

# 158A GeV / c Pb + Pb 碰撞 中 J / $\psi$ 是反常压低吗? \*

萨本豪<sup>1,1)</sup> 台安<sup>2</sup> 王辉<sup>1</sup>

1 (中国原子能科学研究院 北京 102413)

2 (中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

**摘要** 用含有领头粒子能量衰减、J /  $\psi$  先驱体在弦色场中离解和物理 J /  $\psi$  的强子吸收等三种机制的强子和弦级联模型, JPCIAE, 计算了 200A GeV / c 的 PA 和 AB (轻的弹核) 反应以及 Pb + Pb 反应中 J /  $\psi$  压低因子, 取得与 NA38 及 NA50 数据全面地较好符合; 从而对 Pb + Pb 反应中 J /  $\psi$  是反常压低的说法提出质疑.

**关键词** J /  $\psi$  压低因子 JPCIAE 模型 领头粒子能衰减 J /  $\psi$  先驱体色离解 J /  $\psi$  的强子吸收

## 1 引言

文献 [1] 中用建立在 LUND 模型特别 PYTHIA 事件产生器基础上, 描写相对论性核-核碰撞的强子和弦级联模型——JPCIAE, 研究了 200A GeV / c 的 PA 和 AB 碰撞的最小偏畸事件中 J /  $\psi$  的核压低. 结果表明: 所有 NA38 的 PA 和 AB 碰撞中 J /  $\psi$  压低因子的实验数据<sup>[2,3]</sup> 用 JPCIAE 都能较好再现; 唯独 Pb + Pb 碰撞的 NA50 数据<sup>[4]</sup> 无法得到解释, 而归其谓反常压低.

文献 [1] 中考虑的 J /  $\psi$  压低机制有: J /  $\psi$  与重子 (B) 和介子 (M) 的非弹性散射 (重子和介子的吸收效应) 以及领头粒子能量衰减效应. 后者考虑了入射核子第一次与强子 (重子或介子) 发生碰撞时, 其入射能量是入射核的每核子能量, 若此碰撞中有 J /  $\psi$  产生则以该入射能量产生 J /  $\psi$ . 倘若第一次散射后的核子 (领头粒子) 还会与强子发生第二次碰撞, 那么第二次碰撞的入射能量必定小于第一次碰撞 (领头粒子能量衰减), 第二次碰撞 J /  $\psi$  产额必小于第一次碰撞; 此即 J /  $\psi$  压低的领头粒子衰减效应. 虽然文献 [1] 给的只是考虑了核吸收效应的结果, 但是包括领头粒子能量衰减效应后的结论保持不变, 即除 Pb + Pb 外其它 NA38 的 PA 和 AB 碰撞 J /  $\psi$  压低因子的实验结果都能得到解释.

本文除考虑上述两机制外又引入 J /  $\psi$  先驱体 (precursor, premeson,  $c\bar{c}$ ) 在弦色场中

1998-10-08 收稿

\* 国家自然科学基金和核工业基金资助

1) 中国科学院理论物理研究所客座人员

离解的机制;于是 NA50 的 Pb + Pb 反应中,  $J/\psi$  压低因子数据以及所有 NA38 的 PA 和 AB 反应中,  $J/\psi$  压低因子数据都得到解释;这就对 Pb + Pb 反应中  $J/\psi$  是否反常压低提出了质疑.

## 2 模型简述

前不久文献 [5] 用纯几何办法把文献 [6] 中提出的  $C\bar{C}$  对在色场中离解机制引入他们的输运模型并解释了 Pb + Pb 反应中  $J/\psi$  压低的 NA50 数据;可是在他们先前文章<sup>[7,8]</sup>中早作结论:只靠  $J/\psi$  的强子吸收机制就能解释 NA50 数据;因此有必要对他们自相矛盾的结论作进一步研究.

$J/\psi$  先驱体是  $C\bar{C}$  色单态还是色八重态争论未休<sup>1)</sup>;可是在核碰撞早期阶段  $C\bar{C}$  态周围必有许多弦,一旦  $C\bar{C}$  进入弦的色电场确有可能被离解<sup>[5,6]</sup>. 作为研究此新机制的第一步,我们采用一种有效的途径 (effective way), 来处理物理  $J/\psi$  形成前其先驱体  $C\bar{C}$  态的此种离解机制.

不难想像  $J/\psi$  先驱体在弦色场中离解应随沉积于弦中能量密度之增而增;此能量密度又随入射能量、中心度和反应系统大小之增而增<sup>[10]</sup>. 另外由于  $C\bar{C}$  态的产生和离解主要是硬过程 (hard processes), 因此这儿反应系统大小的依赖性应是 AB 度规 (AB scaling, 这儿 A 和 B 也表示弹核和靶核质量数)<sup>[4,5,11]</sup>. 至于中心度依赖性的一种普遍表示是类高斯分布. 因此引入  $J/\psi$  先驱体  $C\bar{C}$  态在弦色电场中有效离解几率

$$P_d = \frac{\rho_s - \rho_s^{\min}}{\rho_s^{\max} - \rho_s^{\min}}, \quad (1)$$

$$\rho_s = a_s \sqrt{s_{NN}} f(b) AB, \quad (2)$$

$$f(b) = \exp\left(-\frac{b^2}{R_L^2}\right). \quad (3)$$

在上述方程中  $\rho_s$  表沉积于弦中的能量密度,  $\rho_s^{\min}$  和  $\rho_s^{\max}$  分别是此能量密度的下和上限:

$$P_d = \begin{cases} 0 & \text{当 } \rho_s = \rho_s^{\min} , \\ 1 & \text{当 } \rho_s = \rho_s^{\max} . \end{cases} \quad (4)$$

$\sqrt{s_{NN}}$  是核子-核子质心 (CMS) 能量.  $R_L$  是弹核半径  $R_A$  和靶核半径  $R_B$  中的大者.

显然可以认为  $\rho_s^{\min} = 0$ , 于是  $\rho_s^{\max}$  可吸收进式 (1) 的模型参数, 所以得到

$$P_d = C_s \sqrt{s_{NN}} f(b) AB. \quad (5)$$

因此在执行了 PYTHIA 而产生  $C\bar{C}$  态 (详见文献 [1]) 后  $C\bar{C}$  残留下来的几率是  $(1 - P_d)$ , 经形成时间后它被视为物理的  $J/\psi$ , 接着它就和其它强子一样加入输运过程;此后就与文献

1) C. Gerschel and J. Hüfner, "Charmonium suppression in heavy-ion Collisions", 1998, Private communication.

[1]的处理完全类似,不多赘述.

### 3 结果与讨论

图 1 给出介子形成时间  $\tau_M = 1.2 \text{ fm}/c$ ,  $J/\psi$  形成时间  $\tau_{J/\psi} = 0.6 \text{ fm}/c$  情况下,用含有上述三种机制的 JPCIAE 算得的  $200 \text{ AGeV}/c$  PA 和 AB 碰撞中  $J/\psi$  压低因子与 AB 的关系,以及它们与相应实验的比较. 由拟合 Pb + Pb 反应数据点决定的公式 (1) 中的模型参数  $c_s = 1 \times 10^{-7}$ . 图 1 中带误差棒空心点是实验数据,而实线、虚线、点线和点划线分别是含有(离解 + 衰减 + 吸收)机制、(离解 + 吸收)机制、(衰减 + 吸收)机制和只含吸收机制的计算结果.

从图 1 可见:所有的线都相当靠近地通过 PA 和 AB(轻的弹核)反应的数据,但只有实线才经过 Pb + Pb 反应实验点. 另外,衰减加吸收(点线)和只有吸收机制(点划线)的计算结果根本无望再现 Pb + Pb 反应数据点;这与引言中提到的文献 [1]所作的结论跟包括衰减机制与否无关相一致. 至于离解加吸收的计算通过加大模型参数  $c_s$  还是有可能全面地再现 PA 和 AB(含 Pb + Pb)的所有实验结果.

比较图 1 中实线和点线看到:离解机制在 PA 和 AB(轻的弹核)碰撞中几乎无作用;这是因为 AB 度规的缘故. 然而离解机制却使 Pb + Pb 反应中  $J/\psi$  压低因子降低了约 40%,从而靠近了实验点.

图 2 给出  $158 \text{ AGeV}/c$  Pb + Pb 反应中  $J/\psi$  压低因子与中性横动量  $E_T$  的关系. 图中实方块和实点是 NA50 数据(直接引自文献 [5]);实线、虚线、点线和点划线是 JPCIAE 计算结果. 从图 2 可见:四种线都能反映  $J/\psi$  压低因子作为  $E_T$  函数的实验曲线的趋势;但以虚线(离解加吸收)与实验符合得最好.

图 2  $158 \text{ AGeV}/c$  Pb + Pb 反应中  $J/\psi$  压低因子与中性横动量  $E_T$  的关系

■、● NA50 数据; ——— 吸收; - - - - 衰减 + 吸收; - - - - 离解 + 吸收; ——— 衰减 + 离解 + 吸收.

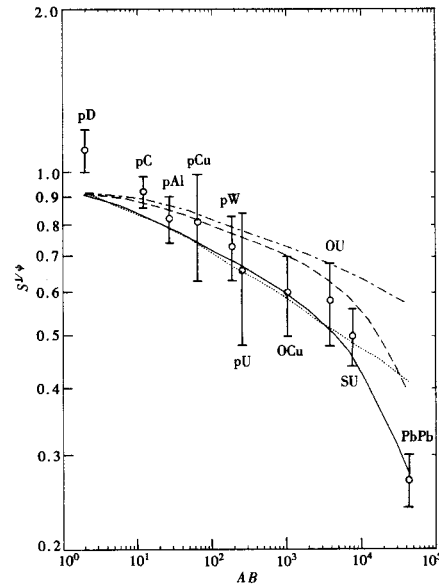


图 1  $200 \text{ AGeV}/c$  PA 和 AB 最小偏畸碰撞中  $J/\psi$  压低因子与弹、靶核质量数积 AB 的关系

○ 实验数据; ——— 吸收; ····· 衰减 + 吸收; - - - - 离解 + 吸收; ——— 衰减 + 离解 + 吸收.

总之用含有领头粒子能量衰减、 $J/\psi$  先驱体在弦色场中离解和物理  $J/\psi$  的强子吸收等三种机制的强子和弦级联模型, JPCIAE, 有可能同时再现 PA 和 AB(轻的弹核)反应的 NA38 数据以及 Pb + Pb 反应的 NA50 数据;从而对 PA 和 AB(轻的弹核)反

应中  $J/\psi$  是正常压低而 Pb + Pb 反应中是反常压低的说法提出了质疑. 当然问题的有力解答还有待于在 S + U 反应和 Pb + Pb 反应间补算更多的理论点(参见图 1)以判明: 从 S + U 到 Pb + Pb  $J/\psi$  压低因子是突然地降低还是逐渐地降低; 有关工作正在进行中.

作者感谢彭宏安、高崇寿和厉光烈教授的有益讨论.

### 参 考 文 献

- 1 Sa Benhao, Tai An, Wang Hui. High Energy Phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1999, 23:489  
(萨本豪, 台安, 王辉. 高能物理与核物理, 1999, 23:489)
- 2 NA3 Collab., Badier J et al. Z. Phys., 1983, C20: 101
- 3 NA38 Collab., Baglin C et al. 1989, B220: 471; 1990, B251: 465, 472; 1991, B255: 459; 1991, B270: 105; 1995, B345: 617
- 4 NA50 Collab., Gonin M et al. Nucl. Phys., 1996, A610: 404c
- 5 Geiss J, Greiner, C Bratkovskaya E L et al. nucl-th/9803008
- 6 Loh S, Greiner C, Mosel U. Phys. Lett., 1997, B404: 238
- 7 Cassing W, Ko C M. Phys. Lett., 1997, B396: 39
- 8 Cassing W, Bratkovskaya E L. Nucl. Phys., 1997, A623: 570
- 9 Mueller B. nucl-th/9806023
- 10 Tai An, Sa Benhao. Phys. Lett., 1997, B409: 393; Phys. Rev., 1998, C57: 261
- 11 Vogt R. Phys. Lett., 1998, B430: 15

## Are There $J/\psi$ AnomalousSuppressions in 158 A GeV / c Pb + Pb Collisions?\*

Sa Benhao<sup>1</sup> Tai An<sup>2</sup> Wang Hui<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (China Institute of Atomic Energy Beijing 102413)

<sup>2</sup> (Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences Beijing 100039)

**Abstract** The mechanisms of the energy degradation of leading particle, of the effective dissociation of  $C\bar{C}$  pair (the precursor of physical  $J/\psi$ ) in the colour electric field of strings, and of the hadronic absorption (both baryon and meson) are introduced into the proposed hadron and string cascade model, JPCIAE. That has been used to calculate the  $J/\psi$  suppression factors in pA, AB (with light projectile), and Pb + Pb collisions at 200 A GeV / c energy. The theoretical results reproduce simultaneously both the corresponding NA38 and NA50 data fairly well, which arises the question of whether there are  $J/\psi$  anomalous suppressions in 158 A GeV / c Pb + Pb collisions.

**Key words**  $J/\psi$  suppression factor, JPCIAE model, energy degradation of leading particle, colour, dissociation of  $J/\psi$  precursor, hadronic absorption of  $J/\psi$

Received 8 October 1998

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China and the Nuclear Industry Fundation of China