

# 高精度量子操控与探测重大研究计划

## 2026 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、2026 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、生命科学与医学、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. 纠缠增强的量子精密测量技术与应用。**

发展自旋压缩态及其他可用于量子增强测量的纠缠态制备技术，发展基于冷原子里德堡系综、中性原子阵列等物理体系的量子增强测量新原理，应用于突破标准量子极限的高灵敏度电磁场探测、高精度光频标等场景，发展同时突破标准量子极限的多参数联合量子测量技术与应用。

### **3. 波函数的精密测量。**

超冷原子、单光子等量子体系的波函数具有可调控的宏观尺寸和丰富的微观细节，发展突破衍射极限与维度限制的量子波函数直接测量方法，揭示非阿贝尔真空拓扑结构、演化路径等复杂量子态的表征机制，研究部

分相干体系中拓扑量子缺陷（如孤子、涡旋）的形成与演化，并建立波函数直接测量与调控结合的新途径，为量子特性研究提供关键工具。

#### **4. 外场下冷分子碰撞动力学调控理论与实验。**

发展冷分子单量子态精确调控技术、振-转相干叠加态制备技术和非极性分子取向调控技术，实现多原子分子高振-转激发态的高效率制备，布居转移效率大于 30%；利用电场、光场等外场调控分子碰撞过程，开展重要小分子间冷碰撞（碰撞能小于 10K）动力学研究，揭示碰撞过程的微观机制；发展外场下精确的分子间长程相互作用的计算方法以及高精度态-态分子碰撞理论，调控亚波数的精细碰撞共振态，应用于立体动力学、冷分子散射、分子精密谱等研究。

#### **5. 量子计算的实时纠错系统设计与构建。**

以实验可验证为核心导向，系统探索兼具可扩展性与比特资源高效性的量子纠错码设计及通用逻辑门构造方案，实现逻辑编码与计算性能的显著提升；研发高精度、低时延的解码算法及测控适配架构，在千级比特规模从最后一轮综合征测量到解码完成的延时不随轮数增长；优化纠错码与量子计算软硬件设计，将逻辑错误率降至  $10^{-6}$  量级；完成高质量逻辑内存上完备逻辑门集合及逻辑算法的实验验证，为通用量子计算的实用化进程奠定核心技术基础。

#### **6. 新型光钟技术。**

发展新原理光钟，寻求光钟性能的新突破点。发展高离化态离子（HCI）的量子操控与精密探测技术，系统研究 HCI 的内态跃迁、外场响应及量子相干等核心机理，突破 HCI 基态制备、量子逻辑光谱与量子态高效探测等

关键技术，实现频率不确定度达到 E-19 量级的 HCl 光钟，推动 HCl 光钟在检验精细结构常数变化、暗物质探测等新物理探索中的应用研究。发展大束流量连续超冷原子束流制备技术，研制基于连续超冷原子束的无死时间被动光钟系统，打破传统光钟系统中 Dick 噪声对光钟稳定度的限制，光钟稳定度进入 E-19 量级 @5000s；研究基于连续超冷原子束 mHz 超窄线宽跃迁的稳态超辐射激光，实现基于该机制的无死时间主动光钟系统稳定运行。

## **7. 核光钟关键技术。**

探索  $^{229}\text{Th}$  离子掺杂能力的调控机制，研究掺  $^{229}\text{Th}$  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  $^{229}\text{Th}$  氟化物晶体，晶体透过率大于 40% (1mm 厚度, @148.4 nm),  $^{229}\text{Th}$  浓度大于  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $^{229}\text{Th}$  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，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 CW 深紫外激光输出，激光线宽优于 1Hz，功率不小于 5nW。

## **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  $10^{-10} \text{ g}$  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. 量子精密重力测量技术在防震减灾中的应用。**

聚焦强震构造危险区，开展面向量子连续绝对重力观测数据的精度评估与时变重力场建模研究，研发可以融合不同原理、不同精度、不同频段观测的多源重力数据解算和融合建模技术，突破传统时变重力监测数据在分辨率、数据精度和信号解耦方面的瓶颈；在典型强震危险区开展量子绝对重力组网观测示范，研究孕育过程中的壳内介质变化和场源动力学过程，推动量子精密重力测量新技术在地震站网监测领域的实际应用。

### **11. 量子精密测量在生物医学及脑机接口等方面的应用。**

面向高端生物磁功能成像、生命健康、人工智能等方面的应用，发展极低噪声和大带宽的高灵敏度电磁融合探测技术、阵列集成与低串扰技术、生命信息模型与多模态参数分析技术、宽域电磁环境信号一致性解析技术，实现高灵敏度（亚  $\text{fT}/\text{Hz}^{1/2}$  量级）、高空间分辨（ $\text{mm}$  级）、高时间响应

(ms 级)的实用化多通道电磁融合探测系统,并实现在帕金森、癫痫、抑郁症等神经类疾病的早期诊断与治疗,以及在脑机接口方面的应用探索。

#### **四、项目遴选的基本原则**

(一) 紧密围绕核心科学问题,注重需求及应用背景约束,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并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、2026 年度资助计划**

拟资助培育项目约 18 项,直接费用资助强度约为 60 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“2027 年 1 月 1 日 - 2029 年 12 月 31 日”;拟资助重点支持项目约 8 项,直接费用资助强度约为 280 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“2027 年 1 月 1 日 - 2030 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科学技术人员不得作为申请人进行申请。

## （二）限项申请规定。

执行《2026 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、《2026 年度国家自然科学基金项目指南》和《关于 2026 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 2026 年 3 月 1 日 - 2026 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（以下简称“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 2026 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。**未按时提交项目清单的申请将不予接收。**

### 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，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交叉科学部交叉科学一处

联系电话：010-62328382

