

# 158A GeV 的相对论重离子碰撞的强子快度分布及温度拟合\*

马国亮<sup>1;1)</sup> 马余刚<sup>1</sup> 王鲲<sup>1</sup> 沈文庆<sup>1</sup> 蔡翔舟<sup>1</sup> 张虎勇<sup>1</sup>  
卢朝辉<sup>1</sup> 钟晨<sup>1</sup> 陈金根<sup>1</sup> 魏义彬<sup>1</sup> 黄焕中<sup>2</sup> 萨本豪<sup>3</sup>

1 (中国科学院上海原子核研究所 上海 201800)

2 (Dept of Physics, University of California at Los Angeles, CA 90095, USA)

3 (中国原子能科学研究院 北京 102413)

**摘要** 针对最近 NA49 在 158A GeV 的实验(C + C, Si + Si, Pb + Pb)数据,应用 LUCIAE3.0 模型进行模拟,得到了强子的快度分布和横向动量分布,并与实验数据进行比较,发现基本与实验数据相吻合.并对横向动量分布进行温度拟合,给出了和实验数据吻合很好的结果,但是对于重系统或重强子 LUCIAE3.0 给出的结果与实验符合相对较差.

**关键词** 快度分布 横向动量分布 动力学温度 QGP 相变

## 1 引言

相对论重离子碰撞是当今核物理与高能物理研究的前沿课题,而其主要的物理目标是寻找一种新的物质相——夸克-胶子等离子相(即 QGP 相)<sup>[1-3]</sup>.为了寻找这种新的相,各国的实验室进行了大量而又艰辛的实验,例如 CERN 的 SPS,美国的 RHIC 等.其中 CERN 的 NA49 小组最近用不同离子(C + C, Si + Si, Pb + Pb)在不同能量(最高达到 158A GeV)下的重离子碰撞实验去寻找 QGP 相变的信号和 QGP 相所服从的物理机制. NA49 小组的实验给出了反应所得强子的快度分布和横向动量分布,发现了强子(尤其是奇异粒子)产额随系统尺寸的依赖性<sup>[4]</sup>.

但是,在 NA49 小组的实验中 QGP 相究竟有没有形成?各家对此众说纷纭,并提出了许多带 QGP 相变和没有 QGP 相变的模型来拟合实验数据<sup>[5]</sup>.本文采用 LUCIAE3.0 模型拟合了 NA49 的实验结果,它是一个没有包括 QGP 相变的蒙特卡罗模拟程序.

发现对于轻系统(C + C, Si + Si)的强子快度与横向动量分布基本与实验数据相吻合,而对于重系统(Pb + Pb)的强子(尤其是重的强子)由 LUCIAE3.0 得到的结果与实验相差较大.从模拟所得到的强子横向动量分布中提取出了强子的热力学温度,与实验数据比较后,发现了与以上类似的规律.由于考虑到 LUCIAE3.0 模型中没有包括进相变的信息,以上的结果可能是由于发生了 QGP 相变所致.

## 2 LUCIAE3.0 模型和不同系统的强子快度分布

LUCIAE3.0 是一个相对论性核-核碰撞模型<sup>[6]</sup>,它建立在著名模型 FRITIOF<sup>[7]</sup>基础上.在 FRITIOF 模型中核-核碰撞被简单地描写为核子-核子碰撞的叠加,因而解释核-核碰撞实验结果往往不理想. LUCIAE3.0 模型主要在下列三方面做了发展:1)考虑了参加者核子、旁观者核子和产生粒子间末态相互作用(再散射)<sup>[8]</sup>,因为再散射一般是不容

2003-01-21 收稿

\* 国家自然科学基金委重点项目(10135030),国家重点基础研究发展规划项目(G200077400)和国家杰出青年科学基金(19725521)之中国科学院后续基金资助

1) E-mail: glma@sinr.ac.cn

忽视的. 2) LUCIAE 用爆竹模型, 考虑了相对论性核-核碰撞早期弦密集时某些弦可能构成集体态用集体能量发射胶子的事实, 也就是考虑了弦发射集体效应. 3) LUCIAE 引入了奇异夸克压低的约化效应, 通过引入有效弦张量, 将 JETSET 软件包中与弦张量及奇异产生有关的参数变成与入射能量、反应系统大小及中心度有关的参数, 使之反映实验结果<sup>[9,10]</sup>.

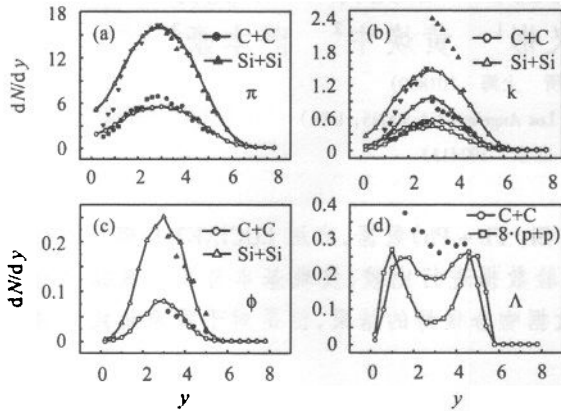


图 1 C + C 和 Si + Si 的反应产生强子的快度分布  
 实心符号为实验数据, 空心符号为 LUCIAE 模拟结果. (a), (b) 中 ▲, ▼ 分别为 Si + Si 的  $\pi^+$  和  $\pi^-$  或  $K^+$  和  $K^-$ ; ■, ● 分别为 C + C 的  $\pi^+$  和  $\pi^-$  (a) 或  $K^+$  和  $K^-$  (b); (c) 中的 ▲, ● 分别 C + C 和 Si + Si 的  $\Phi$ ; (d) 中 ● 为 C + C 的  $\Lambda$ .

我们使用 LUCIAE3.0 模拟了不同大小的 3 个系统 C + C, Si + Si 和 Pb + Pb 在 158A GeV 的碰撞实验, 选择中心碰撞. 研究了 C + C 和 Si + Si 反应产生的  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $K^+$ ,  $K^-$ ,  $\Phi$  和  $\Lambda$  粒子的快度分布, 并与文献[5]中的实验数据相比较, 发现  $\pi^+$ ,  $\pi^-$  和  $\Phi$  粒子与实验吻合较好, 而  $K^+$ ,  $K^-$  和  $\Lambda$  粒子则与实验数据有一些差异. 如图 1 所示. 可以看到,  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $K^+$ ,  $K^-$ ,  $\Phi$  粒子的快度分布为高斯分布, 其中  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ ,  $\Phi$  与实验吻合较好, 而  $K^+$ ,  $K^-$ ,  $\Lambda$  粒子的产额和实验相比较小些. 从图 1(d) 可以看出 C + C 的  $\Lambda$  粒子的快度分布与 8 倍 ( $8 = N_{part}(C + C)/N_{part}(p + p)$ ) 的 p + p 的快度分布相比在中心快度区相差很多, 这说明核-核反应并非简单地由核子-核子碰撞叠加组成.

### 3 不同系统的强子的横向动量分布与温度拟合

在使用 LUCIAE3.0 模拟相对论重离子碰撞得到各强子快度分布的同时, 也统计出了它们的横向动量分布, 又通过使用公式<sup>[11]</sup>

$$1/m_i dN/dm_i = A/Te^{-m_i/T} \quad (1)$$

对其进行拟合 ( $m_i = (P_i^2 + m_0^2)^{1/2}$  为粒子的横向质量), 得到各个粒子的热力学温度并与实验数据比较发现 (不考虑  $\Lambda$  粒子). 对于比较轻的系统 C + C, Si + Si, LUCIAE3.0 给出的较轻的  $\pi$  和 K 介子的拟合温度与实验吻合很好, 而对于比较重的强子  $\Phi$  以及 Pb + Pb 系统的拟合温度比较差, 但是如果舍弃其低横动量部分, 只对高横动量部分拟合会得到和实验基本一致的结果. 具体如表 1 所示. 图 2 给出了 158A GeV C + C 中  $\pi^+$ ,  $K^+$ ,  $\Phi$ ,  $\Lambda$  的横向动量分布及相应的温度提取情况. 图 3 给出了 Si + Si 产生  $\Phi$  介子的低横动量区与高横动量区的温度拟合比较.

由表 1 可以看出, 158A GeV Pb + Pb 的系统的整个横向动量谱拟合出各种粒子的温度与实验相差很大, 必须选择其高横动量区进行拟合. 其中对于  $\pi^+$ ,  $K^+$  介子高横动量的温度拟合情况如图 4 所示.

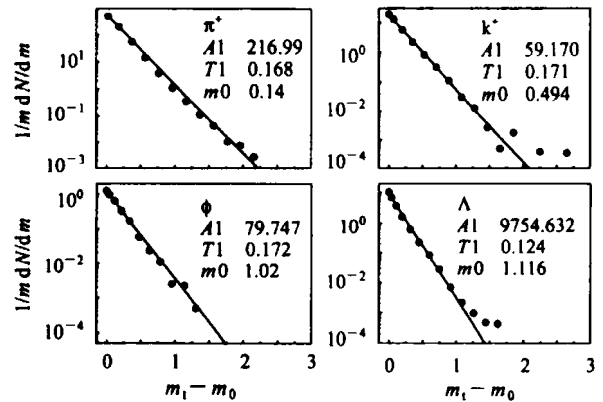


图 2 158A GeV C + C 产生  $\pi^+$ ,  $K^+$ ,  $\Phi$ ,  $\Lambda$  粒子的横向动量分布与动力学温度拟合结果

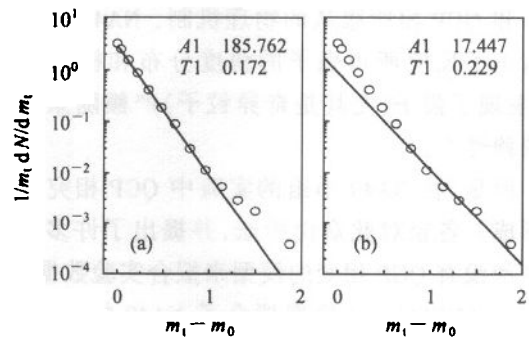


图 3 158A GeV Si + Si 产生  $\Phi$  介子的低横动量分布 (a) 与高横动量区; (b) 的温度拟合结果.

从表 1 还可以看出核-核相对论碰撞产生的强子的运动学温度随强子质量的增长而增长, 随系统

表 1 158A GeV 3 个反应系统产生的各强子拟合温度与实验温度的比较

| 强子        | C + C                        |                        | Si + Si                      |                        | Pb + Pb                      |                                 |                                |
|-----------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|           | 实验温度<br>$T_{exp}/\text{MeV}$ | 拟合温度<br>$T/\text{MeV}$ | 实验温度<br>$T_{exp}/\text{MeV}$ | 拟合温度<br>$T/\text{MeV}$ | 实验温度<br>$T_{exp}/\text{MeV}$ | 整个 $P_T$ 拟合温度<br>$T/\text{MeV}$ | 高 $P_T$ 拟合温度<br>$T/\text{MeV}$ |
| $\pi$     | 158                          | 168.2                  | 160                          | 166.8                  | 188                          | 175.9                           | 187.0                          |
| K         | 170                          | 170.9                  | 180                          | 168.2                  | 224                          | 175.5                           | 213.5                          |
| P         |                              | 161.8                  | 230                          | 171.4                  | 291                          | 140.8                           | 302.5                          |
| $\Phi$    | 180                          | 171.7                  |                              | 172(229)               | 310                          | 188.9                           | 239.5                          |
| $\Lambda$ | 225                          | 124.1                  |                              | 131.5                  | 293                          | 162.5                           | 195.8                          |

\* 括号内为高横动量拟合温度.

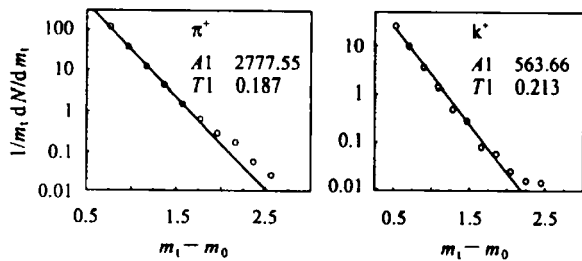


图 4 158A GeV Pb + Pb 产生  $\pi^+$ ,  $K^+$  介子高横动量的温度拟合结果

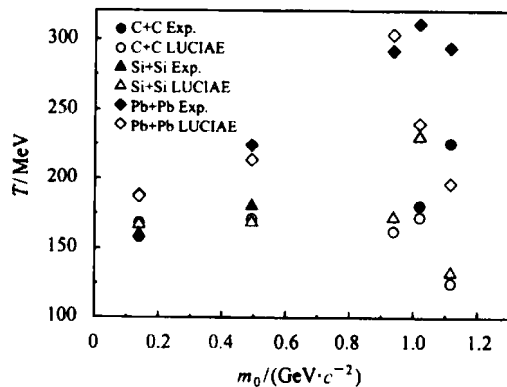


图 5 158A GeV 的 3 个反应系统产生的各强子温度与质量的关系

尺寸的增长而增长. 实验与 LUCIAE3.0 得到的强子温度与其质量的关系见图 5. 由图 5 可以看到, 对于轻的粒子, LUCIAE3.0 得到的温度数据与实验基本吻合, 但是对于重的粒子与实验相差较大. 而这些重的粒子 (尤其是奇异粒子) 对于反应是否发生 QGP 相变有着特殊的意义<sup>[12]</sup>. 所以以上的重离子碰撞中不排除有 QGP 相变发生.

#### 4 小结

通过使用 LUCIAE3.0 模型对 NA49 小组的 158A GeV C + C, Si + Si, Pb + Pb 不同系统的实验进行蒙特卡罗模拟, 发现 LUCIAE3.0 模型对轻系统和轻粒子的快度分布和横向动量分布及其温度拟合都很好, 但是对于重系统和重粒子模拟的效果相对较差. 由于 LUCIAE3.0 模型中并未考虑 QGP 相变的信息, 所以不排除是 QGP 相变效应所致. 我们正在用流体力学模型<sup>[13]</sup> 计算 158A GeV Pb + Pb 系统, 希望得到与实验拟合更好的结果.

#### 参考文献 (References)

- 1 Bass S A. arXiv:nucl-th/0202010 v2
- 2 Sorge H. Phys. Rev., 1995, **C52**:3291
- 3 Werner K. arXiv:hep-ph/0009153 v1
- 4 Hohne C. for NA49 Collaboration arXiv:nucl-ex/0209018 v1
- 5 WANG Xin-Nian. arXiv:nucl-th/0105053 v1
- 6 TAI An, SA Ben-Hao. Comput. Phys. Commu., 1999, **116**:355
- 7 HONG Pi, Z. Phys., 1993, **C57**:485
- 8 SA Ben-Hao, TAI An, LU Zhong-Dao. Phys. Rev., 1995, **C52**:2069
- 9 SA Ben-Hao et al. Phys. Rev., 2002, **C66**:044902
- 10 SA Ben-Hao, TAI An. Phys. Lett., 1997, **B399**:29
- 11 Jones P G, the NA49 Collaboration. Nucl. Phys., 1996, **A610**:188c
- 12 Sorge H. Nucl. Phys., 1998, **A630**:522c
- 13 Rischke D H et al. Nucl. Phys., 1995, **A595**:346

**Rapidity Distributions and Thermal Fits for Relativistic Heavy-Ion Collisions at 158A GeV\***

MA Guo-Liang<sup>1,1)</sup> MA Yu-Gang<sup>1</sup> WANG Kun<sup>1</sup> SHEN Wen-Qing<sup>1</sup> CAI Xiang-Zhou<sup>1</sup> ZHANG Hu-Yong<sup>1</sup>  
LU Zhao-Hui<sup>1</sup> ZHONG Chen<sup>1</sup> CHEN Jin-Gen<sup>1</sup> WEI Yi-Bin<sup>1</sup> HUANG Huan-Zhong<sup>2</sup> SA Ben-Hao<sup>3</sup>

1 (Shanghai Institute of Nuclear Research, CAS, Shanghai 201800, China)

2 (Dept of Physics, University of California at Los Angeles, CA 90095, USA)

3 (China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

**Abstract** LUCIAE3.0 model was used to simulate the relativistic heavy-ion collisions, namely C + C, Si + Si and Pb + Pb, which were already performed experimentally by NA49 collaboration. The simulated results of rapidity and transverse momentum distributions of all kinds of hadrons were compared with the NA49 data and found that they can fit the experimental data mostly. The kinetic temperature was deduced by the thermal fits to the transverse mass distributions of hadrons. It is found that the temperatures of light systems or hadrons fit the experimental data well, however, those of heavy systems or hadrons deviate much from the data, which probably because that LUCIAE3.0 doesn't include the information of QGP phase transition.

**Key words** rapidity distribution, transverse momentum distribution, kinetic temperature, quark-gluon plasmaphase transition

---

Received 21 January 2003

\* Supported by the Major State Basic Research Development Program (G20007740C), the National Natural Science Foundation of China (10135030) and the National Natural Science Foundation of China for Distinguished Young Scholars (19725521)

1) E-mail: glma@sinr.ac.cn