

相对论重离子碰撞中的负粒子快度分布*

刘波 赵维勤

(中国北京理论物理中心,中国科学院高能物理研究所,北京 100039)

摘 要

本文用两火球模型描述 p-p 碰撞中的多粒子产生过程,用核碰撞几何模型很好地符合了 NA35 组的负粒子快度分布数据,找到碰撞参数 b 与 $n_-(b)$ 之间的强关联。

近来,NA35 组发表了 60GeV/N 和 200GeV/N 入射能的 ^{16}O 与不同靶核碰撞中产生的多重数分布和 ^{16}O 与 Au 核发生中心碰撞中产生的负粒子快度分布的新结果^[1,2]。这些材料被广泛用来检验现有的理论模型。在相对论重离子碰撞中,核几何起重要作用。作者^[3]用参加者模型很好地解释了 ^{16}O 与不同靶核碰撞中产生的多重数分布实验数据。本文基于类似的考虑,分析 ^{16}O 与 Au 核发生中心碰撞中产生的负粒子快度分布的实验材料。

在相对论核-核 (B-A) 碰撞中,碰撞参数 b 确定两个核的重叠区域;在重叠区域的核子称为参加者。在自由的核子-核子 (p-p) 碰撞中,有两个参加者。每个参加者对某一物理观察量的贡献可从 p-p 过程确定。在 B-A 碰撞中,对于 μ_B 个入射核参加者和 μ_A 个靶核参加者的事例,只要把每个参加者的贡献都计入就得到总的贡献。

为了研究 B-A 碰撞中产生粒子 (π 和 K 介子) 的快度分布,作为输入量,需要从 p-p 过程确定每个参加者的快度分布。对于高能 p-p 碰撞,产生大量粒子的非弹性过程是主要机制,碰撞后两个核子被激发,激发的核子是产生粒子的源,人们称之为能量火球。在火球模型中,有包括领头核子的,有只描述产生粒子的。本文采用不包括领头核子的火球模型描述 p-p 碰撞中的粒子产生过程。

在核子-核子质心系,能量守恒可写为:

$$\sqrt{s} = 2E_L + 2E_F. \quad (1)$$

这里 \sqrt{s} 是 p-p 质心系总能, E_L 是领头核子带走的能量, E_F 是火球的能量,可写为:

$$E_F = m_F \gamma \delta. \quad (2)$$

这里 m_F 表示火球的质量, δ 是火球的快度。火球 P 和 T 提供的产生粒子的快度分布假定是高斯形式:

本文 1990 年 7 月 19 日收到。

* 国家自然科学基金资助的课题。

$$\left(\frac{dn}{dy}\right)_P = \frac{n}{2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(y-\delta)^2/2\sigma^2}, \quad (3)$$

$$\left(\frac{dn}{dy}\right)_T = \frac{n}{2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(y+\delta)^2/2\sigma^2}. \quad (4)$$

这里 y 和 δ 都是在总的质心系观察。由两个火球提供的在 p-p 碰撞中产生粒子的快度分布表示为:

$$\frac{dn^{pp \rightarrow \pi, K}}{dy} = \left(\frac{dn}{dy}\right)_P + \left(\frac{dn}{dy}\right)_T. \quad (5)$$

式(3)和(4)的归一化是:

$$\int \left(\frac{dn}{dy}\right)_P dy = \int \left(\frac{dn}{dy}\right)_T dy = \frac{n}{2}. \quad (6)$$

这里 n 表示 p-p 碰撞中产生粒子的平均多重数, 由实验确定或由经验公式计算得到。本文中, 产生粒子都处理为 π 介子 (π^\pm 和 π^0)。

两个火球的总能量可通过计算产生的 π 介子的能量平均值确定:

$$\bar{E}_\pi = \int m_\pi^2 ch y \left(\frac{dn^{pp \rightarrow \pi}}{dy}\right) dy. \quad (7)$$

100GeV/c 的 p-p 单举反应的能谱分析^[4-7]表明, 一次非弹性的核子-核子碰撞, 平均来说能量损失一半, 其余一半被领头粒子带走。本文取 $\bar{E}_\pi = \sqrt{s}/2$ 用于产生粒子。这样就可以得到火球的质量, 快度 δ 和高斯分布宽度 σ 之间的关系。当 σ 知道后, 火球的质量和位置就完全确定了。本文 σ 是作为一个参数处理, 就是说火球的衰变不是各向同性。而一般的火球模型, 火球对它静止系的衰变是各向同性的, 即 σ 是固定的, $\sigma = 0.8$ 。用各向同性衰变的火球难以符合 200GeV/c 的 p-p 实验材料。

为了能与实验比较, 需要把式(3)和(4)变换到实验室系。在计算火球的总能量时, 式中出现的 n 表示总的产生粒子平均多重数。由于我们在本文中把产生粒子都处理为 π 介子, 所以 n 是包括 π^\pm 和 π^0 的总的平均多重数, 在计算中, 取 $n = 3n_-$, 这里 n_- 表示在 p-p 碰撞中产生的负粒子平均多重数。在计算 p-p 碰撞中产生的负粒子快度分布时, (5) 式的归一化变为:

$$\int \frac{dn^{pp \rightarrow \pi^-}}{dy} dy = n_- = 2n_0. \quad (8)$$

这里 n_0 表示一个火球衰变时产生的负粒子多重数的平均值。图 1 是 200GeV/c 的 p-p 碰撞中产生的负粒子快度分布的理论实验比较, 实验数据取自文献[8], 理论曲线是取 $m_\perp^2 = 0.35\text{GeV}$, $n_0 = 1.6^{[8]}$ 和 $\sigma = 1.25$ 的结果。从图 1 看到, 除了快度的低端和高端之外, 理论与实验是一致的, 它表明, 衰变不是各向同性的火球模型可以用来描述 p-p 碰撞过程。

在核-核碰撞中, 碰撞参数 b 确定参与碰撞的核子数目。对于一个人射核 B 和靶核 A 在固定碰撞参数 b 上的碰撞, 当用均匀核密度分布时, 参加者的数目可如下计算:

$$\begin{aligned} \mu_B(b) &= \rho_0 \int dx dy dz \theta(R_B - \sqrt{x^2 + (y-b)^2 + z^2}) \theta(R_A - \sqrt{x^2 + y^2}), \\ \mu_A(b) &= \rho_0 \int dx dy dz \theta(R_A - \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}) \theta(R_B - \sqrt{x^2 + (y-b)^2}). \end{aligned} \quad (9)$$

这里 $\rho_0 = 3/4\pi r_0^3$ 是核子密度, $R_B = r_0 B^{1/3}$ 和 $R_A = r_0 A^{1/3}$ 是两个核的半径.

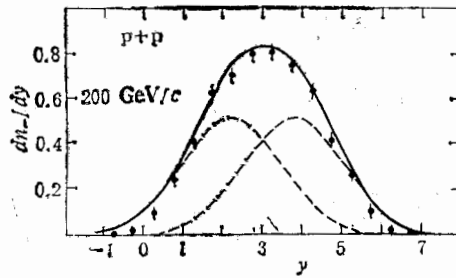


图1 在 p-p 碰撞中产生的负粒子快度分布. 实验材料取自文献[8]

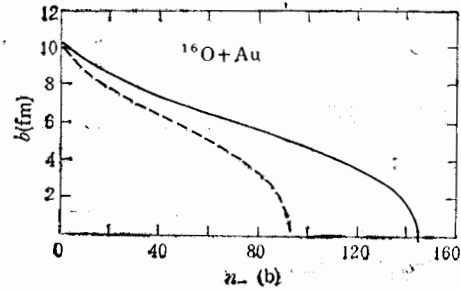


图2 碰撞参数 b 和负粒子多重数平均值 $n_-(b)$ 之间的关联——200 GeV/N, --- 60 GeV/N

在 B-A 碰撞中, 有 $\mu(b) = \mu_B(b) + \mu_A(b)$ 个参加者. 作者^[3]用核几何模型分析了 NA35 组发表的 ^{16}O 与不同靶核碰撞中产生粒子的多重数分布, 得到在固定 b 上的 n_- 分布. 由于碰撞参数 b 不能直接测量, 可以选择负粒子多重数 n_- 代替碰撞参数. 用文献[3]中的公式(6)计算在固定 b 上的多重数平均值:

$$n_-(b) = \int NP_{\mu(b)}(N)dN. \quad (10)$$

就可找到 b 与 $n_-(b)$ 之间的关系. 式(10)中的 $P_{\mu(b)}(N)$ 表示在固定 b 上由 $\mu(b)$ 个参加者提供的 n_- 分布.

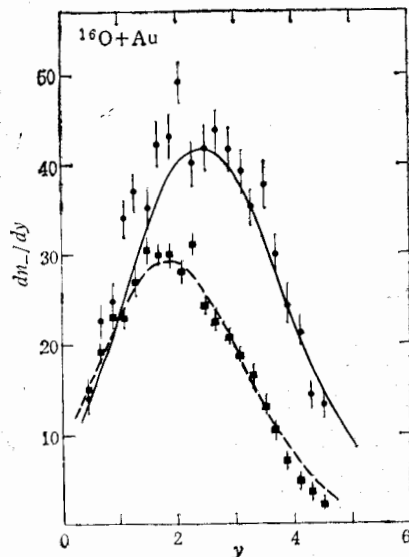


图3 200 GeV/n 和 60 GeV/n 的 ^{16}O -Au 中心碰撞中产生的负粒子快度分布. 实验材料取自文献[2]

■ 60 GeV/N ● 200 GeV/N

在本文的计算中, 取 $r_0 = 1.2\text{fm}$; 对于 200 GeV/N, $n_0 = 1.6^{[8]}$ 是取自实验; 对于 60 GeV/N 是用经验公式计算得到, 取 $n_0 = 1.0$.

图2是入射能量为 60 GeV/N 和 200 GeV/N 的 ^{16}O 与 Au 核发生碰撞, 碰撞参数 b 与 $n_-(b)$ 之间的关系. 我们的结果与 FRITIOF 模型的结果是类似的. 从图2看到, b 和 $n_-(b)$ 之间有很强的关联. 不同的 $n_-(b)$ 对应不同的碰撞参数 b , 碰撞参数的变化就得到参加者数目的分布. 所以, $n_-(b)$ 的大小反映了参加者数目的多少. 从图2看到, 在两个核发生中心碰撞时, 将有大量粒子产生, 而在较大碰撞参数时, 一次核子-核子碰撞是主要的过程.

虽然实验上流光室能把带正电和带负电的粒子分开, 但带正电粒子的事例总会被级联质子混杂, 而带负电的粒子都是碰撞中产生的, 而且主要是 π^- 介子. 入射能量为 60 GeV/N 和 200 GeV/N 的 ^{16}O 与 Au 核碰撞中产生的负粒子快度分布事例的测量和发表, 有助于进一步检验理论模型. 对于中心碰撞, 取碰撞参数 $b = 0$, 就得到

$\mu_B(0)$ 和 $\mu_A(0)$. 产生粒子的快度分布可表示为 $\mu_B(0)$ 个入射核参加者和 $\mu_A(0)$ 个靶核参加者贡献的迭加. 图 3 是负粒子快度分布的理论实验结果的比较. 对于 200 GeV/N, $\sigma = 1.25$. 对于 60GeV/N, $\sigma = 1.15$. 由于没有 60GeV 的 p-p 碰撞中产生粒子的快度分布实验数据, 在计算中高斯分布宽度 σ 调小了一些, 由于能量低, 这是合理的. 从图 3 看到, 理论结果与实验材料是一致的, 只是对 60GeV/N 来说, 在大快度区, 理论比实验稍大一些, 进一步的改进需要更精细的计算和考虑.

本文用高斯分布的各向同性衰变的两火球模型描述 p-p 碰撞中的多粒子产生过程, 能符合 p-p 碰撞实验材料, 方法简便可行. 用核几何方法分析相对论核-核碰撞, 很好地符合了新的 NA35 组的快度分布实验数据. 负粒子分布的明显特点是没有质子和领头 π 介子, 大都是产生的 π^- 介子. 理论与实验的符合表明, 核-核碰撞中产生的负粒子快度分布由两部分组成, 一部分由入射核碎片提供, 另一部分由靶核碎片提供. 正确地计算两部分碎片的贡献, 就可以解释实验材料.

参 考 文 献

- [1] A. Bamberger et al. (NA35), *Phys. Lett.*, **205B**(1988), 583.
- [2] H. Ströbele et al. (NA35), *Z. Phys., C-particles and Fields* **38**(1988), 89.
- [3] Chao Wei-qin and Liu Bo, *Z. Phys., C-particles and Fields* **42**(1989), 337.
- [4] J. Hüfner and A. Klar, *Phys. Lett.*, **145B**(1984), 167.
- [5] J. Hüfner, M. Kutshera, B. Liu and K. Werner, *Phys. Lett.*, **166B**(1986), 31.
- [6] C. Y. Wong, *Phys. Rev.*, **D30**(1984), 972.
- [7] S. Date et al., *Phys. Rev.*, **D32**(1985), 619.
- [2] C. De Marzo et al., *Phys. Rev.*, **D26**(1982), 1019.

Negative Particle Rapidity Distribution in Relativistic Heavy Ion Collisions

LIU BO ZHAO WEIQIN

(CCAST(World Laboratory), Beijing 100080 and Institute of High Energy Physics,
Academia Sinica, Beijing 100039)

ABSTRACT

Particle production process in nucleon-nucleon collisions is described in two fireball model. The negative particle rapidity distribution data of NA35 are fitted very well by nuclear collision geometry. The strong relation between $n(b)$ and b is found.