

# BEPC/BES 上的粲物理和 $\tau$ 轻子物理研究成果

郑志鹏\* 李 金 巨 新

(高能物理研究所 北京 100039)

粒子物理是人类研究物质微观基本构成及其相互作用性质的一门科学,其研究成果深化了人类对微观世界的认识。粲物理和  $\tau$  轻子物理是粒子物理的重要分支,对其辐射衰变、强衰变和弱衰变的系统研究,将会解决或澄清粒子物理中的一些问题,检验和发展粒子物理的标准模型。例如,中微子的质量上限是多少? QCD 预言的胶球是否存在? 如果存在,它的特征是什么?  $J/\Psi$  家族中  $P^1$  态粒子是否存在? 轻子普适性在何种精度上成立?  $\psi'$  衰变中的  $\rho\pi$  压低现象是否存在? 是否有其它类似的压低现象,等等。

北京正负电子对撞机(BEPC)/北京谱仪(BES)是世界上唯一在 3.0—5.6 GeV 的  $\tau$ -c 能区稳定运行、产生最大数据量的正负电子对撞机和探测器,由于工作在一系列共振区和产生阈区,具有本底小、误差小、测量精度高的优点,且其亮度高于美国同类对撞机(SPEAR)四倍,具备了在世界上最为先进的实验条件,从而使对粲物理和  $\tau$  轻子物理进行深入系统的研究成为可能。几年来,BEPC/BES 稳定运行,已积累了 900 万  $J/\Psi$  粒子,340 万  $\psi'$  粒子,10 万  $\tau$  轻子以及  $22\text{pb}^{-1}\text{Ds}$  粒子的数据。通过对这些数据的分析,获得了下述一批在国际高能物理学界有较大影响的成果。

## 一、 $\tau$ 轻子质量的精确测量

到目前为止,最精确的  $\tau$  轻子质量测量是在 BEPC 上取得的。1994 年,利用  $4.74\text{pb}^{-1}$  的  $\tau^+\tau^-$  事例和更多的衰变道,获得的最新结果是:

$$M_\tau = 1776.9 \pm 0.2 \pm 0.2 \text{ MeV}/c^2$$

BES 合作组在此项研究中首次使用了阈值扫描新方法,充分利用了对撞机亮度高、探测器分辨率好的特性。新的  $\tau$  轻子质量的观测值比原来的世界平均值低了 7.2 MeV,而且精度提高了 10 倍,在 1993 年 8 月召开的第 16 届轻子光子相互作用国际会议报告后,引起国际高能物理学界极大的兴趣。他们高兴地看到,困扰高能物理学界几年之久的关于轻子普适性的问题现已基本解决,其中北京谱仪的  $\tau$  质量数据起了关键作用。这也是近年来国际高能物理学界最重要的实验结果之一。因为  $\tau$  轻子质量是一个基本常数,按照 1992 年以前的粒子数据表

\* 中国科学院高能物理研究所所长

值的计算,  $\tau$  和  $\mu$  的弱耦合常数的比值  $g_\tau/g_\mu=0.970\pm0.013$ , 即偏离标准模型值 1 有 2.3 倍的偏差。也就是说, 要么实验有问题, 要么轻子普适性理论有问题。用 BES 合作组获得的新  $\tau$  轻子质量值, 加上新的  $\tau$  寿命及  $\tau\rightarrow e\nu_e\nu_\tau$  分支比值, 1994 年,  $g_\tau/g_\mu=0.999\pm0.003$ , 非常接近 1。证明了轻子普适性是成立的。该项研究获中国科学院自然科学奖一等奖。

## 二、 $\xi(2230)$ 新粒子的确认

BES 合作组通过深入研究  $J/\Psi$  的辐射衰变道:  $J/\Psi\rightarrow\gamma\xi$ ,  $\xi\rightarrow K^+K^-$ ,  $K_s^0\bar{K}_s^0$ , 重复了美国 SLAC MARK III 的结果, 其质量、宽度和分支比与其结果一致, 进一步确认了  $\xi$  的存在, 上述研究澄清了长期存在的关于  $\xi(2230)$  粒子是否存在的争论(美国的 MARK III 和法国的 DM2 组), 另外, 首次观测到了两个新的衰变道:  $J/\Psi\rightarrow\gamma\xi$ ,  $\xi\rightarrow\pi^+\pi^-$ ,  $P\bar{P}$ , 发现了衰变的味道对称性, 成为“胶子球”存在证据的重要预示, 基本否认了  $\xi(2230)$  是一个  $q\bar{q}$  态的可能, 对直接证明量子色动力学理论预言有重要意义。BES 合作组也可能成为世界上最先找到胶子球的实验组。 $\xi$  的质量以及两个新衰变道的宽度和分支比如下:

a.  $J/\Psi\rightarrow\gamma\xi$ ,  $\xi\rightarrow\pi^+\pi^-$

$$M_\xi=(2235\pm4\pm6)\text{MeV}$$

$$\Gamma_\xi=(15^{+12}_{-9}\pm9)\text{MeV}$$

$$\text{Br}(J/\Psi\rightarrow\gamma\xi)\text{Br}(\xi\rightarrow\pi^+\pi^-)=(5.6^{+1.1}_{-1.0}\pm1.4)\times10^{-5}$$

b.  $J/\Psi\rightarrow\gamma\xi$ ,  $\xi\rightarrow P\bar{P}$

$$M_\xi=(2235\pm4\pm5)\text{MeV}$$

$$\Gamma_\xi=(15^{+12}_{-9}\pm9)\text{MeV}$$

$$\text{Br}(J/\Psi\rightarrow\gamma\xi)\text{Br}(\xi\rightarrow P\bar{P})=(2.7^{+1.1}_{-0.9}\pm1.0)\times10^{-5}$$

上述结果即将发表在 Phys. Rev. Lett. (《物理评论通讯》) 和 Phys. Rev. D (《物理评论 D》) 上。日本 KEKB 工厂的探测器发言人、美国夏威夷大学的 S. L. Olsen 教授称: “BES 合作组最终确认了  $\xi(2230)$  的存在, 它很像高能物理学家正极力寻找的胶子球, 这是在北京得到的独特结果。现在, BEPC/BES 已在  $\tau$ -粲物理研究中起领导作用。”

## 三、关于 $f_0(975)$ 和 $\theta(1720)$ 粒子的研究

对于  $f_0(975)$ , 理论家已经开展许多工作, 试图弄清  $f_0$  介子的性质, BES 合作组从  $J/\Psi$  的两个衰变道研究出发, 即  $J/\Psi\rightarrow\phi\pi^+\pi^-$ ,  $\omega\pi^+\pi^-$ , 发现反冲  $\phi$  和  $\omega$  的  $f_0$  的质量和宽度限有所不同, 反冲  $\phi$  的  $M_{f_0}=(969\pm4)\text{MeV}$ ,  $\Gamma_{f_0}=(43\pm8)\text{MeV}$ ; 反冲  $\omega$  的  $M_{f_0}=(985\pm9)\text{MeV}$ ,  $\Gamma_{f_0}=(11\pm6)\text{MeV}$ 。因此, 原来认定的  $f_0$  介子事实上很可能是两种不同的共振态。对于  $\theta(1720)$ , 我们研究了如下衰变道:  $J/\Psi\rightarrow\gamma K^+K^-$ ,  $\gamma K_s^0\bar{K}_s^0$ ,  $\gamma\pi^+\pi^-$  和  $J/\Psi\rightarrow\phi K^+K^-$ ,  $\omega K^+K^-$ ,  $\omega\pi^+\pi^-$ , 用螺旋度振幅和矩分析方法研究了  $\theta(1720)$  的自旋宇称, 结果表明: 在低质量区域  $J^{PC}=2^{++}$  为主, 而在高质量区域则是  $J^{PC}=0^{++}$  为主。这样, 将人们对胶球的一个重要候选者  $\theta(1720)$  的研究推进了一步。

#### 四、J/Ψ 共振参数的精确测量

BES 合作组通过测量 J/Ψ 共振域附近的  $e^+e^- \rightarrow h's$  (强子道),  $e^+e^-$  和  $\mu^+\mu^-$  的衰变模式, 获得了 J/Ψ 的共振参数  $\Gamma = (84.4 \pm 8.9) \text{KeV}$ ,  $\Gamma_h = (74.1 \pm 8.1) \text{KeV}$ ,  $\Gamma_e = (5.14 \pm 0.39) \text{KeV}$ ,  $\Gamma_\mu = (5.13 \pm 0.52) \text{KeV}$ ,  $\Gamma_h/\Gamma = 0.878 \pm 0.005$ 。这些量的测量误差是目前世界上最小的。

#### 五、 $\psi' \rightarrow \tau^+\tau^-$ 分支比的首次测量

按照 QCD 理论,  $\psi'$  和 J/ψ 的衰变分支比有一定的比例, 大约为 15%。但实验发现有少数衰变违反这一规律, 远小于 15%, 即有压低现象, 并称之为矢量赝标量疑难。BES 合作组首次测量了  $\psi' \rightarrow \tau^+\tau^-$  分支比:

$$\text{Br}(\psi' \rightarrow \tau^+\tau^-) = (3.54 \pm 0.61 \pm 0.63) \times 10^{-3}$$

利用以前测得的  $\text{Br}(\psi' \rightarrow e^+e^-)$  和  $\text{Br}(\psi' \rightarrow \mu^+\mu^-)$ , 假定轻子普适性成立, 可得  $\psi'$  的半宽度  $\Gamma_{\text{tot}} = \Gamma_{\text{h}}/\text{B}_{\text{h}} = (251 \pm 37) \text{KeV}$ , 从而,  $\text{Br}(\psi' \rightarrow \rho\pi) < 2 \times 10^{-5}$  (90% 置信度), 证实了  $\psi' \rightarrow \rho\pi$  的压低现象并获得压低的上限。同时, 还发现了一个  $\psi'$  的新压低模式:

$$\text{Br}[\psi' \rightarrow \omega f_2(1270)] < 1.1 \times 10^{-4} \text{ (90\% 置信度)}$$

由于  $\psi' \rightarrow \omega f_2(1270)$  中的末态是矢量介子和张量介子的组合, 因此, 打破了长期形成的  $\psi'$  衰变的压低模式仅限于矢量—赝标量介子末态的图象, 为理论上解释  $\psi'$  强衰变的压低现象提供新的线索。现正进行  $\psi'$  强衰变反常现象的深入研究, 尝试寻找  $\eta_c$  和矢量胶球。

#### 六、Ds 粒子的研究

Ds 粒子的衰变性质是目前世界上研究较少的领域。BES 合作组找到了三个 Ds 纯轻子衰变道, 测出了衰变常数  $f_{\text{Ds}}$ , 这是首次模型无关的直接测量。还测量了  $\text{Ds} \rightarrow \varphi\pi$  绝对分支比, 对于粒子物理中的基本问题之一——CP 破坏以及夸克混合研究有重要意义。其分支比和  $f_{\text{Ds}}$  分别为

$$\text{Br}(\text{Ds} \rightarrow \varphi\pi^+) = (3.9^{+5.1+1.8}_{-1.9-1.1})\%$$

$$f_{\text{Ds}} = (4.3^{+1.5+1.8}_{-1.3-0.4}) \times 10^2 \text{MeV}$$

目前, BEPC/BES 正在抓紧进行升级改造, 谱仪部分的改进目的在于减少高亮度下的本底, 提高谱仪性能, 如位置、动量、能量和  $\pi K$  分辨等, 以及提高数据采集速度。预计将在 1996 年上半年完成, 届时, 重新设计和建造的若干探测器以及有重要改进的加速器部分将充分发挥效益, 注入能量将从 1.3GeV 提高到 1.75GeV, 增加平均亮度, 提高调机效率和可靠稳定性, 从而大大缩短数据采集获取时间, 提高测量精度, 有望在物理研究中取得更好的成果, 进一步稳固我国在国际高能物理学界的重要地位。