

## 附件 3

# 山东省自然科学基金量子科学研究联合基金项目指南

山东省自然科学基金量子科学研究联合基金（简称“量子科学联合基金”）由山东省科学技术厅与济南市科学技术局、济南高新技术产业开发区管理委员会共同设立。

量子科学联合基金围绕量子保密技术、关键核心器件、量子技术标准等方向，开展若干量子技术研究，实现关键技术重要突破，获得核心自主知识产权研究成果，支撑量子科技产业加速发展。项目指南共设置 12 个研究方向，拟通过“重点支持项目”和“培育项目”予以支持，其中重点支持项目设置 8 个研究方向，经费支持额度一般不超过 100 万/项，资助期限为 3 年；培育项目设置 4 个研究方向，经费支持额度一般不超过 15 万/项，资助期限为 2 年。按照指南设置的研究方向组织项目申报，各研究方向拟支持课题数一般不超过 2 项，允许联合申报。

## 一、主要研究方向

### （一）重点支持项目

#### 1. 器件无关量子随机数产生系统关键技术研究

研究内容：研制高效率、高保真度极化纠缠源；发展高速率、低损耗的单光子调制技术；搭建电磁屏蔽室内的器件无关量子随机数产生器；结合互联网应用，搭建器件无关量子随机数演示服务平台，提供器件无关量子随机数服务。

考核指标：整体纠缠源系统效率 $\geq 80\%$ （包括纠缠源收集效率，链路损耗和单光子探测效率），纠缠态保真度 $\geq 99\%$ ；实现重复频率为 500KHz、损耗 $\leq 2\%$ 的单光子调制技术；电磁屏蔽室屏蔽波长范围：10kHz-40GHz， $>70\text{dB}$ ，器件无关量子随机数的产生率 $\geq 500\text{ bits/s}$ ；通过网页获取系统产生的器件无关量子随机数。

## 2. 基于周期极化铌酸锂薄膜脊型波导的单光子探测器研究

研究内容：研制高性能铌酸锂单晶薄膜，并实现铌酸锂单晶薄膜的周期极化；基于周期极化铌酸锂单晶薄膜研制用于和频的脊型波导；基于周期极化铌酸锂薄膜脊型波导研制频率上转换单光子探测器。

考核指标：铌酸锂单晶薄膜的厚度 400 nm-1000 nm，总厚度变化 TTV $\leq 50\text{ nm}$ ，表面粗糙度 Ra $\leq 0.6\text{nm}$ ；周期极化铌酸锂薄膜波导的极化占空比 50% $\pm 10\%$ ，在 1550nm 波段的传输损耗 $\leq 0.1\text{dB/cm}$ ，单端耦合损耗 $\leq 5\text{dB}$ ；上转换单光子探测器的探测效率 $\geq 10\%$ ，噪声 $\leq 500\text{Hz}$ 。

## 3. 量子通信光源现实安全性研究

研究内容：研究量子密钥分发光源安全模型，分析现实条件下量子密钥分发光源潜在的安全威胁；开展针对光源的量子黑客攻击的研究，深入剖析其物理原理和方案步骤；发展攻击可行性测试方案，探索实现现实攻击的技术要求；研究光源端防护量子黑客攻击的技术要求与有效方案。

考核指标：建立量子密钥分发光源现实安全性体系，完

成种子光攻击、注入锁定攻击等 2 项以上针对光源的最新量子黑客攻击技术实验测试与防护方案验证；测试功率范围覆盖-50dBm~-10dBm，攻击导致功率变化量>0.1dB；测试波长范围不低于 0.2nm，攻击导致波长改变量>2pm。

#### 4. 量子成像用大口径周期极化铌酸锂晶体研究

研究内容：开展大通光口径周期极化铌酸锂晶体研制和厚片铌酸锂铁电畴反转动力学研究；研究晶体铁电畴反转造成的内部应力对非线性光学性能的影响。

考核指标：周期大于 25  $\mu\text{m}$  周期极化铌酸锂晶体，厚度 $\geq 2\text{mm}$ ，占空比优于 43%。周期 15-20  $\mu\text{m}$  周期极化铌酸锂晶体，厚度 $\geq 1.5\text{mm}$ ，占空比优于 40%；基于 PPLN 的非线性光学转换斜效率 $\geq 20\%$ 。

#### 5. 用于光子纠缠源的 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 薄膜及波导制备研究

研究内容：高性能 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 薄膜制备工艺研究及其性能测试；基于干法刻蚀的高精度 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 波导结构制备研究；低损耗、高 Q 值的 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 微环谐振腔设计与制备。

考核指标：制备出形貌、尺寸可控的 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 波导结构和低损耗高 Q 值的 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 微环谐振腔：Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 薄膜表面粗糙度  $R_a \leq 0.4\text{nm}$ ；Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 波导加工精度优于  $\pm 20\text{nm}$ ，表面粗糙度  $R_a \leq 1.5\text{nm}$ ；共振线宽优于 35pm(@1550nm)，通光损耗低于 1dB/cm，微环谐振腔 Q 值 $\geq 1 \times 10^5$ 。

#### 6. 面向量子信息的 MEMS 核心传感器件和材料研究

研究内容：开展机电耦合 MEMS 材料及器件在量子信息领域的基础和前瞻性共性技术研究；研究微悬臂梁谐振生化传

感器的环境频率响应特征及损耗机制的量子特征；研究光学谐振结构对微悬臂梁的非线性模态耦合特性的影响机制并进行实验验证。

考核指标：构建面向量子信息的高灵敏度 MEMS 谐振传感系统；开发不少于 2 种基于模态耦合的谐振激发和检测方法，实现光子响应度的大幅度提升，谐振器品质因子优于  $10^4$ ，噪声等效功率优于  $10^{-8} \text{ W/Hz}^{-1/2}$ 。

## 7. 面向网络的量子信息技术标准化研究

研究内容：开展面向网络的量子信息技术标准化预研工作，研究量子保密通信网络的术语定义、新型应用场景、协议与传输技术等技术标准；研究面向量子信息网络长期演进的量子时频同步、量子云计算、量子传感网等技术标准；开展量子密钥分发网络的网络架构、应用接口、密钥管理等技术标准化工作。

考核指标：完成面向网络的量子信息技术标准体系框架，形成标准化工作路线图；在量子信息网络领域，完成不少于 2 项行业标准草案，向国际标准组织输出不少于 5 篇技术提案。

## 8. 面向量子雷达应用的相干态量子光源的研究

研究内容：研制特种光纤光栅的制作工艺，研究功率、噪声等关键性能与相移光栅结构参数的关系，构建可稳定单模工作的低噪声分布反馈谐振腔结构窄线宽光纤激光光源；根据量子雷达、通讯等具体要求，研究分布反馈谐振腔封装工艺，研究相移光栅的保偏输出尾纤熔接工艺，优化保偏输

出窄线宽激光器参数，研制对外界环境噪音不敏感的单模和保偏输出窄线宽相干态量子光源。

考核指标：相干光源的输出功率大于 10 mW，线宽小于 1 kHz，偏振度优于 20 dB，RIN 噪声优于-120 dB。

## (二) 培育项目

### 9. 抗量子计算的公钥密码体系的设计与分析

研究内容：针对抗量子计算攻击的公钥密码体系，包括公钥加密（密钥封装）、数字签名、认证密钥交换协议等，研究量子计算环境下的公钥密码方案的设计方法、分析理论以及量子计算环境下的可证明安全技术。

考核指标：研发抗量子计算攻击的公钥密码系统，具有量子计算环境下的可证明安全性（如量子随机预言），至少达到 128 bit 量子安全性；加密和密钥封装的公钥+密文 <1.2K bit，时间 <20 $\mu$ s；签名 <2K bit，签名与验证时间 <0.6 ms；认证密钥交换协议通信量 <2K bit，时间 <40 $\mu$ s。

### 10. 多光子干涉度量技术研究

研究内容：多维、高品质光子纠缠源制备及优化；发展基于多光子干涉原理的光量子度量技术；构建可扩展的、高效率的光学量子计算平台；实现光量子计算方案的演示与验证。

考核指标：研究制备多维 ( $d \geq 3$ )、高品质（保真度 >80%，对比度 >90%，总收集效率 >90%）光子纠缠源；发展纠缠相干保护与优化技术，实现基于多光子纠缠的精密测量，空间测量精度达到 pm，时间测量精度达到 fs；实现可扩展的、

高效率的多比特（比特数 $\geq 12$ ）线性光学量子计算平台；至少演示 1 种量子计算领域的重要算法。

### 11. 量子热力学中的量子效应研究

研究内容：研究量子效应对热力学定律的影响，探索量子尺度下新的热力学性质；研究量子效应对热量传输的影响，及对热机或制冷机效率的提升，揭示其中的物理机制和量子优势。

考核指标：针对 1 种以上已有热力学定律，研究 2 种以上量子效应对其影响，阐述该量子效应下热力学定律的新的描述，或发现新的热力学性质；利用量子效应实现热流方向的反转，热流大小 $\geq 1.5$  倍的放大或抑制，热机或制冷机效率 $\geq 1.2$  倍的提升，明确其中的物理机制和量子优势。

### 12. 针对音视频数据安全的量子保密通信技术标准化研究

研究内容：开展针对音视频数据安全的量子保密通信技术的测试、测量、评估术语和定义的标准化研究；开展音视频数据量子保密通信的硬件及体系结构、音视频数据量子保密通信算法、软件、测试及测量应用等标准化预研工作；开展音视频数据量子保密通信应用场景和需求、网络架构、系统测试评估方法及关键指标等标准化预研工作。

考核指标：完成音视频数据量子保密通信的测试、测量及评估标准体系，形成针对音视频数据安全的量子保密通信的标准化工作路线图；在音视频数据量子保密通信领域，完成 1 项国家标准立项申报、完成 2 项标准项目草案、发布 3

项以上标准化预研课题报告。

## 二、申报要求及注意事项

1. 本联合基金面向全省发布，重点支持 40 周岁以下青年科研人员按照本指南范围和要求提出申请。对于合作申请的研究项目，应在申请书中明确合作各方的合作内容、主要分工、任务目标等。

2. 申请人应当严格按照《山东省自然科学基金项目资助经费管理办法》的要求，科学合理编报项目资金预算。

3. 资助项目在执行期间取得的研究成果，包括发表论文、专著、专利、奖励等，必须标注“山东省自然科学基金量子科学研究联合基金”资助。

## 三、联系方式

山东省自然科学基金委办公室

联系电话：0531-66777204

济南市科技局基础研究处

联系电话：0531-66608810

济南高新区量子谷发展中心

联系电话：0531-89017860