

高能强子-核作用中快度分布 与横能的关联*

冯笙琴 王正清

(宜昌师范专科学校物理系 宜昌 443000)
1994-08-11 收稿

摘 要

假定强子-核作用中的产生粒子相对于反应体质心系各向同性衰变,给出了强子-核作用中横能快度分布,计算结果能够解释最新的 HELIOS 合作组的实验结果.

关键词 反应体,反应体质心系快度,横能快度分布.

1 引 言

最近,高能强子-核相互作用引起许多高能物理工作者的兴趣^[1,2],这主要是由于强子-核相互作用既包括核层次相互作用机制,含许多核层次相互作用信息;又较核-核相互作用机制简单.在**高能重离子碰撞实验中,强子-核相互作用比核-核相互作用背景简单,成为核-核相互作用的实验基础.

关于强子-核相互作用的横能快度分布,已有一些工作进行过讨论^[3],认为高能强子-核碰撞是核子-核子过程的叠加,而对于每对核子-核子相互作用,假定在能量守恒和横动量截断下的快度等几率衰变.用这种思想,可以解释较早的 HELIOS 合作组给出的在某一快度区域 ($0.6 < \eta < 2.4$) 的 p-Pb 相互作用的横能快度分布^[4].

本文所采用的方法是:在某一给定碰撞参量 b 下,首先定义入射质子和 ν 个被碰核子形成一个反应体(不考虑旁观核子的贡献),假定由此形成的末态粒子相对于反应体质心系各向同性衰变,然后把不同碰撞参量,不同横能的事例叠加起来,可以给出在不同横能区间的横能快度分布 ($\frac{dE_T}{d\eta} - \eta$ 关系曲线).并且可以解释最新的 HELIOS 合作组给出的在较大快度覆盖区域 ($-2 < \eta < 8$) 的实验结果.

2 唯象分析

2.1 最新的 HELIOS 合作组给出的实验结果

最近,工作在西欧核子研究中心 (CERN/SPS) 的 HELIOS 合作组给出在 $p_{Lab} =$

* 湖北省教委科研基金资助.

200GeV/c 的入射能量下, p-U(Cu) 相互作用的横能快度分布^[1]。总结起来有三个显著的特征。

(i) 横能量的总区域扩展到近 40GeV, 这是同样能量下 h-h 相互作用的运动学极限的两倍以上。

(ii) 与以前的 HELIOS 合作组给出的 h-Pb 相互作用实验结果比较^[4], 最近的实验结果有较大的横快度覆盖区域^[4]。横能快度分布与横能大小密切相关, 不同的横能, 分布曲线不同, 横能越大, 对应分布曲线的峰位置移向小快度处。

(iii) 对应给定相同的入射能量和相同的横能, 靶核不同, 横能快度分布曲线不同, 靶越重, 分布曲线的峰值愈移向小快度处。

在下文中, 我们将用碰撞的反应体质心系模型来分析以上的实验特征。

2.2 反应体质心系

在 高能强子-核作用中, 核几何起一定作用, 很显然产生粒子的横能分布依赖于入射质子与靶核中多少个核子相互作用以及如何发生作用, 在某一给定碰撞参量 b 下, 若靶核中有 ν 个核子被入射核子撞击, 不考虑旁观核子的贡献, 即参加反应的反应体的核子数为 $1+\nu$, 因此, 参加反应的反应体质心系快度(相对于实验室系)近似为(看附录)

$$\eta_{\text{CRS}} = \frac{1}{2} \ln(1 + 2p_{\text{Lab}}/\nu), \quad (1)$$

其中 p_{Lab} 为强子-核作用中, 相对于实验室系的入射质子的动量, 在本文中 $p_{\text{Lab}} = 200 \text{ GeV}/c$ 。表 1 给出了反应体质心系快度 η_{CRS} 随反应体核子数 ν 的变化关系。

表 1 反应体质心系快度 η_{CRS} 随反应体核子数 ν 的变化关系

ν	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
η_{CRS}	2.977	2.652	2.449	2.308	2.157	2.108	2.031	1.957	1.908	1.856

由表 1 可以看出, ν 越大, 对应反应体质心系快度越小, 由于 ν 是碰撞参量 b 的函数, 因此 η_{CRS} 也是碰撞参量 b 的函数。

2.3 横能快度分布

若假设在某一碰撞参量 b 下, 所产生的末态粒子相对于反应体质心系各向同性衰变, 则对应的快度分布为

$$\rho(\eta) = \frac{1}{2\cosh^2(\eta - \eta_{\text{CRS}})}, \quad (2)$$

其中 η_{CRS} 由(1)式给出, 表示反应体质心系的快度, 最后可得到横能在某一区域 (E_A , E_B) 的横能快度分布为

$$\frac{dE_T}{d\eta} = \frac{\sum_{\nu=1}^{\nu_{\max}} \sum_{\mu=1}^{\nu} \int_{E_A}^{E_B} \frac{E_T}{2 \cosh^2(\eta - \eta_{\text{CRS}})} W(\mu|\nu, P) F_A(\nu) P(E_T|1 + \mu) dE_T}{\int_{E_A}^{E_B} P(E_T) dE_T}, \quad (3)$$

其中 $P(E_T) = \sum_{\nu=1}^{\nu_{\max}} \sum_{\mu=1}^{\nu} W(\mu|\nu, P) F_A(\nu) P(E_T|1 + \mu)$ 为观察末态粒子横能为 E_T 的几率; $W(\mu|\nu, P)$ 为 ν 次相互作用产生 μ 次非衍相互作用的几率, 为二项式分布

$$W(\mu|\nu, P) = \binom{\nu}{\mu} P^{\mu} (1 - P)^{\nu - \mu},$$

其中 P 取 0.75; $F_A(\nu)$ 对应靶核中有 ν 个核子被撞击的几率, 本文中假定核内密度分布为一常数^[5].

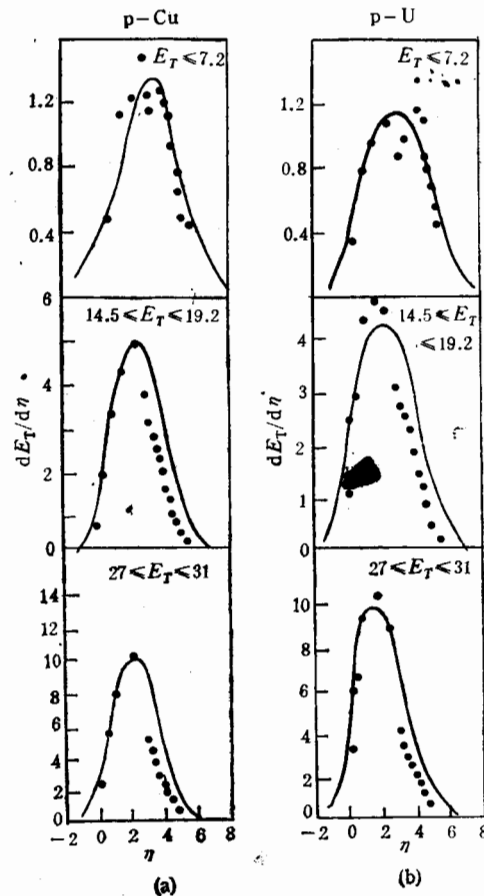


图1 (a) 在 $p_{\text{Lab}} = 200 \text{ GeV}/c$ 下, 质子与铜相互作用的横能快度分布

(b) 与图 (a) 相同, 但对应为质子-铀相互作用

实验数据 ● 由文献[1]给出, 一是我们的计算结果.

在某一给定的碰撞参量 b 下, 对应 μ 次非衍碰撞, 给出末态粒子的横能分布(也即是 (3)式 $P(E_T|1 + \mu)$) 为^[5]

$$P(E_T|1+\mu) = \frac{(1+\mu)^{1+\mu}}{\mu!} \frac{1}{\langle E_t \rangle} \left[\frac{E_t}{\langle E_t \rangle} \right]^\mu \exp \left[-(1+\mu) \frac{E_t}{\langle E_t \rangle} \right], \quad (4)$$

利用 $\langle E_t \rangle = \frac{1+\mu}{2} \langle E_t \rangle_{hh}$, 最后得到

$$P(E_T|1+\mu) = \frac{1}{\mu!} \left(\frac{2}{\langle E_t \rangle_{hh}} \right)^{1+\mu} E_t^\mu \exp \left(-2 \frac{E_t}{\langle E_t \rangle_{hh}} \right), \quad (5)$$

此式中 $\langle E_t \rangle_{hh}$ 为相同入射能量下 h-h 相互作用中所相应产生的平均横能, 它是本文中唯一的可调参量。

在图 1(a)、(b) 中, 分别给出了质子与铜 (Cu) 和铀 (U) 相互作用的横能快度分布, 实线是由公式(3)计算的结果, 实验数据取自文献[1], 对应 $p_{Lab} = 200 \text{ GeV}/c$, 可调参量 $\langle E_t \rangle_{hh} = 1.3$, 从图 1 看出可以较好地拟合实验结果。

3 讨 论

按照上述碰撞的反应体质心系模型可以对 HELIOS 合作组的实验结果进行解释。我们知道碰撞参量较小的碰撞, 往往可以产生较大的横能, 此时对应的反应体核子数也比较大, 由(1)式看出 ν 较大, 则 η_{CRS} 较小, 由(2)和(3)式可以看出分布的峰值移向快度较小处; 而对于擦边碰撞, ν 较小, 产生的横能往往较小, 反应体的质心快度 η_{CRS} 却较大, 因此分布的峰值移向快度较大处, 这样就解释了上述的 HELIOS 合作组的实验特征(ii)。对于相同的入射能量, 相同的横能, 在同一碰撞参数 b 下, 靶越重, 对应的 ν 就越大, η_{CRS} 却越小, 对应横能快度分布的峰值移向小快度处, 这样就解释实验特征(iii)。从上面的计算和分析表明, 横能快度分布与碰撞核子数 ν 密切相关, 在 h-A 作用中, 参加非衍过程的最大核子数 $1+\mu_{max} > 2$, 反应核子数越多, 产生的横能越大, 使得最大横能量将超出 h-h 作用的运动学极限, 也就会出现实验特征(i)。

感谢就反应体质心系问题与蔡勳教授的有益讨论。

附录 反应体质心系快度

已知在实验室坐标系中, 入射质子的动量为 p_{Lab} , 设入射质子的质量为 m , 速度为 β , 则有

$$p_{Lab} = \frac{m\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (A1)$$

由此可求出入射质子的速度为

$$\beta = \frac{p_{Lab}}{\sqrt{p_{Lab}^2 + m^2}}, \quad (A2)$$

对应洛伦兹因子

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\sqrt{p_{Lab}^2 + m^2}}{m}. \quad (A3)$$

在某一碰撞参量 b 下, 假设靶核中有 ν 个核子被入射质子撞击, 则参加反应的反应体核子数为 $1+\nu$, 在碰撞前这 ν 个核子是静止的, 相对于实验室系, 反应体质心系的速率为

$$\beta_c = \frac{r_p m \beta}{r_p m + m\nu} = \frac{p_{Lab}}{\sqrt{p_{Lab}^2 + m^2 + m\nu}}, \quad (A4)$$

对应反应体质心系的快度为

$$\eta_{CRS} = \frac{1}{2} \ln \frac{\sqrt{p_{Lab}^2 + m^2} + m\nu + p_{Lab}}{\sqrt{p_{Lab}^2 + m^2} + m\nu - p_{Lab}} = \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \beta_c}{1 - \beta_c}, \quad (A5)$$

在本文中, $p_{Lab} = 200$, 核子质量 $m \approx 1$, 可近似地认为 $\sqrt{p_{Lab}^2 + m^2} \approx p_{Lab}$, 对应 (A5) 式变为

$$\eta_{CRS} = \frac{1}{2} \ln(1 + 2p_{Lab}/\nu) \quad (A6)$$

这就是正文中的(1)式。

参 考 文 献

- [1] A. Akesson, et al., *Z. Phys.*, **C58**(1993)239.
- [2] R. Albrecht, et al., *Z. Phys.*, **C57**(1993) 37.
- [3] Shi Yafei, Zhuang Pengfei, Liu Liansou, *Phys. Rev.*, **D41**(1990) 129.
- [4] T. Akesson, et al., *Z. Phys.*, **C38**(1988) 397.
- [5] Cai Xu, Chao Weiqin, Meng Tachung, *Phys. Rev.*, **D36**(1987) 2009; Feng Shengqin, Zhou Daicui, *Chinese. Phys. Lett.*, **12**(1993) 712.

Correlation of Rapidity Distribution and Transverse Energy in High Energy Hadron-Nucleus Interactions

Feng Shengqin Wang Zhengqing

(Department of physics, Yichang Teachers College, Yichang 443000)

Received 11 August 1994

Abstract

Assuming that the produced particles decay isotropically in the center of mass system, the transverse energy rapidity distribution in hadron-nucleus interactions is derived. The calculated results are in a good agreement with the experimental data given by HELIOS collaboration working at CERN/SPS.

Key words reacting system, rapidity of center of reacting mass system, transverse energy rapidity distribution.