

$\Psi' \rightarrow K_S K_L$ 的首次观测及其物理应用*

苑 长 征[†]

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

摘 要 利用北京谱仪采集的 1400 万 Ψ' 数据,对粲偶素衰变到赝标介子对 $K_S K_L$ 进行了寻找,首次观测到信号并测量了其衰变分支比,并首次确定 Ψ' 衰变中强振幅和电磁振幅之间的相角接近 $\pm 90^\circ$ 。结合从北京谱仪采集的 J/Ψ 数据中测得的 $J/\Psi \rightarrow K_S K_L$ 的分支比,确定了 $\Psi' \rightarrow K_S K_L$ 相对于微扰量子色动力学“12%”规则的反常增强,对粲偶素的衰变机制研究提出了新的挑战。

关键词 粲偶素 相角 分支比; “12%”规则

Observation of $\Psi' \rightarrow K_S K_L$ and its physical implications

YUAN Chang-Zheng[†]

(Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The transition $\Psi' \rightarrow K_S K_L$ has been observed for the first time using the 14 million Ψ' events collected by the Beijing Spectrometer of the Beijing Electron-Positron Collider. Based on this, the relative phase between the strong and electromagnetic amplitudes of Ψ' decays is found to be around ± 90 degree. Together with improved measurement of the $J/\Psi \rightarrow K_S K_L$ branching fraction, $\Psi' \rightarrow K_S K_L$ is found to be enhanced compared with the pQCD “12%” rule between Ψ' and J/Ψ decays. This is a new challenge in the study of charmonium decay dynamics.

Key words Charmonium, phase, branching fraction, pQCD “12%” rule

粲夸克偶素为由一个粲夸克和一个反粲夸克构成的束缚态,虽然它们在 20 世纪 70 年代即被发现,但对它们的理论和实验的深入研究只是在近年来才重新得到重视:一个原因是实验技术的发展使得系统研究粲夸克偶素的性质成为可能;另一个原因是量子色动力学,尤其是格点量子色动力学的发展需要更多的和更高精度的数据进行对比,以推动其发展。粲夸克偶素由于其覆盖的能区为微扰和非微扰量子色动力学的过渡区域,而且是一个简单的二体系统,所以格外受到青睐。

理解粲夸克偶素强衰变机制,即理解粲夸克和反粲夸克间的强相互作用性质,是粲偶素物理实验和理论研究的重点之一。微扰量子色动力学(pQCD)预言在 Ψ' 和 J/Ψ 的单举强衰变(不区分强子末态)中,满足所谓的“12%”规则^[1],即:

$$Q_h = \frac{\Gamma(\Psi' \rightarrow h)}{\Gamma(J/\Psi \rightarrow h)} = \frac{\Gamma(\Psi' \rightarrow e^+ e^-)}{\Gamma(J/\Psi \rightarrow e^+ e^-)} \approx 12\%^{1)},$$

其中 $\Gamma(a \rightarrow b)$ 为粒子 a 衰变为 b 末态的衰变分宽度。由于 Ψ' 和 J/Ψ 质量差别很小,因而衰变相空间差别不大,这个规则被推广到遍举强衰变(特定强子末态)过程。实验上发现在很多的衰变过程都满足这个规则的同时,有些衰变道严重偏离“12%”规则。这个现象最初由 Mark II 在 $\rho\pi$ 和 $K^{*+}K^- + c. c.$ 两个衰变过程中发现^[2]。 $\Psi' \rightarrow \rho\pi$ 和 $K^{*+}K^- + c. c.$ 等矢量-赝标量(VP)末态的衰变压低也被称为“ $\rho\pi$ 疑难”或“矢量-赝标量疑难”。这类现象在北

* 中国科学院“百人计划”资助项目

2004-05-18 收到初稿 2004-09-02 修回

[†] Email: yuancz@ihep.ac.cn1) 由于 $\Gamma(\Psi' \rightarrow e^+ e^-)$ 和 $\Gamma(J/\Psi \rightarrow e^+ e^-)$ 的实验数据不同,“12%”规则曾在文献上被称为“14%”规则和“15%”规则。

京谱仪(BES I)实验中得到了广泛和深入的研究,除了证实了VP中的压低,矢量-张量(VT)衰变道也被发现是压低的,从而导致了该领域理论和实验研究^[3]的热潮.有关研究成果获得2001年国家自然科学二等奖^[4].

为了更深入地研究“12%”规则和其他物理,升级后的北京谱仪(BES II)于2001—2002年度采集了1400万 Ψ' 数据样本,是BES I的400万样本的3.5倍,同时BES II还在1999—2001年采集了5800万 J/Ψ 数据,这两个目前世界上最大的正负电子对撞数据标本,为进一步系统研究“12%”规则提供了新的可能.

在尝试解释在 Ψ' 和 J/Ψ 衰变中的反常的方案中,Suzuki提出 Ψ' 衰变的压低可能是由于其强衰变和电磁衰变之间的相对相角与相应 J/Ψ 衰变的情形有很大差异造成的^[5].基于有限的 $\Psi' \rightarrow VP$ 的衰变数据,他指出这个压低表明 Ψ' 衰变中强衰变和电磁衰变之间的相角应为 180° ,而不同于在 J/Ψ 的多种反应道分析中得到的 90° 的相角.进一步的分析表明,在以往的实验和理论分析中,正负电子对撞直接产生待测末态而不经共振态衰变的振幅未予考虑,而这个连续态的振幅是不容忽视的.考虑到这个新的振幅后,王平等^[6]发现虽然实验数据倾向于 180° 相角, -90° 附近的相角并不能被排除.王平等的工作在两个方面有了重要突破,一是首次指出了连续态振幅在所有过程中的重要性;二是指出了粲偶素强衰变和电磁衰变之间相角可能为 -90° .以前所有的分析,包括 J/Ψ 衰变中的分析,实际上只能确定出相角的绝对值在 90° 附近,而不能确定其符号.

在 $\Psi' \rightarrow VP$ 中进行上述理论分析的检验固然重要,另一种可能的实验检验是提供更多 Ψ' 衰变道的信息并进行相应相角的测量.苑长征等^[7]利用已知的 $\Psi' \rightarrow \pi^+ \pi^-$ 和 $K^+ K^-$ 的信息,给出了 $\Psi' \rightarrow K_S K_L$ 衰变分支比与相角之间的关系,并提出BES II应该进行 $K_S K_L$ 的测量从而确定 Ψ' 到赝标量介子对(PP)过程中的相角.

通过测量单举 K_S 动量谱,如图1,BES II首次在上世界上观测到了 $\Psi' \rightarrow K_S K_L$ 信号^[8],显著性达 13σ ,并确定其分支比为 $(5.24 \pm 0.47 \pm 0.48) \times 10^{-5}$,与文献[7]对比,确定相角为 $(-82 \pm 29)^\circ$ 或 $(121 \pm 27)^\circ$,可见 -90° 左右的相角也能解释数据,但目前的结果并不能排除正相角的可能.上述结果已表明, $\pm 90^\circ$ 附近的相角要比 $\pm 180^\circ$ 的相角更为可能.这是世界上首次在实验上测量 Ψ' 衰变中的强作用与电

磁相互作用振幅之间的相角.

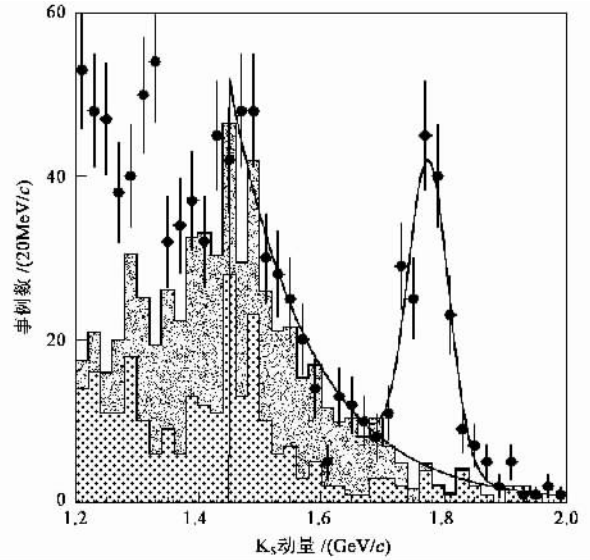


图1 Ψ' 衰变中 K_S 的动量谱分布($K_S K_L$ 信号清晰地出现在图最右侧)

利用类似的实验方法,BES II还重新测量了 $J/\Psi \rightarrow K_S K_L$ 衰变的分支比^[9](如图2),结果为 $(1.82 \pm 0.04 \pm 0.13) \times 10^{-4}$,比世界平均值 $(1.08 \pm 0.14) \times 10^{-4}$ 大了70%,差别超过了4倍标准偏差^[10].这表明以前的测量存在很大的系统偏离,一个可能的原因是以前实验中没有考虑触发效率的影响,从而导致测量结果偏低.上述结果结合 $J/\Psi \rightarrow \pi^+ \pi^-$ 和 $J/\Psi \rightarrow K^+ K^-$ 的分支比也可确定 $J/\Psi \rightarrow PP$ 过程中强衰变和电磁衰变之间的相角,结果表明相角也在 $\pm 90^\circ$ 附近.

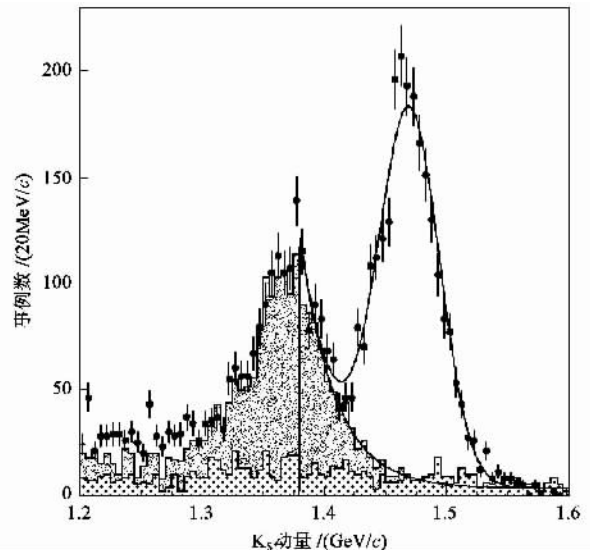


图2 J/Ψ 衰变中 K_S 的动量谱分布($K_S K_L$ 信号清晰地出现在图最右侧)

BES II 测量的 J/Ψ 和 $\Psi' \rightarrow K_S K_L$ 的结果给出：

$$Q_{K_S K_L} = (28.8 \pm 3.7)\%$$

与 pQCD 预期的“12%”规则相比,可见 Ψ' 衰变反常增加,这与以前在许多衰变模式中得到的 Ψ' 衰变压低图像有很大不同,但与 BES I 在 $\Psi' \rightarrow K_1(1270)^+ K^- + c. c.$ 道中观测到的 Ψ' 衰变反常增强现象一致^[11],也印证了唯象分析中 Ψ' 衰变反常增加过程存在的预言^[5,12]. 这个超过 4 倍标准偏差的反常增强提示在 Ψ' 或 J/Ψ 衰变中可能有新机制的贡献.

文献 [13] 从 Ψ' 和 Ψ'' 都是粲偶素 S 波和 D 波的混合出发,即认为

$$|\Psi' \rangle = \cos\theta |2S \rangle - \sin\theta |1D \rangle,$$

$$|\Psi'' \rangle = \sin\theta |2S \rangle + \cos\theta |1D \rangle,$$

其中 θ 为 S 波和 D 波之间的混合角. 采用 Rosner 的假设^[14],即认为 pQCD 规则仅对纯的 $|1S \rangle$ 态和 $|2S \rangle$ 态成立,则通过引入适当的 $|1D \rangle$ 衰变到 $K_S K_L$ 的振幅,可以合理地解释实验观测到的 Ψ' 相对于 J/Ψ 衰变的反常增加,但这种解释的有效性需要实验数据的检验. 文献 [13] 预言:

$$0.12 \times 10^{-5} \leq B(\Psi'' \rightarrow K_S K_L) \leq 3.8 \times 10^{-5},$$

从实验上测量 $\Psi'' \rightarrow K_S K_L$ 的分支比检验上述预言,显然有助于理解 Ψ' 和 $J/\Psi \rightarrow K_S K_L$ 衰变中的疑难. 目前 BES II 在 Ψ'' 共振峰附近采集了 27 pb^{-1} 数据, CLEO_C 已采集 60 pb^{-1} Ψ'' 数据并将于 2004 年底积累到 3 fb^{-1} , 这些样本将对上述模型的预期进行精确的检验.

综上所述,基于 BES II 的 Ψ' 数据,首次观测了 $\Psi' \rightarrow K_S K_L$ 的衰变并首次确定了 Ψ' 衰变中强衰变和电磁衰变振幅间的相角约为 $\pm 90^\circ$. 还发现了 $\Psi' \rightarrow K_S K_L$ 相对于 J/Ψ 衰变的反常增强,理论上已提出了可能的解释方案,需要进一步实验数据的检验.

致谢 感谢与王平、莫晓虎博士之间深入的讨论与愉快的合作.

参 考 文 献

- [1] Bai J Z *et al* (BES Collab.). *Phys. Rev. D*, 2003, 67 : 052002
- [2] Franklin M E B *et al* (MarkII Collab.). *Phys. Rev. Lett.*, 1983, 51 963
- [3] 顾以藩. 中国基础科学 2002(2): 7[Gu Y F. *China Basic Science* 2002(2): 7(in Chinese)]
- [4] 顾以藩. 物理 2002, 31 764[Gu Y F. *Wulixue (Physics)* 2002, 31 764(in Chinese)]
- [5] Suzuki M. *Phys. Rev. D*, 2001, 63 054021
- [6] Wang P, Yuan C Z, Mo X H. *Phys. Rev. D*, 2004, 69 : 057502
- [7] Yuan C Z, Wang P, Mo X H. *Phys. Lett. B*, 2003, 567 73
- [8] Bai J Z *et al* (BES Collab.). *Phys. Rev. Lett.*, 2004, 92 : 052001
- [9] Bai J Z *et al* (BES Collab.). *Phys. Rev. D*, 2004, 69 12003
- [10] Hagiwara K *et al* (Particle Data Group). *Phys. Rev. D*, 2002, 66 010001
- [11] Bai J Z *et al* (BES Collab.). *Phys. Rev. Lett.*, 1999, 83 : 1918
- [12] Gu Y F, Li X H. *Phys. Rev. D*, 2001, 63 114019
- [13] Wang P, Mo X H, Yuan C Z. *Phys. Rev. D*, 2004, 70 : 077505
- [14] Rosner J L. *Phys. Rev. D*, 2001, 64 094002

· 物理新闻和动态 ·

如何使一本书能成为畅销书？

一本书籍的畅销究竟是聪明商人在促销呢,还是它真正是一本具有社会价值的书籍? 它的销售额会迅速地下降呢,还是会是一本影响几代人的经典著作? 这些问题好像不是自然科学领域应该研究的课题. 但物理学家们却能利用统计物理的方法对这个现象提供真知灼见. 它能预言将要发生的事件的几率有多大. 就像在大地震后能确定随后将会有多少次余震,或者在沙滩上堆沙子时,会有多少次将会坍塌一样.

美国加州大学伯克利分校的 T. Gilbert 博士利用美国亚马逊网络公司售书数据库的资料,将近十几年来销售榜上的前 50 名书籍进行了一次追踪调研. 他发现一本书要达到它的销售高峰需要两个途径. 这两个途径分别是“外在的冲击”与“内在的冲击”. 所谓外在的冲击一般是指媒体的报道与评论,而内在的冲击是指读者的口碑与相互介绍. 通常内在的冲击对于书籍的销售作用比较缓慢,但它可在长时间内保持书籍的销售不致于衰退,同时它在潜在购买者中具有广泛的互动影响. 例如曾在美国出版的一本书名为《Ya - Ya 妇女集团的神圣秘密》的书籍,在它出版两年以后,在没有任何商业促销活动的背景下,仍然保持在销售榜的前列;藉助于书刊俱乐部的讨论,很多妇女们又建立了许多自己的 Ya - Ya 妇女集团.

与此相反,外在的冲击(如潮般的评论)常常是来势汹涌,它可驱使该书的销售迅速达到最佳状态,但是同样也会使销售额迅速地衰退,它比由于口碑形成的销售热要衰退得快得多. 另一方面,从书籍销售的历史来看,突然引发的销售热,其效应要比在读者群体中广泛流传的作用小很多,因为后者具有多重效应. 这种多重效应反映在许多方面,例如在一本书出版了两年以后,还有人从朋友的介绍中得知该书的价值,或者在朋友间的聚会时,从旁听的途径中获得有关该书的第二手资料. 总之,这份研究可以给市场经营者们提供一些方法,帮助他们能将他们的出版物在潜在的购买群内达到最大的销售效果.

(云中客 摘自 *Physical Review Letters*, 26 November 2004)