

再散射运输模型与 K^+/π^+ 比的系统学

王仲奇 萨本豪 张孝泽 宋光 陆中道 郑玉明

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

1993年5月24日收到

摘 要

用含再散射效应的简单的强子运输模型,研究了 AGS 能量(14.6 A GeV/c)下 $p+p$, $p+Au$ 和 $Si+Au$ 反应的 K^+/π^+ 比值,再现了该比值由 $p+p$ 到 $Si+Au$ 不断增长的实验事实. CERN 能量(200 A GeV/c)和 AGS 能量下, K^+/π^+ 比值相近的实验事实也得到了解释.

关键词 强子运输,再散射效应,权重统计,随机游荡.

1 引 言

相对论性核-核碰撞中 K^+/π^+ 比值,相对于同能量的质子-质子(质子-核)碰撞的增强,被普遍地认为是探测反应过程中,有无形成夸克-胶子等离子体(QGP)的一个有希望的判据(讯号).

尽管建立在强子背景下的热模型^[1-3]和运输模型^[4,5]中的多数,认为 K^+/π^+ 比增强的事实可以被解释,而无需依赖 QGP 的形成. 不过 K^+/π^+ 比的新实验结果仍然不断地涌现,特别是 K^+/π^+ 比值由 $p+p$ 到 $p+A$ 再到 $A+B$ 不断增加的系统学,以及新近发现的 CERN 能量(200 A GeV/c)下 K^+/π^+ 比值与 AGS 能量(14.6 A GeV/c)下几乎相等的实验事实^[6],都还没有很好地被解释. 所以说,研究 K^+/π^+ 比的系统学,是对强子机制模型的挑战.

在上一篇文章中^[7]我们建议了一种研究再散射对高能核-核碰撞中 K^+/π^+ 比效应的简单的强子运输模型,很好地解释了 14.6 A GeV/c $Si+Au$ 反应中 K^+/π^+ 比增强的实验数据,本文则用此模型研究 K^+/π^+ 比的系统学. 结果表明,在合理的参数范围内, K^+/π^+ 比值从 $p+p$ 到 $p+A$ 再到 $A+B$ 不断增长, CERN 能量下的 K^+/π^+ 比值和 AGS 能量下的几乎相等,……,都得到了很好的解释.

2 模 型

为了本文的完整,在此简单地重复一下本模型的概要.

由于本模型是专用以研究再散射对 K^+/π^+ 比的效应,因此借用 Fritiof 程序^[6]来描写相对论性核碰撞的早期过程,由它来提供 π 和 K 等初级粒子。

因为将要研究的有关 K^+/π^+ 比系统学的实验,都是中心碰撞,[†]所以把上述初级 π 和 K 均匀地布置在弹核对心地穿过靶核时所截下的几何柱体内。为了简单起见,假设作为 π 再散射一种配偶的核子,由靶核子构成。这些核子是均匀布置在靶核的球几何内,它们的动量服从玻尔兹曼分布,即

$$f(p) = \text{const} \frac{p^2}{T^{3/2}} \exp \left[-\frac{p^2}{2m_N T} \right], \quad (1)$$

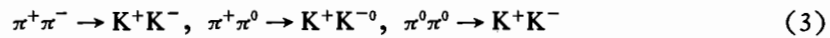
$$\langle p \rangle = \sqrt{2m_N T}. \quad (2)$$

式中 T 是核子温度(以 GeV 为单位), m_N 是核子质量, $\langle p \rangle$ 是平均核子动量(以 GeV/c 为单位)。

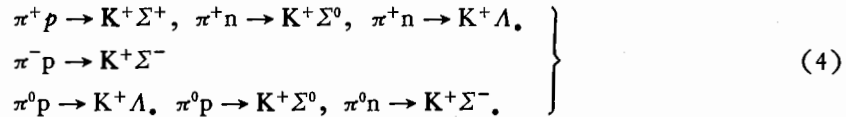
考虑到 K 产额相对于 π 要小得多, K 和核子相互作用截面比 π 也小得多,因此不考虑 K 的再散射, Fritiof 粒子产生器提供的 K 直接被记录。

关于碰撞表的构成和更新碰撞表的办法等,同于文献[7],这儿不多赘述。需要指出的是:由于研究的是 π 再散射对 K^+/π^+ 比的效应,又为了简单起见,这儿忽略了核子间的再散射^[5],即假设 NN 再散射对 K 及 π 产额平衡影响不大。

无论 πN 或 $\pi\pi$ 碰撞产生 K 的截面都很小,为了增加 K 的统计性,采用权重法记录碰撞产生的 K 。譬如对于 $\pi\pi$ 碰撞,下述非弹过程



都各有其发生的几率(即相应过程的截面与 $\sigma_{\text{tot}}^{\pi\pi}$ 的比值),并以其为权重统计 K 的产生。对于 πN 碰撞,下述非弹过程



也同样有其发生的几率,也以其为权重统计 K 的产生。

但运输过程则仍然采用直接法实现随机游荡。以 π^+n 碰撞为例,若上面已经随机地决定了是 $\pi^+n \rightarrow K^+\Lambda$,那么在以权重(等于 $\sigma_{\pi^+n \rightarrow K^+\Lambda} / \sigma_{\text{tot}}^{\pi N}$)统计 K^+ 以后,通过一个随机数与该权重的比较,来判断 $\pi^+n \rightarrow K^+\Lambda$ 过程是否真的发生?若是,本随机游荡历史即告结束,若否,就继续游荡。为此先执行本碰撞,求得碰后 π^+ 和 n 的状态(这儿为简单起见,按弹性散射处理),接着所有粒子都按其牛顿轨迹走一段时间(等于前面挑出的最小碰撞时间),再更新碰撞表,更新粒子表……。

由于缺乏实验数据, $\pi\pi \rightarrow KK$ 的截面设为常数^[1,4,5](取为 0.05 或 0.1 或 0.2 或 0.35 fm²);而 $\pi n \rightarrow K^+Y$ (Y 指 Λ 或 Σ)的截面,则采用文献[9]的同位旋平均的参数化形式。

3 结果与讨论

表1给出了 AGS 能量下 $Si + Au$ 、 $p + Au$ 以及 $P + P$ 和 CERN 能量下 $S + W$ 、 $p + W$ 以及 $P + P$ 的 K^+/π^+ 和 K^-/π^- 比值的计算结果和相应的实验值。由此可见,在

类似入射能量下的 K^+/π^+ 比值由 $P + P$ 到 $P + A$ 到 $A + B$ 逐渐增大的实验事实被再现; CERN 能量下 $p + p$ 、 $P + A$ 和 $A + B$ 的 K^+/π^+ 比值分别与 AGS 能量下的 $p + p$ 、 $P + A$ 和 $A + B$ 相近的实验事实, 也被解释。需要说明, AGS 能量下 $p + Au$ 的结果是取 $\sigma_{\pi\pi \rightarrow KK} = 0.2\text{fm}^2$, 此截面取为 0.05 和 0.35 的 K^+/π^+ 比结果分别是 0.103 和 0.12。

表 1 K/π 比的系统规律

		AGS 能量			CERN 能量		
		$p + p^{1)}$	$p + Au^{2)}$	$Si + Au^{3)}$	$p + p^{4)}$	$p + W^{5)}$	$S + W^{6)}$
K^+/π^+	实验	0.04—0.1	0.125	0.19 ± 0.03	0.108 ± 0.009	0.141 ± 0.008	0.197 ± 0.009
	理论	0.083	0.110	0.21	0.10	0.152	0.180
K^-/π^-	实验	0.03—0.06	0.028	0.036 ± 0.08	0.086 ± 0.008	0.037 ± 0.004	0.053 ± 0.004
	理论	0.030	0.023	0.027	0.051	0.063	0.076

1) $\sigma_{\pi\pi \rightarrow KK} = 0.5\text{mb}$, $\langle p \rangle = 600\text{MeV}$, 实验数据取自[10].

2) $\sigma_{\pi\pi \rightarrow KK} = 2.0\text{mb}$, $T = 20\text{MeV}$, 实验数据取自[3].

3) $\sigma_{\pi\pi \rightarrow KK} = 0.5\text{mb}$, $T = 100\text{MeV}$, 实验数据取自[11].

4) $\sigma_{\pi\pi \rightarrow KK} = 1.5\text{mb}$, $\langle p \rangle = 600\text{MeV}$, 实验数据取自[6].

5) $\sigma_{\pi\pi \rightarrow KK} = 1.5\text{mb}$, $T = 20\text{MeV}$, 实验数据取自[6].

6) $\sigma_{\pi\pi \rightarrow KK} = 1.5\text{mb}$, $T = 200\text{MeV}$, 实验数据取自[6].

($\langle p \rangle$: 核子的平均动量)

表 2 给出了 AGS 能量下 $Si + Au$ 、 $p + Au$ 以及 $P + P$ 的无再散射和有再散射的 K^+/π^+ 比值的计算结果。由此可见, 实验数据的被解释, 完全依赖于再散射效应。CERN 能量下的结果, 亦相类似。

表 2 K/π 比的再散射效应(AGS 能量)

	无再散射			有再散射		
	$p + p$	$p + Au$	$Si + Au$	$p + p$	$p + Au$	$Si + Au$
K^+/π^+	0.071	0.036	0.050	0.083	0.110	0.21
K^-/π^-	0.028	0.017	0.014	0.030	0.023	0.027

表 3 K/π 比的核子密度相关性 ($Si + Au$)

核子密度 (f_m^{-3})	0.16	0.32	0.64
K^+/π^+	0.21	0.23	0.25
K^-/π^-	0.027	0.029	0.032

$\sigma_{\pi\pi \rightarrow KK} = 0.5\text{mb}$, $T = 100\text{MeV}$, 完全再散射。

表 3 给出了 AGS 能量下 $Si + Au$ 反应中核子密度(亦即靶球半径)对 K^+/π^+ 比的效应。由此表可见, 随着核子密度的增大(靶球半径的减小), K^+/π^+ 比持续增加, 但密度效应并不很剧烈。因为从密度加大的角度看, 再散射可能性固然增大, 不过从靶球半径减小的角度看, 再散射的可能却应减小, 两者是相克的。显然若另从手征对称破缺恢复的角度来考虑, 密度效应将会剧烈得多。

表4对于AGS能量的Si+Au反应研究 π 形成时间(人为赋予的)对 K^+/π^+ 比的效应。由此表可见,形成时间的效应是很利害的。本模型的初级 π 是由Fritiof粒子产生器提供的,因此假设形成时间 $\tau=0$ 是合适的,其它表所给的结果也都是 $\tau=0$ 的。

表4 K/π 比与形成时间的关系 (Si + Au)

形成时间 $\tau(fm/c)$	0	0.5	1.0
K^+/π^+	0.21	0.070	0.052
K^-/π^-	0.027	0.016	0.014

$\sigma_{\pi\pi\rightarrow KK} = 0.5mb, T = 100MeV$, 完全再散射。

表5 介子数目统计 (Si + Au)

介子	K^+		π^+		K^-		π^-	
	无	全	无	全	无	全	无	全
再散射								
数目	217	572	4427	2709	72	106	5156	3876
增(或减)因子	2.63		(1.63)		1.47		(1.33)	

$\sigma_{\pi\pi\rightarrow KK} = 0.5mb, T = 100MeV$

表5统计了AGS能量下Si+Au反应中 π 和K各种介子的产额。由此表可见,再散射导致 K^+/π^+ 比值的增加,主要是 K^+ 产额增加的效应,而不是 π^+ 产额减少的缘故,与实验^[12]相符合。

作者感谢赵维勤教授的有益讨论,感谢丁林垲教授提供了Fritiof程序。

参 考 文 献

- [1] L.H. Xia and C.M.Ko, *Phys. Lett.*, **B222**(1989)343; C.M. Ko, Z.G. Wu, L.H. Xia and G. E. Brown, *Phys. Rev. Lett.*, **66**(1991)2577.
- [2] J. Cleymans, H. Satz, E. Suhonen and D.W. von Oertzen, *Phys. Lett.*, **B242** (1990)111.
- [3] C.M. Mader, W. Bauer and G.D. Westfall, *Phys. Rev.*, **C45**(1992)2438.
- [4] R.Mattiello, H. Sorge, H. Stöcker and W. Greiner, *Phys. Rev. Lett.*, **63**(1989)1459.
- [5] Chao Weiqin, Gao Chong shou and Zhu Yun lun, *Nucl. Phys.*, **A514**(1990)734.
- [6] T. Akesson et al., Helios collab., *Phys. Lett.*, **B296**(1992)273.
- [7] 王仲奇等,高能物理与核物理,18(1994).
- [8] B. Nilsson-Almqvist and E. Stenlund, *Comput. Phys. Comm.*, **43**(1988)387
- [9] P.Koch, B. Müller and J. Rafeiski, *Phys. Rep.*, **142**(1986)167.
- [10] S. Nagamiya., *Nucl. Phys.*, **A488**(1988)3c.
- [11] T. Abbott et al., E802 collab., *Phys. Rev. Lett.*, **64**(1990)847.
- [12] T. Abbott, et al., E802 collab., *Phys. Rev. Lett.*, **66**(1991)1567.

Systematic study of the K^+/π^+ ratio and hadronic transport model for rescattering of pion

Wang Zhongqi Sa Benhao Zhang Xiaoze Song Guang

Lu Zhongdao Zheng Yuming

(China Institute of Atomic Energy, Beijing, 102413)

Received on May 24, 1993

Abstract

The proposed hadronic transport model for rescattering of pion is used to investigate the K^+/π^+ ratio in p+p, p+Au and Si+Au reactions at AGS energy (14.6 AGeV/c). Experimental evidence of increasing continuously of the K^+/π^+ ratio from p+p to p+Au to Si+Au at similar incident energy per nucleon is reproduced reasonably. The experimental fact of K^+/π^+ ratio at CERN energy is comparable with corresponding result at AGS energy, is reproduced as well.

Key words hadron transport, rescattering effect, weight statistics, random walk.