

关于发布高精度量子操控与探测重大研究计划

2025 年度项目指南的通告

国科金发计〔2025〕9号

国家自然科学基金委员会现发布高精度量子操控与探测重大研究计划 2025 年度项目指南，请申请人及依托单位按项目指南所述要求和注意事项申请。

国家自然科学基金委员会

2025 年 1 月 24 日

高精度量子操控与探测重大研究计划

2025 年度项目指南

高精度量子操控与探测重大研究计划面向发展量子科技的国家重大战略需求，针对量子信息科学及其与各领域交叉研究面临的关键科学问题和技术挑战，发展新原理、新方法，探索可持续发展的技术路线，加强我国量子科技基础研究和人才培养，推动我国抢占量子科技国际竞争制高点。

一、科学目标

聚焦高精度量子操控与探测技术及应用，发展量子增强的新原理、新方法，推动精密测量技术进步；突破量子系统的操控与探测在高精度、高复杂度和可扩展性等方面的技术挑战，为量子信息科学发展提供支持；充

分发挥量子平台和工具的优越性，突破经典技术探测极限，促进量子信息科学与其他领域的交叉融合。进一步提升我国量子科技基础研究的原始创新能力，为实现我国量子科技自立自强提供支撑。

二、核心科学问题

本重大研究计划围绕以下三个核心科学问题开展研究：

（一）量子增强的新原理和新方法。

围绕当前发展较为成熟或极有潜力的精密测量技术，建立和发展有效提高测量精度和灵敏度等指标的量子操控与探测新原理、新方法。

（二）量子信息科学进一步发展需要的高精度量子操控与探测技术。

突破量子操控与探测在精度、复杂度以及可扩展性等多方面技术挑战，发展量子模拟、量子计算、空间量子技术等量子信息科学领域所需的高精度量子操控与探测技术。

（三）超越经典技术的量子操控与探测技术的应用。

发展有望超越经典技术探测极限的量子精密测量技术，并在物理学、天文学、化学、生命科学、地球科学和材料科学等领域实现应用示范。

三、2025 年度资助研究方向

（一）培育项目。

围绕上述科学问题，以总体科学目标为牵引，拟以培育项目的方式资助探索性强、选题新颖、前期研究基础较好的申请项目，优先支持但不限于以下方向的理论和实验研究：

1. 量子增强的新原理和新方法。

在光子和原子等量子体系产生用于实现测量精度增强的量子态，发展超越标准量子极限的量子精密测量新原理、新方法、新系统，在测量精度上实现具有应用意义的量子增益。

2. 量子信息技术中的高精度量子操控与探测。

聚焦光子、冷原子、冷分子、囚禁离子以及人造量子比特等量子体系，发展面向大规模、高复杂度的量子模拟和量子计算以及远距离、实用化量子通信等的量子操控与探测关键技术和新理论新方案。

3. 超越经典技术的量子操控与探测技术。

发展超越经典技术探测极限且具有应用价值的量子精密测量关键技术和新方案，推动量子操控与探测技术在基础物理检验、超越标准模型的新物理、天文观测、化学、生命科学、地球科学和材料科学等领域的应用研究。

(二) 重点支持项目。

围绕核心科学问题，以总体科学目标为牵引，拟以重点支持项目的方式资助前期研究成果积累较好、在理论和关键技术研发上能发挥推动作用、具备交叉应用基础或前景的申请项目，优先支持但不限于以下方向的理论和实验研究：

1. 光和原子体系非经典态的制备和操控。

制备高压缩度的非经典态，包括相位压缩态、偏振压缩态、正交分量压缩态、数压缩态、迪克态、自旋压缩态等，发展不同类型非经典态在相位、位移、偏振等各种物理量精密测量中的应用，演示超过 10 dB 的测量精度量子增益。

2. 多参数联合量子测量技术与应用。

揭示量子噪声对多参数联合测量精度的影响以及抵御方法，研制基于多种物理体系的集成化量子增强测量装置，有效提高多参数联合测量灵敏度，在高灵敏度电磁场探测、高精度光频标等应用场景下，突破标准量子极限，实现超过 5 dB 的多参数联合测量精度量子增益。

3. 基于超冷原子的新型光晶格调控技术。

发展基于超冷原子的新型光晶格调控技术。实现不同类型光晶格（比如三角、六角、笼目光晶格等）以及双层扭转光晶格，发展光晶格体系中周期性调制、无序、规范场等多个维度的调控和小于 500 nm 格点分辨的高分辨原位探测技术，超冷原子通过光晶格调控实现多个新奇量子物态（关联绝缘体、非常规超导、量子反常霍尔效应、强关联诱导的拓扑性等）以及原子数大于 100 的量子纠缠态。

4. 量子纠错的新方法。

针对现有量子纠错技术操控要求高、资源消耗大的问题，探索可扩展且能够显著节约比特资源的通用逻辑门方案；发展纠错循环过程中的错误表征新技术，并提出相应的错误缓解策略；研发精确高效的解码算法，提供支持实时解码的具体实现方案；发展准确评估量子纠错资源的工具，并提出针对主要损耗的优化方法；实验验证多个逻辑比特的通用逻辑门操作，提出可行的规模化路线，支撑量子纠错技术的持续进步。

5. 大规模无缺陷中性原子阵列制备和操控。

针对研究容错量子计算需要操纵大规模物理比特的需求，发展产生和操纵大规模无缺陷中性原子阵列的技术。利用原子跃迁特性，选择合适的

原子平台，实现万原子规模随机填充的光镊阵列，并利用人工智能技术解决传统原子重排算法中重排时间随阵列规模线性增加的问题，在 100 ms 内生成 10000 个原子的无缺陷中性原子阵列；同时，实现单比特量子门保真度大于 99.9%，两比特门保真度大于 99.5%，读取保真度大于 99.5%，发展低串扰辅助比特和数据比特门操作以及线路中非破坏读取技术，为容错量子计算构建一个可操纵性高的万原子规模实验平台。

6. 核光钟关键技术。

探索 ^{229}Th 离子掺杂能力的调控机制，研究掺 ^{229}Th 晶体的辐射缺陷和真空紫外光谱性能，研发综合性能优良的新型掺 ^{229}Th 氟化物晶体，晶体透过率大于 50% (1mm 厚度, @148.4 nm), ^{229}Th 浓度大于 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, ^{229}Th 离子分凝系数达到 1；揭示深紫外非线性光学晶体紫外近边吸收机理，提出降低其非本征吸收技术方案，研制高纯高透过高效深紫外倍频晶体 ($d_{ij} > d_{36}$ (KDP))，有效提高晶体深紫外波段透过率（大于 10% @148.4 nm），发展深紫外波段相位匹配技术，设计与研制深紫外倍频输出高转换效率相关器件，实现 148.4 nm 深紫外激光输出。

7. 面向新物理探索的量子测量技术。

针对超越粒子物理标准模型的新物理探测需求，发展量子精密测量技术。例如实现精度达到 $10^{-28} \text{ e}\cdot\text{cm}$ 量级的原子固有电偶极矩(EDM)测量；实现能量分辨率达到 $10^{-24} \text{ eV}\cdot\text{Hz}^{-1/2}$ 量级的赝磁信号测量；实现对质量在 10^{-5} eV 量级的类轴子粒子传播的自旋相关相互作用探测精度提升达 2 个数量级以上。

8. 量子测量在惯性、引力测量和引力波天文观测等方面的应用。

针对量子引力、时空特性、极端物质状态等前沿科学问题研究需求，发展基于原子干涉、原子自旋等的量子精密测量方法和技术。实现 $10^{-10} g$ 量级水平重力加速度和惯性精密测量，提高地球定向参数和地球引力势等的自主测量能力；实现 $10^{-7} \text{ } ^\circ\text{s}^{-1}\text{Hz}^{-1/2}$ 量级灵敏度的惯性角速度测量，验证原子自旋惯性导航精度潜力，开展量子惯性导航系统及应用研究，提高无人系统、智能控制等自主定位导航能力。

9. 量子精密测量在遥感技术中的应用。

发展高精度光频梳、高效低噪声单光子探测、超宽谱光电转换等技术，在单光子弱信号的高效和高增益探测，对大气的多种组分、层析风场和温度反演，地貌跨介质高精度单光子测绘，亚毫米精度海平面快速测量，高精度非视域单光子成像，高速运动星间高精度测距和时钟同步，超远距离星地链路的光频梳多要素遥感等方面，突破经典遥感技术在探测距离、精度和灵敏度方面的瓶颈，助力生态环境监测等实际应用。

10. 量子精密测量在极弱磁场测量中的应用。

面向弱磁计量测试、人体功能信息成像、磁异常探测、资源勘探、生命科学等方面的应用，发展灵敏度达到 $\text{aTHz}^{-1/2}$ 量级的超高灵敏极弱磁场测量装置、灵敏度达到亚 $\text{fTHz}^{-1/2}$ 量级的微小型近零磁和地磁计量测试原子磁强计及芯片化原子磁强计；面向生物体系微观电磁通路特性解析，发展溶液条件下实现单蛋白质分辨的多模态极弱电流-磁场调控与测量装置。

四、项目遴选的基本原则

(一) 紧密围绕核心科学问题，鼓励原创性、基础性和交叉性的前沿探索。

(二) 优先资助能够解决高精度量子操控与探测中的基础科学难题或在相关领域具有应用前景的研究项目。

(三) 重点支持项目应具有良好的研究基础和前期积累，对总体科学目标有直接贡献与支撑。

五、2025 年度资助计划

拟资助培育项目 25 项，直接费用资助强度约为 80 万元/项，资助期限为 3 年，培育项目申请书中研究期限应填写“2026 年 1 月 1 日 - 2028 年 12 月 31 日”；拟资助重点支持项目 10 项，直接费用资助强度约为 300 万元/项，资助期限为 4 年，重点支持项目申请书中研究期限应填写“2026 年 1 月 1 日 - 2029 年 12 月 31 日”。

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 3 月 1 日 - 2025 年 3 月 20 日 16 时。

(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，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核心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”，亚类说明选择“培育项目”或“重点支持项目”，附注说明选择“高精度量子操控与探测”，受理代码选择 T01，根据申请的具体研究内容选择不超过 5 个申请代码。

培育项目和重点支持项目的合作研究单位不得超过 2 个。

(4) 申请人在申请书起始部分应明确说明申请符合本项目指南中的资助研究方向，以及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。

2. 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 3 月 20 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，并于 3 月 21 日 16 时前在线提交本单位项目申请清单。

3. 其他注意事项。

(1) 为实现重大研究计划总体科学目标和多学科集成，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 1 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。

(四) 咨询方式。

交叉科学部交叉科学一处

联系电话：010-62328382