

# 相对论重离子碰撞中粲偶素 产额的横能依赖关系\*

赵维勤<sup>1)</sup> 刘波<sup>1)</sup>

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1994-02-21收稿

## 摘 要

用核几何模型和吸收机制分析相对论重离子碰撞中产生的粲偶素产额的横能依赖关系。理论计算能较好地符合实验,说明核效应在解释粲偶素产额压低上是重要的。

**关键词** 粲偶素产额、末态吸收、横能依赖关系。

## 1 引 言

相对论重离子碰撞中粲偶素( $J/\psi$ 和 $\psi'$ )衰变的 $\mu$ 子对与连续谱的 $\mu$ 子对产额之比随碰撞中产生的横能增加而压低的实验观测<sup>[1]</sup>引起物理学家很大兴趣。理论上首先预言<sup>[2]</sup>,在QGP形成的环境中,由于色屏蔽阻止 $c\bar{c}$ 结合形成 $J/\psi$ ,导致 $J/\psi$ 产额压低。NA38合作组的实验观测<sup>[3]</sup>发表以后,很多物理学家不引入QGP形成假设,而用传统的机制<sup>[3-10]</sup>试图解释这一压低现象。本文用核几何模型和核吸收机制分析相对论重离子碰撞中产生的粲偶素( $J/\psi$ 和 $\psi'$ )产额与横能的依赖关系。下面给出计算公式和理论与实验的比较。

## 2 计算公式

当一个人射核B通过靶核A时, $J/\psi$ 在核子-核子碰撞中产生,产生的 $J/\psi$ 可以与入射核和靶核中的核子发生次级碰撞,通过反应 $J/\psi + N \rightarrow D + \bar{D} + X$ 会减少 $J/\psi$ 产额。所以当两个原子核A与B以确定的碰撞参数 $b$ 相撞时,反应 $B + A \rightarrow J/\psi + X$ 中 $J/\psi$ 产生的截面可以写为<sup>[7]</sup>:

$$\left(\frac{d\sigma}{d^2b}\right)_{BA \rightarrow J/\psi} = AB\sigma_{NN \rightarrow J/\psi} \int d^2s dz_1 dz_2 \rho_B(\mathbf{s} - \mathbf{b}, z_1) \rho_A(\mathbf{s}, z_2) S_{BA} \quad (1)$$

\* 国家自然科学基金资助课题。

1) 中国科学院理论物理研究所客座研究人员。

上式中的  $\sigma_{NN \rightarrow J/\psi}$  是核子-核子碰撞中的  $J/\psi$  产生截面,  $\rho_B$  和  $\rho_A$  是入射核和靶核的单个粒子密度分布,  $\mathbf{s}$  是相互作用的靶核子的横向坐标,  $\mathbf{z}_1$  和  $\mathbf{z}_2$  分别是相互作用的入射核子和靶核子的纵向坐标,  $S_{BA}$  是残存几率, 可以写成:

$$S_{BA} = e^{-\int_{-\infty}^{\mathbf{z}_1} \rho_B(\mathbf{s}-\mathbf{b}, \mathbf{z}') d\mathbf{z}' - \int_{\mathbf{z}_2}^{\infty} \rho_A(\mathbf{s}, \mathbf{z}') d\mathbf{z}'} \quad (2)$$

上式中的  $\sigma_{ab}$  表示  $J/\psi$ -核子吸收截面.

根据碰撞的几何性质, 实验测量的横能与碰撞参数存在关联, 由此可以将  $J/\psi$  产生截面与中性横能  $E_T^0$  的依赖关系表示为:

$$\left(\frac{d\sigma}{dE_T^0}\right)_{BA \rightarrow J/\psi} = \int \left(\frac{d\sigma}{d^2b}\right)_{BA \rightarrow J/\psi} P(E_T^0, b) d^2b \quad (3)$$

上式中的  $P(E_T^0, b)$  表示在核-核碰撞中在碰撞参数为  $b$  时产生的中性横能  $E_T^0$  的几率分布, 取为<sup>[5]</sup>

$$P(E_T^0, b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha(b)}} e^{-\frac{(E_T^0 - \bar{E}_T(b))^2}{2\alpha(b)}} \quad (4)$$

这里  $\bar{E}_T(b) = \epsilon_0 \mu(b)$  是在碰撞参数为  $b$  时的平均横能.  $\mu(b)$  是参加者核子的数目, 可以用核碰撞几何模型计算得到.  $\epsilon_0$  是每个参加者核子所提供的平均横能, 取为:  $\epsilon_0 = (E_T^0)_{\max} / \mu_{\max}$ .  $(E_T^0)_{\max}$  是实验中所观察到的最大横能, 而  $\mu_{\max}$  是几何模型计算的最大参加者核子数目.  $\alpha(b) = \epsilon_0 c \bar{E}_T(b)$ , 这里  $c$  用于决定在固定碰撞参数  $b$  时  $E_T^0$  围绕平均值  $\bar{E}_T(b)$  的起伏, 在计算中取  $c = 3.2$ <sup>[5]</sup>.

在(1)式中用  $\sigma_{NN \rightarrow \text{cont.}}$  代替  $\sigma_{NN \rightarrow J/\psi}$  并取  $S_{BA} = 1$ , 就可得到连续谱  $\mu$  子对的微分截面, 则  $J/\psi$  衰变成  $\mu$  子对的产额与连续谱  $\mu$  子对产额的比可以表示为:

$$N_{J/\psi} / N_c = N \frac{\left(\frac{d\sigma}{dE_T}\right)_{BA \rightarrow J/\psi}}{\left(\frac{d\sigma}{dE_T}\right)_{BA \rightarrow \text{cont.}}} \quad (5)$$

这里  $N$  是归一化因子.

由于 NA38 合作组是在  $-0.03 < x_F < 0.18$  范围进行的实验测量<sup>[6]</sup>, 在这一区域, 胶子遮蔽效应可以忽略不计<sup>[6]</sup>. 因此, 只需考虑核吸收效应对  $J/\psi$  产额压低的作用.

### 3 计算结果与讨论

用核碰撞几何模型和吸收机制分析了在  $^{16}\text{O-U}$  和  $^{32}\text{S-U}$  碰撞中粲偶素衰变的  $\mu$  子对与连续谱  $\mu$  子对产额之比随横能  $E_T^0$  的变化关系. 在计算中, 吸收截面的值取分析  $p\text{-A}$  过程的  $J/\psi$  产额压低时所得的值, 由于用实验数据的不同组合得到的吸收截面也不同, 我们用不同的数值进行计算, 分别取  $\sigma_{ab} = 4$ <sup>[7]</sup>,  $6.4$ <sup>[10]</sup> 和  $8.3\text{mb}$ <sup>[10]</sup>. 对于  $^{16}\text{O-U}$  碰撞的结果在图 1 中给出, 对于  $^{32}\text{S-U}$  碰撞的结果则在图 2 中给出. 从图 1 和图 2 看到, 对于  $^{16}\text{O-U}$  碰撞, 三个不同的吸收截面都能符合实验, 其中以  $\sigma_{ab} = 6.4\text{mb}$  符合较好; 对于  $^{32}\text{S-U}$  碰撞, 理论与实验符合稍差, 但变化趋势是与实验一致的. 在  $^{32}\text{S-U}$  碰撞中, 尽管实验观测的误差较大, 结果似乎表明, 要达到实验所示的  $J/\psi$  压低, 需要的吸收截面

比在  $^{16}\text{O}-\text{U}$  碰撞时大, 这可能是由于在较重的核相撞时, 会产生较多的伴随运动物质 (Comover), 它们会引起附加的吸收作用。

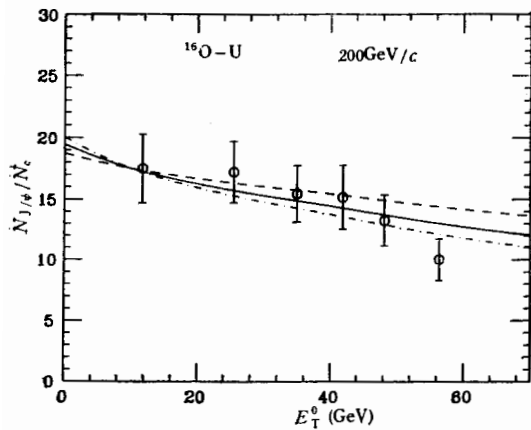


图 1 在  $^{16}\text{O}-\text{U}$  碰撞中  $J/\psi$  衰变的  $\mu$  子对与连续谱  $\mu$  子对产额比作为中性横能的函数由第一个实验点确定归一化因子  $N$ ,  $-\sigma_{abs} = 4.0\text{mb}$ ,  
 $-\sigma_{abs} = 6.4\text{mb}$ ,  $-\sigma_{abs} = 8.3\text{mb}$

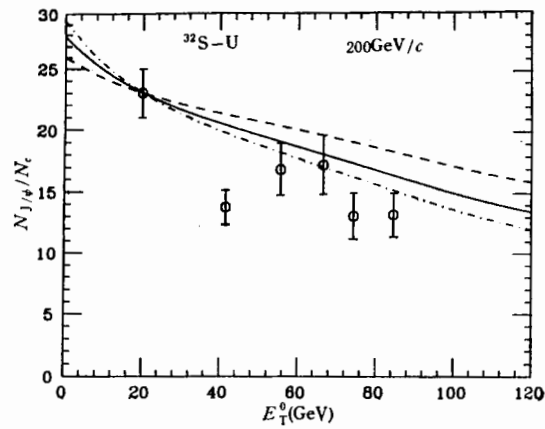


图 2 在  $^{32}\text{S}-\text{U}$  碰撞中  $J/\psi$  衰变的  $\mu$  子对与连续谱  $\mu$  子对产额比作为中性横能的函数由第一个实验点确定归一化因子  $N$ ,  $-\sigma_{abs} = 4.0\text{mb}$ ,  
 $-\sigma_{abs} = 6.4\text{mb}$ ,  $-\sigma_{abs} = 8.3\text{mb}$

由于强子-核子吸收截面随入射强子的大小变化<sup>[11]</sup>:

$$\sigma_{hN} \propto R_h^2 R_p^2 \quad (6)$$

所以  $\psi'$ -核子吸收截面可以表示为:

$$\sigma_{\psi'N} = \sigma_{\psi N} \left( \frac{R_{\psi'}}{R_{\psi}} \right)^2 \quad (7)$$

为了计算  $\psi'$  与  $J/\psi$  产额的比随  $E_T^0$  的变化关系, 在计算中取  $\sigma_{abs}^{\psi'} = 3.7\sigma_{abs}^{\psi}$ . 在图 3 中给出了理论计算与 CERN 最新实验结果<sup>[12]</sup>的比较, 我们的结果与实验定性符合很好。

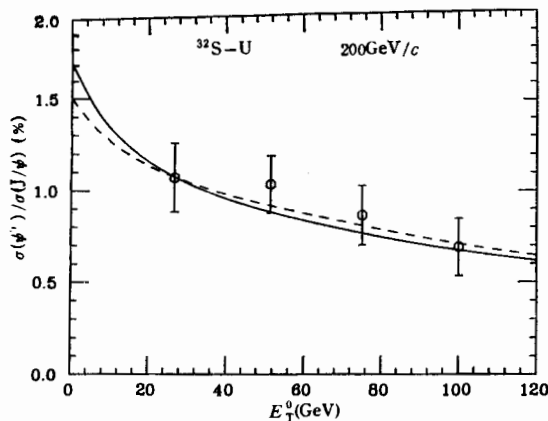


图 3 在  $^{32}\text{S}-\text{U}$  碰撞中  $\psi'$  与  $J/\psi$  产额比作为中性横能的函数由第一个实验点确定归一化因子,  $-\sigma_{abs}(\psi') = 3.7 \times 4.0\text{mb}$ ,  $-\sigma_{abs}(\psi') = 3.7 \times 6.4\text{mb}$

值得讨论的是,在 p-A 过程中  $J/\psi$  与  $\psi'$  的产额压低行为非常类似,并没有表现出吸收截面存在如此大的差别,而在 B-A 过程中,随横能的增大, $\psi'$  产额的压低显著增大,这可能是由于在 p-A 过程中,胶子遮蔽效应对于  $J/\psi$  和  $\psi'$  的产生起相同的作用,并且产生的  $J/\psi$  与  $\psi'$  有较大的  $x_F$  值, Lorentz 效应使它们有较长的形成时间,因而在飞出靶核后才形成强子,它们在核内以  $c\bar{c}$  八重态的形式发生作用<sup>[13]</sup>,不存在体积大小的差别,因而吸收引起的压低效应很类似;而在 B-A 过程中,特别是横能较大的中心碰撞过程,会产生较小  $x_F$  的  $J/\psi$  与  $\psi'$ , 它们有机会在碰撞区内形成强子,从而在未态吸收过程中表现出不同的截面。要对这个问题得出肯定结论,尚需进一步的定量工作,而实验上对不同  $x_F$  的  $J/\psi$  与  $\psi'$  的产额进行比较也将有助于问题的澄清。

### 参 考 文 献

- [1] M.C. Abreu et al. (NA38 Collab.), *Z. Phys.*, **C38**(1988)117; C.Baglin et al. (NA38 Collab.), *Phys. Lett.*, **B255**(1991)459; M.C. Abreu et al. (NA38 Collab.), *Nucl. Phys.*, **A544**(1992)209c.
- [2] T. Matsui, H. Satz, *Phys. Lett.*, **B178**(1986)416.
- [3] C.Gerschel, J. Hüfner, *Z. Phys.*, **C56**(1992)171.
- [4] J.P. Blaizot, J.Y. Ollitrault, *Phys. Lett.*, **B217**(1989)386, 392.
- [5] S.Gavin, R. Vogt, *Nucl. Phys.*, **B345**(1990)104.
- [6] R. Vogt et al., *Nucl. Phys.*, **B360**(1991)67.
- [7] S.Gavin, H. Satz et al., *Z. Phys.*, **C61**(1994)351.
- [8] 刘波,赵维勤. 高能物理与核物理,18(1994)445.
- [9] A.Capella et al., *Phys. Lett.*, **B206**(1988)354.
- [10] Liu Bo, Chao Wei-Qin. How to deduce absorption cross section from  $J/\psi$  suppression data in relativistic heavy ion collisions Proc. of PANIC 93, Perugia, Italy, 1993, p706.
- [11] B.Povh, J. Hüfner, *Phys. [Rev. Lett.]*, **58**(1987)1612.
- [12] E. Quercigh. Proc. of QM'93, *Nucl. Phys.*, **A566**(1994)333C.
- [13] G. Piller, J. Mutzbauer, W. Weise, *Nucl. Phys.*, **A560**(1993)437.

## Transverse Energy Dependence of Yield of Charmonium Production in Relativistic Heavy Ion Collisions

Chao Weiqin    Liu Bo

(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences Beijing 100039)

Received 21 February 1994

### Abstract

Based on the geometrical model and absorption mechanism, transverse energy dependence of the yield of charmonium production relative to muon pairs in the mass continuum region in relativistic heavy ion collisions is analysed. Our results fit the data very well. It is shown that nuclear effect is important in explaining the charmonium suppression.

**Key words** yield of charmonium, final state absorption, transverse energy dependence.