

面向实验教学的新诺奖实验的探索

邓冬梅 王晓峰 徐婷婷 王才林 曾孝奇

(南方科技大学物理系, 广东 深圳 518055)

摘要 目前,高校的大学物理教学实验中所涉及的诺贝尔物理学奖实验多为 20 世纪的经典物理实验,它们推动着物理学的进步与发展,具有重要的教育价值和实践意义。然而,随着时代的飞速发展、科技的不断进步,大学生仅注重于百年前诺奖经典实验已无法适应时代发展的需求。因此,将 21 世纪新诺奖实验融入大学物理实验教学,深挖新诺奖的教育价值,不仅可以使学生了解科学发展前沿有重大意义的研究成果,了解现代化技术支持下的物理实验手段、实验方法,更有助于学生提升其核心素养,提高创新实践能力。本文以南方科技大学实验教学为例,探索将 21 世纪新诺奖实验融入大学物理实验教学的实施路径。

关键词 诺贝尔奖;物理实验;教学改革

EXPLORATION OF NEW NOBEL PRIZE EXPERIMENTS FOR EXPERIMENTAL TEACHING

DENG Dongmei WANG Xiaofeng XU Tingting WANG Cailin ZENG Xiaoqi

(Department of Physics, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, Guangdong 518055)

Abstract At present, most of the Nobel Prize experiments involved in college physics teaching experiments are classic physical experiments in the 20th century. They have driven the progress and development of physics and have important educational value and practical significance. However, with the rapid development of the times and the continuous advancement of technology, college students focusing solely on the classic Nobel Prize experiments from a hundred years ago can no longer meet the needs of the times. Therefore, integrating the 21st century New Nobel Prize experiments into college physics experiment teaching, and exploring its educational value will not only enable students to understand the cutting-edge and significant research results of scientific development, but also understand the physical experimental methods supported by modern technology. Moreover, it is more helpful to improving students' core literacy and enhancing innovative practical abilities. This paper takes the experimental teaching of Southern University of Science and Technology as an example to explore the implementation path of integrating the new Nobel Prize experiments of the 21st century into the teaching of university physics experiments.

Key words Nobel Prize; physics experiment; teaching reform

收稿日期: 2023-11-13

基金项目: 广东省本科高校教学质量与教学改革工程建设项目(SJZLGC202207);教育部产学合作协同育人项目(230806071151217)。

通信作者: 邓冬梅,南方科技大学物理系高级实验师, dengdm@sustech.edu.cn。

引文格式: 邓冬梅,王晓峰,徐婷婷,等. 面向实验教学的新诺奖实验的探索[J]. 物理与工程, 2024, 34(5): 82-86.

Cite this article: DENG D M, WANG X F, XU T T, et al. Exploration of new Nobel Prize experiments for experimental teaching[J].

Physics and Engineering, 2024, 34(5): 82-86. (in Chinese)

建立于 20 世纪初的诺贝尔奖,是根据瑞典化学家阿尔弗雷德·诺贝尔的遗嘱所设立的奖项。在其百年历史中,奖励了许多在科学发展方面做出原始性和突破性贡献的科学家。其成果加速了人类社会前进的步伐,成为人类文明进步的推动力量。将诺奖实验融入大学物理实验教学,有利于培养学生探索性的思维方式、求是的实验态度以及坚忍不拔的科研品质。

目前大学物理实验教学所包含的诺贝尔物理学奖的实验项目(如表 1 所示),多数已经距今约百年之久。大学物理实验教学不仅需要经典的、传统的、基础的物理实验技能与手段培养,更应培养符合时代发展需求的、紧跟科研前沿的、具有原始创新能力的新时代大学生。因此,将 21 世纪新诺奖实验引入大学物理实验教学,让学生了解现代化技术支持下的物理实验手段、实验方法,是时代发展的需要,也是物理实验教学与时俱进的必然趋势。

表 1 大学物理实验所涉及的诺贝尔物理学奖

实验名称	获诺奖年份	获奖人
塞曼效应	1902	亨德里克·安东·洛伦兹 彼得·塞曼
迈克尔逊干涉仪	1907	阿尔伯特·迈克尔逊
高温超导材料的制备及导电性能和转变温度的测量	1913	海克·卡末林·昂内斯
光电效应法测普朗克常量	1921	阿尔伯特·爱因斯坦
氢氦光谱	1922	尼尔斯·玻尔
用密立根油滴实验测电子电荷	1923	罗伯特·安德鲁·密立根
弗兰克-赫兹实验	1925	詹姆斯·弗兰克 古斯塔夫·路德维希·赫兹

1 新诺奖实验引入实验教学的挑战

百年经典诺贝尔物理学奖成果的教育价值已经得到实践的认可。21 世纪新诺奖实验应用于教学中的具体方式和方法还有待进一步探索。主

要需解决的关键问题有:(1)哪些新诺奖实验适合引入到大学物理实验教学中?(2)如何将尖端诺奖实验“转型”成适合本科生教学型实验?需要向学生展现哪些核心物理概念?(3)如何体现新诺奖实验的育人价值?

2 从高端的诺奖成果到“接地气”的物理实验

表 2 为 21 世纪诺奖相关成果列表。其中包括宇宙学、拓扑理论、量子信息、核物理以及凝聚态等多个领域。考虑到教学实验需要学生亲身参与实验的设计与探测,凝聚态领域的诺奖实验更容易在实验室进行演示、相关的实验仪器和设备易于购置,因此,我校将以下凝聚态领域的多个诺奖实验引入实验课程(如表 3 所示)。此外,我们针对未被实验厂商开发的诺奖实验,根据我校自身实验资源、学生基础等,自主设计和开发适合教学的实验内容,并自行组建实验测量系统。

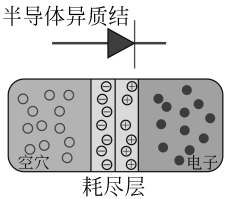
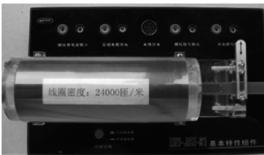
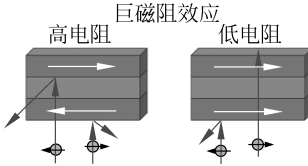
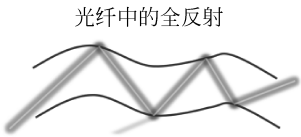
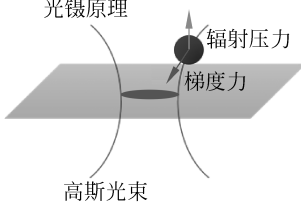
2.1 2014 年诺奖相关 LED 实验

20 世纪的诺奖实验注重于重要实验现象的发现,使我们对分子原子世界有了更深的了解。例如氢氦光谱实验,通过原子光谱让我们了解到同位素效应。因此,实验上可以通过重复诺奖实验向学生介绍实验原理、方法与内在物理机理。然而,21 世纪的凝聚态诺奖实验更加偏重于实验对人类科技进步的重要作用。例如巨磁电阻效应的发现促进了当代磁存储技术的发展;蓝光 LED 的发明彻底改变了人类的照明方式等。每个诺奖的背后都包含很多需要解决的物理科学与工程技术的难题。以 2014 年诺奖蓝光 LED 为例^[1],它被授予了三位科学家赤崎勇、天野浩和中村修二。以奖励三位获奖者在发明新型高效、节能、环保的蓝光 LED 方面做出巨大贡献。然而在整个蓝光 LED 的发展历程中,遇到了许多问题和挑战,科学家也不断地突破和创新(图 1 所示)^[2]。例如生长蓝光 LED 的材料选取问题。哪种材料适合做蓝光 LED? 如何在大失配衬底上生长高质量氮化镓材料? 如何获得高质量 p 型 GaN? 如何处理材料生长过程副反应太多,影响材料质量的问题? 以及如何提高 LED 的发光效率? 通过这些重重阻碍的发展历程,教育学生对科学研究要不畏困难,积极面对挑战,不断突破创新。

表 2 21 世纪诺奖相关成果列表

年份	相关成果	年份	相关成果	年份	相关成果
2000	半导体异质结	2008	亚原子物理学中对称性破缺	2016	拓扑相变和拓扑相
2001	碱金属原子稀薄气体的玻色-爱因斯坦凝聚	2009	光纤和电荷耦合器件	2017	引力波探测
2002	探测宇宙中微子	2010	石墨烯二维材料	2018	激光物理领域的突破发明
2003	超导体和超流体领域	2011	发现宇宙加速膨胀	2019	宇宙相关研究和发现太阳系外行星
2004	量子场中夸克渐进自由	2012	量子世界的粒子控制	2020	宇宙黑洞
2005	光学相干的量子理论、激光精密光谱学	2013	希格斯玻色子	2021	对地球气候的物理建模、量化变化和可靠地预测全球变暖
2006	宇宙微波背景辐射	2014	发明蓝光 LED	2022	纠缠光子实验、验证违反贝尔不等式和开创量子信息科学
2007	巨磁电阻效应	2015	发现中微子振荡	2023	将产生阿秒光脉冲的实验方法用于研究物质的电子动力学

表 3 我校部分 21 世纪诺奖实验

综合物理实验	
太阳能电池的特性测量 (基于 2000 年诺奖——半导体异质结) 	巨磁电阻效应及应用实验 (基于 2007 年诺奖——巨磁电阻效应) 
现代物理技术实验	研究型实验
光纤干涉仪的研究及应用 (基于 2009 年诺奖——光纤和电荷耦合器件) 	光的力学效应 (基于 2018 年诺奖——激光物理领域的突破发明) 

为了让学生深刻了解蓝光 LED 的原理,开展 LED 的生长与特性测量的实验是最合适的,然而生长 LED 的设备(MOCVD)价值千万,无法在本科教学中开展。因此,我们的实验设计将针对 LED 发展过程中遇到的一些关键问题进行探讨。在《综合物理实验》课程中,我们设计的《发光二极管的发光机理与特性研究》实验^[3],除向学生介绍

蓝光 LED 的内部结构和发光机理,还探讨了 LED 量子阱(GaN/InGaN/GaN)中的量子限制斯塔克效应,如图 2 所示。所谓的量子限制斯塔克效应指的是在极性材料上生长的量子阱结构里,其界面处会形成极化电荷,导致半导体能带发生弯曲,使得阱中电子-空穴波函数空间交叠变小,进而影响复合概率。其在 LED 发光上的表现为发生红

1993年高亮度蓝光
LED诞生!

1992年中村修二制备
出InGaN, 并提出GaN/
InGaN结构。这个结构
后来发展为量子阱结构

1991年中村修二用快
速热退火法制作出高质
量p-GaN, 这种方法沿
用至今

1990年中村修二开发
出双束流MOCVD系统,
为LED的生长奠定基础

1989年赤崎勇利用低
能电子束辐照方式成功
获得p型GaN

1985年天野浩采用低
温AlN插入层成长出
高质量GaN

1979年赤崎勇开始用
MOCVD在蓝宝石衬底
上生长GaN

图1 蓝光LED发展的时间线

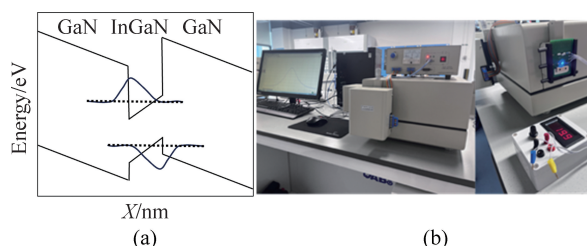


图2 LED中量子阱
(a) 示意图; (b) 实验仪器

移和发光效率变低的现象。我们设计的实验内容是,针对不同In组分的LED,变化其发光时的注入电流,观察电致发光时光峰峰位的偏移,来直观地观察量子限制斯塔克效应。这是LED发展过程中遇到过的重要科学问题,也是中村修二获诺奖后仍在继续研究的课题之一。我们将诺奖实验中基本的物理问题以及相关的重要物理概念相融合,形成了面向本科生的大学物理实验。这样不仅有助于把握科研的时代脉搏,也能理解制约其发展的重要科学问题。此外,在探究型课题中,学生还需要根据已学习的LED相关知识,进行创新型应用实验,如:利用LED制作显示面板、白光光源等,深入发掘LED的应用价值,让高端的诺奖发明为“我”所用。

2.2 2010年诺奖相关二维材料实验

从21世纪的新诺奖实验可以看到,有很多实

验都是需要大科研装置的支撑,例如引力波的探测^[4]、探测宇宙中微子^[5]。然而,其中也有“接地气”的诺奖实验,如石墨烯二维材料。二维材料,即厚度在一个或几个原子的材料,理论上被认为是不稳定的、自然界中不存在的。然而,2010年的诺贝尔奖得主安德烈·海姆在废弃的粘有石墨碎片的胶带上发现了完美单层石墨——石墨烯,它是一种几近完美导热材料和电导体。自从2010年发现石墨烯以来^[6],科学家们陆续发现了成千上万种像石墨烯一样具有二维结构特性的材料,包括单层极限下的二维半导体材料二硫化钼、二维铁磁材料三碘化铬、二维铁电材料铜钢磷硫以及二维多铁材料二碘化镍。这些新材料也是目前二维材料研究领域重点关注的材料,其将在高密度磁存储器件、新型的电子自旋功能器件以及柔性电子器件等前沿领域发挥重要作用。因此我们结合最前沿的科学研究,在《研究型实验》课程中,学生可以仅凭胶带、硅片等十分简单的实验材料来制备二维材料。二维材料是弱范德瓦尔斯力耦合而形成的层状材料,具有与层数相关的物理特性。例如,多层二硫化钼为间接带隙半导体,而单层材料则为直接带隙半导体。因此,实验上我们设计了利用胶带制备二维材料并利用光学显微镜观察样品颜色来初步判断其厚度(图3),并结合荧光

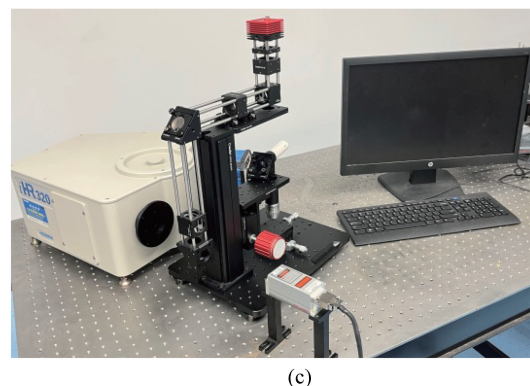
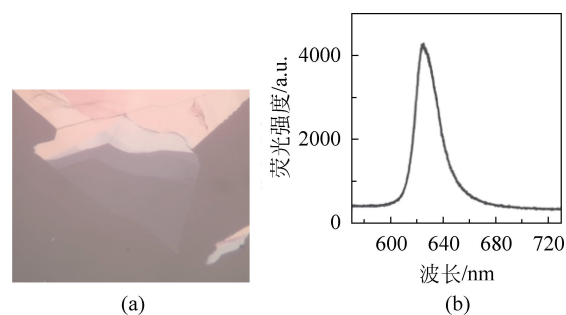


图3 机械剥离法实验

(a) 单层二硫化钼; (b) 荧光谱线; (c) 自行搭建的显微荧光和拉曼光谱装置

和拉曼光谱来测量二硫化钨层数减薄到单层极限过程中的半导体发光特性。这个实验让学生深刻地体会:低成本、朴实无华的实验手段,也可以产生震惊世界的实验成果,鼓励学生永远对科学研究抱有热情、好奇心和想象力。

3 结论

将新诺奖实验引入实验教学,最根本的目的在于育人。希望学生从当代科学家身上学习科学研究必备的品格和能力。诺贝尔奖的历史上有很多“灵光一现”的实验,这些看似偶然的实验背后,是科学家对信念的坚持以及对新科学方法的不断尝试的必然结果。希望学生了解诺奖的科学意义和价值的同时,也要深刻体会科研前辈所付出的努力。这样才能成为敢担当且具备核心素养的新时代大学生。

参 考 文 献

- [1] 李海. 2014 年诺贝尔物理学奖: 蓝光 LED 的发明[J]. 自然辩证法研究, 2015(4): 83-87.
LI H. 2014 Nobel Prize in physics: The invention of blue LED[J]. Studies in Dialectics of Nature, 2015(4): 83-87.
- [2] 葛惟昆. 2014 年诺贝尔物理学奖的启示[J]. 物理与工程, 2014, (6): 3-8.
GE W K. 2014 Nobel Prize in physics enlightenment[J]. Physics and Engineering, 2014, (6): 3-8. (in Chinese)
- [3] 邓冬梅, 张欢. 将 21 世纪诺奖实验引入大学物理实验教学: LED 中的量子斯塔克效应[J]. 大学物理, 2024, 2: 33-36.
DENG D M, ZHANG H. Introducing the 21st century Nobel Prize experiment in physics experiment teaching: QCSE of LED[J]. College Physics, 2024, 2: 33-36. (in Chinese)
- [4] 张宏浩. 解读 2017 年诺贝尔物理学奖: 引力波的直接探测[J]. 物理与工程, 2018, (2): 3-12.
ZHANAG H H. Introduction of Nobel Prize in physics 2017: Direct Detection of Gravitational Waves[J]. Physics and Engineering, 2018, (2): 3-12. (in Chinese)
- [5] 高崇寿. 2002 年诺贝尔物理奖介绍: 中微子振荡实验[J]. 物理与工程, 2004, (1): 7-10.
GAO C S. Outline on 2002 Nobel Prize of physics: Experiments of neutrino oscillation[J]. Physics and Engineering, 2004, (1): 7-10. (in Chinese)
- [6] 宋峰, 于音. 什么是石墨烯: 2010 年诺贝尔物理学奖介绍[J]. 大学物理, 2011, 30(1): 7-7.
SONG F, YU Y. What is the graphene: Introducing the Nobel Prize in physics 2010[J]. College Physics, 2011, 30(1): 7-7. (in Chinese)