

高能 p-A 碰撞中横能分布的 几何模型分析*

刘波¹⁾ 赵维勤¹⁾

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1994年1月25日收到

摘 要

采用几何模型两种图象,即独立的 N-N 碰撞与参加者图象,分析了 HELIOS 合作组最近发表的高能 p-A 碰撞中横能分布的新数据,讨论了模型中参量选取对结果的影响,并与 A-A 碰撞中的结果进行了比较。

关键词 夸克-胶子等离子体,几何模型,横能分布

1 引 言

随着相对论重离子碰撞研究的不断深入,人们认识到很有必要重新讨论高能强子-核(h-A)相互作用,以便用统一的模型研究从 h-A 到核-核(A-A)作用过程,看是否有本质的变化。由于相互作用范围的限制, h-A 过程不会形成新物质形态——夸克胶子等离子体(QGP)。因此,通过比较与对照 h-A 过程与 A-A 过程的结果,使人们可能判断, A-A 过程是否形成了 QGP。但是,由于过去已有的 h-A 作用结果的实验条件与近年来相对论重离子碰撞的实验条件不一样,二者很难进行统一的描述与比较。因此,相对论重离子碰撞组在同样的实验条件下对 h-A 碰撞的各种观测量进行了重新测量。最近发表的由 HELIOS 合作组测量的高能 h-A 碰撞中不同快度窗口的横能分布就是其中一例^[1]。这些新数据可用于检验各种描述相对论重离子碰撞过程的模型。

目前存在的各种模型由于物理假设不相同,计算繁简差别很大,但在解释横能及多重数分布等宏观观测量方面很相近。实际上这些观测量是由碰撞过程的几何与统计性质决定的,与模型的细节并不敏感。在各类模型中,简单的几何统计模型^[2]尽管显得粗糙,但是它的假设简单,图象清晰,有利于了解结果产生的最主要原因。

本文用两种不同的几何图象:独立的 N-N 碰撞图象与参加者图象^[3],选取不同源的横能分布形状,讨论了 HELIOS 组测量的新的 h-A 碰撞中的横能分布数据,并与 A-A 过

* 国家自然科学基金资助。

1) 中科院理论物理所客座研究人员。

程相比较,分析模型中各参量对结果的影响,并与最近实验组所作的分析进行了比较。

2 模型概述

2.1 碰撞几何

当强子 h 在碰撞参数 b 入射到靶核 A 上时,与靶核内一个核子发生非弹性碰撞的几率为

$$T_A(b) = \sigma_{in} \int_{-\infty}^{\infty} \rho_A(b, z) dz, \quad (1)$$

其中 σ_{in} 是强子-核子非弹性截面, $\rho_A(b, z)$ 是靶核 A 中的单核子密度分布。入射强子 h 与靶核内 ν 个核子相碰对碰撞参数 b 平均后的几率 $W(\nu)$ 表示为

$$W(\nu) = \frac{\int d^2b \binom{A}{\nu} T_A(b)^\nu \{1 - T_A(b)\}^{A-\nu}}{\int d^2b \{1 - [1 - T_A(b)]^A\}}. \quad (2)$$

h-A 过程的横能分布可表示为

$$\frac{d\sigma^{hA}}{dE_T} = C(A) \sum_{\nu=1}^A W(\nu) F_\nu(E_T), \quad (3)$$

其中 $C(A)$ 是一个与靶核子数 A 有关的归一化系数,它相当于 h-A 过程的非弹性总截面。若与实验数据比较,则 $C(A)$ 为测量的截面。(3)式中的 $F_\nu(E_T)$ 表示碰撞数为 ν 时的横能分布。

2.2 碰撞数为 ν 时的横能分布 $F_\nu(E_T)$ 的确定

模型假定,横能分布是由若干个独立的源的贡献迭加构成,每个源的横能分布的形式由模型具体假定确定。

独立的 N-N 碰撞模型假定,入射强子与每个靶核子的碰撞都构成一个独立的产生横能的源。假定每个源提供的横能分布取为

$$f_N(E_T) = \frac{\alpha^\alpha E_T^{\alpha-1}}{\epsilon_0^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\alpha E_T / \epsilon_0}, \quad (4)$$

其中 α 是一个模型提供的参数, ϵ_0 是每个源提供的横能的平均值。入射强子与靶核子发生 ν 次碰撞,则 ν 个独立的源对横能分布的贡献可表示为

$$F_\nu^{(N)}(E_T) = \int \prod_{i=1}^{\nu} [dE_i f_N(E_i)] \delta \left(E_T - \sum_{i=1}^{\nu} E_i \right). \quad (5)$$

而独立参加者模型假定,每个参加碰撞的核子和入射强子都是独立的提供横能的源。假定每个靶核子源提供的横能分布取为

$$f_A(E_T) = \frac{\alpha^\alpha E_T^{\alpha-1}}{\epsilon_A^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\alpha E_T / \epsilon_A}. \quad (6)$$

而入射强子源提供的横能分布取为

$$f_h(E_T) = \frac{\alpha^\alpha E_T^{\alpha-1}}{\epsilon_h^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\alpha E_T/\epsilon_h}. \quad (7)$$

ν 次碰撞共有 $\nu + 1$ 个独立的源,其横能分布可表示为

$$F_h^{(\nu)}(E_T) = \int \prod_{i=1}^{\nu} [dE_i f_\nu(E_i)] dE_h f_h(E_h) \delta\left(E_T - \sum_{i=1}^{\nu} E_i - E_h\right). \quad (8)$$

由于横能分布的测量是在一定的快度窗口中进行,入射强子与靶核子提供的平均横能 ϵ_h 和 ϵ_A 可能取不同的值。将(5)或(8)式的结果代入(3)式,就可得到 h-A 过程的横能分布。

3 结果与讨论

为了将 h-A 碰撞的实验结果与 A-A 过程作直接比较, HELIOS 合作组最近用与 A-A 碰撞测量^[4]同样的实验条件,重新测量了质子与不同靶核在 $-0.1 < \eta < 2.9$ 赝快度范围内的横能分布^[4]。本文试图用第二节所给出的公式分析实验数据。计算中,靶核的单核子密度分布取为 Woods-Saxon 分布,参数取自文献[6],核子非弹性截面 σ_{in} 取为 30mb。

用独立的 N-N 碰撞模型计算的结果在图 1 中给出。在图 1 中每个独立源的平均横能取为 $\epsilon_0 = 1.9\text{GeV}$,其中实线是 $\alpha = 2$ 的结果,虚线是 $\alpha = 1$ 的结果。

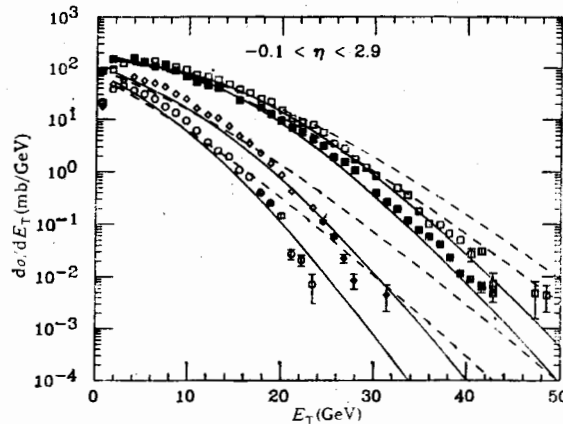


图 1 用碰撞数模型计算的横能分布与实验的比较

○Al, ◇Cu, ■W, □U.

用独立的参加者模型计算的结果给在图 2 中。由于快度窗口 $-0.1 < \eta < 2.9$ 是在靶区,所以靶核子源的贡献是主要的,而入射强子的贡献较小。因此在计算中,取 $\epsilon_A = 1.9\text{GeV}$, $\epsilon_h = 0.5\text{GeV}$ 。在图 2 中,实线是 $\alpha = 2$ 的结果,虚线是 $\alpha = 1$ 的结果。

(3) 式中的归一化参数是对每个核的实验微分截面求和得到的,即

$$C(A) = \sum_i \left(\frac{d\sigma^{hA}}{dE_T} \right)_i^{\text{exp}} \cdot \Delta E_T(i) \quad (9)$$

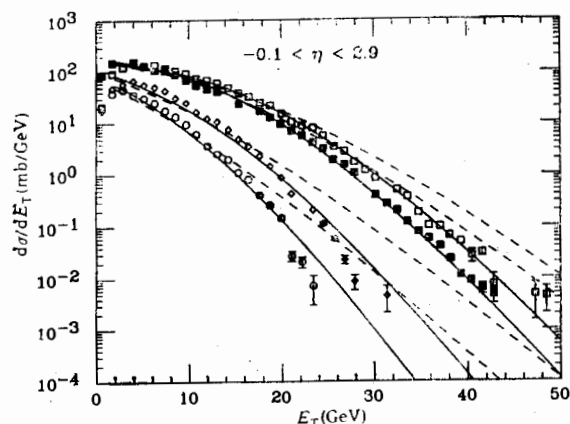


图 2 用参加者模型计算的横能分布与实验的比较

○Al, ◇Cu, ■W, □U,

由多次散射理论可以计算强子-核非弹性碰撞总截面:

$$\sigma_A = \int d^2b \{1 - [1 - T_A(b)]^A\} \quad (10)$$

在表 1 中列出了按 (9) 式对实验微分截面求和得到的不同靶核上的截面值及按多次散射理论计算得到的非弹总截面。从表 1 看到, 测量值普遍低于理论值。所以, 用实验值 $C(A)$ 作归一化因子。

表 1 p-A 非弹截面

A	^{27}Al	^{63}Cu	^{184}W	^{238}U
$C(A)$ (mb)	287	522	1525	1595
σ_A (mb)	395	752	1573	1805

从图 1 和图 2 可以看到, 在 $\alpha = 2$ 时的结果与实验符合较好。N-N 碰撞和参加者两种图象都表明, 所得的横能分布形状与每个独立源的横能分布的形状选取很有关系。 $\alpha = 2$ 的结果明显比 $\alpha = 1$ 的结果有很大改进, α 的取值反映了每个源的横能分布的物理来源。文献 [2] 分析了 $\alpha = 2$ 的横能分布是由两个独立源随机提供激发能量而形成的, 而 $\alpha = 1$ 则代表一个能源。因此, p-A 碰撞的结果与 p-p 碰撞是类似的, 即每次 N-N 碰撞或每个独立参加者都是由更复杂的能源构成的, 每个源的横能分布的形状选取是重要的。而在 A-A 碰撞过程, 由于源的数目及其随碰撞参数的涨落都很大, 横能分布的形状主要由几何因素决定, 每个源的横能分布形状的影响被几何因素所掩盖, 所以对源的横能分布的选取不敏感^[7]。

另一方面, 在 p-A 过程中, 由于 N-N 碰撞图象与参加者图象给出的独立源数目只相差 1, 它们的结果是很类似的。特别是在靶核碎裂区 ($-0.1 < \eta < 2.9$), 在两种图象中横能主要都是由靶核碎裂提供, 因而每个独立源提供的平均横能在两种图象中几乎相同。在 N-N 碰撞图象中, 对于不同的靶核, 对每个独立源我们选取了相同的平均横能

ϵ_0 。而且图1还显示,若对轻核取稍小的 ϵ_0 , 结果还会有改进。这一结果与文献[1]中实验组的分析结果是不同的。我们的结果可以如下理解:当靶核加重时,次级碰撞的重要性增加,因而,对于不考虑次级碰撞的模型,每个独立源提供的有效平均横能会相应增大^[4];另一方面,每次碰撞的能量损失则使后面的碰撞贡献的横能减小,这两个因素互相补偿,因而 ϵ_0 的取值基本上不随靶核加重而改变。结果表明,在 p-A 过程中,这两个因素的作用几乎相当,次级碰撞的效应稍强一些。在本工作中, σ_{in} 取定之后,碰撞数的分布完全由靶核的几何条件决定, ϵ_0 随靶核的变化则由实验的横能分布完全确定了。文献[1]指出,用 N-N 碰撞图象符合 p-A 碰撞的实验横能分布时,每次碰撞的平均横能 ϵ_0 随靶核增大而减小,并认为这个趋势与 A-A 碰撞时相一致。由于文献[1]取碰撞参数为零时的碰撞数目作为可调参数,因此 ϵ_0 的取值有一定的任意性。如果对重核选取的碰撞数目增长大一些, ϵ_0 的值就有可能随靶核加重而减小,这可能是造成文献[1]中 ϵ_0 随 A 增大的变化趋势与我们的结果不同的原因。

基于同样的几何考虑,在 A-A 碰撞时的结果则很不相同。这时,两种图象中独立源的数目相差很大,因而每个独立源提供的平均横能的数值也有较大差异^[3]。N-N 碰撞图象假定每次碰撞平均贡献相同的横能,由于 N-N 碰撞图象过高估计了独立源的数目,因而 ϵ_0 的值随 A 增大而明显减小。而参加者图象,在 A-A 碰撞时的结果与 p-A 过程中的情况比较一致,只是较强的次级碰撞效应会略为增大 A-A 碰撞时每个独立源贡献的平均横能^[3]。

分析表明, p-A 过程与 A-A 过程的横能分布主要都由几何因素决定。p-A 过程对两种图象的选择不敏感,但对每个源的横能分布的形状敏感;而在 A-A 过程中几何因素更重要,因而对每个源提供的横能分布的形状就不敏感。由于在 A-A 碰撞中, N-N 碰撞图象与参加者图象中源的数目相差较大,因此每个源贡献的平均横能有较大差异,次级碰撞和能量损失等非几何因素的影响也更明显。

参 考 文 献

- [1] T. Akesson et al., (HELIOS Collab.) *Z. phys.*, **C58**(1993)239.
- [2] Liu Lianson and Meng Tachung, *Phys. Rev.*, **D27**(1986)2640, Cai Xu, Zhao Weiqin, Meng Tachung and Huang Chao Shang, *Phys. Rev.*, **D33**(1986)1287, Liu Lian-Sou, Meng Ta chung and Peng Hongan *Phys. Rev.*, **D37**(1988)3327.
- [3] Zhao Weiqin, Liu Bo and Miao Bixia, *Chinese Jour. Nucl. phys.*, **12**(1990)229, Miao Bixia and Zhao Weiqin, *Nucl. Phys.*, **A494**(1989)620.
- [4] Zhao Weiqin and Liu Bo, *Commun. Theor. Phys.*, **18**(1992)185.
- [5] T. Akesson et al., (HELIOS Collab.) *Z. Phys.*, **C38**(1988)38; *Phys. Lett.*, **B214**(1988)295.
- [6] C.W. Jager et al., *Atomic Data and Nuclear Data Table*, **14**(1974)479.
- [7] A.D. Jacson and H. Boggild, *Nucl. Phys.*, **A470**(1987)669.

**An Analysis of the New Data of Transverse Energy Distributions
in High Energy p-A Collisions Based on
Geometrical Models**

Liu Bo Zhao Weiqin

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, Beijing 100039)

Received on January 25, 1994

Abstract

Based on the two geometrical pictures, namely independent N-N collision and participant-picture, the newly published data of transverse energy distributions in high energy p-A collisions are analysed. The influence of the choices of various model parameters is discussed and compared to the results in A-A collisions.

Key words QGP, geometrical model, transverse energy distribution.