

“量子调控与量子信息”重点专项 2018 年度项目申报指南

“量子调控与量子信息”重点专项的总体目标是瞄准我国未来信息技术和社会发展的重大需求，围绕量子调控与量子信息领域的重大科学问题和瓶颈技术，开展基础性、战略性和前瞻性探索研究和关键技术攻关，产生一批原创性的具有重要意义和重要国际影响的研究成果，并在若干方面将研究成果转化为可预期的具有市场价值的产品，为我国在未来的国际战略竞争中抢占核心技术的制高点打下坚实基础。

本专项鼓励和倡导原始创新，并积极推动应用研究，力争在新原理原型器件等方面取得突破，向功能化集成和实用化方向推进。量子调控研究的目标是认识和了解量子世界的基本现象和规律，通过开发新材料、构筑新结构、发现新物态以及施加外场等手段对量子过程进行调控和开发，在关联电子体系、小量子体系、人工带隙体系等重要研究方向上建立突破经典调控极限的全新量子调控技术。量子信息研究的目标是在量子通信的核心技术、材料、器件、工艺等方面突破一系列关键瓶颈，初步具备构建空地一体广域量子通信网络的能力，实现量子相干和量子纠缠的长时

间保持和高精度操纵，实现可扩展的量子信息处理，并应用于大尺度的量子计算和量子模拟以及量子精密测量。

“量子调控与量子信息”重点专项将部署 6 个方面的研究任务：1.关联电子体系；2.小量子体系；3.人工带隙体系；4.量子通信；5.量子计算与模拟；6.量子精密测量。

2016-2017 年，量子调控与量子信息重点专项围绕以上主要任务，共立项支持 55 个研究项目（其中青年科学家项目 16 项）。根据专项实施方案和“十三五”期间有关部署，2018 年，量子调控与量子信息重点专项将围绕关联电子体系、小量子体系、人工带隙体系、量子通信、量子计算与模拟以及量子精密测量等方面继续部署项目，拟优先支持 12 个研究方向，同一指南方向下，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，可同时支持 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。国拨总经费 3 亿元（其中，拟支持青年科学家项目不超过 10 个，国拨总经费不超过 5000 万元）。

申报单位根据指南支持方向，面向解决重大科学问题和突破关键技术进行一体化设计。鼓励围绕一个重大科学问题或重要应用目标，从基础研究到应用研究全链条组织项目。鼓励依托国家重点实验室等重要科研基地组织项目。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部考核指标。

项目执行期一般为 5 年。一般项目下设课题数原则上不超过

4 个，每个项目所含单位数控制在 4 个以内。

青年科学家项目可参考指南支持方向组织项目申报，但不受研究内容和考核指标限制。

1. 关联电子体系

1.1 拓扑超导等关联体系的量子态

研究内容：拓扑超导等新型关联体系的新奇量子态与相变，及量子态的多场调控。

考核指标：发现一种新的拓扑超导材料；利用界面工程构筑二维拓扑超导等新型关联体系；建立极端条件下硬点接触和栅极调控等实验技术，在非超导的关联体系中调制出拓扑超导等非常规超导特性；揭示拓扑超导、高温超导等关联体系的新奇的量子相变特性，如量子格里菲斯（Griffith）奇异性；构筑小量子极限的高质量拓扑关联体系，揭示离散标度不变性、对数量子振荡等新奇量子有序态与量子规律。

1.2 综合极端条件下的新型关联电子体系

研究内容：综合极端条件下新型关联电子材料体系的制备，奇异的量子演生现象和物性的多场调控。

考核指标：揭示综合极端条件导致的新奇量子演生现象；建立综合极端条件下的新材料制备和表征技术，在 10 GPa 下合成出大于 10 mm³ 的大体积单晶，以及在大于 1 mm³ 的空间范围实现 15 GPa 静水压下的综合物性调控；构筑面向应用的磁-电耦合新

材料体系；制备新型的高轨道关联电子体系，阐明由强自旋-轨道耦合造成的新奇量子效应和调控规律，建立系统的构效关系。

2. 小量子体系

2.1 新型二维量子功能材料和器件

研究内容：二维原子晶体等原子/分子尺度新型量子功能材料的设计、可控生长、表征和功能调控，及原型量子器件的构建。

考核指标：建立量子材料构效关系新理论，设计数种具有新奇特性的二维原子晶体材料；建立高精度显微结构表征技术及局域谱学物性测量技术，实现毫电子伏能量分辨率上对量子材料的化学键合、电子结构、自旋、磁相互作用等的实验测量；构筑基于新型量子材料的原型量子器件。

2.2 高压下的多尺度小量子复合体系

研究内容：多尺度小量子复合体系的压致新结构、相变、量子效应，及量子限域体系界面的高压调控。

考核指标：建立百万大气压以上磁化率和低温红外高压原位调控技术，及 15 GPa、2000 °C 以上厘米级大腔体的制备技术；阐明高压下的结构变化规律，揭示压致相变、压致量子新效应及其机制；获得高压下转变温度超过百 K 的超导材料，韧性接近金属、硬度与单晶金刚石相比拟的厘米级纳米结构超硬块材；实现纳米尺度小量子复合体系的致密化、块材化，构筑宽温区和高性能热电原型器件。

2.3 分子体系磁性量子材料及器件

研究内容：分子和离子体系磁性量子材料及器件的可控制备，量子态和性能调控。

考核指标：建立新型分子体系磁性量子材料的可控制备和调控技术，揭示材料结构与功能的关系和调控机理；获得二种以上新型分子体系磁性材料和磁结构；阐明离子、分子及分子聚集体系自旋效应，建立相应的表征技术和评价方法；构筑高密度、低能耗磁分子自旋电子存储器件。

2.4 量子结构及量子效应器件

研究内容：量子结构和量子材料及其异质结构的输运特性，以及基于量子效应的功能器件。

考核指标：揭示量子结构和量子材料及其异质结构的新量子态，载流子及自旋输运特性；建立量子结构和量子材料中新量子态和输运特性的表征技术，以及多场调控技术；制备出具有新奇量子效应的功能结构和新材料；构筑具有新量子效应的原型器件，并实现新型器件的功能演示。

3. 人工带隙体系

3.1 基于人工微结构的中红外光电耦合

研究内容：表面等离子激元结构和超构材料等人工微结构对中红外光电耦合的调控机理，及集成的高灵敏中红外探测器的研制。

考核指标：阐明人工微结构对中红外光电耦合的调控、光电

转换增强与背景噪声抑制机理；构筑人工微结构与中红外半导体材料的集成结构；获得高品质中红外雪崩单光子探测材料，其暗电流比传统材料低一个量级（ $\leq 50 \text{ A/cm}^2$ ）、雪崩增益提高一个量级（增益 ≥ 100 ）；实现人工微结构集成的中红外雪崩探测原型器件及焦平面阵列（芯片规模 $\geq 64 \times 64$ ）。

3.2 新型超快光场的相干调控

研究内容：光子与微纳结构量子态的耦合效应，及新型超快光场的相干调控。

考核指标：建立超快相干光场的兆赫兹高速调制技术，及从紫外到近红外宽波段、百兆赫兹的超快光场相干调制技术；实现微纳结构超快调制光场作用下电子态的阿秒时间演化过程测量与控制；揭示超快调制光场与微纳结构量子态耦合新效应以及电子关联；实现基于微腔中激子极化激元玻色-爱因斯坦凝聚态的极低阈值电泵浦激射。

4. 量子通信

4.1 基于高速编码和芯片化集成的城域量子保密通信关键技术研究

研究内容：高速、高成码率、适应强干扰的量子密钥分发系统的实现技术，以及芯片化集成的量子密钥发射和接收系统研究。

考核指标：量子密钥分发系统工作频率 $\geq 5\text{GHz}$ ，成码率 $\geq 3\text{Mbps}$ （50km 标准通信光纤），系统误码变化量 $\leq 2\%$ （信道随机

扰动 $1\text{Hz}\sim 100\text{Hz}$), 执行密钥分发的时间占空比不低于 90%; 免误码监测系统工作频率 $\geq 2\text{GHz}$, 误码 $\geq 15\%$ (50km 标准通信光纤) 时仍能生成安全密钥; 研制可支持动态功能配置、高速单元结构切换的片上系统, 实现 $\geq 1.25\text{GHz}$ 量子密钥分发 (QKD) 系统的诱骗态调制、编码调制、窄线宽滤波、低损耗接收、阵列化探测功能, 成码率 $\geq 500\text{Kbps}$ (20km 标准通信光纤)。

5. 量子计算与模拟、量子精密测量

5.1 异核量子简并混合气体多体效应研究

研究内容: 在异核量子简并混合气体中制备并研究双超流、超固体等新奇量子物态及模拟极化子、近藤效应等多体效应。

考核指标: 实现双超流中量子涡旋晶格的原位观测, 探测量子涡旋的非平衡动力学行为; 制备碱金属与碱土、镧系磁性金属的量子简并混合气体, 观测费希巴赫 (Feshbach) 谱中的量子混沌现象, 实现超固体、电荷密度波等奇异量子相; 在含玻色原子的双简并量子气体中实现强相互作用的玻色极化子, 探测其准粒子的性质和叶菲莫夫 (Efimov) 束缚态对极化子的影响; 在异核量子简并混合气中, 实现安德森局域化、近藤效应和近藤晶格, 观测量子临界点行为, 模拟重费米气等多体量子效应。

5.2 基于金刚石色心的量子相干控制及应用

研究内容: 基于金刚石色心自旋的量子调控及其在量子计算与量子精密测量中的应用。

考核指标: 实现金刚石色心体系 8-16 个量子比特的相干操控和量子纠缠, 量子比特相干存贮时间 ≥ 1 秒, 量子纠缠存贮时间 ≥ 100 毫秒, 普适量子逻辑门保真度 $\geq 99.9\%$, 单比特量子逻辑门保真度 $\geq 99.99\%$; 验证量子指数加速, 实现对拓扑材料、复杂分子等量子物理及量子化学的实验量子模拟; 实现单分子磁共振谱学, 空间分辨率优于 1 纳米、灵敏度优于 1 皮特斯拉*赫兹 $^{-1/2}$, 实现低维量子材料的原子尺度磁共振成像, 分辨率达到 1 个玻尔磁子。

5.3 量子程序设计理论、方法与工具

研究内容: 能够充分发挥量子计算特有优势的量子程序设计模型、理论和方法, 并开发相应的工具, 以及机器学习的量子算法及其应用。

考核指标: 系统地建立量子程序设计(包括并行与分布式)理论; 实现一个量子程序设计环境(包括程序设计语言、编译系统及程序分析、验证工具), 在一些方面优于国外已有的工具, 适用于国内的量子计算机; 实现一个量子电路模拟工具, 可在超级计算机上模拟 46 个量子比特, 应用于国内量子芯片设计; 研究私密保护的数据分析量子算法、多体(物理、化学)系统模拟量子算法, 使国内的量子计算机在这些领域得到实际应用。