

专题导读

在粒子物理学的发展历史中， J/ψ 粒子的发现是一个具有深远影响的里程碑事件。1974年11月，丁肇中教授率领团队在美国东海岸的布鲁克海文国家实验室发现了这一粒子，而远在西海岸的斯坦福直线加速器中心的伯顿·里克特教授率领团队几乎同时也发现了这个粒子。 J/ψ 粒子是由一对正反粲夸克组成的，丁肇中与伯顿·里克特的发现不仅证实了粲夸克的存在，也为粒子物理学的标准模型提供了有力的支持。这一实验发现被粒子物理学家称为“十一月革命”，极大地推动了对基本粒子及其相互作用的研究。它不仅巩固了夸克模型，还激发了对量子色动力学(QCD)的深入研究，为理解强相互作用的本质提供了新的视角，同时，也开启了对粲强子的实验研究。

在这一背景下，中国于1984年开始建设运行于陶轻子和粲强子能区的北京正负电子对撞机(BEPC)，并于1988年建成BEPC及其核心探测装置北京谱仪(BES)。BEPC/BES是我国第一台高能物理实验装置，也是我国第一个大科学设施。北京谱仪实验的科学目标是：(1)理解强相互作用的基本性质；(2)精确检验标准模型以及新物理的寻找。自1989年9月运行以来已经获取了大量重要的物理成果，其中早期最具代表性的成果包括：陶轻子质量的精确测量，解决了当时三代轻子普适性破坏的“危机”，是标准模型精确检验中的核心测量之一，被国际粒子数据组选为50年来最有价值的测量之一。1999年经过升级改造后的第二代北京谱仪(BESⅡ)实验，成功完成了2—5 GeV能量区间R值的精确测量，这一测量对缪轻子反常磁矩的物理预言有重要科学意义，对当时未发现的Higgs粒子质量给出了强有力的约束。同时BESⅡ实验第一次发现正反重子构成的强子结构，成为当时国际上的热点发现。

2004年开始了BEPCⅡ/BESⅢ全新的升级改造，BEPCⅡ亮度升级到原来的100倍，为我国和世界高能物理领域提供了新的机遇和挑战。自2009年运行以来，BESⅢ实验在轻强子谱、粲偶素物理、粲强子物理、QCD、陶轻子物理等领域取得了系列重要成果，这其中包括四夸克态粒子 $Z_c(3900)$ 和 $Z_c(4020)$ 等奇特强子态粒子的发现、奇特量子态 $\eta_c(1855)$ 和胶球候选者 $X(2370)$ 粒子的发现等。截至目前，在BESⅢ实验上已发现30个新强子，BESⅢ实验的系列发现催生了新的强子物质谱学，是理解强相互作用的里程碑。同时，BESⅢ实验在粲强子和重子物质的产生和衰变性质的研究领域发表了系列重大成果，引起国际关注，在标准模型精确检验方面发挥了不可替代的重要作用。

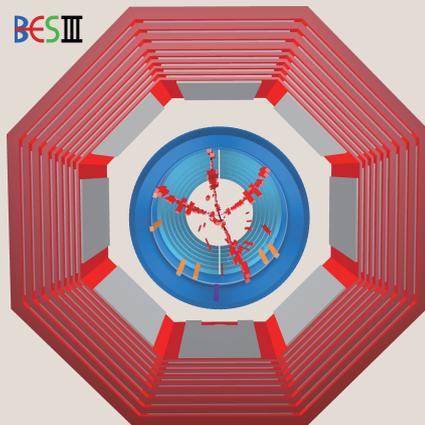
北京谱仪实验不但在陶轻子和粲强子能区的物理研究中发挥了关键作用，它的建设和发展历程也带动了我国高能物理研究的全方位发展。BESⅢ实验为粒子物理研究提供了丰富的数据支持，对海量数据的处理过程也促进了相关数据处理技术的发展。人工智能、大模型技术等均在BESⅢ实验中得到了实践，这些技术的应用和推广，使得当代的物理数据分析过程变得更加“智能”。

在过去的四十年中，北京谱仪实验使我国在国际高能物理研究中占据了一席之地，也让我们认识到，陶轻子和粲强子能区仍有大量亟待研究的课题。2024年，北京正负电子对撞机和北京谱仪实验开始进行另一次重要的升级改造，升级后的对撞机，将覆盖更宽的能量，并达到更高的亮度。同时，一台全新的CGEM探测器被安装进北京谱仪中，旨在进一步提高位置分辨能力。这些升级改造不仅是对设备的技术提升，更是对科学研究能力的全面增强。

2024年恰逢 J/ψ 粒子被实验发现50周年，在纪念这一发现50周年的系列活动中， J/ψ 粒子的发现者、诺贝尔奖得主丁肇中，粲夸克理论预言的提出者、诺贝尔奖得主谢尔顿·格拉肖和卢西亚诺·迈亚尼，量子色动力学的奠基人之一、诺贝尔奖得主大卫·格罗斯一起造访了中国科学院高能物理研



BES III探测器照片

在BES III探测器上重建出的一个 J/ψ 粒子衰变过程的示意图

研究所，并分别参观了北京正负电子对撞机和北京谱仪实验。在相关活动的对话中，格罗斯评价北京正负电子对撞机和北京谱仪实验：“这是一个研究量子色动力学的绝佳实验室，有能力探测夸克之间非常复杂和丰富的相互作用，这使我们能够从根本上理解核物质。所以这是一个非常重要的贡献，中国的高能实验取得了很大的成就。”而迈亚尼则比较了他1993年首次造访中国科学院高能物理研究所时的情形与如今的面貌，认为中国的高能物理实验“自1993年以来所取得的进步令人惊讶，在这里进行的实验产出了非常高质量的成果。”这些来自国际同行的评价客观体现了北京正负电子对撞机和北京谱仪实验的先进性。

巧合的是，2024年也是北京正负电子对撞机建成40周年，以及北京正负电子对撞机重大改造工程开工20周年，为纪念这些历史事件并回顾北京谱仪实验的科学成就，我们组织了本专题的编写。本专题汇集了9篇关于 J/ψ 粒子发现的实验和理论文章，以及北京谱仪的科学成果综述论文，旨在为读者提供一个全面而深入的视角，帮助读者了解这一领域的关键进展和未来发展方向。

在回顾 J/ψ 粒子发现的背景和过程中，我们将看到科学家们在面对未知时展现的探索精神和科学严谨性。丁肇中在美国布鲁克海文国家实验室进行的实验，以及伯顿·里克特在斯坦福直线加速器中心的实验，都是科学史上的经典案例。这些研究不仅验证了夸克模型的预言，还为后续的理论发展提供了坚实的基础。在探讨北京正负电子对撞机和北京谱仪的建设和发展历程时，我们看到中国高能物理研究的快速进步和国际影响力的提升。北京正负电子对撞机和北京谱仪实验的建设和升级，不仅推动了国内相关技术的发展，也为全球科学界提供了独特的实验数据和研究成果。最后，我们展望未来陶—粲能区物理研究的发展潜力，探讨相关物理研究在中国的发展方向。随着实验技术的不断进步，这些新设施将继续在国际高能物理研究中发挥重要作用，为探索宇宙的奥秘提供更强大的工具。

本专题不仅是对 J/ψ 粒子发现和粲强子相关物理研究的总结和回顾，更是对未来探索的展望。我们希望这些文章能够激发读者的兴趣，促进国内外的学术交流与合作。希望通过本专题，读者能够更好地了解 J/ψ 粒子及粲强子研究的历史、现状和未来，并从中获得启发，为推动科学的进步贡献力量。北京正负电子对撞机和北京谱仪的卓越成就，不仅是中国高能物理研究的骄傲，也是全球科学界共同努力的结晶。我们期待未来的研究能够继续揭示宇宙的奥秘，在人类文明的发展历程中留下深刻的印记。

(中国科学院高能物理研究所 陈缮真、沈肖雁、李海波 供稿)

DOI: 10.7693/wl20250301

CSTR: 32040.14.wl20250301