

极端相对论性核碰撞中的奇异 重子与 QGP 讯号*

萨本豪¹ 台安² 陆中道¹

1(中国原子能科学研究院 北京 102413)

2(隆德大学理论物理系 瑞典)

1994-10-17 收稿

摘 要

用带有弦集体相互作用和再散射的 Fritiof 程序新版, 计算了 S (200GeV/c) + Pb 反应中奇异重子与反重子的比值. $\bar{\Lambda}/\Lambda$, Ξ^-/Λ , $\bar{\Xi}^-/\bar{\Lambda}$ 和 Ξ^-/Ξ^- 的理论值和相应实验数据, 在实验数据彼此偏差的范围内相符合. 这表明: 奇异重子与反重子的比值在强子背景下可能得到解释.

关键词 奇异重子, 夸克-胶子等离子体, 弦, 再散射.

众所周知: 在夸克-胶子等离子体 (QGP) 相下, 奇异夸克产生的阈能 (譬如 $q\bar{q} \rightarrow s\bar{s}$ 或 $g\bar{g} \rightarrow s\bar{s}$, 其阈能 $E_{th} \sim 300\text{MeV}$) 远小于强子物质 (HM) 相 (譬如 $\pi N \rightarrow K\Lambda$, 其 $E_{th} \sim 600\text{MeV}$), 奇异粒子产生有可能成为探测极端相对论性核碰撞中是否有夸克-胶子等离子体形成的讯号^[1].

奇异粒子产生的实验测量是相当困难的, 因为它们的产额很低, 而且来自母体衰变的污染很难消除. 理论计算奇异粒子产生的困难则在于: 有关的奇异夸克产生和交换反应是如此的众多, 而它们截面知识又惊人的贫乏.

最近 NA36 发表了 $\bar{\Lambda}/\Lambda$, Ξ^-/Λ , $\bar{\Xi}^-/\bar{\Lambda}$ 和 Ξ^-/Ξ^- 的结果^[2]; 这些结果和老的世界数据 (world data)^[3-5], 有相当的差别. NA36 在 S (200GeV/c) + Pb 反应中测得的 $\bar{\Xi}^-/\bar{\Lambda} = 0.127 \pm 0.022$, 这样在核-核碰撞中该比值相对于 p+p 或 p+核碰撞的增长因子, 就由原来的 5^[4] 降到 2. 人们不免要问, 现在此增长因子的解释, 是否仍需依赖于 QGP 的形成? 虽然 NA36 $\bar{\Xi}^-/\bar{\Lambda}$ 的结果与老世界数据相去不远; 可就我们所知, 至今尚无该比值的理论结果. 所以说 NA36 数据的发表, 对理论家提出了挑战.

我们用含有弦集体相互作用和再散射的 Fritiof 事件产生器, 研究了 S (200GeV/c) + Pb 反应中奇异重子和反重子的比值. 得到的理论结果, 在实验数据彼此偏差的范

* 国家自然科学基金资助.

1 中国高等科学技术中心 北京 100080

围内与实验相符合.

大家知道, 在 Fritiof 7.02 版本^[6] (亦即未含弦的集体相互作用和再散射的版本)中, 弦在其破碎前的胶子辐射, 是各个弦分别考虑的而且假设为彼此无关的. 在本文所用的 Fritiof 新版中考虑弦的胶子辐射时, 则包含了弦间的集体相互作用; 这儿用到了爆竹模型 (firecracker), 详细请见文献 [7]. 含有弦集体相互作用和再散射的 Fritiof 新版, 又叫 LUCIAE^[8] (这儿 LU 指 Lund University, CIAE 指 China Institute of Atomic Energy).

再散射模型则是我们建立的^[9], 它接在 Fritiof 程序之后, 用以描写产生粒子 (如 π 和 K 等) 与参加者及旁观者核子间的再相互作用以及产生粒子彼此间的相互作用. 为此, 首先把 Fritiof 所提供的产生粒子和参加者核子, 随机地布置在交迭区内 (此交迭区是弹核在一定碰撞参数下穿过靶核时所截下的). 再把弹 (靶) 旁观者核子随机地布置在交迭区之外但在弹 (靶) 球之内. 所谓再散射的级联过程, 就自此开始演化; 详见文献 [9]. 这儿和 [9] 的不同在于: 还需考虑 Λ 、 Σ 和 Ξ^- 粒子, 需考虑的非弹过程也相应地增加了许多. 它们可归类为

奇异夸克产生过程:

$$\begin{aligned} \pi\pi &\rightarrow K\bar{K}, \pi N \rightarrow KY, \pi\bar{N} \rightarrow \bar{K}\bar{Y}, \\ \pi Y &\rightarrow K\Xi^-, \pi\bar{Y} \rightarrow \bar{K}\bar{\Xi}^-, \bar{K}N \rightarrow K\Xi^- \\ \bar{K}\bar{N} &\rightarrow \bar{K}\bar{\Xi}^-; \end{aligned}$$

和

奇异夸克交换过程:

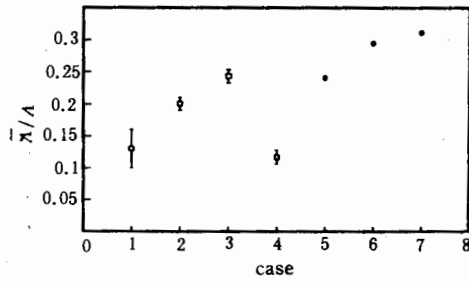
$$\bar{K}N \rightarrow \pi Y, \bar{K}Y \rightarrow \pi\Xi^-;$$

这儿 Y 指 Λ 或 Σ . 另外, 和反应 $\bar{K}N \rightarrow \pi Y$ 及 $\bar{K}Y \rightarrow \pi\Xi^-$ 相比, 为简单计忽略了反应 $\bar{K}\bar{N} \rightarrow \pi\bar{Y}$ 和 $\bar{K}\bar{Y} \rightarrow \pi\bar{\Xi}^-$ (这导致奇异重子与反重子比值的低估). 因此考虑同位旋后计有 72 个非弹道.

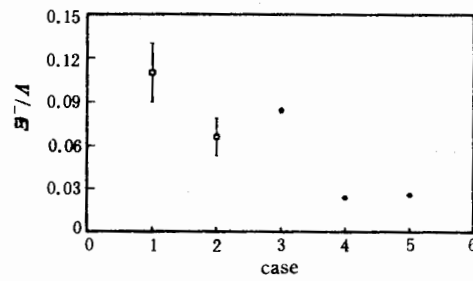
鉴于上述非弹反应截面奇缺, 像通常那样, 或对它们作合理的假设, 或取常数截面近似^[10]: 首先延用惯常的截面具有同位旋对称性的假设^[11]: $\pi\pi \rightarrow KK$ 截面取为 2.0mb^[10]; 另外, $\pi N \rightarrow KY$ 以及其它奇异夸克产生反应的截面, 可采用文献 [11] 的同位旋平均的参数化形式; 但考虑到它所依据的实验截面值跨的 \sqrt{s} 范围很窄 (只有 1—2GeV), 参数化形式外推到扩阔的 \sqrt{s} 范围也不尽可靠; 为简单计本文则参照仅有的实验数据假设该截面为 0.3mb. 像文献 [11] 那样, 奇异夸克交换反应截面, 假设为奇异夸克产生反应的十倍. 同时 Ξ^- ($\bar{\Xi}^-$) 产生反应截面, 也假设是 $\pi N \rightarrow KY$ 的十倍.

图 1—4 给出了 $\bar{\Lambda}/\Lambda$ 、 $\bar{\Xi}^-/\Lambda$ 、 $\bar{\Xi}^-/\bar{\Lambda}$ 和 $\bar{\Xi}^-/\Xi^-$ 的理论结果及其与实验的比较. 在每一图中都有三种理论结果, 分别对应于含有弦集体相互作用与再散射的 Fritiof、只含有弦集体相互作用的 Fritiof 和 Fritiof 7.02 (即未含弦集体相互作用和再散射). 从图 1—4 我们看到: 和实验数据相比, 含弦集体相互作用和再散射的 Fritiof 最好; 另外, 再散射的效应, 似乎比弦集体相互作用要强些.

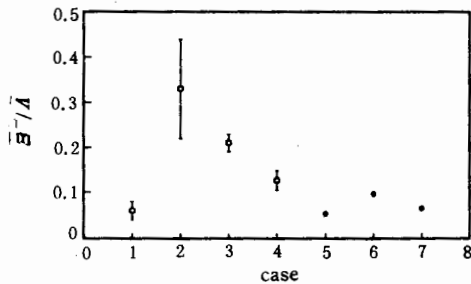
虽然上述图中的实验数据, 对应的反应系统以及实验中所设置的观察窗口 (如快度

图 1 $\bar{\lambda}/\lambda$ 比

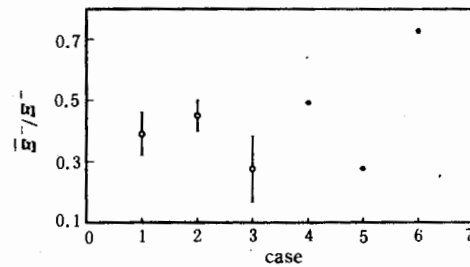
Case 1: WA85 (1991) 数据, SW 反应 [4];
 Case 2: WA85 (1993) 数据, SW 反应 [5];
 Case 3: NA36 (1994) 数据, Spb 反应 [2];
 Case 4: NA36 (1994) 数据, Spb 反应 [2],
 对 Ξ^- 衰变作过修正;
 Case 5: 含弦集体相互作用和再散射 Fritiof;
 Case 6: 含弦集体相互作用 Fritiof;
 Case 7: Fritiof 7.02.

图 2 $\bar{\Xi}/\lambda$ 比

Case 1: WA85 (1991) 数据, SW 反应 [4];
 Case 2: NA36 (1994) 数据, Spb 反应 [2];
 Case 3: 含弦集体相互作用和再散射 Fritiof;
 Case 4: 含弦集体相互作用 Fritiof;
 Case 5: Fritiof 7.02.

图 3 $\bar{\Xi}/\bar{\lambda}$ 比

Case 1: AFS (1984) 数据, pp 反应 [3];
 Case 2: WA85 (1991) 数据, SW 反应 [4];
 Case 3: WA85 (1993) 数据, SW 反应 [5];
 Case 4: NA36 (1994) 数据, Spb 反应 [2];
 Case 5: 含弦集体相互作用和再散射 Fritiof;
 Case 6: 含弦集体相互作用 Fritiof;
 Case 7: Fritiof 7.02.

图 4 $\bar{\Xi}/\Xi$ 比

Case 1: WA85 (1991) 数据, SW 反应 [4];
 Case 2: WA85 (1993) 数据, SW 反应 [5];
 Case 3: NA36 (1994) 数据, Spb 反应 [2];
 Case 4: 含弦集体相互作用和再散射 Fritiof;
 Case 5: 含弦集体相互作用 Fritiof;
 Case 6: Fritiof 7.02.

Y 和横动量 P_t 的窗口), 彼此相差甚远; 但它们都放在一块作比较并统称谓世界数据 (world data), 这充分说明了当前奇异粒子研究的粗略的 (初步的) 局面. 我们计算中放置的窗口是与文献 [2] 同.

尽管如此, 我们还是初步研究了, 对截面取的假设略有不同时, 对计算结果的影响. 假如称上面对截面作的假设为方案 1, 我们还算了方案 2 和 3. 方案 2 和 1 的不同仅在于: 有 Ξ^- ($\bar{\Xi}^-$) 产生反应的截面被取为 $\pi N \rightarrow KY$ 的截面; 故此方案实际上就是假

设: 所有奇异夸克产生反应截面都等于 $\pi N \rightarrow KY$ 的截面, 而所有奇异夸克交换反应截面都等于 $\pi N \rightarrow KY$ 的十倍. 方案 3 和 2 的不同在于: 又假设 $\bar{K}N \rightarrow K\Xi^-$ 和 $K\bar{N} \rightarrow \bar{K}\Xi^-$ 的截面亦为 $\pi N \rightarrow KY$ 的十倍. 方案 1、2 和 3 的结果, 虽然彼此有一定的差别; 但它们和世界数据的比较, 都在实验数据彼此偏差的范围内.

总之, 本文的结果似乎表明: 极端相对论性核碰撞中奇异重子和反重子产额比的实验数据, 有可能在 HM 的背景下得到解释, 并不一定非要假设有 QGP 形成不可.

虽然我们已对截面假设的效应作过些研究, 不过截面因素是极为重要的, 仍需拭目以待. 另外, 本文未考虑 $p\bar{p}$ 湮没反应的影响. 虽然在本文所考虑的非弹道中, 与 $p\bar{p}$ 湮没有关者只略占 1/70, 因而它的效应可能不大; 但还是应该具体地研究一下为好. 还有 $\pi N \rightarrow \pi\Delta$, $\pi N \rightarrow \rho N$ 和 $NN \rightarrow N\Delta$ 反应的影响等, 也值得进一步研究. 所有这些工作, 都在计划之中.

参 考 文 献

- [1] M. Jacob, J. Tran Van., *Phys. Rep.*, **88** (1982) 321; J. Rafelski *Phys. Rep.*, **88** (1982) 331; P. Koch, J. Rafelski, *Nucl. Phys.*, **A444** (1985) 678; J. Ellis, U. Heinz, *Phys. Lett.*, **B233** (1989) 223.
- [2] E. Andersen, et al., *Phys. Lett.*, **B327** (1994) 433.
- [3] T. Akesson et al., *Nucl. Phys.*, **B246** (1984) 1.
- [4] S. Abatzis et al., *Phys. Lett.*, **B270** (1991) 123.
- [5] D. Evans et al., *Nucl. Phys.*, **A566** (1993) 225c.
- [6] B. Andersson, G. Gustafson, Hong Pi, *Z. Phys.*, **C57** (1993) 485.
- [7] B. Andersson, *Phys. Lett.*, **B256** (1991) 337.
- [8] Tai An, private communication.
- [9] Sa Ben-Hao, Wang Zhong-Qi, Zhang Xiao-Ze, Song Guang, Lu Zhong-Dao, Zheng Yu-Ming, *Phys. Rev.*, **C48** (1993) 2995.
- [10] R. Mattiello, H. Sorge, H. Stöcker, W. Greiner, *Phys. Rev. Lett.*, **63** (1989) 1459.
- [11] P. Koch, B. Müller, J. Rafelski, *Phys. Rep.*, **142** (1986) 167.

Strange Baryon and the Signal of QGP Formation in Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collisions

Sa Benhao¹ Tai An¹ Lu Zhongdao¹

¹ (China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

² (Department of Theoretical Physics, University of Lund, Sölvegatan 14A, S-223 62 Lund, Sweden)

Received 17 October 1994

Abstract

The ratios of strange baryon to antibaryon produced in the reaction S+Pb at 200 AGeV beam energy are computed using new version of Fritiof with collective string interaction and rescattering. Theoretical ratios of $\bar{\Lambda}/\Lambda$, Ξ^-/Λ , $\bar{\Xi}^-/\bar{\Lambda}$ and $\bar{\Xi}^-/\Xi^-$ are comparable with experimental data within the range of the deviation among the data of different collaborations. It seems to indicate that these data of the ratios of strange baryon to antibaryon might be explained in the hadronic scenario.

Key words strange baryon, quark-gluon plasma, string, rescattering.