国家重点研发计划“大科学装置前沿研究”重点专项 2024 年度项目申报指南

(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

为落实“十四五”期间国家科技创新的有关部署，国家重点研发计划启动实施“大科学装置前沿研究”重点专项。根据本重点专项“十四五”实施方案的安排，现发布 2024 年度项目申报指南。

本重点专项的总体目标是：开展专用型大科学装置的科学前沿研究，推动我国粒子物理、核物理、天文学等重要学科的部分研究方向进入世界先进行列；开展平台型大科学装置的先进实验技术和实验方法研究，提升大科学装置支撑科技创新、经济社会发展和国家安全的能力。继续支持我国具有特色和优势的大科学装置开展前沿探索研究，力争在世界上率先实现若干重大前沿与技术的突破。

2024 年度指南围绕粒子物理、核物理、强磁场与综合极端条件、天文学、先进光源与中子源及前沿探索、交叉科学与应用等 6 个方向进行部署，按照基础研究、共性关键技术两个层面，拟发布 34 个指南方向，拟安排国拨经费概算 3.1 亿元。其中，拟支持 14 个青年科学家项目，安排国拨经费概

算 4200 万元，每个 300 万元。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊说明外，同一指南方向下，原则上只支持 1 项，仅在申报项目评审结果相近、技术路线明显不同时，可同时支持 2 项，并建立动态调整机制，根据中期评估结果，再择优继续支持。

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设计。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部研究内容。项目实施周期一般为 5 年。项目下设负责人 1 名，项目下设课题数不超过 4 个，每个课题设 1 名负责人，鼓励青年科学家担任课题负责人。每个项目参与单位总数不超过 6 家。

青年科学家项目支持青年科研人员承担国家科研任务，本指南方向 7 作为青年科学家项目组织申报。青年科学家项目参与单位总数不超过 3 家，不再下设课题。项目设 1 名项目负责人，青年科学家项目负责人应为 1984 年 1 月 1 日以后出生，原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

本专项 2024 年度项目申报具体指南如下。

1. 粒子物理

1.1 奇特强子态的实验研究（基础研究）

研究内容：利用大型强子对撞机和超级底介子工厂采集海量重夸克数据，开展奇特强子态的实验研究。主要包括：

利用底强子衰变过程寻找新奇特强子态或新衰变模式，检验 $P_{cs}(4459)^0$ 等五夸克态候选者存在与否；利用重味强子与其他粒子的关联产生过程精确测量全粲四夸克态 $X(6900)$ ，并探索其他新过程；搜索长寿命的新奇特强子态；利用多种过程研究类粲偶素，并寻找高质量的奇特强子态；利用 Υ 高激发态大数据样本研究底夸克偶素能谱，精确测量已知类底偶素的共振参数，寻找 X_b 等新的类底偶素。

考核指标：在 $\Lambda_b^0 \rightarrow \eta_c p K^-$ 衰变中发现 $P_c(4312)^+$ 或使其贡献上限降低 30%；检验 $X(6900)$ 等全粲四夸克态的存在；精确测量全粲四夸克态产生截面测量，相对不确定度小于 30%；在 10 GeV 附近寻找隐底四夸克态 X_b ，发现 X_b 或给出最严格的产额上限；检验 $X(4350)$ 存在至 4.5 倍标准偏差；将 $X(4160)$ 共振参数的测量精度提高 50% 以上。

关键词：四夸克态，五夸克态，类粲偶素，类底偶素

1.2 高能量粒子加速器相关粒子探测关键技术研发和验证（共性关键技术）

研究内容：针对高能量正负电子对撞机高精度的物理实验需求，深入开展相关物理和关键技术研发和验证。进行高事例率时间投影室、新型漂移室、飞行时间探测器和闪烁体缪子探测器关键技术的研发，实现优秀的粒子鉴别性能、空间和时间分辨率；研发高性能组合型超导多极磁体、高性能超导腔和高效速调管。

考核指标：完成新型探测器物理设计，希格斯玻色子强子末态质量分辨率达到 3%；时间投影室样机的计数率达到 1MHz/mm²，双径迹分辨能力小于 2mm；漂移室样机的原初电离计数分辨率达到 3%（等效 1m 径迹长度）；飞行时间探测器样机的时间分辨率达到 30-40ps；缪子探测器样机的探测效率达到 90%，时间分辨达到 1ns；组合型超导多极磁体的四极磁场梯度不低于 22T/m，高阶磁场与四极磁场比值（ B_n/B_2 ）小于 5×10^{-4} @半径 50mm，螺线管磁体峰值场强不低于 3T；1.3GHz 9-cell 超导腔达到品质因数 1×10^{10} @36MV/m（2K 下），650MHz 1-cell 超导腔达到品质因数 4×10^{10} @32MV/m（2K 下）；高效率速调管输出功率达到 800kW，效率达到 75%。

关键词：气体探测器、半导体探测器、组合型超导多极磁体、超导腔、速调管

2. 核物理

2.1 高重子密度区核物质相结构研究（基础研究）

研究内容：基于国内大科学装置兰州重离子加速器-冷却储存环（HIRFL-CSR），完成低温高密核物质谱仪（CEE）上的实验数据采集、刻度和离线处理。结合 CEE 和国际上 GeV 能区的重离子碰撞实验，测量轻强子与轻核的集体流、产额、产额比；结合实验结果、理论模型、人工智能等手段约束 1-2 倍饱和密度区核物质状态方程参数。测量碰撞系统

中守恒荷的涨落，给出粒子关联函数，提取 GeV 能区可能的相变信号和动力学演化行为。

考核指标：累积不少于 10 亿个重离子碰撞事件并完成数据刻度和离线处理工作。集体流测量误差小于 2%，状态方程参数相对误差好于 25%，达到国际最好水平。完成 GeV 能区质子高阶矩的首次测量和 π 介子关联函数的高精度实验测量。

关键词：QCD 相结构，核物质状态方程，低温高密核物质测量谱仪(CEE)，兰州重离子加速器-冷却储存环(HIRFL-CSR)

2.2 高能前沿夸克-胶子等离子体 (QGP) 物质性质研究 (基础研究)

研究内容：依托 ALICE 和 sPHENIX 实验，开展 QGP 性质研究。测量不同系统各向异性流等关联；研究 QGP 在强磁（涡旋）场下的极化、自旋排列、手征反常等奇特效应；测量喷注中组分粒子的产生和强子-喷注关联；测量低横动量重味强子和夸克偶素的产生、与 QGP 的相互作用及其集体运动；测量粲(底)重子-介子产额比；测量小系统中粒子产生；测量强子相互作用，寻找奇特物质态。

考核指标：各向异性流等关联测量精度提升 2 倍，为 QGP 形成边界提供实验判据。对奇特效应、喷注与强子间关联、喷注组分、重味重子-介子比的测量，将精度均提高 2-3 倍。

重味夸克偶素 Upsilon 质量分辨达到 125 MeV。

关键词：ALICE 国际合作实验， sPHENIX 国际合作实验，相对论重离子碰撞，夸克-胶子等离子体（QGP），实验探针

2.3 基于 X 射线-原子核系统的量子调控研究（基础研究）

研究内容：依托新一代硬 X 射线光源，研制基于共振原子核的 X 射线腔，有效增强 X 射线光子与原子核的相互作用强度，发展原子核共振散射谱学及相关探测技术，有效解决被散射 X 射线相位探测问题。在实验上实现基于上述研制的 X 射线腔，发展量子调控新技术。基于矩阵乘积态发展 X 射线-原子核相互作用理论，研究 X 射线-原子核系统的非线性效应。为研制基于原子核的新型量子设备提供重要的实验和理论基础。

考核指标：研制出基于共振原子核的 X 射线腔，核与腔模相互作用强度应大于腔的衰减率；研制出探测谱仪，时间分辨优于 1ns，实现对 X 射线振幅与相位的双重探测；发展出基于 X 射线腔的 2-3 种量子调控新手段；基于矩阵乘积态建立相关理论模型。

关键词：X 射线-原子核量子调控， X 射线腔，新一代硬 X 射线光源，原子核共振散射谱仪，矩阵乘积态

2.4 基于强流重离子加速器的超核谱仪关键技术研究

（共性关键技术）

研究内容:依托强流重离子加速器装置（HIAF），完成超核谱仪核心探测器设计，开展超核谱仪关键技术研究。重点发展基于单片有源像素传感器（MAPS）的径迹探测器核心技术，研制模块样机，探索多层筒形结构探测器原型机的技术方案。发展具有切伦科夫光和闪烁光双读出的量能器技术，研制双读出型量能器模块样机。

考核指标:完成超核谱仪结构设计和关键超核物理研究。MAPS 像素探测器芯片集成精度优于 5 微米，单层物质质量小于 $0.35\%X_0$ 。双读出型量能器电磁与强子簇射鉴别效率大于 95%，电磁（强子）能量分辨率小于 $5\% (60\%) / \sqrt{E[\text{GeV}]}$ 。

关键词:强流重离子加速器，超核，超子极化，MAPS 像素探测器，电磁量能器

3. 强磁场与综合极端条件

3.1 强磁场下新型低维电子材料的物性与调控研究（基础研究）

研究内容: 依托稳态强磁场装置，发展强磁场下低维薄层材料的调控和测试装置；研究低维结构过渡金属化合物中低维涨落对宏观量子现象的影响，探索量子极限下的新奇物态；研究二维电子材料及其异质结的磁电耦合效应和谷电子学能级效应、赝自旋氧化物薄膜中的界面手性效应和关联效应；构建新型低维电子材料多场调控相图，明确强磁场下的

调控规律。

考核指标：建成强磁场下（0-33T，2-300K）低维薄层材料高压调控（0-10GPa）电输运、应力调控（刚性衬底弯曲形变量 $>0.03\%$ ，柔性衬底弯曲或拉伸形变量 $>4\%$ ）电输运和点接触隧道谱（电压分辨率优于0.1mV）测量装置；发现1种低维结构超导材料、1~2种量子极限下新奇拓扑电子态、2-3种低维电子材料的新奇关联物态；绘制2-3种低维电子材料的强磁场（ $\geq 20\text{T}$ ）下多维电子相图。

关键词：稳态强磁场，低维电子材料，关联电子物态，量子极限，多场调控

3.2 强磁场等极端条件下新型磁性材料研究（基础研究）

研究内容：依托脉冲强磁场装置，开发脉冲强磁场下的力、热等物性测量技术和实验装置，发展新型量子序表征、计算方法；聚焦新型磁性材料中的量子物态和器件应用等基础科学问题，制备新材料，开展综合物性调控和微观机理研究，构建磁性量子物态相图，探索新物态，揭示新规律，阐明磁存储、磁运算、磁传感、磁开关等物理过程的基本原理和操控机理，制备面向应用的感存算原型器件。

考核指标：建成脉冲强磁场三轴应变磁致伸缩（0-50T，2-300K，精度优于 $10^{-7}@1\sqrt{\text{Hz}}$ ）和热导率（2-10K，精度优于 $1\text{W}/(\text{Km})$ ）测量装置；发现2-3种强磁场驱动自旋新物态，实现磁场下电磁交互调控和拓扑磁电开关效应；绘制

至少 1 种量子自旋液体体系的热输运磁温相图 (2-10K)；制备 3 种拓扑磁结构的原型器件 (单元尺寸 $< 1\mu\text{m}$ ，磁场分辨率 $< 0.1\text{nT}@1\text{Hz}$ ，功耗 $< 1\text{mW}$)。

关键词：新型磁性材料、综合物性调控、新型量子序、量子物态相图、感存算原型器件

3.3 综合极端条件下超导和磁性体系中的拓扑新物态与多物理场调控研究 (基础研究)

研究内容：依托综合极端条件实验装置，制备并筛选新型拓扑超导和拓扑磁性材料体系，开发高时空分辨研究新方法，利用电输运、实空间成像、谱学等多种表征技术，研究强磁场、超高压、极低温等极端多物理场对新型拓扑有序态的生成和特性调控，揭示极端多物理场与拓扑态耦合关联的动力学过程、调控规律和物理机制；构建基于拓扑磁结构的功能性原型器件。

考核指标：筛选 3 种本征拓扑超导和拓扑磁结构 ($< 100\text{nm}$) 材料；发现 3 种强磁场 ($> 25\text{T}$)、高静水压 ($\geq 15\text{GPa}$)、极低温 ($< 30\text{mK}$) 等诱导的拓扑新物态、新特性和新机制；构建 1 种速度快 ($< 1\text{ns}$)、抗电磁干扰能力强 (零场稳定) 的原型器件。

关键词：综合极端条件，拓扑磁结构，本征拓扑超导，多物理场调控，原型器件

4. 天文学

4.1 LHAASO 天体辐射与宇宙线成分谱观测研究及新探测技术研究（基础研究）

研究内容：依托高海拔宇宙线观测站（LHAASO）对耀变体等河外天体源的光变和能谱进行精确测量，深入研究其物理机制和演化规律；高精度测量“膝区”宇宙线的质子和铁核能谱，深入研究高能宇宙线的加速机制和传播模型，解决困惑人类六十多年的宇宙线能谱“膝区”结构成因问题；开展面向南天区站点的下一代超高能伽马射线天文新探测技术研究。

考核指标：观测 ≥ 10 个河外天体源的 TeV 伽马射线辐射，研究其时变和爆发新现象；精确测量 0.1–100 PeV 的质子和铁核能谱，能量标定误差 $\leq 10\%$ ，统计误差 $\leq 5\%$ ，纯度 $\geq 90\%$ ；发展超高能伽马射线天文探测新技术，验证规模 $\geq 10000 \text{ m}^2$ 。

关键词：LHAASO，高能伽马射线天文，宇宙线“膝区”物理，超高能伽马射线探测技术

4.2 VLBI 高精度天体测量和关键技术研究（共性关键技术）

研究内容：研发多波束、多频段高精度 VLBI 天体测量观测以及误差校准技术，组建我国甚长基线干涉测量（VLBI）天文观测网 CVN；对银河系内致密天体进行高精度天体测量，提升运动学和动力学天球参考架的连接精度；测量银河系旋臂示踪天体的三维位置和运动，结合其它波段观测数据研究

银河系结构与运动学；对银河系内外连续谱变源进行精准定位，深入理解其辐射机制。

考核指标：实现 CVN 多波束多频段观测纲要编制以及相位误差校准脚本。完成 15 颗左右河内致密天体的视差和自行测量，精度中值分别好于 0.1 mas 与 0.1 mas/yr。获得 5 颗左右连续谱变源的高精度位置，精度中值好于 1 mas。

关键词：甚长基线干涉测量，天体测量，致密天体，视差，银河系结构

4.3 基于梦飞巡天望远镜和高能天文卫星的近邻宇宙与时域天文前沿研究（基础研究）

研究内容：依托多通道测光（梦飞）巡天望远镜以及爱因斯坦探针等高能天文卫星，开展银河系及近邻星系海量恒星高精度测光巡天及各类宇宙变源暂现源的多波段监测和普查，厘清银河系及近邻星系的结构和集成历史，研究各类变源暂现源的统计性质及与宿主星系性质的关联，探索其爆发机制和过程，揭示极端环境下的物理规律，分析哈勃常数危机可能的起因。

考核指标：完成 >5000 平方度银盘、银晕的多历元多波段高精度（优于 1%）测光巡天，测量并发布 >1 亿颗恒星的高精度基本大气参数星表；完成 >10000 个 50Mpc 以内近邻星系的多波段真彩色时域监测，证认一批各类变源暂现源。

关键词：多波段真彩色时域巡天，银河系及近邻星系的

结构和演化，宇宙变源暂现源，极端环境下的物理过程和规律，哈勃常数危机

4.4 基于天地多波段联合观测的伽马暴及相关天文现象研究（基础研究）

研究内容：基于天文卫星和地基望远镜在 γ 射线、X 射线、光学、近红外等多波段国际领先的联合观测能力，研究伽马暴及相关剧烈天文爆发现象。开展卫星载荷的定标、天地联合观测策略、快速实时数据处理技术研究。发现并快速后续观测研究各类伽马暴，包括其分类、前身星、爆发和辐射机制。利用高红移伽马暴，研究第一代恒星的形成和演化。研究双中子星并合的产物千新星的形成和演化规律。

考核指标：探测发现不少于 300 个伽马暴，其中：不少于 15 个伽马暴爆发时的光学瞬时辐射，不少于 6 个红移大于 6 的伽马暴，不少于 5 个千新星。从天基到地基联合观测的时延小于 5 分钟，实时数据处理的时延小于 5 分钟。

关键词：伽马暴，多波段，高红移，第一代恒星，千新星

4.5 系外行星系统的探测与特征刻画研究（基础研究）

研究内容：利用地面大视场望远镜阵开展时域巡天观测，搜寻系外行星系统，探索新的系外行星族群；结合 LAMOST 和其它巡天数据，获取系外行星的物理化学及动力学性质，统计研究不同恒星性质和环境下行星系统的分布规律；结合

新发现开展系外行星形成理论研究；结合 FAST 搜寻近邻系外行星非热辐射、限制磁场强度；充分发挥 FAST 在灵敏度方面的领先优势，在银河系内寻找和分析可能的地外文明射电信号。

考核指标：基于 LAMOST 等巡天数据，获取不少于 2000 颗系外行星宿主恒星的质量、半径、丰度信息的匀质样本；搜寻刻画 >100 颗系外行星；使用 FAST 搜寻距太阳系 50pc 内 >300 个系外行星及银河系内 45 个球状星团上潜在的科技印迹（Technosignature）。

关键词：行星形成演化，时域巡天，宜居带，行星磁场，地外智慧搜寻（SETI）

4.6 依托 LAMOST 银河系研究（基础研究）

研究内容：利用 LAMOST、Gaia、CSST 等数据，构建一个具有完整 6 维位置-运动空间、丰度和年龄等参数的海量恒星大样本；细致描绘银河系结构，对银河系并合历史、不同星族成分等开展研究；从海量数据中发现稀有特殊星，如重元素异常的恒星等，进行高分辨率光谱后随观测，揭示银河系早期演化、重元素起源；通过最古老恒星的丰度模式确定银河系初始质量函数，探究第一代星的性质。

考核指标：建立具有位置、速度和丰度等参数的百万量级恒星大样本；从大样本中发现 2-3 个新的星流，分析 5-10 个子结构的起源；观测确认 10-30 颗稀有特殊星；获得 5-10

颗第一代星候选体的质量。

关键词：特殊星，银河系星流和子结构，重元素起源，银河系初始质量函数

4.7 先进地基太阳望远镜关键技术研究(共性关键技术)

研究内容：面向 8 米口径先进大型地基太阳望远镜研制需求，利用现有太阳高分辨观测平台的观测数据（如 NVST 等）探索确定该望远镜主要观测目标的物理参数及观测方法；开展先进地基太阳望远镜环形拼接口径像质主动保持技术和热控技术研究；完成光学系统偏振中性化设计与偏振信号高精度检出技术研究；开展近红外高精度磁场测量关键技术研究，完成大面阵近红外探测阵列的国产化研制。

考核指标：观测数据 $>1\text{PB}$ ，研究 20 个典型活动事件；完成该望远镜设计方案，像质优于 $0.03''$ ，镜筒和圆顶内部湍流影响分别小于 $0.2''$ 和 $0.3''$ ；偏振测量灵敏度 $>10^{-4}$ ；研制分辨率 $1\text{K}\times 1\text{K}$ ，暗电流 $< 300\text{e}^-/(\text{s}\times\text{pixel})$ 的近红外阵列。

关键词：太阳望远镜，太阳高分辨观测，环形拼接，偏振信号，近红外探测阵列

5. 先进光源、中子源及前沿探索

5.1 强激光驱动极端辐照条件下材料损伤与新物态研究(基础研究)

研究内容：搭建高重频激光驱动 5-15nm 相干光源及其应用的实验平台；开展高功率激光驱动 5-15nm 相干及非相

干光源的产生、束线传输、聚焦等实验及理论研究；开展 5-15nm 极紫外光源辐照材料的泵浦-探测实验研究，开展膜系材料在极端辐照条件下多尺度演化动力学建模和模拟研究，构建其性能退化和失效物理模型。

考核指标：获得亮度大于 10^{10} photons $s^{-1}/3\%BW$ 的 5-15nm 相干光源；实现波长小于 10nm 相干光源的波前单发探测，其数值口径 (NA) 大于 0.33 且精度优于 0.5nm；实现相干辐照强度大于 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$ 下膜系材料的实时反射率测量。

关键词：材料辐照损伤、极紫外光源、极端条件、泵浦-探测、动力学。

5.2 阿秒脉冲电子源产生原理及关键技术研究（共性关键技术）

研究内容：开展基于加速器装置的阿秒脉冲电子源产生原理探索及关键技术研究，为发展紧凑型阿秒脉冲电子显微研究装置提供基础。基于光阴极微波电子枪，探索阿秒电子束脉冲压缩和飞行时间抖动抑制新原理；研制高加速场梯度、高重频、紧凑型光阴极微波电子枪；研制高稳定 X 波段微波功率源系统；发展低电荷量、阿秒脉冲电子束测量技术。

考核指标：仿真得到的电子束脉宽和时间抖动 ≤ 1.0 fs (rms)；电子枪测试：重频 ≥ 400 Hz，峰值梯度 ≥ 200 MV/m，热发射度 ≤ 0.3 mm·mrad@驱动激光 rms 尺寸 1mm；功率源测试：峰值功率抖动 $\pm 0.05\%$ ，相位抖动 $\pm 0.5^\circ$ ；电荷量 ≤ 10.0 fC

时，演示束斑单发成像，探索分辨率优于 1.0 fs 的脉宽测量新原理。

关键词：阿秒脉冲，飞行时间抖动，光阴极微波电子枪，微波功率源，束流测量

6. 交叉科学与应用

6.1 高焓环境参数与热防护材料性能精确测量方法（共性关键技术）

研究内容：依托燃气风洞、电弧风洞或高频感应等离子体风洞、同步辐射光源等大科学装置，研究基于先进光谱技术的高温非平衡流场非接触诊断方法，发展面向热防护材料与高焓流场相互作用机理研究的高焓气动热环境参数测量技术，实现包含流场主要组分以及壁面反应产物在内的多组分同步测量；研究高焓环境下热防护材料烧蚀量快速测量方法、接触式应变和非接触式形变在线联合测量与校准方法，实现热防护材料宏观性能的原位精确测量；发展同步辐射光源原位谱学检测技术，实现对材料热声疲劳裂纹的孕育、萌生、扩展、失稳全过程的高灵敏度检测和表征；开展上述关键技术集成应用与多源异构数据融合分析，深化高焓流场与热防护材料相互作用机理研究。

考核指标：高温流场来流测量光谱宽度不小于 100nm 且时间分辨率优于 0.1ms，驻点区测量局域尺寸 $\leq 1\text{mm}$ ；不低于 8000K 环境下组分浓度和温度参数的测量重复性误差优于

8%；非接触式形变检测分辨力不低于 $30\mu\text{m}$ ；接触式应变检测分辨力不低于 $20\mu\epsilon$ ；来流总焓不小于 20MJ/kg 条件下烧蚀量在线实时反演的时间分辨率优于 0.1s ；材料结构内部裂纹的检测灵敏度达到亚微米级；获取不少于 3 种热防护材料试验验证结果。

关键词：高焓环境，热防护材料，流场表征，原位测量，热声疲劳

6.2 地质屏障中核素迁移超重力实验技术及处置库长期安全评价方法（基础研究）

研究内容：依托超重力离心模拟与实验装置，发展核素在地质屏障中迁移的超重力实验技术，实现核素千年历时迁移过程的实验模拟；构建核素迁移模型，揭示并验证重力场、裂隙和基质特征空间变异性对迁移规律的影响；提出基于机器学习的地质屏障裂隙网络模型构建方法，建立超重力实验与多源数据驱动的处置库长期安全评价方法。

考核指标：超重力实验模拟原型最大埋深 300 米，边界水头控制精度 1mm ，污染物出流浓度监测精度 $0.01\text{e}\cdot\text{mol/l}$ ，单个模型实验对应原型核素迁移历时 ≥ 1000 年；建立常重力和超重力相似关系；安全评价场景 ≥ 100 个，示范性场地不少于 1 个。

关键词：地质屏障，核素，迁移，超重力实验，安全评价

7. 青年科学家项目

7.1 重离子碰撞中物质与反物质原子核的产生机制研究 (基础研究)

研究内容: 针对每核子对质心能量 3-20 GeV 重离子碰撞体系, 发展微观理论模型描述轻核产生及其相关效应。利用 RHIC-STAR 第二期能量扫描实验数据开展 (反) 轻核和超核的定向流及椭圆流测量, 揭示 (反) 轻核和超核的产生机制及强相互作用基本性质。

考核指标: 给出能描述轻核和超核产生及其集体流、介质效应及整体极化效应的理论模型。测量金-金碰撞中 (反) 轻核和超核的定向流和椭圆流, 统计误差减小 30% 以上。

关键词: 重离子碰撞实验, 反物质原子核, 微观理论模型, 介质效应, 整体极化效应

7.2 高能重离子碰撞中原子核结构的实验研究 (基础研究)

研究内容: 利用相对论重离子碰撞实验研究原子核的奇特结构, 开展夸克胶子等离子体的初态几何的研究。主要包括: 定量测量中重核的原子核形变及中子皮; 研究轻原子核的基态构型及核子-核子关联的强相互作用核力。

考核指标: 定量提取铀-238 原子核三轴和多极形变, 锆-96 原子核的八极形变和中子皮; 实验测量氧-16 原子核基态构型及核子-核子关联效应; 定量提取氦-129 原子核四极和三

轴形变。揭示 GeV-TeV 能标下原子核结构特征。

关键词：相对论重离子碰撞实验，初态几何，软探针，原子核结构，核子-核子关联

7.3 超强激光驱动的极端等离子体环境中核反应及调控方法研究（基础研究）

研究内容：依托我国 10PW 和相关超强激光装置，开展等离子体极端环境中级联质子俘获、氘锂等核天体反应实验研究，研究强非线性康普顿散射中非极化电子束产生圆偏振伽玛光、涡旋粒子束与形变核相互作用理论和数值方法。

考核指标：质子峰值强度达到 $10^{28}/\text{cm}^2/\text{s}$ ，测得 2-3 项等离子体中级联质子俘获和氘锂反应数据，伽玛光圆偏度达到 70%。

关键词：10PW 激光实验，极端环境中核反应，超高峰值强度粒子束

7.4 镍基高温合金的增材制造、辐照损伤及其调控研究（基础研究）

研究内容：针对新型先进核能系统构件智能制造的迫切需求，开发核用镍基高温合金增材制造工艺，实现大尺寸和复杂形状堆芯构件的制备。开展中子和大剂量离子辐照考核，通过团簇动力学模拟建立离子和中子辐照的对应关系。探索脉冲电流对辐照损伤的修复效应，原位表征应力和脉冲电流耦合场下辐照缺陷的演化规律。

考核指标: 合金屈服强度 ≥ 650 MPa, 断后延伸率 $\geq 33\%$, 构件幅面 $\geq 350\text{mm} \times 200\text{mm}$, 形成核用镍基合金增材制造的工艺包。最大中子和离子辐照剂量分别不低于 0.1 和 10dpa, 氦泡、位错环空间分布的平均尺寸模拟精度分别好于 80%和 50%, 脉冲电流加载后缺陷尺寸和数密度下降大于 50%。

关键词: 镍基合金增材制造, 辐照损伤, 团簇动力学模拟, 脉冲电流

7.5 开发基于同步辐射的核用碳基材料服役损伤行为研究方法 (共性关键技术)

研究内容: 针对核用碳基材料在反应堆中面临着中子辐照和腐蚀的损伤需求, 研究亟需兼具高分辨率核大视场的显微组织演化表征手段和力学性能变化的定量化多尺度分析方法。利用同步辐射 (如成像、微区谱学等) 分析较大/厚的样品, 获取大样本量并进行统计分析, 并开发相关技术方法对于碳基材料损伤机制研究以及评价和优化。结合力学性能测试评价组织损伤对碳基材料服役性能的影响, 并基于原位力学测试技术 (如原位透射加载、原位扫描加载、原位同步辐射加载等) 揭示碳基材料服役 (辐照、腐蚀、应力等) 损伤失效机制。

考核指标: 基于同步辐射技术或结合其他手段, 开发不少于 2 种结构和性能分析表征技术 (其中, 应包括一种原位加载实验分析技术, 递进加载精度优于 0.1MPa), 空间分辨

率优于 3 微米。利用开发的技术，开展碳基材料的服役损伤行为研究，应包括辐照损伤研究，辐照后获取不少于 2 种力学测试数据，建立微观结构演化和力学性能变化的关联性。并对比研究不少于 3 种的国内外同类材料的服役损伤行为。

关键词：核用碳基材料，同步辐射，辐照，腐蚀

7.6 超强磁场下新型磁性材料中非平庸量子态的多维度构筑与表征（基础研究）

研究内容：依托脉冲强磁场等实验装置，开展具有几何阻挫磁性的新材料研究；研究自旋涨落、系统量子态的拓扑性质以及量子退火等奇异行为；结合多体理论，判定基态和低能激发态的自旋构型，探索其在量子计算模拟中的应用。

考核指标：发现 2~3 种新型几何阻挫量子磁性材料；在磁场 0~50T 或温度 0.05~300K 等条件下，构筑和表征至少 2 种新的非平庸自旋量子态；建立新型量子磁性材料的微观模型，揭示非平庸自旋量子态产生机制。

关键词：自旋阻挫量子材料；非平庸量子态；超强磁场；中子散射；同步辐射 X 光谱学

7.7 综合极端条件下拓扑超导量子器件的多场和宽频调控（基础研究）

研究内容：依托综合极端条件实验装置，研发针对拓扑物态的极低温测量和调控技术，制备基于本征或复合拓扑超导体体系的多功能量子器件；通过多场和宽频调控，探索拓扑

超导态的确凿证据和关键调控参数；研制超导二极管、拓扑量子比特等功能性原型器件。

考核指标：优化强磁场和极低温的综合极端条件($<1\text{mK}$ 及 $>17000\text{T/K}$)下测量噪声至 10nV 量级,电子温度降至 50mK 以下；构筑2类以上拓扑超导量子器件，发现2种以上拓扑超导态的迹象；实现至少1类拓扑超导功能性原型器件。

关键词：极低温强磁场，拓扑超导量子器件，多场和宽频调控，功能性器件

7.8 下一代混合磁体关键技术研究（共性关键技术）

研究内容：针对下一代混合磁体面临的关键技术瓶颈问题，研究切缝效应及邻片摩擦效应下水冷磁体比特片关键临界参数的演变规律；研究强磁场下高温超导缆线失超机理，构建强磁场下高温超导缆线失超模型；针对极端工况下电磁应力过冲问题，研究高温超导线圈与水冷磁体线圈间的解耦策略。

考核指标：建立水冷磁体比特片应力分析模型，研制在 45T 背景场下载流大于 3kA 的小型内插线圈；建立多物理场耦合的高温超导缆线失超模型，提出1种高温超导缆线失超检测判据方法；实现高温超导线圈与水冷磁体线圈的解耦，感应电流降低30%以上。

关键词：混合磁体、高场内插磁体、高温超导、失超保护、线圈解耦

7.9 基于 CSST 对银河系和近邻星系的化学动力学研究 (基础研究)

研究内容: 基于恒星轨道叠加的动力学建模方法, 开展星系的化学动力学研究, 完整刻画银河系、仙女星系和近邻星系的核球、棒等结构的化学动力学特征; 利用多种示踪体可靠测量本星系群暗物质分布; 普查不同星系的结构, 揭示星系乃至本星系群的形成演化历史。

考核指标: 开发一种基于恒星轨道叠加的、可同时适应银河系和河外星系的化学动力学模型, 并应用到银河系、仙女星系等近邻星系; 测量银河系、仙女星系和本星系群的质量精度达到 20%; 给出近邻可分解星系曾经吸积的总恒星质量和主并合(如果有)发生的时间。

关键词: 星系动力学, 星系结构, 暗物质质量, 星系并合历史

7.10 强激光驱动离子束流及应用研究(共性关键技术)

研究内容: 发展强激光驱动离子束流产生、传输和调控的优化方案和实验技术, 开展应用激光驱动的离子束流产生高通量脉冲中子源的物理方案和实验技术研究, 建立激光驱动的高时空分辨三维质子照相技术及自洽反演能力。

考核指标: 实现高品质离子束流输出: 截止能量 $>80\text{MeV}$, 束流总通量 $>10^{12}/\text{sr}$; 获得单发通量超过 $10^{11}/\text{sr}$ 的超快中子束流; 获得空间分辨小于 10mm 的等离子体磁场三维质子照相

数据。

关键词：激光驱动离子束流、激光中子源、质子照相

7.11 面向同步辐射全脑神经联接图谱绘制的 AI for Science 体系研究和应用（基础研究）

研究内容：面向同步辐射灵长类与人全脑神经联接图谱绘制的需求，研究基于人工智能强化迭代算法的在线快速三维重构创新算法与计算平台；研究同步辐射灵长类与人脑成像数据精准分割、神经元长距离追踪和主要神经联接提取等关键人工智能算法与软件。

考核指标：用不多于 10 张断层成像投影图实现三维重构，且速度不低于每分钟处理 6×10^{10} 体素或 1mm^3 体积脑组织；实现厘米级视场神经元长距离追踪与主要神经联接（包括最细分支）完整神经网络三维精准定位。

关键词：全脑神经联接图谱，同步辐射断层成像，AIforScience，数据处理算法与软件，数据库

7.12 多能点高时空分辨 X 射线显微成像技术研究（共性关键技术）

研究内容：发展多能点超高时空分辨 X 射线显微成像技术，研制皮秒级与微米级时空分辨的多能点显微成像系统原理样机；研究数十微米尺度复杂位形等离子体自发辐射空间分布的重构算法，建立聚变热斑温度密度分布超快演化过程的诊断方法；依托强激光装置开展数千万度聚变热斑的诊断

应用。

考核指标: 形成多能点超高时空分辨 X 射线显微成像系统样机 1 套, 成像能点不低于 4 个、空间分辨 $\leq 6\mu\text{m}$ 、时间分辨 $\leq 10\text{ps}$, 基于数值模型的算法重构辐射分布结构相似度 (SSIM) $\geq 80\%$, 获得数千万度聚变热斑状态参数的诊断数据。

关键词: 聚变等离子体超快演化, X 射线时空显微成像, 等离子体温度密度表征

7.13 强激光加载下微纳结构金属泡沫材料的辐射特性研究 (基础研究)

研究内容: 研制耦合微纳结构建模的辐射流体模拟程序; 发展激光等离子体多物理量的高时空分辨联合诊断技术和超低密度金属泡沫制备技术; 理论结合实验, 研究泡沫密度及微纳结构提升 X 射线源转换效率的机制; 实验演示微纳结构泡沫材料提升 X 射线能量转化效率。

考核指标: 实现 2 种以上微纳结构建模, X 射线发射模拟与实验可比; 实现孔隙率高于 90% 的金属泡沫制备; 提升 KeV 能区 ns 脉冲 X 射线能量转化效率 3 倍以上。

关键词: 微纳材料, X 射线, 激光等离子体

7.14 硼中子俘获治疗的肿瘤细胞杀伤的放射生物学机理研究 (基础研究)

研究内容: 基于含硼药物的设计, 针对硼中子俘获治疗

的关键技术和科学问题，研发具有肿瘤靶向蓄积能力的含硼药物，探索含硼药物在组织细胞中的分布，揭示硼中子俘获治疗肿瘤的放射生物学机理，为临床应用奠定基础。

考核指标：研发 2-3 种用于恶性肿瘤硼中子俘获治疗的硼基纳米药物以及诊疗一体含硼携带剂，12 小时内肿瘤 ^{10}B 浓度 $\geq 100 \mu\text{g/g}$ ，肿瘤组织和正常组织 ^{10}B 含量之比 > 7.5 ， ^{10}B 原料转化成硼药效率 $> 90\%$ ；探索含硼携带剂的生物分布、体内靶向蓄积效果及在肿瘤组织中的定量分布；揭示硼中子俘获治疗的放射生物学机理及其相关的抗肿瘤免疫效应；至少一种新型含硼携带剂进入临床试验阶段。

关键词：硼中子俘获治疗，PET/MRI 多模态成像，放射生物学机理