

物理学与未来技术变革

哈尔滨工业大学基础学科拔尖人才培养

国际暑期学校实施方案

一、项目简介

目前，我国基础科学研究短板依然突出，重大原创性成果缺乏，基础研究顶尖人才和团队匮乏。作为自然科学的基础学科，物理学的发展对人类社会的进步起着举足轻重的作用，它不仅对物质文明的进步和人类对自然界认识的深化起了重要的推动作用，而且对人类的思维发展也产生了不可或缺的影响。物理是许多未来技术的基础，科学发展史上重大颠覆性技术大都源自于物理学的发展，未来技术变革离不开物理学的发展。为积极响应国家加强基础研究的重大决策，此次暑期学校依托我校物理学院优势学科，聚焦国际前沿和物理学重要研究方向，以“物理学与未来技术变革”为主题，突出物理对科学技术的推进作用，邀请我校和国际上物理相应学科的知名专家，设置相关课程，开展前沿学术方向，设置研究型课题，组织国内外学生进行小组讨论，激发学生学习兴趣，发挥多方协同育人模式，提升学生实践能力和研究能力，培养学生科学思维和科学研究方法，为培养创新型基础学科人才打好基础。

而人才培养方面，面临严峻的国际形势和欧美技术封锁。及我国物理学领域国际知名专家，拟在光学、凝聚态物理及

等离子体物理方向开设基础课程和前沿讲座，同时组织线上参观、课题研究等学术活动。相关活动关系如图 1 所示。



图 1 暑期学校相关活动关系图

主要课程和讲座信息简表如表 1 所示：

表 1 暑期学校主要活动

课程或讲座名称	课程简介	主讲人简介	学时
薄膜的磁光效应及其应用（课程）	法拉第效应原理、在光通讯与其他激光领域中的应用，以及相关领域的产业前沿。	Mikhail Ye. Zhuravlev, 圣彼得堡国立大学教授，量子力学输运理论和磁学理论专家，在国际期刊包括 Phys. Rev. Lett 上发表论文 80 余篇。	8
霍尔效应家族（课程）	介绍八种霍尔效应的发现过程及其可能的应用，并介绍与之相关的产业前沿内容。	Anatoly V. Vedyayev 莫斯科国立大学教授，自旋电子学、磁学专家，在国际期刊包括 Phys. Rev. Lett 上发表论文 30 余篇。	8
同步辐射光源（课程）	介绍同步辐射光源原理及在材料科学、生命科学、环境科学、物理学、化学、医药学、地质学等学科领域应用研究和产业情况。	Shibo Xi 新加坡国立大学研究员，同步辐射领域国际专家，以第一或通讯作者在 Nature 子刊上发表 SCI 论文 10 余篇。	8
等离子体物理简介（课程）	等离子体物理的基本概念、基本原理和描述问题及处理问题的方法，等离子体应用技术产业前沿情况。	Anatoly Kudryavtsev 国际知名的气体放电及等离子体应用专家，圣彼得堡国立大学物理系教授，中国政府友谊奖获得者，入选具有高 H 指数俄罗斯科学家（共 1775 名）。	8

等离子体物理应用技术介绍 (课程)	等离子体产生技术以及等离子体物理在工业、农业、医学及国防领域的应用技术。	Vladimir Demidov 西弗吉尼亚大学教授, 等离子体物理化学及等离子体系统国际知名专家, 在国际期刊包括 Phys. Rev. Lett 上发表论文 200 余篇。	8
高温超导微波器件 (报告)	高温超导的基本概念, 高温超导微波器件的发展状况, 器件的基本设计方法及应用前景。	Chong Kim ONG 新加坡国立大学教授, 新加坡国立大学最高等级的杰出研究奖, 国际期刊上发表论文 500 多篇。	4
等离子体物理数值模拟前沿进展 (报告)	介绍目前成熟的等离子体数值模拟的研究方法, 介绍针对不同的等离子体, 如何进行建模等。	Ismail Rafatov 中东技术大学教授, 国际知名等离子体数值模拟专家, 国际期刊上发表论文 100 多篇。	4
等离子体产生技术概述 (报告)	人工产生等离子体的方法、等离子体的性质、重要应用及发展趋势。	Vladimir Bychkov 莫斯科国立大学教授, 院士, 等离子体物理国际知名专家, 出版专著 10 余部, 发表论文 200 余篇	4
等离子体物理模型 (报告)	将结合国际等离子体重要发展方向, 阐述等离子体建模方法和主要解决的问题。	Evgeny Bogdanov 圣彼得堡国立大学副教授, 国际知名的气体放电及等离子体数值模拟专家, 在国际期刊包括 Phys. Rev. Lett 上发表论文 60 余篇。	2
空间等离子体概述 (报告)	空间等离子体研究的主要内容、研究方法及国际前沿研究的方向和发展趋势。	王晓钢, 哈尔滨工业大学教授, 国家大科学工程首席科学家, 美国物理学会会士, 等离子体领域国际知名专家。	2
微纳结构中的光场调控 (报告)	微纳结构的设计、制备及光场调控的新原理、新方法与新应用。	宋清海, 哈尔滨工业大学教授, 杰青, 微纳光学国际知名专家, 在 Science, Phys. Rev. Lett., Nature 子刊等国际顶级刊物发表论文 200 余篇。	2
智能全息光子学 (报告)	传统全息技术、成像技术结合 AI 深度学习算法的研究思路, 最前沿的研究成果以及应用场景。	曹良才, 清华大学教授, 长江学者特聘教授, 国际光学工程学会和美国光学学会会士, 在 Phys. Rev. Lett., Adv. Opt. & Photon. 等高水平期刊发表论文 100 余篇。	2

本项目特色主要表现在:

(1) 突出对俄合作, 项目中邀请的教师以俄罗斯专家为主, 集中了俄罗斯最好的学校: 莫斯科罗蒙诺索夫国立大学, 圣彼得堡国立大学的院士、教授等学者, 这些学者教授知识渊博、对华友好, 前期与学习有深入的合作关系, 有多次暑期学校的经验, 能够根据学生的水平授课和开展讲座。

(2) 课程设置面向国家重大需求和国际学术前沿，突出材料、光学、等离子体物理等重点研究方向，在学习“霍尔效应家族”“同步辐射光源”等前沿基础知识的基础上，强调物理学对产业的推导作用，让学生掌握本领域的学科动态，意识到物理学科对社会发展和未来技术变革的重要性，提升学生进一步从事本领域科学研究的兴趣，开阔国际视野。

(3) 设置课题研究环节，突出科研实践、学术创新。项目借鉴“中国大学生物理学术竞赛”模式，选取部分题目作为研究课题。“中国大学生物理学术竞赛”被列入中国物理学会物理教学指导委员会的工作计划，是实践国家创新驱动发展战略纲要和国家教育中长期发展规划纲要的重要大学生创新竞赛活动之一

(4) 依托先进的国家级科研平台。暑期学校依托“大科学工程—空间环境地面模拟装置”，开展云参观，让学生了解我国基础研究的最先进平台，知识密切联系实际，激发学生学习的志趣。

二、项目安排

1.课程

本次国际暑期学校课程的目标是培养国际化基础物理领域专业人才，针对物理学科相关的本科生，使其掌握基础物理基本理论，了解相关应用新技术以及行业发展状况，探讨国际前沿学术问题，开阔视野。具体课程信息如表 2 所示：

表 2 课程信息

授课教师	职称	学校	课程
Mikhail Ye. Zhuravlev	教授	圣彼得堡国立大学	薄膜的磁光效应及其应用
Anatoly V. Vedyaye	教授	莫斯科国立大学	霍尔效应家族
Shibo Xi	教授	新加坡国立大学	同步辐射光源
Anatoly Kudryavtsev	教授	圣彼得堡国立大学 哈尔滨工业大学	等离子体物理简介
Vladimir Demidov	教授	西弗吉尼亚大学	等离子体物理应用技术介绍

2. 前沿讲座

本次国际暑期学校共安排 13 次讲座，考核方式为提交学习报告。部分讲座信息如表 3 所示：

表 3 部分讲座信息

授课教师	职称	学校	讲座题目
Chong Kim ONG	教授	新加坡国立大学	高温超导微波器件
Ismail Rafatov	教授	中东科技大学	等离子体物理数值模拟前沿进展
Vladimir Bychkov	教授，院士	莫斯科罗蒙诺索夫国立大学	等离子体产生技术概述
Evgenii Bogdanov	副教授	圣彼得堡国立大学	等离子体物理模型
王晓钢	教授，美国物理学会会士	哈尔滨工业大学	空间等离子体概述
宋清海	教授，杰青	哈尔滨工业大学(深圳)	微纳结构中的光场调控
曹良才	教授，长江学者	清华大学	智能全息光子学

3.课题研究

根据国际青年物理学家锦标赛（International Young Physicists' Tournament, 简称 IYPT）2022 年题目，选取容易操作、趣味性强、物理内涵丰富的 8 个题目作为研究课题，通过分组合作、组队辩论的竞赛模式进行科研训练，培养学生实证思维、物理建模、实验方法、科学观等方面的能力。选取的题目如下：

（1）Ring on the Rod 棒上环：

垂直钢棒上的垫圈下滑时会开始旋转，而不是简单地向下滑动。研究垫圈的运动并探究是什么决定了最终速度。

（2）Unsinkable Disk 永不沉没的圆盘

将一个中心有孔的金属圆盘沉入装满水的容器中。当一个垂直的水流击中圆盘中心时，它可能会漂浮在水面上。解释这一现象并研究相关参数

（3）Tennis Ball Tower 网球塔

通过每层三个网球、顶部一个网球的方式来堆叠建造一座塔。研究这种塔的结构限制和稳定性。当每层使用三个以上的球并且在顶层使用合适数量的球时，情况如何变化？

（4）Three-Sided Dice 圆柱形骰子

一枚硬币落地时侧面站立的情况通常是很罕见的。为了使一个圆柱形骰子落下时能有相同的概率立在它的侧面和上下表面其中之一，它应该具有怎样的物理和几何特征？

（5）Balls on an Elastic Band 橡皮筋上的球

用橡皮筋把两个金属球连接起来，然后扭动橡皮筋，把金属球放在桌子上。球会开始朝一个方向旋转，然后朝另一个方向旋转。解释这一现象，并研究这种“钟摆”的行为如何取决于相关的参数。

(6) Candle Powered Turbine 蜡烛动力涡轮机

悬挂在蜡烛上方的纸螺旋开始旋转，优化设置以获得最大扭矩。

(7) Ball on Membrane 膜上球

将金属球扔在塑料杯子上延展的橡胶薄膜上时，可以听到声音。解释这种声音的起源，并探讨其特征如何取决于相关参数。

(8) Invisibility 隐形

双凸透镜可以用来扭曲光线并使物体消失，研究改变透镜的属性和物体的几何形状会如何影响物体被检测到的范围。

学生自愿报名参加，中外学生，校内外学生混合编组，每组 3-4 人，设置小组长一名，进行分工合作，配备豪华的指导团队，指导团队由物理学院知名教授组成，该指导团队已经指导我校学生获得中国大学生物理学术竞赛 6 届冠军（总共 12 届），8 届特等奖。指导教师包括：张宇、王玉晓、侯春风、吕喆等教授。

4.其他

大科学装置云参观，通过直播、录播的方式，介绍我校

的大科学装置“空间环境地面模拟系统”，扩大学生们的知识面，让学生们了解我国基础研究的水平。

三、课程与讲座详细信息

1.课程

(1) 薄膜的磁光效应及其应用：当一束平面偏振光通过置于磁场中的磁光介质时，平面偏振光的偏振面就会随着平行于光线方向的磁场发生旋转，即为磁致旋光。旋转的这个角度称之为法拉第旋转角。因为磁场下电子的运动总附加有右旋的拉穆尔进动，当光的传播方向相反时，偏振面旋转角方向不倒转，造成法拉第效应是非互易效应，法拉第旋转器可以用于光波的调幅，是光隔离器与光循环器的基础组件，在光通讯与其他激光领域必备组件。法拉第效应可以应用于测量仪器，本课程将介绍法拉第效应被用于测量旋光度、或光波的振幅调变、或磁场的遥感，以及本领域的产业前沿知识。

Mikhail Ye. Zhuravlev 现为俄罗斯圣彼得堡国立大学教授，长期从事量子力学输运理论和磁学理论研究，过去几年在铁电隧道结隧穿电致电阻效应，磁性隧道结隧穿磁电阻效应，纳米体系的霍尔效应和磁性理论等领域作出了一系列突破性研究工作，获得了学术界的一致认可和高度赞誉。在国际期刊包括 *Phys. Rev. Lett* 上发表论文 80 余篇，论文引用 2000 余次，多次在国际学术会议上作邀请报告。长期为本科生和研究生讲授量子力学和固体理论课程，具有非常扎实的

理论功底。

(2) 霍尔效应家族：当电流垂直于外磁场通过半导体时，载流子发生偏转，垂直于电流和磁场的方向会产生一附加电场，从而在半导体的两端产生电势差，这一现象就是霍尔效应。随着技术手段的成熟，发现不需要磁场就能实现的霍尔效应。之后，逐渐出现了反常霍尔效应、自旋霍尔效应、量子霍尔效应、量子反常霍尔效应、量子自旋霍尔效应、反常自旋霍尔效应、量子自旋反常霍尔效应等八种霍尔效应。本课程将介绍八种霍尔效应的发现过程及其可能的应用，并介绍与之相关的产业前沿内容。

Anatoly V. Vedyayev 现任莫斯科罗蒙诺索夫国立大学物理系教授，1986-2013 年担任物理系磁学部门主任。长期从事自旋电子学理论研究，在自旋霍尔效应、自旋积累、自旋轨道力矩和纳米体系的磁化动力学等领域作出了一系列突破性研究进展，在国际期刊包括 *Phys. Rev. Lett* 上发表论文 30 余篇，多次在国际学术会议上作邀请报告。

(3) 同步辐射光源：同步辐射光源是指产生同步辐射的物理装置。第一代同步辐射光源是寄生于高能物理实验专用的高能对撞机的兼用机，第二代同步辐射光源是基于同步辐射专用储存环的专用机，第三代同步辐射光源为性能更高且储存环之直线段可加装插件磁铁组件之同步辐射专用储存环的专用机。本课程将介绍同步辐射光源在材料科学、生命科学、环境科学、物理学、化学、医药学、地质学等学科

领域应用研究和产业情况。

Shibo Xi 是新加坡国立大学新加坡光源研究员，参与建造了北京同步辐射装置（BSRF）4B7B 实验站，升级了 3W1B 实验站，加入新加坡光源后开发了 XAFCA 的快扫模式；设计制造了气固反应原位 XAFS 表征装置；开发了世界上第一个自动化的束线全局优化软件，多次举办 X 射线吸收谱学的研讨班，以第一或通讯作者在 Nature 子刊上发表 SCI 论文 10 余篇。

（4）等离子体物理简介：本课程将系统地介绍等离子体物理的基本概念、基本原理和描述问题及处理问题的方法。突出物理概念和物理原理，包括等离子体基本性质及相关概念、单粒子轨道理论、磁流体力学、等离子体波等相关知识，课程将结合受控聚变、大科学工程等重大应用背景展开介绍，介绍等离子体应用技术产业前沿情况，能够使学生掌握等离子体物理的基本知识，为进一步学习核聚变与等离子体物理及相关学科专业课程打好基础。

Anatoly Kudryavtsev 是国际知名的气体放电及等离子体应用专家，是俄罗斯圣彼得堡国立大学物理系教授，哈尔滨工业大学教授，中国政府友谊奖获得者。是“中俄等离子体物理应用技术联合研究中心”，俄方负责人，跟我校等离子体物理研究有长期合作。目前在研科研项目多项，其中多数为国际合作科研项目。其出版专著 4 部，国际发明专利 5 个，在国际权威期刊发表学术论文 200 多篇（均为 SCI 收

录论文，含多篇 PRL、APL 及 POP 等国际顶尖专业期刊论文)，其中含有多篇 ESI 高被引论文 (是入选具有高 H 指数俄罗斯科学家‘共 1775 名’之一)。

(5) 等离子体物理应用技术介绍：等离子体物理既是物理学中一个重要分支，又与材料学、化学、生物、环境、医学等学科相互交叉。同时还是一些现代科学技术发展的重要基础。目前，等离子体技术在微电子、新材料、环境、能源、空间等高新技术领域的应用具有十分广阔的前景，本课程将围绕等离子体重点应用技术，讲述等离子体产生技术以及等离子体物理在工业、农业、医学及国防领域的应用技术，激发学生们对等离子体物理学习的兴趣。

Vladimir Demidov 圣彼得堡国立大学、西弗吉尼亚大学教授，博士毕业于圣彼得堡国立大学，长期从事等离子体物理化学及等离子体系统研究，在气体放电、等离子体电子设备、复杂等离子体、等离子体电磁相互作用等离子体诊断等具有丰富的研究经验。发表学术论文 200 余篇，是美国国家科学研究委员会高级研究员，美国西弗吉尼亚大学研究教授，空军实验室首席科学家，美国物理学会会员，美国能源部、国家科学基金会等基金评委，Plasma Sources Sci. Technol., Rev. Sci. Instrum., IEEE Trans. Plasma Sci., Physics of Plasmas, J. Phys. D: Appl. Phys., and Plasma Phys. Control. Fusion 等国际等离子体物理杂志评委。

2. 讲座

讲座 1：“高温超导微波器件”：重点介绍高温超导的基本概念，高温超导微波器件的发展状况，器件的基本设计方法及超导微波器件在卫星、雷达等领域的应用前景。

Chong Kim ONG 教授 新加坡国立大学物理系教授，在 1996-2000 年间担任新加坡物理学会的主席，2010 年获得新加坡国立大学最高等级的杰出研究奖，在 1998-2000 年担任新加坡科学院的第一任副主席。Ong 教授不仅在理论研究方面孜孜不倦，在实验方面也是颇有建树。他在以下领域的杰出工作获得了学界的一致认可和高度赞誉：高 k 介电材料，可调介电和微波器件，左手材料，微波螺旋滤波器，高温超导体器件，高频磁薄膜，自旋电子学，人工电磁材料与射频隐身技术，微波扫描成像显微技术，以及微波方法测量介电常数和磁导率等。在国际期刊上发表了 500 多篇论文，论文 H 因子为 37；拥有多项美国专利；其作为主要作者参与编写的《微波电子学》一书于 2004 年由 Wiley 出版，此外他还担任过其他两本学术期刊的编委。

讲座 2：“等离子体物理数值模拟前沿进展”：等离子体数值模拟是研究等离子体的重要方法，本报告将系统介绍目前成熟的等离子体数值模拟的研究方法，介绍针对不同的等离子体，如何进行建模等。

Ismail Rafatov 教授 硕士毕业于吉尔吉斯俄罗斯斯拉夫大学，博士毕业于吉尔吉斯斯坦国立大学，博士毕业后先后在吉尔吉斯俄罗斯斯拉夫大学、吉尔吉斯斯坦土耳其玛纳

斯大学、Çanakkale Onsekiz Mart University 等从事助理教授研究工作，后来在荷兰国家数学与计算机科学研究所、中东技术大学从事博士后研究工作。2005 年-2010 年为中东技术大学助理教授，2011-2018 年，为中东技术大学副教授，2018 年 9 月至今为中东技术大学教授。长期从事等离子体数值模拟研究工作，发表论文 100 余篇。

讲座 3：“等离子体产生技术概述”：等离子体在国民经济的各个行业发挥着重要作用，如何产生高性能的等离子体是目前各应用行业关心的问题。本报告将简述人工产生等离子体的方法、等离子体的性质、重要应用及发展趋势等。

Vladimir Bychkov 教授 莫斯科罗蒙诺索夫国立大学首席科学家，长期从事等离子体物理研究，是俄罗斯球放电协会会长，国际球放电协会副主席，是俄罗斯自然科学院院士，出版专著 10 余部，发表论文 200 余篇，获得俄罗斯自然科学院 V.I.Vernadsky 银奖，850 年莫斯科科学成就政府奖。撰写的专著 “Mathematical modeling of electromagnetic and gravitation phenomena by the method of mechanics of continuous media” 被授予科教发展突出贡献奖。

讲座 4：“等离子体物理模型”：等离子体在不同的环境下其物理性质不尽相同，因此对不同的应用背景，就需要对等离子体进行物理建模。本报告将结合国际等离子体重要发展方向，阐述建模方法和主要解决的问题。

Evgenii Bogdanov 副教授 国际知名的气体放电及等离

子体数值模拟专家，是俄罗斯圣彼得堡国立大学物理学系副教授。目前研究方向包括：非局域电子动力学，低温非平衡等离子体输运过程，以及低温等离子体数值模拟等。在国际权威期刊发表学术论文 60 多篇（均为 SCI 收录论文，含多篇 PRL、APL 及 POP 等国际顶尖专业期刊论文），其中含有多篇 ESI 高被引论文。

讲座 5：“空间等离子体概述”：宇宙中 90% 以上的可见物质处于等离子体状态，因此空间物理研究的主要对象就是等离子体。本报告将介绍空间等离子体研究的主要内容、研究方法 & 国际前沿研究的方向和发展趋势。

王晓钢 哈尔滨工业大学物理学院教授，国家大科学工程指挥部空间等离子体环境模拟研究系统首席科学家；美国哥伦比亚大学博士、国家磁约束核聚变专家委员会委员、中国物理学会等离子体物理分会主任、美国物理学会会士(APS Fellow)；长期从事等离子体物理研究，在聚变与空间等离子体物理的磁重联研究和复杂等离子体中波和不稳定性研究方面取得了具有国际影响力的研究成果。曾任美国哥伦比亚大学副研究员、美国 Iowa 大学研究员，大连理工大学特聘教授、高科技研究院院长，北京大学教授、等离子体物理与聚变研究所所长，国际权威性学术期刊 J Geophys. Res-Space, Associate Editor 和 Plasma Phys.Contr F.编委等。

讲座 6：“微纳结构中的光场调控”：将围绕光学器件微纳化面临的挑战，讨论如何通过突破硅与钙钛矿材料的加工

工艺，制备出高质量的微纳结构，并系统讨论其中光场调控的新原理、新方法与新应用。

宋清海 哈尔滨工业大学(深圳)，教授，博士生导师。2012 年入选中组部青年人才计划，2020 年入选国家杰青。主要研究方向是微纳尺度的光场调控，针对集成光子器件的辐射、模式控制以及在通信和传感中的应用展开了系统研究。在 Science (2 篇)、Physical Review Letters (7 篇)、Nature Communications (7 篇)、Science Advances (1 篇)、Advanced Materials (9 篇)、ACS Nano (9 篇)、Nano Letters、Advanced Functional Materials、Laser Photonics Reviews、Optica 等杂志上发表 200 余篇论文，受邀为 Science、Advanced Materials、iScience、Advanced Optical Materials、中国科学等撰写综述和 perspective。研究工作受到同行在 Reviews of Modern Physics、Science、Nature Review Materials、Nature Photonics 等一系列综述文章的正面评价，同时也被《Science Daily》《PhysOrg》《Nanowerk》《Optics & Photonics News》《Laser Focus World》和《Photonic Online》等数十家科学传媒高度评价。

讲座 7：“智能全息光子学”：报告将从人工智能对电子算力硬件要求和能量损耗角度展开，介绍光子技术发展的机遇与挑战。报告将介绍传统全息技术、成像技术结合 AI 深度学习算法的研究思路，介绍最前沿的研究成果以及应用场景。

曹良才 清华大学精密仪器系教授，博士生导师，长江学者特聘教授，国际光学工程学会 SPIE 和美国光学学会 OPTICA 会士。1999 年毕业于哈尔滨工业大学应用物理系，2005 年在清华大学获得光学工程博士学位。目前是清华大学光电工程研究所教授，光电工程研究所所长。研究领域为全息术和信息光学，在 Phys. Rev. Lett., Adv. Opt. & Photon. 等高水平期刊发表高水平论文 100 余篇。