

探索课题式教学在大学物理实验中的应用

——以测量微小线度为例

宣自凡, 贾芸*, 王振友, 朱景程

内蒙古工业大学理学院, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2026年1月12日; 录用日期: 2026年2月6日; 发布日期: 2026年2月24日

摘要

课题式教学是一种以学生自主学习为主, 教师指导为辅的教学模式, 是把传统的教学模式转变为教师指导下的学生自主学习的素质教育。本文以微小线度的精确测量为例, 分别采用千分尺、空气劈尖和单丝衍射三种实验方法测量金属丝直径, 并应用最小二乘法处理实验数据, 旨在将该实验作为课题式教育的案例之一。

关键词

课题式教学, 千分尺, 空气劈尖, 单丝衍射, 最小二乘法

Exploring the Application of Project-Based Teaching in College Physics Experiments

—A Case Study on Measuring Microscopic Linear Dimensions

Zifan Xuan, Yun Jia*, Zhenyou Wang, Jingcheng Zhu

College of Science, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot Inner Mongolia

Received: January 12, 2026; accepted: February 6, 2026; published: February 24, 2026

Abstract

Project-based teaching is a teaching model that emphasizes students' independent learning with the teacher's guidance as a supplement. It transforms the traditional teaching mode into a student-

*通讯作者。

文章引用: 宣自凡, 贾芸, 王振友, 朱景程. 探索课题式教学在大学物理实验中的应用[J]. 创新教育研究, 2026, 14(2): 507-512. DOI: 10.12677/ces.2026.142153

centered learning approach under the teacher's guidance, which is a form of quality-oriented education. This paper takes the precise measurement of small dimensions as an example, and measures the diameter of a metal wire using three experimental methods: micrometer, air wedge, and single-slit diffraction. The least square method is applied to process the experimental data. The aim is to use this experiment as one of the cases of project-based education.

Keywords

Project-Based Teaching, Micrometer, Air Wedge, Single-Slit Diffraction, Least Squares Method

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

高等教育以创新教育为核心, 以培养学生的创新精神和创新能力为基本价值取向, 是培养创新人才的教育[1]。《大学物理实验》是学生升入大学后接受系统实验技能训练和实验方法的开始[2]。我校《大学物理实验》课程是面向全校理工类学生开设的公共必修课, 一般跟随《大学物理》课程的授课时间开设, 常常设在第二学期和第三学期, 上课对象是大学一年级和大学二年级的学生。物理实验的基本知识、基本方法、基本技能是该课程的核心内容, 也是从事其他各学科科学实验的重要基础, 具有教授内容多、课程教学周期长, 涉及理工科专业人数最多等特点。目前, 实验题目偏重于经典和基础的验证性实验, 缺少与现代科技新发展、与工程技术相结合的综合性实验和设计性研究实验。教学模式基本还是以教师为主体的讲授式教学, 即教师先详细讲解实验的原理、要求和操作步骤, 然后学生按照教师的讲解按部就班地做实验, 这种方法容易使学生对教师的讲授过于依赖, 不认真预习, 不注重对物理实验思想的理解, 不利于启发学生独立思考以及培养学生的主动性和创新能力。

课题式教学[3]是一种以学生自主学习为主, 教师指导为辅的教学模式, 是把传统的教学模式转变为教师指导下的学生自主式学习的素质教育。课题式教学的主体思想是要求学生能够独立地完成一个课题, 具体工作流程包括: 教师指导学生选题 - 做可行性分析 - 设计实验内容 - 分工协作 - 完成课题。通过这一流程的训练, 培养学生解决科学问题的基本工作技能, 这种模式特别适合在学期末进行。本文的研究目标是通过设计课题式实验题目, 引导学生自己建模, 建立方程, 拟定实验步骤去独立完成操作, 并进行结果的评估, 从而达到培养学生创新能力和工程实践能力的目的。

《大学物理实验》课程教学内容涉及了经典物理学中力、热、光、电学四大部分内容, 根据实验性质的不同, 可分为基础性实验、综合性实验和设计性实验, 首先根据学生实际学情完成一定量的基础性实验, 教学目的是传授大学物理实验的基本实验方法和基本实验技能, 培养学生良好实验习惯和科学的思维方法, 重点是基本实验技能的训练, 要求学生严格遵守操作规范, 掌握最基本的实验技能, 熟悉常用实验仪器的使用方法。然后, 利用课题式教学提高学生创新能力。

微小线度的精确测量直接影响其力学性能和导电性能的评估。传统的接触式测量方法(如螺旋测微器)操作简单, 但易引入人为误差; 现代光学和电学方法则通过非接触手段提高了测量精度。本文以测量微小线度为实验课题, 使用螺旋测微器、空气劈尖、单丝衍射等三种方法分别测量了金属丝的直径并计算相应的实验不确定度, 旨在将该实验作为课题式教育的案例之一。

2. 实验原理及实验内容

2.1. 千分尺

千分尺又叫螺旋测微器，是利用机械螺旋放大原理，通过精密螺纹旋转推动测砧与测微螺杆接触样品。读出零值偏移后将薄玻璃片夹在测砧之间，读取主尺和微分筒刻度。千分尺测量精度为 0.01 mm，能够估读到 0.001 mm，具有操作简便、容易测量的优点。多次测量后计算不确定度[4]，A 类标准不确定度 u_A 计算公式为(1)式：

$$u_A(d) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n(n-1)}} \quad (1)$$

式中 n 为测量总次数， d_i 为第 i 次测量值， \bar{d} 为测量 n 次算术平均值作为约定真值。B 类不确定度按仪器不确定度均匀分布处理后的计算式为(2)式：

$$u_{B2} = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

合成标准不确定度按照(3)式计算：

$$u(d) = \sqrt{u_A^2(d) + u_{B2}^2(d)} \quad (3)$$

2.2. 空气劈尖

将待测金属丝夹在两块平板玻璃之间制成空气劈尖，在读数显微镜下观测空气隙产生的干涉条纹，设金属丝直径为 d ，劈尖棱线到金属细丝处的距离为 L ，相邻暗条纹间距为 l ，则待测厚度 d 的计算公式为(4)式，其中 λ 为入射光波长。

$$d = \frac{L}{l} * \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

设第 k 级暗条纹中心的位置坐标为 x_k (用显微镜读数测量)。理论上，该位置对应的空气膜厚度 h_k 满足 $h_k = k * \frac{\lambda}{2}$ ，由于劈尖的夹角 θ 非常小， $\theta \approx \text{tg}\theta = \frac{h_k}{x_k}$ 。同时，待测金属丝直径 d 满足 $d = L * \theta$ ，将这几个关系联系起来

$$x_k = \frac{h_k}{\theta} = \frac{k\lambda}{2\theta} \stackrel{d=L\theta}{\Rightarrow} b = \frac{\lambda}{2\theta} \text{ 则 } x_k = bk \quad (5)$$

由式(5)可得条纹位置 x_k 与条纹级次 k 成正比例关系。根据截距为零直线的最小二乘法[5]拟合公式(6)计算斜率 b 利用毫米刻度尺测出暗纹总长 $L = 50.0$ mm 后，代入式 $d = \frac{\lambda L}{2b}$ 计算出金属丝直径。

$$b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} \quad (6)$$

2.3. 菲涅尔单丝衍射

在光学导轨上依次放入半导体激光器，待测金属丝，接收白屏，调节激光垂直照射金属丝，调节接收屏及激光器距离呈现出清晰的干涉条纹，中央是宽而亮的明纹(主极大)，两侧对称分布着暗纹和次级明纹，根据巴比涅原理[6]及单缝衍射公式得到待测线度为式(7)：

$$d = \lambda \frac{kD}{x_k} \quad (7)$$

式中 x_k 为第 k 级暗条纹中心位置, D 为细丝到白屏的距离, 单丝衍射中央明纹宽度是其他亮纹宽度的二倍, 由(7)式推导公式 $x_k = k \frac{\lambda D}{d}$ 可以看出 x_k (暗纹位置)与暗纹级次 k 成严格的线性关系, 令 $b = \frac{\lambda D}{d}$, 得出线性关系式 $x_k = bk$, 通过精确测量多组 (k, x_k) 数据, 拟合出截距为零直线斜率 b 后, 待测线度为(8)式:

$$d = \frac{\lambda D}{b} \quad (8)$$

由最小二乘法理论[2], 斜率标准差计算为(9)式

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - bx_i)^2}{n-1}} \quad (9)$$

$$s_b = \sqrt{\frac{\sum (y_i - bx_i)^2}{(n-1)\sum x_i^2}}$$

斜率等参量的 A 类扩展不确定度为(10)式

$$u = \frac{t_{n-2}}{\sqrt{n}} \cdot s \quad (10)$$

其中 $t_{(n-2)}$ 是概率为 0.95, 自由度为 $n-2$ 时的 t 分布因子, 本文中取 $t = 2.78$ 。

忽略单次测量引起的不确定度。 y_i 为测量过程中第 i 次测量因变量结果, x_i 为测量过程中第 i 次测量自变量, b 为斜率。合成不确定度为(11)式

$$u(d) = \bar{d} \frac{u(b)}{b} \quad (11)$$

3. 实验结果及分析

3.1. 千分尺测量结果及实验误差

用千分尺测量金属丝直径 d , 在不同位置处测 5 次, 数据填入表 1。

Table 1. Measuring the diameter of a metal wire with a micrometer (micrometer zero-point offset $\varepsilon = 0.005$ mm)

表 1. 千分尺测量金属丝直径(千分尺零值偏移 $\varepsilon_{\text{零}} = 0.005$ mm)

次数 i	1	2	3	4	5	\bar{d}
d_i (mm)	0.150	0.149	0.148	0.145	0.147	0.1478

根据式(1)、(2)、(3)计算不确定度, 测量结果表示为 $d = (0.1478 \pm 0.0038)$ mm, $E = 2.7\%$, $p = 0.683$ 。

由朱鹤年教材[5]中(1.13)式, 置信概率为 0.95 的合成扩展不确定度关系为合成标准不确定度的 2 倍可得千分尺测量方法的测量结果为 $d = (0.1478 \pm 0.0076)$ mm, $E = 5.1\%$, $p = 0.95$ 。

3.2. 空气劈尖干涉法测量结果及实验误差

用显微镜读取测量暗条纹位置 x_k , 测量数据如表 2 所示, 利用(6)式拟合出(5)式中的斜率 $b = 1.0529$ mm/级, 利用毫米刻度尺测出暗纹总长 $L = 50.0$ mm 后, 可计算出金属丝直径 $d = 0.1399$ mm。

根据(9)~(11)式计算得 $d = (0.1399 \pm 0.0051) \text{ mm}$, $E = 3.6\%$, $p = 0.95$ 。

Table 2. Measurement data using the air wedge method (wavelength $\lambda = 589.3 \text{ nm}$)

表 2. 空气劈尖法测量数据(波长 $\lambda = 589.3 \text{ nm}$)

级数 k	5	6	7	8	9
x_k (mm)	1.420	1.509	1.610	1.739	1.842

3.3. 菲涅尔单丝衍射测量结果及实验误差

由(7)式可简化公式 $x_k = k \frac{\lambda D}{d}$ 可以看出 x_k (暗纹位置)与暗纹级次 k 成严格的线性关系, 令 $b = \frac{\lambda D}{d}$, 则 $x_k = bk$, 通过精确测量多组 (k, x_k) 数据, 测量数据如表 3 所示, 根据(6)式计算回归斜率 $b = 3.33 \text{ mm}$, $D = 0.700 \text{ m}$, $\lambda = 650 \times 10^{-9} \text{ m}$ 代入(8)式解出待测线度 $d = 0.1366 \text{ mm}$ 。根据(9)~(11)式计算出金属丝直径和不确定度表示为 $d = (0.1366 \pm 0.0010) \text{ mm}$, $E = 0.73\%$, $p = 0.95$ 。

Table 3. Single-slit diffraction measurement data sheet (wavelength $\lambda = 650.0 \text{ nm}$)

表 3. 单丝衍射测量数据表(波长 $\lambda = 650.0 \text{ nm}$)

暗纹级次	位置 x_{+k} (mm)	位置 x_{-k} (mm)	中心 $x_0 = \frac{1}{2}(x_{+k} + x_{-k})$	平均距离 $x_k = \frac{ x_{+k} - x_0 + x_{-k} - x_0 }{2}$
1	25.240	31.400	28.32	3.08
2	21.615	35.550	28.58	6.97
3	18.341	38.890	28.62	10.27
4	14.840	40.949	27.89	13.05

4. 结语

三种测量方法中, 千分尺的棘轮压力容易导致金属丝发生微小弹性形变, 从而引起系统误差较大; 空气劈尖测量方法是利用等厚原理测量微小线度, 劈尖的棱在实际观察中并非绝对的暗线, 而是一个区域, 判断零级暗纹位置存在很大程度的主观性和不确定性, 从而直接影响线度计算。单丝衍射方法利用所有数据点(通常取 $k=1, 2, 3, 4$ 级)共同确定斜率, 有效减少了单点读数误差和条纹中心定位误差的影响。通过应用最小二乘法, 将光学测量实验从简单的手工计算提升到了科学数据分析的层面, 得到的测量结果更可靠、更精确, 符合现代实验物理学的要求。

随着逐渐弱化期末统一考试的趋势, 如何客观、真实地评价学生实验成绩是需要解决的主要问题。尝试在教学过程中引入课题式教学模式, 教师根据学生的专业首先讲解基本实验方法与技能(例如千分尺的使用), 学期中给学生提供拓展知识(例如等厚干涉测量纸的厚度、单缝衍射测量缝宽), 在临近期末时提出创新题目(例如多种方法测量金属丝直径), 学生自由组队并查阅文献, 自行测量后写出实验报告。过程考核以及结果考核分别设置相应权重, 并作为期末的考核成绩。对于专业实验由于学生人数较少可以采用课题式教学模式进行评定, 对于全校学生都必修的公共课该模式还需进一步完善。

实践表明传统教学模式使学生感到枯燥无味。课题研究教学模式则为学生提供了一个独立发现问题、思考问题、解决问题的环境, 促使他们能够自觉地深入学习。一方面学生进行课题式实验研究的过程就是充分利用图书馆、实验室, 培养查阅资料和独立科研能力的有益探索; 另一方面通过撰写小论文性质的课题报告和参加课题答辩又可以锻炼他们的书面及口头表达能力、抽象思维能力和逻辑推理能力。课

题研究教学模式采取平等研讨自由、双向交流的形式有利于激发学生创造性思维的火花,有利于建立平等和谐的师生关系,对实验任课教师深入开展教研也能起到很好的促进作用。课题实验研究过程中那些理论基础扎实创新意识强的学生往往能脱颖而出动手能力差的学生也一目了然。

基金项目

内蒙古工业大学校级教改一般项目 2024249; 内蒙古工业大学示范性实验项目 SFSY2024007; 内蒙古工业大学项目 RC2023006 大学物理实验。

参考文献

- [1] 王铁云. 改革物理实验教学模式培养学生创新能力[J]. 实验室研究与探索, 2007, 26(8): 6-8.
- [2] 张占新, 王汝政, 王凤鸣. 大学物理实验教学改革措施与实践[J]. 大学物理实验, 2013(6): 108-110.
- [3] 戴存礼, 赵艳艳, 吴威. 人工智能在分层进阶教学中的应用——以南京农业大学《物理学》为例[J]. 科技风, 2024(11): 85-87.
- [4] 吕军, 王景峰. 大学物理实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2018: 16-19.
- [5] 朱鹤年. 新概念基础物理实验讲义[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013: 12-22.
- [6] 刘俊, 周荣浩, 赵嵩卿. 利用激光衍射法测量超细丝的直径[J]. 大学物理, 2024, 43(7): 46-49.