

大学物理中“科研教学协同教育模式”之探索

赵 端 李文华 盛 霞

(广东工业大学物理与光电工程学院, 广东 广州 510006)

摘 要 科教协同育人是新时代高校育人机制的一个重要载体。本文以大学物理中“牛顿环”为例,探讨了科研与教学的协同促进作用。从牛顿环基础理论出发,分析了科研中制备的平凸透镜型钙钛矿薄膜的微结构,讨论了基础知识在科研中的重要作用。同时,将科研结果应用到教学中,带领学生走进实验室观察钙钛矿薄膜的牛顿环现象,利用理论知识分析、计算钙钛矿薄膜的结构和曲率半径,从而激发学生的学习兴趣、提高学生对于基础理论知识学习的重视,培养学生的科研素养,进而提高教学质量。通过“牛顿环”这一具体实例表明,教学为科研提供了理论基础,科研反哺教学,两者之间密不可分、相互促进。本文为落实完善科教协同育人机制、促进创新型人才培养提供了一个参考。

关键词 大学物理; 牛顿环; 科研; 教学; 协同

EXPLORATION OF SYNERGY EDUCATION BETWEEN SCIENTIFIC RESEARCH AND TEACHING IN COLLEGE PHYSICS

ZHAO Duan LI Wenhua SHENG Xia

(School of Physics and Optoelectronic Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou, Guangdong 510006)

Abstract Synergy education between scientific research and teaching is an important carrier of the education mechanism in contemporary universities. Taking ‘Newton’s ring’ in College Physics as an example, this paper explores the synergistic role of scientific research and teaching. Starting from Newton’s ring theory, we analyzed the microstructure of planoconvex lens-shaped perovskite films synthesized in scientific research, and discussed the crucial role of fundamental theoretical knowledge in research. Moreover, the research findings were applied to teaching, by guiding students into the lab to observe the Newton’s rings on perovskite thin films, and using theoretical knowledge to analyze the structure and calculate the curvature radius of perovskite thin films. This approach not only stimulates students’ interest in learning but also enhances their emphasis on basic theoretical knowledge, cultivates their scientific research literacy, and thereby improves the quality of teaching. Through specific example of ‘Newton’s ring’, it is demonstrated that teaching provides the theoretical foundation for scientific research, while scientific research back feeds teaching. The two are inseparable and mutually reinforcing. This paper provides a reference for implementing and improving the

收稿日期: 2024-11-23

基金项目: 国家自然科学基金(11804025), 广东工业大学青年百人项目(220413461)。

通信作者: 赵端, zhaoduan2004@126.com。

引文格式: 赵端, 李文华, 盛霞. 大学物理中“科研教学协同教育模式”之探索[J]. 物理与工程, 2025, 35(4): 43-47.

Cite this article: ZHAO D, LI W H, SHENG X. Exploration of synergy education between scientific research and teaching in college physics[J]. Physics and Engineering, 2025, 35(4): 43-47. (in Chinese)

synergy education between scientific research and teaching, and promoting the cultivation of innovative talents.

Key words College Physics; Newton's ring; scientific research; teaching; synergy

2019年,教育部发布《关于深化本科教育教学改革全面提高人才培养质量的意见》,其中提到,推动科研反哺教学,强化科研育人功能,推动高校及时把最新科研成果转化为教学内容,激发学生专业学习兴趣。2024年6月24日,习近平总书记在全国科技大会、国家科学技术奖励大会、两院院士大会上,从党和国家事业发展的全局高度出发,深刻阐述了“完善科教协同育人机制”的重要性,这为做好新时代创新型人才的培养工作指明了前进方向、提供了根本遵循。

目前,高校是国内承担人才培养和科研责任的主要机构,是实现科教协同育人机制的主要载体。在高校中,教师是承担科教协同育人任务的主要角色。教师如果能在教学过程中将基础理论知识与科技发展前沿有效结合,将不仅能激发学生学习的内在动力和积极性,提高学生对于理论知识学习的重视,还能培养学生的科研素养和综合能力,进而有利于完善科教协同育人机制、促进创新型人才培养。

大学物理是理工科大学生的基础必修课,是一门经典且重要的大学课程。作为一门基础理论课程,其知识体系较广,包含有大量理论知识和公式推导,内容较为抽象,部分学生觉得枯燥,学习没有积极性。如何在教学过程中调动起学生的积极性,让学生意识到基础理论知识的重要性,并充分理解理论知识在科研前沿中的应用,已成为大学物理教学过程中需要着重思考的问题。

作者认为,在大学物理教学过程中,如果能结合具体物理问题的理论分析,把科研前沿内容引入到教学过程中,激发学生的学习兴趣,加深他们对于基础理论知识学习重要性的认识,促进他们对科研前沿的了解,提升解决问题的能力,将有效提高教学质量^[1]。

本文以大学物理中“牛顿环”为例,浅谈科研与教学的协同促进作用。

1 以“牛顿环”的教学为例:科研-教学协同教育模式

“牛顿环”是光学中薄膜干涉的一种经典光学

现象,是一种常用的光学检验和测量方法,广泛应用于光学仪器、精密测量、光学制造等领域。然而,牛顿环现象往往在科研或工业生产中才易观察到。学生在课堂学习过程中,对牛顿环的理解仅限于理论知识,没有直观、具体的体会。在教学过程中,若能有效引入相关的科研问题,引导学生主动思考并利用理论知识解决问题,不仅能提升学生对理论知识的掌握程度,还能促进学生科研素养的培养。

1.1 “牛顿环”基础理论

“牛顿环”是大学物理中薄膜干涉(或分振幅干涉)的一个重要例子,属于等厚干涉的一种情况^[2-4]。把一个曲率半径 R 很大的平凸透镜放在一个光学平面玻璃上就构成牛顿环装置,如图1(a)、(b)所示。若牛顿环装置处于空气环境中,平凸透镜与平面玻璃之间就形成一个上表面为曲率半径很大的凸面、下表面为平面的空气薄膜。若以单色平行光垂直照射,在空气薄膜上、下表面反射的光在空气薄膜的上表面相遇产生干涉,在空气薄膜厚度相同的位置形成同级次的干涉条纹,干涉条纹为一系列明暗相间的同心圆环即牛顿环,如图1(c)所示。

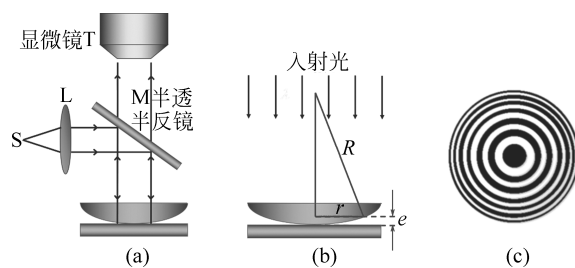


图1 牛顿环装置及牛顿环示意图

(a) 实验装置示意图; (b) 牛顿环装置示意图, R 为平凸透镜曲率半径, r 为任一干涉条纹半径, e 为干涉条纹对应的空气薄膜厚度; (c) 牛顿环示意图

在空气薄膜厚度为 e 处,上、下表面反射光的相干条件为

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k = 1, 2, \dots, \text{明纹} \\ (2k + 1) \frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, \dots, \text{暗纹} \end{cases} \quad (1)$$

其中, δ 为空气薄膜上、下表面反射光的光程差, λ 为入射光波长, k 为条纹级次。

1.2 “牛顿环”在科研工作中的应用

作者的科研方向之一是半导体纳米激光器, 团队主要采用化学气相沉积 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 方法制备半导体微纳结构材料。通过 CVD 方法, 能在硅衬底上生长得到一种特殊形貌的全无机铅基卤素钙钛矿微纳结构。材料制备完成后, 首先采用光学显微镜对其进行形貌表征, 采用白光入射, 其形貌如图 2 所示, 可见这种微纳结构呈现一系列彩色同心圆环。通过调控生长参数, 能获得不同尺寸及圆环圈数的钙钛矿微纳结构。

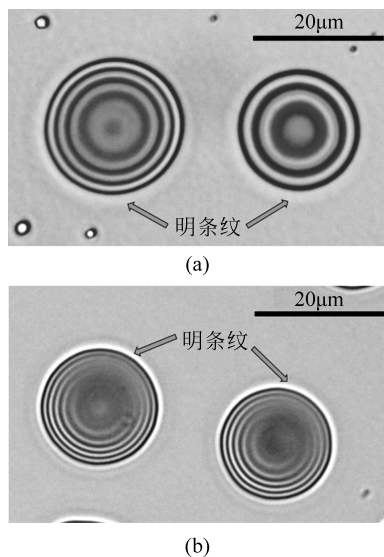


图2 钙钛矿微纳结构的形貌图

(a)、(b) 采用不同 CVD 生长参数制备的全无机铅基卤素钙钛矿微纳结构的光学显微镜图

在光学显微镜下观察到的这种样品形貌极大地激发了我们的研究兴趣。结合大学物理薄膜干涉这部分的内容, 推测显微镜下的这种彩色同心圆环是由于等厚干涉形成的牛顿环, 这种钙钛矿微纳结构应具有平凸透镜型结构, 圆心处厚度大、越靠近边缘厚度越小。由于采用白光入射, 所以观察到的并不是单色光入射时的明暗相间的干涉条纹, 而是不同波长的入射光各自形成明暗相间条纹后重叠形成的彩色条纹。这种平凸透镜型的钙钛矿微纳结构究竟是凸面接触衬底(类似牛顿环装置)还是平面接触衬底? 根据材料生长机制, 平凸透镜型结构凸面接触衬底的可能性极小。为

了进一步验证, 采用原子力显微镜 (Atomic Force Microscope, AFM) 进行表征。图 3 为某个代表性的钙钛矿微纳结构的 AFM 三维图, 图中越亮的区域高度越高、越暗的区域高度越低。可见, 这种钙钛矿微纳结构中心厚、边缘薄, 的确呈平凸透镜型结构, 且其平面与衬底接触。经聚焦离子束 (Focused Ion Beam, FIB) 刻蚀技术以及扫描电子显微镜 (Scanning Electron Microscope, SEM) 表征, 证实了其内部为实心, 这里不做具体展示。其他实验室也曾报道过二维石墨烯气泡型空心牛顿环结构^[5]。

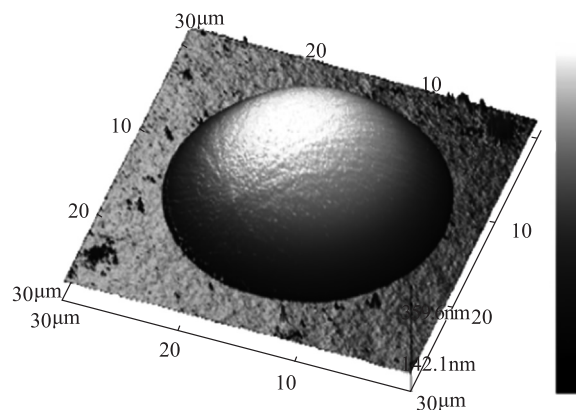


图3 某个钙钛矿微纳结构的 AFM 三维图

这种平凸透镜型钙钛矿微纳结构, 由于其表面光滑、曲率半径大、厚度小(中心厚度在 90~1000nm 之间), 极易产生等厚干涉形成牛顿环。图 4 是平凸透镜型钙钛矿微纳结构的剖面示意图。与图 1 所示的牛顿环装置不同的是, 图 1 中光的干涉发生在透镜和玻璃之间的空气薄膜上表面; 而图 4 中, 入射光在平凸透镜型钙钛矿微纳结

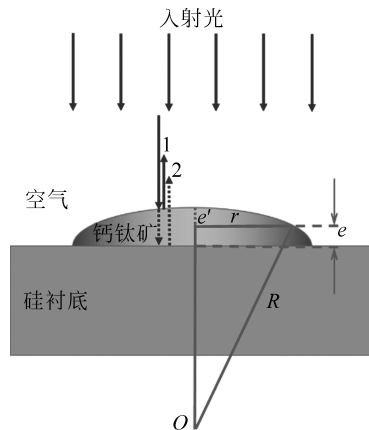


图4 CVD 方法制备的平凸透镜型钙钛矿微纳结构的剖面示意图

构(以下亦称“钙钛矿薄膜”)的上、下表面反射形成反射光 1、2,两反射光在钙钛矿薄膜的上表面(凸面)相遇产生干涉,在厚度 e 相同的钙钛矿薄膜处,对应同一条干涉条纹,形成等厚干涉牛顿环。由于空气的折射率约为 1,钙钛矿薄膜在可见光范围的折射率为 2 左右,硅衬底在可见光范围的折射率为 3.4 左右;因此,反射光 1、2 在钙钛矿薄膜的上、下表面反射时均存在半波损失,光程差计算可以不计入半波损失。在钙钛矿薄膜厚度为 e 处,上、下表面反射光的相干条件为

$$\delta = 2ne = \begin{cases} k\lambda & k = 0, 1, 2, \dots, \text{明纹} \\ (2k + 1) \frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, \dots, \text{暗纹} \end{cases} \quad (2)$$

其中, δ 为钙钛矿薄膜上、下表面反射光的光程差, n 为钙钛矿薄膜的折射率, λ 为入射光波长, k 为条纹级次。在钙钛矿薄膜厚度 $e=0$ 的边缘处,对应着 0 级明条纹,即图 2 中所示最外层白色明纹,这是由于各个波长的入射光在此处各自形成明条纹后重叠所致,理论与实验结果一致。

结合 AFM 表征方法,可以得到任意一条干涉条纹中心位置对应的薄膜厚度 e 和半径 r ,进而可以计算出该条纹处对应的曲率半径 R ,公式如下

$$R^2 = r^2 + (R - e')^2 \quad (3)$$

$$e' = h - e \quad (4)$$

结合公式(3)、(4),可得

$$R = \frac{r^2 + (h - e)^2}{2(h - e)} \quad (5)$$

其中, r 为干涉条纹半径, h 为钙钛矿薄膜中心最高点厚度, e 为条纹处对应的钙钛矿薄膜厚度, e' 为钙钛矿薄膜中心最高点厚度 h 与条纹处厚度 e 之差,如图 4 所示。

图 5(a) 为单个钙钛矿薄膜的光学显微图,图 5(b) 为由 AFM 测得的该钙钛矿薄膜的过直径薄膜厚度分布图,由图 5(b) 可知其中心最高点厚度 $h=295\text{nm}$ 。结合图 5(a) 和 (b),可以得到任意一个条纹对应的半径 r 和薄膜厚度 e ,代入公式(5),即可计算出该干涉条纹处对应的曲率半径 R 。在图 5(a) 中,选取 5 条干涉条纹,每条干涉条纹对应于图 5(b) 中曲线上不同的点,从左至右每个点的横、纵坐标分别对应每条干涉条纹的半径 r 和薄膜厚度 e ,其值分别为: $r_1=4.3\mu\text{m}$ 、 $e_1=253.2\text{nm}$,

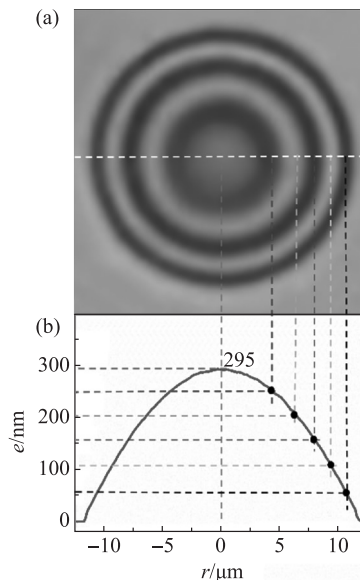


图 5 钙钛矿薄膜的厚度及半径分布图

(a) 单个钙钛矿薄膜(即平凸透镜型钙钛矿微纳结构)的光学显微图; (b) 由 AFM 测得的过直径薄膜厚度分布图(对应图(a)中白色虚线所示位置的薄膜厚度分布)

$r_2=6.6\mu\text{m}$ 、 $e_2=198.8\text{nm}$ 、 $r_3=8.0\mu\text{m}$ 、 $e_3=157.1\text{nm}$ 、 $r_4=9.4\mu\text{m}$ 、 $e_4=105.6\text{nm}$ 、 $r_5=10.7\mu\text{m}$ 、 $e_5=53.9\text{nm}$,代入公式(5)计算得到各干涉条纹处对应的曲率半径分别为: $R_1=221.2\mu\text{m}$ 、 $R_2=226.5\mu\text{m}$ 、 $R_3=232.1\mu\text{m}$ 、 $R_4=233.4\mu\text{m}$ 、 $R_5=237.6\mu\text{m}$ 。曲率半径的算术平均值为 $\bar{R}=230.2\mu\text{m}$,算数平均值的标准偏差为

$$S(\bar{R}) = \sqrt{\frac{1}{5 \times (5 - 1)} \sum_{i=1}^5 (R_i - \bar{R})^2} = 2.9\mu\text{m}$$

该钙钛矿薄膜的曲率半径可表示为 $R = \bar{R} \pm S(\bar{R}) = 230.2 \pm 2.9\mu\text{m}$ 。

以上是大学物理中“牛顿环”部分的理论知识在科研中的具体应用。全无机铅基卤素钙钛矿是半导体材料,由于其优异的光学性能,可以用于制备半导体纳米激光器。具有规则形貌的全无机铅基卤素钙钛矿微纳结构既是增益介质又是光学微腔。平凸透镜型钙钛矿微纳结构,由于其渐变的薄膜厚度,构成腔长可调谐的谐振腔,这种微腔结构有利于激子-光子强耦合形成激子极化激元,进而可用此微纳材料制备室温低阈值微纳激光器,并将其应用于光子芯片中,这是目前的研究热点之一。

1.3 科研与教学的协同促进

大学物理教学过程中“牛顿环”部分的理论知识为科研工作提供了理论基础,大大提高了科研工作的效率,加快了对所研究材料的认识。同时,

作者把这部分科研工作引入到了教学工作中。

在教学过程中,主要采用以下方式进行科研-教学融合:(1)在教室授课过程中,讲授完牛顿环的理论知识后,向学生展示了这种平凸透镜型钙钛矿微纳结构的光学显微图,他们被这种漂亮、奇特的彩色牛顿环所吸引,大大提高了课堂学习注意力,使枯燥的理论知识学习变得生动起来。(2)为了提高学生的科研素养和综合能力,组织他们分组在实验室的光学显微镜下观察在硅衬底上生长得到的这种微纳结构材料,让学生更直观地在显微镜下观察微纳结构材料的牛顿环;实验室观察活动结束后,在接下来的教室授课过程中,采用本文 1.2 节部分的思路,引导学生自主分析、预测这种材料的形貌特征,并结合由实验室测得的这种微纳结构的 AFM 数据结果(如图 3 及图 5(b)),给学生布置以下作业“计算不同尺寸平凸透镜型钙钛矿微纳结构的曲率半径”,该部分作业学生在课下完成并以平时作业的形式提交。这部分的实践对于材料、物理、光电等专业的学生而言是非常有效的科研训练和理论知识检验的机会。通过这部分的训练,学生不仅掌握了“牛顿环”部分的基本理论,达到了重视基础理论知识学习的效果,还了解了对微观尺度材料进行形貌表征的基本方法等,这对于科研能力和综合素质的提高具有重要作用。(3)向学生简要介绍了全无机铅基卤素钙钛矿和平凸透镜型微纳结构在纳米激光器、光子芯片中的应用前景,这对于学生综合素质的培养也是非常重要的。

我们的观察发现,科研和教学相结合的协同教育模式能有效提升学生的学习积极性和自主性。在教学过程中趁热打铁,让学生自己成为解决问题的主人,不仅能加深他们对于课堂知识的理解和掌握,还能提升解决科研问题的能力和成就感。这种教育模式使学生能更加深刻地意识到基础理论知识学习的重要性,并能在潜移默化中培养学生的科研素养、了解科研前沿;这不仅能有效地提升大学物理的教学质量,还能全面提升学生的综合素质,为创新型人才培养打下基础。

本文谨以“牛顿环”为例,探讨了科研与教学相结合的协同教育模式对于大学物理教学以及学生培养的重要性。在大学物理教学过程中,任课

教师可以根据自己的研究领域结合社会发展需求、未来科技发展方向以及学生的专业等,适当引入科研内容,实现科研反哺教学、科研-教学协同育人。这种模式对于深化高等教育改革,落实“完善科教协同育人机制”,促进创新型人才培养具有重要作用。

2 结语

将科研和教学有机结合,利用大学物理“牛顿环”部分的理论知识,能加快科研工作中关于半导体材料微纳结构的分析。同时,在大学物理“牛顿环”的理论教学过程中,将相关的科研问题引入进来,引导学生运用理论知识去主动思考、解决实际的科研问题,不仅能激发学生的学习兴趣、促进学生对于基础理论知识的理解和掌握,还能提升学生的科研素养和综合能力。将传统的理论教学模式转变为科研-教学相结合的协同教育模式,将理论与实际相结合解决科研问题,是深化高等教育改革、落实完善科教协同育人机制、促进创新型人才培养的重要途径。

参 考 文 献

- [1] 贾敏. 论物理科研对大学物理教学的作用[J]. 科技创新导报, 2013(10): 191-192.
JIA M. The role of physics research in College Physics teaching[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2013(10): 191-192. (in Chinese)
- [2] 赵凯华. 新概念物理教程 光学[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2021: 90.
ZHAO K H. New concept physics-Optics[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2021: 90. (in Chinese)
- [3] 张三慧. 大学物理学[M]. 4 版. 北京: 清华大学出版社, 2022: 237-238.
ZHANG S H. College Physics[M]. 4th ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2022: 237-238. (in Chinese)
- [4] 范仰才. 大学物理学(上)[M]. 3 版. 北京: 北京大学出版社, 2020: 198-199.
FAN Y C. College Physics (I)[M]. 3rd ed. Beijing: Peking University Press, 2020: 198-199. (in Chinese)
- [5] HUANG Y, WANG X, ZHANG X, et al. Raman spectral band oscillations in large graphene bubbles[J]. Physical Review Letters, 2018, 120(18): 186104.