

基于凝聚态物理实验的学生创新思维训练

贺佳琦¹, 吴亮², 丁皓璇³, 张鑫¹, 朱文亮¹, 高健智¹, 潘明虎^{1,4*}

¹ 陕西师范大学物理学与信息技术学院 陕西西安

² 华中科技大学外国语学院 湖北武汉

³ 英国伯明翰大学物理与天文学院 英国伯明翰

⁴ 华中科技大学物理学院 湖北武汉

【摘要】培养学生的创新意识及创新能力,首先要改变学生的思维模式,让学生提前接触凝聚态物理实验可以对他们进行学术前沿的创新思维训练。本文选取表面物理领域中典型的硫醇分子自组装结构,结合超高真空低温扫描隧道显微镜系统,运用控制变量的实验探究方法,以量子力学和固体物理中所学的知识为基础,介绍了一套自主设计的实验教学方案,以及如何在该实验教学中转变学生思维方式的方法。在实验中训练创新思维的同时,还将课程思政融入到实验教学中,从而引导学生树立基于物理现象分析物理本质的学习观,自主解决问题的意识和逆向思维与工程思维的意识,以及帮助学生建立实事求是的辩证唯物主义世界观和价值观。

【关键词】大学物理实验;凝聚态物理实验;扫描隧道显微镜;创新思维训练;课程思政

【基金项目】国家自然科学基金(91745115);中央高校基础研究经费(GK202102008)

【收稿日期】2023年8月25日 **【出刊日期】**2023年9月27日 **【DOI】**10.12208/j.pstr.20230007

Training and promotion of innovative thought in condensed matter physics experiments

Jiaqi He¹, Liang Wu², Haoxuan Ding³, Xin Zhang¹, Wenliang Zhu¹, Jianzhi Gao¹, Minghu Pan^{1,4*}

¹School of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi

²School of Foreign Languages, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei

³School of Physics and Astronomy, University of Birmingham, Birmingham B15 2TT, United Kingdom

⁴School of Physics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei

【Abstract】In order to cultivate students' innovative consciousness and ability, the changing their way of thinking is primarily important. By introducing condensed matter physics experiments into undergraduate teaching in advance, which can train students in innovative thinking at the academic frontier. This paper selects a typical example of case in the field of surface physics, i.e. mercaptan molecular self-assembly structure, combined with the ultra-high vacuum and low temperature scanning tunneling microscope technique, uses the experimental exploration method of controlling variables, and introduces a set of independently designed experimental teaching scheme based on the knowledge learned in quantum mechanics and solid physics, as well as the method of how to change students' thinking mode in this experimental teaching. In addition to training innovative thinking in the experiment, we also integrate the curriculum thought and politics into the experimental teaching, thereby guide students to establish the learning concept of analyzing the essence of physics based on physical phenomena, the awareness of independent problem-solving, reverse thinking and engineering thinking, and help students establish a practical and realistic dialectical materialist world outlook and values.

作者简介:贺佳琦(2000-)男,陕西榆林,陕西师范大学物理学与信息技术学院硕士

*通讯作者:潘明虎(1974-)男,安徽全椒,陕西师范大学物理学与信息技术学院教授、博士,研究方向:凝聚态物理和表面物理化学

【Keywords】 College physics experiment; Condensed matter physics experiment; Scanning tunneling microscope; Innovative thinking training; Course ideological and political education

大学物理实验是物理类专业的核心必修课之一, 对学生动手能力的提高以及科研素养的训练起着不可替代的作用。通过在日常的实验课程中引入大型实验仪器, 例如扫描隧道显微镜 (STM), 不仅能够让低年级本科生尽早地接触科研生活, 还可以培养他们的创新能力^[1], 这种教学模式已经受到了越来越多高校的青睐。而创新能力的培养, 首先应该是帮助学生形成创新思维^[2]。但目前很多高校把创新能力的培养等同于让学生单纯地参加科技竞赛或创新、创业项目, 从而忽视了对学生创新思维的训练。

扫描隧道显微镜 (STM) 是一种利用扫描探针去表征与操控原子 (分子) 的大型实验仪器^[3], 其基本工作原理为: 将一个非常尖锐的金属针尖靠近测量的材料表面, 当针尖到材料的距离为几个埃米之内时, 针尖尖端的电子波函数与材料表面的电子波函数便会发生交叠。此时如果在材料和针尖之间加上偏压, 就会导致电流的流动, 这种现象被人们称为量子隧穿效应。而该隧穿电流对针尖材料间的距离极为敏感。利用拥有皮米量级精度的压电陶瓷传感器便可实现对针尖的精确控制, STM 因此也具备了无与伦比的实空间分辨能力^[4]。

从教学实践的角度来看, 强化并提升大学物理实验课程的综合性、创新性与前沿性的意义是非常重大的。本文引入当前凝聚态物理学的前沿研究成果, 利用扫描隧道显微镜等大型仪器, 设计出了新的实验教学方案和流程。通过引导学生完成所有的实验环节, 可以让学生掌握先进和综合性的实验方法与技能, 加深对量子力学、热力学与统计物理和固体物理等课程中一些重要概念的理解, 拓宽学生的知识面, 培养学生具备初步的探究物理问题和科学研究的能力^[5]。

1 加强前沿物理实验与传统物理教学的结合

1.1 实验设计思路

凝聚态物理实验推动了材料物理、化学体系的发展, 促进了人类对纳米材料的物理和化学性质的探究以及其表面结构的更深层次的认识, 同时凝聚态物理目前也在半导体设备制造、黏合剂、燃料电池、多相催化和自组装单分子膜等实际应用方面取得了突出的成果。本文选取此热点领域的前沿实验

无疑能够大大地激发学生的求知欲和对物理实验的兴趣。并且在众多的材料表面分析和测量技术当中, 扫描隧道显微镜 (STM) 由于可以对有导电性能的材料表面进行原子级别的分辨表征, 所以本文选用 STM 作为实验操作仪器。通过引导学生操作扫描隧道显微镜从而获得纳米材料在实空间的原子分辨级别的结构图像, 这有利于帮助学生了解量子隧穿效应在工业领域的应用^[6], 提升学生以实际应用为导向的实验技能, 加深学生对晶体结构、费米能级以及表面态等物理概念的理解。

在表面物理学领域, 作为表面科学的一项重要技术——纳米尺度的薄膜组装方法, 已经被人们研究了长达三十余年, 其中 Au (111) 表面的硫醇分子自组装结构是一种最典型的利用纳米尺度的薄膜组装方法制备的纳米结构。在本文的实验中我们采用了扫描隧道显微镜技术, 选取了控制变量法作为最基本的探究方法, 引导学生深入探究密排相下的乙烷硫醇 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{S}$) 分子在 Au (111) 表面的自组装结构^[7], 以及指导学生如何利用此方法探索不同的扫描条件对乙烷硫醇分子结构的影响。通过让学生亲自动手操作, 能够促进他们深入思考其中蕴含的物理规律和如何在实际情况中应用这些物理规律, 最终培养学生的创新思维和提升学生的创新能力。

我们的实验设计思路主要是在金属表面利用烷基硫醇分子沉积装置把烷基硫醇分子引入到超高真空腔内, 然后该分子在金属表面会键合成很强的金硫化学键, 从而形成高度有序的烷基硫醇分子的多孔骨架结构。在利用扫描隧道显微镜对该二维结构进行表征分析的过程中, 我们通过改变扫描条件, 例如固定扫描偏压并改变隧道电流, 或者固定隧道电流并改变扫描偏压, 来改变针尖和金属表面的结构单元之间的相对距离, 从而在近距离扫描的过程中利用针尖诱导烷基链使其相对位置发生变化, 最终改变同一区域内表面结构单元的基本构型。具体的实验操作流程如下:

1.2 实验实施流程

第一个环节是引导学生探究当保持隧道电流不变时, 改变扫描偏压大小对 Au (111) 表面乙烷硫醇分子自组装结构的影响 (如图 1 所示), 我们会发

现乙烷硫醇分子会排列得更加紧密。

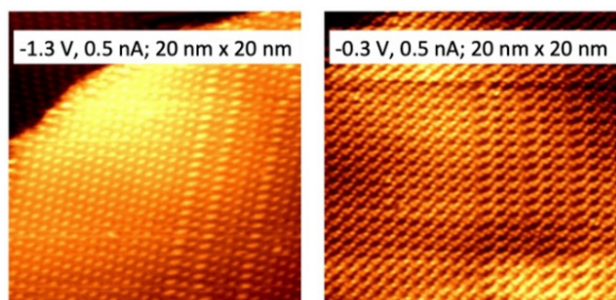


图 1 不同偏压下乙烷硫醇分子的密排结构变化

这种因扫描条件发生变化而导致的分子结构改变的现象会促使学生进一步探究改变其他扫描条件对分子构型的影响。同时通过让学生借助扫描隧道显微镜观察分子结构的变化, 可以加深其对晶体分子结构知识的理解, 并掌握乙烷硫醇分子的 STM 图像在实空间的对应关系。

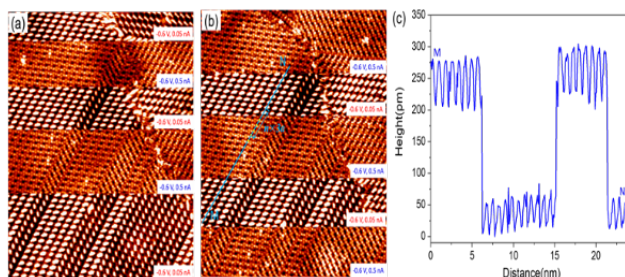


图 2 不同隧道电流下乙烷硫醇分子的密排结构变化

第二个环节是探究隧道电流对乙烷硫醇分子 STM 图像的影响。我们发现在保持扫描偏压一定, 改变不同的隧道电流值 (如为 0.5nA 和 0.5nA) 的时候, 乙烷硫醇分子也会发生构像变化, 如图 2 所示。我们还可以获得呈现出不同电子态密度状态的 STM 图像 (如图 2 (a) 和图 2 (b) 所示)。然后引导学生进一步分析图像背后蕴涵的深层次物理原理, 当隧道电流大小不同的时候, 针尖距离表面分子的相对距离 (大约为 0.2nm) 就会发生变化 (如图 2 (c) 所示), 随着针尖更接近于表面分子时, 烷基硫醇分子中烷基链由于受到针尖的诱导, 其相对于金表面的位置便会发生改变。之后烷基链被针尖从表面提起, 与金表面成一定角度的倾斜, 因此改变了该链状分子表面构型。

通过第二个环节的实验, 学生可以了解当利用针尖诱导表面分子构型发生稳定改变后, 其 STM 图像会为我们呈现出不同构型的高分辨表面电子态密度信息, 有利于我们分析分子结构变化的原理。

第三个环节是引导学生进一步探究该实验现象产生的原因, 并尝试用量子力学的知识解释该现象的发生。以下是具体的步骤: 首先通过分析上述实验现象我们可以得出, STM 图像中具有不同明暗程度的带状区间分别对应硫醇分子中的不同组分。基于扫描隧道显微镜的基本工作原理中的隧道电流 I 的大小与扫描偏压 V 以及针尖和表面分子之间的相对距离 Z 的函数关系, 我们发现当扫描偏压一定时, 隧道电流越大, 针尖和表面分子间相对距离就越小。当针尖距离分子足够近的时候, 便会诱导表面分子发生构型上的改变。这时烷基链 (CH_3CH_2) 与金表面的相对位置发生变化, 由原来平躺的结构变为直立的形态 (如图 3 所示)。

让学生自主探究产生实验结果的原因, 有助于他们熟悉量子隧道效应的物理解释, 了解理论与具体实验现象相结合, 以及如何运用提出问题、做出假设、设计实验、分析结果和理论解释的科学探究方法。同时整个实验的完成, 是对学生创新思维的一种训练, 对于学生实验习惯的形成和实验素养的提高将产生积极的作用。

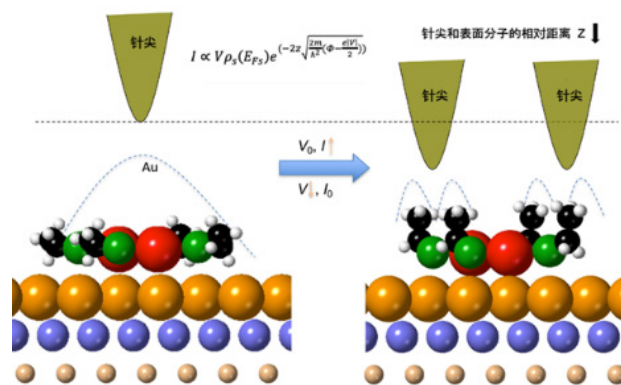


图 3 乙烷硫醇分子发生构像变化的理论解释

2 课程思政融入凝聚态物理实验教学

该硫醇分子自组装实验教学方案采用了最科学的研究方法, 从提出问题到引导学生在实验中科学观察和分析实验现象, 然后在此基础上提出科学假说, 之后再反复验证, 最终形成科学的理论体系。这种研究方法在当今科研发展中已成为国内外的主流方法。

中国在追求科技发展与进步和成为科技强国的道路中始终坚持融入社会主义核心价值观^[8], 在科教兴国的宏图伟业中注重培养具有中国特色社会主义的“四个自信”的科学工作者, 坚持为国育人, 为

党育才的教育路线。习近平新时代中国特色社会主义思想,体现了马克思主义理论的科学性和真理性。在实验教学过程中通过提炼凝聚态物理实验背后的科学思想,不仅有助于对实验本身的进一步深刻理解,而且通过类比与联想,更有助于加深学生对于习近平新时代中国特色社会主义思想的理解,并依次建立对于我国道路、理论、制度和文化的“四个自信”。

近代物理近百年的发展离不开实验的帮助^[9],而中国近代物理学的发展史对于青年一代总结历史经验和建立“四个自信”具有深远的启发作用。并且实验背后蕴涵的科学思想与毛泽东思想、习近平新时代中国特色社会主义思想有很高的契合度,所以该实验的课程思政可从以下几方面展开。

2.1 中国物理学家的贡献

当今世界凝聚态物理学的蓬勃发展,离不开中国科学家的突出贡献。在实验教学的过程中,我们通过对凝聚态物理发展史和中国物理巨擘特殊贡献的回顾,不仅可以让学生领略到大物理学家的思路历程,而且更有助于加深学生的家国情怀。

2.2 改革开放与科教兴国

中国凝聚态物理的发展历程是一部不断解放思想的历史。由于国家大力支持科学研究工作的开展,所以先后启动了“863”计划、攀登计划和“973”计划等促进凝聚态物理发展的科学计划。同时在教学过程中我们须注重对青年人才的培养,青年一代肩负着时代使命,应不断加强自身科学文化和道德素质,全面提升自己,为祖国的繁荣昌盛贡献力量。

2.3 实事求是与科学实验

“实事求是”是中国共产党的思想路线,是毛泽东对于马克思主义中国化所做出的巨出贡献。在近代物理的实验过程中,同样离不开实事求是的科学思想。在科学实验过程中,实验和理论相辅相成。通过该物理实验探索过程,有助于学生建立辩证唯物主义的世界观和方法论,掌握毛泽东思想的精髓。

3 结论

本文所提及到的凝聚态物理实验教学方案以纳米材料领域的金表面的乙烷硫醇分子自组装结构为切入点,以扫描隧道显微镜的表征功能为手段,引导学生运用控制变量法来探究不同扫描条件对乙烷硫醇分子结构的影响,从而加强学生对于量子力学

和固体物理学中的重要概念和物理规律的理解,帮助学生培养探索精神和创新意识^[10],为社会输出一批创新型和实用型人才,以适应国家大力推进的学科建设需求。同时通过在实验课程中引入课程思政元素,简要回顾了中国凝聚态物理的发展历程以及研究和学习了中国物理先驱的光荣事迹,能够加深学生对社会主义核心价值观的理解,引导青年学生坚定“四个自信”,培养学生的家国情怀。通过类比推理和归纳总结,理解实验背后所蕴含的科学研究思想与马克思主义思想、毛泽东思想及习近平新时代中国特色社会主义思想的高度一致性,引导学生更深层次的理解党和国家的战略方针与政策,激励学生自觉把个人的理想追求融入国家和民族的事业中,勇做走在时代前列的奋进者、开拓者。

参考文献

- [1] 马世红,赵在忠,王煜,沈元华.开设实验选修课 培养学生创新能力[J].物理实验,2002(03):27-29.
- [2] 应周武.实验教学中学生创新思维能力的培养[J].物理实验,2007, No.197(01):24-26.
- [3] 宣锴.基于计算机仿真的扫描隧道显微镜原理分析[J].电子制作,2019(14):17-21.
- [4] 黄思远,田焕芳,郑丁国,李中文,朱春辉,杨槐馨,李建奇.高时空分辨透射电子显微镜发展与应用[J/OL].世界科技研究与发展:1-17[2022-04-26].
- [5] 刘翌.傅立叶级数的物理具象化课程设计[J/OL].大学物理:1-4[2022-04-28].
- [6] 王兆阳,王宏伟.STM 中量子隧穿效应原子模型的计算机模拟[J].沈阳航空航天大学学报,2014,31(02):84-86.
- [7] Ding H, Gao J, Zhao H, et al. Perturbational Imaging of Molecules with the Scanning Tunneling Microscope[J]. The Journal of Physical Chemistry C, 2020, 124(47): 25892-25897.
- [8] 陈国华,程敏熙.将课程思政融入大学物理课堂的综述[J].物理通报,2021(03):2-6.
- [9] 潮洛蒙,刘佳.新形势下近代物理实验教学改革的探讨[J].科技视界,2021(05):25-26.
- [10] 王新顺,王本阳,张立彬.大学物理实验中学生创新思维训练与提升[J].实验室研究与探索,2021,40(02):244-247.

版权声明: ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS