

“面向未来通信的数学基础（信息论）”专项项目指南

香农信息论一直是通信技术的基本遵循，它指引了通信技术近几十年的发展进步。但香农信息论是在理想通信环境下所建立的通信信道容量/传输速率界的估计理论，并不适应未来通信的复杂环境和多样化性能目标。而未来通信的信源可以是具有知识结构、有记忆和可学习的；信道与环境具有密集、异构、分布式等复杂网络特征下的多发多收结构；通信的性能追求也不仅仅局限在容量或速率，需要联合兼顾可靠性、时延、吞吐量、能效、算力效率、隐私与安全等因素。因此，未来通信技术（6G）亟需信息论的新突破和新指引。国家自然科学基金委员会数学物理科学部现启动“面向未来通信的数学基础（信息论）”专项项目，将针对未来通信的典型场景、网络结构、性能需求，为未来信息技术开展理论基础研究。

一、科学目标

本专项项目旨在围绕未来通信的典型场景、网络结构、性能需求等共性基本问题，扩展传统信息论单一的信道容量/传输速率性能界到多维性能界，评估影响系统性能的内在因素及其作用规律，并以此驱动各调控要素的创新，为未来通信技术提供坚实的理论依据和技术支撑。

二、拟资助研究方向和研究内容

（一）面向人机物共生与网络化传输的多用户信息论（申请代码1选择A04、A06 下属代码）

针对未来通信网络海量连接、人机物共生（如人、电脑、无人机、传感器、监测器等）的泛在通信模式，运用随机数学、复杂网络、最优化等工具建立刻画大规模网络传输系统内在规律的多用户信息论，为多样性约束下的多址接入、资源分配、信号设计等技术提供基础。主要研究：（1）大规模通信网络的容量界分析。根据新型接入需求，分析大规模网络随机接入的容量界，建立以可达速率、时延、连接强度、用户间干扰、反馈、协作

等多重要素为变量的网络性能评估指标及其性能界，据此分析网络内部调控要素对网络性能的作用规律；（2）面向巨连接场景的新型编码技术。针对海量机器连接场景，研究用户数量巨大、短数据包、免调度传输、以及非独立码本等约束下的信道编码方案；（3）面向超可靠低时延场景的编码与传输联合优化技术。针对工业互联网、车联网、触觉互联网等通信场景，研究超高可靠性、超低时延的短码设计与联合优化方法。

（二）智能反射面辅助的新型无线通信数学理论与数学技术（申请代码 1 选择 A04、A06 下属代码）

针对短距离无线通信节点作用距离有限、小区边缘无线基站干扰用户等问题，利用新兴的智能超表面技术人为改变无线通信信道特性，探索基于智能超表面电磁波数学特性的高效可控信号增强与抵消技术。主要研究：（1）智能超表面辅助的下行多用户通信系统的理论容量界，提出利用智能超表面扩大无线通信覆盖范围的数学方法；（2）研究智能超表面辅助的多小区通信系统的理论容量界，提出利用智能超表面改善小区边缘受干扰用户通信质量的策略与方法；（3）研究以上场景下多智能超表面辅助的无线通信系统的理论容量界，提出智能超表面的优化部署方案；（4）发展多字母概率空间内的泛函表示理论、次可加性等数学工具，建立统一的智能超表面辅助无线通信系统的性能界理论，指导未来无线通信系统的设计与实现。

（三）感知与通信融合条件下的语义信息理论（申请代码 1 选择 A04、A06 下属代码）

针对传统通信网络架构单纯追求数据传输性能，忽略数据中所包含的信息内容和语义，导致用户信息理解效率低及体验差等缺陷，以更具普适性的语义作为性能指标，建立新的通信信息理论，为机-机智联、人-机智联与人-人智联的未来通信提供理论基础。主要研究：（1）语义的数学刻画与表征度量：包括语义符号库与知识库建模、语义符号编解码

方法；（2）语义通信网络模型与知识的共享机制：包括知识库的共享与迁移、语义模型的共享与迁移、多智能体间的语义协同方法；（3）语义的跨域感知与识别：包括多域知识融合的语义感知与识别方法、语义的动态感知与识别、主观因素（如用户情绪、性格、社交关系等）对语义的影响建模与识别方法；（4）语义通信的性能刻画：包括语义通信的信道容量、网络容量、语义失真率、多义性理解偏差度量；（5）语义的交互认知：包括通过交互构建语义知识库的方法、机-机交互、人-机交互和人-机交互对语义感知和识别的影响。

（四）通信计算一体化环境下的信息论（申请代码 1 选择 A04、A06 下属代码）

针对分布式计算与通信一体化场景，推广单一性能目标的香农信息论到包含容错率、速率、时延、学习性能的多性能指标信息论，以此为基础，优化网络编码，提升计算与通信整体性能。主要研究：（1）容错编码与分布式计算理论。利用最大距离可分码（MDS）、概率码、非线性编码等技术削弱不可靠计算的影响，提升网络学习鲁棒性，并建立容错能力与计算性能之间的数学关系；（2）编码-压缩-通信一体化设计方法。引入网络编码、时变量化、用户调度等技术，通过网络通信资源在多个维度上的联合优化，提高传输效率、减少带宽消耗、降低网络时延，并且提供对恶意节点攻击的抵抗能力。（3）安全内生的多层次联邦学习技术。设计基于差分隐私的编码方案，在保证总体函数被可靠学习的前提下，保障用户数据和用户偏好的隐私性，实现计算学习和数据安全的融合。

三、资助计划

本专项项目资助期限为 4 年，项目研究团队须由包含数学、网络通信等不同领域专家组成，采取双负责人制（其中一位负责人应为数学研究人员，排名第一负责人为项目总体负责人）。项目研究期限应填写“2022 年 1 月 1 日-2025 年 12 月 31 日”。计划资助 3-4 项，平均资助强度为 300-400 万元/项，资助经费总强度约为 1200 万元。

四、申请要求及注意事项

（一）申请资格

1. 具有承担基础研究课题的经历；
2. 具有高级专业技术职务（职称）；

在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

（二）限项申请规定

1. 本专项项目申请时计入高级专业技术职务（职称）人员申请和承担总数 2 项的范围。

2. 申请人同年只能申请 1 项专项项目中的研究项目。

3. 应符合《2021 年度国家自然科学基金项目指南》中对申请数量的限制。

（三）申请注意事项

1. 本专项项目申请书采用在线方式撰写。对申请人具体要求如下：

（1）申请人在填报申请书前，应当认真阅读本申请须知、本项目指南和《2021 年度国家自然科学基金项目指南》的相关内容，不符合项目指南和相关要求的申请项目不予受理。

（2）本专项项目旨在紧密围绕“面向未来通信的数学基础（信息论）”，集中国内优势研究团队进行研究，成为一个专项项目群。申请人应根据本专项项目拟解决的具体科学问题和项目指南公布的拟资助研究方向，自行拟定项目名称、科学目标、研究内容、关键科学问题、技术路线和相应的研究经费等。

(3) 申请人登录科学基金网络信息系统 <https://isisn.nsfc.gov.cn/> (没有系统账号的申请人请向依托单位基金管理联系人申请开户), 按照撰写提纲及相关要求撰写申请书。

(4) 申请书中的资助类别选择“专项项目”, 亚类说明选择“研究项目”, 附注说明选择“科学部综合研究项目”, 申请代码1 应当按照拟资助研究方向后标明的代码要求选择数理科学部相应的申请代码。以上选择不准确或未选择的项目申请将不予受理。

(5) 请按照“专项项目-研究项目申请书撰写提纲”撰写申请书时, 请在申请书正文开头注明“面向未来通信的数学基础(信息论)之研究方向: XXX(按照上述4个研究方向之一填写)”。

申请书应突出有限目标和重点突破, 明确对实现本专项项目总体科学目标和解决核心科学问题的贡献。

如果申请人已经承担与本专项项目相关的其他科技计划项目, 应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请项目与其他相关项目的区别与联系。

2. 申请人应当严格按照《国家自然科学基金资助项目资金管理办法》等相关规定和《国家自然科学基金项目资金预算表编制说明》的具体要求, 按照“目标相关性、政策相符性、经济合理性”的基本原则, 认真编制《国家自然科学基金项目预算表》。

3. 本专项项目采用无纸化申请, 申请人完成申请书撰写后, 在线提交电子申请书及附件材料, 无须报送纸质申请书。

4. 本专项项目咨询方式:

国家自然科学基金委员会数学物理科学部综合与战略规划处

联系人: 陈国长、张攀峰

联系电话: 010-62326910、6911

（四）其他注意事项

1. 为实现专项项目总体科学目标，获得资助的项目负责人应当在项目执行过程中关注与本专项其他项目之间的相互支撑关系。

2. 为加强项目之间的学术交流，本专项项目群将设专项项目总体指导组和管理协调组，并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人必须参加上述学术交流活动，并认真开展学术交流。

“强动载荷下复杂介质的动态响应与机制”专项项目指南

强动载荷（如爆炸冲击）具有幅值、短历时特征，其产生与传播行为强烈依赖于环境介质。同时，在强动载荷这类极端条件下，介质将经历高压、大变形、高速运动等极端状态或过程。难点和挑战在于强动载荷下复杂介质的速率耦合运动涉及能量-动量-物质传输等多种速率过程；这些具有不同特征时空尺度的速率过程在爆炸冲击下有可能被选择性的“冻结”或激活。因此，亟需对强动载荷下复杂介质的速率变形、能量转换及其与环境介质耦合作用规律开展基础研究。国家自然科学基金委员会数学物理科学部现启动“强动载荷下复杂介质的动态响应与机制”专项，将聚焦爆炸等强动载能量的输出、传输、耗散规律与防护效应的认知，形成若干重大理论成果和关键技术或方法。

一、科学目标

本专项旨在研究爆炸冲击等强动载荷的能量输出、传递和耗散规律及效应，重点关注强动载极端条件、新型复杂介质（材料或结构）等引起的新现象、新机制和新效应。揭示约束下爆炸能量输出结构与机理，阐明爆炸能量驱动新型介质超高速运动规律，揭示强动载荷能量的结构耗散机制，发展多层次结构防护技术。

二、拟资助研究方向和研究内容

（一）约束下爆炸能量输出结构与机理（申请代码 1 选择 A12 下属代码）

爆炸冲击等强动载荷的能量输出行为强烈依赖于环境约束。约束环境下爆轰反应释能机制不清,跨多介质界密度和压力梯度增大,爆炸载荷与环境耦合机理复杂,亟在约束理想炸药爆轰反应机理、爆轰输出能量与转化机理、环境介质压-动压耦合响应与状态演化机理等方面产生突破。主要研究内容:(1)约束下理想炸药爆轰反应机理与能量转换模型;(2)约束下爆炸载荷传递规律与演化模型;(3)约束下多介质强耦合精度计算方法;(4)约束爆炸实验模拟与流场动态测试。

(二)爆炸能量动介质超高速运动规律(申请代码 1 选择 A12 下属代码)

爆炸输出能量通常以幅值、短历时爆轰波的形式向环境介质发散传递并快速衰减。定向汇聚并有效利用爆炸能量动介质超高速运动,具有重要的工程应用价值。在汇聚增强的爆炸能量动下,介质的运动呈现出超高速、大变形、易失稳、强耦合等突出特点,亟对这种聚能动介质超高速运动开展基础性的研究。主要研究内容:(1)爆炸能量定向调控的材料-结构一体化设计;(2)爆炸载荷下新型介质的超高速变形;(3)爆炸载荷下新型介质的流动失稳与断裂;(4)爆炸载荷下新型介质的超高速侵彻机理。

(三)强动载能量的耗散规律(申请代码 1 选择 A12 下属代码)

实现强动载荷能量的有效耗散是构筑先进防护体系的关键。幅值短历时的强动载荷往往具有多种模式的均匀能量结构,极易对环境介质造成多尺度的损伤破坏,通常的单一均匀介质难以实现有效

护，亟 开展强动载荷能量的多层级耗散机制及 护效应研究。主要研究内容：(1) 超时空分辨率的新型吸能材料动态力学行为原位表征；(2) 强动载荷下新型吸能材料的变形机理与能量耗散机制；(3) 强动载荷与多层级复合结构的耦合作用规律；(4) 强动载荷下新型 护结构设计及效能评估。

三、资助计划

本专 目资助期 为 4 年，申请书中的研究期 应填写“2022 年 1 月 1 日-2025 年 12 月 31 日”。计划资助 3~4 ，平均资助强度 300-400 万元/ ，资助经费总强度约为 1200 万元。

四、申请要求及注意事

(一) 申请资格

- 1.具有承担基础研究课 的经历；
- 2.具有 级专业技术职务（职称）；

在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

(二) 申请规定

- 1.本专 目申请时计入 级专业技术职务（职称）人员申请和承担总数 2 的范围。
- 2.申请人同年只能申请 1 专 目中的研究 目。

3.应符合《2021 年度国家自然科学基金项目指南》中对申请数量的制。

（三）申请注意事

1.本专 目申请书采用在线方式撰写。对申请人具体要求如下：

（1）申请人在填报申请书前，应当认真 读本申请 知、本 目指南和《2021 年度国家自然科学基金项目指南》的相关内容，不符合 目指南和相关要求的申请 目不予受理。

（2）本专 目旨在紧密围绕“强动载荷下复杂介质的动态响应与机制”， 中国内优势研究团 进行研究，成为一个专 目群。申请人应根据本专 目拟解决的具体科学 和 目指南公布的拟资助研究方向，自行拟定 目名称、科学目标、研究内容、关 科学 、技术路线和相应的研究经费等。

（3）申请人登录科学基 网络信息系统 <https://isisn.nsfc.gov.cn/>（没有系统账号的申请人请向依托单位基 管理联系人申请开户），按照撰写提纲及相关要求撰写申请书。

（4）申请书中的资助类别选择“专 目”，亚类说明选择“研究 目”， 注说明选择“科学部综合研究 目”，申请代码 1 应当按照拟资助研究方向后标明的代码要求选择数理科学部相应的申请代码。以上选择不准确或未选择的 目申请将不予受理。

(5) 请按照“专 目-研究 目申请书撰写提纲”撰写申请书时,请在申请书正文开头注明“强动载荷下复杂介质的动态响应与机制之研究方向: XXX(按照上述 3 个研究方向之一填写)”。

申请书应突出有 目标和重点突破,明确对实现本专 目总体科学目标和解决核心科学 的贡献。

如果申请人已经承担与本专 目相关的其他科技计划 目,应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请 目与其他相关 目的区别与联系。

2. 申请人应当严格按照《国家自然科学基金 资助 目资 管理办法》等相关规定和《国家自然科学基金 目资 算表编制说明》的具体要求,按照“目标相关性、政策相符性、经济合理性”的基本原则,认真编制《国家自然科学基金 目 算表》。

3. 本专 目采用无纸化申请,申请人完成申请书撰写后,在线提交电子申请书及 件材料,无 报送纸质申请书。

4. 本专 目咨询方式:

国家自然科学基金 委员会数学物理科学部综合与战略规划处

联系人: 国 、张攀峰

联系电话: 010-62326910、6911

(四) 其他注意事

1.为实现专 目总体科学目标，获得资助的 目负责人应当在目执行过程中关注与本专 其他 目之 的相互支撑关系。

2.为加强 目之 的学术交流，本专 目群将设专 目总体指导组和管理协调组，并将不定期地组织相关 域的学术研讨会。获资助 目负责人必 参加上述学术交流活动，并认真开展学术交流。

“基于亚毫米望远镜的科学和关键技术研究”专项项目指南

天文学是基于 时空分辨率观测开展宇宙中各种物理过程研究的基础科学， 着天文学研究越来越强调学科交叉，以及天文观测设备越来越复杂，天文学研究越来越重视国 合作。天文学的研究成果不仅极大地推动了人类对客观世界的认识，还催生和发展了一大批 命性和 科技的成果并服务于人类社会。从地 到空 ，现代天文学的观测已覆盖了全电磁波段并得到了令人瞩目的科学成果，其中包含宇宙从背景辐射以来一半光子能量的亚毫米波段则是开展冷暗宇宙观测的独特和有效波段，是天文科学研究和关 技术研发的“必争之地”。尽管探测手段的困 ，我国目前从观测设备到相关科学研究仍皆处于快速上升的良好 段，具有广 的发展前景。国家自然科学基金委员会（以下简称自然科学基金 委）数学物理科学部现启动“基于亚毫米望远 的科学和关 技术研究”专 目（以下简称专 目），将基于已有的 期国 合作，利用国 先进的亚毫米望远镜（LCT），结合我国当前科学研究和技术研发 伍的现状，开展对大型亚毫米望远 关 技术的全方位研究，突破关 技术瓶 。开展独具特色的亚毫米波段的星系物理研究，推动我国亚毫米天文科学研究和关 技术的发展。

一、科学目标

本专 目将 向LCT的科学目标，采用创新性的手段和方法，开展 LCT 相关的关 技术的研究，全方位提升 LCT 的性能，使之具备国 先水平并满足科学研究所 的更 要求，积累亚毫米望远 关 技术的经 和储备人才 伍；基于 LCT 并结合其他波段大型设备的观测结果，深入了解和完善宇宙中物质和能量过程在当前整个框架中的物理描述。

二、核心科学

研究制约复杂环境（海拔、大口径、大温差）下国际领先的远程控制大型亚毫米望远镜运行性能的关键技术，提出可行的解决方案并加以实现；基于 LCT 的实际运行安排开展深度观测，重点建立亚毫米星系样本，分析星系团中的气体过程，完善星系演化整个过程的物理描述和不同环境中的星系形成和演化。

三、拟资助研究方向和研究内容

（一）基于亚毫米波段观测的星系物理研究（申请代码 1 选择 A14 下属代码）

发挥亚毫米波段独特的观测优势，结合 LCT 科学运行安排，建立目前短缺的尘埃恒星形成星系（DSFGs）样本，深入开展其物理性质及演化轨迹的研究；获得若干个星系团的多波段亚毫米深度观测资料，讨论星系团中热气体的吸积、运动学和维理化，以及星系团环境下星系的形成和演化；基于 LCT 的其他重要科学。

（二）大型亚毫米望远镜关键技术研究（申请代码 1 选择 A19 下属代码）

开展面向 LCT 望远镜的低噪声、宽谱、多像元、精度亚毫米波段接收机关键技术研究和系统集成研究；研究 LCT 望远镜系统光机电热多层次传函关系，解决制约（复杂环境下）望远镜指向精度和形精度稳定运行的关键技术，突破 LCT 望远镜的精度远程控制关键技术；LCT 相关的其他关键技术。

四、资助计划

本专项资助期限为5年，申请书中研究期应填写“2022年1月1日-2026年12月31日”。计划资助5左右，平均资助强度为200-300万元/，资助经费总强度约为1200万元。

五、申请要求及注意事

（一）申请资格

- 1.具有承担基础研究课 的经历；
- 2.具有 级专业技术职务（职称）；

在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

（二） 申请规定

- 1.本专 目申请时计入 级专业技术职务（职称）人员申请和承担总数 2 的范围。
- 2.申请人同年只能申请 1 专 目中的研究 目。
- 3.应符合《2021 年度国家自然科学基金 目指南》中对申请数量的 制。

（三）申请注意事

- 1.本专 目申请书采用在线方式撰写。对申请人具体要求如下：

（1）申请人在填报申请书前，应当认真 读本申请 知、本 目指南和《2021 年度国家自然科学基金 目指南》的相关内容，不符合 目指南和相关要求的申请 目不予受理。

（2）本专 目旨在紧密围绕“**基于亚毫米望远 的科学和关 技术研究**”， 中国内优势研究团 进行研究，成为一个专 目 群。申请人应根据本专 目拟解决的具体科学 和 目指南公布的拟资助研究方向，自行拟定 目名称、科学目标、研究内容、关 科学 、技术路线和相应的研究经费等。

（3）申请人登录科学基 网络信息系统 <https://isisn.nsf.gov.cn/>（没有系统账号的申请人请向依托单位基 管理联系人申请开户），按照撰写提纲及相关要求撰写申请书。

(4) 申请书中的资助类别选择“专 目”，亚类说明选择“研究 目”， 注说明选择“科学部综合研究 目”，申请代码 1 应当按照拟资助研究方向后标明的代码要求选择数理科学部相应的申请代码。以上选择不准确或未选择的 目申请将不予受理。

(5) 请按照“专 目-研究 目申请书撰写提纲”撰写申请书时，请在申请书正文开头注明“基于亚毫米望远镜 的科学和关 技术研究之研究方向：XXX（按照上述 2 个研究方向之一填写）”。

申请书应突出有 目标和重点突破，明确对实现本专 目总体科学目标和解决核心科学 的贡献。

如果申请人已经承担与本专 目相关的其他科技计划 目，应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请 目与其他相关 目的区别与联系。

2. 申请人应当严格按照《国家自然科学基金 资助 目资 管理办法》等相关规定和《国家自然科学基金 目资 算表编制说明》的具体要求，按照“目标相关性、政策相符性、经济合理性”的基本原则，认真编制《国家自然科学基金 目 算表》。

3. 本专 目采用无纸化申请，申请人完成申请书撰写后，在线提交电子申请书及 件材料，无 报送纸质申请书。

5. 本专 目咨询方式：

国家自然科学基金 委员会数学物理科学部综合与战略规划处

联系人： 国 、张攀峰

联系电话：010-62326910、6911

(四) 其他注意事

1. 为实现专 目总体科学目标，获得资助的 目负责人应当在目执行过程中关注与本专 其他 目之 的相互支撑关系。

2.为加强 目之 的学术交流，本专 目群将设专 目总体
指导组和管理协调组，并将不定期地组织相关 域的学术研讨会。获
资助 目负责人必 参加上述学术交流活动，并认真开展学术交流。

“高温超导材料和机理研究的新路径探索”专项项目指南

高温超导材料与机理研究是凝聚态物理研究的前沿课题，同时又有着广泛和重要应用前景，对其研究促进了物理学与材料、化学、能源和信息等学科的交叉融合。我国科学家在铁基高温超导材料、界面高温超导以及拓扑超导等方面获得了一大批具有原创意义的研究成果，引领了高温超导研究领域的发展，受到国际学术界的广泛关注和高度评价。然而，目前高温超导机理作为物理学一个重大科学难题仍然没有得到解决，其难点表现为强关联电子体系的复杂性和多样性，缺乏高温超导研究的突破性新技术与新思路，目前的实验测量往往关注于高温超导体中衍生出来的各种竞争序，或是对超导电性和多种宏观量子序共存效果的表征，开展高温超导机理的直接研究会为寻找和设计更高超导转变温度的材料提供依据。国家自然科学基金委员会数学物理科学部现启动“高温超导材料和机理研究的新路径探索”专项项目，将围绕共性科学目标，结合最新的研究手段开展基础科学研究。

一、科学目标

本专项项目旨在发展基于新材料、新技术、新方法的实验测量，在实验上寻找颠覆性的结果，积极鼓励和倡导原始创新，结合理论获得对高温超导的理解。通过新的实验方法和高温超导材料的更高质量制备，解决传统高温超导实验的根本问题，获得对高温超导体的全新

理解和认识。利用全新认识，通过新调控手段，理解高温超导机理和寻找新的高温超导体。

二、拟资助研究方向和研究内容

（一）新型高温超导体探索（申请代码 1 选择 A20 下属代码）

发现新的高温超导材料，是解决高温超导机理难题和超导实用化的关键手段和途径。针对实现高临界转变温度超导体的需求，支持和发展新型层状材料常压/高压制备手段和测量技术，设计和制备在常压或一般高压（ $<100\text{GPa}$ ）下新型二维层状材料，探寻其中丰富的高温超导、拓扑超导、关联电子态等新奇物态；确定其物理相图，揭示这类材料的共性和实现高温超导电性的关键因素，以及建立掺杂、强场、高压或转角等外部条件对高温超导电性调控的机制，为发现具有更高转变温度的新型高温超导材料提供材料支撑和实验依据。

（二）高温超导体超导面的构筑与原位测量（申请代码 1 选择 A20 下属代码）

高温超导体超导面的直接实验表征是揭示其反常物性和超导微观机理的关键因素，针对高温超导体中超导面的测量需求，支持和发展构筑高温超导和界面超导材料，获得维度可控和原子级平整的特定超导面；通过原位测量，研究超导面上的电荷、自旋、轨道等有序态产生的微观机理，以及与高温超导电性的关系，确定其物理相图；建

立对这些量子有序态及高温超导电性的多参量调控技术，为发现具有更高超导转变温度的新型超导材料提供实验支撑和依据。

（三）高温超导中超导序参量（申请代码 1 选择 A20 下属代码）

超导序参量中的相位是理解超导机理的关键判定标准，是高温超导中最本质的问题之一。支持使用新方法和高分辨谱学，对高温超导体和界面超导体等体系的序参量进行直接测量；支持发展基于相位敏感且具备获得判定性证据能力的新方法，发展超导器件工艺，人工精确构筑界面原子级平整实验，结合理论新方法获得高温超导配对对称性的直接证据。

（四）光致二维电子态和高温超导探索（申请代码 1 选择 A20 下属代码）

利用超快激光调控量子材料产生二维电子态，结合高能量分辨、高时间分辨角分辨光电子能谱，探索其中可能存在的高温超导现象，发展超快输运测量方法确定超导的存在，结合超快电子衍射晶格动力学和非平衡理论，阐明光和物质的相互作用以及超导机理；寻找激光调控实现稳态二维电子态的量子材料。

三、资助计划

本专项项目资助期限为4年，申请书中研究期限应填写“2022年1月1日-2025年12月31日”。计划资助4项左右，平均资助强度为300万元/项，资助经费总强度约为1200万元。

四、申请要求及注意事项

（一）申请资格

- 1.具有承担基础研究课题的经历；
- 2.具有高级专业技术职务（职称）；

在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

（二）限项申请规定

- 1.本专项项目申请时计入高级专业技术职务（职称）人员申请和承担总数 2 项的范围。
- 2.申请人同年只能申请 1 项专项项目中的研究项目。
- 3.应符合《2021 年度国家自然科学基金项目指南》中对申请数量的限制。

（三）申请注意事项

- 1.本专项项目申请书采用在线方式撰写。对申请人具体要求如下：

（1）申请人在填报申请书前，应当认真阅读本申请须知、本项目指南和《2021 年度国家自然科学基金项目指南》的相关内容，不符合项目指南和相关要求的申请项目不予受理。

（2）本专项项目旨在紧密围绕“高温超导材料和机理研究的新路径探索”，集国内优势研究团队进行研究，成为一个专项项目群。申请人应根据本专项项目拟解决的具体科学问题和项目指南公布的

拟资助研究方向，自行拟定项目名称、科学目标、研究内容、关键科学问题、技术路线和相应的研究经费等。

(3) 申请人登录科学基金网络信息系统 <https://isisn.nsfc.gov.cn/> (没有系统账号的申请人请向依托单位基金管理联系人申请开户)，按照撰写提纲及相关要求撰写申请书。

(4) 申请书中的资助类别选择“专项项目”，亚类说明选择“研究项目”，附注说明选择“科学部综合研究项目”，申请代码 1 应当选择数理科学部相应的申请代码。以上选择不准确或未选择的项目申请将不予受理。

(5) 请按照“专项项目-研究项目申请书撰写提纲”撰写申请书时，请在申请书正文开头注明“高温超导材料和机理研究的新路径探索之研究方向：XXX（按照上述 4 个研究方向之一填写）”。

申请书应突出有限目标和重点突破，明确对实现本专项项目总体科学目标和解决核心科学问题的贡献。

如果申请人已经承担与本专项项目相关的其他科技计划项目，应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请项目与其他相关项目的区别与联系。

2. 申请人应当严格按照《国家自然科学基金资助项目资金管理办法》等相关规定和《国家自然科学基金项目资金预算表编制说明》的具体要求，按照“目标相关性、政策相符性、经济合理性”的基本原则，认真编制《国家自然科学基金项目预算表》。

3.本专项项目采用无纸化申请，申请人完成申请书撰写后，在线提交电子申请书及附件材料，无须报送纸质申请书。

4.本专项项目咨询方式：

国家自然科学基金委员会数学物理科学部综合与战略规划处

联系人：陈国长、张攀峰

联系电话：010-62326910、6911

（四）其他注意事项

1.为实现专项项目总体科学目标，获得资助的项目负责人应当在项目执行过程中关注与本专项其他项目之间的相互支撑关系。

2.为加强项目之间的学术交流，本专项项目群将设专项项目总体指导组和管理协调组，并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人必须参加上述学术交流活动，并认真开展学术交流。

“无中微子双贝塔衰变物理和关键探测技术研究”专项项目指南

中微子物理是当前粒子物理和核物理领域基础科学前沿，是可能突破粒子物理标准模型的重要研究方向。中微子物理的前沿科学目标之一是确定中微子和反中微子粒子是否是同一种粒子。如果它们是同一种粒子，则中微子是马约拉纳 (Majorana) 粒子，反之则是狄拉克 (Dirac) 粒子。实验测量无中微子双贝塔衰变 ($0\nu\beta\beta$) 是确定中微子 Majorana 属性的唯一途径。国际上多个国家正在竞相开展 $0\nu\beta\beta$ 实验研究，采用的技术方案包括高纯锗探测器，低温晶体量热器，液氙时间投影室，高压气体时间投影室，液体闪烁体等。国家自然科学基金委数学物理科学部现启动“无中微子双贝塔衰变物理和关键探测技术研究”专项项目，将利用中国锦屏地下实验室和江门中微子实验“得天独厚”的平台优势，开展无中微子双贝塔衰变物理和关键探测技术研究。

一、科学目标

本专项项目重点针对未来无中微子双贝塔衰变实验，对具有普适性的关键技术问题和理论课题开展深入研究，争取在富集 ^{100}Mo 原料提纯、基于富集 ^{100}Mo 原料研发钼酸锂晶体探测技术及配套极低温光电信号读出电子学技术、低能区粒子鉴别和能量刻度技术、掺碲液体闪烁体探测技术等方向取得重要突破，掌握下一代实验实现 10meV 甚至 meV 量级中微子有效质量测量灵敏度的关键技术，为建设具有国际竞争力的无中微子双贝塔衰变大型实验装置提供技术支撑和培养科研队伍。

二、核心科学问题

无中微子双贝塔衰变物理的理论研究；高纯度富集钼酸锂晶体研制和富集原料提纯技术；新型 TES 光热探测读出系统研制和压低双中微子双贝塔衰变的本底效应；能量刻度技术研发和新物理探索；掺碲液体闪烁体探测技术。

三、拟资助研究方向和研究内容

（一）无中微子双贝塔衰变物理的理论研究（申请代码 1 选择 A27 下属代码）

配合中国锦屏地下实验室和江门中微子实验的无中微子双贝塔衰变实验规划，建立和发展相对论多体理论等微观核物理模型，研究无中微子双贝塔衰变相关的多体关联效应、相对论效应、形变效应、夸克层次的物理机制以及中微子混合效应等，探索机器学习等新技术在核矩阵元计算中的应用，提升无中微子双贝塔衰变核矩阵元的计算精度，针对国际国内重点研究的无中微子双贝塔衰变候选原子核，给出可靠的无中微子双贝塔衰变核矩阵元及其不确定度，结合中微子实验结果限制新物理贡献的参数空间，为实验研究提供理论支持。

（二）高纯度富集钼酸锂晶体研制和富集原料提纯技术（申请代码 1 选择 A28 下属代码）

低温晶体量热器是探索无中微子双贝塔衰变的具有优异性能的探测器。高纯钼酸锂晶体是新型光热双读出晶体量热器的核心靶材料。针对制备高纯度富集钼酸锂晶体的要求，研发基于离心机同位素分离获得的富集 ^{100}Mo 原料提纯和样品检测技术，探索富集晶体生长过程中保持双贝塔衰变有效同位素丰度和分布均匀性方法，探索富集原料在晶体生长

过程中的利用率提高方法，研发基于区熔法技术的富集原料回收和再利用技术。确立满足大型无中微子双贝塔衰变实验要求的高纯富集钼酸锂晶体生长的核心技术，并能够有效控制探测器所需晶体的成本。

（三）新型 TES 光热探测读出系统研制和压低双中微子双贝塔衰变的本底效应（申请代码 1 选择 A28 下属代码）

在新一代无中微子双贝塔衰变大型钼酸锂闪烁晶体量热器实验中，由双中微子双贝塔衰变形成的本底将成为灵敏度的极限，需要提升温度传感器的时间响应来压低。超导转变边沿传感器（TES）读出时间响应较快，已经在前沿天体物理和宇宙学实验的光热测量中得到广泛应用，有可能成为新一代晶体量热器实验的温度传感器的理想技术。研究具有高能量分辨率、高时间分辨率和易于大规模读出的光信号和热信号探测技术是关键。探索热信号在探测器内部以及探测器与晶体靶和冷端耦合间的传导规律、动态稳定性和噪声性能，研究刻蚀形成的半导体基底支撑结构在探测器工作温度的导热规律，研制应用于闪烁晶体量热实验的，能够工作在 10-20mK 温度区的基于 TES 的热信号探测器和光信号探测器，表征探测器性能并研究优化 $0\nu\beta\beta$ 信号与本底的鉴别方法。针对未来 $0\nu\beta\beta$ 实验需求，以总体本底区分水平为评价标准，确定可实施的技术方案。

（四）能量刻度技术研发和新物理探索（申请代码 1 选择 A28 下属代码）

确定无中微子双贝塔衰变实验的灵敏度需要探测器在信号搜索阈值附近具有非常精准的能量刻度。为了压低天然放射性本底的影响，选

择衰变能 ($Q_{\beta\beta}$) 远高于 2615keV (^{208}Tl 特征伽马线) 的双贝塔衰变元素是非常有效的压低本底途径。通常使用的长寿命放射源无法提供刻度所需的高能区伽马线。针对实验高精度低本底的要求, 建立钼酸锂晶体探测器无中微子双贝塔衰变信号 ($Q_{\beta\beta} \sim 3034\text{keV}$) 能区的刻度系统, 研制基于放射线束流产生的 ^{56}Co 的收集和制备刻度源, 同时发展应用于光探测器刻度的高强度伽马源激发材料 X 射线荧光刻度技术。在实现整个能区精准刻度的基础上, 充分发挥低温闪烁晶体量热器的粒子鉴别能力, 优化光-热双读出系统, 实现低能区核反冲信号和 β/γ 本底区分, 压低低能区本底, 对低质量暗物质粒子和轴子开展高灵敏度探索。

(五) 掺碲液体闪烁体探测技术 (申请代码 1 选择 A28 下属代码)

依托江门中微子探测器, 液体闪烁体技术能使 $0\nu\beta\beta$ 核素的靶质量达到百吨量级, 有望将中微子有效质量灵敏度提高到 meV 量级, 研究高掺杂量、高光产额、高透明度、极低放射性的掺碲液闪是关键。研究可掺入液闪的含碲化合物的合成方法, 研究和表征含碲化合物结构对液闪吸光性能、发光性能及长期稳定性的影响规律, 优化掺杂物结构实现高光产额, 研究光学纯化方法实现高透明度, 发展放射性纯化方法达到极低本底, 研究掺碲液闪中 $0\nu\beta\beta$ 信号与本底的鉴别方法。针对未来 $0\nu\beta\beta$ 实验需求, 综合能量分辨率和本底水平, 以有效质量灵敏度为评价标准, 确定可实施的技术方案。

四、资助计划

本专项项目资助期限为 4 年，申请书中研究期限应填写“2022 年 1 月 1 日-2025 年 12 月 31 日”。计划资助 5 项左右，平均资助强度为 200-300 万元/项，资助经费总强度约为 1200 万元。

五、申请要求及注意事项

（一）申请资格

- 1.具有承担基础研究课题的经历；
- 2.具有高级专业技术职务（职称）；

在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

（二）限项申请规定

- 1.本专项项目申请时计入高级专业技术职务（职称）人员申请和承担总数 2 项的范围。
- 2.申请人同年只能申请 1 项专项项目中的研究项目。
- 3.应符合《2021 年度国家自然科学基金项目指南》中对申请数量的限制。

（三）申请注意事项

- 1.本专项项目申请书采用在线方式撰写。对申请人具体要求如下：

（1）申请人在填报申请书前，应当认真阅读本申请须知、本项目指南和《2021 年度国家自然科学基金项目指南》的相关内容，不符合项目指南和相关要求的申请项目不予受理。

(2) 本专项项目旨在紧密围绕“无中微子双贝塔衰变物理和关键探测技术研究”，集中国内优势研究团队进行研究，成为一个专项项目群。申请人应根据本专项项目拟解决的具体科学问题和项目指南公布的拟资助研究方向，自行拟定项目名称、科学目标、研究内容、关键科学问题、技术路线和相应的研究经费等。

(3) 申请人登录科学基金网络信息系统 <https://isisn.nsfc.gov.cn/>（没有系统账号的申请人请向依托单位基金管理联系人申请开户），按照撰写提纲及相关要求撰写申请书。

(4) 申请书中的资助类别选择“专项项目”，亚类说明选择“研究项目”，附注说明选择“科学部综合研究项目”，申请代码 1 应当按照拟资助研究方向后标明的代码要求选择数理科学部相应的申请代码。以上选择不准确或未选择的项目申请将不予受理。

(5) 请按照“专项项目-研究项目申请书撰写提纲”撰写申请书时，请在申请书正文开头注明“基于无中微子双贝塔衰变物理和关键探测技术研究之研究方向：XXX（按照上述 5 个研究方向之一填写）”。

申请书应突出有限目标和重点突破，明确对实现本专项项目总体科学目标和解决核心科学问题的贡献。

如果申请人已经承担与本专项项目相关的其他科技计划项目，应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请项目与其他相关项目的区别与联系。

2. 申请人应当严格按照《国家自然科学基金资助项目资金管理办法》等相关规定和《国家自然科学基金项目资金预算表编制说明》的具体要

求，按照“目标相关性、政策相符性、经济合理性”的基本原则，认真编制《国家自然科学基金项目预算表》。

3.本专项项目采用无纸化申请，申请人完成申请书撰写后，在线提交电子申请书及附件材料，无须报送纸质申请书。

4.本专项项目咨询方式：

国家自然科学基金委员会数学物理科学部综合与战略规划处

联系人：陈国长、张攀峰

联系电话：010-62326910、6911

（四）其他注意事项

1.为实现专项项目总体科学目标，获得资助的项目负责人应当在项目执行过程中关注与本专项其他项目之间的相互支撑关系。

2.为加强项目之间的学术交流，本专项项目群将设专项项目总体指导组和管理协调组，并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人必须参加上述学术交流活动，并认真开展学术交流。