

物理专业“强基计划”学生高质量培养模式的探索与实践

物理学系 杨中芹、龚新高、石磊、朱晓妍

一、项目的背景、目的和意义

为加强基础学科建设，强化基础学科人才培养，实现科技强国目标，教育部在2020年推出了“强基计划”招生模式。全国30多所基础学科较强的高校积极响应国家号召、根据教育部文件精神开展了“强基计划”学生的招生及培养。物理学是自然科学的基石，她既是理、工、医学科的基础，也是我国科技创新发展的先导，对国民经济的发展起着举足轻重的作用。探索如何高质量培养物理学科“强基计划”学生关系国家未来发展、具有重要意义。

物理学科目前共招录了3届“强基计划”学生，每届学生人数在25人左右，每届“强基计划”学生独立编班，实行小班化管理。每届学生的班主任都是学科带头人（含院士）担任。本项目主要以首届（2020级）学生为研究对象，后面年级培养模式大体相似。

二、项目的具体实施方法与过程

1) 打造“研讨式”课堂授课新模式、激发学生创新精神

为夯实“强基计划”学生的专业基础，复旦物理学科在教育部拔尖计划实施的基础上将11门物理学基础和骨干课程全部建设为质量过硬、具有深入性、开放性、挑战性、实践性等特点的荣誉课程。荣誉课程的授课模式区别于传统课堂的“讲授式”的授课模式，已经革新为新颖的注重师生互动的“研讨式”课堂授课模式，大大激发学生的创新意识、强化了想象力和批判性思维能力。低年级荣誉课程注重学生基础知识的夯实与外延，教师通过开放式问题激发学生对知识点的深入思考和探索，并通过进一步研讨来解决问题；高年级荣誉课程则充分展现“科教深度融合”，在课程内容基础上以开展前沿课题为导向，学生在高效吸收课程知识的同时锻炼了创新思维，为将来做出引领世界的原创性科研成果打下扎实基础。讨论班不圈养，实现“以生为本”的“个性化”的育人思路。



图 1. 《量子力学》“研讨式”课堂授课场景

2) 搭建“立体化”课程体系、提升学生钻研物理的兴趣

创新课程体系，建立了以物理学主干课程为核心，横向构建各专业方向的选修课程，纵向设立本-研衔接课程，侧向辅以无学分讨论班、物理前沿课、各类讲座、论坛、暑期学校、竞赛等，构成一“立体化”交叉课程体系。“强基计划”学生根据自身基础、兴趣爱好，灵活进行修读内容的选择。每学期开设 5-6 门或拓展或热点或前沿的《无学分讨论班》，此讨论班的开设打破了传统刚性的课程结构，学生能修读到非常感兴趣的课程内容，增强学生钻研物理的内驱力和兴趣。因为没有学分，学生修读这些课程没有压力，学有余力的学生会选择多个讨论班。以现代信息技术为支撑，注重推动优质在线课程、翻转课堂及虚拟仿真实验建设，为学生提供多维度的学习、探索资源。基本所有研究生课程都向本科生开放，鼓励学生在高年级修读研究生阶段的学位课程，学生可选择将这些课程学分带到研究生阶段，减少重复学习，达到研究生准入要求的“强基计划”学生优先直升进入研究生培养阶段，助力“强基计划”学生顺利成长、成才。

表 1. 2022 年开设的《无学分讨论班》

学期	课程名称	修读人数
春季	高等线性代数和矩阵分析	5
春季	现代光谱学方法	4
春季	固体物理中的对称性与拓扑	14
春季	Studying Lie algebra in Fulton and Harris	4
春季	有效量子场论与费曼积分	5
春季	拓扑物态讨论班	12
秋季	量子多体理论	10
秋季	Group and Representation Theory	23
秋季	力学中的变分原理	5
秋季	凝聚态中的拓扑	11
秋季	深度学习在材料科学中的应用	10

3) 实行小班管理及双导师制、强化“实践育人”

物理学科针对每届“强基计划”学生实行小班管理，首届“强基计划”学生的班主任由凝聚态物理领域学者龚新高院士担任，为学生的课程安排、学业规划等提供全程、全方位指导。首届“强基计划”班主任积极响应教育部号召为“强基计划”学生构建最优质的培养平台，如对“荣誉学生”评选、出国交流选拔、入选竞赛等，在相同条件下，“强基计划”学生享有优先权。班主任还定期举办班会，营造刻苦努力、积极向上的学习氛围。同时通过组织集体座谈、面对面谈心、素质拓展等系列富有吸引力的班级活动，提升班级凝聚力，增强学生的归属感，加强对学生的全方位人文关怀。一些班会、座谈、素质拓展活动的照片见下。



图 2. 2020 级班会场景 (2020. 09) 图 3. 班主任与学生交流谈心 (2020. 12)

集体座谈活动一般以共进午餐方式分批进行（每次 7-8 位学生），以拉近学生与老师间的距离。活动时大家可以交流课程学习中的困难、困惑，也可以谈对某一物理问题的理解，还可以畅谈理想志趣、未来发展规划。除了班主任，还邀请了系资深教授，包括侯晓远教授，与同学们促膝谈心，通过谈心为同学们指明努力的方向，号召同学们立志成才，将来积极投身科技强国建设。



图 4. 长兴岛拓展基地举办的素拓活动, 提升协作精神和综合实践能力 (2021. 05)

每学期期中、期末收集学生考试情况数据, 进行数据跟踪分析。对成绩落后学生, 给予鼓励与支持, 并通过任课教师、助教、同学等对学习困难学生提供帮助; 为家境贫寒的学生争取助学金, 以助其心无旁骛地完成学业。

对比普通班学生, “强基计划” 学生一个培养特色是配备双导师制: 寝室导师和学业导师。寝室导师主要对学生的生活困难、学业规划等进行指导帮助, 而学业导师集中在对学生遇到的学业问题进行全面、深入指导, 包括开展课题研究、指导物理相关的比赛、竞赛等。而每位普通学生仅配备一位导师——寝室导师。物理学科给“强基计划”学生配备的学业导师都是学科杰出人才, 包括国家杰青 (10 人)、长江教授 (8 人)、院士 (2 人) 都在其中。双导师制度促进学有余力的“强基计划”学生有充分机会和良好资源开展科研实践活动, 强化实践能力, 提早领略科研的魅力, 帮助学生们树立将来从事物理等基础学科研究的志向。目前首届 31 位强基学生中有 6 位学生在学业导师指导下获得国家级等的课题立项 (不含系级课题项目), 比例明显高于普通班学生。可见, 从各门课程的任课教师、班主任、寝室导师到学业导师, 物理学科对“强基计划”学生很好践行了“三全育人”思想, 让课外育人与课内育人、理论育人与实践育人、专业育人与思政育人有机衔接。

4) 结合课程进度, 举办富有时代特色的“大师讲坛”, 激发家国情怀

为强化专业培养、激发学生爱国主义情操, 首届“强基计划”班主任等还精心策划并组织了富有时代特色的“大师讲坛”活动, 内容选题立足于本学科基础核心课程并围绕当前国家重大科技需求规划和国内外重大科技发展展开。所选主题通常都是中国处于世界领跑地位的最新科技进展。活动每学期举办 3-4 次, 每场讲座不但吸引了“强基计划”学生前来听讲, 还吸引了其他班级学生及感兴趣的教师参加, 讲坛的参会人数多次超过 150 人。每次报告内容是依据学生当学期物理主干课程的知识点与报告人协商“定制”, 报告内容具有基础性、应用性、前沿性和先进性。这一模式能够较好解决本科生, 特别是低年级本科生, 较难有效吸收大师学术前沿报告的弊端。讲坛邀请的报告人都是领域内具有深厚学术造诣的大师。报告不仅内容精彩, 而且还无形地弘扬了我国科学家为了国家事业治学严谨、不畏险阻、执着奋斗的科学精神。

如在 2021 年春, 学生们在学习《电磁学》和《热学》物理基础课程, 我们

遂策划了三期大师讲坛，两期与《电磁学》内容相关，一期与《热学》内容相关。首期讲坛即邀请了国家电网公司特高压事业部王绍武主任给学生们作了题为“中国特高压输电的创新实践”报告。他讲述了我国经济的迅猛发展带来了在全国范围内对电力的长期持续增长需求的问题，在当时国际上完全没有成功经验可借鉴的情况下，下定决心走自主创新的国产化道路。王绍武主任用一串串具有说服力的、令人震撼的数据及严谨科学的论证让学生知晓了我国在国际上独占鳌头的特高压输电技术。对学生来说这无疑是一场融合了学术、技术、工程、国家前沿发展的饕餮大餐。为了提升讲坛效果，在讲坛开始前，我们与《电磁学》主讲教师沟通了报告的详细提纲，主讲教师在课堂上对报告涉及的一些核心知识点进行必要知识铺垫，以充分衔接好“基础”与“前沿”知识模块。在讲坛结束后，主讲教师还在荣誉课程讨论班上对报告中有趣知识点，如特高压交流变压器原理等，组织学生进行进一步讨论和探究。可见，这个活动让学生有机会充分了解我国重点战略需求及科技发展动向，增强“四个自信”，激发家国情怀和使命担当意识。

表 2. 2021 春-2023 春举办的代表性“大师讲坛”

学期	对应课程	报告题目	报告人
2021 春	《电磁学》	中国特高压输电的创新实践	王绍武（国家电网公司特高压部）
2021 春	《电磁学》	磁场—太阳爆发现象背后的魔幻之手	陈鹏飞（南京大学）
2021 春	《热学》	热的傅里叶定律与广义相对论性原理的结晶	黄吉平（复旦大学）
2021 秋	《光学》	自然界中神奇的结构色	资剑（复旦大学）
2021 秋	《光学》	中国天眼的动感宇宙	李荫（中国科学院国家天文台）
2021 秋	《光学》	激光与未来	程亚（华东师范大学）
2021 秋	《科研实践》	自旋电子学的发展史及未来展望	沈健（复旦大学）
2022 春	《天体物理学导论》	宇宙起源与命运（学生定制）	张新民（中国科学院高能物理研究所）
2022 春	《热力学与统计物理》	极低温制冷技术简介	杜瑞瑞（北京大学）
2022 秋	《科研实践》	物理学的发现改变世界	邢定钰（南京大学）
2023 春	《纳米物理学》	Room at the bottom—二维材料的新机遇	张远波（复旦大学）

2023 春	《科学精神》	探索基础研究一流大师 成长之道	朱邦芬（清华大学）
2023 春	《计算凝聚态 物理》	计算与物理—计算物理	龚新高（复旦大学）
2023 春	《天体物理学 导论》	聆听天籁—探索鸿蒙初 开的宇宙	陈学雷（中国科学院 国家天文台）



图 5. “大师讲坛”现场（2021 春）

三、项目取得的成效与价值

2020 年是全国“强基计划”招生元年，对于如何培养好“强基计划”学生，全国施行这一招生模式的高校都在探索。复旦物理学科经过两年多的探索和实践初步形成相对成熟的培养模式。“十年树木，百年树人”，这一培养模式是否成效显著，需要等到这批“强基计划”学生走上各行各业的工作岗位后才能明确。不过，我们从“强基计划”学生在校内的学习、科研实践、竞赛等情况可初见端倪，展现了针对“强基计划”学生培养而实施的改革举措具有明显成效。下面分别从学习、科研实践、比赛竞赛、问卷调查等情况进行介绍。

1) 学习情况

下表给出 2020 级“强基计划”学生（31 名）第一学期和前五学期平均成绩（绩点）的变化及与普通班学生（81 名）的对比（满绩点为 4）。从表格可以看

到“强基计划”学生在第一学期总体学习情况不如普通班学生，前者的平均绩点低于后者 0.17，说明招录进来的“强基计划”学生的平均学习成绩较明显低于后者。不过，第一学期“强基计划”学生的中位数绩点比普通班稍低，仅低 0.06，说明“强基计划”学生两级分化现象较为明显，成绩优秀的学生和成绩较差的学生占比都比较大，这个现象可以通过首届“强基计划”学生进行了校内补录取来理解，即补录取的学生相对比较优秀。从对 2021 及 2022 级学生的数据分析发现，随着招生政策的进一步优化及学生和家长对这一招生模式认识的逐步成熟，在没有进行校内补录取情况下，后面年级的“强基计划”学生的生源质量得到较大提升，特别在竞赛生招生方面，这更好契合了教育部设立这一招生新模式的初衷。

表 3. “强基计划”学生与普通班学生绩点对比

学期	“强基计划”学生		普通班学生	
	平均绩点	中位数绩点	平均绩点	中位数绩点
第 1 学期	3.14	3.32	3.31	3.38
第 1-5 学期	3.21	3.42	3.30	3.38

第五学期结束，我们欣喜发现“强基计划”学生的平均绩点提升到 3.21，而中位数绩点上升到 3.42，中位数绩点已超过普通班学生的相应绩点。说明在这个过程中，“强基计划”学生总体的学习成绩有较大幅度的上升，特别是优秀的学生上升更多。第五学期结束时年级前 10 名学生中 4 人是“强基计划”学生，年级前 20 名的学生中 8 人是“强基计划”学生，这两百分比（40%）均高于“强基计划”学生与总年级人数的占比（28%）。

我们还可以从荣誉课程的修读进一步分析“强基计划”学生的培养情况。图 6 (a) 和 (b) 分别给出 2020 级“强基计划”学生和普通班级学生修读荣誉课程数据，可以发现“强基计划”学生绝大部分（76%）都修读了至少一门加深加难的荣誉课程，有 14%的“强基计划”学生修读了 6 门及以上的荣誉课程（前 5 学期共 10 门），这个比例远远高于普通班学生。普通班学生有近一半的学生没有修读荣誉课程，修读 6 门及以上的学生仅占 3%。从每门荣誉课程的修读占比也可明显看出这一趋势，如对于《力学》荣誉课程，超过 70%的“强基计划”学生修读了，而普通班级仅约 27%的学生修读；约 50%的“强基计划”学生修读了《电磁学》荣誉课程，而普通班学生仅 12%修读了。因为荣誉课程相比普通课程极具挑战性，难度加深、内容拓展，“强基计划”学生在较大比例修读荣誉课程

的情况下在第五学期学习成绩有明显上升且中位数绩点超过普通班级，这很好反映了这套“强基计划”培养模式富有成效。

对各门荣誉课程成绩的分析同时发现：修读荣誉课程的“强基计划”学生获得优异成绩的比例一般也比普通班的高。如获得《热学》、《电磁学》、《热力学与统计物理》荣誉课程 A 类成绩的学生超过 60% 是“强基计划”学生。这些数据表明任课教师、学业导师、班主任等成功点燃了“强基计划”学生学习物理的积极性、激发他们不畏艰难、挑战加深加难的荣誉课程，很好地夯实了专业基础。

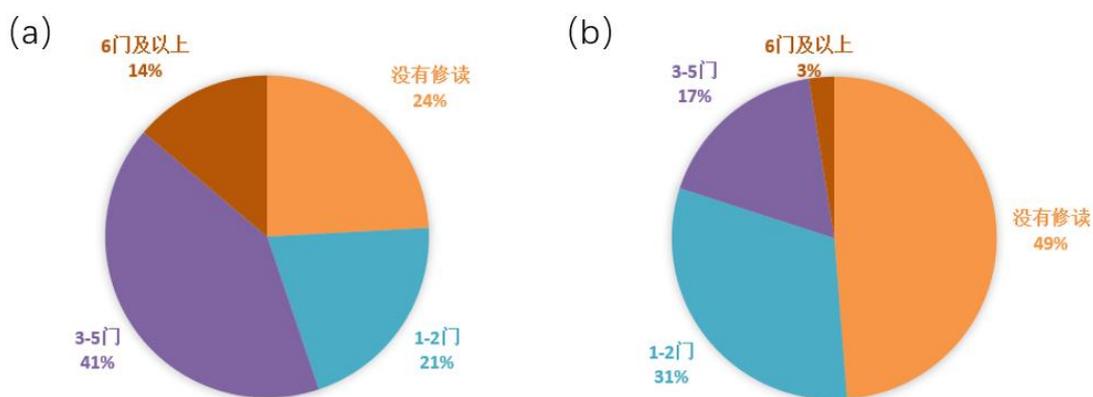


图 6. (a) 2020 级“强基计划”学生修读荣誉课程占比，(b) 2020 级普通班学生修读荣誉课程占比

2) 科研项目及比赛竞赛情况

“强基计划”学生在学业导师（或其他导师）指导下积极参与科研实践，目前 2020 级“强基计划”学生获得国家级、上海市级课题立项 6 项，课题选题都属于国际最前沿方向，通过这些项目的开展，“强基计划”学生在科研素养、科研能力方面将有长足提升。一般一届学生在毕业时，开展国家级等科研项目的人数比例大概是 20%，2020 级“强基计划”学生在二年级即达到这个比例，实属不易。除此之外，有约 20% 的“强基计划”学生已修读或正在修读《科研实践》课程，即进入教授课题组开展课题研究，这一比例也高于普通班级的 16%。“强基计划”学生还积极参加各项比赛和竞赛，并频获佳绩。如 2020 级“强基计划”学生诸思吟和赵冠迪同学获得中国大学生物理学术竞赛（CUPT）特等奖（2021 年度），且诸思吟同学担任复旦队的队长；朱彦达同学荣获上海市大学生物理学术竞赛一等奖（2021 年度）。

3) 问卷调查结果

为更好了解“强基计划”学生的状态，每学期会对“强基计划”学生的情况进行问卷调查，激励优秀、帮助落后。特别地，对困难学生，进行个别谈心、加强人文关怀，帮助解决问题。这些问卷结果也可反映我们的培养成效。图7给出了2020级“强基计划”学生近三学期学习压力的变化情况，对学习吃力的学生，课程越来越要花更多时间来学习，这与随着年级增加，课程难度在增加一致。而能跟上课程节奏的学生由于适应了大学学习，能做到高效学习，他们的学习随着年级增加变得相对轻松。这使得打算或进入课题组开展课题研究的人数在学生进入三年级（2022秋）时有大幅增加。这与我们期望一致，通过科研实践强化学生“实践能力”培养，正如李政道先生所说“让本科生尽早参与到科学研究中来”，通过科研实践增强学生的创新意识和能力。

图8展示了学生从学业导师处获得了哪些方面的帮助和提升，可以看到随着年级增加学生与学业导师的接触增加，在学业导师的影响和指导下，学生们对物理的兴趣逐步提升，这与教育部希望通过这个计划加强基础学科建设及基础学科人才培养的宗旨相一致。学生还从学业导师处获得越来越多的专业知识及科研能力方面的指导和帮助。

2020级的“强基计划”学生目前处于三年级下学期，再过一年多他们将毕业，我们通过问卷也调查了他们对毕业后的发展规划，结果显示有约60%的学生表示会在毕业后选择攻读本专业的研究生，较多的学生愿意将物理学作为继续深造的方向是我们非常希望看到的。

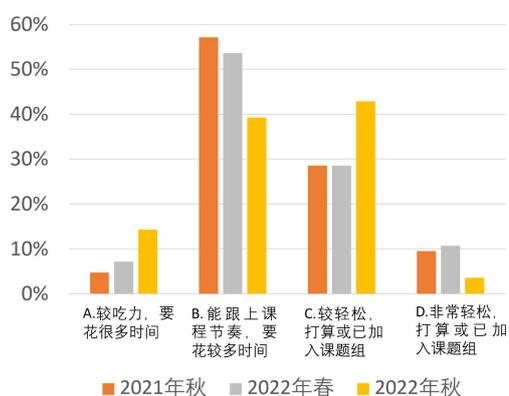


图7. 学习压力

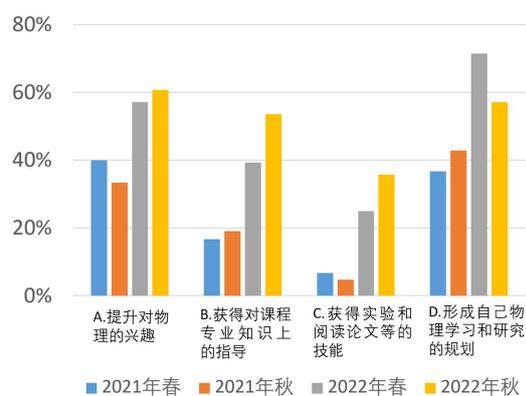


图8. 从学业导师处获得的帮助

4) 学生反馈摘录

下面摘录一些学生们对施行的改革举措的特色评价,从这些评价可以看出学生对这套培养模式的认可。

关于“研讨式”课堂授课新模式:“《量子力学》荣誉课的主要形式为专题讨论,令我印象极深的一次讨论即关于仪器测量和理论计算的讨论,最终使我深刻理解测量与坍缩的本质、对易算符可以具有相同的完备本征态集等性质,这样的专业课程学习给予了我清晰的物理图像、物理直觉和完善的学习能力。”。

关于“立体化”课程体系:“(学生通过无学分讨论班学习了广义相对论)上次课讨论内容为广义相对论的数学基础。老师精心设计了讨论班的各个环节。同学们充分准备且积极参与讨论,学习效果远优于自己一个人啃书。大一同学也能学广义相对论,刷新了认知。”;“课程之外,院系组织了各类的课题或科研相关的训练项目,包括荣誉课程、CUPT与理辩社的项目、曦源项目、其他FDUROP项目、拔尖计划、学业导师等等不一而足。我认为这些项目对我成长的帮助极大。”。

关于强化“实践育人”:“凭借校内丰厚的学术资源和学习平台,入选拔尖计划后在修教授课题组进行科研实践。在此期间,申请了国家级大创项目一碲化银的输运性质研究,以此为目标进行了理论学习和实验实践。目前已经制得高迁移率的碲化银样品以供测量,且突破性地观察到这种具有各向异性狄拉克锥材料中具有的量子霍尔效应。在本学期内已经完成中期汇报工作,应当可以顺利完成结题报告的撰写。在实践中既锻炼自己的能力,也进一步加强了对理论知识的理解深度,感谢院系提供了这样良好的平台可以在课堂之外进行科研预训练。”。

关于“大师讲坛”特色活动:“我觉得王绍武高工真的非常符合我心目中大国工匠的形象,他能够几十年如一日地投入自己热衷的事业,为国家作出贡献,激励着我今后去探索和奉献!”;“第一次知道磁力线可以当做弹性绳一样来利用,也更深入的了解了天文学,明白了物理学的基础作用。”;“原本以为像中国天眼这样的大工程应该会非常的高级吧,没有想到会和我们的上课内容有这么大的关联,比如傅里叶变换,比如频谱分析。”。

四、结语

“强基计划”是教育部设立的一种崭新的选拔和培养有志于服务国家重大战略需求的基础学科卓越人才的新方式。优秀的“强基计划”学生不仅需要具有扎实的专业知识和很强的专业创新能力,还需了解国家科技重大需求且具有远大理想、家国情怀及较高的综合素质。基于上述目标,本项目从改革课堂授课模式、

搭建“立体化”的交叉课程体系、实行小班管理及双导师制、举办与课程内容及当下国家重大科技发展关联的“大师讲坛”活动等方面对“强基计划”学生的培养模式进行革新，以实现“强基计划”学生高质量培养。通过探索与实践，项目凝练成的一套具有“研讨式、立体化、实践化、时代化”特征的培养模式已显现育人成效，期望形成的培养模式为其他高校物理学科及其他学科的“强基计划”学生培养提供重要参考。项目在《物理与工程》杂志发表一篇教学研究论文（已接受，接受函见附件）。项目取得预期成果。