

The Study of Teaching Design on Lambert-Beer Law in Experimental Education

Jingsong Li

Anhui University, Hefei Anhui
Email: ljs0625@126.com

Received: Sept. 12th, 2015; accepted: Sept. 24th, 2015; published: Sept. 30th, 2015

Copyright © 2015 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

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



Open Access

Abstract

The teaching method and content of college physics experiment (CPE) need to reform and innovate constantly. This paper discusses the introduction of the physical law of scientific research into the teaching of CPE, which provides a new method to effectively promote the reform of CPE teaching. Enriching experimental content of CPE and improving the quality of CPE teaching, as well as giving full play to the function of quality education of the scientific research project, will be useful for cultivating the students hands-on ability, thinking ability and creative ability better.

Keywords

CPE, Teaching and Science Research, Teaching Reform

朗伯-比尔定律实验教学设计研究

李劲松

安徽大学, 安徽 合肥
Email: ljs0625@126.com

收稿日期: 2015年9月12日; 录用日期: 2015年9月24日; 发布日期: 2015年9月30日

摘要

大学物理实验的教学方法和教学内容需要与时俱进。本文探讨了将科研中的物理定律引入到大学物理实验教学中,为有效推进大学物理实验教学改革提出一种新的研究方法。丰富大学物理实验内容和提高大学物理实验教学质量,充分发挥科研项目的素质教育功能,才能更好地培养学生的动手能力、思维能力和科学创新能力。

关键词

大学物理实验, 教学和科研, 教学改革

1. 引言

大学物理实验作为培养学生基础知识、实验方法和实验技能的重要途径,是高等院校理工科学生的必修课程和教学体系的重要组成部分。大学物理实验的教学方法和教学内容,亦需要不断的改革和创新,才能提升大学物理实验的教学质量[1]-[3]。教学和科研双肩挑的教师把成熟的科研内容引入到实验教学中,不但可以激发学生的学习兴趣和求知欲,提高教师的实验教学水平,同时亦让学生了解了物理科学发展的前沿动态和相关专业的最新技术状态,从而使学生自觉主动的去发现问题和思考问题,有目的有计划地融入到教师的研究性科研项目中[4]。利用所学知识 with 技能帮助老师解决问题,让学生学有所思,学以致用,实现教师的教学和科研双赢。为此,本文开展了将科研项目内容中起重要理论支撑的物理定律引入到大学物理实验教学内容中的实验教学设计研究。

2. 历史回顾

早在 1729 年,德国物理学家皮埃尔·布格(Pierre Bouguer)实验中发现,用固定强度的单色光照射吸收介质时,透射光的强度对吸收介质厚度的具有一定的依赖性。1760 年他的学生约翰·海因里希·朗伯(Johann Heinrich Lambert)进一步研究发现,当光通过吸收介质时,光的衰减程度与介质厚度成正比例。直到 1852 年奥古斯特·比尔(August Beer)又提出光的吸收程度和吸光物质浓度也具有类似关系,于是后人把两者结合起来,即得到有关光吸收的基本定律——布格-朗伯-比尔定律,简称“比尔-朗伯”定律[5]。如今,朗伯-比尔定律(Lambert-Beer law),作为光吸收的基本定律,不仅适用于所有的电磁辐射,而且适用于所有的吸光物质,包括气相、固相和液相,以及原子、分子和离子,等。朗伯-比尔定律作为吸光光谱的定量基础,已被广泛的应用于各学科领域。如:可调谐半导体激光吸收光谱技术(tunable diode laser absorption spectroscopy, TDLAS),具有实时原位测量、无需采样和处理过程、响应迅速、测量精度和灵敏度高显著优势,使得该技术已被推广应用于大气环境监测、工业处理控制、生物医疗和高温燃烧成分诊断等领域。

3. 理论基础: 朗伯-比尔定律(Lambert-Beer Law)

当一束光通过吸收介质时,介质媒介引起光强衰减的因素主要有吸收效应和散射效应。因此,描述入射光强 $I(\nu)$ 和出射光强 $I_0(\nu)$ 之间变化关系的朗伯-比尔定律可表示为:

$$I(\nu) = I_0(\nu) \exp[-\alpha(\nu)CL + \beta(\nu)L + \gamma L] \cdot f(\nu) \quad (1)$$

式中 $\alpha(\nu)$ 为频率 ν 处的分子吸收系数,包含着分子吸收线强 $S(T)$ 、吸收线型 $\phi(\nu)$ 和分子数密度 $N(T, P)$

的信息, 即 $\alpha(\nu) = \phi(\nu)S(T)N(T,P)$, 其中 T 和 P 为气体的温度和压力。 C 为分子的浓度, L 为光与分子相互作用长度, $\beta(\nu)$ 和 γ 分别为瑞利散射(Rayleigh)散射系数和米(Mie)散射系数, $f(\nu)$ 为探测器的响应函数。实际上, 吸收线强 $S(T)$ 是一个对温度 T 依赖的物理量, 可通过查阅光谱数据库(如: HITRAN)获得。低压和高压下, 分子的吸收线型分别受 Doppler 加宽效应和碰撞加宽效应影响, 分别由高斯函数(Gaussian)和劳伦兹函数(Lorentzian)描述:

$$\phi_D(\nu) = \frac{1}{\gamma_D} \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \exp\left[-\ln 2 \left(\frac{\nu - \nu_0}{\gamma_D}\right)^2\right] \quad (2)$$

$$\phi_L(\nu) = \frac{1}{\pi} \frac{\gamma_L}{[(\nu - \nu_0)^2 + \gamma_L^2]} \quad (3)$$

上式中两种线型皆满足归一化条件, γ_D 和 γ_L 分别为高斯半宽和劳伦兹半宽。对于均匀的气体分子介质, 在忽略散射效应和探测器理想的响应情况下, 得到简化的朗伯 - 比尔定律为:

$$I(\nu) = I_0(\nu) \exp[-\alpha(\nu)CL] \quad (4)$$

在实验条件(如: 温度 T , 压力 P 和吸收光程 L)已知的情况下, 通过结合(2)~(4)即可反演出未知样品的浓度信息。

4. 实验设计

教学实验中使用的光源为 Agilent 公司的可调谐半导体激光器(波长调谐范围 1641~1496 nm), 所选气体介质为乙炔(C_2H_2)气体, 密封在 4 cm 长的光学玻璃吸收池中, 光探测器为 New Focus 公司的 InGaAs 红外探测器, 探测器输出的电信号由美国 National Instruments 公司的数据采集卡(NI-6212), 实时传输到笔记本电脑中, 再通过基于 Labview 软件自编的可视化图形界面实时显示光信号对应的电压值。实验中将以上三个主要光学器件水平集成到光学平台中, 借助红外卡片(或可见红光光源)调整光路, 使吸收池透射光垂直入射到探测器光敏面中心, 保证光耦合效率最高。图 1 为激光吸收光谱的原理示意图。

实验中首先选定 C_2H_2 分子吸收谱线波长位置为 1520.08578 nm (纳米), 为了便于观察整个吸收线型轮廓, 设定激光器的波长调谐范围为 1519.8~1520.3 nm, 波长调谐率为 0.001 nm/s, 且与数据采集卡的数据采集显示速度保持一致, 实验中选择 1 Hz, 便于学生观察光强实时变化。依据公式(4)可知, 每一个波长/频率对应一个光强值, 理论上没有介质吸收光时, 探测器输出的电压值保持不变。当入射光频率与 C_2H_2 分子跃迁频率相匹配时, 光强即被 C_2H_2 分子吸收衰减, 相应的探测器输出电信号变小。实际上, 分子吸收谱线受加宽效应的影响, 在分子跃迁频率中心位置的两侧将出现不同程度的吸收, 且吸收轮廓呈一定的对称性分布。

为了让学生更直观的学习朗伯 - 比尔定律, 实验中记录不同压力和浓度下的 C_2H_2 吸收光谱, 如图 2 所示。低压下(1~6 毫巴), 随着纯的 C_2H_2 压力的增加, 吸收物分子数增加, 对应光强吸收量增加, 吸收深度增加。高压下(10^2 ~ 10^3 毫巴), 保持 C_2H_2 浓度不变, 随着压力的增加, 压力加宽效应起主导地位, 线宽明显变宽, 且吸收深度随着压力的增加而逐渐变小。此外, 可以鼓励学生结合公式(2)~(4), 利用一些商业化数据处理软件(如: Origin 和 Matlab)对观测的实验数据进一步分析处理, 反演出样品的压力或浓度信息, 并与实验值进行比对。

5. 总结和展望

本文探讨了将科研项目中的物理定律, 即激光吸收光谱的核心思想: 朗伯 - 比尔定律, 引入到大学

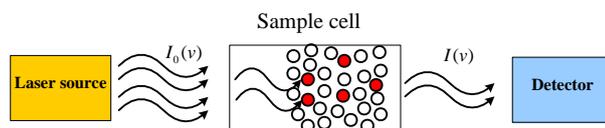


Figure 1. The principle of the laser absorption spectroscopy

图 1. 激光吸收光谱的原理示意图

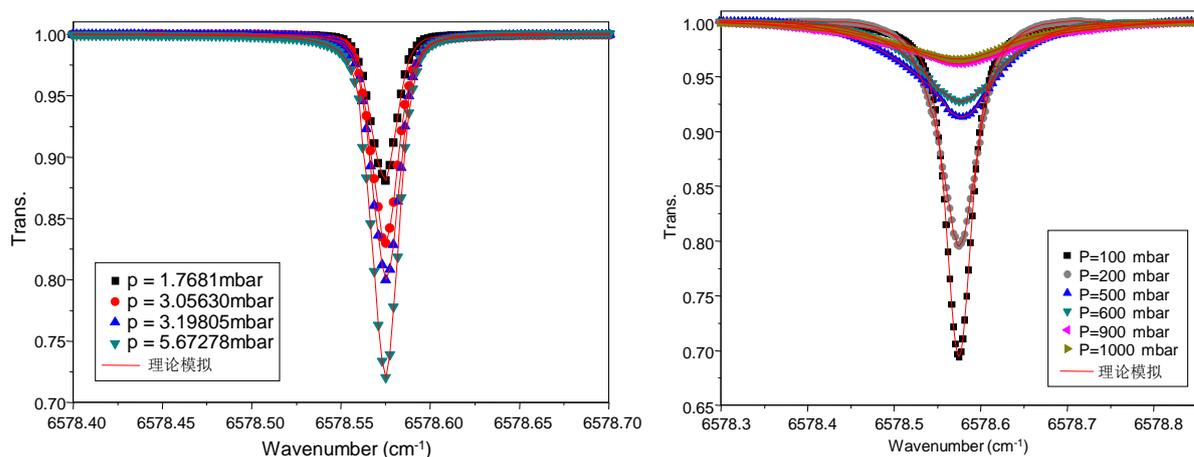


Figure 2. The observed C_2H_2 absorption spectra under different pressures

图 2. 不同压力条件下观察的 C_2H_2 分子吸收谱线

物理实验教学中，为有效推进大学物理实验教学改革提出一种新的研究方法。大学物理实验的教学目的就是培养学生的实际动手能力、思考问题能力和创新意识。将科研中的普适定律带入课堂，把科研成果转化成实验教学内容，提高学生发现问题、思考问题的能力，提升学生数据分析处理技能，激发学生对大学物理实验的学习兴趣，培养学生融入到研究性科研项目中的积极性，使学生利用所学知识 with 技能解决问题，真正实现学有所思和学以致用，并实现教学和科研双赢。

基金项目

国家自然科学基金(61440010)，安徽省高等学校省级质量工程项目(2014tszy004)和安徽大学本科教育质量提升计划项目(xjtszy1401)。

参考文献 (References)

- [1] 于兵川, 吴洪特 (2010) 实验教学与科研有机结合培养学生创新意识和能力. *实验室研究与探索*, **2**, 76-87.
- [2] 於黄忠 (2011) 提高大学物理实验教学质量探讨. *实验科学与技术*, **4**, 106-107.
- [3] 张敏, 何龙庆, 张波 (2009) 大学物理实验教学改革的研究. *大学物理实验*, **1**, 100-102.
- [4] 朱湘萍, 熊文元, 包本刚 (2011) 用科研项目推进大学物理实验教学改革的研究与探索. *大学物理实验*, **3**, 110-113.
- [5] 吴一微 (2006) 对光吸收定律教与学的建议. *湖北师范学院学报*, **2**, 82-84.