

初态相互作用与高能 p-A 碰撞中 J / ψ 产额的压低*

覃克宇¹⁾

(云南师范大学物理系 昆明 650092)

姜焕清²⁾ 刘波²⁾

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1996-01-02 收稿

摘 要

研究了初态相互作用对高能 p-A 碰撞中 J / ψ 产额压低的影响. 由于入射质子与靶核的非弹性作用, 使它的能量减小. 考虑了这个贡献之后, 只需末态相互作用的截面为 $\sigma_{\text{abs}}^f = 2.1 \text{mb}$, 就能很好地再现实验结果.

关键词 夸克-胶子等离子体, J / ψ 压低, 程函近似.

自从发现在相对论重离子碰撞中 J / ψ 的产额比 p-p 碰撞中的 J / ψ 产额有压低的现象以来, 对于 J / ψ 压低现象的实验和理论研究, 一直引起人们的极大兴趣^[1]. 按照理论预言, 这种压低可能是夸克-胶子等离子体(QGP)生成的一个信号^[2].

这种压低现象是否真正是 QGP 形成的信号? 随后的实验发现^[3], 在高能强子与原子核的碰撞中, 也存在着 J / ψ 产额的压低现象, 例如, 200GeV 的质子与原子核的碰撞中, 其 J / ψ 产额与 p-p 碰撞中 J / ψ 产额比与原子核的质量数 A 有如下的依赖关系^[4].

$$R \equiv \frac{\sigma_{pA \rightarrow J/\psi + X}}{\sigma_{pp \rightarrow J/\psi + X}} = A^\alpha, \quad (1)$$

其中 $\alpha = 0.94 \pm 0.03$. 显然, 在高能 p-A 碰撞中不可能形成 QGP. 于是, 人们从不同的角度讨论了 J / ψ 产额压低的机制. 一种理论认为, 在 p-A 碰撞过程中, 在原子核内产生的 J / ψ 粒子, 在离开原子核时, 要与原子核内的其他核子发生末态相互作用, 这种末态相互作用可能导致 J / ψ 粒子的吸收, 从而导致最终的 J / ψ 产额的减少. 这就是 J / ψ 压低的末态相互作用机制. 通过与实验比较, 发现当 J / ψ 与核子作用的吸收截

* 国家自然科学基金资助.

1) 中国科学院理论物理所和高能物理所客座研究人员.

2) 中国科学院理论物理所客座研究人员.

面, σ_{abs}^f , 在 6—8mb 时, 可以解释已有的实验^[6]. 然而, 实验上也发现了 ψ' 的产额与 J/ψ 有相似的压低. 人们相信, 由于 ψ' 的平方根半径大于 J/ψ 粒子的平方根半径, ψ' 与核子的吸收截面应是 J/ψ 与核子的吸收截面的四倍. 这一实验结果给 J/ψ 压低的末态相互作用机制解释带来了困难. 一种可能是高能入射粒子与核子的吸收截面并不正比于入射粒子的大小, C. Y. Wong^[5] 对此做了讨论, 另一种可能是 J/ψ 压低有其他的机制. 刘波和赵维勤考虑了胶子的遮蔽效应后, 发现, 仅要求末态相互作用的吸收截面 $\sigma_{\text{abs}}^f = 2.6 \pm 0.2 \text{mb}$ 就可以解释实验^[7].

本文从核子层次出发, 进一步分析引起高能质子与原子核碰撞中引起 J/ψ 产额压低的其他因素. 我们知道, 入射强子进入核物质中, 在产生 J/ψ 粒子以前, 有一定的几率与核中的核子发生多次碰撞. 每一次 N-N 碰撞, 入射粒子有可能损失能量. 这种多次 N-N 碰撞以及由此引起的能量损失, 我们称之为初态相互作用. 研究表明, 在核物质中, 每次 N-N 碰撞后, 快核子的能量可损失 20%—25%^[8]. 另一方面, 总结实验结果, 发现高能质子与核子碰撞产生的 J/ψ 截面与入射质子的能量有关, 服从如下规律^[9],

$$\sigma_{\text{pp} \rightarrow J/\psi + X} = A_0 e^{-B\sqrt{\tau}}, \quad (2)$$

其中 $A_0 = (1.464 \pm 0.031) \text{mb}$, $B = 16.66 \pm 0.12$, $\tau = M_{J/\psi}^2 / s$, $M_{J/\psi}$ 是 J/ψ 粒子的质量, s 是碰撞两核子质心系能量的平方. 从(2)式可见, p-p 碰撞中产生 J/ψ 的截面随 p-p 质心系能量的减小而指数下降.

为了简化分析过程, 采用程函近似来研究初态多次碰撞以及相关的能量损失对 J/ψ 产额的影响. 在同时考虑初、末态相互作用的情况下, 研究解释 p-A 碰撞中 J/ψ 压低所需要的 J/ψ 在核子上的吸收截面 σ_{abs}^f .

考虑一个入射高能质子以碰撞参数 b 与原子核碰撞, 在 (b, z) 处, 它与核中的核子发生作用产生 J/ψ 粒子. 在产生 J/ψ 以前, 这个质子有可能以 W_n 的几率与核中的其他核子发生 n 次散射. 产生了的 J/ψ 粒子在离开原子核以前, 有可能与核中的其他核子发生末态相互作用. p-A 碰撞产生 J/ψ 的总截面应为各种多次碰撞产生 J/ψ 的和. p-A 碰撞中, 产生 J/ψ 的截面可写为:

$$\sigma_{\text{pA} \rightarrow J/\psi + X} = \sum_{n=0}^{\infty} \int d^2b dz \rho(b, z) \sigma_{\text{pN} \rightarrow J/\psi}^{(n)} W_n(b, z) e^{-\int_z^{\infty} \sigma_{\text{abs}}^f \rho(b, z') dz'}, \quad (3)$$

其中, $\rho(b, z)$ 为 (b, z) 处原子核的密度, $\sigma_{\text{pN} \rightarrow J/\psi}^{(n)}$ 为第 n 次碰撞中产生 J/ψ 的截面, 它与第 n 次 p-N 碰撞质心系能量 $\sqrt{S_n}$ 有关,

$$\sigma_{\text{pN} \rightarrow J/\psi}^{(n)} = A_0 e^{-B M_{J/\psi} / \sqrt{S_n}}. \quad (4)$$

假定在第 n 次碰撞前入粒子具有动能 E_{n-1} , 在第 n 次碰撞中, 快粒子的能量损失系数为 K_n , 则

$$E_n = (1 - K_n) E_{n-1}, \quad (5)$$

变换到 p-N 质心系, 可以得到 $\sqrt{S_n}$ 与 $\sqrt{S_{n-1}}$ 的关系. 从(3)式可以看出, 如果 $\alpha_{pN}^{(n)} \rightarrow J/\psi$ 与入射能量无关, 本文的公式将回到文献[6]的结果. 按照程函近似, W_n 可以写为^[10],

$$W_n(b, z) = \frac{(\sigma_{NN} T(b, z))^n}{n!} e^{-\sigma_{NN} T(b, z)}, \quad (6)$$

其中 σ_{NN} 为核子-核子碰撞截面,

$$T(b, z) = \int_{-\infty}^z dz' \rho(b, z'). \quad (7)$$

从(1)和(3)式, 可以计算 R 与 A 的依赖关系, 通过与实验比较, 抽出符合实验的 σ_{abs}^f .

为了简化数值计算, 把原子核的密度分布取为半径为 R_0 的均匀球, $R_0 = r_0 A^{1/3}$. 取 $r_0 = 1.2\text{fm}$. 取 $K_n = 0.2$, $\sigma_{NN} = 30\text{mb}$, 对于 800GeV 的 p-A 碰撞, 我们调节 σ_{abs}^f , 计算 R . 图 1 中给出了 $\sigma_{abs}^f = 2.1\text{mb}$ 时的结果及与实验^[11]的比较. 可见, 在 $\sigma_{abs}^f = 2.1\text{mb}$ 时, 在误差范围内, 理论与实验符合.

从我们的计算可以看出:

(1) $R(A)$ 随 A 的变化比 $A^{0.94}$ 下降得更快一些;

(2) 当入射能量增大时, $R(A)$ 随 A 的压低会弱一些;

(3) 非弹性系数 K_n 的大小对结果有大的影响, K_n 越大, 要求 σ_{abs}^f 越小.

数值结果是在均匀密度近似下得到的, 这种近似对于轻核是不好的. 用符合实验的核密度并不困难. 我们相信, 本文得出的定性结论不会改变. 在合理的密度分布和 K_n 取值时, 初态相互作用对于 J/ψ 压低起着明显的作用, 应当予以重视.

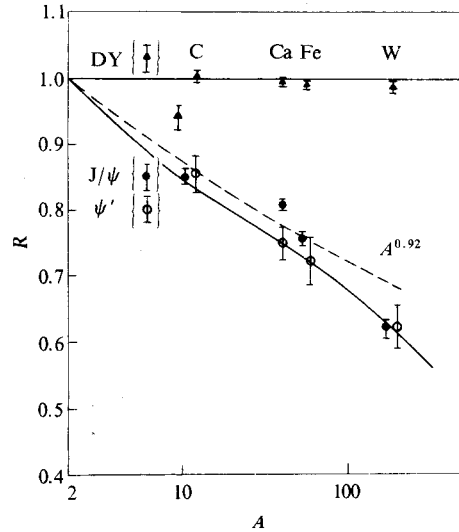


图 1 p-A 碰撞的 J/ψ 产生截面与 p-N 碰撞 J/ψ 产生截面之比 R 随 A 变化的曲线
实线是我们计算的结果.

参 考 文 献

[1] C. Y. Wong, Introduction to High Energy Heavy-Ion Collisions, World Scientific Publishing Co. Ptc. Ltd., 1994.
 [2] T. Matsui H. Satz, *Phys. Lett.*, **B178** (1986) 416.
 [3] C. Baglin *et al.*, NA38 Collab., *Phys. Lett.*, **B220** (1989) 471.
 [4] M. J. Leitch *et al.*, E789 Collab., Rep. No. Fermilab-Pub-95/047.
 [5] C. Y. Wong, Suppression of ψ' and J/ψ' in High Energy heavy-Ion Collisions, Oak Ridge Preprint ORNL-CTP-95-04.
 [6] C. Gerschel, J. Hüfner, *Phys. Lett.*, **B207** (1988) 253.

- [7] Liu Bo, Zhao Weiqin, 高能物理与核物理, **18**(1994) 443.
[8] H. C. Chiang, J. Hüfner, *Nucl. Phys.*, **A349**(1980) 466.
[9] M. H. Schub *et al.*, *Phys. Rev.*, **D52**(1995)1307.
[10] A. Capella, *Nucl. Phys.*, **A525**(1991) 133c.
[11] J. M. Moss, E772 Collab., *Nucl. Phys.*, **A525**(1991)285c.

Initial State Interactions and J/ψ Production – Rate Suppression in High Energy $p-A$ Collisions

Qin Keyu

(Physics department, Yun Nan Normal University, Kunming 650092)

Jiang Huanqing Liu Bo

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

Received 2 January 1996

Abstract

The influence of the initial state interactions on the J/ψ production–rate suppression in $p-A$ collisions is studied. The incident proton energies decrease due to the inelastic interactions with the target nucleus. Considering energy loss of the incident proton, the data are well reproduced by using the final state interaction cross section $\sigma_{\text{abs}}^f = 2.1\text{mb}$.

Key words QGP, J/ψ suppression, likonal approximation