

专题导读

浩瀚宇宙中，我们都曾仰望过那片星空，或凝思，或伫立，也许曾经会和王勃一样感慨“天高地迥，觉宇宙之无穷”，也会如苏轼一般吟唱出“寄蜉蝣于天地，渺沧海之一粟”。庄子也曾在浩瀚的星空下苦思冥想“一尺之捶，日取其半，万世不竭”的答案。一边是宇宙的“无穷与极大”，一边是物质无穷无尽分割的“极小”。李政道先生用一首诗形象地描述了二者的关系：

Large things are made of small, and even smaller.

To know the smallest, we need also the largest.

All lie in vacuum, everywhen and everywhere.

How can the micro, be separate from the macro?

Let vacuum be a condensate, violating harmony.

We can then penetrate, through asymmetry into symmetry.

对宇宙万物的好奇心促使人们不停探索，其中，对于物质深层次结构及其相互作用本质的理解是人们在“极小”尺度上的不懈追求。粒子物理与核物理正是在微观领域对此进行深入研究的前沿基础学科。随着科学技术的发展和研究的开展，科学家在微观领域的研究尺度深入到了 10^{-18} m，并且成功地构建了粒子物理学的基本理论——标准模型：费米子包含三代夸克与三代轻子；费米子间的相互作用力(引力除外)由相应玻色子(传播子)来传递，其中带色荷的胶子传递强相互作用力，W/Z玻色子传递弱相互作用力，光子传递电磁力；基本粒子(夸克、轻子与传播子)的质量由Higgs场通过自发破缺机制获得。自建立以来，标准模型经过了几十年的实验检验，被认为是当今描述微观世界最成功的理论模型，特别是2012年欧洲核子中心的大型强子对撞机(LHC)上的ATLAS和CMS实验发现了Higgs粒子，使得标准模型得到了更完美的实验验证，从而揭开了人类对微观物质世界研究的新篇章。

虽然如此，物理学家们普遍认为标准模型不是粒子物理的终极理论，比如，它解释不了暗物质及暗能量、对称性自发破缺的根源，等等。甚至，当我们试图理解宇宙中占比很小的可见物质结构及其性质时，仍有一系列基本问题得不到合理的理论解释，例如：夸克禁闭效应，正—反物质不对称，核子(质子和中子)自旋与质量起源，奇特强子态的性质，等等。这些重大科学前沿问题的回答，需要在新一代高亮度、高精度的装置上进行研究，寻找其答案。

我国第一个高能加速器装置——北京正负电子对撞机(BEPC)的对撞质心能量为2—5 GeV的陶粲能区，是量子色动力学(QCD)微扰与非微扰的过渡能区，物理研究内容独特且丰富。该装置建成以来的30多年里，北京谱仪(BES)由第一代发展到了第三代(BESIII)，产出了丰硕的且备受国际关注的物理成果，在加速器、探测器、先进电子学、大数据以及计算机

和网络领域培养并凝聚了一大批优秀的人才,也为我国其他的高能物理实验,如大亚湾中微子实验等,打下了坚实的基础。截至目前为止,BESIII实验已经运行了12年,由于加速器储存环隧道周长和空间的限制,制约了对撞亮度和能量的进一步升级,相关物理研究受到来自日本 BelleII 和欧洲核子中心 LHCb 实验的强有力挑战。而且陶粲能区的一些重大物理问题仍无法得到解决,如探索宇宙中正反物质的不对称性(CP破缺),深入研究强子内部结构及非微扰强相互作用本质,寻找奇异物质和超越标准模型的新物理现象等,需要更高的对撞亮度和能量。BESIII实验预期将于几年后完成其历史使命,因此提出建造一个对撞亮度比现有的北京正负电子对撞机高两个量级,对撞质心系能量覆盖范围更宽的超级陶粲装置(STCF),将继续保持我国在陶粲能区物理研究领域的领先地位。

正负电子对撞使得人们在强子尺度上能够系统地开展强子谱学研究,如何在更深层次结构上理解强子的特性,以及强子尺度以下的世界是怎样的,一个重要的研究方法是轻子—核子散射,经过近半个世纪的努力,人们对于核子内部结构的研究,如核子自旋及质量的起源,仍然知之甚少。目前普遍认为核子由夸克和胶子组成,且其具有相当复杂的内部动力学结构。如何在夸克、胶子尺度深入理解核子内部结构,全球核物理领域已经达成共识:需要建设新一代双极化的电子—离子对撞机。中国电子—离子对撞机计划(EicC)提出,在已开建的强流重离子加速器装置(HIAF)的基础上,升级质子束流为20 GeV的极化束流,并建造2.8—5 GeV极化电子束流,从而实现质心系能量为15—20 GeV的双极化电子—离子对撞。

EicC和STCF两大未来科学装置都运行在微扰和非微扰QCD的过渡区域,是研究强子内部结构和强相互作用的独特场所。EicC利用电子—离子对撞的“类空散射”着重开展核子内部结构研究,而STCF通过正负电子对撞的“类时散射”侧重于强子谱学、产生和衰变性质的研究。相同的能区,不同的反应机制,在强子物理前沿科学问题的探索中,两大装置将从不同视角、沿着不同分支深入强子物理的研究,具有很强的互补性。同时,两大装置在强子化、碎裂函数等重要课题中互有交叉,使得两大装置又具有很强的关联性。我们期望以正在广东惠州建设的HIAF重大科技基础设施为基础,把EicC和STCF两个装置合并并且进行更优化的设计,建成一个由电子、质子和重离子储存环构成的加速器集群,实现正负电子对撞,电子与离子或质子对撞,电子或离子打靶等核与粒子物理实验,在国际上形成一个独特的全方位的研究强子结构和低能强相互作用本质的一流大科学研究中心。

本专题的三篇文章分别针对北京谱仪实验、超级陶粲装置和中国极化电子—离子对撞机进行介绍。

(中国科学院近代物理研究所 许怒、中国科学技术大学 赵政国 供稿)