

2026 年度广东省量子科学战略专项指南

“广东省量子科学战略专项”的总体目标是瞄准量子科学前沿和国家重大战略需求，以量子基础科学研究为核心，以量子技术应用为牵引，抢占国际技术制高点，探索“一国两制”下的科教创新发展模式，推进粤港澳优势资源深度融合，支撑粤港澳大湾区高水平人才高地建设，打造量子科技国家战略力量。

本专项依据国家和省有关科技发展规划，着力突破量子前沿科学和关键核心技术，鼓励和倡导原始创新。专项在量子物态与新量子效应、量子计算、量子精密测量和量子传感以及其他等四个专题领域部署研究任务。重点支持粤港澳大湾区内高水平高校、科研机构、企业作为牵头单位，围绕一个指南方向聚焦关键研究内容及指标进行申报。

本次指南分为重大、重点和一般类项目，重大类项目资助强度约为 800 万-1000 万元/项，项目执行期为 5 年。重点类项目资助强度约为 200 万元/项，一般类项目资助强度不超过 50 万元/项，项目执行期均为 3 年。

专题一：量子物态与新量子效应

重大项目（共两项）

A-1 指南名称：低维非常规超导量子材料与器件的构筑

研究内容：

发展低维非常规超导量子材料与器件，聚焦范德瓦尔斯超晶格、铜基/镍基氧化物、二硫族化合物及笼目超导等体系，利用几何图神经网络等 AI 模型，精准预测新型超导材料结构与生长参数，指导助熔剂法、分子束外延等技术制备高质量单晶与薄膜。探索有限动量配对、手性超导等新奇物态，并系统调控高上临界场干净极限超导体、插层超晶格及拓扑超导薄膜的物性。通过跨尺度表征与极低温输运测量，阐明维度、界面及多外场下的超导机制与竞争序演化。实现原子级精确的物态调控，并研制出超导纳米环、约瑟夫森结及一维量子器件，为拓扑量子计算等应用奠定基础。

考核指标：

构建 AI 模型库，包含至少 4 类模型的超导材料人工智能设计平台，实现对至少 20 种新型超导材料的晶体结构与超导特性预测。千次采样新材料新颖性 $\geq 99.2\%$ ，万次采样新颖性 $\geq 95\%$ ；生成结构的热力学稳定比率 $\geq 90\%$ ；晶体结构预测的结构匹配度 ($\text{RMSD} < 0.1 \text{ \AA}$) $\geq 95\%$ 。制备多种新型范德瓦尔斯超晶格与异质结，至少在一种超晶格块材中实现临界磁场超过 5 倍泡利极限，并实现有限动量配对或手性超导等非常规态的表征。在拓扑超导方面，制备 1-2 种新型薄膜，实现单分子层厚度与毫米级尺寸的可控制备，并构筑线

宽 ≥ 100 nm 的 5 个以上一维量子器件，获得量子化电导等关键证据。在干净极限超导体方面，获得高迁移率单晶（ $RRR > 50$ ，量子迁移率 > 3500 cm^2/Vs ），实现零温下上临界场各向异性比 $\gamma H > 50$ 。

A-2 指南名称：非常规磁体的设计、表征与器件

研究内容：

聚焦非常规磁体的设计、表征与器件应用，通过综合空间群与自旋空间群理论、量子材料模拟算法、人工智能和高通量筛选等关键技术，构建理论-计算-实验-数据深度融合的研究体系。发展量子材料性能预测的软件集成平台，建设人工智能赋能的材料筛选系统，探索和发现非常规磁性及反常电-热输运等新材料体系。完善自旋空间群理论，构建量子材料磁性构型的数据库；开展 AI+输运性能预测和材料智能设计，开展二维磁性材料的自旋极化量子态探索与调控，开发自旋存储和逻辑原型器件。围绕交错磁体，研究拓扑磁子物态与非线性动力学调控，开展超快光激发与弛豫动力学研究，探索基于多卡效应的固态热管理器件原理，构建融合物理先验知识的小样本磁性预测方法，实现量子磁性材料的按需定制生成。

考核指标：

完善自旋空间群理论体系设计不少于 4 种磁性新体系；支持 4 组元及以上体系 10^4 智能筛选计算样品量 $\geq 2 \times 10^6$ ；获得 6 类以上新型量子材料；实验验证自旋存储和逻辑原型器件；制备磁振子输运器件原型，实现磁振子各向异性输运

与耦合效应的观测；设计磁子结等自旋电子器件原型，探索低功耗量子器件的实际应用潜力。

重点项目（共两项）

A-3 指南名称：AI 驱动的量子材料探索、可控制备与多维度表征

研究内容：

构建 AI 驱动的量子材料全链条研究范式，利用人工智能与自动化技术，构建二维材料及单晶生长的智能闭环体系，研发物理约束的晶体生长智能 Agent。发展综合极端条件表征技术，例如高压、强磁场、极低温环境下的原位中子衍射与非线性输运协同测量技术。重点研究多场调控下的晶体/磁结构演化、量子几何效应及其对宏观物性的调控机制。通过高通量制备与多维度表征数据的深度融合，建立材料生长与物性数据库，加速新奇量子物态的发现与原型器件的研发。

考核指标：

构建 AI 驱动的材料生长自动化闭环系统，突破 4 英寸级高质量单晶与对称性破缺二维量子材料的自动化、可预测制备技术，可执行度 $\geq 90\%$ ，建立包含 1 万条以上数据的材料生长与物性数据库。实现对于量子材料的综合极端条件（静水压 ≥ 20 GPa、磁场 ≥ 14 T、温度 ≤ 50 mK）原位中子衍射与非线性输运协同测量。

A-4 指南名称：二维莫尔材料量子反常霍尔效应研究

研究内容：

聚焦于二维莫尔超晶格体系中的量子反常霍尔效应及

其相关新奇物理效应，构建人工智能驱动的智能表征与精准堆垛工程平台，利用极低温电输运测量与先进光学表征技术系统研究转角角度、多场调控对整数及分数量子反常霍尔效应的影响，探索其与维格纳晶体态的竞争机制及隐藏量子态。结合量子几何理论框架，揭示贝里曲率、量子度规等几何量在量子反常霍尔效应、非线性输运及量子噪声中的微观机制，阐明拓扑、磁性与强关联的协同作用。

考核指标：建成数智驱动的低维材料异质结制备平台，实现转角误差 $\leq 0.1^\circ$ 的精准堆垛；制备出接触电阻 $< 10\text{ k}\Omega$ 的高质量 MoTe_2 莫尔超晶格器件。搭建极低温 ($< 20\text{ mK}$) 电输运与光学协同测量系统，实现分数霍尔电阻 $> 95\%$ 量子化，并在转角 MoTe_2 以外的新体系中观测到量子反常霍尔效应。建立相关量子几何理论，提出 2 种以上可实验检验的新奇物理效应判据。

一般项目：

鼓励围绕量子物态前沿科学问题中的关键物理机制与器件实现，开展低功耗拓扑量子器件的设计与构筑，探索基于量子几何框架的新奇物理效应及其调控规律，开展量子自旋超快表征、铁电序演化与拓扑声子的多维耦合、笼目结构中自旋阻错与量子自旋液体等研究，推动量子物态基础研究与新型功能量子器件的协同突破。

专题二：量子计算

重大项目（共 7 项）

B-1 指南名称：面向固态量子计算的量子人工智能(QAI)算法及应用研究

研究内容：

面向固态量子计算平台，研究人工智能对量子计算关键技术环节的优化，构建 QAI 辅助量子计算的方案与算法体系，实现对器件设计、反馈控制、测量及纠错的优化，并探索量子电路与学习网络相结合的新范式。利用量子-经典混合架构优化算法及量子机器学习与量子强化学习算法，对实验控制与测量过程进行智能优化，实现噪声抑制与误差校正。

考核指标：

设计芯片实现多量子比特（或等效玻色编码）闭环反馈纠错优化算法；提出基于现有固态电路进行量子模拟的新算法；开发基于生成式模型与强化学习的量子线路编译框架，实现将高级量子算法或目标酉矩阵高效分解并编译为符合特定硬件约束的量子门线路；开发面向量子纠错任务的 AI 解码器，攻克表面码解码器随码距增大时的可扩展性难题；研发出基于生成对抗网络（GAN）或扩散模型的量子生成式 AI。提出基于量子电路构建神经网络实现 QAI 新方案，在组合优化、蛋白质分子对接等问题上实现对 AI 算法的加速。

B-2 指南名称：容错量子计算研究

研究内容：

面向拓扑量子计算，研究马约拉纳零能模器件的表征和

测控；面向高性能容错量子计算系统，围绕量子纠错编码、译码与超导量子测控三个重要环节开展关键技术研究；研究基于高编码效率量子纠错码的容错量子存储与逻辑运算理论机制与解码策略，结合实际系统设计适配的高效量子纠错实现方案。

考核指标：

制备出多个端点具有马约拉纳零能模的器件，表征马约拉纳零能模之间的关联和隐形传态；实现在低温、强磁场环境下对宇称信号的读取；实现对拓扑量子比特的读取；表征出准粒子中毒等因素对拓扑量子比特寿命的关系。

构建出新型的基于四维分形序模型的具有自容错性质的量子纠错码和对偏置噪声具有强纠错能力的量子 XYZ 循环码；实现置信传播和基于神经网络译码算法的 FPGA 硬件架构，并获得对 surface code、Bivariate bicycle code 的实时纠错；实现错误率低于纠错阈值的高保真量子门及读取操作。

理论方面，基于表面码与高码率量子纠错码级联系统，设计适用于超导量子计算体系的完整容错量子存储方案，相比同码距表面码，物理比特数减少 50%以上；设计高码率级联码的容错解码算法，使有效码距接近理论极限；结合超导量子比特与中性原子体系的连通性和噪声特性，提出并验证百比特规模高码率级联容错量子存储演示方案。

B-3 指南名称：可扩展分布式超导量子计算研究

研究内容：

研究低损耗、多通道的超导量子芯片互联方案，实现量

子信息于模块间的高效稳定传输和高保真度的跨芯片量子逻辑门；探索先进的微纳加工工艺，实现高性能、高一致性的超导量子芯片模块制备；解析多制冷机分布式扩展量子计算系统的芯片化测控技术瓶颈，突破多制冷机低温高速互联与协同控制关键技术，构建支持跨制冷机、跨温区的高可扩展超低温量子测控与互联芯片架构；通过多模块低损耗互联集成，研发适配千比特规模超导量子计算机的超低温环境与量子调控实验平台，开展分布式量子模拟与量子纠错等前沿实验研究。

考核指标：

量子比特的 T1 中位数不低于 50 μ s，单比特门保真度中位数不低于 99.9%；模块之间互联通道数不少于 4 个，跨模块量子态传输保真度达到 99%；实现不少于 6 个模块互联，测控信号抖动 ≤ 40 fs，通道协同误差 ≤ 10 ps，多制冷机数据协同速率 ≥ 100 Gb/s，芯片群组工作温度 ≤ 4 K。

B-4 指南名称：面向集成化量子信息处理的超导量子芯片加工及测控研究

研究内容：

研究超导器件中的量子态调控与退相干机制，优化材料、设计、加工工艺、封装与测控，突破超导量子比特大规模集成中的相干性保持、串扰抑制、测控集成等关键技术瓶颈，实现量子比特规模与性能协同提升，为后续大规模量子信息处理奠定基础。

考核指标：

提出 ≥ 1 种理论模型阐明量子态退相干机制；构筑 ≥ 5 种超导原型器件，实现 ≥ 3 种逻辑门电路，其中 ≥ 1 种门电路连续执行 10^4 次逻辑运算误码率 $< 0.1\%$ 。制备不少于100个超导量子比特芯片，退相干时间： $T_1 > 300 \mu\text{s}$ 、 $T_2 > 100 \mu\text{s}$ 。操控与测量保真度：单比特门误差 $< 5 \times 10^{-4}$ 、双比特门误差 $< 3 \times 10^{-3}$ 、读取误差 $< 1 \times 10^{-2}$ 。

B-5 指南名称：基于中性原子阵列的大规模量子计算

研究内容：

实现大规模中性原子阵列，解决大规模光镊阵列的高效装载、基于重排算法的无缺陷阵列制备、扩展尺度下的全局噪声抑制等集成性工程问题。通过观测并表征里德堡阻塞效应，实现高保真度量量子门。

考核指标：

原子阵列的量子比特数 > 1000 个；在阵列上清晰观测与表征里德堡阻塞效应，里德堡激发的主量子数 50 ，阻塞半径约 $5 \mu\text{m}$ ；使用张量网络算法得到比特数 > 500 的二维原子阵列的基态相图并和实验结果印证；单比特门保真度 99% 、两比特门保真度 98% 。

B-6 指南名称：集成化可扩展的基于离子或冷原子的量子计算系统

研究内容：

研究原子/离子系统的小型化，集成化和芯片化。针对原子体系，建立CMOS兼容集成工艺，构建可嵌入光通信网络的分布式原子量子处理模块，发展基于原子与光腔阵列的

量子互联新方法，实现原子阵列全连通操控与高保真度原子-光子界面，演示非局域逻辑编码、量子门与线路。针对离子体系，开发低噪声表面离子阱芯片，实现离子长链的稳定囚禁和低加热率端到端输运，集成冷却与操控离子的片上光波导并操控片上量子态，演示高保真度的片上光电集成的量子逻辑门。

考核指标：

冷原子体系：制备集成于真空的一维光腔阵列，独立单元数 ≥ 10 ，平均精细度 $\geq 10^4$ 。实现光腔阵列与二维原子阵列强耦合，耦合原子数 ≥ 50 ，单原子-腔协同系数 ≥ 20 。实现单原子-单光子纠缠与量子门，空间分离原子-原子量子门或纠缠，保真度 $\geq 90\%$ 。

离子体系：实现不少于 32 个离子稳定囚禁，平均囚禁时间大于 2 小时，实现片上逻辑门保真度 $\geq 99\%$ ；波导最小传输损耗 $\leq 1.5\text{dB/cm}$ ，光栅耦合器输出效率 $>10\%$ ；研制含有样品转载锁定室的双真空系统，在 4K 环境下演示异质封装后光电集成芯片的功能。

B-7 指南名称：基于半导体量子系统的量子计算和量子模拟研究

研究内容：

在多个固态量子体系进行量子计算和量子模拟的可扩展研究。

量子点方向：发展外延量子点与半导体微腔强耦合体系的精准构建技术。研究半导体量子点与拓扑微腔的高精度确

定性耦合与集成工艺。研究在亚波长结构中激发拓扑量子态的物理机制，通过自旋-轨道耦合效应构建具有拓扑性的局域光场。利用高 Q 值光学微腔制备拓扑量子态，实现量子点的 Purcell 增强和高亮度发射。研究大规模拓扑光源阵列的制备与量子干涉特性。

固体自旋系统：研究量子比特生成与制备机理及工艺控制；研究高保真门操作技术和高信噪比读出技术；研究光电控制集成技术；研究多比特体系中耦合和退相干机制，以及噪声抑制技术。

考核指标：

量子点系统：实现高性能光学微腔；单量子点与光学拓扑态在空间位置和光谱上的精确对准，且位置精度 $\leq 15\text{nm}$ ；实现拓扑量子光源 Purcell 增强 ≥ 5 ，光子纯度 $\geq 95\%$ ，不可区分度 $\geq 95\%$ ，提取效率 $\geq 80\%$ ，干涉量子保真度 $\geq 80\%$ ；发射波长对结构微扰具有拓扑鲁棒性，散射抑制比 $\geq 20\text{dB}$ 。

自旋量子系统：实现至少 4 个量子比特的制备，演示其高效操作和精确读出；硅/锗自旋量子系统的单比特门保真度超过 99.5%，两比特门超过 99%；色心读出信噪比不低于 5:1；研制电光一体化的固态自旋计算原型芯片。

重点项目（共 1 项）

B-8 指南名称：电路量子声学动力学（cQAD）的研究

研究内容：

研究基于片上微纳声学集成架构的 cQAD 系统，在全片上架构内实现超导量子比特与 GHz 频段高频声学谐振器之间

的相干强耦合。设计高性能声学器件与叉指换能器（IDT），对超导量子比特谐振腔进行深度优化，提高超导比特弛豫时间与退相干时间。深入研究强耦合机制下的演化动力学，结合量子态传输优化理论，进一步提高传输保真度，为构建可扩展的量子计算网络提供技术支撑。

考核指标：

片上声波谐振器品质因子突破 10000，超导量子比特-声子耦合强度达到 MHz；混合量子体系比特弛豫时间 T_1 优于 80 μs ，退相干时间 T_2 优于 20 μs ，最终实现量子比特传输保真度高于 60%。

一般项目：

鼓励面向量子计算等前沿方向开展自由探索，推动新型量子比特系统、多体纠缠态、量子混沌动力学与混合计算架构的创新发展。支持混合体系的理论建模与实验实现，突破高比特数、相干操控、量子态传输等关键技术，探索量子计算增强人工智能等新兴交叉场景中的性能潜力。倡导建立高保真量子态制备、可扩展的量子模拟能力、复杂系统可控性分析模型，为未来量子科技的实用化和智能化奠定基础。

专题三： 量子精密测量和量子传感

重大项目（共 1 项）

C-1 指南名称：高灵敏度量子磁传感器技术

指南内容：

研制基于自由感应衰减原理的高灵敏度、宽量程原子磁力仪；突破激光抽运自由感应衰减型原子磁力仪的关键技术，完成弱磁检测电路研制和相关技术研究；开展原子磁力仪物理探头和检测电路小型化技术开发，完成整机性能指标测试评估，实现新型的小型化原子磁力仪产品研制及应用。实现原子磁力仪小型化、高灵敏度、宽量程等技术指标。实现新型的小型化原子磁力仪产品研制及应用，完成国产替代。

考核指标：

原子磁力仪对标激光抽运原子磁力仪国际先进技术指标总体情况，灵敏度达： $8\text{pT}/\text{Hz}^{1/2}$ ；采样率：400Hz；测量范围：3000nT-100000nT；轴向误差： $\pm 3\text{nT}$ ；带宽：200Hz；磁场梯度：20000nT/m；探头体积：30mm×30mm×50 mm；功耗：稳态功耗 $\leq 5\text{W}$ ，启动功耗 $\leq 6.5\text{W}$ 。

重点项目（共 4 项）

C-2 指南名称：基于纳米金刚石量子传感的一体化芯片技术在流变体系的应用

指南内容：

开发基于纳米金刚石量子传感的流体微环境操控探测一体化芯片，发展片上微流控液滴生成、操控、固定与量子探测的一体化方案；在亚微米尺度上发展面向包括生物体系

在内的原位纳米流变监测技术手段并演示应用，探究异质流变体系内的非平衡扩散与相变动力学，揭示其调控机制与功能之间的关联。实现对异质生物体系内非平衡扩散与相变动力学的原位实时监测与研究。

考核指标：

完成纳米金刚石量子传感-微流控一体化芯片开发，实现片上在 pL 级检测体积内纳米金刚石封装与探测；实现包括原位成像、温度、三维平动、三维转动在内的多模式关联测量，液滴内三维平动追踪速度高于 $100 \mu\text{m/s}$ ，扩散系数检测上限不低于 $3 \mu\text{m}^2/\text{s}$ ，三维转动跟踪速度不低于 100deg/s ，平动与转动模式流变测量时间分辨率优于 10ms ；开展至少两种不同应用场景的量子传感生物流变研究应用。

C-3 指南名称：基于里德堡原子时间晶体的量子锁相放大技术研究

指南内容：

利用时间晶体的长寿命时间有序性，构建相干时间达百毫秒量级的量子锁相放大器，实现信号相干累积与噪声抑制。在室温下实现里德堡原子系综中百毫秒量级时间晶体态的稳定制备与观测，验证其长寿命时间有序性。研究基于时间晶体同步锁定振荡的量子锁相放大物理机制并建立理论模型。面向国防与通信领域对高灵敏微波电场探测的需求，研究利用里德堡原子时间晶体构建量子锁相放大器的新机制，通过其长寿命时间有序性提升测量灵敏度，为下一代微波电场测量技术提供新路径。

考核指标:

实验获得百毫秒量级相干时间的时间晶体态，较传统方案提升两个数量级；在 GHz 频段演示微波电场测量，灵敏度优于 $5 \text{ nV/cm/Hz}^{-1/2}$ 或较超外差法提升 2 倍以上。

C-4 指南名称：基于光钟跨海高程基准统一关键技术与应用示范

指南内容:

开展光钟频移效应及光频比对关键技术研究，研发和建立适用于海洋环境的光纤链路传输技术。开发频率稳定度与不确定度达到 10^{-18} 量级的冷原子光钟新一代时间频率基准，通过光钟时间频率比对实现高程差的高精度测量。结合卫星重力测量获取的区域重力场数据，光钟传递的高程差可与重力位数据融合，实现高程-深度数据的无缝转换。建立光钟、卫星重力、GNSS/水准等多源数据融合的海陆统一高程基准模型，并开展示范应用。

考核指标:

建成不确定度优于 4×10^{-18} 的可搬运光钟；基于光钟时频比对的跨海高程差测定精度优于 5 cm；构建适用于跨海区域的光钟重力势测定模型与误差传播模型；实现不确定度在 10^{-18} 量级或以下的跨海时间频率传递。

C-5 指南名称：非马尔可夫环境下的时变信号量子传感的理论研究

指南内容:

发展非马尔可夫环境下的时变信号量子传感新范式。针

对量子传感平台中由时间相关噪声、有限带宽响应及历史依赖效应主导的性能限制，以及实际应用中以时变信号波形为主要传感对象的需求，为真实量子器件提供可直接应用的设计准则与传感协议。建立非马尔可夫条件下波形量子传感的统一理论与方法体系，将时间相关性转化为可利用的传感资源，突破无记忆模型在灵敏度、时间分辨率和长期稳定性方面的局限。

考核指标：

建立非马尔可夫环境下波形量子估计的统一理论；阐明时间相关性提升传感性能的条件，发展实验可实施的记忆感知型传感策略；在多平台开展验证，服务于原子钟、导航及时变场探测；相较无记忆基准方案显著降低估计误差，在有色噪声下实现快速、鲁棒探测，并形成基于计量记忆的实验设计准则。

一般项目

鼓励围绕量子精密测量与量子模拟的前沿科学问题与关键技术突破，开展基于冷原子体系与贝叶斯量子估计的量子锁相放大测量研究，发展兼顾灵敏度、动态范围与噪声鲁棒性的弱信号探测新原理与新方法；探索非线性自旋相互作用、非厄米高阶奇异点及拓扑边界态等新效应，研制突破标准量子极限的高灵敏度新型原子磁力仪，并推动其在生物医学、工业无损检测及深地勘探等领域的应用验证；发展超高时空分辨光学测量方法，构建多物理场环境下量子态原位探

测平台，系统研究强关联与低维量子材料中的非平衡量子动力学过程；以及利用超冷原子体系设计构造参数可调的莫尔晶格，探索拓扑平带中新奇拓扑物态与量子几何效应，推动量子精密测量与量子模拟的深度融合与范式创新。

专题四：其他领域

重大项目（共四项）

D-1 指南名称：基于超快激光与双电子探测器的关联电子结构探测仪

研究内容：

研制基于超快激光与双电子探测器的关联电子结构探测仪，实现对复杂材料中关联电子结构的直接观测，并探索利用超快光场对电子关联态进行操控的新途径。包括研制适用于双光电子激发的高重复频率超快深紫外激光光源，设计搭建双角分辨电子能量分析器，开发高时间分辨率的电子探测系统。通过上述系统的集成与优化，研究复杂材料中的关联电子结构，为强关联体系和非平衡电子动力学研究提供关键实验手段，并实现相关探测与调控仪器的软硬件全面国产化。

考核指标：

探测腔真空度 $<2 \times 10^{-10}$ mbar；激光脉宽压缩前 <600 fs；激光重复频率最高 ≥ 1 MHz，可单脉冲输出；深紫外可实现 7 eV 以及 >10 eV 的脉冲激光，激光能量分辨率 <30 meV；双电子分析器能量分辨率 <4 meV，角度分辨率 $<0.2^\circ$ ；电子分析器时间分辨能力 <1 ns。

D-2 指南名称：高分辨电子能量损失谱仪

研究内容：

研制与透射电子显微镜相结合的高分辨率电子能量损失谱(EELS)系统。包括开发基于国产单色器与高稳定电源的

能量滤波系统，通过像差校正透射电子显微镜（AC-TEM）与 EELS 探测器的深度融合，实现原子级空间映射从而获得高分辨率。

考核指标：

深度融合像差校正透射电子显微镜（AC-TEM）与 EELS 探测器，实现亚纳米至亚埃级探针尺寸，空间分辨率 $\leq 1 \text{ \AA}$ ；电子动能可调范围 60-200 keV；电子能量损失谱 EELS 能量分辨率 $\leq 20 \text{ meV}@60 \text{ keV}$ ， $\leq 100 \text{ meV}@200 \text{ keV}$ 。

D-3 指南名称：微波腔内超冷分子系综的调控与强关联物态的研究

研究内容：

发展与超高真空腔体匹配的微波腔，实现微波偏振分量的三轴独立、低串扰控制。在此基础上，增强腔内微波光子与 NaCs 超冷分子转动能级之间的耦合，获得高强度 Rabi 振荡；在强耦合条件下，利用微波光子调控分子间相互作用，通过微波屏蔽效应抑制非弹性损失。结合高分辨率显微镜的光阱投射与探测技术，探索分子阵列的确定性制备及其量子门操作。在理论层面，基于腔内微波光子与分子间耦合强度的大范围可调性，对可能涌现的量子气体动力学新现象开展理论研究。

考核指标：

实现腔模与分子转动能级共振、调节范围不少于 500 MHz、Q 值达 10^2 量级且与 NA=0.6 显微物镜兼容的微波腔体；实现不同馈源对独立偏振分量的激发，轴间串扰小于 10 dB；实

现 NaCs 分子 $J=0$ 与 $J=1$ 转动能级间的 3.47 GHz 微波光子缀饰，Rabi 振荡频率达到 100 MHz 量级；实现密度 $n > 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ ，偶极长度 $a_{dd} > 500 \text{ nm}$ ，具有强关联特性 ($n \cdot a_{dd}^3 \geq 1$) 的稳定超冷分子系综。

D-4 指南名称：基于超表面和拓扑微腔的量子光源的产生与调控

研究内容：

围绕量子科技芯片化、集成化和实用化需求，开展非线性超表面和拓扑微腔的量子纠缠光源的产生机理与多维调控技术研究。探索砷化镓 (GaAs)、铌酸锂 (LN01) 等 III-V 族半导体和化合物半导体中的高二阶非线性材料，以及对称性破缺、非互易性、束缚态 (BIC) 等新物理效应和调控手段，发展超表面加工与测量技术和拓扑微腔技术。通过提升共振品质因子和相位匹配，推进量子光源高亮度产生，以及在偏振-动量、自旋-轨道角动量 (OAM)、偏振-波长等多自由度上的联合制备。

考核指标：

制备百纳米尺寸厚度量子纠缠光源超表面芯片，实验证明基于超表面纳米结构对称性的量子纠缠态调控；实现非互易量子纠缠，光隔离度优于 25dB，产生速率比未加工的同厚度薄膜提升优于 10^3 倍，近红外波段纠缠光子探测速率超 1MHz，最高符合偶然计数比优于 10^5 ，开发片上量子态层析技术，验证多维超纠缠特性。

重点项目（共八项）

D-5 指南名称：铁性量子材料亚原子尺度三维电场成像设备与算法研制

研究内容：

针对量子信息材料在复杂外场作用下微观结构演化难以在三维空间定量表征的难题，研发兼容主流透射电子显微镜的原位多场耦合三维重构系统。构筑高速成像系统，实现对铁性材料相转变演化行为的实时监控；配合高精度的电场及温度场控制，通过三维重建算法实现三维原子重构。重点针对介电、铁电体、反铁电体、多铁材料及弛豫型铁电体等五类典型铁性氧化物，探测在不同温度与电场作用下的离子位移、相组分比例及纳米极化微区三维演化行为，揭示量子材料内部微观相转变特征与宏观物性响应的内在关联机制。

考核指标：

实现室温至 1200℃ 的宽温域控制，温度准确性 $\geq 95\%$ ，温度均匀性 $\geq 99.5\%$ ，控温误差 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ；单帧图像时间分辨率 $\leq 0.01\text{s}$ ；单组三维数据集采集电子束剂量 $< 3 \times 10^5 \text{e}^-/\text{\AA}^2$ ；构建原子级非平衡态演化表征的重建算法，实现原子数量规模 > 10 ，空间分辨率 $\leq 0.8 \text{\AA}$ ，重构残差因子 $< 6\%$ ，用于极化矢量计算的三维原子定位均方根偏差 $\leq 20 \text{pm}$ ；引入机器学习模型，实现重构流程的自动化处理，缺失楔方向原子定位精度提升 50%；建立五类典型铁性材料的三维结构-宏观性能定量映射模型，微观重构特征参量与宏观物性实测值的线性相关系数 > 0.9 。

D-6 指南名称：新型多功能扫描探针显微镜插杆研发

研究内容：

研发新型多功能扫描探针显微镜插杆，突破传统设计范式，研发支持快速切换的模块化可更换插杆系统，兼容 STM/AFM、Multi-probe、QTM、Scanning SQUID 等多种探针模组，显著提升仪器通用性与实验效率，为量子材料原位或非原位表征提供关键硬件支撑。构建高精度机械定位插杆架构，支撑室温至液氮温区全工况高效稳定运行，同时兼容强磁场实验环境。

预期指标：

兼容 STM、AFM、Multi-probe、QTM 及 Scanning SQUID 等多类探针模组；支持室温至液氮温区使用，最低温度 $\leq 5\text{ K}$ ；兼容强磁场 ($\geq 9\text{ T}$)；兼容特殊气体氛围、真空、超高真空实验条件。

D-7 指南名称：超冷原子-离子混合体系中新型极化子的研究

研究内容：

围绕超冷原子 - 离子体系中电荷跳跃主导的量子输运问题，开展理论与实验相结合的系统研究。重点研究同种原子 - 离子体系中共振电荷交换机制对离子极化子物理性质及输运行为的影响，揭示电荷与质量自由度分离后的新型极化子形态。在理论方面，构建包含电荷跳跃自由度的低能有效模型，研究电荷极化子的形成条件、有效质量、准粒子特性及其与玻色声子耦合规律，阐明低温下电荷迁移率反常增强及相关输运系数的物理机理。在实验方面，依托可控的超

冷原子-离子混合体系，设计区分电荷输运与离子扩散的实验方案，探索外电场驱动下电荷跳跃输运的可观测特征及参数依赖关系，为验证相关理论预言提供实验依据。

考核指标：

建立完整的电荷跳跃极化子理论框架，明确其相对于传统离子极化子的本质差异，给出关键物理量（如有效质量、迁移率、谱权重等）的定量预测，并提出可与实验直接对比的判据；磁光阱装载率达到 10^7 个原子每秒，原子温度降低至 $10\ \mu\text{K}$ 以下；在光镊中通过近阈值电离冷原子产生离子，离子温度控制在 $10\ \mu\text{K}$ 以下，离子处的剩余电场控制在 $100\ \mu\text{V}/\text{cm}$ 以下。

D-8 指南名称：高分波相互作用量子气体的制备与物性研究

研究内容：

面向高分波相互作用，构建基于 K-41 原子的量子模拟平台。利用光晶格降低原子局域密度，有效抑制三体损耗，突破稳定性瓶颈；发展 d 波相互作用的精密调控与表征技术，实现对 d 波分子的稳定制备和直接探测。研究光晶格中 d 波相互作用下两体及少体束缚态的能谱特征与寿命演化。结合光晶格轨道自由度，在多体层面构建各向异性相互作用主导的新型量子体系，揭示 d 波相互作用对超流相变的影响规律，探索非常规原子与分子超流及相关强关联量子物态。

考核指标：

实现 K-41 原子体系 d 波形状共振参数的高精度测量与

调控；制备寿命可观测的 d 波分子气体，并实现对分子的直接成像探测；获取 d 波相互作用诱导的非常规超流或新奇量子相的关键实验证据。

D-9 指南名称：半导体激子-极化激元强耦合体系的调控和器件应用

研究内容：

激子极化激元为开发兼具光子高速传输、激子强非线性及可调控自旋/谷自由度的先进光电量子器件奠定了核心基础。设计并制备具有大跃迁偶极矩、密堆积特性的有机及高分子半导体材料，遴选室温无微腔条件下可形成激子极化激元的核心体系，建立适配该类材料的分子设计与物性预测理论。基于筛选的核心材料与激子极化激元特性，开发室温低阈值、超快响应的光电子器件，包括光电探测二极管器件、电致发光二极管、以及激子极化激元晶体管。探索有机半导体手性结构、激子极化激元自旋调控与器件线/圆极化响应特性之间的构效关系。

考核指标：

设计并制备具有大跃迁偶极矩、密堆积特性的有机及高分子半导体材料，遴选室温无微腔激子极化激元核心体系：

$\mu_{\text{trans}} \geq 10 \text{ D}$ ， $f \geq 0.75$ ，晶态相干长度 $L_{\text{coh}} \geq 70 \text{ nm}$ ，耦合强度 $g \geq 70 \text{ meV}$ ， $\Omega_{\text{Rabi}} \geq 140 \text{ meV}$ ，满足强耦合判据 ($g > \gamma_{\text{ex}}, \kappa$)；激子极化激元光电器件：光电探测二极管外量子效率 $\text{EQE} \geq 30 \%$ ，比探测率 $D^* \geq 10^{12} \text{ Jones}$ ，响应速度 $\tau \leq 1 \mu\text{s}$ 。可见光电致发光二极管 $\text{EQE} \geq 20 \%$ ， $L \geq 10000 \text{ cd/m}^2$ ， $V_{\text{on}} \leq 3 \text{ V}$ ；近红外电致发光二极管 $\text{EQE} \geq 1 \%$ ，

$L \geq 10 \text{ Wsr}^{-1}\text{m}^{-2}$, $V_{\text{on}} \leq 3 \text{ V}$ 。满足发光线偏振度 $P \geq 0.6$ 或者圆极化发光不对称因子 $g_{\text{lum}} \geq 0.5$ 。室温非光学微腔全光调控有机激子极化激元晶体管，激光器泵浦阈值 $\leq 60 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ ，光信号放大倍数大于 7000 倍，净增增益达到 $10 \text{ dB}/\mu\text{m}$ ，在 10^{-1} 至 10^1 nW 控制光能量范围实现线性放大，超快响应时间 $\leq 1 \text{ ps}$ 且消光比不低于 15 dB 。

D-10 指南名称：室温强耦合量子比特规模化集成制备与测量

研究内容：

探索突破局域表面等离激元模和辐射子室温耗散限制的方法和技术，高效实现室温强耦合单量子态的制备与动态可逆操控，以及本征能级的光谱精确测量。构建室温强耦合量子比特的均一化和规模化集成制备平台，实现室温量子比特的可重复性制备和芯片化，为室温量子技术的发展奠定基础。

考核指标：

室温下局域表面等离激元模线宽 $< 2 \text{ nm}$ ，辐射子线宽 $< 1 \text{ nm}$ ，并具备芯片级大面积和均匀化的可扩展性；室温强耦合量子态制备成功率 $> 80\%$ ；光谱劈裂与能级劈裂偏差 $< 1\%$ ；建立室温量子比特的规模化、均一化、可重复性的实验制备平台；演示室温单量子比特的操控和多量子比特的集成。

D-11 指南名称：纳腔光子与物质相互调控及光电器件集成研究

研究内容：

发展基于自组装、原子层沉积或纳米压印等方法制备低

损耗的纳米微腔，研究光、电或量子隧穿等对纳腔模式的影响。探索其在亚波长尺度下与激子、声子等之间的相互作用调控机制，实现超小体积下、少光子数的非线性效应，以及暗激子辐射及其片上传递，发展可片上集成的手性自发辐射光源。

考核指标：

制备不少于 3 种类别的低损耗纳腔结构（品质因子 $Q > 1000$ ，模体积 $V < 200 \text{ nm}^3$ ），纳腔阵列制备良率 $\geq 70\%$ ；纳腔中光谱 Rabi 劈裂 $> 150 \text{ meV}$ ；暗激子辐射增强超过 20 万倍，并实现辐射谷的编码；非线性频率转换效率增强倍数超过 10^5 ；辐射寿命小于 1 ps 的超快手性自发辐射光源。

D-12 指南名称：电泵浦高性能单光子光源芯片研究

研究内容：

研制基于片上集成的间接共振电泵浦半导体量子点单光子源芯片。通过集成可调谐超短脉冲激光器与微腔量子点，实现等效共振激发，突破传统电注入无法兼顾高相干性与高效率的瓶颈，解决当前量子光源对外部大型、昂贵可调谐激光系统的依赖，研制高性能、集成化间接共振电泵浦量子点单光子源芯片。

考核指标：

实现可调谐超短脉冲激光器与微腔量子点的单片集成；验证间接电泵浦下的共振/准共振激发机制；脉冲宽度 $< 10 \text{ ps}$ ，驱动电流 $< 10 \text{ mA}$ ；光子提取效率 $> 80\%$ ，单光子纯度 $> 99\%$ 。

一般项目：

一般项目鼓励原始创新，可开展探索性及跨学科研究，主要聚焦量子核心技术研发、原子分子光学量子物性与技术及功能量子芯片三个方向。在关键核心技术方面，重点支持极低温测控技术、深紫外/太赫兹波段的精密光谱技术、高精度材料制备技术等前沿装置的研发，突破测量分辨率、成像极限与环境控制瓶颈，推动关键核心技术自主可控；在原子分子光学量子物性与技术方面，围绕超冷原子物性与调控技术、光与物质/电子相互作用及量子光源三个方向开展探索性研究，聚焦拓扑物态与非平衡物理、光与物质强耦合超快动力学机制，以及多光子纠缠量子光源与相控阵集成光学芯片的研制；在功能量子芯片方面，支持大规模集成光量子芯片研发、多物理场调控、可编程光量子集成器件及薄膜非线性光源器件研究，融合物理建模与深度学习探索新型机制，推动量子科技产品化、集成化与实用化进程。