

附件 1

“变革性技术关键科学问题”重点专项 2021 年度定向项目申报指南

变革性技术是指通过科学或技术的创新和突破,对已有传统或主流的技术、工艺流程等进行一种另辟蹊径的革新,并对经济社会发展产生革命性、突变式进步的技术。“变革性技术关键科学问题”重点专项重点支持相关重要科学前沿或我国科学家取得原创突破,应用前景明确,有望产出具有变革性影响技术原型,对经济社会发展产生重大影响的前瞻性、原创性的基础研究和前沿交叉研究。

本专项拟支持 11 个定向委托项目,国拨总经费约 2 亿元。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,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。每个项目下设课题不超过 4 个,参与单位总数不超过 6 家。项目执行期一般为 5 年。立项项目实行“2+3”分段式资助,在项目执行 2 年左右时要对其目标完成情况进行评估,根据评估情况确定项目后续支持方式。

1. 空间超冷原子奇异物理性质研究

研究内容：发展空间微重力条件下制备、测量、精密调控 10~100pK 量级温度超冷原子的新方法和新思路，研究超冷原子气体的奇异物理特性。研究 10~100pK 温度下，光晶格中超冷原子的量子相变，研究这种极端条件下产生的新物态，以及这些物态的新物理性质和动力学过程；研究物质波辐射和相干特性，并对其进行精密探测，探索异核量子少体奇异分子特性；基于空间超冷原子气体，发展探测超出标准模型的新粒子与新相互作用的新思路，研究包括轴子与类轴子粒子在内的暗物质备选粒子的新奇量子态。为空间超冷原子相关科学实验提供科学依据和研究基础。

考核指标：为空间获得和精密测量 10~100pK 量级超冷原子气体，并利用光场、电场和磁场精密调控超冷玻色、费米混合原子气体提出新方法；对空间光晶格中超冷原子由于量子阻挫效应形成的新物态、超冷原子超固态等进行研究；实现物质波辐射及高精密探测的新方法，从而为探索暗物质测量和暗物质粒子新奇量子态提供新途径和新思路。

有关说明：由教育部作为推荐单位组织申报，由北京大学作为项目牵头单位申报。

2. 新型空间高能辐射探测的重要科学问题研究

研究内容：面向新一代更高性能、国际领先的空间暗物质粒子、宇宙线和伽马射线的探测需求，开展关键科学问题研究。研究大接收度、宽能量动态范围条件下，从海量杂乱信息中智能判选有效事例的科学问题和优化方法，充分利用多种探测器的能量、时间和簇射形状等信息，实现多种类粒子的高效准确获取；研究高精度高分辨率的电荷重建测量算法，降低高能宇宙线碎裂效应和簇射反冲效应的影响，发展多变量分析和粒子鉴别算法，提升对电子和光子的测量能力；研究核子、电子特别是伽马光子的高精度能量和方向/径迹重建算法，最大限度地修正簇射反冲效应和不同入射角度的影响；研究利用电离效应、地磁刚度、穿越辐射等多种标定手段相结合的可靠在轨标定方法，确保测量能标的准确性；开展实验进行验证。

考核指标：建立新型空间高能辐射探测实验全局智能判选有效事例优化方案；建立宇宙线电荷重建测量算法、多变量粒子鉴别算法、高精度能量和方向/径迹重建算法、各向同性粒子重建算法和粒子鉴别算法；提出全局触发效率、粒子鉴别能力、能量分辨、标定精度等关键指标的束流实验实施方案，并通过加速器束流的实验验证。

有关说明：由中国科学院作为推荐单位组织申报，由中国科学院高能物理研究所作为项目牵头单位申报。

3. 天体爆发现象的高能辐射研究

研究内容：利用多波段多信使天文观测设备和手段，对双致密星并合引力波电磁对应体、X射线双星、快速射电暴、高能中微子及伽马暴和磁星进行探测研究，研究X射线中子星和黑洞双星、快速射电暴、高能中微子及伽马暴和磁星爆发的产生机制，破解黑洞、中子星和磁星等致密星的形成和演化及双致密星的并合机制，研究强引力场、强磁场、高密度下的物理规律，测量引力波速度和哈勃常数等基础物理参数。

考核指标：发现上千个伽马暴，监测上百例引力波伴随电磁辐射、高能中微子、快速射电暴和甚高能伽马射线暂现源，发现多例X/伽马射线电磁对应体，对多个中子星和黑洞双星发现比以往能量更高的准周期振荡信号，测量多个致密星（中子星或黑洞）的基本参数（质量、磁场、自转）；确定各种类型的引力波、快速射电暴、高能中微子、甚高能伽马射线暂现源的前身星和起源，揭示其的爆发机制，在黑洞、中子星及其并合机制等方面取得一系列原创突破，对中子星和黑洞的基本性质得到更加全面和深入的理解。

有关说明：由中国科学院作为推荐单位组织申报，由中国科学院高能物理研究所作为项目牵头单位申报。

4. 面向宽温域功能器件的连续组分外延薄膜技术与材料

研究内容：以宽温域实用功能器件为牵引目标，发展水平方向化学组分连续变化的外延薄膜生长技术和匹配的水平空间跨尺度表征技术；制备连续组分铁电和热电功能材料单晶薄膜；获得居里温度和热电优值等关键参量随精细组分的定量化规律；研究连续组分外延薄膜宽温域下参量调控机制；研制基于连续组分外延薄膜的宽温域连续响应功能器件。

考核指标：制备出水平方向具有连续化学组分的铁电和热电外延薄膜，单批次组分跨度 $\geq 0.1/\text{cm}$ ，实现厘米至微米量级的结构和物性跨尺度表征；连续组分外延热电薄膜在 250~350K 温域内实现稳定的高热电性能，热电功率因子达到 $50\mu\text{Wcm}^{-1}\text{K}^{-2}$ ，平均 zT 值达到 1.3；连续组分铁电外延薄膜在常温附近 100K 范围内保持介电常数可调率 $\geq 60\%$ ，器件电容可调率 $\geq 50\%$ ， Q 值 ≥ 80 ，响应时间 $\leq 100\mu\text{s}$ ，频率可调率 $\geq 25\%$ 。

有关说明：由中国科学院作为推荐单位组织申报，由中国科学院物理研究所作为项目牵头单位申报。

5. 富氮天然气成藏机制及氮资源分布预测技术

研究内容：研究有效氮源的评价参数及氮气释放机制，揭示控制氮源效率及潜力的关键因素；研究复杂地质介质中氮的运载机制及控制因素，揭示地质条件下温度、压力、介质特征对氮气运移、富集的控制；研究富氮气藏成藏过程及关键控制因素，阐

明古老克拉通地台区富氦气藏、深大断裂/岩浆活动区富氦气藏、非常规天然气（页岩气、煤层气等）富氦气藏的成藏条件、动态富集过程及关键控制因素；建立氦源效率、有效性及潜力评价技术、复杂地质条件氦气运载效能评价技术、富氦气藏成藏条件及富氦天然气有利分布区带及勘探目标预测技术，综合集成构建氦资源评价预测技术。

考核指标：初步建立富氦天然气富集成藏理论；创新性地构建以氦源效率、有效性及潜力评价技术、富氦天然气有利分布区带及勘探目标预测技术为核心的氦资源分布预测技术；提出 3~5 个富氦天然气勘探区带和目标。

有关说明：由教育部作为推荐单位组织申报，由中国石油大学（北京）作为项目牵头单位申报。

6. 空间胚胎发育和生命孕育研究

研究空间微重力对哺乳动物和人类生殖细胞及其支持细胞协同发育的影响，从分子、细胞、组织等多个层面，系统地探究微重力环境对生殖细胞及其支持细胞协同发育的影响；研究空间微重力下体外培养和分化胚胎干细胞为各类功能细胞、组织及器官的特性变化及基本规律；研究空间环境低敏感小鼠品系的筛选和构建，空间小鼠培养关键科学与技术问题。

有关说明：由中国科学院作为推荐单位组织申报，由中国科

学院力学研究所作为项目牵头单位申报。

7. 日-地和日球层边界探测中的重要科学问题

围绕理解日-地多圈层耦合过程和日球层边界的复杂系统开展重要科学问题研究。基于光谱成像观测研究日冕磁场、密度、温度、速度的空间分布及其快速演化；建立太阳风结构的多视角观测的反演方法,研究其在行星际空间中的传播特征和演化规律,研究太阳风与地球磁层相互作用的关键区域（包括磁层顶、极光区和磁尾）的成像特征；建立数据驱动的内/外日球层全链条三维多元太阳风动力学演化模型，模拟背景太阳风环境及太阳风暴大尺度结构的传播与演化；研究太阳风边际结构及动态特性，星际介质对太阳风的侵入作用；研究太阳风超热粒子及异常宇宙线的起源、加速和演化，银河宇宙线在太阳系边际的调制传输机制。

有关说明：由教育部作为推荐单位组织申报，由北京大学作为项目牵头单位申报。

8. 高灵敏高速高温超导单光子探测材料与器件

面向自由空间光通信对轻质小型、高灵敏光子探测器的迫切需求，聚焦星间激光通信等航空航天国家重大战略，开展新型结构高温超导薄膜制备过程与跨尺度物性理论研究和工艺优化设计；揭示基于量子金属态的新型超导量子效应形成机制；建立微结构与库珀对输运特性的构效关系和评价准则；发展基于高温超

导体量子金属态的高灵敏、高速单光子探测原型器件。

有关说明：由四川省科技厅作为推荐单位组织申报，由电子科技大学作为项目牵头单位申报。

9. 稀土基新型电子相变半导体与敏感电阻器件

围绕国家战略，从电子材料角度变革现有突变式敏感电阻元器件技术；发展稀土镍基氧化物等新型电子相变材料的非真空制备技术并结合理论计算优化其制备工艺；发展其金属绝缘体相变温度在宽温区范围的精准设计方法；研究其高压诱导电子相变特性与机理；研究其氢致电子相变特性、机理与潜在器件应用；制作稀土基突变式热敏、压力敏感电阻原型器件。

有关说明：由教育部作为推荐单位组织申报，由北京科技大学作为项目牵头单位申报。

10. 南极冰下复杂地质环境多工艺钻探理论与方法

针对南极复杂冰下地质环境研究需求，变革现有冰层钻进及冰下地质钻探取样技术，探索面向南极恶劣地表环境和暖冰、脆冰与冰岩界面等复杂冰下地质环境的多工艺钻探取样理论与方法，提高复杂冰层钻进速度和增加冰下基岩取心长度。

有关说明：由教育部作为推荐单位组织申报，由中国地质大学（北京）作为项目牵头单位申报。

11. 航空发动机短舱问题的偏微分方程建模与计算

研究内容：通过发展湍流理论建立航空发动机燃烧室两相湍流燃烧新模型及相应模拟算法。通过建立复杂介质中的多尺度模型来研究航空发动机复合材料结构的多尺度损伤行为。通过有界区域偏微分方程建模研究发动机短舱的不同结构对层流、湍流、多相流等的影响，并研究模型中逼近解的稳定性，发展高性能计算方法提高逼近解的精度。发展离散度量空间理论及最优传输理论，提出新的高维数据降维方法。

考核指标：自主开发虚拟计算平台，计算航空发动机燃烧室两相湍流燃烧新模型的数值解，计算速度比国际一流计算平台（如 Fluent）快 1 倍。提高航空发动机复合材料结构中的多尺度模型中多尺度性的定量估计的准确性，数值近似解的逼近精度提高 1 个量级，实验数据误差小于国际一流同类计算机软件（如 Ansys CFX）误差的 50%。发展离散度量空间理论及最优传输理论提出新的高维数据降维方法及算法，比现有降维方法效率提高 1 倍。

有关说明：由北京市科委作为推荐单位组织申报。