

研究简报

χ_c 辐射衰变和新粒子强产生

郁宏 李炳安 沈齐兴

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

本文考虑了 χ_c 粒子的强产生及其辐射衰变, 指出 J/ψ 粒子的强产生应包括这部分贡献. 结果, 合理地缩小了 J/ψ 粒子和 ψ' 粒子同层子的有效耦合常数之间的差距, 保留了以前工作中的主要结果, 得到了不同质心系总能量下四种过程通过 χ_c 的产生及其辐射衰变产生 J/ψ 粒子的微分截面在 J/ψ 粒子产生总微分截面中所占的比例. 最后, 对本文所用模型和胶子聚合模型作了简单比较.

最近, 在西欧中心的对撞机上, 作为研究 pp 对撞中电子对的内含产生的一部分, 进行了伴随 J/ψ 粒子有光子产生的实验研究工作^[1]. 结果给出, 在 $\langle\sqrt{s}\rangle = 55 \text{ GeV}$ 、pp 对撞产生 J/ψ 粒子, 其中 $(43 \pm 21)\%$ (是微分截面 $\left. \frac{d\sigma}{dy} \right|_{y=0}$ 之比, 换算成 $\left. \frac{d\sigma}{dx} \right|_{x=0}$ 之比为 $(40 \pm 20)\%$) 是通过产生 χ_c (3.5 GeV) 态及 χ_c 的辐射衰变所产生.

在我们的前两篇文章中^[2,3], 用层子和反层子湮灭的机制, 讨论了 J/ψ 粒子及 ψ' 粒子的直接的强产生. 考虑西欧中心的新实验结果, 则 J/ψ 粒子的强产生应由两部分组成: (1) 层子和反层子湮灭直接产生 J/ψ 粒子, (2) 层子和反层子湮灭产生 χ_c , 再通过其辐射衰变产生 J/ψ , 见图 1.

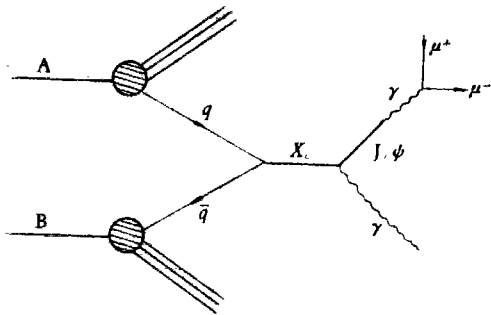
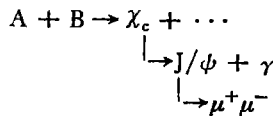


图 1

由于 χ_c 的质量比 ψ' 粒子轻, 所以 ψ' 粒子的强产生仍是由层子和反层子湮灭直接产生.

对于图 1 所示机制, 按照[3]中类似的讨论, 反应



有截面公式

$$\sum_{\chi_c} B_{\chi_c} \frac{d\sigma}{dx} = \frac{\pi}{3s} g_{\chi_c}^2 \frac{1}{\sqrt{x^2 + \frac{4m_{\chi_c}^2}{s}}} \sum_{i=1,2,3} \{G_i^A(x_1) \bar{G}_i^B(x_2) + \bar{G}_i^A(x_1) G_i^B(x_2)\}$$

$$+ \frac{\pi}{s} b^2 g_{\chi_c, c}^2 \frac{1}{\sqrt{x^2 + \frac{4m_{\chi_c}^2 - 2m_J^2}{s}}} \{ G_c^A(x_1) \bar{G}_c^B(x_2) + \bar{G}_c^A(x_1) G_c^B(x_2) \} \quad (1)$$

其中

$$g_{\chi_c}^2 = \sum_{\chi_c} B_{\chi_c} f_{\chi_c}^2 \left(\frac{m_{\chi_c}^2 + m_J^2}{m_{\chi_c} m_J} \right)$$

$$g_{\chi_c, c}^2 = \sum_{\chi_c} B_{\chi_c} f_{\chi_c, c}^2 \frac{1}{3} \left(\frac{m_{\chi_c}}{m_J} \cdot \frac{m_{\chi_c}^2 + m_J^2}{m_{\chi_c}^2 - \frac{1}{2} m_J^2} \right) \quad (2)$$

$$x'_1 = \frac{1}{2} \left\{ x + \sqrt{x^2 + \frac{4m_{\chi_c}^2}{s}} \right\}$$

$$x'_2 = \frac{1}{2} \left\{ -x + \sqrt{x^2 + \frac{4m_{\chi_c}^2}{s}} \right\}$$

$$x_1 = \frac{1}{2} \left\{ x + \sqrt{x^2 + \frac{4m_{\chi_c}^2 - 2m_J^2}{s}} \right\}$$

$$x_2 = \frac{1}{2} \left\{ -x + \sqrt{x^2 + \frac{4m_{\chi_c}^2 - 2m_J^2}{s}} \right\} \quad (3)$$

B_{χ_c} 是 $\chi_c \rightarrow J/\psi + \gamma$ 的分枝比, 对 χ_c 求和是因为原则上四个 P 态 χ_c , 而实验没有分辨. 为方便计, 我们近似地令四个 χ_c 粒子质量相等(取 $m_{\chi_c} = 3.5 \text{ GeV}$). f_{χ_c} 和 $f_{\chi_c, c}$ 是 χ_c 粒子和“普通层子”及粲层子的有效耦合常数.

层子和反层子湮灭直接产生 J/ψ 及 ψ' 粒子的截面公式, 见[3].

这样, 我们可以用(1)式和[3]中(9)式讨论各种质心系总能量 \sqrt{s} 的 PN , πN , $\bar{\text{P}}\text{P}$, $\pi^+\text{P}$ 产生 J/ψ 粒子的微分截面和总截面.

由 $B_{\mu^+\mu^-} \frac{d\sigma}{dx} \Big|_{x=0}$ 的实验值^[4,5,6,7] 定出

$$g^2 = 0.38 \times 10^{-2}, \quad b^2 g_c^2 = 0.50 \times 10^{-2}$$

$$g_{\chi_c}^2 = 0.42 \times 10^{-2}, \quad b^2 g_{\chi_c, c}^2 = 0.66 \times 10^{-2} \quad (4)$$

可以得到以下结果, 见表 I, 图 2. 图上给出了 PN 过程的微分截面 ($x = 0$) 实验值. 表

表 I

过程 \sqrt{s} (GeV)	PN	πN	$\bar{\text{P}}\text{P}$	$\pi^+\text{P}$
55	0.39	0.40	0.40	0.39
52	0.39	0.39	0.40	0.39
27.43	0.36	0.38	0.40	0.38
20.59	0.35	0.38	0.40	0.37
8.764	0.23	0.35	0.36	0.33
7.5	0.18	0.34	0.33	0.32

六种质心系总能量, 四种过程通过 χ_c 的产生及其辐射衰变产生 J/ψ 粒子的微分截面 ($x = 0$) 在 J/ψ 粒子产生总微分截面 ($x = 0$) 中所占比例.

I 中所示结果和 CERN 的实验结果是符合的。

我们还得到以下结果:

当 $\sqrt{s} = 20.59 \text{ GeV}$, 不同过程产生 J/ψ 粒子的总截面为

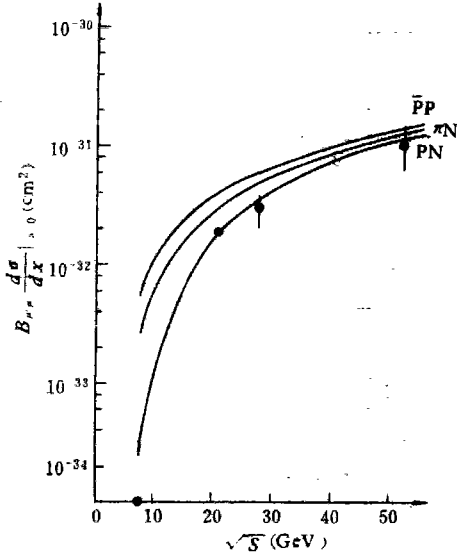


图 2

$$PN \quad \sigma = 67nb$$

$$\pi N \quad \sigma = 137nb \quad x > 0$$

$$\bar{P}P \quad \sigma = 169nb$$

$$\pi^+P \quad \sigma = 125nb$$

实验结果^[7]为

$$PN \quad \sigma = (82 \pm 4)nb$$

$$\pi^-N \quad \sigma = (141 \pm 10)nb \quad x > 0$$

$$\pi^+N \quad \sigma = (122 \pm 14)nb$$

理论和实验基本符合。

当 $\sqrt{s} = 8.764 \text{ GeV}$, 不同过程产生 J/ψ

粒子的总截面为

$$\sigma(PN) = 6.2nb \quad \sigma(\bar{P}P) = 84nb$$

$$\sigma(\pi N) = 51nb \quad \sigma(\pi^+P) = 37nb$$

而

$$\sigma(\pi N)/\sigma(\bar{P}P) = 0.61$$

$$\sigma(PN)/\sigma(\bar{P}P) = 0.074$$

实验结果^[8]为

$$\sigma(\pi^-N)/\sigma(\bar{P}P) = 1/1.0 \pm 0.3$$

$$\sigma(\pi^+N)/\sigma(\pi^-N) = 0.87 \pm 0.14$$

$$\sigma(PN)/\sigma(\bar{P}P) = 0.15 \pm 0.08$$

二者基本符合。

对 ψ' 粒子的强产生过程, 我们在[3]中已求得

$$g'^2 = 0.13 \times 10^{-2}, \quad b^2 g'^2 = 0.25 \times 10^{-2} \quad (5)$$

可以看到它们分别是 J/ψ 粒子和“普通层子”与粲层子相应耦合常数的 1/3 和 1/2。

从以上结果, 可以看到:

1. 考虑了 χ_c 粒子的强产生及辐射衰变后, 除了仍保留以前工作^[2,3]中的合理结果外, 把 ψ' 粒子和层子的耦合常数同 J/ψ 粒子和层子的耦合常数的差距缩小了。考虑到 ψ' 和 J/ψ 具有相同的量子数(ψ' 只是 J/ψ 粒子的径向激发), 而质量差并不大, 这显然更为合理些。

2. 西欧中心的新的实验结果表明, 产生新粒子的层子和反层子湮灭机制是比较合理的, 而胶子聚合机制^[9]要求绝大部分 J/ψ 粒子的产生均伴随有 γ 光子产生是与实验不合的。

3. 实验^[8]表明, 在 $\sqrt{s} = 8.764 \text{ GeV}$, 产生 J/ψ 粒子的总截面 $\sigma(\bar{P}P)$ 比 $\sigma(PN)$ 大 7 倍左右, 而胶子聚合机制要求 $\sigma(\bar{P}P) = \sigma(PN)$, 与实验不符合。对层子和反层子湮灭机

制,由于 \bar{P} 由反层子作为价层子,所以可以很自然地解释这一点,特别是在能量低的区域,因为在此区域价层子贡献比海层子贡献要大。

4. 从表 I 可以看到比例随能量变化不大,这提供了实验检验该模型的一个很好判据。

参 考 文 献

- [1] J. H. Cobb et al., *Phys. Letters.*, **72B** (1978), 479.
- [2] 郁 宏、李炳安, *物理学报.* **26** (1977), 367.
- [3] 郁 宏、李炳安, *高能物理与核物理.* **3** (1979), 2.
- [4] George H. Trilling, *Proceedings of Summer Institute on Particle Physics (SLAC-191)* (1975), 191.
- [5] Samuel C. C. Ting, *Proceedings of the 1975 International Symposium on lepton and photon Interaction at High Energies*, p. 155.
- [6] H. D. Snyder et al., *Phys. Rev. Lett.*, **36** (1976), 1415.
- [7] J. G. Branson, et al., *Phys Rev. Letters.*, **38** (1977), 1331.
- [8] M. J. Corden, *Phys. Letters.*, **68B** (1977), 93.
- [9] J. G. Branson, *Phys. Rev. Lett.*, **38** (1977), 580.

RADIATIVE DECAY OF χ_c AND HADRONIC PRODUCTION OF THE NEW PARTICLES

YU HONG LI BING-AN SHEN QI-XING

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

In this paper we point out that the hadronic production of J/ψ particle should contain the radiative decay of χ_c which is produced in hadron collisions. Our results show that:

- (1) The difference between the effective coupling constant of J/ψ and stratoms and the effective coupling constant of ψ' and stratoms is reasonably decreased.
- (2) The main results in previous work are preserved.
- (3) The fractions of J/ψ 's produced via the photonic decay of the χ_c states are obtained at different \sqrt{s} in the four processes. Finally, we simply compare this model with the production via gluon.