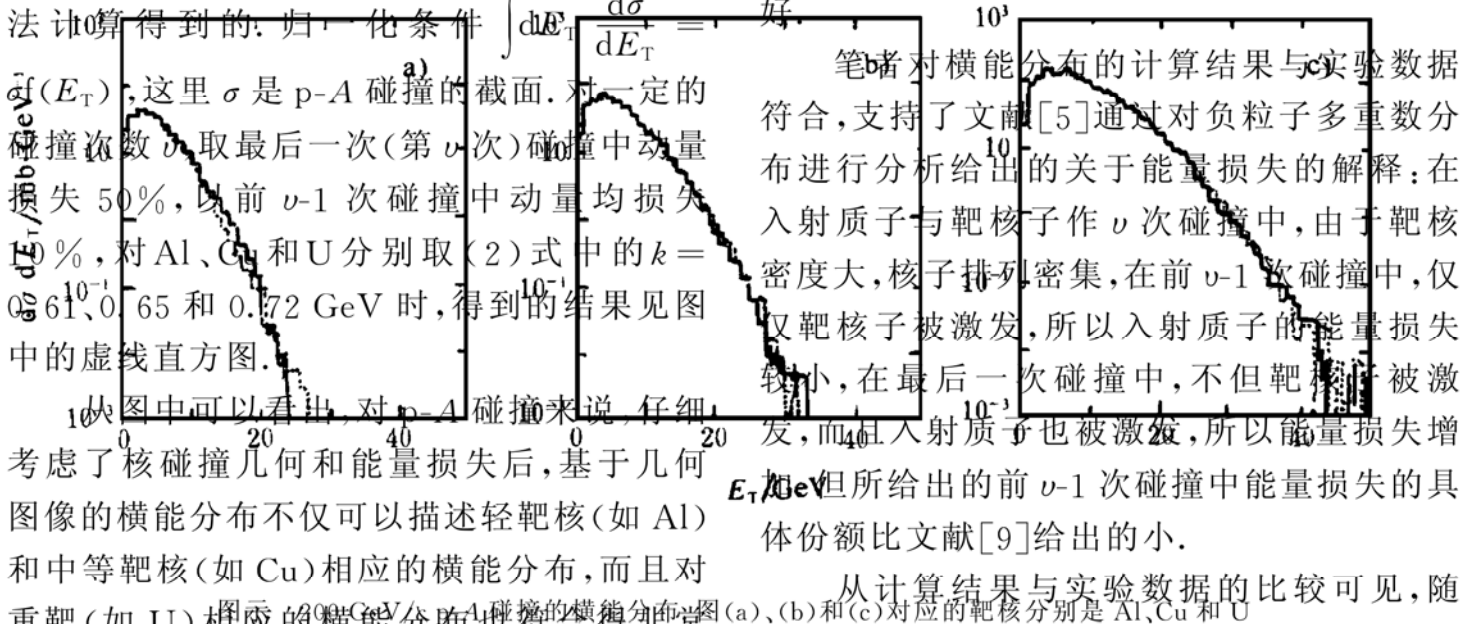
式中, $P(\nu)$ 是根据文献[4]和[6]得到的高能 p-A 碰撞中碰撞次数 ν 的几率分布(见上节).

4 与实验比较和讨论

图(a)、(b)和(c)分别是 200 GeV/c 的质子与 Al、Cu 和 U 碰撞的横能分布. 标有误差棒的实线直方图中根据文献[2]的实验数据表(赙快度的取值为 $-0.1 < \eta < 2.9$)绘制的, 虚线直方图是本文用 Monte Carlo 模拟方法

笔者对横能分布的计算结果与实验数据符合, 支持了文献[5]通过对负粒子多重数分布进行分析给出的关于能量损失的解释: 在入射质子与靶核子作 ν 次碰撞中, 由于靶核密度大, 核子排列密集, 在前 $\nu-1$ 次碰撞中, 仅仅靶核子被激发, 所以入射质子的能量损失较小, 在最后一次碰撞中, 不但靶核子被激发, 而且入射质子也被激发, 所以能量损失增大. 但所给出的前 $\nu-1$ 次碰撞中能量损失的具体份额比文献[9]给出的小.

从计算结果与实验数据的比较可见, 随图(a)、(b)和(c)对应的靶核分别是 Al、Cu 和 U



着靶核的增大, (2) 式中的参数 k 增大. 这主要是因为随着靶核子的增大, 次级碰撞效应加强, 产生粒子落入赝快度区间 $(-0.1, 2.9)$ 的几率增大的缘故.

在文中引用的实验数据相应的赝快度区内, 领头质子对横能的贡献为零. 如果赝快度区间加大到包括领头质子的贡献, 在计算横能时还应考虑对 (4) 式进行修正.

作者感谢丁林垵研究员的有益建议和讨论, 感谢朱清棋副研究员在计算方面的帮助.

参 考 文 献

1 丁林垵. 高能物理与核物理, 1990, 14: 486

- 2 Akesson T. HELIOS Collaboration, Z Phys, 1993, C58: 239
- 3 Jackson A D, Boggilo H. Nucl Phys, 1987, A470: 669
- 4 丁林垵. 高能物理与核物理, 1990, 11: 303
- 5 刘 波, 王英才. 高能物理与核物理, 1987, 11: 231
- 6 Ding L K, Stenlund E. Lund University Report, LU TP 89-6, 1989
- 7 Hüfner J. Phys Lett, 1984, 145B: 167
- 8 Date S. Phys Rev, 1985, D32: 619
- 9 Basile M. Nuo Cim, 1981, 65A: 400

On Collision Geometry, Energy Loss and Transverse Energy Distribution in High Energy p-A Collisions

LIU Fuhu

(Department of Physics, Shanxi Normal University, Linfen 041004)

Abstract In this paper, the nuclear collision geometry which was considered carefully in the interaction cross sections, surface effects and nuclear deformations is adopted. The energy loss of leading proton in each collision is considered. The transverse energy distributions in high energy p-A collisions are obtained. The calculated results are in agreement with the experiment data of 200 GeV/c p-Al, Cu and U collisions.

Key Words p-A collisions nuclear collision geometry energy loss transverse energy distribution