

## 交叉科学部重大项目指南

2024 年交叉科学部共发布 7 个重大项目指南，拟资助 6 个重大项目。项目申请的直接费用预算不得超过 1500 万元/项。

# “新型磁子学基础研究：材料、物理和器件”

## 重大项目指南

磁子是自旋波的能量子，是类似于光子和声子的准粒子，可以用来定向、高速和高频(1 GHz ~ 1 THz)传输自旋信息。磁子由于其电中性、无焦耳热的特征，从而能显著降低热耗散。探索新型磁子学器件，推动未来信息科学技术的可持续发展，是亟待重点发展的新兴交叉学科研究领域。本项目拟通过多学科交叉研究磁子学的材料制备、基础物理、器件研制等，重点解决磁子调控及输运等关键科学问题，实现系列突破性进展。

### 一、科学目标

磁子学器件具有频率可调范围宽和能耗低的优势。探索新奇磁子量子效应，并基于磁子阀和磁子晶体管等微纳结构，实现磁子的可控激发、输运和探测，构造新型磁子学原型器件。

### 二、研究内容

#### (一) 新型纳米磁异质结材料制备与磁子调控。

设计和制备多种高质量新型纳米磁异质结材料，如磁性绝缘体异质结；系统研究磁子流的高效产生和调控机制；实现磁子力矩转移及自旋信息的写入和读取。

#### (二) 磁异质结中新型磁子态及其输运规律研究。

构筑新型磁子态，探索磁子与其它准粒子的耦合，研究磁子态的调控机制；发展包括多种准粒子相互作用的磁子输运理论，

唐家林 华南农业大学

探索新型器件原理。

唐家林 华南农业大学

(三) 基于磁异质结的磁子晶体及晶体管等磁子器件研究。

唐家林 华南农业大学

构筑基于磁子阀和磁子结的新型磁子晶体及磁异质结等器件；实现磁子晶体和器件中磁子的激发、输运、滤波、调控、开关等功能，发现新奇磁子量子效应；研制出有应用前景的磁子二极管、晶体管、逻辑门等磁子原型器件。

### 三、申请要求

唐家林 华南农业大学

(一) 申请书的附注说明选择“新型磁子学基础研究：材料、物理和器件”，受理代码选择 T01：物质科学领域。

唐家林 华南农业大学

(二) 咨询电话：010-62328382。

# “光受体分子机制跨时空动态研究”重大项目指南

光受体是生物体接受环境光信号，激发一系列信号转导，从而实现光能调控生物功能的一类生物大分子机器。在多时空尺度下深入理解光受体信号传导结构变化以及光受体多体蛋白质构象变化，是对植物生长发育、生物昼夜节律等生理过程进行精准调控的前提。鉴于光受体的整体功能实现涉及从飞秒到毫秒跨时空尺度的构象动态变化，本项目旨在探索光受体功能中尚未明晰的动态分子机制，实现光受体动力学功能调控。

## 一、科学目标

采用多种时空分辨的原位观测手段探索光受体在光受激下的动态变化过程，揭示光受体信号传导的蛋白质结构动态变化规律，阐明光受体信号传导结构变化以及光受体多体蛋白质相互作用的构象变化等关键分子动态机制。

## 二、研究内容

### （一）光受体初始光启动机制研究。

针对光受体初始光启动阶段，研究从飞秒至纳秒时间尺度各类光受体在光诱导起始阶段的能量、电子、质子转移及构象扭转等动力学行为，揭示光受体初始光启动机制。

### （二）光受体早期信号传导结构变化。

针对光诱导下光受体从飞秒至微秒多时空尺度结构变化，利用时间分辨 X 射线晶体衍射等技术，建立动态光谱信息与光受体

唐家林 华南农业大学

唐家林 华南农业大学

唐家林 华南农业大学

结构变化之间的量化关系，解析初始信号的传导路径，揭示传导过程中的结构变化规律。

### （三）光受体中后期多体蛋白质构象变化。

针对光受体从纳秒至秒的跨时间尺度构象动态变化，发展原位电镜等动态结构解析方法，揭示中后期信号转导过程中蛋白质之间相互作用的动态分子机制，实现光受体动力学功能调控。

## 三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“光受体分子机制跨时空动态研究”，受理代码选择 T01。

唐家林 华南农业大学

唐家林 华南农业大学

唐家林 华南农业大学

（二）咨询电话：010-62328382。

# “巨行星内部物质及其物态演化的物理机制和效应”

## 重大项目指南

巨行星占据了太阳系除太阳之外总质量的 99.5%，研究巨行星对于理解太阳系的形成和演化具有重要价值，并对发现和认识系外行星具有重要借鉴作用。由于探测方法和研究手段的限制以及存在高温高压极端条件等因素，人们对于巨行星内部物质的认识仍然非常有限，严重限制了对巨行星结构及其演化的认识和理解。开展巨行星内部物质及其物态演化的物理机制和效应研究是解决上述困境的关键突破点。

### 一、科学目标

针对人们对巨行星内部物质存在形式及其物态演化规律的认识瓶颈，发展和优化可适用于高温高压极端条件物质研究的理论计算和实验模拟方法，系统开展巨行星内部物质及其物态的计算模拟和实验研究，为合理构建行星模型、拓展巨行星科学认知和实现国家深空深地探测战略目标奠定研究基础。

### 二、研究内容

(一) 巨行星内部物质新结构、物态和物性的理论计算。

发展适用于超高压等极端条件下的晶体结构搜索和动力学模拟等计算方法，预测巨行星内部可能存在的新物质，并揭示其在巨行星内部超高温超高压下的结构、物态和物性。

(二) 巨行星内部物质物性和物态的动态压缩实验研究。

发展基于轻气炮和激光等平台的 TPa 量级动态压缩技术以及先进原位诊断方法，研究巨行星内部物质在超高温超高压极端条件下的结构演化和物性。

(三) 巨行星内部物质的高温高压合成及原位测量。

发展金刚石对顶砧静高压新技术，结合激光加热，在 150 GPa 以上压强合成巨行星内部物质，并综合运用同步辐射 X 射线衍射、激光拉曼散射与红外光谱等研究手段，表征其结构和物理化学性质，揭示巨行星内部物质的演化规律。

(四) 基于超高温超高压物相组成和演化构建巨行星模型。

揭示巨行星内部物质分布、物态构成和圈层结构及其形成机制，阐明其对巨行星及其他行星磁场、冷却和演化的影响。

### 三、申请要求

(一) 申请书的附注说明选择“巨行星内部物质及其物态演化的物理机制和效应”，受理代码选择 T01。

(二) 咨询电话：010-62328382。

# “基于磁场与重力感应的生物导航机制研究”

## 重大项目指南

地磁场和重力场是地球自身产生的两个最基本的物理力场，整个生物系统的演化均在这样的背景下进行。生物导航的实现与这两个场密切相关，其微观机制是一个亟待解决的基础科学问题。通过生物、物理、化学多学科交叉融合的研究手段，聚焦基于磁场和重力感应的生物导航，探索其形成机理，阐述微观机制并发现新规律。

### 一、科学目标

针对基于磁场与重力感应的生物导航，利用量子精密测量等探测技术，阐明生物体感应磁场与重力的分子机制，构建生物导航机制的物理模型，探索基本规律。

### 二、研究内容

#### （一）生物体感应磁场与重力的物理基础和分子机制。

选择生物演化过程中出现的若干种对磁场和重力有明确反应的典型模式植物和动物为研究对象，研究不同生物感应磁场和重力的物理基础和分子机制，并解析生物体对磁场和重力信号的响应和传递机制。

#### （二）生物体感应磁场与重力进行导航的微观机制。

选择若干种基于磁场或重力感应进行导航的典型模式生物为研究对象，开展从基因到蛋白质、从生物化学到生物物理学、

从实验到理论模型的多维度研究，探索不同生物感应磁场或重力模式的多样性和内在机理的共通性，阐明生物基于磁场或重力感应导航的微观机制。

### （三）探索生物导航基本规律。

结合以上两方面研究内容，对基于磁场和重力感应的生物导航机制进行定量表述，建立新的理论模型，揭示生物导航基本规律。

## 三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“基于磁场与重力感应的生物导航机制研究”，受理代码选择 T01。

（二）咨询电话：010-62328382。

# “智能原子微波探测理论与方法”重大项目指南

原子微波探测有望突破金属天线的灵敏度极限，实现超宽带、可溯源的微波精密测量，成为了国际竞相部署竞争的前沿性、战略性科学与技术。瞄准开放电磁环境下原子微波探测面临的基本科学难题，以人工智能视角突破物理局限，在感知原理、多体机制、解析方法、学习理论等方面取得基础理论创新，在信号构建、信号增强、信号解析、阵列设计等方面取得关键技术突破，形成人工智能与原子天线融合的新体制射频信号感知理论和系统构架，促进人工智能基础理论创新与微波精密测量技术变革，具有基础科学意义和重大技术价值。

## 一、科学目标

针对开放电磁环境下原子微波探测面临的复杂性、动态性、干扰性、对抗性等重大挑战，揭示原子天线对复杂电磁环境多模信号的智能感知原理，建立多体相互作用下里德堡原子体系的大尺度动力学模拟方法，研究里德堡原子晶格系统与多模瞬态微波信号作用的智能建模，探索微弱混叠微波信号的智能解析方法，建立面向开放场景机器学习的可学习理论，构建原子微波探测阵列设计的智能优化方案，为复杂电磁环境原子微波探测重大工程实施提供基础性科学理论与方法。

## 二、研究内容

(一) 跨频段微波信号的感知机理。

揭示原子天线对跨频段微波的感知原理，研究跨频段微波信号高灵敏响应的里德堡原子新型量子态制备和操控技术，探索自适应里德堡原子阵列的时域微波信号相互作用感知机制，突破复杂电磁环境多模式信号感知的关键技术，为复杂电磁环境下超远距离目标的微波高灵敏探测提供技术方案。

#### （二）微波探测原子晶格的智能建模。

建立多体相互作用下里德堡原子体系大尺度动力学模拟方法，研究里德堡原子多维光晶格的能级调控，揭示原子晶格拓扑结构与微波电场作用的物理原理，探索原子晶格在环境噪声下对微波信号探测的纠错机制，结合机器学习实现可调多体相互作用下里德堡原子晶格系统与多模瞬态微波信号作用的智能建模。

#### （三）微弱混叠微波信号的智能解析。

构建微波信号分析的高质量大数据集，探索极弱微波信号的自适应增强机制，揭示混叠微波信号的高效智能解析原理，研究微波信号反演的探测目标识别方法，建立开放场景下机器学习的动态可学习理论和自监督可学习理论，解决超远距离目标高效率高精度探测难题。

#### （四）原子微波探测阵列的智能设计。

探索大动态、强电磁干扰对微波探测效果的影响机理，研究具有对抗性能力的微波信号防截获机制，建立原子微波探测阵列设计的智能优化方法，构建具有博弈机制的微波信号模式智能变换方法，提出内嵌了学习机制的原子微波探测科学评价方法，提

升探测装备的感知性能和抗干扰能力。

### 三、申请要求

(一) 申请书的附注说明选择“智能原子微波探测理论与方法”，受理代码选择 T02。

(二) 咨询电话：010-62329489。

# “纳米催化肿瘤原位反应及微环境免疫调控”

## 重大项目指南

肿瘤发生发展过程中存在微环境异常，促进肿瘤细胞免疫逃逸。纳米催化材料可调控肿瘤原位化学反应，结合免疫活性生物材料，增强抗肿瘤免疫应答，但其与肿瘤微环境免疫应答之间的多尺度时空映射关系不明确。因此，解决纳米催化材料调节肿瘤原位反应及免疫微环境构效、量效关系的关键科学问题，有助于发展实体肿瘤免疫调控研究新方法，推动肿瘤精准诊疗。

### 一、科学目标

面向肿瘤免疫治疗的临床需求，利用纳米材料结构和性能可控、催化位点可设计、载体功能易集成等特点，构建具有高活性、生物安全的纳米催化材料体系，促进肿瘤免疫微环境抑制性代谢物的高效转化以及活性物质的生成。利用先进表征技术揭示催化材料诱导免疫激活、调控免疫微环境等多尺度过程的机制，阐明“纳米催化材料-肿瘤细胞-免疫微环境”三者相互作用规律，通过肿瘤原位纳米催化，实现肿瘤免疫精准调控。

### 二、研究内容

#### （一）纳米催化材料设计及其免疫激活性能优化。

设计构筑特殊理化环境响应的纳米催化材料，转化抑制肿瘤免疫的代谢产物，改善肿瘤微环境的免疫抑制性。根据肿瘤微环境特征，采用模拟计算、人工智能、物理场调控等技术，迭代优

化纳米催化材料，结合免疫活性生物材料，实现肿瘤原位催化及免疫激活，阐明其构效关系。

### （二）肿瘤微环境原位催化反应的动态表征与模拟。

运用同步辐射等大科学装置、谱学/显微学等表征平台，利用细胞、类器官、动物等模型，发展肿瘤微环境催化反应的动态表征技术；阐明原位催化反应活性中心、转化产物与微环境底物在时空和能量匹配的作用机制；构建包含肿瘤免疫微环境下催化反应转化率、底物选择性等要素的新模型和新体系。

### （三）纳米催化材料的肿瘤免疫微环境重塑与调控机制。

以肝癌、胰腺癌等恶性肿瘤为研究对象，通过生化标记、高分辨成像等方法，揭示纳米材料催化反应和免疫调节对肿瘤微环境重塑的机制；利用多组学分析手段，解析纳米催化材料影响肿瘤免疫微环境乃至免疫系统的作用规律，为探索新型免疫调控催化材料的临床应用提供科学依据。

## 三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“纳米催化肿瘤原位反应及微环境免疫调控”，受理代码选择 T03。

（二）咨询电话：010-62327096。

# “肿瘤免疫治疗中的 TCR-T 细胞智能设计与构建”

## 重大项目指南

工程化 T 细胞受体 T 细胞 (TCR-T 细胞) 免疫疗法通过人工改造 TCR 使 T 细胞识别并杀伤肿瘤, 在精准治疗实体肿瘤中展现出巨大的应用潜力。然而, 目前这一领域面临诸多挑战, 包括肿瘤特异性抗原及反应性 TCR 筛选不全面、抗原识别模式不清等问题, 因此精准设计与构建 TCR-T 细胞是肿瘤免疫治疗的关键。本项目拟基于抗原及 TCR 特异性识别, 通过高通量多组学、人工智能和合成生物学等前沿技术, 构建智能筛选和预测模型, 设计肿瘤反应性 TCR-T 细胞, 为个性化 T 细胞免疫治疗提供理论依据与技术支持。

### 一、科学目标

面向我国高发恶性实体肿瘤精准治疗的重大需求, 集成时空多组学数据, 建立肿瘤特异性抗原和肿瘤反应性 TCR 的精确筛选和预测模型; 智能设计与合成 TCR-T 细胞, 实现基因调控网络重编程与细胞效能重塑; 验证 TCR-T 细胞的靶向性、有效性和安全性, 为肿瘤免疫治疗提供科学依据。

### 二、研究内容

#### (一) 肿瘤反应性 TCR 智能筛选和预测。

获取肿瘤多组学时空动态数据, 建立 MHC 抗原肽组库和 TCR 组库; 发展可解释人工智能技术, 解析肿瘤浸润 T 细胞的受

唐家林 华南农业大学

体序列识别模式特征，阐明 TCR 与肿瘤发生发展的相关性；建立 pMHC 和 TCR 互作的高通量实验表征体系，构建肿瘤反应性 TCR 生成式智能模型，实现模型的“设计-表征”迭代优化。

## （二）TCR-T 细胞的智能设计与高效合成。

唐家林 华南农业大学

研发 TCR 基因高通量合成技术，发展安全、高效转染新方法；针对肿瘤微环境及特异性抗原，形成可扩展并适用于多种实体肿瘤治疗的 TCR-T 细胞智能设计技术体系，增强其向实体肿瘤的浸润能力；设计合成基因线路开关，优化基因调控网络，实现 TCR-T 细胞的效能重塑和免疫应答的精准调控。

## （三）TCR-T 细胞免疫治疗的有效性和安全性验证。

唐家林 华南农业大学

综合评估人工设计的 TCR- T 细胞对肿瘤细胞的杀伤作用，验证其靶向性、有效性和安全性；探索 TCR-T 细胞疗法与免疫检查点抑制剂等肿瘤免疫疗法的联合增强效应，避免 T 细胞耗竭和肿瘤免疫逃逸，实现对肿瘤的精准高效杀伤。

## 三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“肿瘤免疫治疗中的 TCR-T 细胞智能设计与构建”，受理代码选择 T03。

（二）咨询电话：010-62327096。