

大学物理实验教学中弗兰克-赫兹实验的探究性任务设计研究

张震

青岛恒星科技学院, 山东 青岛 266100

DOI:10.61369/EIR.2026030017

摘要: 从探究性学习视角重构弗兰克-赫兹实验教学, 对深化学学生对量子理论的理解、培养科学探究能力具有核心价值。当前实验设计存在验证性强、探究深度不足等问题。本文基于科学性、开放性、层次性原则, 构建基础观察、进阶优化、拓展迁移三层递进式任务链。基础层强化现象观察与原理内化, 进阶层聚焦参数优化与误差溯源, 拓展层引导思想迁移至新型材料研究。该设计借结构化探究路径激发学生创新思维, 为物理实验教学改革蓄力。

关键词: 大学物理; 实验教学; 弗兰克-赫兹实验; 探究性任务

Research on Inquiry-Based Task Design for the Franck-Hertz Experiment in College Physics Experimental Teaching

Zhang Zhen

Qingdao Hengxing University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266100

Abstract: Reconstructing the Franck-Hertz experiment teaching from the perspective of inquiry-based learning holds significant value in deepening students' understanding of quantum theory and cultivating their scientific inquiry abilities. However, current experimental designs often suffer from strong verification tendencies and insufficient depth in inquiry. Based on the principles of scientificity, openness, and hierarchy, this paper constructs a three-tiered progressive task chain consisting of basic observation, advanced optimization, and extended transfer. The basic level strengthens phenomenon observation and principle internalization, the advanced level focuses on parameter optimization and error tracing, and the extended level guides the transfer of ideas to the study of novel materials. This design stimulates students' innovative thinking through a structured inquiry path and lays the groundwork for reforming physics experimental teaching.

Keywords: college physics; experimental teaching; Franck-Hertz experiment; inquiry-based tasks

引言

弗兰克-赫兹实验是验证原子量子化能级的关键实践, 但传统教学多停留于数据验证, 弱化了其探究价值。随着新工科对创新人才的需求升级, 亟须将实验转化为能力培养的载体。探究性学习以问题驱动为核心, 契合学生认知规律, 能有效激活批判性思维。由此可立足实验内容本质, 结合探究性学习理念, 提出分层任务设计框架, 继而突破机械操作局限, 引导学生经历假设、验证、反思的科学过程, 为实验课程注入高阶思维训练元素, 推动物理实验教学从技能传授向素养培育转型。

一、核心概述

(一) 弗兰克-赫兹实验的核心内容

在大学物理实验教学中, 弗兰克-赫兹实验的价值并不止于让学生记住“第一激发电位”的结果, 更重要的是借助可视化的实验过程, 将原子能级量子化该抽象知识转化为可观察、可讨论、可解释的教学对象。教学实施时, 教师应将实验内容组织为

现象、解释、建构三层递进过程, 引导学生从电流-电压曲线的周期性峰谷出发, 追问电子在管内运动过程中究竟经历了什么。学生在分析曲线变化时, 往往容易停留在“电流增大或减小”的表面描述, 教学中需进一步推动其将曲线形态与电子同汞原子碰撞前后的能量变化联系起来, 逐步理解激发态、非弹性碰撞、第一激发电位等核心概念之间的内在关系。此类教学处理有助于打通原子物理与基础量子理论之间的知识界面, 使学生认识到实验

曲线并非孤立数据，而是微观能量跃迁规律的外显表征。对实验核心内容的把握，最终应落脚于学生能否用实验事实解释理论命题，而不是仅凭教师讲解接受既定结论。

（二）探究性学习的核心理念

将探究性学习引入弗兰克-赫兹实验教学，关键在于简单增加提问数量，而在于重构学生参与实验的方式，使其从按部就班完成操作的执行者，转变为围绕问题主动分析和验证的学习主体。传统实验课中，学生常依据既定步骤采集数据、绘制曲线、填写结论，实验过程虽然完整，却容易形成重结果、轻思考的学习惯性。探究性教学则强调以问题驱动实验展开，例如，围绕峰谷为何出现、峰间距为何近似相等、实验条件变化为何影响曲线形态等问题组织学习活动，使学生在查阅资料、提出假设、讨论方案和解释现象的过程中形成对实验原理的主动建构。教师在其中承担的并非替代性讲授，而是为学生提供必要的认知支架，帮助其在关键节点上辨析概念、修正判断、深化理解。与此同时，教学评价也应从单一结论转向过程表现，重视学生在观察、比较、论证和反思中的思维发展。只有当“做实验”与“想实验”真正结合起来，弗兰克-赫兹实验才能从验证性项目转化为具有育人深度的探究性教学资源。

二、弗兰克-赫兹实验探究性任务设计原则

（一）科学性与适切性

弗兰克-赫兹实验探究性任务的设计，首先要建立在实验物理本质之上。教学中的任务不能脱离电子与原子碰撞、能量量子化、电流-电压曲线变化等核心内容，否则探究就会偏离实验主线，变成与物理实质脱节的活动安排。对于大学物理实验教学而言，所谓探究，不是降低理论要求，也不是用热闹的课堂形式替代严谨的实验分析，而是让学生在观察现象、解释机制和归纳规律的过程中逐步接近实验结论。与此同时，任务设计还要考虑学生的知识基础和认知承受能力。弗兰克-赫兹实验涉及若干较抽象概念，若问题抛出过急、难度过高，学生容易停留在概念拼接和术语复述层面。教学中应将任务建立在学生已有的电学和原子物理知识基础上，将复杂原理拆解为可感知、可分析、可讨论的问题，使其在理解实验现象的过程中完成理论再建。只有同时兼顾科学边界与学生实际，探究任务才具有真正的教学效度。

（二）开放性与引导性

探究性任务的设计既要给学生留下思考空间，又不能失去必要的教学引导。弗兰克-赫兹实验具有较强的理论指向性，如果任务完全封闭，学生往往只是按照既定步骤完成操作和记录，难以形成主动分析。如果任务过度开放，学生又可能陷入泛泛讨论，难以把握峰谷变化、能量损失和激发电位之间的关键联系。因此，教学设计应将开放性落实在问题生成和解释路径上，例如允许学生围绕曲线变化原因、影响因素和判据选择提出不同理解，再借讨论和比较逐步形成较为合理的认识。引导性则体现在教师适时搭建分析框架，帮助学生区分关键概念、理清思路、修正偏差。其引导并非直接给出答案，而是利用追问和提示推动学

生将注意力重新集中到实验本质上。就教学效果而言，真正有效的探究任务，不是让学生自由发散，也不是让学生被动接受，而是在适度开放的情境中完成有方向的思维展开。

（三）层次性与递进性

弗兰克-赫兹实验探究性任务的设计应体现清晰的层次安排，使学生的认识能够沿着由表及里、逐步深入的路径展开。大学物理实验教学中的不少困难，并不源于实验本身过难，而在于任务设置缺乏递进关系，学生一开始就面对复杂判断，结果往往只能依赖教师讲解，探究过程难以真正发生。基于此，教学中应先从实验现象的观察入手，引导学生识别I-U曲线中的峰谷特征，形成对问题的直接感受。随后再进入物理解释层面，将曲线起伏与电子碰撞、能量转移联系起来。在此基础上进一步转向条件分析、误差辨析和方案优化，使学生由看现象走向析原因。此种层次推进不仅有助于不同基础学生进入学习过程，也能使前一阶段的观察和讨论成为后一阶段分析的依据。探究任务的层次性，实质上是将学生的思维发展过程纳入教学设计之中，使实验课形成连续的认知链条，而不是若干分散问题的简单叠加。

三、大学物理实验教学中弗兰克-赫兹实验的探究性任务设计

（一）基础层任务，实验现象的观察与原理再认

基础层任务的设置，重点不在于让学生迅速给出标准答案，而在于帮助其在真实观察中形成问题意识，并借由问题回到原理本身。弗兰克-赫兹实验虽然是经典实验，但对初次接触该实验的学生而言，电流-电压曲线中的峰谷特征并不是天然自明的，许多学生能够看到曲线起伏，却难以立刻将该周期性变化与电子和原子的碰撞过程联系起来。因此，教学安排上宜先借助预实验让学生获得直观印象，使其在连续调节加速电压、实时观察曲线变化的过程中，注意到电流并非单调上升，而是在若干电压区间内出现反复的增强与减弱。教师在此阶段不宜急于解释，而应将重点放在引导学生准确描述现象，如峰谷出现的位置、相邻峰之间的大致间隔、不同区段曲线斜率的变化等，由此将看见现象转化为能提出问题。

在此基础上，第二项任务可转向原理再认。教师可要求学生结合教材和实验指导资料，自主梳理弹性碰撞与非弹性碰撞的差异，并尝试用区分解释曲线峰谷的形成机制。其不是让学生背诵定义，而是让其将概念用于解释具体实验过程。当电子在电场中被加速到一定能量后，与汞原子发生非弹性碰撞，部分动能转移给原子，使电子失去继续克服拒斥电压的能力，电流因而减小。随加速电压继续升高，后续电子再次获得足够能量，电流重新增加。经过分析，学生会逐步意识到，曲线上的每一次显著起伏都不是偶然波动，而是微观能量交换在宏观测量中的重复呈现。第三项任务则可进一步引导学生比较不同加速电压条件下曲线的变化，归纳“第一激发电位”的实验判据。教学中应鼓励学生从“峰间距近似恒定”的事实出发，思考何种量更适合作为判断依据，进而建立从现象识别、机制解释到判据提炼的完整认识链

条。基础层任务若处理得当，学生获得的就不只是某一实验结论，而是一种由观察进入解释、再由解释走向概括的学习经验。

（二）进阶层任务，实验条件的优化与误差分析

在学生能够对基本实验现象作出初步解释之后，教学重心应适时转向实验条件与测量质量之间的关系，使探究活动由理解现象进一步过渡到分析实验。该任务之所以重要，在于大学物理实验教学不能停留在验证理论的层面，还应帮助学生认识到，任何实验结果都受到装置条件、参数设置和环境因素的共同制约。就弗兰克-赫兹实验而言，灯丝电压和拒斥电压是影响曲线形态的关键变量。教学中可先组织学生围绕两个参数展开讨论，不要求立即进行复杂操作，而是先从物理意义上分析。灯丝电压变化会影响阴极电子发射强度，进而影响曲线整体幅值和信号清晰度。拒斥电压变化则会改变低能电子能否到达阳极的条件，从而对峰谷形态和转折位置产生影响。在此基础上，再引导学生设计单变量控制思路，明确实验中应保持哪些条件恒定、如何比较不同参数下曲线的差异。如此，有助于学生理解实验优化并非盲目调参，而是有根据地识别变量作用。

误差分析任务则是进阶层的另一重点。传统实验教学中，误差部分常被简化为结尾处的例行书写，学生往往机械列举若干原因，却缺少与具体实验现象的对应。对此，教师应将误差讨论嵌入任务过程之中，使学生在观察曲线偏移、峰间距不均或峰值不明显等现象时，自然追问其来源。接触电势差、气体纯度、温度稳定性以及装置老化等因素，都可以成为教学讨论的切入点，但更重要的是引导学生分析相应因素究竟会以何种方式影响结果。例如，接触电势差可能引起测得激发电位与理论值之间的系统偏移，气体状态不稳定则可能使碰撞条件发生变化，导致曲线重复性下降。第三项任务可围绕“峰值不明显”此常见问题展开，引导学生提出改进设想，如优化阴极材料、调整管内工作条件、改善信号采集方式等。教师此时不必强调方案是否立即可实施，而应重视学生能否依据前面的观察和分析提出有物理依据的改进思路。如此，学生面对实验结果时就不再满足于“测出来”，而开始学会追问“为什么这样测出来、怎样才能测得更好”，其是实验能力提升的重要标志。

（三）拓展层任务，实验思想的迁移与应用联想

拓展层任务的意义，不在于增加若干附加知识点，而在于将学生对弗兰克-赫兹实验的理解，从单个实验项目内部延伸到更广阔的物理认识与实验方法层面。大学物理实验教学如果只停留

于操作与结论，学生对经典实验的认识容易局限为一次课程要求中的既定项目，其历史价值、方法意义和现实关联难以真正进入学习经验。为此，教学中可将第一项拓展任务设置为文献查阅与背景追溯，要求学生了解弗兰克-赫兹实验产生的学术背景，以及其对量子理论早期发展的推动作用。需要强调的是，任务不应被处理成单纯的科学史补充材料，而应服务于学生对实验意义的再认识。借助阅读和讨论，学生能够体会到，实验并不是对既有理论的机械附和，而是在理论尚未稳固之时提供关键证据的研究活动。如此，有助于学生建立更为完整的科学观。

第二项任务可联系现代科技情境，引导学生思考原子碰撞能量测量思想在现实中的应用。等离子体诊断、气体放电研究以及部分电子器件设计，都涉及微观粒子能量状态与宏观可测信号之间的关系。教学中不宜将相应应用展开为专业知识讲授，而应侧重方法层面的关联，让学生意识到，弗兰克-赫兹实验所体现的并不是一项过时技术，而是借外显物理量推断微观结构信息的典型思路。第三项任务则可将认识进一步上升到方法论层面，经过与光电效应等实验作类比，引导学生总结“借助宏观测量揭示微观规律”的实验范式。学生在比较中会发现，此类实验虽然对象不同、装置不同，但都涉及从可记录、可重复的实验数据中提炼对微观世界的解释。教师在该阶段的任务设计，应尽量促使学生将前面获得的具体现象认识转化为更稳定的实验观念，即实验不仅用来验证知识，也用来生成知识。不仅呈现结果，也提供通向理论的证据路径。拓展层任务如果能够达到此层面，弗兰克-赫兹实验在教学中的功能就不再局限于一次原子物理实验训练，而会转化为学生理解物理学研究方式的重要支点。

四、结语

弗兰克-赫兹实验的探究性任务设计，基于基础、进阶、拓展三层结构，构建了现象认知、方法优化、思想迁移的能力培养路径。该设计不仅深化了学生对电子-原子碰撞机制的理解，更在参数调控、误差归因、跨学科联想中锤炼了实证精神与创新意识。分层任务链能适配不同学生认知水平，显著提升实验参与度与思维深度。未来可进一步融入数字化工具，探索虚拟仿真与真实操作的融合模式，持续完善探究性实验的生态体系，为理工科实验教学提供普适性参考。

参考文献

- [1] 金国强, 张红美, 孔德国, 等. “大学物理实验 A” 课程教学中存在的问题及对策 [J]. 西部素质教育, 2026, 12(02): 174-177.
- [2] 高超, 刘树龙. 工程教育专业认证视野下大学物理实验教学改革的探索 [J]. 长春工程学院学报 (社会科学版), 2025, 26(04): 149-152.
- [3] 徐瑛, 陈长波, 孙松阳, 等. 多平台、多维度深度融合教学模式创新与实践——以理工科院校大学物理实验为例 [J]. 大学物理实验, 2025, 38(06): 115-118.
- [4] 王槿, 李川勇, 孔勇发, 等. 物理学育人模式改革虚拟教研室与实验教学示范中心的协同发展探究 [J]. 物理实验, 2025, 45(12): 24-30.
- [5] 侯仰龙, 沈韩, 陈文多, 等. “新工科” 大学物理实验线上线下混合教学的探索与实践 [J]. 物理与工程, 2025, 35(06): 200-207.