

附件 1

“量子通信与量子计算机”国家科技重大 专项公开竞争类项目 2025 年度项目 申报指南

(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

为进一步提升我国量子科技领域的研究水平，依据“量子通信与量子计算机”国家科技重大专项实施方案，现发布本重大专项 2025 年度公开竞争类项目申报指南。

重大专项 2025 年度围绕量子通信、量子计算、量子精密测量三个领域开展研究，共部署指南方向 10 个。对由企业作为牵头单位承担项目（课题）的，应在国拨经费的基础上由企业提供不低于 1:1 的配套经费。项目统一按照指南研究方向申报。指南原则上只支持 1 项，仅在申报项目评审结果相近、技术路线明显不同时，可同时支撑 2 项，并建立动态调整机制，根据中期评估结果，再择优继续支持。

申报单位根据指南支持方向，围绕重大科学问题和关键技术进行设计。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部内容。项目执行期一般为 5 年，除特殊说明外，每个项目下设课题数不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

重大专项设立青年科学家项目，每个项目不超过 500 万元，支持青年科学家开展研究，面向量子通信、量子计算、

量子精密测量三个领域自主申报，不受指南方向限制。青年科学家项目不再下设课题，每个项目参与单位总数不超过 3 家。青年科学家项目设 1 名项目负责人，项目负责人年龄要求男性为 1990 年 1 月 1 日（35 周岁）以后出生，女性应为 1987 年 1 月 1 日（38 周岁）以后出生。团队其他参与人员年龄要求同上。

1. 量子通信

1.1 基于分组交互技术和连续变量量子纠缠的通信网络研究

研究内容：纠缠光场、光和原子节点的量子纠缠，实现高速率量子密集编码和混合型分布式量子传感网络；探索并设计有效的分组交换量子通信网络技术，实验构建分组交换量子通信网络；利用连续变量量子纠缠，制备宽带连续变量/离散变量交互的量子纠缠网络互联接口。

考核指标：设计并实验演示可扩展的基于分组交换技术的不少于三用户量子通信网络，实现可支持诱骗态 BB84-QKD、GMCS-QKD 等离散与连续变量量子通信的网络路由协议；制备带宽不低于 1 GHz 的连续变量纠缠光场，产生 100 模式复用的效率不低于 50% 的光和原子纠缠态，实现速率超过 500 Mbps 的量子密集编码，构建与经典通信网络集成与可支持波分复用信道达到 10^2 量级的量子通信网络；实现 3 个光-原子节点分布式磁场传感，量子增益不低于 5 dB。

1.2 光波导混合集成超导纳米线单光子探测技术

研究内容: 针对量子通信、量子计算等集成化与芯片化发展趋势,开展高效率单光子探测器件、波导混合集成与封装技术以及低温光电测试平台的系统化研究。优化超导纳米线量子效率、光耦合结构,降低光学损耗,提升片上探测效率;开发混合集成探测器制备工艺和自动化封装设备,实现超导材料在多种不同光波导平台上的异质集成功能和批量转移技术;研制自动化低温光电探针台和测控软件,为光量子芯片应用搭建光耦合、光操控、光探测一体化验证平台。

考核指标: 开发混合集成技术,实现超导探测器至多种光波导平台的异质集成,光波导平台类型 ≥ 3 种,包括硅、氮化硅、铌酸锂,单片集成阵列规模 ≥ 32 ;研制极限效率超导纳米线单光子探测器,并集成至光量子芯片探测端,片上探测效率 $\geq 99.9\%$,工作波长 1550 nm ;研制低温光电探针台,最低温度 $\leq 1.5\text{ K}$,光纤接口 ≥ 16 ,射频通道接口 ≥ 32 ,探针位移精度 $\leq 100\text{ nm}$;并展示在量子通信和光量子计算方面的应用。

2. 量子计算

2.1 超冷玻色气体中相互作用驱动的非平衡物理

研究内容: 基于超冷 ^{85}Rb 、 ^{133}Cs 等玻色原子气体中丰富的不同共振宽度的 Feshbach 共振,发展利用磁场和光场的快速改变相互作用的方法,达到相互作用变化的时间尺度远快于系统的特征时间的要求,实现相互作用驱动的玻色量子多体系统非平衡动力学;发展对这类原子间相互作用的空间精

准局域调控方法，结合超高分辨率的显微镜作为探测手段，局域地调控和探测这类非平衡动力学过程；发展处理玻色量子体系非平衡动力学的理论方法，揭示其中具有普适性的新物理效应。

考核指标：利用磁场调控原子间相互作用，实现磁场调控速度大于 $2\text{ G}/\mu\text{s}$ ，使原子间散射长度在短于 $10\text{ }\mu\text{s}$ 的时间从零调节至 $1000\text{ }a_0$ 左右（ a_0 为玻尔半径）；精确控制磁场的稳定性，使散射长度在零附近的不确定度小于 $0.05\text{ }a_0$ ，散射长度在 $1000\text{ }a_0$ 附近的不确定度小于 $0.5\text{ }a_0$ 。利用光场调控原子间相互作用，使散射长度调节的空间特征长度小于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 。在光晶格中同时实现相互作用的调控和单格点分辨的原位成像。和上述实验手段相结合，理论上揭示超冷玻色气体中相互作用驱动的非平衡动力学的新效应。

2.2 基于堆垛二维体系分数化和超导态的拓扑量子比特

研究内容：以二维材料的莫尔超晶格体系为基础，实验发展针对二维材料的层数制备、低损伤的图像加工、堆垛转角、垂直电场、电子填充因子等参数的精准控制；发现和确认更多的分数陈绝缘体相，并寻找具有非阿贝尔统计性质的准粒子(如仲费米子)；理论上设计切实可行的分数陈超导体或非阿贝尔准粒子构筑方案。实验上构筑出有效耦合的超导/分数陈绝缘体复合体系，利用多种输运及谱学等手段来验证和探究非阿贝尔准粒子的基本特征信号与现象，进而构筑基于分数陈绝缘体体系的拓扑量子比特原型器件。

考核指标：通过制备 $>100\text{ }\mu\text{m}^2$ 面积范围的高贴合度（气

泡 $<100\text{ nm}^2$)、均匀转角堆垛(精度 $<0.1^\circ$)及高击穿电场($>1\text{ V/nm}$)的二维材料莫尔样品。确认不同陈数的分数陈绝缘体态,观测到分数化的霍尔平台及关联能隙($>1\text{ meV}$)。利用平均场、2D 玻色化、数值精确对角化等方法,构建切实可行的分数陈绝缘体/超导体复合结构。实验验证一种该复合体系,并能清晰区分超导近邻耦合导致的能隙打开($\Delta>100\text{ }\mu\text{eV}$)与分数陈绝缘体的本征关联能隙。设计和制备出量子点接触和 Fabry-Pérot 干涉仪器件,通过量子输运、量子散粒噪声及局域电子态能谱等测量验证其准粒子分数激发、非阿贝尔编织相位、分数化量子电导平台及 $>\mu\text{s}$ 级退相干时间,演示原型拓扑量子比特。

2.3 量子纠错码与量子计算算法的优化研究

研究内容: 研究资源效率型纠错码,降低物理量子比特需求,优化纠错算法,提升可扩展性和实时性;研究密码分析高效量子算法;针对 Non-Clifford 门同态评估的噪声抑制难题,设计经典-量子混合计算架构,实现低复杂度同态电路;优化大整数求和的量子资源消耗模型,创新多参与方集合运算协议,探索通用量子电路多方计算的可证明安全理论。

考核指标: 通过优化纠错码的编码、操控和解码等,相对表面码降低至少 30%资源消耗,相对完美匹配算法提升至少 50 倍解码速度;密码分析算法计算 48 比特及以上的密文时所需量子比特数相较于传统的量子计算算法减少 85%以上;量子同态加密技术能够防御量子选择明文攻击和量子选择密文攻击等,所需的量子比特数量低于 1000 bit,加解密

复杂度降低至 $O(n)$ 及以下，其中 n 是量子线路中量子门的数量；基于量子傅里叶变换的量子安全多方计算系统的 64 比特和 128 比特大整数求和的量子资源消耗下降 50% 以上，支持至少 5 个参与方的量子隐私集合求交协议，支持量子叠加态输入和输出，对于 n 个参与方达到通信复杂度 $O(n)$ 。

3.1 基于高精度时频信号的厘米级高程基准研究

研究内容：基于稳定度 $2E-18$ 的光钟和高精度时频传递，开展 GNSS 参考网载波相位时频传递测定重力位和海拔高的理论和应用研究，建立厘米级误差改正模型，精确提取重力频移信号；发展光纤光钟频率信号传递测定重力位差的研究，建立精确到厘米级的光纤时频传递测定重力位和海拔高的模型；融合时频法测位技术和高精度重力场模型，为建立厘米级精度国家高程基准提供全新的技术手段。

考核指标：GNSS 光钟时频测位达到 10 厘米水平；光纤光钟时频比对测定海拔高精度达到厘米级，在部分区域开展现场实验研究，时频比对技术测定重力位和海拔高的精度优于 5 厘米，为实现厘米级精度国家高程基准统一提供支撑；研制数据处理软件一套，其功能包括 GNSS 接收机硬件延迟在线标定、GNSS 光钟载波相位时频比对、光纤光钟时频传递测定重力位和海拔高以及精度评估。

3.2 限域体系量子相干态的高时空分辨精密测量

研究内容：发展对限域体系量子相干态的高精度时空间分辨谱学表征技术，系统研究限域体系中量子态退相干、相干输运，确定相关的谱学特征描述符；发展单量子点层面的

超快旋光探测方法，进行单量子点自旋的光学相干操控；探索不同限域体系量子相干态在噪声环境下的保持策略。

考核指标：发展并实现 $<10\text{ fs}$ 时间分辨，相位稳定性优于 $1/300$ 光学周期， 100 KHz 光谱采样频率，误差 $\Delta\text{OD}<10^{-6}$ 的超快相干显微光谱学表征技术，空间分辨优于 $1\text{ }\mu\text{m}$ ；发展并实现时间分辨率 200 fs ，空间分辨精度 50 nm ，能量分辨率优于 5 meV 的时空分辨谱学技术，精准表征限域体系载流子相干输运；发展并实现超快旋光探测达到单量子点灵敏度，时间分辨优于 300 fs ，自旋量子态旋转角度超过 180 度。在限域体系中，通过调控手段，将退相干速率降低 3 个数量级，建立环境对退相干的调控机制；探索量子相干的功能化。

3.3 基于原子系综的贝叶斯量子传感研究

研究内容：利用贝叶斯量子估计，设计对噪声具有鲁棒性的原子钟锁定方案，实现冷原子 CPT 钟的闭环锁定；利用贝叶斯量子估计和贝叶斯优化，提升冷原子标量磁场测量的灵敏度和动态范围，改进地磁环境下热原子矢量磁场测量的稳定性和灵敏度；建立核磁共振陀螺的微观量子模型并进行实验验证，基于贝叶斯推理发展高稳定度核磁共振陀螺系统；探索基于贝叶斯估计的冷原子重力梯度仪新模式。

考核指标：发展对噪声具有鲁棒性的贝叶斯量子传感方案，应用于冷原子 CPT 钟、弱磁场测量与核磁共振陀螺系统；实现冷原子 CPT 钟的闭环锁定，稳定度优于 $3\text{E-}12/\tau^{(1/2)}$ ($1\text{ s}\leq\tau\leq1000\text{ s}$)，研制小型化冷原子 CPT 钟；冷原子标量磁场测量的灵敏度优于 $5\text{ pT/Hz}^{(1/2)}$ 、动态范围大于 150 nT ，地磁

环境下热原子矢量磁场测量的灵敏度优于 $8 \text{ pT/Hz}^{(1/2)}$ 、长期稳定度优于 $90 \text{ pT}@100\text{s}$ ；建立核磁共振陀螺系统的微观量子模型，实现零偏不稳定性达到 $0.01^\circ/\text{hr}$ 的核磁共振陀螺系统。

3.4. 全固态核自旋量子操控与精密测量

研究内容：研发面向自旋调控的无应力半导体量子点外延生长工艺；发展外延量子点中核自旋量子控制和量子测量理论与方法；利用光探测磁共振对低维半导体材料的原子核进行同位素组分测定和超精细耦合常数测量；发展金刚石中核自旋的读取操控技术和基于核自旋的传感应用技术；利用金刚石中多核操控进行自旋磁子探测。

考核指标：量子点精细结构劈裂小于 $3 \text{ } \mu\text{eV}$ ，发射波长匹配 87Rb 的 D2 (780 nm) 跃迁线；利用光探测磁共振谱实现外延量子点中原子核同位素组分测定和超精细耦合常数测量，同位素丰度检测偏差 $<2\%$ ，超精细耦合常数测量偏差 $<3\%$ ；金刚石可单独初始化、同时读出超过 3 个核自旋的量子态；利用金刚石多原子核和电子探测低维结构和二维材料中的单个自旋磁子，位置精度 $<1 \text{ nm}$ ，空间角 $<10^\circ$ 。

3.5. 基于量子光源驱动的爱秒脉冲测量与调控

研究内容：围绕强场量子光学领域的关键科学问题，聚焦高次谐波产生过程中的量子光学现象研究，发展适用于紫外、极紫外与太赫兹波段量子特性测量与调控的先进技术。重点开展面向高次谐波与阿秒脉冲的量子层析测量方法研

究，建立高保真度的量子态表征平台。探索基于经典相干光，强压缩真空态及其他量子光源驱动的高次谐波产生机制，实验产生极紫外与太赫兹波段的压缩态与纠缠态新型量子光源。系统研究强场光-物质相互作用中出现的量子现象，构建量子光源驱动下高次谐波选择定则的理论体系，推动阿秒量子光学，下一代量子信息技术以及高分辨率超快精密测量的发展。

考核指标：建立适用于极紫外及太赫兹频段高次谐波与阿秒脉冲（脉冲宽度 <700 阿秒）的量子层析测量平台，实现量子态重构保真度大于 50%；在极紫外高次谐波（ <50 nm 波段）与太赫兹频段实现非高斯态等量子态的产生，压缩度大于 2 dB；利用强压缩真空态光源驱动，实现高次谐波截止频率相比经典相干光泵浦提升超过 50%；实验观测高次谐波过程中不同阶次谐波之间，不同频谱区间（真空紫外/极紫外）之间的量子关联特性；利用晶体的电子结构、电子多体关联效应以及晶体对称性实现对高次谐波量子特性的有效调控。