

相对论重离子碰撞中 $\bar{\Lambda}$ 粒子产生 和 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 比率*

陆中道^{1-3, 1)} 萨本豪¹⁻³

1(中国高等科学技术中心 北京 100080)

2(中国原子能科学研究院 北京 102413)

3(中国科学院兰州重离子加速器国家实验室 兰州 730000)

松田正典 永田纯一 中村纯

(日本广岛大学综合科学部)

宫村修

(日本广岛大学理学部)

摘要 利用强子输运-弦碎裂模型研究了200A GeV重离子碰撞中 $\bar{\Lambda}$ 多重产生和 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 比率.研究了它们随反应系统大小和碰撞中心度的变化.研究表明 $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 多重数都随反应系统增大和随碰撞中心度提高而增大,但它们的比率基本保持不变. $\bar{\Lambda}$ 的湮没截面大小变化对 $\bar{\Lambda}$ 的多重数产生有一定影响,但对 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 比率影响不大.结果很好地再现了pp反应中 Λ/\bar{p} 比率.并获得这一比率在AA反应中是pp反应中的3—5倍.

关键词 相对论重离子碰撞 强子输运-弦碎裂模型 $\bar{\Lambda}$ 多重数 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 比率

1 引言

寻找QGP探测信号是相对论重离子碰撞研究的基本目标和基本任务.理论认为QGP的形成十分有利于奇异夸克对的产生,因而在强子化过程中将有丰富的奇异粒子产生.无论是奇异粒子的种类,还是数量都将比非QGP状态下多得多.因此可把奇异粒子的超额产生看作QGP形成的信号.奇异粒子包括K介子,奇异重子以及它们的反粒子.关于K介子和K/ π 比率已经作了很多研究.对奇异重子和反奇异重子也已作了一些研究.这些研究大都在强子输运的理论框架^[1-7]内进行,而且都能基本上解释实验结果.

1999-06-16 收稿

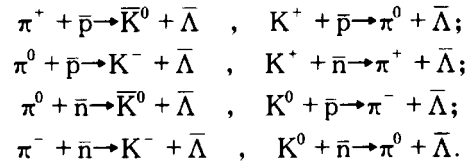
* 国家自然科学基金(19975075),核工业科学基金和兰州重离子加速器国家实验室核理论基金资助

1)E-mail: zdlu@iris.ciae.ac.cn

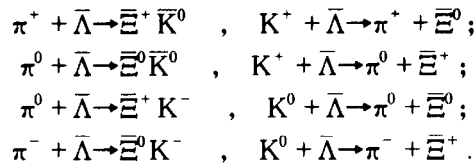
最近有报道关于 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 比率的实验结果^[8]. 此比率在 AA 碰撞中可达 3—5, 而在 pp 碰撞中只有 0.2—0.3. 报道也指出, 对 AA 碰撞中如此高的 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 比率迄今为止尚没有一个强子输运模型能够作出解释. 为此我们尝试用强子输运—弦碎裂模型^[7]进行计算和研究. 本文研究 $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 多重数以及它们的比率随反应系统大小和碰撞中心度变化的规律. 也研究 $\bar{\Lambda}$ 的湮没截面大小变化对它们的影响.

2 模型和 $\bar{\Lambda}$ 粒子产生

用强子输运—弦碎裂模型^[7]研究 $\bar{\Lambda}$ 粒子产生. 相对论重离子碰撞带进巨大的相对运动动量. 输运中的高能核子与核子发生激烈碰撞, 引起核子的高度激发和新粒子产生. 用弦的语言来说, 就是形成弦的激发和碎裂. 产生的粒子在输运过程中又和其它粒子发生碰撞, 或产生新的粒子, 或被吸收, 衰变. 这种过程一直持续下去, 直到系统 freeze-out. 初始碰撞中有 4 个重要反应道, 即 $NN \rightarrow NN\pi$, $NN \leftrightarrow N\Delta$ 和 $NN \rightarrow NYK$, $NN \rightarrow NNK\bar{K}$. 前两个反应道产生 π 介子和引起核子激发 (Δ 粒子也通过 $\Delta \rightarrow N\pi$ 产生 π 介子). 后两个反应道产生 k 介子和奇异粒子 ($Y = \Lambda, \Sigma$). 它们是反应中产生大量 π 介子和 k 介子的主要来源, 又是次级碰撞的主要参加者. 它们在和核子与其他粒子的碰撞中产生出一系列新的粒子来. $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 都只能在次级碰撞中产生. 产生 $\bar{\Lambda}$ 粒子的反应有 $\pi\bar{N} \rightarrow \bar{\Lambda}\bar{K}$ 和 $K\bar{N} \rightarrow \bar{\Lambda}\pi$ 两种反应道. 具体写出来就是



反过来 $\bar{\Lambda}$ 粒子在输运过程中也参与碰撞, 在碰撞中通过 $\pi\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{\Xi}K$ 和 $K\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{\Xi}\pi$ 两种反应道被吸收产生 $\bar{\Xi}$ 粒子. 具体写出来就是



以上反应道都有相应的逆过程. 整个核系统在整个反应过程中始终处于动态的粒子产生和吸收、衰变之中, 直到 freeze-out.

3 结果和讨论

计算在 LUCIAE 事件生成器^[7]上进行. LUCIAE 事件生成器是 FRITIOF 事件生成器^[1,9]的扩展. 它们都是根据上述强子输运—弦碎裂模型制成. 前者包含了重散射效应和集体弦激发. 我们首先研究了 200A GeV Au + Au 反应中 $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 的多重数以及它们的比率随碰撞参数的变化. 它们的多重数都随碰撞参数增加而减少 (见图 1). 在中心碰撞区, $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 都有较高的产额, 在边缘碰撞区, 产额都很少. 但它们的比率近似保持不变, 为 1.1.

碰撞参数的大小反映了参加碰撞的粒子数目的多寡. 为了更清楚地显示多重数随碰撞参加者数目的变化. 上图以碰撞参加者数目为变数画出于图 2. 可以看出, 它们的多重数都随碰撞参加者数目近似线性变化. 由此使它们的比率近似保持不变.

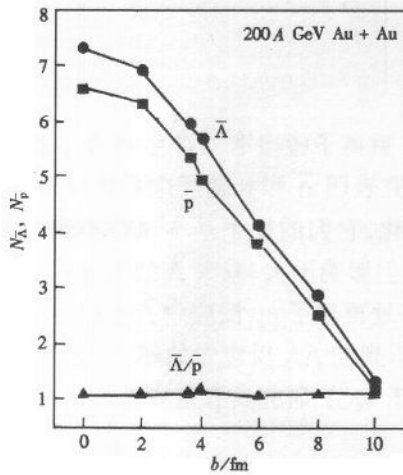


图 1 $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 的多重数以及它们的比率随碰撞参数的变化

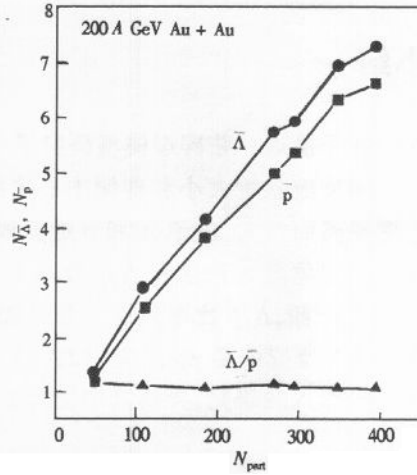


图 2 $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 的多重数以及它们的比率随碰撞参加者数目的变化

上述是在同一反应系统中 $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 多重数对于碰撞参加者数目的依赖关系和变化特点. 这种关系和特点也反映在不同一反应系统中. 图 3 是在同一能量下 pp, SS 和 AuAu 3 个反应系统中它们的多重数随碰撞参加者数目的变化. 在这 3 个反应系统中, 碰撞参数都取为零, 即都为高度的对心碰撞. 可以看出, 在这 3 个反应系统中, $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 两种粒子的多重数对于碰撞参加者数目仍有线性依赖关系, 它们的比率仍近似保持不变. 这里值得指出, 在 pp 反应中, 它们的比率为 0.28, 处于实验值 0.2—0.3 之间^[8]. 我们可以得到在 AA 反应中 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 的值相对于 pp 反应近似为 3—5 倍, 但得不到在 AA 反应中 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 值为 3—5. 前面已经提到, $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 两种粒子都只能在次级碰撞中产生. 重散射效应起着决定性作用. AA 反应相对于 pp 反应有更多的重散射, 不仅有一次重散射, 还有二次, 三次等高次重散射. 核系统越大, 高次重散射也越多. 而在这些重散射中, $\bar{\Lambda}$ 的产生率高于 \bar{p} 的产生率(表现为 $\bar{\Lambda}$ 曲(直)线的斜率大于 \bar{p} 曲(直)线的斜率). 因此 AA 反应中 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 值相对于 pp 反应有倍数的增加.

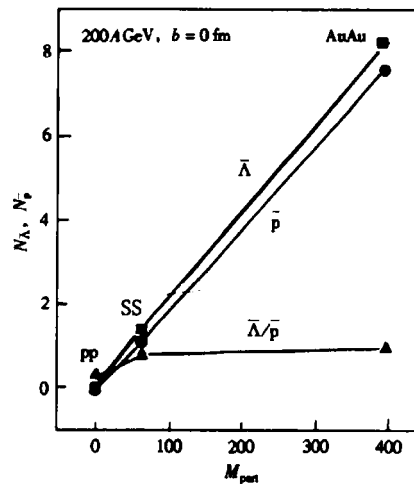


图 3 $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 的多重数以及它们的比率随反应系统大小的变化

我们也研究了 $\bar{\Lambda}$ 的湮没截面的取值对于 $\bar{\Lambda}$ 产生的影响. $\bar{\Lambda}$ 的湮没截面一般取为

5.6mb. 计算表明,减少 $\bar{\Lambda}$ 的湮没截面并不能大幅度地增加 $\bar{\Lambda}$ 的产额,因此 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 也只有小幅增加. 即使 $\bar{\Lambda}$ 的湮没截面取为零,对于 200A GeV AuAu 对心碰撞, $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 也只有 1.2,远远小于 3—5. 为了弄清 AA 反应具有大的 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 比率,研究 \bar{p} 与质子流的反关联以及其它原因是十分必要的,这也许对于 QGP 信号的研究具有重要意义.

4 小结

利用强子输运-弦碎裂模型研究了 200A GeV 重离子碰撞中 $\bar{\Lambda}$ 产生和 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 比率. 研究了它们随反应系统大小和碰撞中心度的变化. 研究表明 $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 随反应系统增大和随碰撞中心度提高而增大. 由于 $\bar{\Lambda}$ 和 \bar{p} 近似线性同步变化,它们的比率基本保持不变. $\bar{\Lambda}$ 的湮没截面大小变化对 $\bar{\Lambda}$ 产生和 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 比率有一定影响,但影响不大. 减少 $\bar{\Lambda}$ 的湮没截面,只小幅增加 $\bar{\Lambda}$ 产额, $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 比率只有小量增加. 结果很好地再现了 pp 反应中 $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ 比率. 获得这一比率在 AA 反应中是 pp 反应中的 3—5 倍,但得不到在 AA 反应中的超大比值. 对此需要作进一步深入的研究,弄清其中物理原因也许对于 QGP 研究具有重要意义.

参考文献 (References)

- 1 Adersson B et al. Nucl. Phys., 1987, **281**: 286; Adersson B, Gustafson G, HONG Pi. Z. Phys., 1993, **C57**: 485
- 2 Werner K. Phys. Rev. Lett., 1989, **62**: 2460; Werner K. Phys. Rep., 1993, **232**: 87
- 3 Bggild H et al (NA44 Collab). Phys. Letts., 1995, **B349**: 386
- 4 WANG X N, Gyulassy M. Phys. Rev., 1991, **D44**: 3501; WANG X N, Gyulassy M. Comp. Phys. Comm., 1994, **83**: 307
- 5 Sorge H. Phys. Rev., 1995, **C52**: 3291
- 6 SA BenHao, TAI An, LU ZhongDao. Phys. Rev., 1995, **C52**: 2069;
SA BenHao, TAI An, LU ZhongDao. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1995, **19**: 1019
(萨本豪,台安,陆中道. 高能物理与核物理,1995,19: 1019)
- 7 SA BenHao, TAI An. Comp. Phys. Comm., 1995, **90**: 121
- 8 Bass S A, Gyulassy M, Stocker H et al. hep-ph/9810281
- 9 HONG Pi. Comp. Phys. Comm., 1992, **71**: 173

$\bar{\Lambda}$ Production and $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ Ratio in Relativistic Heavy Ion Collisions *

LU ZhongDao^{1-3, 1)} SA BenHao¹⁻³

1(*The China Center of Advance Science and Technology (CCAST), Beijing 100080, China*)

2(*China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China*)

3(*Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou, Lanzhou 730000, China*)

Masanori Matsuda Junichi Nagata Atsushi Nakamura
(*Faculty of Integrated Art and Science, Hiroshima University, Japan*)

Osamu Miyamura
(*Faculty of Science, Hiroshima University, Japan*)

Abstract The $\bar{\Lambda}$ multiplicity and $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ ratio are studied by hadron transportation-string fragmentation model in relativistic heavy ion collisions. Firstly, the dependence of $\bar{\Lambda}$ multiplicity and $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ ratio on the system size and the collision centrality is studied. It shows that the $\bar{\Lambda}$ and \bar{p} multiplicities go up as the increase of system size and the increase of collision centrality. However, their ratio keeps almost a constant. The effect of $\bar{\Lambda}$ annihilation cross section to $\bar{\Lambda}$ multiplicity and $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ ratio is also studied. It is found that this effect is weak: $\bar{\Lambda}$ multiplicity and $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ ratio have a little amount of increase by the decrease of $\bar{\Lambda}$ annihilation cross section. Even the cross section is down to zero, $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ ratio is only 1.2 in 200A GeV AuAu head on collision. The $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ ratio is obtained to be 0.28 in pp collision, lying in the range of experimental data: 0.2—0.3. It is also obtained that the ratio in AA collisions is 3—5 times of that in pp collision.

Key words relativistic heavy ion collision, string-hadron fragmentation model, $\bar{\Lambda}$ multiplicity, $\bar{\Lambda}/\bar{p}$ ratio

Received 16 June 1999

* Supported by National Natural Science Foundation of China (19975075) and Nuclear Industrial Science Foundation and Theoretical Nuclear Physics Foundation of National Laboratory of Heavy Ion Accelerator of Lanzhou

1)E-mail: zdlu@iris.ciae.ac.cn