

## 附件 1

# “大科学装置前沿研究”重点专项 2022 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安排，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部署，现发布 2022 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：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 and 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突破。

2022 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，拟支持 28 个项目，拟安排国拨经费概算 5.78 亿元；此外，拟支持不超过 10 个青年科学家项目，每个项目 300 万元，安排国拨经费概算 3000 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（指南方向“6.交叉科学与应用”除外）。项目实施周期一般为 5 年。项目设负责人 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，本指南所有方向均可作为青年科学家项目组织申报，但不受其研究内容和考核指标的限制。青年科学家项目设项目负责人 1 名，不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。青年科学家项目负责人年龄要求，男性应为 1987 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 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 2022 年度项目申报具体指南如下。

## 1. 粒子物理

### 1.1 CKM 矩阵参数与底强子非粲衰变 CP 破坏的精确测量

研究内容：利用海量的底夸克实验数据开展 CP 破坏等重味物理前沿课题研究，主要包括：精确测量 CKM 夸克混合矩阵参数，例如 $\beta$ 和 $\gamma$ 相角等， $\gamma$ 相角精度好于 3.5 度，无圈图污染过程中

$\sin 2\beta$ 精度好于 0.10，且给出世界最精确的  $\cos 2\beta$  测量；精确测量 B 介子衰变的 CP 破坏，包括理解三体衰变复杂的 CP 破坏结构等，在若干衰变过程中完成首次测量或取得世界最好结果；在底重子衰变中寻找 CP 破坏，包括  $\Lambda_b^0$  衰变到三体或四体末态，寻找并理解其中多体末态的 CP 破坏，在若干衰变中取得世界最好结果。

### 1.2 反应堆监测新技术及相关物理研究

研究内容：发展新型中微子探测技术，开展反应堆监测技术和物理研究，主要包括：发展极低阈值、极低本底双相氩时间投影室探测技术，寻找反应截面最大但尚未被探测到的反应堆中微子—原子核相干散射过程，以实现中微子探测器的小型化，用于反应堆监测，同时研究其相关物理；发展基于新型低温液体闪烁体的高能量分辨探测器技术，用于精确测量反应堆中微子能谱及核素谱。

考核指标：双相氩时间投影室的探测阈值达到 1keV 核反冲能。新型低温液体闪烁体探测器的有效质量不低于 1 吨，能量分辨在 3MeV 时优于 1%；测量高精度反应堆中微子能谱，有效谱形误差在 1% 以内。

### 1.3 大型强子对撞机上 CMS 和 ALICE 探测器升级

研究内容：为适应大型强子对撞机（LHC）高能量、高亮度的升级，ALICE 和 CMS 探测器需进行相应的升级，提升物理探测能力。主要任务和目标是参与研发和建造升级探测器及相关系

统的集成、安装、调试和运行维护，完成中国组承担的任务，包括：（1）参与研发和建造 CMS 高颗粒度 5 维量能器硅模块及基于该技术的 HGCal 探测器；大面积、高计数率缪子谱仪 GEM 探测器；RPC 高速触发及后端电子学系统，传输速率好于 16Gb/s；MTD 最小电离粒子时间探测器，时间分辨好于 60ps。（2）参与 ALICE 第三代硅像素探测器（ITS3）晶圆尺寸超薄硅像素芯片的研发，芯片面积达 90mm×140mm，像素大小约 15μm×15μm，功耗低至 20mW/cm<sup>2</sup>；参与研发和建造 ALICE 高粒度前向量能器（FoCal）的硅像素层及其读出电子学系统，双光子位置分辨优于 5mm。

#### 1.4 超高亮度正负电子加速器和相关实验关键技术研究

研究内容：开展新一代 2~7GeV 能区超高亮度（质心能量 4GeV 时设计亮度不低于  $5 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ）正负电子加速器装置以及相关探测谱仪的物理设计和部分关键技术研究。主要是：（1）加速器：开展加速器物理设计（质心能量和亮度指标达到上述需求）；研究正负电子源（光阴极电子枪单脉冲电荷量不低于 5nC，正电子源单脉冲电荷量不低于 1nC，重复频率不低于 50Hz），高精度束流测量系统关键技术和微波高频低电平技术（幅度稳定度 0.1%、相位稳定度 0.1°）。（2）探测器：完成内径迹探测器硅像素芯片原型的设计和流片，功耗低于 100mW/cm<sup>2</sup>，完成硅像素探测器模块的设计，单层物质质量低于 0.3%X<sub>0</sub>；研制基于微结构气体探测器的内径迹探测器原型，位置分辨好于 150μm，单层物质质量低

于  $0.3\%X_0$ ；研制快响应高精度晶体量能器原型，能量分辨率好于  $2.5\%$  ( $1\text{GeV}$ )。

## 2. 核物理

### 2.1 低能区原子核结构与反应及关键天体核过程研究

研究内容：针对 X 射线暴和超新星等爆发性天体环境中的关键核反应过程，依托北京放射性核束装置 BRIF 和相关核天体物理研究装置等，在低能区开展高精度的原子核的基本性质、结构特性与反应机制及关键天体核过程研究，积极发展相关微观模型，在更广泛的同位旋和角动量维度上探索原子核有效相互作用新规律，探索宇宙元素起源和星体能量产生机制。

考核指标：完善 BRIF 高精度核物理实验平台，带电粒子探测器阵列立体角覆盖达  $4\pi$  的  $40\%$ ，能量分辨好于  $50\text{keV}$ ；测量 2~3 项不稳定核体系的反应数据，寻找并证实 2~3 个存在对称性联立破缺的原子核；完善 BRIF 核天体物理实验平台，伽马探测器阵列在  $10\sim 15\text{MeV}$  能量范围内本底降低 10 倍，反符合本底后  $10\text{MeV}$  伽马射线探测效率大于  $3\%$ ；发展天体核反应的高精度实验方法，测量 3~5 项天体演化相关的核反应截面和衰变数据，统计精度达到  $15\%$ ；发展出包含集团结构与连续谱的微观模型。

### 2.2 准单能伽马源的光核反应与关键技术研究

研究内容：基于逆康普顿散射伽马源线站 (SLEGS) 产生的准单能伽马束流，研究若干核结构集体激发模式与核天体关键截面研究；开展光核反应探测技术及相关研究，建造时间投影室探

测器，研究伽马光激发的原子核高激发态与共振态奇特结构；建立伽马源辐照效应与正电子检测平台，并开展测试与应用研究，开展准单能伽马源定标等应用研究；开展激光反馈系统升级与激光谐振腔研究，开展超短超快电子束和激光脉冲的时间-空间同步技术研究等。

考核指标：（1）测量 $N=30\text{Fe-Zn}$ 区域同位素链的光中子截面，3~5个 $p$ 核或核天体物理关键光核反应截面。（2）时间投影室（TPC）探测器对带电粒子位置分辨约4毫米。实验测量和理论分析 $^{12}\text{C}$ 或 $^{16}\text{O}$ 团簇结构核的高激发态与共振态奇特结构。（3）keV~MeV能区准单能伽马辐照效应实验平台；MeV能量可调，流强好于 $10^4/\text{s}$ 的正电子源实验平台，3~20MeV能区准单能伽马源探测器定标测试平台；激光系统的指向稳定性小于 $10\mu\text{rad}$ ，伽马流强提高5~10倍；激光有效功率提升5~10倍。

### 2.3 极端电磁场环境下高电荷态离子结构和动力学

研究内容：依托重离子大科学装置HIRFL创造的高电荷态离子极端电磁场条件，探索原子分子系统在非弹性散射中的非局域实在性等量子力学基本问题；开展高电荷态离子双电子复合精密谱学、电子俘获诱导原子核激发等前沿实验，高精度检验QED效应和相对论效应；探索重离子束驱动温稠密物质的状态方程及离子输运特性；开展电荷交换反应截面、高精度X射线谱和电子离子绝对反应速率等原子数据精确测量，为理解天文观测和离子束驱动的高能量密度物质提供基准实验数据和动力学机制解释。

考核指标: (1) 升级重离子冷却储存环的电子高电荷态离子共振碰撞谱仪, 冷却电子束的横向和纵向温度分别达到 40meV 和 0.1meV, 精密谱精度好于 5meV。(2) 建成 CSRe 反应显微成像谱仪; 超音速冷靶的预冷却温度范围达到 15~300K; 反冲离子纵向动量分辨达到 0.08a.u.; 实现对碰撞产生的能量为 0~50eV 的电子的全空间 ( $4\pi$  立体角) 收集; 电荷交换绝对截面测量的相对误差好于 10%。(3) 开发强流重离子束产生温稠密物质的诊断技术, 空间分辨 50 微米, 时间分辨 100 皮秒, 1~80nm 的 EUV 光谱分辨 0.2nm@20nm, 1~10keV 的软 X 射线能谱的能量分辨 2eV@1.5keV。

### 3. 强磁场与综合极端条件

#### 3.1 新型拓扑和超导材料在强磁场下的量子调控

研究内容: 依托国内稳态和脉冲强磁场大科学装置, 聚焦拓扑与超导交叉前沿领域的重大科学问题, 围绕强磁场综合极端条件下的量子调控这一核心研究内容, 从新材料探索和生长、新奇量子效应等方面开展系统性的研究。在新型拓扑和超导材料体系中 (包括非常规超导、本征拓扑超导、拓扑态与其他对称性破缺共存的材料体系等) 探索新奇量子效应, 利用强磁场综合极端条件对量子物态的调控作用, 综合核磁共振谱、扫描隧道谱、磁转矩等先进表征手段系统研究其形成的物理机制, 构建拓扑、磁性及超导等多体电子态的多场相图。

考核指标: (1) 针对强磁场下的量子调控研究, 探索和发现

具有新奇量子效应以及关联多体电子态的拓扑物态和非常规超导体体系。(2)依托稳态和脉冲强磁场大科学装置,优化强磁场下电、磁、热等物性测量,揭示新型拓扑物态和非常规超导体体系中的新奇量子效应,解释其物理机制。(3)结合强磁场(稳态 35T、脉冲 60T)、超高压(100GPa)、极低温(300mK)等极端物理条件和固态门电压调控技术,构建新型拓扑物态和非常规超导体体系的多场相图,实现对多体电子态的量子调控。

### 3.2 强磁场驱动下微磁畴/微结构的能态及动力学响应表征技术

研究内容:依托脉冲强磁场装置,针对电子器件的微型化、高集成度发展需求,围绕磁、电、光功能材料中微磁畴/微结构的能态及动力学特性,系统发展超强磁场激励下的微磁畴动力学测量、显微光谱测量、超灵敏磁光克尔测量、微型器件光电耦合测量技术,为磁性材料科学、自旋电子学、光电子学等研究提供先进测试平台。

考核指标:实现磁感应强度 $\geq 35\text{T}$ 、磁场变化率 $\geq 1000\text{T/s}$ 条件下的磁畴动力学过程观测,时间分辨率优于 $100\mu\text{s}$ ,温度范围覆盖 $10\sim 300\text{K}$ ;实现磁感应强度 $\geq 50\text{T}$ 条件下的光谱、光电耦合、磁光克尔、磁圆二向色性显微测量,光谱测量空间定位精度优于 $10\mu\text{m}$ ,克尔偏转角测量精度优于 $50\mu\text{Rad}$ ,温度范围覆盖 $10\sim 300\text{K}$ 。

### 3.3 基于全超导磁体的综合极端条件先进实验技术和方法研究

研究内容:依托综合极端条件实验装置,进一步提升综合



极端实验装置性能，发展极高场全超导磁体关键技术；以全超导高场磁体及低温恒温器为平台，在强磁场、极低温和尺寸受限的条件下，发展并验证磁场强度及磁场空间分布的探测方法及设备；发展温度的准确测量、控制方法及设备；发展强磁场下核磁共振测量技术，低温强磁场比热测量技术，磁致伸缩测量技术等；开展低温、强磁场下的非常规超导电性和拓扑材料研究。

考核指标：突破极高磁场超导磁体的设计与制造技术，开发 35T/30mm 全超导磁体；实现强磁场和极低温环境下磁场强度及磁场空间分布的探测，磁感应强度测量分辨率好于  $5 \times 10^{-3}$ ，响应时间  $< 1$  秒；实现强磁场下温度的准确测量，测温区间 20mK~20K，磁场下测温误差  $< 1\%$ ；实现 35T 强磁场条件下样品的核磁共振谱测量；构建 35T 强磁场下的比热测量系统，2K 时达到  $5 \mu\text{J/K}$  的测量分辨率；实现强场下的磁致伸缩测量，2K 时的分辨率好于 0.1nm。

## 4. 天文学

### 4.1 FAST 深度中性氢巡天以及相位阵接收机关键技术研究

研究内容：利用 FAST 对邻近星系（特别是 M31）周边介质星系间介质（IGM），星系周边介质（CGM）进行深度观测；对一个中等大小区域进行深度中性氢巡天观测；对比模拟和观测，深刻理解冷气体在星系形成中的关键作用，以及星系并合过程中的复杂物理过程；对暗物质粒子质量给出新的限制；针对下一代

FAST 巡天，研制宽带常温低噪声相位阵接收机，主要包括：高性能宽带相位阵单元的仿真设计及加工、低噪声放大器研制、宽带相位阵接收机数字后端研制及适用于 FAST 望远镜相位阵的算法研究等。

考核指标：对近百平方度天区进行深度巡天，关键区域柱密度解析达到  $10^{18}\text{cm}^{-2}$ ；对约 50 个展源以及周边介质进行深度观测，理解 CGM 在星系形成中的重要作用，并对其中经历并合的星系对的相互作用历史给出清晰刻画，理解并合对星系形成的作用；相位阵接收机合成波束数目  $\geq 90$  个；常温相位阵接收机噪声温度  $\leq 30\text{K}$ ；相位阵接收机相对带宽 100%（1:3 倍频）；常温低噪声放大器噪声温度  $\leq 10\text{K}$ 。

#### 4.2 大型天文光学红外望远镜前沿技术研究

研究内容：针对下一代大型天文光学红外望远镜关键技术，开展望远镜光学系统优化设计；依托 LAMOST 大科学装置平台或类似拼接镜面装置，开展大视场自适应光学关键技术，大口径拼接望远镜共相关键器件的自主研制及国产化研究；开展大型望远镜主镜系统中批量大口径离轴子镜的预应力加工与检测技术研究；开展基于长基线望远镜干涉阵实现高空间分辨率关键技术研究及成像观测。

考核指标：完成大型光学天文望远镜系统优化及相应大视场自适应光学系统方案，实现镜面拼接共相关键器件的自主研制（行程  $\geq 4.3$  毫米、输出精度为 5 纳米），在大口径拼接望远镜上完成

验证；实现批量离轴非球面子镜（口径不小于 1.5 米、非球面度  $\geq 100\mu\text{m}$ ）快周期（小于 2 个月）、高精度（ $PV \leq 2\mu\text{m}$ ）预应力磨制、建立不同离轴距子镜面形快速检测系统；基于百米级基线长度望远镜光干涉阵，实现毫角秒级高分辨率成像观测。

### 4.3 依托天马等望远镜的恒星形成与致密天体前沿观测研究

研究内容：利用天马望远镜、青海 13.7 米望远镜、VLBI、CSST 等国内外望远镜对恒星形成区进行谱线（如： $\text{NH}_3$ 、 $\text{NH}_2\text{D}$ 、 $\text{RRLs}$ 、 $\text{COMs}$ 、 $\text{CS}$ 、 $\text{SiO}$ 、 $\text{CI}$ ）及脉泽（如 6.7GHz II 型甲醇脉泽，水脉泽）观测、监测。研究星前云核、原恒星云核、分子云团块及纤维状结构的物理化学性质；探究恒星形成机制。利用天马等望远镜的偏振、计时、定位等高精度模式观测研究致密星。探讨脉冲星辐射机制、限制脉冲星物态方程、探究脉冲星内部结构及起源等。

考核指标：完成对一完备的大样本（2000 个以上）星前云核及原恒星云核的系统观测研究，从统计学角度限制云核早期的物理化学演化。完成对 200 余 II 型甲醇脉泽源的长期监测及对特定目标的 VLBI 跟踪观测，研究大质量原恒星吸积机制。对 30 余典型目标源进行高灵敏度（ $\text{rms} < 20\text{mK}$ ）、宽频带分子谱线观测，发现新的有机大分子谱线跃迁。丰富脉冲星多频段观测资料和银心脉冲星样本，实现脉冲星毫角秒量级位置测量，揭示脉冲星辐射机制。获得更精确的脉冲星计时参数（150~200ns），限制中子星结构及相关物理机制。

## 5. 先进光源、中子源及前沿探索

### 5.1 基于大型激光装置的天体现象实验室模拟研究

研究内容：针对天体物理中磁场起源和能量爆发关键科学问题，依托大型激光装置，开展天体磁场产生及演化、湍流形成及能量转化、准直喷流及不稳定性、冲击波及粒子加速过程的实验室模拟研究。发展跨尺度混合流体一粒子模拟方法，研究从微观到宏观和从实验室到天体的相似性标度变换关系；发展实验室不同拓扑结构的强磁场产生技术，研究磁场放大原理；发展激光驱动湍流等离子体实验方法，研究其能量转化和级联机制；通过实验室产生和模拟超声速准直喷流和无碰撞冲击波，利用标度变换规律，研究天体喷流准直和加速的本质、冲击波的形成和高能粒子的加速机制。

考核指标：建立适合天体现象实验室模拟研究的跨尺度、多物理高性能数值模拟能力和精密实验与诊断技术；利用大型激光装置在实验室创造获得类似天体环境的复杂动力学系统，包括：峰值强度 100T，持续时间 10ns 以上的强磁场环境，谱指数达到  $-5/3$  的稳定湍流等离子体，长径比 10 以上的超声速准直喷流，马赫数 10 以上、韦伯不稳定性充分发展的对撞等离子体；通过精密测量，获得这些复杂系统中磁场拓扑结构演变、能量转化和高能粒子能谱的实验数据，并利用标度变化关系，形成与天文观测数据的比较。

### 5.2 激光驱动核物理前沿问题研究

研究内容：依托国内相关激光装置，发展强激光条件下抗电

磁脉冲辐射的核物理新型探测方法和分析技术；利用激光驱动高亮度电子束、离子束、 $\gamma$ 射线等开展核反应研究，实验测量核反应截面和天体核反应 S 因子；利用强激光驱动粒子束和辐射源超短超强的特性开展短寿命同核异能素研究，探索其在核结构及核天体物理等相关领域中的影响。开展强激光核物理相关理论与数值模拟研究。

考核指标：建立针对强激光条件的新型抗电磁脉冲辐射的核探测与核诊断技术；实验测量获得天体条件下相关核反应产额及反应截面等多种信息，结合理论及模拟分析研究其对核天体物理中元素核合成过程的影响；在激光装置上利用激光驱动实现产额高于  $10^6$ /发的原子核同质异能态激发。

### 5.3 超高功率软 X 射线光源新原理及关键技术研究

研究内容：针对能源科学、超导材料科学、超快物理化学和光刻等科学和应用领域对高功率软 X 射线光源的需求，开展超高功率软 X 射线光源的新原理探索研究，发展核心关键技术研究。

考核指标：开展高平均功率和高峰值功率软 X 射线光源的物理机制研究，完成可行方案设计；实验验证高功率软 X 射线产生的新机制，掌握关键技术和实验方法。

### 5.4 先进光源和中子源的核心关键技术研究

研究内容：针对同步辐射光源或先进中子源装置中的束流传输关键元件，发展 X 射线衍射光学元件或中子超镜导管的自主可控的核心关键技术。

考核指标：突破关键核心技术，研发的关键元件性能国际先进，并能在同步辐射光源装置或中子源装置上使用。具体指标为：软 X 射线波带片分辨率达到 10nm，硬 X 射线波带片分辨率达到 20nm 或单元长度  $\geq 2\text{m}$  的中子超镜导管，其  $m$  值  $\geq 3$ 、准直精度小于  $50\mu\text{m}$ 。

## 6. 交叉科学与应用

利用大科学装置平台，聚焦国家重大战略需求和科技前沿中的关键问题，开展交叉创新研究，取得一批标志性成果。

### 6.1 同步辐射光源新实验技术及交叉科学研究

研究内容：依托同步辐射光源或 X 射线自由电子激光装置，针对海洋钛合金涂层组织调制及服役性能、功能薄膜材料原位实时生长机理和结构演变规律、活细胞关键分子与结构多模态成像、克隆猴大脑功能结构及脑神经联接图谱等内容，创新研究方法和技术，发展多技术联用、多维度检测、多尺度表征等手段，解决核心关键问题。

有关说明：本指南方向拟支持不超过 4 个项目。

### 6.2 中子源新实验技术及交叉科学研究

研究内容：依托中子相关装置平台，针对多相催化反应过程构效关系、固体推进剂损伤失效机制、强流丰中子束产生及离子束协同辐照效应问题等，创新研究方法和技术，发展多技术联用、多维度检测、多尺度表征等手段，解决核心关键问题，提升相关装置的实验水平。

有关说明：本指南方向拟支持不超过2个项目。

### **6.3 超快强激光新实验技术及交叉科学研究**

研究内容：依托超快强激光装置，针对新型量子材料、微纳器件、能源器件等超快过程探测，研发新实验技术和方法，为研究材料及能源器件中的光子、电子、声子、激子等相互作用的物理机制等关键问题提供支撑。

有关说明：本指南方向拟支持不超过3个项目。

### **6.4 空间环境地面模拟等大装置实验技术及交叉科学研究**

研究内容：依托空间环境地面模拟等大装置，针对空间磁场探测与地球磁层磁场一等离子体的相互作用、空间周期性变化磁场对关键生物节律变化的影响及其机制等问题，创新磁特性的建模与标定方法，突破高分辨磁场测量/成像与磁干扰补偿技术、生物节律精准电磁调控策略与技术，解决上述核心关键问题。

有关说明：本指南方向拟支持不超过2个项目。