

文章编号:1005-4642(2020)11-0022-06



高校物理实验教学的比较研究

荣 新, 李 智, 张朝晖

(北京大学 物理学院 基础物理实验教学中心, 北京 100871)

摘 要: 比较了北京大学、清华大学、复旦大学、中国科学技术大学、香港科技大学、麻省理工学院和剑桥大学的物理实验教学规模、课程开设和教学特色。通过分析中外物理实验教学的异同为深化物理实验教学改革提供参考和借鉴。

关键词: 物理实验; 教学改革; 比较研究

中图分类号: G642.423

文献标识码: B

DOI: 10.19655/j.cnki.1005-4642.2020.11.004

物理学是一门以实验为基础的自然科学。基础物理实验课程在培养学生科学的实验方法、严谨的实验规范、动手动脑、理论与实验相结合,提高学生科学素养和能力方面有不可替代的作用。在国家大力推进素质教育和“双一流”建设的背景下,当前物理实验教学如何传承传统的优秀实验教学方法和经验的同时更好地贴合新时代教学的需求,是教师需认真考虑的问题。国外物理实验教学的规模、理念和方法与国内有较大不同,通过对中外部分高校相关教学进行比较研究,发现优势与不足,借鉴有益经验,是立足中国教育实际深化物理教学改革的一种有效途径^[1-6]。北京大学实验室与设备管理部于 2017 年启动了“世界著名高校实验教学比较研究”项目,在该项目的支持下,北京大学基础物理实验教学中心基于校友访谈、邮件咨询以及部分公开资料等开展了物理学科的相应研究,研究侧重于物理实验教学规模、课程开设和教学特色的比较,并于 2018 年形成了世界著名高校物理实验教学比较研究结题报告。本文摘取结题报告中的主要要点,对部分高校物理实验教学情况进行梳理,分析了中外物理实验教学的异同。

1 中国部分高校的物理实验教学

1.1 北京大学

北京大学基础物理实验教学中心于 1999 年

11 月在原物理系普通物理实验教研室、近代物理实验教研室以及部分专门化实验室的基础上合并组建而成^[7]。实验教学中心成立后,将本科 4 年的物理实验教学统一规划,并进行了重组融合,以“加强基础、循序渐进、因材施教、全面提高”为改革思想,实验选题上增加了在物理学科中有代表性、有应用价值的先进的实验内容及科研成果转化的教学实验,建立新的课程体系,加强了对学生创新能力的培养^[8]。2006 年,北京大学基础物理实验教学中心入选首批国家级实验教学示范中心。普通物理实验课和近代物理实验课先后被评为国家级精品课。

近几年,基础物理实验教学中心在传统普通物理实验和近代物理实验基础上^[9],逐渐推动以“科研引领实验教学”的物理实验教学改革,新开设综合物理实验、前沿物理实验、专题研究性实验等内容,形成了较全面的物理实验课程体系^[10-13]。新开设的实验力求贴合前沿和实际应用,通过实验操作辅助讲义、实验设计和课后与教师面谈讨论等方式丰富课程形式,引导学生自主实验,深入探究物理现象、理论和实验方法,侧重实验探究过程和能力培养。以上实验既满足了大面积实验教学的基本要求,也为优秀拔尖学生提供了更多的个性化选择,同时满足核物理等部分专业的特殊培养需要。

收稿日期:2020-07-21;修改日期:2020-09-03

基金项目:北京大学实验室与设备管理部“世界著名高校实验教学比较研究”项目(No. 2017SYJX002)

作者简介:荣 新(1986—),男,吉林四平人,北京大学物理学院工程师,博士,从事 MBE 材料生长研究和物理实验教学。E-mail:rongxin@pku.edu.cn



北京大学基础物理实验教学中心目前有固定人员 15 人,每年有一定数量的兼课教师,教学团队人员的年龄和职称分布合理.实验教学中心目前有实验设备超过 2 600 台,总值超过 3 000 万元.实验教学中心注重网络信息化建设,学生可以方便地通过实验教学中心主页在线观看实验视频,预习实验.实验教学中心由学校、物理学院两级管理,由物理学院教学委员会直接领导,实验室安全方面由北京大学实验室与设备管理部 and 物理学院实验室管理办公室两级管理.实验教学中心近年来经费充足,每年经费数百万元,包括学科建设经费、北大教改项目、教务部拔尖人才、设备部修购项目等.实验教学中心鼓励本单位教师和实验技术人员立足教学实际开发和设计新实验,自制实验设备^[14],将最新的科研成果引入到实验教学中.

1.2 清华大学

清华大学实验物理教学中心在教学理念和人才培养目标方面,强调加深对物理概念、物理规律的理解和运用,掌握常用的实验方法、仪器使用方法以及数据分析方法,培养学生提出问题、分析问题和解决问题的能力,培养创新意识和严谨的科学作风.开展分层次、多模式、研究型实验教学,以人为本,因材施教,遵循认知规律^[15-16].该校物理实验课程面向理、工科(含医)一、二年级本科生,内容涵盖力、热、电、光、近代综合 5 类,2 学期,共可开约 60 个 4 学时的实验题目,课程负责教师根据课程学时要求均衡学科内容,挑选数目合适的题目安排为必做,再开设多个题目供学生自由选做,一般必做所占学时大约 75%.面向物理专业学生的实验课程体系由基础物理实验、近代物理实验和高等物理实验 3 部分组成.其中,高等物理实验对本科生选修,内容涵盖声学、光学、凝聚态物理、核物理 4 类.

2018 年,清华大学实验物理教学中心有固定教学人员 26 人,实验物理教学中心经费包括日常运行费用(每年约 20 万)和其他经费来源,包括:教务处拔尖人才培养、985 三期、基金委支撑条件建设、学堂班实验研究基地以及实验室创新基金等.

1.3 复旦大学

复旦大学物理教学实验中心在教学理念和人才培养目标方面,遵循“以人为本、以学生为主体”

的教育理念,加强了对本科生进行科学方法和科学思维的训练,使实验内容体系在“知识、能力、科学素养”培养上进一步优化^[17].该校物理教学实验中心承担了物理系本科生的各类物理实验课程和理科、医科及技术类各专业低年级学生的普通物理实验课程的教学任务,并向全校文、理、医、管各院系开设“自学物理实验”公共选修课,每年接待学生超过 3 000 人次,实验年人时数超过 16 万人学时.实验中心还建有复旦大学物理虚拟仿真实验教学中心(国家级虚拟仿真实验教学中心),倡导“虚实结合”的实验教学^[18].

2018 年,复旦大学物理教学实验中心有固定教学人员 20 人,日常运行经费由学校教务处和院系两级核拨,建设经费一般来自学校的专项资助经费.

1.4 中国科学技术大学

中国科学技术大学物理实验教学中心在教学理念和人才培养目标方面,坚持以学生为本,以能力培养为核心,树立“融知识、能力、素质协调发展”的教育理念.通过多种途径和方式,为学生提供良好的实践教育环境,促进学生参与实践,提高学生的实践能力,培养学生的创新精神^[19-20].该校物理实验课程属性:面向本科生各专业,兼有通识课和专业基础 2 种课程属性.教学内容:基本量的测量、基本实验仪器的使用、基本实验技能的训练和基本实验数据的处理与前沿物理、新技术、新方法和新应用相衔接.教学目的:学习物理知识,了解实验过程,体验物理文化,培养基本的科研素质.教学特点:虚实结合,能实不虚;软硬结合,能硬不软;“留白”讲结合,能做不讲.实验教学中心还建有量子通信、极端超高压、高成本纳米表征等系列虚拟仿真实验.

2018 年,中国科学技术大学物理实验教学中心有固定人员 29 人,教学中心经费包括日常运行费(每年约 80 万)和实验建设经费,后者由教学中心按需求向学校教务处申报,近几年,学校投入物理实验教学建设费每年 400~600 万.

1.5 香港科技大学

香港科技大学在物理实验教学理念和人才培养目标方面,强调学生应该能够通过所做实验掌握实验基本概念和科学探究的一般方法.特别希望学生能够做到:通过使用实验仪器或者装置练习/实践基本实验技术或者技能,记录实验操作和

实验数据图表,对数据进行统计分析,总结实验结果形成报告,通过团队项目建立和实践团队合作技能.香港科技大学物理系提供的实验课程包括:基础物理实验 I(力、热共 10 个)、基础物理实验 II(电磁、光学共 10 个)、近代物理实验(量子共 8 个)、物理实验方法 I(电路共 6 个)、物理实验方法 II(光学共 6 个)、毕业设计共 6 个模块^[21]. 毕业设计模块实验包含现代大学的大部分设备,例如光谱仪、低温系统、光刻系统、X 射线衍射、扫描隧道显微镜、原子力显微镜、核磁共振等.课程安排在 4 个学年完成,其中基础物理实验 I、II 针对理学院的学生,其余课程主要针对物理专业的学生.

香港科技大学物理实验没有仿真实验室.香港科技大学有 5 个物理教学实验室,每个实验室面积 80~250 m² 不等.2018 年物理实验教学有固定人员 11 人,教学经费来自拨款,大部分用于维护和升级教学设备.

2 麻省理工学院和剑桥大学的物理实验教学

2.1 麻省理工学院

麻省理工学院物理实验课程的目标是让学生亲身体验现代物理学的一些实验基础,在此过程中加深对实验和理论之间关系的理解,尤其是原子物理.物理实验课程包括 8.13 实验物理 I(3 个预科实验,11 个正规实验)和 8.14 实验物理 II(10 个正规实验)2 门课程,称之为 Junior Lab,课程对应于国内的近代物理实验,部分实验是物理学史上的诺贝尔奖实验,包括康普顿散射、脉冲核磁共振、卢瑟福散射、氢原子光谱、X 射线、射电天体物理、光镊、穆斯堡尔效应、超导、量子信息处理等.实验中教师指导很少,但是比较全面地介绍实验的背景,注重实验探究过程,提供各种参考资料,学生也可以通过查找参考文献对实验有更深刻的理解.每个学期,学生从课程实验目录中选择 5 个不同的实验,每个实验做 2 周,实验后完成文字报告和口头展示.成绩评定中,预习、出勤、实验表现和实验记录约占 30%,文字总结报告约占 30%,平时口头展示和期末展示约占 40%.麻

省理工学院非常注重网站建设,学生通过 open-course-ware 网站获得课程信息,包括课程大纲、实验说明、考核方式、学习辅导及参考文献等^[22].

物理实验教学相关教师包括 Faculty 2~4 人、Technician 2~4 人,此外还有助教约 6 人.实验室安全管理方面包括化学和环境安全、用电安全、放射性安全、低温安全、激光安全、生物安全(如光镊)等 6 项.

2.2 剑桥大学

剑桥大学物理实验课程的主要目标是发展实验技能,其次是物理概念的阐释,通过实验将物理概念理解得更清晰到位.课程按照 Part IA(实践),Part IB(实践),Part II(实验)和 Part III(项目)的方式组织,以上 4 部分课程在 4 年制教学中分别对应第 1 年至第 4 年,剑桥大学每学年有 3 个学期:Michaelmas, Lent, Easter. Part IA 每个实验做 4 h,Part IB 每个实验做 6~8 h,Part II 分为 E1(Michaelmas 学期)和 E2(Lent 学期),E1 和 E2 每个实验累计做 30~40 h,包括波导、铷原子光泵、共振隧穿二极管、锗迁移率、磁流体、激光散射研究玻尔兹曼常量、约瑟夫森效应、核磁共振、扫描隧道显微镜等实验.教学中强调学习能力和怀疑精神,激发学生兴趣,学生遇到问题通过实验解决,强调团队合作,鼓励本科生加入课题组开展科学研究.实验室分布范围较广,包括卢瑟福大楼、布拉格大楼、莫特大楼等. Part IA 和 Part IB 有专门的物理实验教学区域. Part II 大多数实验所在地相对集中,少量在学校的科研课题组. Part III 基本都在科研课题组.

剑桥大学建有相应的网站,以便学生获取课程信息^[23].物理实验教学相关人员包括 Faculty 5 人、Staff 1 人.剑桥大学成立了专门的教学委员会负责本科教学.实验室安全管理方面包括电离辐射、化学危害及有害物、化学废物处理、生物安全、电气安全、激光防护、低温安全、高压系统、真空系统、个人防护设备等内容.

3 中外部分高校物理实验教学对比分析

国内外部分高校物理实验教学的教师构成、学生人数、实验开设和教学特色如表 1 所示.

表 1 国内外部分高校物理实验教学情况(2018 年统计)

调研学校	教师构成	学生人数	实验开设	教学特色
北京大学	专职教师 9 人 工程技术 7 人 兼课教师 61 人	物理类~420 人 非物理类~460 人	普物+近代,共 74 个 补充:综合、研究 其他院:基物 40 个	科研引领教学,个性化培养.
清华大学	专职教师 7 人 工程技术 19 人 兼课教师 18 人	物理类~400 人 非物理类~2 250 人	基物+近代 选修:高等物理实验 其他系:物理实验 A,B	分层次开放式,融合新知识、新技术.
复旦大学	专职教师 11 人 工程技术 9 人 兼课教师 10~20 人	物理类~400 人 非物理类~2 000 人	物理实验上下+近代 选修:医学物理实验 其他系:基物	引导讨论,关注能力发展.
中国科学技术大学	专职教师 21 人 工程技术 8 人 兼课教师~20 人	物理类~1 000 人 非物理类~2 300 人	基础+综合+现代+研究+专业基础+专业 其他院:上述前四	多层次研究型,结合科研前沿.
香港科技大学	Faculty 3 人 Teaching staff 2 人 Technician 6 人	~120 人	基础物理实验 I, II + 近代+物理实验方法 I, II	教师对实验教学充满热情,学生在实验技术、数据分析等方面受益匪浅.
麻省理工学院	Faculty 2~4 人 Technician 2~4 人	选修,共 2~4 班,每班最多 16 人(8 组),外系学生极少	实验物理 I, II (Junior Lab,含预备实验+正规实验,类似近代)	实验选做,教师固定,教师介绍背景实验,由学生自己摸索,和教师面谈,培养科研素质.
剑桥大学	Faculty 5 人 Staff 1 人	~100 人	Part IA, IB, II, III (Part IA 必修,其他选修)	强调怀疑精神,激发学生兴趣,学生遇到问题通过实验求证,鼓励进课题组做科研.

3.1 实验教学理念、内容、方式比较

在教学理念目标方面,国内外大学强调培养学生实验素质和实践能力,通过实验增强对物理概念的理解.国内大学更强调科学的实验方法、规范的实验操作,注重基本实验方法和基本实验思想的教学,实验上强调实验记录 and 数据处理、误差分析和报告展示等.国外大学更注重培养学生的学习能力和怀疑精神,通过现象观察和动手实验培养学生提出问题和用实验研究物理、解决问题的能力,注重口头报告和展示能力等.

在教学内容方面,国内外大学实验涵盖力学、热学、电学、光学、量子物理等.国内大学一般设置普通物理学实验、近代物理学实验和补充实验(研究性、综合性、设计性、趣味性、专题性实验等),更强调实验课程的系统性和全面性,由于通常要对全校理工科类院系同时开设实验,因此实验具备一定的模块化,但实验内容以验证性实验为主,较少涉及信息等交叉的实验,很少涉及大型

物理实验,近年来各高校逐渐注重补充实验的开发.国外大学一般追求实验内容有特色,通过实验让学生既掌握实验技能又掌握物理概念.国外物理实验教学内容可大致分为 3 类:第 1 类是整合在普通物理课程之中的实验课(不单独开课),该实验课与普通物理理论讲授内容保持一致,内容大体上相当于国内的普通物理实验;第 2 类单独开课,题目通常具有少而精的特点,其综合性和开放性较强,以问题为导向,适合学生在掌握基本物理知识前提下开展一定的自由探索,内容大体上相当于国内的近代物理实验或综合物理实验;第 3 类是科研型实验,不同大学有侧重地增加各自特色的补充实验,如天文学实验、粒子物理实验、材料物理实验、信号处理等,这些实验相当于国内的前沿物理实验或本科生科研.国外不同大学第 3 类实验差别较大,科研型实验是国外大学物理实验教学的显著特点之一,尤其国外著名大学积极鼓励学生参与科研活动,这些实验更新较

快,对学生科研能力的训练起了积极的作用,该类型实验设置与学生人数相对较少的基本情况是契合的。

在教学方式方面,国内大学教师注重讲述实验原理、步骤和仪器,通常学生独立完成实验,团队配合较少,在教学中教师注意引导学生讨论和启发式教学,但由于学生人数较多等原因收效并不明显。国外大学更强调激发学生兴趣和自主学习,教师在教学中主要通过提问、讨论等方式与学生互动,强调学生独立实验和合作互助兼顾,主要通过作报告和展示掌握学生对实验和物理问题的理解情况。

3.2 实验条件和管理模式比较

实验条件方面,国内大学设备完备,随着近年来经费的不断投入,新购设备自动化程度较高,但仍存在部分实验设备陈旧的问题。虚实结合方面,部分学校注重虚拟仿真实验室建设^[18]。网络建设方面,国内高校鼓励学生观看网上实验视频(云课堂),部分高校开发了数字化考勤、原始实验数据上传、实验报告线上提交打分等系统^[24]。国外大学设备先进,自动化程度高,大型实验设备较常见。麻省理工学院和剑桥大学每门课程都有相应的网站,学生浏览网站可以获得当年课程的相关信息。

管理模式方面,国内大学一般每学年实验课学生人数在千人以上,实验课规模较大,管理组织较为复杂。实验课一般需要几十位教师,且配备多位负责仪器管理的实验技术人员,合作完成教学工作。实验课的管理组织一般由实验教学中心负责,受教学委员会直接领导。实验教学经费投入较大,国内著名大学每年投入基本超过 100 万。国外大学在实验内容和教师方面严格把关,有专门的教学委员会统管物理实验教学,每年召开教学情况总结会。国外大学实验课学生总人数相对较少,实验课规模较小,每门实验课一般仅由少数几位 Faculty 负责,配备一定数量的负责仪器管理的 Staff 或者助教,教师情况基本固定,但是逐年有一定比例的更新。国内外大学在实验室安全方面都有严格的安全制度,有专人负责和管理。

4 讨 论

通过国内外部分大学物理实验教学的比较,我们认为国内教学改革还有很大的空间,可以借

鉴国外教学的有益经验,探索适合中国具体情况的的教学模式。具体而言,目前国内高校实验课学生人数较多,在一定时期内传统的课程模式可能仍是实验教学的主流,应循序渐进地改革。创新型人才的培养和课程思政建设为物理实验教学提出了更紧迫的要求,应优化课程设置,侧重培养科学的实验方法和实验能力。课程上增加研究性实验和多种自选实验等内容的比例;教学上注重培养兴趣,激发学生主动学习、提出问题、大胆实验,增加团队合作、交流讨论和报告展示的环节,注重培养创新能力、独立思考、合作能力和表达能力。进一步丰富配合物理实验教学的网路资源,开发学生个性化培养和学习任务管理方案,契合未来线上、线下多种方式教学的新趋势。推动教学管理部门加快优化学生和教师评价体系:通过分类选课、部分免修、第 1 课堂和第 2 课堂融合等方式着力解决学生反映的实验课程“内容多、没创意”问题,提高学生实验课满意度;通过人事制度改革和奖惩措施解决部分教师“重科研、轻教学”问题,促使教师对实验教学投入更多的时间和精力,进而扎实做好物理实验教学,落实立德树人的根本任务。

参考文献:

- [1] 葛惟昆. 关于中外人才培养的几点思考[J]. 物理与工程, 2019, 29(1): 3-4.
- [2] 段家祗, 曹惠贤, 王煜, 等. 美国高校物理实验教学和管理情况考察报告[J]. 大学物理, 2004, 23(3): 42-45.
- [3] 熊泽本, 马世红. 中美基础物理实验教科书的对比与启示[J]. 物理与工程, 2017, 27(3): 10-17.
- [4] 乐永康. 新冠肺炎疫情下美国物理实验教学及中美情况对比[J]. 物理与工程, 2020, 30(2): 11-13.
- [5] 陈新, 徐国栋, 董建平, 等. 中英大学物理实验教学模式的比较与分析[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2007, 9(4): 91-93.
- [6] 曹伶华. 中西方大学物理实验教学的比较[J]. 物理实验, 1992, 12(4): 174-175, 178.
- [7] 沈克琦, 赵凯华. 北大物理百年[Z]. 北京大学物理学院, 2013: 99-108.
- [8] 吕斯骅, 段家祗. 全面改革物理实验教学体系与内容, 培养有坚实基础的创新人才[J]. 大学物理, 2003, 22(1): 34-36.
- [9] 吕斯骅, 段家祗, 张朝晖. 新编基础物理实验[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2013.

- [10] 李智,张朝晖. 以“科研引领实验教学”理念,推动物理实验教学的改革和团队建设[J]. 物理实验, 2018,38(3):24-27.
- [11] 郭九苓,朱守华. 北大物理教育发展报告[J]. 大学物理,2020,39(6):1-13.
- [12] 张朝晖,吕斯骅. 综合物理实验和研究性创新物理实验的建设[J]. 大学物理,2009,28(11):48-50.
- [13] 荀坤. 小班与单元结合的教学形式[J]. 物理实验,2017,37(1):44-45.
- [14] 张朝晖. 多功能拉曼光学显微镜[J]. 物理实验, 2017,37(1):62-63.
- [15] 葛惟昆,张留碗. 建设一流实验物理教学中心的探讨[J]. 实验技术与管理,2012,29(4):3-7.
- [16] 王合英,孙文博,陈宜保,等. 自由实验、乐学创新的近代物理实验教学[J]. 物理实验,2017,37(2):33-37,42.
- [17] 吕景林,乐永康,冀敏,等. 创新驱动,开启新形势下以学生为主体的物理演示实验教学新模式[J]. 物理实验,2018,38(S1):43-46.
- [18] 乐永康,龚新高,苏卫锋,等. 虚实结合的物理实验教学[J]. 物理实验,2017,37(1):39-43.
- [19] 郑虹,孙腊珍,张增明,等. 光学实验创新平台的构建与实践[J]. 大学物理,2016,35(8):48-51,60.
- [20] 孙腊珍,张增明. 以培养学生能力为核心,建立多层次实验课程体系和多元化教学模式[J]. 实验技术与管理,2012,29(4):1-2,16.
- [21] Hong Kong University of Science and Technology. Undergraduate courses [EB/OL]. [2020-07-21]. <https://www.phys.ust.hk/UG-courses>.
- [22] Massachusetts Institute of Technology. Physics courses [EB/OL]. [2020-07-21]. <https://ocw.mit.edu/courses/physics>.
- [23] University of Cambridge. Undergraduate study of physics [EB/OL]. [2020-07-21]. <https://www.phy.cam.ac.uk/students/teaching/current-courses>.
- [24] 高茜,王菲斐,朱江,等. 大学物理实验智能化教学模式的构想与实践[J]. 大学物理,2019,38(4):33-36.

Comparative study on physics experiment teaching in universities

RONG Xin, LI Zhi, ZHANG Zhao-hui

(School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: A comparative study on the physics experiment teaching scales, courses and characteristics of some famous Chinese and foreign universities, including Peking University, Tsinghua University, Fudan University, University of Science and Technology of China, Hong Kong University of Science and Technology, Massachusetts Institute of Technology and Cambridge University, was carried out. Through the analysis of their similarities and differences in physics experiment teaching, a reference for deepening the reform of physics experiment teaching was provided.

Key words: physics experiment; teaching reform; comparative study

[责任编辑:任德香]