

第二代量子体系的构筑和操控重大研究计划

2025 年度项目指南

本重大研究计划旨在通过对展示纠缠/叠加量子态等量子行为的第二代量子体系进行构筑和操控，开展量子信息科学方面的前瞻性和基础性研究，推动数理、信息、工程与材料、化学等多学科交叉研究，为实现量子计算机等量子技术奠定物理基础。

一、科学目标

本重大研究计划的总体科学目标为：

- (一) 探索和制备可用于量子计算和量子探测的高质量材料，实现量子态精准构筑，探索新型量子体系。
- (二) 发展量子态测量和操控技术，提升探测和调控精度，探索新的技术方法。
- (三) 针对可纠错固态量子计算、高温超导机理、拓扑量子体系和低维量子体系开展前瞻性研究，在若干方向取得重大科学突破。

二、核心科学问题

- (一) 关键量子功能材料的可控制备与量子态体系的精准构筑。
- (二) 量子态精密探测与操控实验技术及理论方法。
- (三) 面向超导等固态量子计算的研究。
- (四) 新型量子计算体系和实现方案探索。

三、2025 年度资助计划

拟资助培育项目 10 项左右，直接费用资助强度约为 60 万元/项；拟资助重点支持项目 2 项，直接费用资助强度约为 300 万元/项；拟资助集成项目 6 项，直接费用资助强度约为 600-700 万元/项。上述各类项目资助期限均为 3 年，申请书中研究期限应填写“2026 年 1 月 1 日 - 2028 年 12 月 31 日”。

四、2025 年度资助研究方向

(一) 培育项目。

2025 年拟资助培育项目 10 项左右，面向本重大研究计划的科学目标和核心科学问题自由选题。

(二) 重点支持项目。

重点关注面向量子计算物理体系的相关前瞻性和基础性研究，2025 年度重点支持项目主要资助如下 2 个方向：

1. 基于冷原子阵列的量子信息处理。

基于原子阵列和光学腔的强耦合系统，发展单原子、单光子精度的原子-光子强耦合技术；实现光子在原子阵列内的分布式存储，以及原子多体纠缠态的定向发送和接收；实现具有单原子精度空间关联结构的原子和光的强耦合物态。

2. 基于二维量子材料的新型超导量子器件研究。

研究二维材料的超导电流传输的调控机制，实现具有半导体晶体管功能的低功耗超导原型器件。实现工作温度高于 77K 的超导二极管极性调控和基本逻辑运算。构造新型超导量子器件，探索超导配对新机理。

(三) 集成项目。

2025 年度围绕重大研究计划总体科学目标，在以下 6 个方向进行集成：

1. 百比特超导量子芯片的纠缠制备、量子模拟与纠错。

制备百比特超导量子芯片，研究高水准的量子逻辑门并实现比特的读取与重置等功能，实现千层以上数字量子门线路深度；实现 100 个比特的量子纠缠，开展多体物理问题的量子模拟，展示量子优势；结合量子错误缓解技术，开展表面码、玻色码等方案的量子纠错实验研究；基于 3D 腔量子比特实现误差抑制，开发多逻辑比特量子线路并初步展示系统的容错特性。

2. 高温无能耗拓扑边缘态。

构筑新型磁性拓扑绝缘体材料及异质结构，探索实现液氮温区量子反常霍尔效应的有效路径，开发低磁场下量子电阻标准器件原型。发展针对莫尔拓扑平带或电荷调制超晶格的量子调控方法，实现更高温度的无能耗拓扑边缘态，探索新型分数化拓扑量子物态。

3. 马约拉纳零能模物性和拓扑超导器件研究。

制备高温拓扑超导材料，并在其中实现约瑟夫森结、纳米线等拓扑超导单元器件的制备和表征。使用空间分辨的谱学和磁成像技术，确证马约拉纳零能模的电导、自旋、磁场分布等特征；实现通过电场、磁场、应力等参数调控磁通涡旋态，建立可研究马约拉纳零能模产生、编织和融合规律的拓扑量子器件。完成马约拉纳量子门的可行实现方案。

4. 镍基高温超导材料与机理。

发展镍基高温超导块材与薄膜材料的可控制备技术，探索具有更高超导转变温度的材料体系，发现新的镍基超导材料。研究外场、异质结等对超导量子态的调控机制，实现镍基超导电性的调控，构建超导相图，揭示高温超导机理，探索新型量子器件。

5. 半导体自旋量子比特的集成与操控。

制备高品质硅/锗基半导体量子材料及量子器件，实现退相干时间不低于 $10\mu\text{s}$ 的自旋量子比特，单比特门保真度不低于99.5%，两比特门保真度不低于99%。实现具有纳米级空间分辨率和单电子灵敏度的量子态探测技术，发展对不少于4个自旋量子比特的高保真操控技术，并演示具有代表性的量子算法。

6. 可编排原子和离子阵列等体系的量子计算/模拟与精密测量。

协同发展包括寻址、重排、高保真度逻辑门等共性技术，理解相关的科学机理；演示超过200比特的强关联体系量子模拟、绝热量子计算和量子纠错码；制备可用于实现量子增强精密测量的自旋压缩态和对称纠缠态。

五、遴选项目的基本原则

为确保实现总体科学目标，本重大研究计划要求所有申请应聚焦到第二代量子体系的构筑和操控，围绕核心科学问题开展研究。鼓励多学科实质性交叉合作研究，特别是第二代量子体系在信息、工程与材料科学以及化学领域的交叉性研究，注重理论与实验的有机结合。

六、申请要求及注意事项

(一) 申请条件。

本重大研究计划项目申请人应当具备以下条件：

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。

执行《2025 年度国家自然科学基金项目指南》“申请规定”中限项申请规定的相关要求。

（三）申请注意事项。

申请人和依托单位应当认真阅读并执行本项目指南、《2025 年度国家自然科学基金项目指南》和《关于 2025 年度国家自然科学基金项目申请与结题等有关事项的通告》中相关要求。

1. 本重大研究计划项目实行无纸化申请。申请书提交日期为 2025 年 6 月 16 日—6 月 23 日 16 时。

2. 项目申请书采用在线方式撰写。对申请人具体要求如下：

（1）申请人应当按照科学基金网络信息系统中重大研究计划项目的填报说明与撰写提纲要求在线填写和提交电子申请书及附件材料。

（2）本重大研究计划旨在紧密围绕核心科学问题，将对多学科相关研究进行战略性的方向引导和优势整合，成为一个项目集群。申请人应根据本重大研究计划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、技术路线和相应的研究经费等。

(3) 申请书中的资助类别选择“重大研究计划”，亚类说明根据申报类型选择“培育项目”、“重点支持项目”或“集成项目”，“附注说明”选择“第二代量子体系的构筑和操控”，根据申请的具体研究内容选择相应的申请代码。**培育项目和重点支持项目的合作研究单位不得超过 2 个，集成项目的合作研究单位不得超过 4 个。**

(4) 申请人在申请书“立项依据与研究内容”部分，**需首先注明申请书研究内容所对应的 2025 年度资助研究方向（本项目指南第四部分）**，并说明对解决本重大研究计划核心科学问题、实现本重大研究计划总体科学目标的贡献。

如果申请人已经承担与本重大研究计划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。

3. 依托单位应当按照要求完成依托单位承诺、组织申请以及审核申请材料等工作，在 2025 年 6 月 23 日 16 时前通过信息系统逐项确认提交本单位电子申请书及附件材料。依托单位应慎重提交项目申请，一旦提交，原则上不予退回。

4. 其他注意事项。

(1) 为实现重大研究计划总体科学目标 and 多学科集成，获得资助的项目负责人应当承诺遵守相关数据和资料管理与共享的规定，项目执行过程中应关注与本重大研究计划其他项目之间的相互支撑关系。

(2) 为加强项目的学术交流, 促进项目群的形成和多学科交叉与集成, 本重大研究计划将每年举办一次资助项目的年度学术交流会, 并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人有义务参加本重大研究计划指导专家组和管理工作组所组织的上述学术交流活动, 并认真开展学术交流。

(四) 咨询方式。

国家自然科学基金委员会数理科学部物理科学一处

联系电话: 010-62325055