

麻省理工学院 “Learning X” “纳米科学：基本原理及前沿应用” 线上科研项目

学校简介 Introduction

麻省理工学院（Massachusetts Institute of Technology, MIT）位于美国马萨诸塞州波士顿都市区剑桥市，主校区依查尔斯河而建，是世界著名私立研究型大学。麻省理工学院创立于1861年，早期侧重应用科学及工程学，在第二次世界大战后，麻省理工学院倚靠美国国防科技的研发需要而迅速崛起。在二战和冷战期间，麻省理工学院的研究人员对计算机、雷达以及惯性导航系统等科技发展作出了重要贡献。MIT 2019-20年度位列QS世界大学排名第一、U.S. News世界大学排名第二、软科世界大学学术排名（ARWU）第四、泰晤士高等教育世界大学排名第五；2019-20年度位列《泰晤士高等教育》世界大学声誉排名世界第二。2021年位列QS世界大学排名第一。

剑桥大学是一所世界顶尖的公立研究型大学，与牛津大学并称为牛剑，被誉为“金三角名校”和“G5 超级精英大学”。2020-21年度位居世界大学学术排名第3，QS世界大学排名第7。截止2020年10月，共有121位诺贝尔获奖者、15位英国首相、11位菲尔兹奖得主、7位图灵奖得主曾为此校的师生、校友或研究人员。

项目背景 Program Background

能源是推动科学技术进步和人类社会发展的主要驱动力之一。二十一世纪纳米科学的兴起为解决能源危机，开发新型能源，以及提升能源传输与转化效率提供了新的可能性。伴随着近二十年的蓬勃发展，纳米技术已经广泛的应用于高性能电子器件，人工智能，先进光学超材料，光电、光热、热电能量转换与输运，水资源循环，可持续清洁能源等最为前沿的重要科学技术领域。

与此同时，一系列前所未有的深刻科学现象正在随着纳米技术发展被逐步发现。传统意义上的物理规律在纳米尺度被逐个打破，新的物理规律应运而生。作为物理，化学，材料，电子，工程，以及生命科学的交叉点，纳米科学的发展极大的促进着多学科的技术融合和理论发展，为新一轮的技术革命的开始奠定基础。

因此，纳米科学为新一代科研工作者解决人类赖以生存的能源问题带来了机遇与挑战。这意味着纳米科学本身的交叉性与复杂性既开辟了大量科学研究的新领域，又要求新一代科研工作者具备全新的知识体系和科学研究观念。本项目旨在介绍纳米科学领域的基本思维方式和最新科学进展，为新一代的青年学生和科研工作者拓宽科学视野，打好研究基础。

导师介绍 Instructor Introduction

- **剑桥大学终身教授**

导师现任英国皇家学会分子工程会士、剑桥大学化学工程与生物技术终身教授、剑桥大学吸附与高级材料实验室负责人，荣获英国皇家化学学会Barrer Award、欧洲研究委员会巩固基金。导师的研究聚焦纳米多孔材料的分子识别和吸附过程，以及在此基础上的金属有机框架能源和纳米级药物输送应用，特别关注新型纳米材料合成与工程、分子建模、癌症治疗药物输送过程、可持续工业应用等综合性研究。

- **麻省理工学院导师**

导师的研究重点是传热物理学，对从原子级到器件级的各种能量传输过程有广泛的科研兴趣。目前累计发表 30 余篇期刊论文，论文涉及制造，流体动力学，基本传热，相变现象，界面现象，光谱学，热特性，光学和成像，电子显微镜，2D 材料，电化学，海水淡化和太阳热能应用等。

项目介绍 Program Description

项目将在剑桥大学教授与麻省理工学院博士的指导下进行。学生将会系统的学习纳米科学的理论体系，梳理纳米科学的思考方法。学生将会了解到一系列神奇的纳米科学现象和它们在能源领域的深刻应用。通过系统的学习，学生将对当前纳米科学的发展有一个较为全面的认识，同时具备一定的独立理解纳米科学领域最前沿的研究成果以及解决具体科学问题的能力。

纳米科学的基本原理：

- 纳米空间尺度效应，以及超快时间尺度效应。纳米尺度在声，光，电，热，力等方面的全新物理现象。
- 纳米学科的基本知识体系。多尺度的基本思想与观念。从量子力学，统计物理，到连续介质系统的的基本研究思路。
- 量子力学的基础：波函数，量子化，波动方程及其代数本质，能级能带结构，电子，光子，声子，量子跃迁，微扰理论，粒子相互作用，散射。
- 统计物理的基础：平衡态统计原理，系综，微观量与宏观量的关系，非平衡态统计，玻尔兹曼方程，输运过程，量子力学-统计物理的框架。
- 纳米光学基础：麦克斯韦方程组，光与物质的相互作用，光的波动和粒子本质。
- 纳米科学的研究手段：连接微观与宏观的理论体系，第一性原理与分子动力学为基础的计算方法，纳米尺度成像与表征的实验技术手段：电子显微镜，超分辨成像，光谱分析。

纳米科学的前沿研究成果：

- 纳米空间尺度的固态性质：基于纳米效应的电子器件和新型功能结构：量子器件，人工智能器件，二维材料器件。
- 纳米尺度的光学效应：光学超材料，光子晶体，超透镜，负折射率材料，超分辨成像，光子-电子-声子耦合效应，光子器件，近场光学。

- 纳米尺度能量输运：输运的基本形式：弹道输运、准弹道输运、扩散输运，亚纳米尺度电子输运：欧姆定律的打破，纳米尺度声子输运：傅里叶传热定律的打破，纳米尺度动量输运：非滑移界面假设的打破，纳米尺度光子输运：普朗克黑体辐射定律的打破，纳米尺度分子输运：菲克定律的打破，近场热辐射效应，热电效应。
- 纳米技术与高效光热转换：高效光热转换材料，气凝胶：性质及应用，辐射制冷：原理与材料开发。

项目大纲 Syllabus

时间	课程安排	内容
1	欢迎会暨破冰活动 Self-introduction	自我介绍、课程评分、课程项目安排 project logistics
2	走进纳米世界 Into the nano world	尺度效应，纳米现象及其应用，纳米科学的知识体系 Scale effect, nano phenomenon and its application, knowledge system of nano science
3	从宏观到微观：连续介质力学到量子体系 From Macro to Micro: Continuum Mechanics to Quantum System	连续介质力学体系，守恒量与本构关系，物质性质，量子力学基础 Continuum Mechanics System, Conserved Quantity and Constitutive Relationship, Material Properties, Quantum Mechanics Foundation
4	纳米领域的学术期刊简介 Introduction to academic journals in the field of nanotechnology	系统介绍纳米领域的权威杂志和代表性研究成果，介绍几个主流期刊的特点，历史，基本结构，文章类型等相关的基本知识。 A systematic introduction to authoritative journals and representative research results in the field of nanotechnology, and basic knowledge related to the characteristics, history, basic structure, and article types of several mainstream journals.
5	量子力学基础 Fundamentals of Quantum Mechanics	物质的能级结构，量子化，电子，光子，声子 Energy level structure of matter, quantization, electrons, photons, phonons
6	文献搜索方法 Literature search methods	介绍文献搜索的几种基本方法，如何使用搜索引擎快速准确的找到想要的文献以及了解领域内最新的科研进展。 Introduce several basic methods of literature search, how to use search engines to quickly and accurately find the literature you want and understand the latest scientific research progress in the field.
7	从微观到宏观：统计力学框架 From micro to macro: a framework of statistical mechanics	粒子的统计性质，物质的宏观性质的微观表述，固体物理简介，能带理论，输运过程 Statistical properties of particles, micro-representation of macroscopic properties of matter, introduction to solid physics, energy band theory, transport process
8	阅读文献方法 Method of reading literature	介绍文献的分类，结构，框架，以及阅读方法，如何快速把握文献的核心思想。 Introduce the classification, structure, framework, and reading methods of documents, and how to quickly grasp the core ideas of documents.
9	纳米科学的光学基础 Optical foundations of nanoscience	麦克斯韦方程，色散关系，光与物质的相互作用，光的基本性质：光强、频率、偏振及相位，光的粒子性，辐射输运方程 Maxwell's equation, dispersion relation, interaction between light and matter, basic properties of light: light intensity, frequency, polarization and phase, particle nature of light, radiation transport equation
19	学术论文撰写方法 How to write academic	学术论文的基本结构，写作规范，篇章布局方式。 The basic structure of academic papers, writing norms, and the layout of

	papers	chapters.
11	纳米科学的研究手段 Nanoscience research methods	理论技术：第一性原理计算及分子动力学 实验技术：光谱学，电子显微镜，冷冻电镜 Theoretical technology: first-principles calculations and molecular dynamics Experimental technology: spectroscopy, electron microscope, cryo-electron microscope
12	学术论文图片绘制基本方法 Basic methods of drawing pictures of academic papers	学术论文图片绘制工具，使用方式，技巧展示。 Academic paper picture drawing tool, usage method, skill display.
13	纳米尺度固态性质 Nano-scale solid state properties	纳米电子器件：量子点，量子阱，纳米三极管，二维材料，忆阻器与神经网络芯片 Nano electronic devices: quantum dots, quantum wells, nano transistors, two-dimensional materials, memristors and neural network chips
14	纳米光学 Nano optics	光子晶体，表面等离子体激元，表面声子-电磁极化子 Photonic crystals, surface plasmons, surface phonons-electromagnetic polarons
15	纳米尺度能量输运 Nanoscale energy transport	近场辐射：打破黑体辐射定律 固体纳米尺度的热量传输与热电效应 Near-field radiation: breaking the law of blackbody radiation Nano-scale heat transfer and thermoelectric effects in solids
16	高效光热转换与辐射制冷 Efficient light-to-heat conversion and radiant cooling	气凝胶：最轻的固体与最强绝热材料 全天候辐射制冷：向外太空辐射能量 Aerogel: the lightest solid and strongest thermal insulation material All-weather radiant cooling: radiating energy to outer space
17	纳米科学与水资源利用 Nanoscience and Water Resources Utilization	太阳能界面蒸发驱动的高效海水淡化；干燥环境下的纳米多孔介质直接空气取水 Efficient seawater desalination driven by solar interface evaporation Direct air intake of water from nanoporous media in a dry environment
18	纳米结构表面增强相变过程 Nanostructured surface enhanced phase transition process	纳米结构强化沸腾，纳米结构强化冷凝，弹跳液滴，薄膜蒸发 Nano structure strengthens boiling, nano structure strengthens condensation, bouncing droplets, thin film evaporation
19	小组汇报 (1) Final presentation Part (1)	
20	小组汇报 (2) 暨结业典礼 Final presentation Part (2) and online commencement	

课程项目（Group project）：

- 以小组（每组 3-4 人）为单位进行课程项目。
- 第一周：组队报名
- 第二周：提交项目计划（一页纸）
- 第三周：文献综述、制作 PPT 或海报。
- 第四周：课堂口头展示、海报

课程评分标准（Grading policy）：

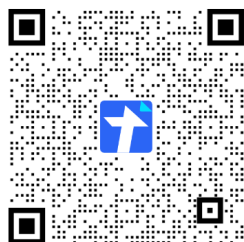
- 签到（20%）：按时参加每次课程。
- 课程作业（20%）：根据作业质量评分。
- 课程小组项目（60%）：
 - 项目计划（15%）
 - 课堂展示（45%）
 - 若小组的课程项目优秀，将由 MIT 博士生导师指导写成论文，并尝试投稿（额外加 20%分数）。
- 额外奖励（Bonus, 5%）：上课积极回答问题与互动，课后提问等。

项目成果 Achievement

- **推荐信**：由剑桥大学教授或麻省理工学院导师亲笔签名的私人学术推荐信；提高保研和留学申请的软实力。
- **结业证书**：包含个人名字和教授签名
- **成绩单**：包含个人名字、详细的课程各部分评分、课程介绍等。
- **优秀小组奖状**：授予课程项目最出色的小组，包含个人名字和教授签名。

项目报名 Application

- **时间**：每年 1 月、2 月或者 7 月、8 月（具体时间待定）
- **费用**：9980 元/学生
- **抵扣券**：完成线上科研项目后，可获得9980元MIT未来精英训练营线下项目的抵扣券，仅限本人使用。
- **班级人数**：40 人/班
- **专业要求**：专业不限
- **报名步骤**
 - 第一步：扫码在线填写报名信息



- 第二步：缴纳项目费用，签署项目协议
 - 第三步：等待项目组开课通知
- **联系方式**
 - 李老师手机号码：17186457932
 - 李老师 QQ 号：1814958113