

面向科学前沿,反溯基本教学 ——应用型大学固体物理课程的实践与探索

吴平平^{1,2}

(厦门工学院¹材料科学与工程系;²柔性制造装备集成福建省高校重点实验室,福建 厦门 361021)

摘要 固体物理是材料类专业人才培养所需的课程教学中的一门重要的专业课程。为了提高教学效果,帮助学生更好地提升学习、掌握并实践固体物理课程知识的能力,我们对固体物理这门课的教学方式方法进行了一系列的改革与探索,并结合具体的案例提出了一些教学思路。这些方法提升了学生的实践应用能力,也更好地服务于相关产业的研究与发展。希望本文所提出的一些教学方案,能够给相关的应用型大学材料类专业中所设的固体物理课程的教学以一定的借鉴与参考作用。

关键词 应用型大学;固体物理;实践教学

BASIC TEACHING AT FRONTIER OF SCIENCE AND BACKTRACKING BASIC TEACHING —PRACTICE AND EXPLORATION OF SOLID PHYSICS COURSES FOR APPLIED UNIVERSITIES

WU Pingping^{1,2}

(¹ Department of Materials Science and Engineering; ² The Higher Educational Key Laboratory for Flexible Manufacturing Equipment Integration of Fujian Province, Xiamen Institute of Technology, Xiamen, Fujian 361021)

Abstract The course solid physics is an important professional course for the students in the major of materials science and engineering. In order to improve the effect of the teaching effect and help students enhance their abilities to learn, master and practice the knowledge of solid physics, we carried out a series of reforms and exploration on the teaching methods of solid physics, and put forward some teaching conceptions combined with specific cases. These teaching methods not only improved the practical application ability of students, but also better serve the research and development of related industries. It is hoped that the teaching schemes proposed in this paper can provide some reference for the teaching of solid physics courses set up in materials majors in relevant applied universities.

Key words applied universities; solid physics; practical teaching

在刚刚审议的中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划纲要中^[1],强调了在十四五时期坚持创新驱动发展,提升企业技术创新能力,同时要求了激发人才创新活力,加强应用型

人才培养。这说明在未来的发展中,需要进一步深化产业升级转型,尤其是处于行业瓶颈的半导体产业、新材料、新能源产业等^[2]。这就要求大学的本科教育,尤其是应用型本科教育能够培养出

收稿日期: 2021-08-02; 修回日期: 2021-10-14

基金项目: 福建省高校杰出青年科研人才培育计划 2016, 2020 年厦门工学院创新团队项目(编号 KYTD202004)。

作者简介: 吴平平,男,副教授,主要从事材料物理、材料科学方面教学科研工作,研究方向为相场计算方法, pingpingwu-ustb@126.com。

引文格式: 吴平平. 面向科学前沿,反溯基本教学——应用型大学固体物理课程的实践与探索[J]. 物理与工程, 2022, 32(2): 78-83.

Cite this article: WU P P. Basic teaching at frontier of science and backtracking basic teaching—practice and exploration of solid physics courses for applied universities[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(2): 78-83. (in Chinese)

有一定学科知识基础的,又能将所学知识应用到产业发展和产业实践中去的应用型人才。

不同于研究型大学物理类专业,对应用型大学材料类专业来说,固体物理是一门重要的专业课,同时也是半导体材料、光电二极管材料等重要专业方向课的先行课。固体物理课程本身难度较大,许多物理概念新颖而抽象,知识如果理解不到位,实践便成了空谈。这就要求我们对现有的固体物理教学模式进行一定的改革与探索,要求我们能够在形象地讲授固体物理的知识体系和思维方式的基础上,将课堂内容与产业实践有机地结合起来,以满足培养相关产业的应用型人才需求。

1 应用型大学教学的目标与特征

对于应用型大学来说,人才培养的主要目标是培养具有扎实专业基础与一定实践能力的应用型人才^[3],这就要求教师在教学的过程当中,一定要把传授的知识落到实处。根据作者多年在应用型大学的亲身教学经历,应用型大学的学生有如下特点:第一,应用型大学的学生,尤其是理工科的学生,偏科现象较严重,普遍理工类的科目表现较好,而比较偏重文科和语言表达类的科目表现较差。第二,应用型大学的学生数学敏感度和想象力较弱,导致对纯数学类课程的积极性不高。这里可以通过计算机辅助、建模辅助等教学手段,给出学生直观的函数图像,加深学生对数学函数及其衍生意义的理解^[4]。第三,应用型大学的学生,就业倾向和需求较明确,更愿意解决实际实践问题,在课堂学习方面更希望了解与生产实际以及工程实际相关联的部分。所以,在固体物理的教学中,适当地加入和半导体材料与器件相关联的应用案例讲解,可以更好地实现与生产实际相结合^[5]。

对于材料专业而言,固体物理的课程,主要是为后面的半导体材料、光电材料、太阳能电池等应用器件作一个基础的培养。一方面,我们要注意把基础的内容讲清楚,包括基本的物理现象和主要的理论解释,尤其注意在教学过程中培养理性的思维方式。另一方面,我们要将所讲述的内容和具体的实际应用联系起来,让学生能够在学习的过程中感受到所讲述的内容不是浮在空中的虚无缥缈的海市蜃楼,而是和生产生活密切相关的具体实践。要达到这些目标,就需要对现有的教学方法和教学手段进行一系列的改良与设计。

2 应用型教学的设计与实践

2.1 通过博雅教育的哲学史或艺术史启发物理教育

讲授物理学,同时要的是讲授物理学的思维方法。物理学的发展与兴起是和中世纪之后的文艺复兴时代息息相关的。文艺复兴,不仅仅是复兴了古希腊的文化与艺术,同时也复兴了古希腊的哲学与思辨体系,这是自然科学以及物理学开始发展的启蒙。

例如,达·芬奇对绘画的理解以及进步的贡献深刻地体现了物理学的思维方式:在达·芬奇前期的画作中,网格法做了巨大的贡献,但是网格法主要特点是临摹,而不是创造性的绘画。达·芬奇的《维特鲁威人》是最重要的例子。他使用人体身上已有的肢体和部分身躯来做比较,比如头部的厚度与上臂相当;手掌之长等于腹部;大腿则为小腿与脚掌之和等^[6]。这么做的好处是,当我们绘制不同于的人体时,只需按该人体的特点,把相应体块依照对应的体块(如手掌对应腹部)放大或减少即可,无需任何测量,也能画出适当的人体结构。

在这个绘画方式的过程中,包含了三个主要的过程:观察、理解与重建。这个过程与天文观察几乎完全一致:观察星象——理解星体运动背后的数学原理——通过数学方程重建这个模型,并预测未来行星运动。后来的物理规律的发现也基本上都是类似的过程。

同样的物理学的发展也会启发并影响到其它学科。例如17—18世纪的机械发展观,强烈的影响到了医学^[7],在17—18世纪的医学解剖学中,最重要的就是受机械发展观影响的人体结构。

更近一些的例子,Don Lincoln 和 Lindsay Olson 把物理学的内容应用到艺术与视觉艺术之中去,在博雅教育过程中,艺术本身就是深深植根于学术的,它们也都起源于古希腊。他们同时发现,这种合作趋势正在不断扩大,并充满了挑战^[8]。

2.2 补充相关内容、完善课程体系结构

在材料专业的教学过程中,特别需要注意的是固体物理这门课程在材料专业和物理专业的位置稍有不同。一般而言,在传统的物理专业中,固体物理一般放在比较靠后的位置,前面的基础性内容主要要留给普通物理学与四大力学的课程。这些课程是固体物理课程的基础,而固体物理学,主要是面向凝聚态这一重要物理分支的专业性课

程。因为固体物理学是凝聚态学科方向的集大成者,所以在课程安排上会放在较后的位置。然而,不同于物理专业,在材料专业,尤其是偏向应用型的电子材料、半导体、光电材料方向的专业培养方案中,固体物理是不能放在最后面的,因为它是半导体物理学、发光二极管材料与器件、太阳能电池材料与器件等材料专业课程的先行课。图1的课程体系安排上,较详细地比较了两个专业课程设计的异同之处。

另外,在图中我们也可以发现,对于材料专业,尤其是应用型材料专业的课程设计之中,固体物理的先行支撑课是有一定的不足的,尤其是在统计物理与量子力学^[9]两个方面上。而这两门课程必然不能完全按照物理专业的基础课程这样去设计与强化。这就要求我们在课程体系安排中应该单独提出一定的课时安排来弥补这两部分的内容,并安插在相关内容之前,对固体物理的知识学习起到支撑的作用。同时,我们也应该要注意材料学科的特色与要求。例如晶体微观弹性理论部分,在大多数的物理教学中不是显得特别重要,但是对于研究材料的微结构,力学性能等方面就尤为重要,应该可以结合一些材料类的参考书^[10]来进行这部分的知识内容的补充提升。在图2的课程内容体系中可以看到补充的这些章节的主要位置。

2.3 通过思维导图给学生一个课程的全面认识

思维导图,作为一个有力的工具,可以应用于学习阶段的知识整合工作。通过制作思维导图,构建固体物理的知识网络,可以更清晰地了解固

体物理的内容结构^[11]。图2是固体物理的主要内容做成的思维导图结构,同时参考了基泰尔《固体物理导论》的1~7章以及补充的相关内容。通过思维导图的梳理,学生可以很容易分辨出固体物理的整个知识体系主要就包括晶体的性质、声子的性质以及电子的性质三个部分。每一部分根据课堂教授与章节段落再细分为若干小块,进而分解到每一小块的关键知识点,同时点出与这一部分知识相关联的作业与练习题,及时地巩固加深已接收的知识。通过这样一张简单的思维导图,学生在复习的时候可以很快地梳理清楚自己学习课程相关的所有内容,也可以很好地做到主动查漏补缺,这很大程度上提升了学习的效率并加强了复习的成效。

2.4 结合科学前沿,拓展物理教育

固体物理是一门正在发展中的学科。所以,随着全球科学研究的发展,固体物理的内容和内涵也在不断地更新中。在日常的教学中,需要融入学科的前沿问题到课堂的教学和考试之中去^[12,14]这既有利于培养学生的研究兴趣,也能将学生们在日常生活中看到的科技新闻与正在学习的课程内容有机地结合起来。在基本教学过程中,具体而言,引入了以下三种方法来进行科学前沿反溯基本教学:

第一种方法是使用案例教学法,结合近年来的一些科研文献中的相关内容,以案例的形式给学生讲解,从而强化对某些较难概念的理解。例如,近年来,通过基本的方势阱模型,亦即Kronig-Penney (KP) 模型在实际物理体系中的简单应

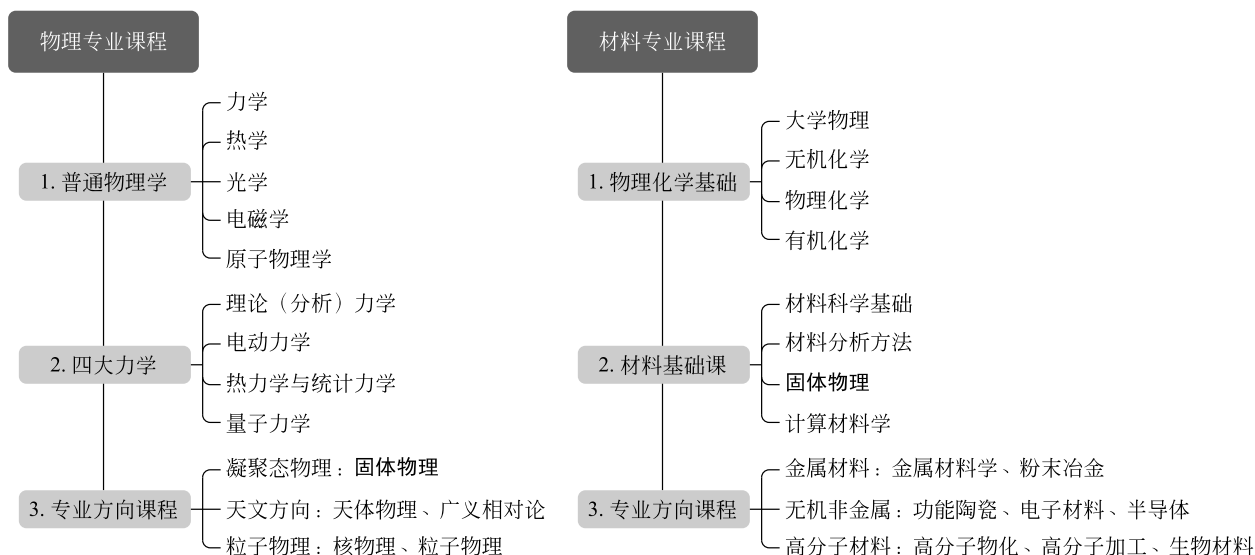


图1 物理专业课程体系与材料专业课程体系对比,其中固体物理课程的位置不同

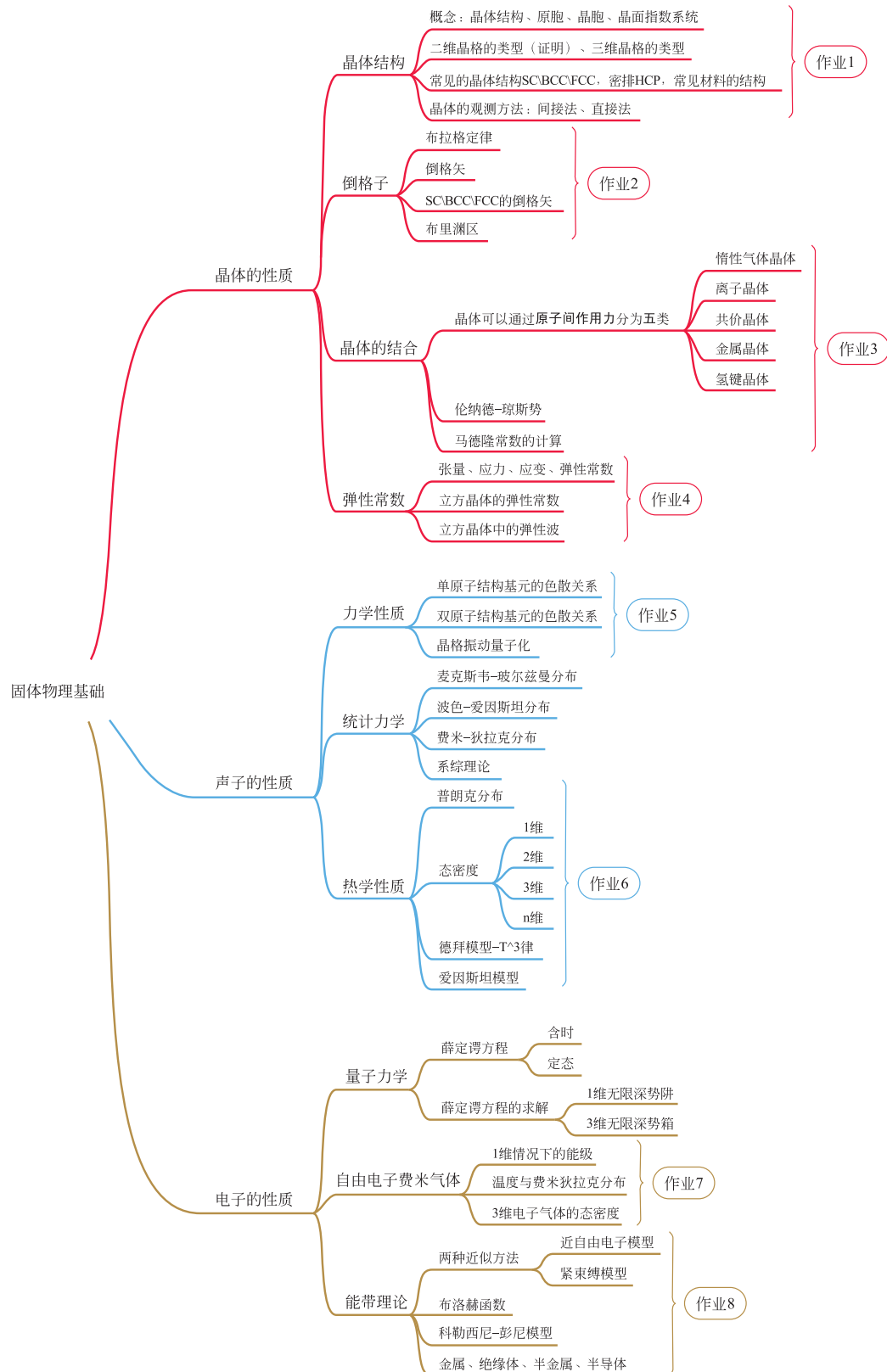


图2 固体物理知识体系的思维导图

用,如石墨烯^[15]、二维材料^[16]等,就可以获得材料的能带信息。在课堂上,通过计算机建模的辅助

手段,使用 Matlab/Octave 程序语言,使用简单的几行代码,可以很直观地将课本上的复杂公式,以

图像的模式展现,如图 3 所示,图(a)展示了 Kronig-Penney 模型波方程的解,图(b)给出了相应的能量分布,学生可以很容易地从图中观察到能带与能隙的存在,并加深对能带物理意义的理解。

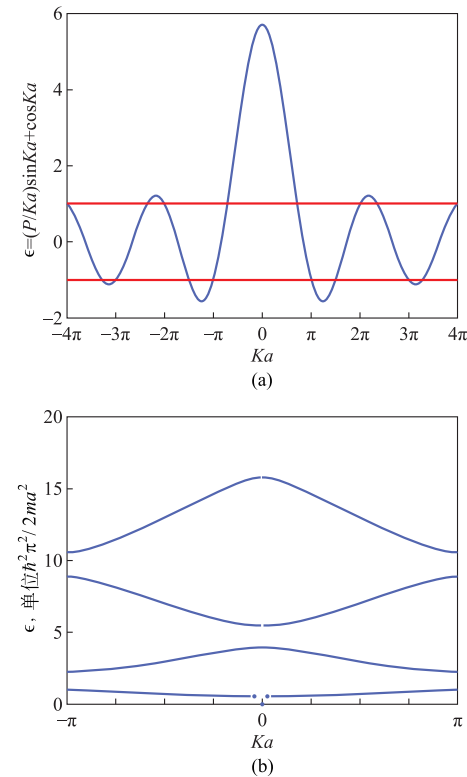


图 3 使用 Matlab/Octave 程序语言实现 Kronig-Penney 模型 (a) 满足波方程的解给出能量的允许值范围应在值为-1~1 的两条灰线之间; (b) 根据(a)得到的约化能区图式,其中给出了线性晶格的 4 个能带

第二种方法是关注近年、甚至当年的诺贝尔奖获奖者,与获奖者的贡献。在教学过程中,我们可以把当年或者近年来的诺贝尔物理学奖或诺贝尔化学奖融入到课堂教学或课堂测试之中。一方面结合科技前沿,类似给同学们进行诺贝尔奖的科普与解释工作,提升公众科学热情与科学兴趣。另一方面也让同学们感受到,自己的所学的课堂内容,是对人类科技进步有很大的作用和意义的,同时也是潜在未来材料科学的发展方向。

表 1 列举了近年来诺贝尔奖获得者中和固体物理相关的内容^[17]。

第三种方法是可以把自己正在开展的研究项目,包括太阳能电池、锂离子电池、介电铁电材料、铁磁性马氏体材料等前沿内容与课堂的教学结合起来,以此更好地激发学生的学习热情和积极性。图 4 展示了正在研究的硬盘类磁存储介质所使

表 1 近年来物理学诺贝尔奖获得者与固体物理相关联的知识点

年度	获得奖项	相关获奖者	与固体物理相关联的知识点
2010	诺贝尔物理学奖	安德烈·海姆和康斯坦丁·诺沃肖洛夫	石墨烯材料
2011	诺贝尔化学奖	丹尼尔·舍特曼	准晶体的结构
2014	诺贝尔物理学奖	赤崎勇、天野浩和美籍日裔科学家中村修二	蓝光 LED, 光电效应
2016	诺贝尔物理学奖	戴维·索利斯、邓肯·霍尔丹和迈克尔·科斯特利茨	拓扑绝缘体的结构与能带
2019	诺贝尔化学奖	古德纳夫	LiCoO ₂ 与 LiFePO ₄ 的晶体结构

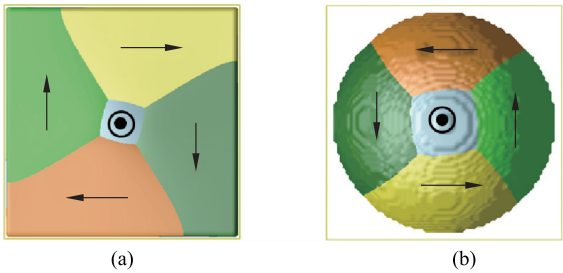


图 4 微磁学计算模拟得到方形纳米岛(a)与圆形纳米岛(b)中的磁畴结构。可以很清晰地看到由于静磁能导致的涡旋态磁畴结构。箭头表示磁畴中磁极化矢量的方向

用的纳米岛结构中的磁畴结构的示意图。通过学习相关的背景知识,结合实际磁存储材料结构的案例,可以更好地理解磁畴的概念、磁畴的形成以及静磁能对磁畴结构的影响。相关的材料知识可以作为补充内容或课程论文,增强学生对前沿课题的关注,并能够驱动学生联系生活实际,探讨进一步增加磁存储容量的方法。

在教学过程中,特别需要注意的是,课程的内容并不是一成不变的,随着全球科技工作者的不断研究与探索,与课程的内容相关的概念、结论都不断地在更新。

例如,判断题:室温超导已经实现。()

这道题在 2020 年之前回答应该是错误的,但是 2020 年 10 月 14 日的 Nature 报道中^[18],发现了一种 C-S-H 化合物在超高压强 267GPa 下实现

了 287K(13.85 摄氏度)的超导临界温度,这种基于金属氢的启发获得的超高压超导体证实了室温超导存在的可能。它的答案就变成了正确的^[18]。

2.5 联合企业工程师,共同培养应用型人才

要真正培养应用型人才,不仅仅要重视实践教学,还要加强应用性的科学研究,从而能够为企业提供指导与咨询。比如材料的力学应用、电磁学应用、热学应用等都和固体物理的基础知识息息相关。通过整合高校、研究机构、企业和行政部门的资源,本专业的专业培养与厦门市火炬园产业研究中心合作,服务于区域的企业产学研发展的同时,还培养了大量的应用型本科人才。

3 小结

经过我们教学团队的教学实践表明,通过上述的一些教学手段教学方式的改革,可以较好地提高学生的学习兴趣,也能让学生把课程内容与产业实践发展结合起来。提升了教学的效果,也为接下来的专业方向性课程和产学研合作实践打下了良好的基础。

学科前沿和产业发展都不断地在变化,随着产业的变化与发展,教学过程中还需要根据学科前沿,将前沿内容回溯到教学实践过程中,并根据实际情况以及地方产业优势,更好地将教学内容与产业需求自然融合,这样才能为地方产业转型,国家创新驱动发展培养更多的应用型人才。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要[EB/OL]. http://www.xinhuanet.com/2021-03/13/c_1127205564.htm.
- [2] 王亮,张师平,王天放,等. 半导体物理实验课程的调研与分析[J]. 物理与工程, 2019, S1: 26-29, 33.
WANG L, ZHANG S, WANG T, et al. Investigation and analysis of semiconductor physics experiment course[J]. Physics and Engineering, 2019, S1: 26-29, 33. (in Chinese)
- [3] 窦允辰. 基于应用型本科人才培养的固体物理教学改革探究[J]. 教育教学论坛, 2019, 35: 97-98.
DOU Y. Research on the reform of solid physics teaching based on the cultivation of applied undergraduates[J]. Education Teaching Forum, 2019, 35: 97-98. (in Chinese)
- [4] 赵丽华,牛海波,王小克,等. 对分课堂在应用型院校基础物理实验中的探索与实践[J]. 物理与工程, 2021, 31: 59-66.
ZHAO L, NIU H, WANG X, et al. Exploration and practice of pad class in basic physical experiment in applied universities[J]. Physics and Engineering, 2021, 31: 59-66. (in Chinese)
- [5] 张福勇. 澳大利亚人才培养模式对我国人才培养的启示——以迪肯大学与东莞理工学院为例[J]. 大学教育, 2020, 5: 156-158.
- ZHANG F. The enlightenment of Australia's talent training model to China's talent training: Take Deakin University and Dongguan Institute of Technology as an example[J]. University Education, 2020, 5: 156-158. (in Chinese)
- [6] 丁宁. 西方美术史十五讲[M]. 2 版. 北京: 北京大学出版社, 2016: 140-150.
- [7] 罗伊·波特著,张大庆. 剑桥医学史[M]. 吉林: 吉林人民出版社, 2000: 58-60.
- [8] LINCOLN D, OLSON L. The Beauty of Physics[J]. Phys. Teach. 2018, 56: 344-349.
- [9] 熊力. 怎样在没有开设量子力学的材料系上好固体物理课[J]. 物理通报, 2016, 35(2): 5-7.
XIONG L. How to teach solid state physics without the foundation of quantum mechanics in the department of material science[J]. Physics Bulletin, 2016, 35(2): 5-7. (in Chinese)
- [10] NYE J F. Physical properties of crystals: Their representation by tensors and matrices[M]. Oxford University Press, USA, 1985: 82-109.
- [11] 李淑凤,李雪春,郑殊,等. 学科思维导图与物理知识网络的构建[J]. 物理与工程, 2018, 28(z1): 8-15.
LI S, LI X, ZHENG S, et al. Subject mind map and the construction of physics knowledge network[J]. Physics and Engineering, 2018, 28(z1): 8-15. (in Chinese)
- [12] 张慧,姚琴芬. 基于知识可视化的物理实验课程导学教学设计研究[J]. 物理与工程, 2020, 30(2): 82-93.
ZHANG H, YAO Q. Research on instructional design of physics experiment teaching guide based on knowledge visualization[J]. Physics and Engineering, 2020, 30(2): 82-93. (in Chinese)
- [13] 杭骏,凌惠琴,顾佳俊. 材料学专业固体物理教学中的抽象与形象思维转化[J]. 大学物理, 2018, 37(6): 9-11.
HANG T, LING H, GU J. Abstract to image thinking transformation of solid state physics teaching in materials science specialty[J]. College Physics, 2018, 37(6): 9-11. (in Chinese)
- [14] 冯玉玲,楚学影,李霜,等. 理工院校固体物理课程教学方式的改革和效果[J]. 教育现代化, 2019, 53: 40-42.
FENG Y, CHU X, LI S, et al. Reform and effect of teaching methods for solid state physics courses in polytechnic colleges and universities[J]. Education Modernization, 2019, 53: 40-42. (in Chinese)
- [15] BARBIER M, VASILOPOULOS P, PEETERS F. Kronig-Penney model on bilayer graphene: Spectrum and transmission periodic in the strength of the barriers[J]. Physical Review B, 2010, 82, 235408.
- [16] MARSIGLIO F, PAVELICH R. The tight-binding formulation of the Kronig-Penney model[J]. Scientific Reports, 2017, 7: 17041.
- [17] The official website of the Nobel Prize. [EB/OL] <https://www.nobelprize.org/>.
- [18] SNIDER E, DASENBROCK-GAMMON N, MCBRIDE R, et al. Room-temperature superconductivity in a carbonaceous sulfur hydride[J]. Nature, 2020, 586: 373-377.