

附件 3

“物态调控”重点专项 2026 年度项目申报指南

(征求意见稿)

“物态调控”重点专项的总体目标是通过本专项的持续支持，夯实我国物态调控研究基础，解决本领域非常规超导机理、高温拓扑物态和能量转换等重大科学问题，发现液氮温区新奇量子物态，实现物态调控新手段，发展物态表征新方法，构建具有优越性能和变革性应用的新物理体系，引领凝聚态物理等学科的世界前沿，为未来光电信息、材料科学和能源技术的发展提供科学基础和关键技术支撑，为形成新质生产力提供源动力。

2026 年度指南围绕多电子自由度物态调控、人工体系物态调控、极端条件下的物态调控、数智驱动的物态调控等 4 个重点任务进行部署，国拨经费总预算 4.295 亿元。拟支持 23 个常规项目，每个项目国拨经费预算参考数 1650 万元，配套经费比例要求参见具体指南；拟支持 10 个青年科学家项目，每个项目国拨经费预算不超过 500 万元，鼓励青年科学家项目争取配套经费支持。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的指南方向申报。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、技术路线明显不同时，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。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设计。项目执行期一般为 5 年。

常规项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部研究内容。常规项目下设课题数不超过 4 个，每个项目单位总数不超过 6 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人，项目负责人原则上应为课题负责人之一。

本指南所有方向均可作为青年科学家项目组织申报，支持青年科研人员承担国家科研任务。青年科学家项目不受研究内容和考核指标限制，不再下设课题，项目单位总数不超过 3 家。青年科学家项目设 1 名负责人，负责人年龄男性 38 周岁以下(1988 年 1 月 1 日以后出生)，女性 40 周岁以下(1986 年 1 月 1 日以后出生)。原则上，团队其他参与人员年龄要求同上。

1. 多电子自由度物态调控

1.1 镍基超导薄膜材料与机理研究

指南目标：实现镍基超导薄膜材料体系的可控制备与多维调控，揭示非常规超导配对机理及相关新奇量子效应，构筑镍基超导量子原理器件。

研究内容：针对镍基超导薄膜非常规超导机理研究的关键科学问题及超导量子器件构筑需求，围绕具有无限层和

Ruddlesden-Popper 结构两类镍基超导薄膜，开展应变、掺杂、空间维度与界面协同调控，提升常压超导转变温度，并构建多维参数空间超导相图；结合实空间显微、倒空间能带与超导能隙表征，提炼影响超导配对与相位涨落的核心参量；开展能斯特效应与量子相位敏感实验，研究预配对行为、配对电荷数 and 对称性等非常规超导特性；制备原子级人工结构，研究超导二极管效应及其极性控制，探索镍基超导量子原理器件。

考核指标：实现镍基薄膜面内晶格常数在 $\pm 1\%$ 范围内连续调控；在至少 1 类镍基材料体系中实现电子型掺杂，构建双极性超导相图；在不少于 2 种镍基薄膜中获得超流密度及超导能隙随掺杂和温度演化规律，发现至少 1 种常压下超导转变温度高于 40 K 的新体系；获得预配对现象存在性、超导配对电荷数和超导配对对称性的实验证据；实现极性可控的镍基超导二极管效应。

关键词：镍基超导薄膜，连续应变调控，超导配对机理，超导量子原理器件。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

1.2 界面超导新体系探索及其新型超导量子原理器件

指南目标：实现新界面超导体系和新奇量子物态异质结构的原子构筑、调控和表征，研制新型超导量子原理器件。

研究内容：针对原子级异质结构界面超导性能优异体系少、高效调控困难以及如何应用的问题，探索具有界面增强和优异特性的界面超导新体系与新构型；发展界面原子构筑和外场调控技术，实现界面多自由度耦合与对称性的精准调控；研究界面超导与有序态、拓扑态等量子物态的耦合规律，构筑拓扑超导异质结构；揭示界面超导演生新物态、新效应、新机制和外场响应规律，研制新型超导量子原理器件。

考核指标：发现不少于 3 种新型界面超导体系或新界面构型，实现至少 1 类界面体系或界面构型与同类界面相比超导转变温度和临界磁场 30%以上提升；发现并调控不少于 2 种界面超导演生的新奇量子物态或量子效应；研制不少于 2 种基于界面超导的量子原理器件。

关键词：界面超导，拓扑超导，量子态耦合，对称性调控，超导量子原理器件。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

1.3 新型量子磁体中元激发的广谱探测和调控研究

指南目标：构建多谱学协同探测和量子多体理论一体化研究体系，探明多自由度耦合下的新奇元激发和新效应，实现量子磁性原创性突破。

研究内容：针对新型量子磁体和镍基高温超导中丰富的元激发及其探测的局限性，发展宽能量范围、高分辨率的非

弹性中子散射与共振 X 射线散射谱学技术，实现对高、低能磁性元激发的广谱协同探测；探索自旋-轨道-晶格等多自由度耦合下非常规元激发、新量子效应和镍氧化物等多轨道关联电子体系的磁结构与轨道分辨磁激发；开展相应的微观机制理论研究。

考核指标：共振非弹性 X 射线散射技术的能量分辨率 $\leq 20 \text{ meV @ } 1 \text{ keV}$ ；制备出至少 3 种单晶尺寸大于 5 mm 或薄膜厚度少于 10 个单胞的量子磁体新材料；发现至少 2 种具有多自由度耦合的新颖元激发和磁效应，构建多维度元激发图谱；在至少 1 种 Ruddlesden-Popper 相镍基超导体块体或薄膜中，实现轨道分辨磁激发的探测并揭示机理；结合第一性原理和量子多体计算方法，发展至少 1 种磁激发计算方法并开发 1 套软件包。

关键词：量子磁体，元激发，多自由度耦合，非弹性中子散射，共振 X 射线散射。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

1.4 非常规磁性的磁构效关系与调控

指南目标：设计并合成零（弱）磁化自旋劈裂材料，实现基于非常规磁体的磁电子学原理器件。

研究内容：针对非常规磁性材料中新物态的探索与调控需求，发展描述磁性材料的对称性理论，预言诸如交错磁体、

自旋轨道磁体等非常规磁体，阐明其磁构效关系并探索物态调控机制；发现具有应用潜力的非常规磁体；研究新型零磁场全电控磁翻转机制，探索非常规磁体中的准粒子激发、输运和调控特性；构筑基于非常规磁体的磁电子学原理器件。

考核指标：发展 1 套非常规磁性对称性分析、物性预测与逆向设计的软件包；预言并制备不少于 3 种新型非常规磁体，实验确定其磁结构及电子结构等物态信息；实现零磁场下的确定性磁矩翻转，并构建至少 1 种全电学读写存储原理器件；揭示非常规磁体中的手性磁子和铁子等准粒子的输运特性，实现至少 1 种磁电子学原理器件。

关键词：非常规磁性，自旋群理论，电学调控，磁子输运，自旋电子学器件。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

1.5 新型量子磁性态及其演生的非常规超导探索与调控

指南目标：发现与调控新型量子磁性态及其诱导的非常规超导，并探索两者之间的关联，为阐明高温超导机理提供关键支撑。

研究内容：针对新型量子磁性态的发现及其如何诱导高温超导电性这一科学问题，发现新型量子磁性材料，阐明其新奇物态形成机理；探索量子磁体中多自由度耦合演生的新型准粒子激发及新效应，厘清外场调控下的量子相变规律，

诱导出非常规超导；利用莫尔体系的高度可调性，设计构筑莫尔磁性平台并开展调控研究，实现新型量子磁性态及非常规超导电性；研究量子磁性 with 非常规超导之间关联。

考核指标：发现 2 种以上新型量子磁性材料并阐明其量子物态的形成机理；在量子磁体中发现至少 1 种多自由度耦合诱导的新型准粒子及新效应；通过调控在至少 1 种量子磁性材料中诱导出非常规超导；人工构筑至少 1 类莫尔量子磁性平台，通过外场调控揭示其量子磁性态演化规律并实现非常规超导。

关键词：量子磁性，非常规超导，多自由度耦合，莫尔体系，外场调控。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

1.6 非平衡量子物态的时空分辨多模态表征与调控

指南目标：建立时空分辨多模态表征与目标态调控方法，实现量子物态的超快调控和长寿命亚稳态构筑。

研究内容：针对量子材料尤其是关联电子材料中多自由度耦合机制不清、难以统一表征和按需调控的问题，发展电子、晶格与有序态响应的联合判别方法，研究选择性光激发下的竞争序重构及亚稳态稳定机制；研究高温超导、强关联、磁性和拓扑物态非平衡演化机制；探索光致超导的证据与准粒子激发的规律；发展目标亚稳态选择性制备与可逆切换方

法，理论预言并筛选验证该类亚稳态的材料体系与路径。

考核指标：提出 1 种目标态预测方法并实验验证；同一材料实现 ≥ 3 类互补表征，在 ≥ 3 种材料中实现有序态调控，至少 1 例亚稳态经交叉验证、撤去驱动后保持 ≥ 1 ns 并可重复光致写入、擦除；超快微区光谱空间分辨率 ≤ 500 nm、太赫兹相对时延误差 ≤ 15 fs、超快电子衍射时间分辨率 ≤ 10 fs。

关键词：长寿命亚稳态，选择性光驱动，竞争序重构，多模态表征，可逆调控。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

2. 人工体系物态调控

2.1 光激发下二维莫尔超晶格体系的新奇物态与超快调控

指南目标：实现极低温、强磁场、高压等极端条件下二维莫尔超晶格光诱导新奇物态的光学表征与多场协同调控，并发展相关量子器件。

研究内容：针对二维莫尔超晶格人工结构的光激发下的物性和调控，设计和制备笼目莫尔、非公度强关联异质结等转角精准可控的新型莫尔超晶格；发展极低温、强磁场、高压条件下的光致发光谱、磁圆二色性谱、超快光谱等多种光学表征平台；研究体系在光激发下涌现的新奇物态，探索莫尔平带中多自由度耦合的强关联效应；通过多维光场与多外

场的协同操控，实现光激发下的新奇物态的调控与机理揭示，研制新型量子器件。

考核指标：构建至少 1 种人工微结构莫尔势场与莫尔超晶格的转角精准可控构筑平台；研制适用于二维莫尔超晶格研究的协同静水压力与强磁场条件下极低温（ ≤ 200 mK）稳态光学表征平台，以及协同低温与强磁场条件下可覆盖中红外波段（ ≥ 3.5 μm ）的超快光谱研究平台；发现不少于 2 种光激发下的新奇物态，并实现其中至少 1 种的调控；研制至少 1 种基于新奇量子效应的原理器件。

关键词：二维莫尔超晶格，激发物态，超快光谱，光场调控，拓扑和关联物态。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

2.2 拓扑量子材料异质结的界面物性调控与器件研制

指南目标：发展拓扑量子材料晶圆级异质集成和物性调控技术，实现低功耗、宽温区拓扑量子新原理器件。

研究内容：针对拓扑量子材料异质集成与器件研制难题，发展拓扑量子材料与超导、磁性、压电等功能材料的原子级界面构筑和物性调控技术；研究拓扑量子态的多场调控机理，探索拓扑超导异质结中马约拉纳零能模的高温探测方案，实现拓扑磁性异质结中长程边缘态的构筑与多场调控，以及研制面向室温应用的低功耗、新原理拓扑器件。

考核指标：实现 2 英寸晶圆级拓扑-超导、拓扑-磁性及拓扑-压电异质集成，马约拉纳零能模观测温度 $\geq 10\text{ K}$ ，磁性材料超导电流传输距离 $\geq 100\text{ nm}$ ，拓扑压电器件近量子化反常霍尔电阻 $\geq 20\text{ K}\Omega$ ；研制至少 1 种工作温度覆盖 -40°C 至 120°C 的低功耗、宽温区拓扑电子器件；发展多物理场耦合理论模型与数值模拟程序 1 套。

关键词：拓扑量子材料，晶圆级制备，界面调控，拓扑器件。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

2.3 基于拓扑物态的自旋振荡器研究

指南目标：基于拓扑磁异质结和隧道结研制出高功率、低能耗自旋振荡器新原理器件及其阵列。

研究内容：面向拓扑量子材料缺乏应用器件的挑战，探索利用拓扑表面态的自旋-轨道锁定效应产生高效自旋轨道力矩和自旋转移力矩的新机理；构筑基于拓扑磁序物态的磁性隧道结，发现拓扑磁序相关的新奇自旋振荡模式、多物理场调控手段、拓扑磁异质结集成技术；研制拓扑磁序和拓扑表面态调控的新原理自旋微波器件和高功率、低能耗自旋振荡器新原理器件及其阵列。

考核指标：建立至少 1 种产生高效自旋轨道力矩和自旋转移力矩的新方法；研制出至少 2 种拓扑磁异质结/隧道结；

研制输出功率 $\geq 1 \mu\text{W}$ 、临界激发电流密度 $\leq 5 \times 10^5 \text{ A/cm}^2$ 的自旋振荡器原理器件及其阵列，以及微波探测器达到灵敏度 $\geq 300 \text{ kV/W}$ 的高灵敏信号检测；实现至少 1 种基于频率的语音识别应用。

关键词：自旋振荡器，拓扑磁序隧道结，拓扑量子磁异质结，非线性自旋动力学

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

2.4 关联电子氧化物与二维体系中耦合玻色物态及其超低功耗调控

指南目标：发展基于拓扑准粒子体系的物态调控新原理与新方法，实现基于磁斯格明子等拓扑结构中衍生宏观量子态的新原理器件。

研究内容：围绕金属/半金属关联电子氧化物及二维人工异质结构筑，探索磁斯格明子等拓扑准粒子体系中的相干磁子、铁子、激子、库珀对等玻色子的激发特性；发展宽温域、矢量磁场下相干玻色物态耦合与传输的超低噪声探测技术；探索这些耦合玻色物态中衍生的新奇量子现象并实现对其超低功耗调控，设计新原理器件。

考核指标：发现不少于 2 种具有耦合玻色物态的关联电子氧化物及其二维异质结体系；开发至少 1 种可在低温 ($\leq 4 \text{ K}$) 和矢量磁场 ($\geq 3 \text{ T}/1 \text{ T}/1 \text{ T}$) 下实现宽频域 ($0.01 - 110 \text{ GHz}$)

相干玻色物态运输的探测平台；实现相干磁子阻尼 $< 5 \times 10^{-4}$ 及对耦合玻色物态的阿焦级电压操控，设计并实现 1 种原理器件。

关键词：金属/半金属氧化物，量子受限二维异质异构，拓扑准粒子，相干玻色子，超低功耗调控。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

2.5 新型氮化物人工异质结制备与新物态研究

指南目标：构筑新型氮化物人工异质结，实现新物态调控与新原理器件。

研究内容：面向低能耗信息处理器件的重大需求，利用薄膜沉积和异质外延等技术构筑新型氮化物人工异质结；发展高效界面物性调控技术和界面缺陷控制技术，实现对氮化物异质结铁电、自旋等物态的高效多场调控，探索由此演生的新物态；发展电场、磁场、应力场等多物理场协同调控方法，调控氮化物异质结中极化-电荷-自旋等多自由度，探索低能耗的信息处理新原理器件。

考核指标：实现不少于 1 种氮化物铁电新材料及其异质结构的高质量制备与新物态构建，获得室温下二维电子气浓度 $\geq 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ ，迁移率 $\geq 1500 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ，Rashba 自旋轨道耦合系数 $\geq 10^{-13} \text{ eV}\cdot\text{m}$ ；利用多场调控技术实现铁电氮化物剩余极化强度 $> 100 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ，保持时间 $> 10^7 \text{ s}$ ；研制出功耗 $\leq 1 \text{ pJ/bit}$

的非易失存储器件和神经形态器件各不少于 1 种。

关键词：物态调控，极化调控，氮化物，异质结，铁电。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

2.6 微腔-量子发射体耦合体系中的多体相互作用与调控

指南目标：揭示人工微纳结构中光场与物质相互作用的时空演化规律与调控新机理，开发高性能光量子原理器件。

研究内容：针对多体物理中的新奇物态与量子功能应用，基于微腔-量子发射体耦合体系，研究光子、声子、电子、激子等粒子间的多体相互作用理论与调控机制；发展微纳光腔、声腔及量子发射体等人工微结构的精准调控方法，构建基于单一或多个物理自由度的多体耦合系统；实现多体关联态、非平衡量子态等多体耦合驱动的新奇物态，揭示其产生、演化及调控规律，探索多体耦合体系在新型光量子器件中的应用。

考核指标：构建不少于 3 种各单元独立可控的微腔-量子发射体耦合体系；开发多体耦合的表征手段，实现多体相互作用物性的超高时空分辨测量，时间分辨率 < 50 fs、空间分辨率 < 10 nm；研制不少于 2 种基于三体相互作用的光量子原理器件。

关键词：微腔，量子发射体，多体耦合，光量子器件。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)

与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

2.7 声学人工结构拓扑新物态及其调控研究

指南目标：发展声学人工结构拓扑新物态建构与调控新技术，研制高性能新原理声学器件。

研究内容：面向高端声学器件对宽频、动态和鲁棒声场调控的需求，开展非厄米、非阿贝尔、莫尔及时变声学人工结构拓扑新物态研究；利用主动调制、长程耦合、梯度和转角、多物理场协同等调控手段，在复能量、非均匀时间域等范畴探索声学新物态，拓展拓扑物态的认知边界；基于新物态，研制声表面波谐振器、延迟线和传感器等原理器件，实现高性能、高稳定性声学核心器件。

考核指标：发现至少 3 种非厄米、非阿贝尔、莫尔或时变声学人工结构拓扑新物态；研制中心频率 8 - 10 GHz、工作带宽 1 GHz 以上的高性能声学谐振器；实现检测下限小于 0.05 ppm、灵敏度 30°/%vol 以上的高灵敏氢气传感器。

关键词：声学人工结构，拓扑物态，声场调控，声表面波器件。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

2.8 微纳光学结构中非线性物态精准调控及应用

指南目标：发展新型非线性物态调控原理与技术，实现高效率、大带宽光子频率转换。

研究内容：针对不同波段光子混合集成的瓶颈问题，基于新型波导、纳米铁电畴等微纳光子结构的亚波长精准设计与制备，发展突破传统相位匹配限制的非线性调控新机理；研究非线性极化、非厄米、拓扑等物态的非线性调控及耦合机制，发展共形变换、自发准相位匹配、光子能带工程等调控原理；发展非线性物态精准调控技术，构建高效率、大带宽的集成光子频率转换接口。

考核指标：提出至少 3 种新型非线性物态调控方法，构建至少 2 种基于非线性光子结构的新奇物态；实现一维到三维铁电畴结构的精准制备，达到最小线宽 $\leq 50\text{ nm}$ ，最小周期 $\leq 300\text{ nm}$ ；连续波非线性频率上转换实现带宽 $\geq 400\text{ nm}$ ，泵浦工作波段覆盖 800 nm 到 $3\text{ }\mu\text{m}$ ；光纤到光纤连续光倍频输出功率 $\geq 10\text{ W}$ 。

关键词：非线性光学，相位匹配，频率转换，微纳结构。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

2.9 多组分强关联超冷原子系统的非平衡动力学研究

指南目标：发展混合超冷原子气体中的高精度调控与非平衡动力学观测技术，揭示混合多体系统普适规律。

研究内容：针对超冷原子量子模拟正向多组分、强关联和非平衡动力学方向发展，构建玻色、费米多组分相互作用可控的强关联混合超冷原子平台，发展态分辨测量和驱动技

术，实现自旋-轨道耦合、相互作用及维度的协同调控；研究玻色-费米混合气体的相干动力学，混合玻色气体的量子涨落与拓扑输运，混合自旋系统的驱动与跨维度效应，以及在无序势下的非平衡动力学；揭示热化-局域化相变，混合系统的非平衡普适规律。

考核指标：实现不少于 3 类的多组分量子混合气体，满足组分占比调节精度 $< 10\%$ 、散射长度调节范围 $> 300 a_0$ 、精度 $< 10 a_0$ (a_0 为玻尔半径)；外场驱动时间分辨率 $< 0.1 \text{ ms}$ ，相干时间 $> 450 \text{ ms}$ ，能级频移分辨率 $< 1 \text{ Hz}$ ；建立 1 个跨维度非平衡动力学相图；建立至少 1 种由背景原子气体作为介质诱导的杂质原子间相互作用模型。

关键词：多组分超冷原子，非平衡动力学，热化与局域化，量子涨落效应，诱导相互作用。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

3. 极端条件下的物态调控

3.1 高压下强共价骨架高温超导材料的创制与调控

指南目标：实现高压高温条件下强共价骨架超导体的可控制备与协同调控，建立强共价骨架超导材料设计方法与创制体系。

研究内容：面向研发新型高温超导材料的需求，发展大腔体压机多场协同加载技术，建立高压相宏量制备技术与探

索常压截获新策略；构建强共价骨架材料结构数据库，开展极端条件下强共价骨架超导材料智能设计与实验制备；揭示高压下骨架结构、成键特征、晶格动力学与超导电性的关联关系，阐明骨架结构高温超导体的形成规律。

考核指标：建立综合极端条件下的新材料制备和表征技术，实现高压-高温-超重力（10 GPa-1800 K-500 g）协同加载、大腔体压机 20 GPa-20 mm³ 级样品的宏量合成，具备超高压（ ≥ 150 GPa）原位单晶结构精准解析能力；发展强共价骨架超导材料设计方法，预言不少于 10 种新型骨架超导体；创制至少 1 种新型强共价骨架超导体，超导转变温度达到液氮温区。

关键词：强共价骨架结构，高压-高温-超重力综合极端条件，超导体设计与创制，BCS 高温超导体。

配套经费要求：常规项目配套经费（地方财政+单位自筹）与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

3.2 强磁场下关联自旋物态的多场调控与极限制冷研究

指南目标：基于金属自旋超固态等新奇量子物态，实现低于 30 mK 的无氦-3 固态制冷。

研究内容：针对空间探测和物质科学研究等对无氦-3 极低温制冷的迫切需求，开展基于自旋超固态等新奇量子物态的极限制冷研究；发展强磁场、高压、应力等多场环境下的极低温测量技术，实现对关联自旋物态的精准表征与调控；

揭示强磁场驱动的自旋物态及其磁卡效应新机理，研制新型自旋热电原理器件，为无氦-3 极低温技术提供关键物理支撑。

考核指标：基于金属自旋超固态等关联自旋物态实现最低制冷温度 30 mK，金属制冷模块体积 $\geq 10 \text{ cm}^3$ ，亚开温区单模块制冷量 $\geq 200 \text{ mJ}$ ；建立适用于强磁场环境 ($\geq 35 \text{ T}$)、转角应力 ($> 0.5\%$) 与高压 ($> 2.4 \text{ GPa}$) 调控下的电输运、核磁共振测量技术；发现至少 3 种强磁场诱导的新奇关联自旋物态，研制出至少 1 种自旋热电原理器件，实现亚开温区的显著自旋塞贝克效应 (电压 $\geq 50 \text{ nV}$)。

关键词：强磁场，多场调控，自旋超固态，极限制冷。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

3.3 超强激光驱动量子电动力学等离子体新物态

指南目标：发展超强光场与物质相互作用理论与实验方法，揭示极端强场量子电动力学基本过程和规律。

研究内容：针对量子电动力学 (QED) 等离子体的超高光强需求，发展超强激光的聚焦与时空调控新方法；揭示等离子体中辐射阻尼、自旋、轨道角动量等非线性 QED 新效应；建立 QED 等离子体的伽马光子与正负电子对等产物的复合测量方法；实验研究超强激光驱动 QED 等离子体的伽马辐射与正负电子对产生等过程，验证辐射主导效应。

考核指标：构建近衍射极限的聚焦光场，实现激光峰值

光强 $\geq 2 \times 10^{23} \text{ W/cm}^2$; 基于轨道角动量分辨的 QED 等离子体理论发现至少 2 个新量子效应; 实现 QED 实验条件下伽马光子与正负电子对的单发复合测量 (能量范围: 伽马光子 0.1 MeV - 1 GeV、正负电子 50 MeV - 5 GeV; 能量分辨: 伽马光子 $\leq 10\%$ @ 50 MeV、正负电子 $\leq 5\%$ @ 1 GeV); 实验上实现超强激光驱动等离子体的伽马光子辐射效率 $\geq 0.3\%$ 。

关键词: 飞秒超强激光, 激光等离子体相互作用, 强场 QED 效应, 伽马辐射, 正负电子对产生。

配套经费要求: 常规项目配套经费(地方财政+单位自筹) 与国拨经费的比例不低于 1:3, 鼓励项目争取地方财政支持。

3.4 极端外场下极性拓扑材料的动力学观测和物态调控

指南目标: 发展量子材料非平衡态的多模态超快协同表征技术, 实现极性拓扑态调控与高性能电子器件构筑。

研究内容: 针对极性拓扑材料面临非平衡拓扑态形成、稳定与操控的科学挑战, 发展强电场、超短光脉冲等综合极端条件下的高时空分辨电荷成像技术, 实现电子衍射与成像、扫描隧道显微、瞬态光谱等超快手段的多模态测量, 揭示极性斯格明子、涡旋等拓扑态在外场下的微观动力学机制与电荷转移规律, 为拓扑电子学器件提供核心原理与调控方案, 并研制原理器件。

考核指标: 发展极端条件下的高时空分辨电荷成像技术, 实现亚纳秒时间分辨 ($\leq 1 \text{ ns}$)、纳米级空间分辨 ($\leq 10 \text{ nm}$)

的电荷动态分布探测；在铁电超晶格或异质结中获得至少 2 种外场诱导的新型非平衡极性拓扑态，实现不少于 2 种拓扑态的可逆调控；研制出不少于 2 种极性拓扑电子学原理器件，实现阻态数大于 5、存储密度大于 $T(10^{12}) \text{ bit/inch}^2$ 的多阻态存储。

关键词：极性拓扑结构，极端外场，超快电荷微观成像，非平衡拓扑态调控，多场调控。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

3.5 基于超快非经典光场的原子分子量子态调控

指南目标：发展高亮度超快非经典光场，实现极短时间尺度动力学演化过程的精密测量与相干调控。

研究内容：针对原子分子量子态调控受制于经典光场的局限，建立并发展高亮度非经典超快光源及其与原子分子相互作用量子电动力学 (QED) 理论；揭示超快光场驱动原子分子电离、解离及太赫兹、极紫外辐射等过程中的新量子效应；利用光场非经典特性实现原子分子非线性效应及分子反应通道调控的量子增强；实现阿秒时间尺度上的原子分子多体量子纠缠超快演化的精密测量与相干调控。

考核指标：建立稳定的明亮压缩真空态光源，实现模式数连续可调，在单模条件下达到二阶关联 2.6 以上、单脉冲能量 $> 10 \mu\text{J}$ ；实现太赫兹 (0.1 – 3 THz 波段) 辐射量子增强 > 5

倍、时间分辨测量优于 50 fs；利用非经典光场的 QED 效应实现原子分子非线性响应 > 20 倍、分子反应通道分支比 > 10 倍的量子增强。

关键词：非经典超快光源，原子分子量子态，超快非线性效应，QED 效应，量子场驱动相干辐射。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

3.6 面向仄秒时间分辨的超快激光物理

指南目标：突破亚阿秒时间分辨技术，揭示仄秒时间分辨的粒子超快关联新机制。

研究内容：针对阿秒科学向仄秒尺度拓展时激光脉宽与探测能力受限的瓶颈，研究强场高次谐波产生与相位匹配技术，发展仄秒时间分辨技术；发展相对论电子束微聚束等调控方法，产生超快 γ 射线辐射；突破泵浦-探测阿秒时间极限，建立仄秒分辨的超快谱学探测方法；发展量子多体理论模型，揭示多粒子超快关联机制。

考核指标：实现高次谐波截止能量 > 6.5 keV，支持 < 1 as 变换极限脉冲；电子微聚束脉冲宽度 < 1 as，并产生超快 γ 射线；超快谱学探测时间分辨率 < 1 as，揭示仄秒时间分辨的粒子间动量、角动量、自旋关联新规律。

关键词：仄秒脉冲，电子关联，高次谐波，相干控制，光核物理。

配套经费要求:常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3, 鼓励项目争取地方财政支持。

4. 数智驱动的物态调控

4.1 面向新型功能材料的异源多模态数据汇聚技术

指南目标: 实现面向数智驱动物态调控的全流程、可溯源、多源异构数据汇聚融合与价值挖掘。

研究内容: 针对稳态数据主导、动态演化缺失及计算-实验数据割裂问题, 发展以智能采集与自动溯源为基座的非平衡态与亚稳态数据汇聚技术, 系统构建模拟、谱学、图像学三维互补的异源数据融合框架: 突破多维动态演化数据标准化、多模态时空对齐与结构化降维、计算-实验双向验证及负样本纳入等关键技术, 支撑功能材料设计与新物态发现。

考核指标: 建成 1 个覆盖典型功能材料非平衡态与亚稳态的可溯源多维动态演化数据库, 形成至少 8 项智能采集与自动溯源新技术; 发展至少 4 种多模态数据自动匹配、结构化降维、计算-实验双向验证及负样本分级标注新技术, 并在至少 3 类功能材料中实现闭环验证。

关键词: 动态演化数据汇聚, 异源多模态融合, 模拟-谱学-图像学协同, 全流程可信验证。

配套经费要求:常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3, 鼓励项目争取地方财政支持。

4.2 物理约束的电子结构变分机器学习方法与计算软件

指南目标：发展融合人工智能的科学计算方法，突破传统算法中精度与效率难以兼顾的瓶颈。

研究内容：针对大尺度、复杂体系计算精度与效率难以兼顾的瓶颈，发展基于神经网络的密度矩阵模型，提升对极化、磁性、激发态及含时演化等复杂问题的计算模拟能力；提升神经网络模型的跨尺度、跨材料体系泛化能力和预测精度，推动电子结构计算方法智能化升级；融合计算模拟-自主实验技术，支撑新材料与新物态发现。

考核指标：发展至少 1 种基于密度矩阵变分优化与物理约束机器学习的准线性标度电子结构计算新方法，开发至少 1 种受限激发态的变分优化新模型；开发 1 套基于物理约束机器学习的新架构计算软件；在新型量子材料、能源材料等研究中，通过计算设计-实验验证发现至少 3 种新材料或新物态。

关键词：密度矩阵变分优化，等变图神经网络，物理约束的机器学习。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

4.3 数智驱动的大尺度第一性原理多物理场耦合计算方法与软件

指南目标：发展密度泛函理论等关键算法，推动多物理场耦合计算模拟方法智能化升级。

研究内容：面向大尺度第一性原理计算方法和软件需求，

发展融合人工智能、绕开对角化的大尺度密度泛函理论计算方法，构建电、光、力、声、热、磁及输运物性的统一计算框架，实现外场驱动的自洽非平衡态、量子输运与多物理场耦合的高效模拟；基于机器学习实现中小规模计算集群上的器件尺度物性模拟，并围绕量子物态、电子器件等开展计算-实验协同研究。

考核指标：开发 1 套融合人工智能的近线性标度密度泛函理论计算新框架，实现外场自洽非平衡输运与时域瞬态动力学的 $10^5 - 10^6$ 原子级器件模拟，实现至少 3 类多物理场耦合物性的计算预测；开发 1 套数智驱动的大尺度第一性原理国产化软件，并在至少 2 类体系中完成关键可观测物理量的计算-实验定量验证。

关键词：大尺度第一性原理计算，自洽非平衡与量子输运，时域瞬态动力学，多物理场耦合。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。

4.4 人工智能驱动的拓扑自旋态及其与超导复合的新物态创制与调控

指南目标：实现人工智能驱动的三维拓扑自旋态与拓扑自旋-超导复合态材料设计、构筑与调控。

研究内容：针对拓扑自旋材料设计困难、拓扑自旋-超导直接耦合体系缺乏、三维自旋态与界面磁性表征精度不足等

瓶颈，发展融入物理先验和对称性约束的机器学习框架，辅助探索反霍普夫子材料、磁性-超导直接耦合异质结，阐明物态演化规律；发展人工智能增强三维重构与原子分辨界面磁性表征；逆向设计构筑拓扑自旋信息功能原理器件。

考核指标：利用机器学习高效筛选并发现至少 1 种室温反霍普夫子材料、构筑至少 2 种拓扑自旋-超导直接耦合异质结、提出至少 2 种拓扑自旋-超导复合物态操控方法；开发 1 种人工智能增强型三维磁重构表征技术（空间分辨率优于 5 nm）以及 1 种具备原子级分辨率的界面磁性表征新方法；逆向设计并研制至少 2 种拓扑自旋信息功能原理器件。

关键词：材料逆向设计，拓扑自旋态，自旋-超导直接耦合。

配套经费要求：常规项目配套经费(地方财政+单位自筹)与国拨经费的比例不低于 1:3，鼓励项目争取地方财政支持。