

文章编号:1000-5471(2012)05-0173-04

研究性实例在光学教学中的应用^①

张中月, 张志东, 吴加贵, 夏光琼

西南大学 物理科学与技术学院, 重庆 400715

摘要: 举例说明了光学研究性实例在光学教学中的作用, 并探讨了研究性实例的相关选择原则及实施研究性实例教学的相关保障措施。

关键词: 光学教学; 研究性实例; 表面增强拉曼散射; 纳米光子学

中图分类号: G642.0

文献标志码: A

从牛顿时代至今, 光学学科已经经过了 300 多年的发展。同时, 光学也是现代物理学和现代科学技术最活跃的前沿阵地。现代光学包含的内容十分丰富, 形成了许多自成体系的分支学科。目前物理学专业采用的光学教程在一定程度上已经落后于光学学科的发展。因此, 不断调整光学教学内容、改变光学教学方法将有助于改善光学课程的教学效果, 并有利于提高学生的综合素质。

传统物理专业的光学教程以几何光学和波动光学(光的干涉、衍射、偏振)为主。相比于力学和电磁学的教程, 光学教程具有以下两个特点: ①光学的系统性较差, 学生在学的过程中感觉内容繁杂, 不容易把握重点, 以至于觉得光学难学; ②光学的实用性强、发展速度又快, 可是该实用特性在传统光学教材中反映较少。而如果将新发展的现代光学内容简单地添加到课本中, 又可能使得系统性本来就不强的光学教程变得更为繁杂。所以, 处理好光学基本理论和现代光学新发展的内容的关系, 突出光学实用性的特色, 做到既强化基础理论, 又使学生较多地了解光学前沿, 从而激发学生的学习兴趣, 培养学生的科研意识及创新能力是光学教学改革的一个重要目标。本文针对当前学生对基础理论知识缺乏学习兴趣这一普遍现象, 提出在课堂教学中适当穿插研究性实例的教学方式, 也就是在教学过程中, 将授课的基本原理与教师科研领域所涉及的一些前沿科学问题相结合, 阐述光学的基本理论在解决前沿科研问题中的重要作用, 从而激发学生对基础课程的学习兴趣, 增强学生运用基本理论解决实际问题的思维意识, 培养良好的思维习惯, 从而提高教学效果的一种教学模式。

1 研究性教学实例

以光的干涉为基础, 举例介绍拉曼散射, 从而引入表面增强拉曼散射、纳米光子学等科学前沿知识。当光照射到分子上时, 如果散射光的频率等于入射光的频率, 这样的散射称为瑞利散射; 如果入射光与分子相互作用而引起散射光的频率发生变化, 这样的散射称为拉曼散射。而散射光与入射光交换的能量又是由分子的振动或者转动能级决定的, 因此, 拉曼散射可以用来研究分子的结构或者用于化学分析和分子检测。但是在通常情况下, 由于散射截面小, 拉曼散射的散射信号是很弱的, 从而在很大程度上限制了拉曼散射的广泛应用。直到 1977 年, Van Duyne 等人发现, 当粗糙的金属表面被用作拉曼散射的衬底时, 拉曼

^① 收稿日期: 2011-10-01

作者简介: 张中月(1975-), 男, 山东莘县人, 教授, 主要从事微纳光子学的研究。

散射被显著增强了,这种现象被称为表面增强拉曼散射.目前人们普遍认为表面增强拉曼散射源于化学增强和物理增强.其中物理增强源于金属表面的局域电场,且贡献了增强因子的大部分.探究什么样的结构能够获得更强的表面电场,更适合于用作表面增强拉曼散射衬底一直是增强拉曼散射研究热点之一.

目前一个比较经典的发现就是具有膜的棒状纳米结构比没有膜的棒状纳米结构能够产生强 3 个数量级的拉曼散射.但是,对这两种结构的拉曼信号相差如此大的微观机理的研究一直甚少,最近,有文献利用时域有限差分方法研究了图 1 所示的棒-膜结构模型(一根纳米棒竖直放置于纳米薄膜上),并对这一微观机理做了比较详细的解释.这一微观机理的解释与光学基础课程里的光的干涉有着密切关系,很适合作为研究性实例向学生们介绍.

首先,在课堂上给学生演示用计算机进行的模拟结果.通过模拟结果,学生能够清晰地看到光的入射以及光的传播过程.如图 1 所示,入射光从 $-z$ 方向入射,电场偏振方向平行于入射面.图 2 为应用时域有限差分算法计算得到的纳米棒结构(没有薄膜)与棒-膜结构的稳态电场分布图.如图 2 所示,在棒-膜结构中,纳米棒表面电场比单根纳米棒表面电场强很多.

其次,结合光波干涉的基本理论引导学生分析光的传播过程:当入射平面波照射到纳米棒底部薄膜时,入射光将被反射回去,在图 1 中 $z > 0$ 区域,入射光与反射光电场之和将作为纳米棒中电子振动的激发电场.考虑到两束光之间的相位差是电场叠加的一个重要因素:对于位置 z ,反射光必须经过光程 $2z$ 才能到达该位置;另外,当光照射到银表面时,反射光的位相会突然变化 π ,发生半波损失,故两束光之间的位相差为 $\delta = 4\pi z/\lambda - \pi$.对于波长为 785 nm 的入射光来说,银膜的反射系数基本为 100%.当 $\delta = 2j\pi$,激发电场达到最大,其位置为 $z_{\max} = j\lambda/2 + \lambda/4$,式中 j 为整数.该方程与图 2 中的电场分布吻合.故由于棒-膜结构中的底部薄膜的反射作用,入射光与反射光的叠加电场作为纳米棒中电子振动的激发电场,使得纳米棒中电子的振动加剧,从而在纳米棒表面激发出更强的电场,这就正是棒-膜结构能够提供强表面增强拉曼散射信号的一个主要物理机理.

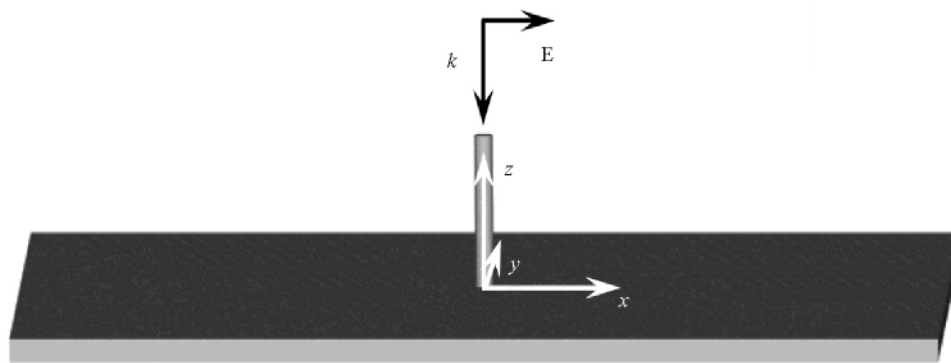


图 1 棒-膜纳米结构及入射光的入射和电场偏振方向

最后,为了使學生进一步总结这一研究性实例中用到的基本知识点,可引导学生进行积极思考.提问学生:上述棒-膜结构给了我们什么启发?能不能让多束光进行叠加,使得纳米棒中电子振动的激发电场更强?此时,考虑到学生已对纳米光子学的基本知识有所了解,并且已学习过光的反射,因而学生可能会提出一些如图 3 所示的方案:利用凹槽将入射光分开,并在纳米棒处叠加,叠加后的电场作为纳米棒中电子振动的激发电场,从而在纳米棒表面激发出更强的电场.然后,根据学生提出的若干方案,建立相应结构模型,并进一步鼓励有兴趣的学生参加相关的课题研究小组,以进一步系统地验证方案的可行性.这样将可极大地激发学生对基本知识的学习兴趣.当然,学生的创新能力同时也可得到很好的培养.

总之,在教学中通过引入研究性实例,学生不仅可以了解表面增强拉曼散射、纳米光子学等科技前沿,扩充学生的知识面,还可以与书本理论知识紧密衔接,让学生进一步熟悉光的叠加、光的反射、光程差、半波损失、光的偏振等基础光学的核心内容,将科技前沿与光学基础教学内容相衔接,既扩充了学生的知识

面, 又深化了学生对光学基础知识的理解, 激发了学生的求知欲和创新热情.

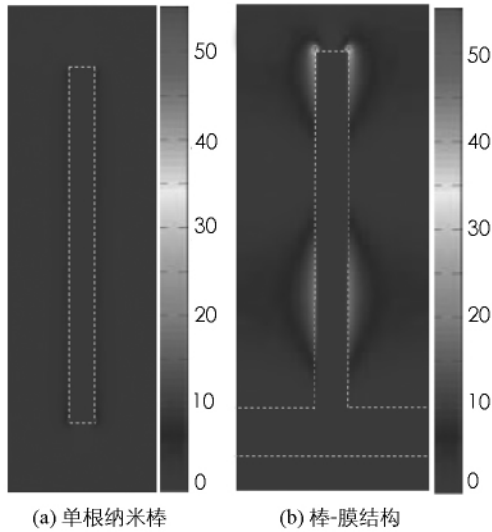


图 2 表面电场分布

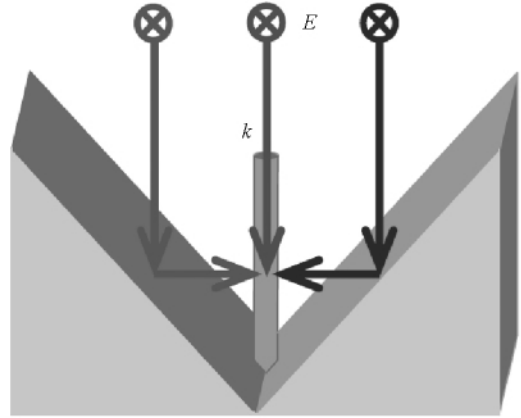


图 3 棒-凹槽纳米结构及入射光的入射和偏振方向

2 研究性教学实例选择的原则

目前, 光学的分支学科很多, 因而可供选择的研究性教学实例也很丰富. 然而, 在选择研究性教学实例时, 首先, 要注重实例中的光学基础概念, 重点是对概念进行联系和对比, 而不是简单的介绍先进技术; 其次, 引进的实例应该物理图像清晰, 避免复杂的数学公式推导, 最好能用图像来描述物理现象, 不可过多地、过深地牵扯实例中其他的复杂概念, 使学生误解教学的侧重点. 在教学实践中, 教师可以基于对光学的基本原理的理解, 根据自己的研究兴趣, 找到适合课堂教学的研究性教学实例. 另外, 还可以将讲授光学课程的不同教师联合起来, 交流各自的研究性实例.

3 研究性教学实例得以实施的保证

在有限的课时内, 既要完成基础理论的教学任务, 又要引入研究性教学实例, 这就需要对一些教学环节进行改革. 一方面, 在教学中充分运用计算机技术, 可以提高课堂效率, 节约时间. 例如, 对于圆孔的夫琅禾费衍射光强分析, 就可运用计算机数值运算代替复杂公式的推导, 运用计算机绘图来形象揭示公式的物理内涵. 对于光的干涉和衍射, 也可以从光的叠加原理出发, 运用计算机模拟实验结果. 总之, 多样化的教学手段是以强化学生对光学基本原理的理解为目的.

另一方面, 在课程考核的形式上, 也要逐步实行多样化的考核方式. 课程考核是教学过程的一个重要环节, 是对学生学习过程的促进和指导. 教学模式的改革, 必然需要相应的课程考核体系改革. 在考核内容上, 可利用综合性思考题、分析题和应用题将基本原理进行融会贯通, 突出知识的实用性与实践性. 重点全面考察学生的物理思维能力与科学创新素质. 尝试取消教考分离制度, 使教师能根据自己的实际教学情况进行考核, 也使学生将变得“无题可依”. 既有利于激发学生牢固掌握基础知识, 也有利于教师将注意力转移到提高学生素质的目标上来.

4 结 束 语

本文阐述了如何在光学教学中引入研究性教学实例, 以强化学生对光学基础理论的理解. 另外, 进行研究性教学实例教学, 对学生了解科技前沿, 激发学生的学习和科研兴趣、培养学生的创新能力都有很好的帮助. 因此, 在光学教学中引入研究性教学实例, 是一个很好的教学探索.

参考文献:

- [1] 姚启钧. 光学教程 [M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [2] 崔洪斌, 李永平, 段开敏. 光学 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] DRISKELL J D, SHANMUKH S, LIU Yongjun, et al. The Use of Aligned Silver Nanorod Arrays Prepared by Oblique Vapor Deposition [J]. *J Phys Chem C*, 2008, 112(4): 895–901.
- [4] ZHANG Zhong-yue, ZHANG Zhi-dong, ZHANG Li-jie, et al. Electric Field Enhancements Around the Nanorod on the Base Layer [J]. *Opt Express*, 2011, 19(8): 7274–7279.
- [5] 尹中文, 轩爱华. 光学教学改革的探索与实践 [J]. *南阳师范学院学报*, 2003, 2(9): 93–96.
- [6] 张 萍, 宋金璠. 研究性教学模式在光学实验中的运用 [J]. *南阳师范学院学报*, 2010, 9(6): 108–110.
- [7] 朱少丽, 刘德森, 周自刚, 等. 直接测量自聚焦透镜折射率分布的新方法 [J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2004, 29(2): 213–216.
- [8] 李松柏, 杨 敏. 基于透射型体布拉格光栅衍射效率的研究 [J]. *西南大学学报: 自然科学版*, 2011, 33(9): 67–71.
- [9] 盛拱北, 张彬彬, 周治贵. 宽谱白光干涉花样及其视觉特征 [J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 1993, 18(2): 234–236.
- [10] 杜 亮, 戴特力, 梁一平, 等. 全光纤激光器中光栅作为腔镜的特点研究 [J]. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2011, 28(4): 48–52.

Application of Research Examples in Optics Teaching

ZHANG Zhong-yue, ZHANG Zhi-dong,
WU Jia-gui, XIA Guang-qiong

School of Physical Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: The discussion classes of the research examples bridge the learning of students and the research of the faculties. Integration of optics research examples into optics teaching is helpful for students to understand the basic principles of optics, arouse their interest in learning and research, and cultivate their creativities. In this paper, one example is given to illustrate the usability of research examples in optics teaching. In addition, the prerequisites of applying the research examples in optics teaching are discussed.

Key words: optics teaching; research example; surface enhanced Raman scattering; nanophotonics

责任编辑 潘春燕