

## “大科学装置前沿研究”重点专项

### 2017 年度项目申报指南

大科学装置为探索未知世界、发现自然规律、实现技术变革提供极限研究手段，是科学突破的重要保障。设立“大科学装置前沿研究”重点专项的目的是支持广大科研人员依托大科学装置开展科学前沿研究。为充分发挥我国大科学装置的优势，促进重大成果产出，科技部会同教育部、中国科学院等部门组织专家编制了大科学装置前沿研究重点专项实施方案。

大科学装置前沿研究重点专项主要支持基于我国在物质结构研究领域具有国际竞争力的两类大科学装置的前沿研究，一是粒子物理、核物理、聚变物理和天文学等领域的专用大科学装置，支持开展探索物质世界的结构及其相互作用规律等的重大前沿研究；二是为多学科交叉前沿的物质结构研究提供先进研究手段的平台型装置，如先进光源、先进中子源、强磁场装置、强激光装置、大型风洞等，支持先进实验技术和实验方法的研究和实现，提升其对相关领域前沿研究的支撑能力。

专项实施方案部署 14 个方面的研究任务：1. 强相互作用性质研究及奇异粒子的寻找；2. Higgs 粒子的特性研究和超出标准模型新物理寻找；3. 中微子属性和宇宙线本质的研究；4. 暗物质直接探测；5. 新一代粒子加速器和探测器关

键技术和方法的预先研究；6. 原子核结构和性质以及高电荷态离子非平衡动力学研究；7. 受控磁约束核聚变稳态燃烧；8. 星系组分、结构和物质循环的光学-红外观测研究；9. 脉冲星、中性氢和恒星形成研究；10. 复杂体系的多自由度及多尺度综合研究；11. 高温高压高密度极端物理研究；12. 复杂湍流机理研究；13. 多学科应用平台型装置上先进实验技术和实验方法研究；14. 下一代先进光源核心关键技术预研究。

2016年，大科学装置前沿研究重点专项围绕以上14个方面研究任务，共立项支持了20个研究项目。根据专项实施方案和“十三五”期间有关部署，2017年将围绕粒子物理等领域的专用大科学装置和多学科平台型大科学装置继续部署项目，拟优先支持19个研究方向（每个方向拟支持1-2个项目），国拨总经费4.7亿元。

按照《国务院关于国家重大科研基础设施和大型科研仪器向社会开放的意见》（国发[2014]70号）精神，鼓励高校、科研院所、企业、社会研发组织等社会用户利用开放的大科学装置开展科学研究，要求每个项目的参加人员65%以上是所依托大科学装置管理单位以外的人员。

申报单位根据指南支持方向，面向解决重大科学问题和突破关键技术进行一体化设计。鼓励围绕一个重大科学问题或重要应用目标，从基础研究到应用研究全链条组织项目。鼓励依托国家重点实验室等重要科研基地组织项目。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部考核指标。

项目执行期一般为 5 年。一般项目下设课题数原则上不超过 4 个，每个项目所含单位数控制在 6 个以内。本专项不设青年科学家项目。

## 1. Higgs 粒子的特性研究和超出标准模型新物理寻找

### 1.1 CMS 实验 Run-2 数据的物理研究

研究内容：利用 CMS 实验获取的 Run-2 数据进行物理分析研究，研究希格斯粒子的性质；寻找超越标准模型的新物理现象。

考核指标：测量希格斯粒子的质量，精度比 Run-1 结果提高 20%，测量希格斯到 4 轻子截面的精度提高 1 倍，观测  $ttH$  过程显示度达到 5 倍标准差，检验希格斯与 top 夸克的耦合是否与标准模型相符合。寻找 ZZ 和 WW 新的共振态，如果没有找到新粒子，则新粒子产生截面的上限有显著下降，在 1TeV，窄宽度假设下，新粒子产生截面的上限下降 1 倍。观测标准模型稀有过程电弱规范玻色子加光子加喷注末态的显示度达到 5 倍标准差，检验其产生截面是否与标准模型预言相符合。

### 1.2 Atlas 实验 Run-2 数据物理分析

研究内容：利用 ATLAS 实验获取的 Run-2 数据进行物理分析研究，测量希格斯粒子的性质，寻找超出标准模型的新物理现象。

考核指标：对希格斯粒子性质的测量，统计误差为主的情况下的测量精度比 Run-1 数据提高 2-3 倍，系统误差为主的测量着重研究改进系统误差的方法；首次确定希格斯粒子的费米子衰变模式并测量其耦合性质；首次在 LHC 13TeV 能区对标准模型过程进行精确检验，特别是完成 WW 和 ZZ 散射过程的寻找和测量研究；对 SUSY、 $W'/Z'$  等超出标准模

型新粒子的寻找，实验排除灵敏度比 Run-1 数据显著提高或者观测到这些新粒子的产生迹象。

### 1.3 LHCb 实验数据分析

研究内容：利用 LHCb 的实验数据，寻找和研究重味强子的稀有衰变过程间接寻找超出粒子物理标准模型的新物理。

考核指标：寻找含有双重味夸克重子，大幅度提高实验灵敏度；利用 RUNII 数据研究五夸克态性质，确认其量子数；完成 2 项 B 介子稀有衰变过程寻找，对稀有衰变过程分支比的探测灵敏度好于  $1.0^{-7}$ 。

## 2. 暗物质直接探测

### 2.1 利用高纯锗在低质量区直接探测暗物质

研究内容：依托锦屏地下实验室和 CDEX-10 公斤高纯锗探测器，优化探测器性能，提升探测器灵敏度，在低质量区（小于 10GeV）进行暗物质直接探测，针对百公斤-吨级规模的探测器开展关键技术研究。

考核指标：高纯锗探测器在低质量区（小于 10GeV）暗物质探测灵敏度达到  $10^{-43}\text{cm}^2$  量级的国际前沿水平；掌握实现百公斤-吨级规模高纯锗阵列探测器的关键技术。

## 3. 原子核结构和性质以及高电荷态离子非平衡动力学研究

### 3.1 高电荷态离子非平衡动力学时空演化研究

研究内容：依托兰州重离子加速器装置（HIRFL）研究极端环境下高电荷态离子的高精度谱学、碰撞反应动力学和强耦合等离子体中的非平衡演化过程。

考核指标：完善 HIRFL 高电荷态离子物理实验平台，使离子束能量从 keV 覆盖至 GeV，建立和发展高电荷态离子谱学和动力学实验研究的新方法和新技术，实现双电子共振复合谱精度好于 10 meV、反应谱仪动量分辨好于 0.1 a.u.，高精度测量高电荷态离子的精细谱学，研究高电荷态离子-原子碰撞的电荷转移、碰撞激发和电离等物理机制，理解强库仑场中多体、多中心、多通道的高电荷态离子碰撞动力学，探索强耦合等离子体中高电荷态离子的非平衡演化过程。

### 3.2 离子与原子分子电荷交换过程中的光谱实验和理论研究

研究内容：依托兰州重离子加速器装置（HIRFL）重离子实验平台，针对天文和聚变过程中关键的离子-原子分子电荷交换过程，精密测量碰撞过程中的发射光谱，高精度计算离子的电子结构，为聚变等离子体物理提供实验室参数，探索天体物理中太阳风粒子诱发彗星/行星大气辐射性质。

考核指标：完善 HIRFL 上离子-原子分子碰撞电荷交换光谱实验平台，建立一套实验测量、数据分析和理论计算模拟的标准研究流程，针对天体物理中太阳风问题和聚变等离子体物理研究中关键的离子-原子分子电荷交换过程，精密测量碰撞过程中的发射光谱、反应通道和截面，波段覆盖从可见光到软 X-射线，发展高精密原子结构计算方法，计算电荷交换过程涉及的离子的能级结构和跃迁几率，为聚变等离子体物理研究提供关键的原子分子参数，研究天体物理中太阳风粒子诱发彗星/行星大气辐射性质。

## 4. 受控磁约束核聚变稳态燃烧

### 4.1 长脉冲、高功率运行模式下钨偏滤器基础物理研究

研究内容：未来聚变反应堆稳态运行模式相关高功率钨偏滤器条件下的基础物理问题。

考核指标：明确钨偏滤器条件下基础物理过程及边界磁拓扑结构改变对偏滤器性能的影响；建立与高性能芯部等离子体兼容的先进偏滤器优化机制；在国际上率先实现长脉冲  $10 \text{ MW/m}^2$  高热负荷条件下钨偏滤器热流分布的主动调控。

## 5. 脉冲星、中性氢和恒星形成研究

### 5.1 基于 FAST 的脉冲星和中性氢研究及引力波探测

研究内容：依托大射电望远镜 FAST 的脉冲星搜寻、发现，建设 FAST 计时观测能力以及中性氢观测、分析等关键科学问题研究。

考核指标：建成 FAST 分布式天文数据存储处理系统和开放数据库；实现国内射电望远镜发现脉冲星零的突破，发现、研究对引力波、快速射电暴等前沿、热点研究领域具有重要价值的脉冲星及其他射电源；显著提升现有 HI 星系样本库；发现新羟基超脉泽星系，争取在重要参数（例如红移等）上取得世界领先；开展谱线巡天，获取 FAST 波段频谱覆盖最全，灵敏度最高的，通道数领先的光谱数据，寻找对天体化学和天体生命学有重要意义的谱线。

### 5.2 恒星形成与星际介质研究

研究内容：利用国内外先进亚毫米和红外望远镜观测设备，开展从河内单个恒星到高红移星系各个不同层次上的恒星形成与星际介质研究。

考核指标：获取世界上最大的银河系中性氢和羟基等谱线的类星体前景吸收线样本，为构建星际介质演化模型提供关键测量；发展脉泽三角视差和中性氢窄线自吸收等自主创新的观测技术方法，系统测量恒星形成及星际介质的基本物理参数；获得分子云形成时标、大质量恒星形成区物理化学状态、银河系气体结构、不同星系环境下的恒星形成率以及活动星系核与恒星形成之间的关联等关键信息；建立较完整的宇宙中恒星形成物理图像——即从银河系单个恒星到高红移星系中整体恒星形成规律。

## 6. 复杂体系的多自由度及多尺度综合研究

### 6.1 先进能源材料和器件及化石能源绿色利用的原位研究

研究内容：先进能源材料和化石能源绿色利用研究的实验方法；新型能源材料和器件及核能材料的表界面及其动态行为，效率、损伤等使役行为的构效关系；化石能源能量转化机制。

考核指标：依托先进光源红外光谱技术，建立复杂化学环境条件下表界面构效关系的原位研究平台，探索提高能源材料和电池效力和效率的新机制；集成先进光源质谱联用技术，发展高灵敏度的原位、联用表征新方法，实时探测研究燃烧过程关键中间产物；依托先进光源建立强辐射等环境下核能材料结构和表界面动态观测平台，了解结构、表界面与使役行为的关联和动态理解损伤机制；建立相关的模型及计算方法，深入理解表界面构效关系和能量转化的物理机制，为上述实验研究提供理论指导。



## 6.2 基于大科学装置联通的先进高通量表征技术研究

研究内容：依托同步辐射、强磁场、等离子、中子源等装置的先进高通量结构与物性表征技术及功能材料材料基因组学研究。

考核指标：基于先进光源软 X-射线波段的电子结构探测技术（ARPES）、结合磁场温度场等物理条件，创建具有高通量能力的电子结构表征平台；基于先进光源红外波段的谱学技术，建立多方法联通的功能材料高分辨原位实时高通量表征平台；基于电子迁移与先进光源红外和太赫兹长波波谱的独特物理关系，建立功能材料高通量高分辨物性表征新理论与新方法；以电子结构、电子运动与功能材料物性的关联为基础，发展依托先进光源高分辨率多尺度物性成像的高通量表征技术，丰富功能材料材料基因组学研究。

## 6.3 复杂流体中新型材料的合成反应过程实时跟踪研究

研究内容：复杂流体体系研究的同步辐射原位跟踪技术的研发和实现。

考核指标：实现基于同步辐射光源的复杂流体原位实验表征技术，发展复杂流体体系原位反应过程中原子尺度和纳米尺度等结构信息的原位同步辐射 X 射线吸收、小角 X 射线散射、X 射线衍射等表征方法，为原位跟踪复杂流体体系中的分子聚集行为、聚集体结构变化、以及反应过程提供基于同步辐射光源的研究支撑手段。

## 6.4 复杂流体体系中的分子聚集行为及其功能调控研究

研究内容：复杂流体体系中的分子聚集行为及聚集体结构与功能调控。

考核指标：研究由超临界流体、离子液体等功能流体组成的复杂体系中的分子聚集行为、聚集体结构和性质随不同因素的变化规律和机理，探索聚集体对化学反应和材料合成的调控功能，揭示聚集体结构与性能之间的内在联系，发展利用复杂功能流体中分子聚集行为调控化学反应性质、可控合成功能材料的新方法和新途径。

## 7. 高温高压高密度极端物理研究

### 7.1 高温高压高密度物质的压缩性质、不透明度和输运系数研究

研究内容：高温高压高密度物质的状态方程、不透明度和输运系数。

考核指标：依托神光系列装置，建立实验方法和技术，获得温稠密物质的电导、热导及带电粒子在温稠密物质中能量损失的实验与理论结果，获得温稠密物质 X 光辐射吸收与发射光谱特性；提出静-动加载相结合的材料性质研究方法和技术，建立激光驱动物质压缩性质绝对测量方法和技术。

### 7.2 高精度时间、空间和能谱分辨的等离子体诊断技术研究

研究内容：高精度时间、空间和能谱分辨的等离子体动态诊断技术。

考核指标：建立超高分辨等离子体 X 射线光谱测量系统；给出高时空分辨的软 X 光谱定量诊断谱仪设计方案，完成关键单元技术演示和验证；初步建立超快动态荧光成像技术；完成五倍频汤姆逊散射新型光学系统的设计和初步应用验证。

## 8. 多学科应用平台型装置上先进实验技术和实验方法研究

### 8.1 X 射线原位实验技术研究和环境建设

研究内容：真实样品环境条件及原位条件下的 X 射线原位实验技术。

考核指标：建立样品环境，提供温度、压力、气氛、拉伸、电场、磁场等多种实验测试条件，适用固态、液态、气态，薄膜或纤维等多种样品形态，满足材料合成、化学反应、外场作用等过程等中动态测试的需求。实现外场条件下的同步辐射 X 射线衍射、散射、吸收等实验技术，满足原子近邻结构、长程有序结构、电子结构、界面与表面、纳米或微米尺度结构等不同尺度结构研究的需求。发展在同步辐射光束线直接和原位研究工程大试样的实验技术和环境。

### 8.2 极端条件下的自旋相关量子物态研究

研究内容：在强磁场和极低温极端条件下产生的自旋相关物质态结构、行为，以及电、热输运及电子能谱。

考核指标：发现在强磁场和极低温下与自旋态构形相关的非常规量子霍尔态；在原子尺度上操控低维量子系统的单自旋量子态，并实现集体自旋激发态探测、揭示量子相位效应在新奇非共线自旋空间结构中的作用机理；揭示强磁场和低温环境下低维量子系统中的电子自旋、声子参与的输运过程。

### 8.3 极端条件下二维量子受限系统及功能器件研究

研究内容：研究强磁场极端条件下新型二维半导体材料的量子输运特性、低维受限量子结构的能带和电学特性，制

备不同二维半导体材料形成的范德华异质结功能器件。

考核指标：实现新型二维半导体材料的载流子浓度的栅压控制，发现其在强磁场下新的量子输运现象并阐释其物理机制；可控制备新型二维半导体材料在尺寸、形状、间距、晶向等变量上的量子受限系统，实现能带调制，揭示强磁场对量子受限系统电学特性的影响；设计出新型二维材料范德华异质结，揭示强磁场下新的量子效应，制备新的原型器件。

#### 8.4 中子散射关键技术及前沿应用研究

研究内容：根据散裂中子源、绵阳研究堆和 CARR 堆中子科学平台建设、能力提升以及前沿研究和应用需要，实现关键技术自主创新，提升关键部件国产化，在前沿科学和重要应用中发挥中子科学平台独特作用。

考核指标：自主研发先进的二维高分辨替代  $^3\text{He}$  的大面积中子探测器及其电子学、准直单色聚焦中子光学器件等中子散射科学平台关键部件；发展先进的自旋回波、能量分辨中子成像、全散射等实验方法和实验技术；根据中子散射自身特点与优势，结合国家相关领域的需求，开展若干前沿领域应用研究。