

附件 1

数学物理学部重大项目指南

2025 年数学物理学部共发布 9 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。

“数学物理中随机现象的理论探索”重大项目指南

概率论与随机分析为数学物理中的随机现象研究提供了不可或缺的理论工具和方法支撑。与此同时，物理系统的特殊性质不断催生新型随机过程理论的发展，推动了数学与物理的深度交叉。这种双向互动为湍流建模、相变理论和尺度极限等重要问题的研究提供了新的研究思路。对这些重要问题的深入探索将进一步揭示随机现象背后的数学原理和物理机制，为数学物理的理论创新与技术应用开辟新路径。

一、科学目标

本项目聚焦数学物理中随机现象及其相关领域的重要公开问题，着重研究流体力学、统计物理和量子场论等领域中几类重要系统的临界现象、相变理论和尺度极限等问题，为理解数学物理中复杂随机现象提供新的理论工具，并推动相关交叉领域的融合与创新。

二、研究内容

（一）随机偏微分方程。

研究奇异随机偏微分方程性质，包括弱普适性、匀质化，并发展相关的多指标方法等；研究随机流体方程，包括噪声的正则化效应、反常耗散、增强耗散、强混合性质，以及在临界空间中解的不唯一性。

（二）平均场模型的理论和应用。

建立随机交互粒子系统的平均场极限与混沌传播，并刻画其在平均场极限附近的涨落行为；研究随机交互粒子系统和平均场方程的长

时间行为与稳态分布；揭示典型平均场模型（如库仑气体）和其他问题（如随机矩阵特征值）的深刻联系。

（三）乘性混沌与随机傅里叶级数。

针对乘性混沌理论中曼德尔布罗特随机级联、高斯乘性混沌等核心模型，研究欧式空间中乘性混沌的相关调和和分析理论；研究一维或高维环面上乘性混沌的傅里叶分析与随机傅里叶级数的联系，建立随机傅里叶级数正则性的相关理论。

（四）随机环境下的随机游走。

研究随机图的几何性质，包括长短程渗流和高斯水平集渗流无穷簇、分支随机游走轨迹图等，以及随机图上对应的随机游走；刻画常返性、电阻增长、尺度极限等；研究随机图上的定向聚合物，建立局域化相变等理论。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“数学物理中随机现象的理论探索”，申请代码 1 选择 A0209、A0210 或 A0211。

（二）咨询电话：010-62327191。

“金融市场风险的数学理论和方法研究”重大项目指南

金融安全是国家安全的核心组成部分，防范金融风险是实现金融强国的重大需求。传统概率统计和金融风险计量方法在面对复杂、动态的金融市场时，存在对系统性风险、非线性特征和极端风险的忽视或低估，难以满足现代金融风险预警的需求。

国际上基于非线性期望等前沿数学理论已构建新型风险度量工具与预警模型。但在非完备市场动态风险测度的精准量化、智能预警系统的自适应建模等核心领域，仍面临一系列技术瓶颈与理论挑战；亟需研究带有学习策略的倒向随机微分方程和非线性中心极限定理，建立融合深度学习与多智能体博弈的风险预警模型，为构建我国新一代智能驱动的金融风险防控体系奠定理论基础。

一、科学目标

发展非线性期望下的动态风险度量、资产定价及预警决策理论，构建具有前瞻性与动态稳健性的区间型风险预警模型，以克服传统 VaR 和 ES 方法的局限性。通过理论创新、技术突破和实证分析，制定金融风险计量标准，为我国监管部门提供科学决策辅助工具。

二、研究内容

（一）非线性期望与倒向随机微分方程理论。

研究非线性期望框架下的倒向随机微分方程、模型不确定性下的风险度量及非线性期权定价公式；探讨非线性期望下带有学习策略的大数定律、中心极限定理及金融大模型的极限定理；研究非线性期望下平均场情形的随机最大值原理与动态规划原理。

（二）风险度量的理论和指标体系。

基于非线性期望理论建立新型的金融风险度量工具，研究金融风险之间的关联关系和先行指标体系，探讨模型不确定性下非线性分布参数刻画与指标构建；研发高频高维金融数据迁移性强的统计分析算法；研发金融信息提取、事件演化分析及重要应用场景的模拟与验证方法。

（三）金融产品定价计量算法和实证分析。

构建金融产品定价的计量理论及其高效算法；结合倒向随机微分方程理论建立适用于存在交易成本、流动性约束或非线性预期情况下的定价理论；结合非线性期望理论，建立符合中国金融特性的布莱克-舒尔斯型定价机制，研究产生阿莱斯悖论和艾尔斯伯格悖论的原因；利用大数据和人工智能工具开展实证分析。

（四）金融科技驱动的预警模型、决策机制和实证分析。

建立风险模型不确定下的稳健预测方法和高效预警机制；建立金融市场在线模型选择与动态风险决策的理论基础；建立概率最大化驱动的强化学习决策机制和 $G\text{-VaR}$ 稳健算法；基于策略极限理论构建风险控制效用驱动的强化学习框架；利用大数据和人工智能工具开展实证分析。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“金融市场风险的数学理论和方法研究”，申请代码 1 选择 A0601 或 A0603。

（二）咨询电话：010-62327191。

“旋转与磁场约束下对流动力学与输运研究”重大项目指南

研究旋转和磁场约束下的对流运动，对理解天体磁场活动、内部动力学和大气运动等过程具有重大科学意义，也是我国空间科学基础与应用研究的重大需求。从流体力学角度出发，明确旋转与磁场约束下的对流动力学和输运机理，是理解上述过程的关键。然而，现有的研究尚未达到天体流体力学条件，且大多局限于分别研究旋转或磁场约束下的对流运动。本项目针对上述问题研究类天体流体力学条件下旋转与磁场约束对流的若干关键科学问题。

一、科学目标

本项目针对类天体流体力学条件，开展旋转与磁场约束下对流动力学与输运的基础研究。通过在测量技术和模拟方法上的突破与创新，在实验上实现对流强度 $Ra \geq 10^{13}$ 、旋转约束强度 $Ek^{-1} \geq 10^8$ 、磁约束强度 $Q \geq 10^8$ 的极端条件。项目旨在解决如下关键科学问题：旋转与磁场约束对流的能量传递规律；复杂约束效应对纬向急流、大尺度涡等结构的作用机理；磁旋平衡态和旋转对流终极态的流动结构与输运规律。

二、研究内容

（一）旋转与磁场约束下对流运动实验测量与能量输运。

针对天体对流系统中广泛存在的以磁流体为工质的旋转与磁场约束对流，研发高时空分辨率的测量方法，开展磁流体对流实验研究；剖析旋转约束和磁场约束对湍动能在不同尺度分配过程中的作

用机制，建立湍动能谱标度律模型；揭示旋转与磁场约束导致的流动结构各向异性对耗散场分布特性的影响规律，并基于此建立全局输运模型。

（二）旋转与磁对流中复杂约束下的流动结构动力学。

针对天体对流系统中的复杂约束条件，建立相应的流体力学实验模拟系统，开发满足相应约束条件的实验装置及数值模拟方法；研究复杂约束下的对流结构动力学特性及演化规律；揭示复杂约束下流动结构对系统输运效率等响应参数的调控规律，并发展相应的理论模型。

（三）旋转与磁场约束下磁旋平衡态输运规律。

针对天体对流系统中存在的磁旋平衡态开展研究，开发旋转和磁场共同约束下对流实验系统和数值模拟方法；研究磁场与旋转共同约束条件下对流启动的临界参数对旋转和磁场强度的依赖关系；明确磁旋平衡态出现的条件，揭示磁旋平衡态输运效率对旋转和磁场约束强度的依赖规律。

（四）旋转与磁场约束下对流终极态输运机理。

针对天体内部对流运动处于强旋转、强对流的极端流体力学条件，实现极端参数条件下流场结构与输运特性的精密测量；研究旋转对流终极态形成的参数范围；建立旋转对流终极态的热输运标度律；探索磁场强度对旋转对流终极态相干结构尺度和动量输运效率的影响。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“旋转与磁场约束下对流动力学与输运研究”，申请代码 1 选择 A09 及下属申请代码。

（二）咨询电话：010-62327178。

“宇宙网络中星系生态系统的观测和模拟研究”

重大项目指南

星系处在复杂的生态系统中，其形成和演化涉及多个关键物理过程：暗物质宇宙网络的形成和演化、气体从宇宙网络被吸积到星系中、恒星的形成和反馈、气体逃离星系中心到达星系周边，甚至进入宇宙网络中。对星系生态系统的观测和模拟研究将有望解答“星系如何与宇宙网络进行物质、能量和角动量交换”这一关键重大科学问题。

一、科学目标

构建暗物质为主的宇宙网络，重构宇宙网络的形成和演化，探测宇宙网络中的多相气体分布，揭示星系生态系统的形成和演化规律。

二、研究内容

（一）基于巡天观测精确构建宇宙网络。

从星系分布精确构建连续的暗物质密度场，研究不同性质星系与暗物质晕之间的关系，发展从可观测的离散星系分布构建连续暗物质场的方法，精确构建跨度 100 亿光年的宇宙网络。

（二）基于数值模拟重构宇宙网络的形成与演化。

发展从 $z \sim 0$ 的宇宙暗物质分布重构早期初始物质扰动条件的方法，开展高精度暗物质结构演化的模拟，重构宇宙网络的演化历史。结合巡天观测和重构模拟，研究星系在宇宙网络中的形

成规律。

（三）精确探测宇宙网络中的多相气体。

结合多波段巡天观测数据，探测星系中的冷气体、星系周边的温气体、以及宇宙网络中的热气体，研究不同宇宙网络环境下多相气体的物理状态，如温度、密度、速度等。

（四）探究宇宙网络中星系与气体共同演化规律。

开展流体数值模拟，探究多相气体之间的转换规律；基于星系和多相气体的观测，深入研究星系、气体和宇宙网络环境的相关关系；发展星系形成理论，探索星系生态系统的形成与演化规律。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“宇宙网络中星系生态系统的观测和模拟研究”，选择申请代码 1 选择 A14 及下属代码。

（二）咨询电话：010-62325940。

“恒星爆发与星系核区结构形成”重大项目指南

星系核区发生着剧烈和丰富的物理过程，具有多样性的结构。近年来，光学红外波段的高空间分辨率、高红移观测以及地面引力波的测量表明，恒星及其爆发过程对核区结构形成起着关键作用。研究核区极端环境下恒星形成到致密天体爆发的整体过程，有望理解核区结构形成和演化的规律。

一、科学目标

以致密气体环境下的恒星演化和恒星动力学过程为主线，以多信使观测为基础，理解核区结构与动力学的自洽形成过程，包括：吸积盘中大质量恒星形成与演化、恒星爆发及多信使特征、星系核区恒星动力学过程以及星系核区结构与观测特征。

二、研究内容

（一）吸积盘中大质量恒星形成与演化。

研究活动星系核吸积盘中恒星吸积过程及对周围气体环境的反馈调制，以及含有吸积过程的恒星演化，探究核区恒星质量分布与致密天体质量分布。

（二）恒星爆发及多信使特征。

研究星系核区吸积盘中伽马射线暴等极端爆发现象所驱动的相对论性喷流的传播过程、双致密星系统和极端质量比旋进过程产生的引力波辐射，以及恒星爆发的多信使辐射特征。

（三）星系核区恒星动力学过程。

研究星系核区吸积盘俘获核区星团中单星、双星的动力学过程，模拟核区星团的演化，研究双致密星在吸积盘中的流体力学过程和轨道演化。

(四) 星系核区结构与观测特征。

构建核区吸积原料动力学模型，预言吸积盘尺度下恒星爆发过程在不同波段的观测特征并搜寻相关证据，研究核区不同结构气体和恒星金属丰度的分布特征。

三、申请要求

(一) 申请书的附注说明选择“恒星爆发与星系核区结构形成”，选择申请代码 1 选择 A14 或 A15 及下属代码。

(二) 咨询电话：010-62325940。

“磁增强热电性能的物理机制与新材料”重大项目指南

在电荷-自旋-轨道-声子等多自由度耦合体系中，如何进一步增强热电性能是热电材料科学与凝聚态物理交叉领域的重要科学问题。几十年来，这种多自由度耦合增强热电性能的物理机制缺乏系统深入的研究，限制了高热电性能新材料的创制。近年来，国际上在利用多自由度耦合协同调控电子/声子输运及磁增强热电性能研究方面取得了重要进展，但是许多重要的科学问题亟待深入探索。本项目聚焦磁增强热电性能的基础科学问题，深入研究磁增强热电性能的物理机制，为创制高热电性能新材料奠定基础。

一、科学目标

阐明电荷-自旋-轨道-声子多自由度耦合体系中内禀磁序及外磁场等增强热电性能的物理机制，实现磁增强热电新材料的物理设计；发展多物理场协同调控磁增强热电性能的新方法，创制具有高热电性能的磁增强复合热电材料和拓扑热电材料体系，近室温 zT 值达到 2.0；研制磁增强热电转换效率新型器件，探索高效热电转换新技术。

二、研究内容

（一）磁增强热电新材料的物理设计。

探索磁增强热电新材料的电子结构、不同自由度间耦合效应、磁性及其输运特性，以及它们对电热输运性质的影响，建立具有高载流子迁移率、低晶格热导率和拓扑非平庸能带结构的材料数据库，

筛选出若干磁增强热电性能候选材料；探索磁增强热电新材料的逆向设计和物性调控方法。

（二）磁增强复合热电材料。

研究磁增强复合热电材料中电荷-自旋-轨道-声子多自由度耦合下的电热输运新效应，揭示复合和界面磁效应及其增强电输运性能的物理机制；研究异质界面附近磁诱导晶格非谐振动和声子散射增强效应，探索热-电-磁耦合调控热输运性能的规律；研究复合热电材料微结构的热-电-磁-力多物理场调控原理，制备出高 zT 值的磁增强复合热电材料。

（三）磁增强拓扑热电材料。

研究拓扑热电材料的磁场诱导电热输运新效应，探索多自由度耦合下拓扑电子结构的精准调控方法及增强热电性能的物理机制；研究电子-声子-磁振子耦合新效应及其增强热电性能的基本规律；研究若干拓扑热电材料中磁增强热电性能的表现形式和调控策略，研制出具有高热电势的磁增强拓扑热电材料。

（四）基于磁增强物理的新型热电器件。

研制基于磁增强热电新材料的新型热电器件；研究具有磁场响应特性的新型热电器件的设计方法和能量转换效率优化策略；揭示表（界）面电/热结合性能和热交换效能对器件制冷与发电性能的影响规律，发展器件转换效率的提升方法，探索磁增强高效热电转换新技术。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“磁增强热电性能物理机制与新材料”，申请代码 1 选择 A20 及下属申请代码。

（二）咨询电话：010-62325055。

“强光场下量子相干效应及其应用”重大项目指南

光与物质相互作用研究极大推动了强场物理与量子光学的发展。结合二者，以强场量子相干性诱导的空气激光、超连续辐射、自由感应衰变等为代表的强场量子光学研究初见端倪，蕴育着光与物质相互作用的新物理和新机制。融合强场激发、电离、解离和共振耦合，利用超快强光场制备并调控原子分子体系量子相干特性，有望实现多体多自由度耦合的量子相干辐射放大及远程精密探测等前沿科学技术突破。然而，这一新兴前沿交叉领域面临着重大的理论、实验及应用的挑战。本项目旨在推动强场物理与量子光学交叉研究，发展处理超快强光场驱动量子相干效应的理论和方法，拓展强场量子相干辐射产生和调控手段，为精密探测和远程感知提供创新源头和变革性技术。

一、科学目标

本项目聚焦强场物理和量子光学的交叉前沿，开展强光场与物质相互作用的量子相干效应及其应用研究。建立强光场下开放系统多体相互作用的量子光学理论，发展量子态分辨和时间分辨的探测技术，揭示多体多自由度耦合的强场量子相干辐射与放大机制，实现空气激光的多维时空调控，发展新型远程探测技术。

二、研究内容

（一）多体多自由度开放系统的强场量子相干光学理论。

发展强场下量子光学理论，建立可以同步处理强光场作用下原子分子及复杂体系电离注入、离子与光场耦合、光电子与离子纠缠的相

干演化动力学理论和模型。实现能够处理包含束缚和连续态、能量覆盖百电子伏的上万个电子态、振转态与超快光场相互作用的多体多自由度开放系统含时计算方法，揭示强场驱动多波段、多时间尺度辐射动力学，开发并提供计算软件包 2-3 个。

（二）强场诱导的量子相干辐射机理与放大机制。

研究强场激发原子分子系综中自由感应衰变、超荧光、超辐射等相干辐射与泵浦激光波长、介质密度、激发区域的关系，厘清其物理机制和形成条件。研究强场电离诱导的量子相干辐射与空气激光，揭示强场诱导多波长量子相干辐射的竞争、级联、协同效应，实现强场诱导多波段相干辐射放大，远程产生高亮度（平均功率 $>1\text{mW}$ ）、窄线宽（ $<10\text{ cm}^{-1}$ ）、双向传输的新型光源。

（三）多体多自由度体系的量子相干时空诊断。

发展态分辨拉曼、可见光以及 XUV 波段多维光谱等技术，结合阿秒瞬态光谱，实现多体多自由度体系量子态布居和量子相干性的精确测量（光谱分辨率优于 $30\text{ meV}@100\text{ eV}$ ，时间分辨率小于 100 阿秒），获取不同自由度量子相干性的时空演化信息，厘清量子多体相干演化动力学对强场量子相干辐射的影响。

（四）强场下量子相干辐射的调控与应用。

利用飞秒激光时空整形技术，调控强场量子相干辐射时空特性，发展高灵敏度、高精度远程探测新技术，实现多组分痕量分子探测（ ≥ 3 种分子，最低探测浓度 $\leq 100\text{ ppm}$ ）以及燃烧场温度测量（ $>1800\text{ K}$ ，帧频 $\geq 1\text{ kHz}$ ，测温精度优于 2%，相对误差小于 5%），为痕量物质

检测和燃烧诊断等应用提供变革性方案。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“强光场下量子相干效应及其应用”，申请代码 1 选择 A21 或 A22 及其下属申请代码。

（二）咨询电话：010-62325055。

“利用多核子转移拓展丰中子重核区核素版图”

重大项目指南

超重稳定岛是核科学领域亟待解决的重大前沿问题，拓展丰中子重核区核素版图是解决该科学问题的前提，多核子转移反应被认为是最具潜力的产生该区域核素的有效方法。通过理论和实验结合、结构与反应协同，系统研究原子核间基于多核子关联的大质量转移机制，拓展丰中子重核区核素版图，利用我国即将建成的重大科技基础设施 HIAF 冲击超重稳定岛。

一、科学目标

建立包含多核子关联的核结构模型和包含集团转移的重离子反应模型，突破现有理论难以描述大质量转移的局限；揭示重质量区原子核性质和多核子转移机制，发展重质量区长寿命新核素鉴别技术，合成若干丰中子重核区新核素，为攀登超重稳定岛提供理论基础和技术支撑。

二、研究内容

（一）多核子转移反应的理论研究。

发展包含多核子关联的微观输运等核反应模型，研究大质量转移反应机制，提出合成丰中子重核区核素的实验方案；明确通往超重稳定岛的可行路径。

（二）多核子转移反应机制的实验研究。

建立反应产物质量和能态的识别技术；通过不同弹靶组合和反

应能量扫描等手段，结合初末态核结构信息，厘清重核区大质量转移反应机制。

（三）重核区原子核结构的微观理论研究。

针对重核区原子核，构建包含多核子关联的壳模型组态空间和有效相互作用；探索丰中子重核区原子核壳层结构演化的特性和规律。

（四）丰中子重核区原子核结构的实验研究。

研究中子幻数 126 附近原子核的结构和衰变特性；研究质子幻数 82 以上的质子壳层结构演化，探索下一个质子幻数及超重稳定岛的位置。

（五）丰中子重核区新核素合成与鉴别。

建立基于多次反射飞行时间质谱技术的核素鉴别方法；利用 HIAF 装置，通过多核子转移拓展丰中子重核区核素版图，冲击超重稳定岛。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“利用多核子转移拓展丰中子重核区核素版图”，申请代码 1 选择 A27 及其下属申请代码。

（二）咨询电话：010-62325069。

“远离平衡微尺度高能量密度物态的产生与利用”

重大项目指南

利用超强激光与物质相互作用产生高能电子、离子和高亮度辐射是支撑基础研究突破、推动先进制造变革、保障国家安全的重要新兴技术。在激光照射下，微纳结构靶可形成远离电荷平衡的微尺度高能量密度物态，能够高效率地产生高能粒子与辐射。亟需深入研究这种新物态的产生和演化过程，发展先进粒子加速和辐射产生方法，促进激光加速产生离子的重大应用。

一、科学目标

聚焦远离平衡的微尺度高能量密度物质形态的产生与应用研究，阐明超强激光作用下微纳结构靶的演化规律，揭示强脉冲带电粒子束在微纳结构中的输运机制；显著提升激光加速带电粒子能力，并获得高亮度多波段超短脉冲辐射源；发展可高效产生中低能离子的新型靶材体系，促进激光加速产生离子的重大应用。

二、研究内容

（一）微尺度高能量密度物质的演化。

建立可诊断微尺度高能量密度物质状态参数的实验方法，诊断演化过程中的重要物理参数；发展可自洽模拟相对论强激光与微纳结构材料相互作用的模拟程序；揭示不同束靶耦合条件下微尺度高能量密度物质的非平衡演化过程。

（二）强脉冲带电粒子束在微纳结构靶中的输运过程。

研究激光加速产生的强脉冲粒子束在有序到无序微纳结构靶材中的输运规律；分析影响强脉冲带电粒子束在微纳结构靶中演化及能量沉积的机制；阐明微纳结构调控强脉冲粒子束输运及能量转换特征的物理机理。

（三）基于微纳结构靶的高能带电粒子加速方法。

研究利用激光等离子体相互作用可控产生等离子体微纳结构和强电磁场结构；揭示微纳结构基元对激光加速过程的影响，探索提升激光与靶耦合效率的新路径；利用不同构型的微纳结构靶开展实验研究。

（四）基于微纳结构靶的中低能离子加速方法与应用研究。

开发可高效产生能量小于 1MeV 的中低能离子微纳结构靶材体系；研究不同参数区间的激光与微纳结构靶作用产生中低能离子的物理机制；利用产生的离子开展高剂量率离子辐照、聚变中子产生等应用研究。

（五）基于微纳结构靶的辐射源研究。

开展强激光与微纳结构靶相互作用产生太赫兹辐射的研究，探究太赫兹辐射随参数的变化规律和产生机制；利用微纳结构靶提升激光-太赫兹能量转换效率和能量大于 10keV 的高能 X 射线产额。

三、申请要求

（一）申请书的附注说明选择“远离平衡微尺度高能量密度物态的产生与利用”，申请代码 1 选择 A29 及其下属申请代码。

（二）咨询电话：010-62325069。