

J/ψ核吸收新截面难以改变 吸收机制的局面*

萨本豪^{1,2,1)} 陆中道^{1,2)} 苏宗涤¹⁾

1 (中国原子能科学研究院 北京 102413)

2 (兰州重离子加速器国家实验室原子核理论研究中心 兰州 730000)

摘要 将新发表的 J/ψ 核吸收截面输入强子和弦级联模型 JPCIAE, 计算了 200A GeV/c 的 P-A, O-U, S-U 和 Pb-Pb 最小偏畸碰撞中 J/ψ 压低因子并与实验作比较. 结果表明: 增大的新截面难以改变核吸收机制不易解释 Pb-Pb 碰撞 J/ψ 反常压低局面.

关键词 J/ψ 介子 J/ψ 压低 核吸收机制 JPCIAE 模型

根据强相互作用基本理论, QCD, 核物理可能发生由强子物质到夸克物质(夸克-胶子等离子体, QGP)相变^[1]. 为此已在欧洲核子研究所的超级质子同步加速器(CERN SPS)作过许多相对论性能量下核-核碰撞实验^[2]. 最近 CERN 甚至发表了发现夸克-胶子等离子体的某些可能信号的公报^[3]. 显然即将出实验结果的相对论性对撞机(RHIC)有望提供更可靠的 QGP 相变证据.

因实验无法观测自由的夸克和胶子, 迄今已建议了许多间接观测 QGP 的信号. 诸如奇异强子产额的增强^[4], J/ψ 产额压低^[5], 低质量双轻子产额增强^[6], 和直接光子^[7]等. 虽然所有已建议的 QGP 探测信号几乎都不能完全摆脱从强子物质解释的可能性, 但 J/ψ 产额压低仍然被认为是一个最有希望的 QGP 探测信号.

特别是最近用夸克交换模型^[8]和更完整的介子交换模型^[9,10], 推得比过去微扰 QCD 结果^[11]大得多的 J/ψ 强子吸收截面 $\sigma_{\psi N}$ 和 $\sigma_{\psi \rho}$ 后, 燃起了仅用 J/ψ 核吸收模型解释从 P-A 到 O-U 和 S-U 甚至 Pb-Pb J/ψ 产额压低实验数据^[12,13]的希望. 文献[8]还猜测 J/ψ + ρ 吸收效应比例于碰撞核互相穿透距离 L 的平方并研究了 $\sigma_{\psi \rho}$ 的 ρ 质量离壳效应, 从而希望通过 $\sigma_{\psi \rho}$ 的新结果改变核吸收模型难以解释 Pb-Pb 碰撞中 J/ψ 反常压低实验数据^[13]局面.

2000-07-12 收稿

* 国家自然科学基金(19975675), 核工业基金(Y7197A0108)资助和兰州重离子加速器国家实验室原子核理论研究中心基金资助

1)中国科学院理论物理研究所客座研究员

本文将文献[8] $\sigma_{n\psi}$ 和 $\sigma_{p\psi}$ 的新结果用于相对论性核-核碰撞模型和相应的事件产生器 JPCIAE, 统一研究从 P-A 到 O-U, S-U 和 Pb-Pb 的 J/ψ 压低因子并与相应的实验数据^[12,13] 以及常截面近似 ($\sigma_{B\psi} = 6.1\text{mb}$, $\sigma_{M\psi} = 3.4\text{mb}$, B 指重子, M 指介子) 结果作比较. 结果表明: $\sigma_{n\psi}$ 和 $\sigma_{p\psi}$ 的新结果^[8-10] 难于改变核吸收模型不易解释 Pb-Pb 碰撞中 J/ψ 反常压低的局面.

JPCIAE 是建立在 LUND 模型特别是 PYTHIA 事件产生器^[14] 基础上. PYTHIA 是描写强子-强子碰撞的事件产生器. 我们设计了相对论性核-核碰撞模型, 其中的基本过程即强子-强子碰撞借用 PYTHIA 处理, 因此称谓 JPCIAE. 这里 J 指 JETSET 是处理激发弦碎裂的 LUND 软件包, 是 PYTHIA 事件产生器的基础; P 指 PYTHIA; 而 CIAE 则是中国原子能科学研究院英译名的缩写.

在 JPCIAE 中核-核碰撞的初态先假设为两半径为 $1.05A^{1/3}$ (A 指核子数) 的球. 在碰撞核静止系中根据 Woods-Saxon 分布随机抽样碰撞核中核子的径向位置, 再均匀抽样核子的方位. 弹核子被赋予每核子的人射动量, 靶核子则假设为静止; 还对弹核子作了 Lorentz 收缩. 于是就有了初始粒子表 (粒子及其编号、坐标空间四维向量和动量空间四维向量).

由粒子表构成碰撞对. 对每一碰撞对根据其最小逼近距离小或等于 $\sqrt{\sigma_{\text{tot}}}/\pi$ (其中 σ_{tot} 是碰撞总截面) 的原则由经典牛顿运动方程计算其碰撞时间. 进而得到了初始碰撞表 (碰撞对编号、两碰撞粒子编号和碰撞时间).

倘若由碰撞表选出的具有最小碰撞时间碰撞对的质心能量大或等于 4 GeV, 假设有两激发弦形成, 于是由执行 PYTHIA 得到末态强子. 但若 \sqrt{s} 小于 4 GeV, 则按通常两体散射^[15-17] 处理. 如果 \sqrt{s} 还大于 10 GeV 那么执行已开启 QCD 硬过程

$$g + g \longrightarrow J/\psi + g \quad (1)$$

的 PYTHIA.

每执行了强子-强子碰撞后先要更新粒子表: 去掉刚执行碰撞的两粒子, 加进碰撞后产生粒子. 然后更新碰撞表: 去掉那些碰撞对, 它们有个粒子等同于刚执行碰撞的粒子; 加进由产生粒子和原粒子表中粒子 (不含刚执行碰撞的粒子) 可能构成的碰撞对. 接着又从碰撞表中选出具有最小碰撞时间的碰撞, …… , 如此周而复始直至碰撞表空时一个模拟历史即告结束.

本文所用的 JPCIAE 版本和过去用以计算 J/ψ 压低版本的主要差别在于本版本还考虑了 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 共振产生过程, 亦即过去版本只考虑 $2 \rightarrow 2$ 和 $2 \rightarrow n$ 过程现在增加了 $1 \leftrightarrow 2$ 过程. 共振产生过程作为弹散的一部分处理^[18], 共振过程以几率 $\sigma_{\text{BW}}/(\sigma_{\text{el}} + \sigma_{\text{BW}})$ 产生; 这里 σ_{el} 是通常的弹性散射截面, σ_{BW} 是 Breit-Wigner 截面^[18]

$$\sigma_{\text{BW}}(E) = \frac{(2J+1)}{(2s_1+1)(2s_2+1)} \frac{\pi}{p_{\text{cm}}^2} \frac{B_{\text{in}}^2 B_{\text{out}}^2 \Gamma_{\text{tot}}^2}{(E - E_R)^2 + \Gamma_{\text{tot}}^2/4}, \quad (2)$$

式中 E 和 p_{cm} 分别是强子-强子碰撞系统质心能量和动量, B_{in} 和 B_{out} 是入射道和出射道分支比, s_1 和 s_2 是入射道两粒子自旋量子数, J 是出射道自旋, E_R 和 Γ_{tot} 是共振态能量和总衰变宽度. 包含了共振过程的弹性散射自然应以 $(\sigma_{\text{el}} + \sigma_{\text{BW}})$ 与非弹性散射 σ_{inel} 相竞争.

弹核 A 与靶核 B 碰撞中 J/ψ 压低因子的实验定义是

$$S_{\text{exp}}^{J/\psi} = \sigma_{AB}^{J/\psi} / (AB\sigma_{pp}^{J/\psi}), \quad (3)$$

而理论上则如下计算

$$S_{\text{thc}}^{J/\psi} = M^{J/\psi} / M^{J/\psi}(0). \quad (4)$$

$M^{J/\psi}(0)$ 是 J/ψ 初始多重数, $M^{J/\psi}$ 是有末态相互作用后 J/ψ 多重数.

JPCIAE 模型解释相对论性核-核碰撞中多重数分布、快度分布和横动量分布方面取得的成功可参阅文献[19,20], 解释 J/ψ 压低取得的成功可参阅文献[19,21]. JPCIAE 模型的详情也请参阅上述文献.

图 1 带误差棒实心点是 200A GeV/c 的 P-A, O-U, S-U 和 Pb-Pb 最小偏畸碰撞中 J/ψ 压低因子的实验数据^[12,13], 直接引自文献[22]; 实三角是只有 J/ψ 核吸收机制, 不含 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 和常截面近似的 JPCIAE 计算结果; 空心方块是只有 J/ψ 核吸收机制, 含 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 和用新截面^[8]的 JPCIAE 计算结果. 图中用的横坐标约正比于 J/ψ 在弹和靶核中平均所穿过的距离(最小偏畸事件情形下)^[23,24]. 由图可见: 用新截面^[8]和增加 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 过程后 Pb-Pb 碰撞 J/ψ 压低因子的 JPCIAE 结果比常截面近似和不含 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 的相应结果小了约 20%, 但仍不足以解释 Pb-Pb 碰撞中 J/ψ 的反常压低.

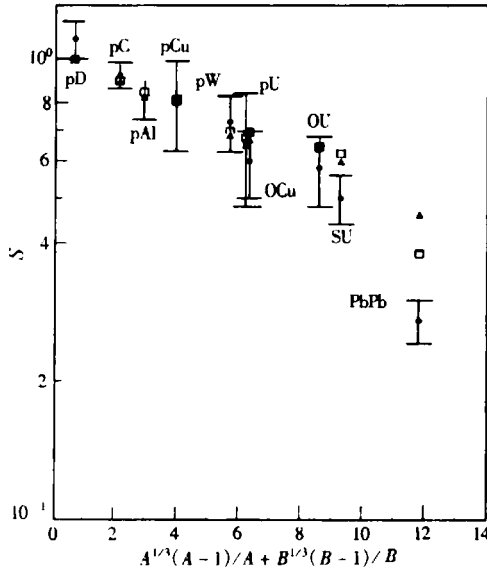


图 1 200A GeV/c 质子-核与核-核碰撞中 J/ψ 压低因子

● exp. data, ▲ abs. 和 W/O $\pi\pi \rightarrow \rho$,
□ abs. 和 W $\pi\pi \rightarrow \rho$, (in CMS).

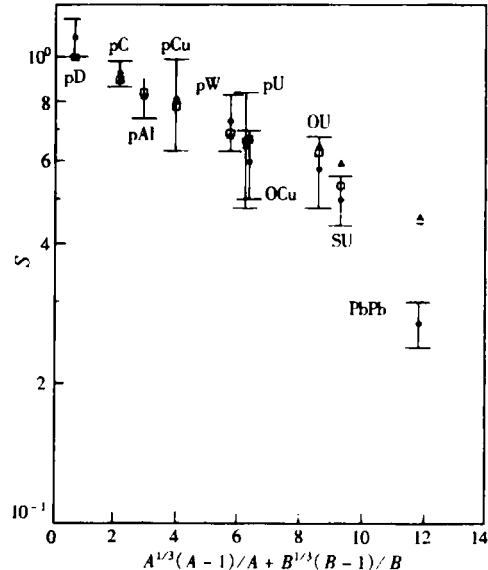


图 2 200A GeV/c 质子-核与核-核碰撞中 J/ψ 压低因子

● exp. data, ▲ Const. 和 $\sigma_{n\psi} = 3.4\text{mb}$,
□ Const. 和 $\sigma_{n\psi} = 7\text{mb}$, (in CMS).

表 1 给出 200A GeV Pb + Pb 碰撞每一事件中 J/ψ 被核子吸收(第 2 列)、被 π 介子吸收(第 3 列)、被 ρ 介子吸收过程(第 4 列)以及 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 和 $\rho \rightarrow \pi\pi$ 过程出现的事件平均数. 比较表中头两行的第 5,6 和 4 列可知: 添加 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 过程所增加的 ρ 介子在输运过程中几乎

全部衰变为 $\pi\pi$; 有 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 情形下, J/ψ 被 ρ 吸收 ($J/\psi + \rho$, 第 4 列) 的事件平均数是无 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 情形的两倍, 这主要是因为前者所用的 $\sigma_{\pi\psi}$ 对能量的平均值约是后者所用常数值的两倍多. 虽然有 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 情形的 J/ψ 被 ρ 吸收比无 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 时增加了两倍多, 但因 J/ψ 被核子吸收占主要 (见第 1 列), 故总的说来有 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 情形的 J/ψ 压低因子只比无 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 时小 20%. 比较前两行第 3 列看到: 有 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 情形的 J/ψ 被 π 吸收的事件平均数比无 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 时小, 这是因为有 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 时所用的 $\sigma_{\pi\psi}$ 对能量^[8] 的平均值比无 $\pi\pi \rightarrow \rho$ 情形中用的常数值 3.4mb 还小.

表 1 (200A GeV/c) Pb + Pb 最小偏畸碰撞中某些过程的平均每事件多重数

	$J/\psi + n$	$J/\psi + \pi$	$J/\psi + \rho$	$\pi\pi \rightarrow \rho$	$\rho \rightarrow \pi\pi$
有 $\pi\pi \rightarrow \rho$	0.420	0.00250	0.188	179	288
无 $\pi\pi \rightarrow \rho$	0.498	0.00500	0.0775	0	112
LIN and KO	0.443	0.0200	0.0600	0	112

文献[9]认为: $\sigma_{\pi\psi}$ 约为 7mb 而 $\sigma_{\rho\psi}$ 约为 3mb; 文献[10]则认为: $\sigma_{n\psi}$, $\sigma_{\pi\psi}$ 和 $\sigma_{\rho\psi}$ 等大约都在 4—8mb 间; 因此本文重复图 1 实三角的计算但 $\sigma_{\pi\psi}$ 改用 7mb; 结果如图 2 空心方块所示. 图 2 带误差棒实心点以及实三角与图 1 完全一样. 由图 2 可见: 空心方块与实三角相比虽然 $\sigma_{\pi\psi}$ 增大了一倍, 但 J/ψ 压低因子只减小 2%, 因为 J/ψ 被核子吸收占最主要, 被 ρ 吸收次之, 而 π 吸收是不重要的第三位. 这与 Glauber 理论^[23,24] 不同, 在理论中核子吸收和介子吸收是互不相干的, 吸收指数因子是核子和介子简单相加而且分别与相应吸收截面成正比; 因此 $\sigma_{\pi\psi}$ 由 3.4mb 加大到 7mb (它与常用的 $\sigma_{\pi\psi} \approx 6\text{mb}$ 可比较) J/ψ 压低因子的变小要可观得多.

本文结果表明: J/ψ 核吸收新截面难改核吸收机制不易解释 Pb-Pb 碰撞 J/ψ 反常压低的局面.

作者对黄卓然先生的有益讨论表示感谢.

参考文献 (References)

- Müller B. Nucl-th/9211010
- Quark Matter 1999, Nucl. Phys., 1999, **A661**:1c—766c
- Heinz U, Jacob M. Nucl-th/0002042
- Rafelski J, Müller B. Phys. Rev. Lett., 1982, **48**:1066
- Matsui T, Satz H. Phys. Lett., 1986, **178**:416
- LI G Q, KO C M, Brown G E. Phys. Rev. Lett., 1995, **75**:4007
- Shuryak E V. Phys. Rep., 1980, **61**:71
- WONG C Y, Swanson E S, Barnes T. Nucl-th/9912431; Nucl-th/0002034
- Haglin K. Phys. Rev., 2000, **C61**:031902
- LIN Z, KO C M. Nucl-th/9912046
- Kharzeev D, Satz H. Phys. Lett., 1994, **B334**:155
- Baglin C et al. NA38 Collaboration, Phys. Lett., 1989, **B220**:471; 1990, **B251**:465; 1991, **B255**:459; 1991, **B270**:105; 1995, **B345**:617
- Gonin M. NA50 Collaboration, Nucl. Phys., 1996, **A610**:404c

- 14 Sjöstrand T. *Comp. Phys. Comm.*, 1994, **82**:74
- 15 Cugnon J, Mizutani T, Vandermeulen J. *Nucl. Phys.*, 1981, **A352**:505
- 16 Bertsch G F, Das Gupta S. *Phys. Rep.*, 1988, **160**:189
- 17 SA Ben-Hao, TAI An, *Comp. Phys. Comm.*, 1995, **90**:121; 1999, **116**:353
- 18 Review of Particle Physics. *Euro. Phys. Jour.*, 1998, **3**:1--794
- 19 SA Ben-Hao, TAI An, WANG Hui et al. *Phys. Rev.*, 1999, **C59**:2728
- 20 SA Ben-Hao, TAI An, WANG Hui et al. *High Energy Phys. and Nucl. Phys.*, 1999, **23**:489
(萨本豪, 台安, 王辉等. *高能物理与核物理*, 1999, **23**:489)
- 21 SA Ben-Hao et al. *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.*, 1999, **25**:1123
- 22 Hwa R C, Piacutet J, Piacutet N. *Phys. Rev.*, 1997, **C56**:432
- 23 Gerschel C, Hüfner. *Phys. Lett.*, 1988, **B207**:253
- 24 WONG C Y. *Nucl. Phys.*, 1996, **A610**:434c

Could the New Absorption Cross Section of J/ψ Change the Aspect of Nuclear Absorption Mechanism *

SA Ben-Hao^{1,2,1)} LU Zhong-Dao^{1,2} SU Zong-Di¹

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

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

Abstract The enlarged new absorption cross sections of J/ψ by π and ρ were put into the hadron and string cascade model, JPCIAE, and the J/ψ suppression factors in P-A, O-U, S-U and Pb-Pb minimum bias collisions at 200A GeV/c were calculated with nuclear absorption mechanism only. The results seem to indicate that, with new enlarged cross section it is still hard to change the aspect that nuclear absorption mechanism itself could not easily account for the J/ψ anomalous suppression in Pb-Pb collisions.

Key words J/ψ meson, J/ψ suppression factor, nuclear absorption mechanism, JPCIAE model

Received 12 July 2000

* Supported by National Natural Science Foundation of China (19975675) and Nuclear Industry Foundation of China (Y7197A0108) and Center of Theoretical Nuclear Physics of Lanzhou Heavy Ion Accelerator National Laboratory of China

1) Guest Research Professor of Institute of Theoretical Physics, The Chinese Academy of Sciences