

Belle 实验中新粒子的寻找

目前，粒子物理学普遍认为夸克和轻子是组成物质世界的基本单元。所有的强子是由夸克和反夸克组合形成的。通过强相互作用，三个夸克或三个反夸克形成一个重子，一个夸克和一个反夸克形成一个介子。目前描述这种强相互作用最成功的理论模型是量子色动力学(QCD)。由一对正反粲夸克($c\bar{c}$)或一对正反底夸克($b\bar{b}$)形成的介子被称为粲偶素或底偶素，它们是研究低能区QCD理论的理想载体。QCD理论也允许更复杂的粒子结构存在，如多于三个夸克的多夸克态、强子与强子束缚形成的分子态、夸克与胶子(强相互作用的媒介粒子)组成的混杂态以及由多个胶子形成的胶球态等，这些统称为奇特强子态。21世纪以来，随着实验数据的积累和实验技术的提高，人们观测到了许多可能的奇特强子态候选者。尤其是位于美国斯坦福直线加速器中心的BABAR实验、日本KEK的Belle实验以及我国北京正负电子对撞机上的BESIII实验。人们无法将这些奇特粒子简单地归于介子或者重子的范畴，通常统称为XYZ粒子。但到目前为止，没有足够的证据表明它们就是具有上述QCD容许的复杂结构。

2003年，Belle实验发现第一个XYZ粒子— $X(3872)$ 。随后CDF、D0、BABAR、LHCb和CMS等实验在不同的产生和衰变过程中都证实了它的存在。自从发现 $X(3872)$ 以来，人们对它的研究已经超过了10年，包括它的质量、宽度、衰变过程以及表征粒子特征的自旋(J)、宇称(P)和电荷共轭宇称(C)量子数 J^{PC} 等都得到很好的测量，但它的组成成份依然没有定论。它可能是四夸克态、分子态、夸克胶子混杂态、域效应以及夸克对与反夸克对的组合态等。 $X(3872)$ 的宽度很窄，由于其质量与理论预期并不相符等原因，只能称它为一种类粲偶素粒子；同时，它的质量与 $D^*\bar{D}$ 的阈值极为接近，衰变到 $D^0\bar{D}\pi$ 的几率非常高，很像 D^{*0} 与 \bar{D}^0 通过极小的结合能形成的分子态。最新的LHCb实验测量结果更倾向于 $X(3872)$ 是粲夸克偶素 $\chi_{c1}(2P)$ 与 $D^*\bar{D}$ 分子态的混合态。

理论上也预言存在类似于 $X(3872)$ 的含b夸克偶素的态，称它为 X_b 。寻找这种奇特共振态，对进一步理解 $X(3872)$ 的属性以及QCD理论模型显得尤为重要和迫切。我校物理科学与核能工程学院的沈成平教授的研究团队利用Belle实验获取的 $\Upsilon(5S)$ 的数据样本，分析了 $\Upsilon(5S)\rightarrow\gamma\omega\Upsilon(1S)$ 的过程，在 $\omega\Upsilon(1S)$ 的不变质量谱上寻找可能的 X_b 的态。下图显示了 $\omega\Upsilon(1S)$ 的不变质量分布。理论预言 X_b 的质量应该在 $10.55\text{--}10.65\text{ GeV}/c^2$ 范围内，而在这个质量范围内，没有观测到任何明显的结构存在。假设 X_b 的质量为 $10.6\text{ GeV}/c^2$ ，在90%置信水平下，测量得到的分支比连乘值 $\text{Br}(\Upsilon(5S)\rightarrow\gamma X_b)\text{Br}(X_b\rightarrow\omega\Upsilon(1S))$ 小于 2.9×10^{-5} 。虽然目

前的实验数据量还不足以给出清晰的信号，但是沈成平教授发现了一些新的强衰变模式，即 $\Upsilon(5S) \rightarrow \omega \chi_{bJ} \rightarrow \omega \gamma \Upsilon(1S)$ 过程，这些衰变过程的几率远大于人们最初的想像，这有可能是新强子中间态导致的，因此研究成果对于新强子谱的研究以及将来在超级 B 介子工厂 BelleII 上继续寻找新粒子提供了重要的实验信息。该研究成果发表在物理学领域权威期刊《物理评论快报》上 (Physical Review Letters)。这个研究成果是基于国际高能物理 Belle 合作组的名义发表，沈成平教授为唯一的通讯作者。该研究成果一经公布就受到了一些理论学家的注意，已经有了一些理论方面的论文试图解释实验结果，充分反映了该实验结果的重要性。沈成平教授和德国波恩大学的两位理论学家也尝试了在理论方面的探索，研究成果也发表在高能物理领域权威期刊《Physics Letters B》上。

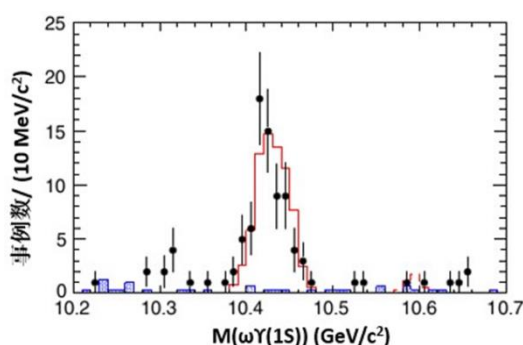


图 $\Upsilon(5S) \rightarrow \gamma \omega \Upsilon(1S)$ 的过程中 $\omega \Upsilon(1S)$ 的不变质量谱。带误差棒的黑点是数据，实线来自模拟的 $\Upsilon(5S) \rightarrow \omega \chi_{bJ}$ 过程的贡献，阴影直方图代表本底

沈成平，物理科学与核能工程学院，教授，青年千人，E-mail: shencp@buaa.edu.cn

参考文献

- [1] X. H. He et al. (Belle Collaboration), Phys. Rev. Lett. 113, 142001 (2014).
- [2] F. K. Guo, U. G. Meißner, and C. P. Shen, Phys. Lett. B 738, 172 (2014).