

# 北京谱仪轻奇特强子态研究

房双世<sup>1,2</sup> 刘北江<sup>1,2</sup> 吴家俊<sup>2</sup>

(1. 中国科学院高能物理研究所 100049; 2. 中国科学院大学 100049)

## 一、强子谱与“色禁闭”

自然界的物质由微观原子构成,原子是由位于中心的原子核与核外电子构成的。在更加微观的尺度上,原子核由核子(质子和中子)组成,核子由夸克组成。夸克是几种基本粒子之一,是构成宇宙的基本单元。物理学家用“味道”来区分不同的夸克,共有6种“味道”,分别是上夸克(u)、下夸克(d)、粲夸克(c)、奇异夸克(s)、顶夸克(t)和底夸克(b)。每一种味道的夸克还存在一个相应的反夸克。

夸克从不孤单,夸克之间被自然界最强的相互作用——强相互作用所束缚。强相互作用通过一种叫做胶子的基本粒子来传递。对一个质子来说,组成它的3个夸克的质量仅占质子质量的不到2%,大部分的质量来自于参与强相互作用的胶子。强相互作用是物质质量的主要来源。研究夸克和它们之间的强相互作用,是认识物质世界的基础。

夸克之间的强相互作用力与直觉相反,距离越近,力越弱;距离越远,力越强。如图1所示,要把质子中的夸克分开,需要数吨的力量。这种力量大到可以从真空中产生一对新的夸克,而不是把原有的夸克分开。强相互作用这种特殊的性质叫做“色禁闭”(也称夸克禁闭)。色禁闭的来源和机制是当今物理研究中最重要基本问题之一。

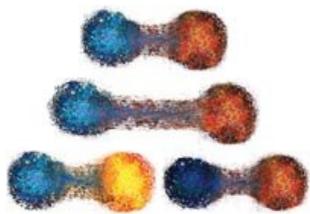


图1 色禁闭示意图

夸克被胶子“胶合”在一起,形成了强子。前边提到的质子和中子就是由三个夸克形成的强子——重子。一对正反夸克可以形成另一类强子——介子。目前已经确认的几百种强子只有重子和介子这两种物质形态。

面对如此众多的强子,一个自然的问题是我们怎样对它们分类命名,就好比众多的水果,当我们喊出其名字时,特有的物性和味道就会呈现在我们的脑海里,比如望梅止渴。强子的性质主要决定于其内部组成的夸克的种类,即味道量子数,以及这些夸克的相互关系,即自旋宇称和径向量子数。夸克的味道比较简单,每一种夸克都有其特有的味道,这些味道的总和就是强子的味道;而强子的自旋宇称是由夸克的自旋和相互间的轨道角动量决定的。由于介子是正反夸克对组成,重子是由三个夸克组成,所以它们命名的方法也不同。对于介子,首先可以分为两大类,味中性(即正反夸克相同,特别注意u,d夸克视作同一味道,以下记为q)和S、C、B、T味道(正反夸克味道不同)的介子。对于带味道的介子,根据味道不同即可命名,如表1所示。而对于味中性介子不仅根据其味道,还要区分夸克对的总自旋为0或1,以及轨道角动量为奇数或偶数,这三者结合可以标记的介子如表2所示。尽管重子含有三个夸克,但是其命名却比较简单,只用按照不同的味道量子数区分如表3所示。高激发态的强子均由这些强子名称加上“\*”来表示,并在其后的括号内标识其质量。比如 $N^*(1535)$ 即表示一个质

表1 带味道的介子 $q=u,d$

$\bar{s}q$	$\bar{q}c$	$\bar{b}u$	$\bar{q}t$	$\bar{s}c$	$\bar{s}b$	$\bar{c}b$
K	D	B	T	$D_s$	$B_s$	$B_c$

表2 味中性介子的命名 ( $S$ 为总自旋,  $L$ 为轨道角动量)

qq成分 \ $^{2S+1}L_J$	$^1S_0$	$^1P_1$	$^3S_1$	$^3P_J$
$\bar{d}u, \bar{d}d - \bar{u}u, \bar{u}d$	$\pi$	$\rho$	$\rho$	$a$
$\bar{d}d + \bar{u}u, \bar{s}s$	$\eta, \eta'$	$h, h'$	$\omega, \phi$	$f, f'$
$\bar{c}c$	$\eta_c$	$h_c$	$\psi (J/\psi)$	$\chi_c$
$\bar{b}b$	$\eta_b$	$h_b$	$\gamma$	$\chi_b$

表3 重子  $q=u, d$ .

味道	qqq	qqq	qss	sss	qqc	qsc	ssc	qcc	sc
	N	$\Sigma, \Lambda$	$\Xi$	$\Omega$	$\Sigma_c, \Lambda_c$	$\Xi_c$	$\Omega_c$	$\Xi_{cc}$	$\Omega_{cc}$

量为 1535 MeV 且为 N 的激发态, 由此我们马上知道其内部的夸克成分为三个 u 或 d 夸克, 其自旋宇称为  $1/2^-$ 。

然而, 强相互作用允许新的物质形态存在, 例如由纯胶子构成的胶球、由夸克和胶子构成的混杂态、由三个以上夸克构成的多夸克态等等, 它们统称为奇特强子态。寻找和研究这些新的物质形态将为夸克和胶子如何形成强子提供重要信息。如果这些奇特强子态不存在, 将意味着强相互作用基本理论需要重大变革。

## 二、 $J/\psi$ 衰变——研究轻奇特强子态的天然宝藏

要研究遥远的星体, 我们需要望远镜。要研究微观的细胞, 我们需要显微镜。要研究强子的内部结构, 我们需要粒子加速器。运行在北京正负电子对撞机上的北京谱仪实验是研究强相互作用的高精度前沿实验。寻找和研究奇特强子态是包括北京谱仪实验在内的国际上许多高能物理实验重要的物理目标。

$J/\psi$  粒子是丁肇中教授和伯顿·里克特教授于 1974 年首次发现的 (1976 年诺贝尔奖)。它的发现证实了夸克模型预言的第四种夸克 (粲夸克) 的存在, 被誉为粒子物理的“十一月革命”。 $J/\psi$  是由正反粲夸克组成的粲偶素。由于它的质量比最轻的粲介子对还要轻, 没有足够的能量衰变到粲介子对。因此, 除了辐射跃迁到更轻的粲偶素  $\eta_c$  之外,  $J/\psi$  粒子只能通过正反粲夸克湮灭的方式衰变。正反粲

夸克湮灭产生新的物质, 这一过程是通过胶子发生的。 $J/\psi$  衰变是富含胶子的过程 (丰胶子过程), 是公认的寻找胶球等奇特强子态的理想场所。 $J/\psi$  在  $e^+e^-$  湮灭过程中产生截面很大, 这一巨大的天然优势使我们在正负电子对撞机上容易获得低本底、高统计精度的数据。1998 年北京谱仪升级完毕后, 于 1999 年和 2000 年采集了 5800 万高质量的  $J/\psi$  事例, 是当时世界上最大的  $J/\psi$  数据样本。在北京正负电子对撞机重大改造工程 (BEPC II) 的基础上, 北京谱仪 III (BES III) 国际合作组于 2019 年 2 月 11 日累计获取 100 亿  $J/\psi$  事例。这为寻找和研究胶球等奇特强子态提供了重要机遇。

## 三、北京谱仪的胶球研究

类比于科学史上原子光谱对研究原子结构和发展量子电动力学的重要作用, 强子谱是研究强子微观结构和强相互作用的重要工具。胶子之间有自相互作用, 可以形成束缚态——胶球, 这是强相互作用的重要特征。寻找胶球是对强相互作用的直接检验, 对于研究胶子场和理解色禁闭有重要意义。在低能强相互作用的能区, 由于夸克、胶子之间的强耦合效应, 一般基于微扰论的理论方法都是失效的。现在唯一公认有效的是格点量子色动力学方法。把量子色动力学局限在有限的方格内, 通过大数据蒙特卡罗方法, 得到足够多的组态, 然后用特定的算符来抽取能谱的信号。这种非微扰的办法是从量子色动力学第一性原理出发, 自然得到的结果也令人信服。格点计算预言胶球最轻的三个态分别是标量 ( $0^{++}$ , 质量约在 1.5~1.7 GeV, 第一激发态在 2.1 GeV 附近)、张量 ( $2^{++}$ , 2.3~2.4 GeV) 和赝标量 ( $0^{+-}$ , 2.3~2.6 GeV) 态。这就为实验寻找这些胶球提供了非常好的指导。这些胶球和由夸克组成的常规介子具有相同量子数, 实验观测到介子谱可能是胶球与普通介子发生混合的结果。因此胶球的寻找和甄别非常困难, 至今仍是强子物理的国际前沿课题。

为了确定胶球实验上需要进行系统的精确研究,一方面找出超出夸克模型预期的额外共振态;另一方面要测量各个共振态的自旋宇称、质量、宽度、衰变率等性质,发现难以用简单夸克模型解释的反常性质。长期以来国际上有大量的实验研究:利用 $e^+e^-$ 湮灭产生夸克偶素,在其辐射衰变中进行研究的有美国的 Mark III 实验、CLEO 实验,中国的北京谱仪实验;利用正反质子湮灭过程的有欧洲的 Crystal Barrel、OBELIX 等实验;利用中心产生过程的有欧洲的 WA102、GAMS 等实验;利用 $e^+e^-$ 对撞机的双光子过程的有欧洲的 L3、ALEPH 等实验。

胶球的寻找需要系统地研究介子谱。在产生方面,根据 $J/\psi$ 辐射衰变的费曼图(图2),胶球产生的几率比普通介子要高。从第一性原理出发的格点 QCD 理论计算也证明胶球在 $J/\psi$ 辐射衰变的产生几率很大。这是甄别胶球的重要判据之一。在衰变方面,胶子是“味盲”的,胶子与不同味道的夸克的耦合强度一样,换言之,胶球的衰变末态可以是任何强子,也就是不存在所谓的“黄金”衰变道。如此一来,胶球的探测和以往寻找新粒子完全不同,胶球不可能如 $J/\psi$ 粒子那样直接呈现在人们面前。我们需要研究多种末态才可能确定胶球候选者的性质。

这些系统的研究需要非常大量的数据和非常

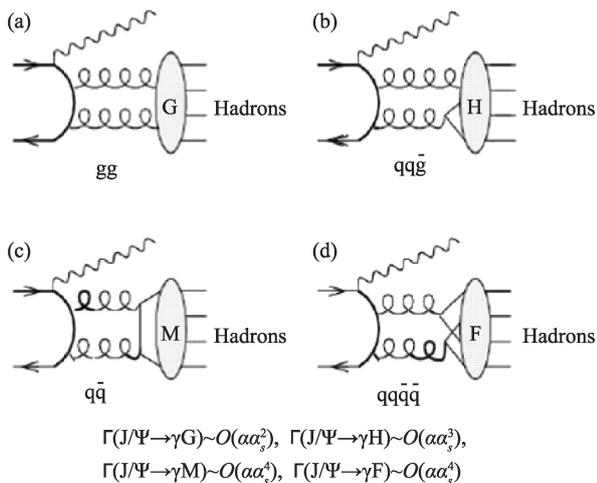


图2  $J/\psi$ 辐射衰变产生不同的强子态。其中g代表胶子,q代表夸克,G代表胶球,H代表夸克胶子混杂态,M代表普通介子,F代表四夸克态

复杂的分析。寻找胶球首先需要全面地找出并确认夸克模型预期的介子谱,从而找到无法归类于夸克模型介子谱的共振态。然后需要系统地研究多种反应过程确定胶球候选者的产生和衰变性质。综合所有这些信息才能回答诸如如下问题:纯的胶球是否存在;以胶球为主的强子态是否存在;如果存在,胶球的衰变模式如何等。因此,寻找和研究胶球需要非常高的统计量和完整的反应模式,而至今人们尚未寻找到明确的胶球信号。BESIII 利用高统计量 $J/\psi$ 数据开展了一系列研究工作。

在赝标量胶球方面, $\eta(1405/1475)$ 是强子谱学长期以来著名的疑难问题。夸克模型预期在 1.4 GeV 附近只有一个赝标量介子,但是实验上不同反应过程分别发现了两个位于不同质量的共振结构 $\eta(1405)$ 和 $\eta(1475)$ 。通常认为 $\eta(1475)$ 是普通介子,而额外的 $\eta(1405)$ 无法归类于夸克模型的赝标量介子谱。有许多理论把 $\eta(1405)$ 当作一个赝标量胶球候选者,引发多家实验在 1.4 GeV 附近开展了胶球的寻找和研究。然而格点 QCD 理论计算预期赝标量胶球在 2 GeV 以上,远高于 1.4 GeV。如何理解这种巨大的差别,如何理解 $\eta(1405)$ 的性质成为一个重要疑难。

BESIII 首次发现同位旋破坏过程 $\eta(1405) \rightarrow f_0(980)\pi^0$ 。(同位旋是一种对称性,在强相互作用中通常是守恒的,在电磁相互作用中可以破坏。)实验结果表明 $\eta(1405) \rightarrow f_0(980)\pi^0$ 的同位旋破坏程度比电磁过程导致的同位旋破坏高了一个数量级,反常的实验结果意味着存在新的物理机制。此外实验观测到的 $f_0(980)$ 谱形的宽度显著低于其本征宽度。

理论家根据 BESIII 的实验发现提出了一种特殊的反应机制。 $\eta(1405)$ 和 $\eta(1475)$ 可能是同一个共振态由于这种特殊机制在不同反应过程中产生了质量偏移。这意味着 1.4 GeV 附近只有一个赝标量共振态,不需要额外的粒子, $\eta(1405) \rightarrow f_0(980)\pi^0$ 的发现为解决 $\eta(1405/1475)$ 疑难提供了重要信息。BE-SII 和 BESIII 测量了 $\eta(1405) \rightarrow \gamma\rho$ 和 $\eta(1405) \rightarrow \gamma\phi$ 的分支比,这些测量对了解 $\eta(1405)$ 的内部结构非常重

要,从衰变性质的角度表明 $\eta(1405)$ 更接近普通介子。BES的系列研究基本排除了 $\eta(1405)$ 作为胶球候选者的可能,重新为寻找赝标量胶球指明了方向。BESIII下一步将重点在2 GeV以上能区寻找赝标量胶球。

关于标量介子谱,Crystal Barrel实验以来已经有大量精确的实验结果。人们在1~2 GeV区间已经发现了许多标量介子,数目众多以至于无法归类于夸克模型。这种现象很可能是由于这个能区的标量胶球与附近的普通介子发生混合产生了额外的粒子。1.5 GeV附近的 $f_0(1370)$ , $f_0(1500)$ 和 $f_0(1710)$ 就是典型的代表,夸克模型中这个质量区间只有两个标量介子。 $f_0(1500)$ 和 $f_0(1710)$ 都被当作是标量胶球的重要候选者,究竟哪个粒子中有较高的胶子成分存在很多争议。 $J/\psi$ 辐射衰变中胶子丰富产生,理论预期胶球的产额会高于普通介子。BESIII在 $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\eta$ 过程中,观测到 $f_0(1710)$ 和 $f_0(2100)$ 有较大产额,比 $f_0(1500)$ 高一个数量级, $f_0(1710)$ 和 $f_0(2100)$ 的质量和产生性质与格点QCD预言的标量胶球的基态和第一激发态相符,而 $f_0(1500)$ 的产生性质更接近普通介子。BESIII在 $J/\psi \rightarrow \gamma K_s K_s$ 和 $\gamma\pi^0\pi^0$ 过程中也观测到了类似现象。虽然胶球没有主要衰变模式,但是综合BESIII从多种衰变模式的测量结果, $f_0(1710)$ 在 $J/\psi$ 辐射衰变中的产额已经接近格点QCD对标量胶球的预期。BESIII的一系列研究有力地澄清了关于 $f_0(1500)$ 和 $f_0(1710)$ 胶子成分长期以来的争议。

张量介子谱以往的实验结果仍存在较大的误差,亟需进一步精确的实验研究。BESIII利用高统计量数据,在 $J/\psi \rightarrow \gamma\eta\eta$ 、 $\gamma K_s K_s$ 、 $\gamma\pi^0\pi^0$ 、 $\gamma\phi\phi$ 的分析中观测到 $f_2(2340)$ 大量产生, $f_2(2340)$ 可能含有较高的胶子成分,对格点QCD预言的张量胶球提供了重要的支持。

BESIII新获取的100亿 $J/\psi$ 事例,前所未有的高精度数据带来了胶球研究的重要机遇。BESIII将开展更多的研究,为胶球的存在性提供结论性的实验依据。

#### 四、质子-反质子阈增长结构和X(1835)

胶球是体现胶子间相互作用的奇特强子态,多夸克态是另一类奇特强子态,体现了夸克间的相互作用,寻找和研究多夸克态不仅是检验和发展夸克模型及粒子物理强相互作用理论量子色动力学的迫切需要,也有助于更深刻了解自然界物质结构。长期以来,有许多关于重子偶素、多夸克态等新粒子的理论预言,许多高能物理实验也一直在开展这方面的工作,但至今为止未获证实。此前,在分析北京谱仪于20世纪90年代初获取的800万 $J/\psi$ 事例时曾开展相关研究工作,但是由于事例数太少,无法得到明确的结论。1999年初,北京谱仪升级为北京谱仪II,升级后综合性能大幅提高。并在此后两年间,获取了5800万高质量的 $J/\psi$ 事例,这是当时世界上最大的数据样本,比其他实验组高一个数量级,为北京谱仪II实验进行新粒子的寻找和研究创造了有利条件。

2003年北京谱仪II实验在 $J/\psi \rightarrow \gamma p\bar{p}$ 过程中,发现在质子-反质子的质量阈附近有反常增强。对于这个衰变过程,研究中发现主要本底来源于 $J/\psi$ 衰变到一个中性 $\pi$ 介子和正反质子的过程。为了确认所观测到反常增强结构不是来自于本底,对 $J/\psi$ 衰变到一个中性 $\pi$ 介子和正反质子也作了详细分析,但没有在正反质子的阈附近观测到反常增强现象,从而排除了此结构来自于本底的可能性。测量得到该结构的质量为1860 MeV(约为 $3.32 \times 10^{-27}$ 千克),在90%的置信度下宽度小于30 MeV(也就是说寿命在90%的置信度下小于 $2.19 \times 10^{-23}$ 秒),是一个质量略低于正反质子阈的短寿命粒子。这种短寿命的粒子通常被称为共振态。对辐射光子在 $J/\psi$ 质心系中的角分布的研究结果显示该共振态倾向于是一个赝标量或标量粒子。因为该共振态不能用已知的粒子来解释,所以暂时按其质量命名为X(1860)(X表示其基本结构仍未确定)。

国际著名物理学家李政道先生获悉北京谱仪II

发现 X(1860) 新粒子后, 特意致信高能物理所表示祝贺, 信中评价说: “这是一个十分重要的成果, 也是物理学上很有意义的工作。” 研究成果发表之后, 引发了很多对此共振态的理论解释, 认为它有可能是质子反质子束缚态, 也就是说, 该粒子有可能是实验上长期寻找的六夸克态。当然, 也有理论物理学家认为可能来自于质子反质子末态相互作用。为此, 除了已经分析过的  $J/\psi \rightarrow \pi^0 p\bar{p}$ , BESII 还分析了  $J/\psi \rightarrow \omega p\bar{p}$  等衰变过程, 但在质子-反质子质量阈附近没有看到类似的共振态, 所以排除了这个共振态来自于纯末态相互作用效应的可能性。

发现 X(1860) 新共振结构后, 为了寻找其新衰变模式, 与理论物理学家进行了深入探讨。如果 X(1860) 为质子-反质子束缚态, 则  $\pi^+\pi^-\eta'$  是它可能的一个新的衰变模式。2005 年, 北京谱仪 II 实验详细研究了辐射衰变  $J/\psi \rightarrow \gamma\pi^+\pi^-\eta'$ , 并在  $\pi^+\pi^-\eta'$  不变质量谱(图 3) 上发现了一个清楚的共振峰结构。

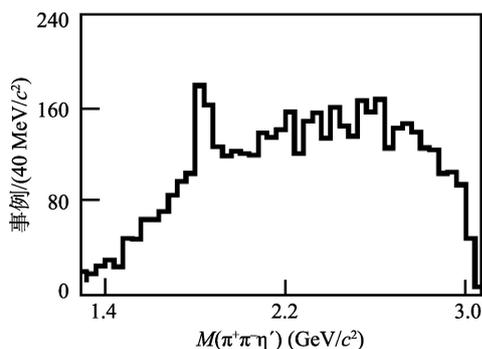


图3 BESII 观测到的  $\pi^+\pi^-\eta'$  不变质量谱  
图中明显的共振结构即为 X(1835)

BESIII 测量得到该共振态的质量为 1835 MeV, 按其质量命名为 X(1835)。该粒子的质量与 X(1860) 只差 25 MeV, 为了检查它们是否为同一粒子, 进一步分析了确定了在考虑末态相互作用之后  $p\bar{p}$  近阈反常增长结构的质量为 1833 MeV, 与 X(1835) 在实验误差范围内一致, 所以 X(1835) 的发现支持了 X(1860) 是质子-反质子束缚态存在的理论解释。该结果发表之后, 引发许多物理学家的浓厚兴趣和广泛讨论, 对它的基本结构进行了各种理论解释。有些人认为 X(1835) 可能与 X(1860) 是同一个粒子, 因

而可能是质子-反质子束缚态, 还有一些粒子物理学家则认为它可能是胶子球、多夸克态或常规介子等。

北京谱仪 II 实验在强子谱研究中发现了质子-反质子质量阈值增长结构 X(1860) 和 X(1835) 等新粒子。在国际上引起了强烈反响, 国际权威《粒子数据手册》收录了 X(1835) 等新粒子。为此 X(1835) 新粒子的发现入选 2006 年度“中国基础研究十大新闻”, 并获得 2013 年度“国家自然科学基金”二等奖。这些新粒子可能来自于超出夸克模型的多夸克态等奇特强子态, 对它们的深入研究无疑将加深人们对自然界基本规律的认识。这是北京谱仪 II 实验在奇特强子态寻找的国际前沿热点研究领域做出的重要贡献, 因为实验数据还不足以对这些理论和猜测作出明确判断, 也促使北京谱仪 II 实验进行升级改造及其他高能物理实验开展进一步深入研究。

2010 年, 美国的 CLEO 实验也在质子反质子质量阈附近观测到了 X(1860), 验证了北京谱仪 II 实验的测量结果。随后, 升级改造完成之后的北京谱仪 III 实验进一步证实 X(1860) 和 X(1835), 并测量了它们自旋宇称, 确定它们都是赝标量粒子, 但是发现 X(1835) 的宽度远大于 X(1860) 的宽度, 引发两者是否为同一粒子的讨论。为此, 基于所采集的 13 亿  $J/\psi$  事例, 近期北京谱仪 III 实验进一步分析了  $J/\psi \rightarrow \gamma\pi^+\pi^-\eta'$ , 发现在  $\pi^+\pi^-\eta'$  质量谱上质子-反质子质量阈附近有明显的反常(图 5), 分析结果表明该反

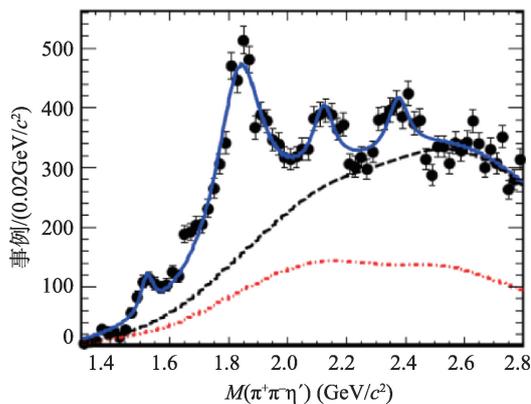


图4 BESIII 基于 2.2 亿  $J/\psi$  事例所观测到的  $\pi^+\pi^-\eta'$  不变质量谱。图中 1.6 GeV 以上三个明显的共振结构分别对应 X(1835), X(2120) 和 X(2370)

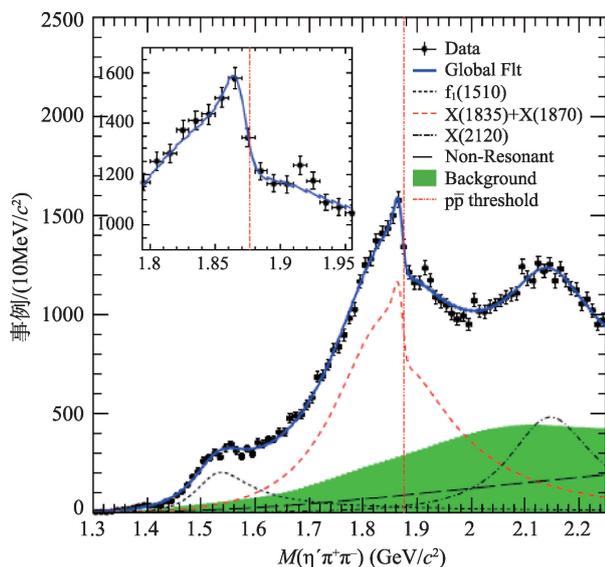


图5 BESIII基于13亿 $J/\psi$ 事例所观测到的 $\pi^+\pi^-\eta'$ 不变质量谱。

图中竖直虚线为质子反质子质量阈值

常是由于X(1835)与质子-反质子有强烈耦合或X(1835)与一个窄共振态干涉导致,两者都支持质子-反质子束缚态或分子态的存在。

特别值得指出的是,利用13亿 $J/\psi$ 事例分析 $J/\psi \rightarrow \gamma \pi^+ \pi^- \eta'$ 过程中,BESIII实验还在 $\pi^+ \pi^- \eta'$ 质量谱上

发现了X(2120)和X(2370)两个新的共振结构(图4)。因为它们的质量与格点QCD预言的胶球质量相近,理论物理学家认为它们是胶球候选者。另外,近年来BESIII实验还在1.84 GeV发现了其他共振结构,如X(1810)、X(1840)等。这些新共振结构的发现是近些年北京谱仪实验的重要进展,引起了粒子物理学家的关注,为丰富和完善强子谱及检验和发展基本粒子物理理论提供了大量实验证据。但是对于它们的性质,特别是它们的内部结构,它们是多夸克态、胶球,或者是正反夸克组成的普通介子,还有待于深入研究。特别是对于这些共振结构的性质以及它们与质子-反质子阈增长结构和X(1835)的内在联系等也需要进一步深入研究。

长期以来,北京谱仪实验(BES, BESII, BESIII)在轻强子谱物理这一国际前沿热点研究领域取得了一系列重要成果。为了继续深入研究强子的微观结构和相互作用,北京谱仪III实验已经采集了100亿 $J/\psi$ 事例和4.5亿 $\psi(2S)$ 事例,高精度前沿的轻奇特强子态的研究将开启新的篇章。

## 封底说明

### 人类首张黑洞照片

这段时间一张照片引起了人们高度的关注,被世界各国媒体争相报道,这便是黑洞的照片。多年以来,人们只知道宇宙间有黑洞,却不知黑洞长什么样?没有影像资料,过去人们对黑洞的认识也只能靠科学家大概的描述。但是北京时间2019年4月10日21时,由多个国家科研人员组成的“事件视界望远镜”(EHT)项目团队公布了人类首张黑洞照片,至此人们得见黑洞的面容。这项成果使得爱因斯坦的广义相对论得到了首次试验验证,同时也为科学家研究宇宙中最极端天体提供了新的方法。这张黑洞图像揭示了室女座星系团中超大质量星系Messier 87中心的黑洞,该黑洞距离我们地球有5500万光年,质量是太阳

的65亿倍,要给它“拍照”可不是件容易的事。黑洞是种被极度压缩的宇宙天体,质量巨大连光都无法逃逸出来,也无法采用电磁波来拍摄。黑洞在宇宙间以极端的方式影响着周围的环境,使时空弯曲,物质围绕在它周围形成吸积盘,在吸积过程中物质高速旋转化成热能并发出强烈的辐射,而这辐射光便会被我们捕捉到。所以确切的说这次拍摄的其实并不是黑洞本身,而是辐射映衬下黑洞的轮廓。拍摄黑洞是个大工程,是由多个国家的多个望远镜观测站共同完成的,我国的国家天文台、紫金山天文台和上海天文台也在其列,有来自全世界二百多位科学家参与了这个项目。