

报告摘要

Boundary Layer Theory

复旦大学 雷震

Abstract: Boundary layer theory stands as one of the most remarkable and significant applications of partial differential equations in fluid mechanics. It is deeply connected to multiscale analysis. This talk will provide an introduction to the original motivation behind the theory, review key developments, and discuss its fundamental mathematical objectives.

分布式微波干涉编队卫星系统设计及发展建议

上海航天技术研究院 陈筠力

摘要：我国地质灾害多发，加强我国地质灾害监测预警能力建设迫在眉睫。天基干涉合成孔径雷达（InSAR）具有全天时、全天候、大幅宽等特点，在地质灾害预警监测方面具有广阔的应用前景。本报告介绍了国内首个差分干涉SAR卫星系统——陆探一号01组卫星系统设计以及在地质灾害监测预警中的应用情况，探讨了下一代星载SAR发展趋势，为提供多时序、多模式、多层次、多角度的对地观测数据以满足不同应用场景需求奠定了基础。

个人简介：陈筠力，博士，研究员，博士生导师，卫星总师/总指挥。长期从事雷达卫星系统总体设计研究，先后担任天绘二号、陆探一号01组等六型总师/总指挥。荣获国家科学技术进步一等奖、国防科技进步特等奖等省部级以上奖项5项。个人先后获得“中国五四青年奖章”、中国航天科技集团公司“学术技术带头人”、新世纪百千万人才工程国家级人选等荣誉称号，累计发表学术论文100余篇，授权国家发明专利50余项。

Time-periodic transonic shock solutions in divergent nozzles

复旦大学 曲鹏

Abstract: In this talk, we would discuss the phenomenon of periodic movement for a transonic shock in a divergent nozzle with time-periodic conditions on the entrance and the exit of the nozzle. We describe the problem by the quasi-one-dimensional isothermal Euler equations with temporal periodic boundary conditions and prove the global existence and dynamical stability of the time-periodic transonic shock solution with an iteration method.

地震前兆红外异常检测新视角：多尺度相变建模

中国科学院上海技术物理研究所 盛燊

摘要：地震的本质是岩石在应力作用下发生破裂并释放能量。因此，对地壳（尤其是断裂带）状态进行持续监测，是实现地震早期识别的关键。理论上，通过比较地壳实时应力与岩石强度极限即可判断地震风险，然而，深部地壳的高温高压环境使得直接观测极为困难，目前仅能依靠少数浅层钻井获得点状数据，难以构建真实的三维应力场。为此，研究者常借助地表位移或地震波形等间接物理量反演内部应力状态，但此类方法受限于反演的非唯一性、岩石非均质性以及地下流体压力波动等因素，难以解释。尽管地表热异常、气体逸出与微破裂监听等震前信号提供了多维度信息，因其与地震的物理关联尚不明确，目前地震预警仍主要依赖震后 P-S 波速差实现的秒级警报。在此背景下，本团队拟开展断裂带附近热-力耦合场的数值模拟，持续利用观测数据与模拟结果进行匹配，并通过误差反馈动态修正物理模型，探索地震孕育的物理过程。

天基红外目标检测进展：动态辐射建模与时空融合

中国科学院上海技术物理研究所 徐鹏

摘要：本世纪以来，目标检测技术历经系统性演进：早期依赖阈

值分割与手工特征工程（如 Otsu 算法、HOG 特征结合 SVM 分类器），但泛化性能有限；深度学习时代催生二阶段检测器（R-CNN 系列），通过区域建议网络生成候选区域+分类回归，虽精度较高却因推理速度瓶颈难以满足实时性需求；一阶段检测器（YOLO 系列、RetinaNet、SSD）应运而生，实现端到端高效推理，其中 YOLO 系列通过多尺度预测头与 DIoU 损失函数优化小目标检测，RetinaNet 引入 Focal Loss 有效缓解前景-背景类别不平衡问题，MobileNet 实现轻量化部署以适配资源受限场景；近期 Transformer 架构（DETR 及其改进版 Deformable DETR）引入全局上下文建模能力，但小目标敏感度不足，需结合可变形注意力机制进行针对性优化。在本轮技术浪潮中，技术演进逻辑呈现清晰脉络：从“精度优先”（二阶段）向“效率优先”（一阶段）再向“全局建模”（Transformer）演进，核心目标始终聚焦于平衡检测精度与推理效率。

天基红外遥感场景因背景噪声强烈（云层及地表热辐射干扰）、视场广阔、目标尺寸微小（常 <10 像素）且强度弱，成为目标检测技术演进的关键验证场。传统方法在该场景下虚警率高、检出率低，而融合动态辐射建模（解析目标热辐射时序特征）与时空融合（基于运动轨迹累积验证的多帧关联）的创新范式，显著提升检测鲁棒性。

量智融合的湍流先进计算

北京大学 杨越

摘要：作为潜在的颠覆性技术，量子计算预期在未来能够解决部分现实世界中的难题。流体湍流是经典物理与工程应用中极具挑战的问题，可作为展示量子计算实用性与优越性的范例。本报告介绍近期量子计算与人工智能融合方法应用于湍流模拟的研究进展。理论方面，我们提出了流体动力学的量子自旋表示，即通过广义 Madelung 变换，将纳维斯托克斯方程表示为薛定谔方程，便于直接在量子计算机上进行流动模拟。算法方面，我们提出了流体哈密顿模拟、量子格子玻尔兹曼、量子涡方法、数据驱动量子 Koopman 等多种算法路线

求解流体控制方程，并借助几何化量子编码实现大规模湍流场对应的量子初态制备。硬件实现方面，我们在合作团队的超导量子计算机上首次实现了二维非定常流动的量子模拟，复现了渐扩势流、衰减涡等时间演化中的基准结果。该研究结果显示了量智融合方法有潜力成为湍流等强非线性物理系统的模拟新范式。

个人简介：杨越，北京大学力学与工程科学学院教授、院长。先后获浙江大学学士、中国科学院力学研究所硕士、加州理工学院博士学位，于普林斯顿大学与康奈尔大学作博士后。现任 JFM、EML、空气动力学学报副主编，SCPMA、AMS、CJA、ARC 编委，中国力学学会理事、青工委主任委员、流体力学专委会副主任委员，中国空气动力学会理事。曾获国家自然科学基金青年基金 A 类及延续资助、科学探索奖、教育部青年科学奖。主要研究方向为湍流、燃烧、涡动力学、量子/智能计算。

有限信息系统的辨识与控制

中国科学院数学与系统科学研究院 赵延龙

摘要：有限信息系统的辨识与控制理论，是对传统系统控制理论的深化与拓展，更是突破 6G 通信和多尺度高精度探测等关键技术的重要理论保障。在面向未来 6G 通信、多尺度红外探测等国家重大战略需求背景下，系统设计面临一个根本性矛盾：硬件能耗、信道带宽等实际约束导致可用数据具有低精度、分布式与多重不确定性的特征，而应用场景却要求系统同时实现高精度、高可靠与低能耗。传统控制与信息理论难以有效调和“信息有限性”与“性能极致化”之间的内在冲突。因此，构建“有限信息辨识与控制理论”具有关键科学与工程意义。本报告将从多重不确定性下的量化辨识、分布式网络环境下的量化辨识与趋同控制、及其在通信和探测等领域的应用三方面介绍报告人在有限信息系统的辨识与控制理论方面的最新进展。

天基遥感数据偏微分方程发现与预测建模

中国科学院上海技术物理研究所 徐文君

摘要：天基遥感观测数据是揭示大气、海洋和地表等复杂系统物理规律的关键，这些规律通常由偏微分方程描述，对于精准预测气象变化、环境监测和国家安全保障具有至关重要的意义。然而，传统基于第一性原理的物理建模依赖于先验简化假设，在面对真实世界的非线性、多尺度耦合效应时，易产生累积偏差，难以实现精细建模。另一方面，纯粹数据驱动的深度学习方法（如神经算子）虽在预测上表现出灵活性，但其“黑箱”模式缺乏物理可解释性，且对数据中固有的强噪声和稀疏采样极为敏感，导致预测结果外推能力差。为攻克上述瓶颈，本研究的核心是构建一个“发现-求解”一体化的创新框架。首先，构建并发展以弱形式积分、稳健导数估计和物理启发为准则的抗噪技术，显著提升 PDE 结构发现在强噪声环境下的鲁棒性与准确性。其次，设计端到端的协同训练机制，将识别出的 PDE 方程结构作为可解释的物理先验，动态嵌入到傅里叶神经算子、物理信息神经算子等学习过程中，从而实现控制方程与解算子的优化同步。拟解决两个关键问题：1) 克服噪声敏感性问题，使物理规律发现能够适应真实天基遥感数据的恶劣条件；2) 弥合可解释性与高性能之间的鸿沟，构建一个既能揭示“为何如此预测”的物理机理，又能实现高精度、高效率场预测的统一模型。

退化情形下低维波动传播行为：控制与损伤问题的数学探索

复旦大学 王玥

摘要：波动方程是描述结构振动与能量传输的重要数学模型。在工程结构与网络系统中，材料老化、局部损伤及连接性能下降等因素常导致边界或关键节点处出现退化现象，从而显著改变波传播特性并削弱系统的整体能控特性。本报告围绕具有退化特征的耦合双曲系统，通过引入主系数退化与耦合条件退化两类机制，刻画波速衰减与节点耦合削弱对系统动力学行为的作用规律。结合能量分析、特征线

方法与能观不等式，揭示不同退化强度下系统可调控行为的变化及其临界特征。以退化弦或梁模型为案例，说明在局部退化和弱退化情形下，利用非退化边界处的控制仍可实现系统的能控性与稳定性。相关建模和分析为退化结构中一维波动方程的控制问题提供了新的视角，尝试理解和揭示退化对能控性的影响，并为受损结构的可持续控制提供数学支撑。

多智能体系统分布式决策与感知的一些进展

中国科学院数学与系统科学研究院 薛文超

摘要：多智能体系统（Multi-Agent System, MAS）已成为复杂动态/环境下集群协同的重要形式和模型。分布式结构下基于局部信息实现决策与感知是多智能体系统自主能力的核心体现，报告针对传感器网络目标跟踪的多智能体分布式感知问题，介绍一致性分布式滤波估计算法设计及理论基础，说明算法在目标未知动态下具有稳定性且精度可在线评估。进一步，针对多机动平台最优覆盖的多智能体分布式决策问题，介绍一种基于势博弈的分布式协同决策方法，并说明算法在智能体局部决策下可实现全局最优。最后，介绍所提出算法的一些应用研究。

深亚波长光电作用机理思考

中国科学院上海技术物理研究所 黄志明

摘要：由于小孔衍射效应的限制，光电作用通常只考虑物质尺度大于 $\lambda/10$ 波长的范围。但光电相互作用的本质是光与电子相互作用，光的波长是电子的尺度的几个数量级以上，该报告将探讨当作用物质的尺度远小于光波长的时候，是否将表现出丰富的深亚波长的光电性质，有望为光电探测、引力波探测等提供全新研究思路？

“模型+数据”在反演与预测中的一些进展和思考

中国科学院数学与系统科学研究院 邵明杰

摘要: 当前红外等传感器探测面临复杂演变机理与环境噪声干扰等多重瓶颈, 对弱小信号的检测与反演造成了严峻的挑战。一方面, 研究者不断提升传感器硬件精度实现对弱小信号的捕捉。另一方面, 研究者在已有硬件观测基础下充分挖掘可得观测信息, 增强对弱小信号规律性、动态性、不变性等特征提取, 实现在有限观测下对弱小信号的最优反演与预测。本次汇报围绕“模型+数据”范式下的最优反演与预测, 介绍三方面的研究进展与在研工作: (1) 提出了低秩张量分解和深度神经网络结合的数据表征模型, 实现了对复杂系统数据的解耦与长时预测, 并初步提供了解耦保障理论。(2) 提出了结合运动学模型的鲁棒主成分分析法, 实现了对弱小机动目标的持续检测, 并取得了较好的实验验证效果。(3) 在研不同精度数据的融合方法, 旨在实现异构传感器网络中的不同精度数据的充分利用, 实现传感器网络的灵活性与最优检测性。最后, 讨论未来相关研究计划与多方合作需求。

非线性惯性波的整体稳定性

复旦大学 任灝

摘要: 在旋转坐标系下, 理想流体的运动由不可压欧拉-科里奥利方程刻画。科里奥利力会带来一种各向异性的色散效应(即惯性波), 对于大气和海洋流动的长时间行为有着重要影响。与田刚教授合作, 我们证明在三维空间中, 对于足够小且光滑的初始扰动, 欧拉-科里奥利方程的解是长时间存在且线性散射的。这也等价于证明了 Euler 方程的“刚体”旋转解具有渐近稳定性, 从而将先前 Guo, Pausader 和 Widmayer 等人在轴对称情形的工作推广到了一般情形。在证明过程中, 我们发现惯性波的非线性相互作用满足一种新的零结构, 并发展了时空共振和波包分解等调和分析方法。

电磁诱导势阱效应探测机理的初步数学分析

中国科学院数学与系统科学研究院 牟必强

摘要: 电磁诱导势阱效应探测机制能够突破传统热探测与光子探测的灵敏度极限, 实现量子效率远大于 1 的探测性能, 并完成对微弱涨落信号的高信噪比提取。通过分析该效应下探测器的载流子产生机理, 发现载流子数目为与材料物理量相关的随机变量, 发现探测器精度的优化目标并非单纯追求量子效率的最大化, 而应着力于极大化载流子数目这一随机变量的均值与标准差之比。

多尺度数字地球平台规划与应用展望

中国科学院上海技术物理研究所 谢辉

摘要: “多尺度数字地球”早期预警研究平台依托“多尺度红外预警”卓越研究群体项目, 致力于构建“观测—数据—物理—应用”一体化的研究新范式, 创建“观测即服务”运行模式, 为极端灾害预警从事后发现转向事前预测提供核心数字引擎。本次报告将系统阐述平台的总体定位与核心竞争力, 详细介绍其以“数据工厂”、“模型广场”、“炼丹炉”和“悬赏榜”为核心的功能模块构成与协同运作机制, 探讨多尺度数字地球平台在地质自然灾害、台风路径预报及态势目标监测等场景下的实践可能。