

问题驱动与多模态教学法在抽象物理概念教学中的应用研究

——以“多普勒效应”为例

杜娟, 杨红卫, 杨倩倩

北京工业大学物理与光电工程学院, 北京

收稿日期: 2025年6月30日; 录用日期: 2025年7月29日; 发布日期: 2025年8月5日

摘要

针对多普勒效应教学中概念抽象性强、物理建模困难及理论与实践脱节等核心问题, 本研究提出“问题驱动-多模态协同”教学模式。通过构建分层问题链(现象感知→理论建模→实践迁移), 整合动态动画仿真、手机实验、轻量化智能工具及虚拟应用等多模态工具, 实现抽象物理概念的具象化。研究表明, 该模式以真实场景为锚点激发探究动机, 通过多感官协同降低认知负荷。问题链的阶梯式引导促进学生从现象观察向物理建模深化, 多模态工具的互补性应用则打通知识迁移路径, 有效解决概念混淆与建模困难。该框架为抽象物理概念教学提供了系统化设计范式, 并探索教育数字化新形态的轻量化实践路径, 对推动理工科物理教育改革具有实践意义。

关键词

问题驱动教学, 多模态学习, 抽象概念, 教育数字化创新, 多普勒效应

A Study on the Application of Problem-Driven and Multimodal Pedagogy in Teaching Abstract Physical Concepts

—A Case Study of the Doppler Effect

Juan Du, Hongwei Yang, Qianqian Yang

School of Physics and Optoelectronic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing

Received: Jun. 30th, 2025; accepted: Jul. 29th, 2025; published: Aug. 5th, 2025

文章引用: 杜娟, 杨红卫, 杨倩倩. 问题驱动与多模态教学法在抽象物理概念教学中的应用研究[J]. 教育进展, 2025, 15(8): 248-255. DOI: 10.12677/ae.2025.1581430

Abstract

To address core challenges in Doppler effect instruction—including conceptual abstraction, difficulties in physical modeling, and the theory-practice disconnect—this study proposes a “Problem-Driven and Multimodal Collaborative” instructional model. By constructing a hierarchical problem chain (phenomenon perception→theoretical modeling→practical transfer) and integrating multimodal tools such as dynamic animation simulations, smartphone experiments, lightweight intelligent tools, and virtual applications, this model concretizes abstract physical concepts. Research demonstrates that the approach uses authentic scenarios to motivate inquiry, reduces cognitive load through multisensory synergy, and deepens students' progression from observational phenomena to physical modeling via tiered problem-chain guidance. Complementary multimodal tools further facilitate knowledge transfer, effectively resolving conceptual confusion and modeling difficulties. This framework provides a systematic design paradigm for teaching abstract physical concepts, while exploring lightweight implementation pathways for digital transformation in education, offering practical significance for advancing STEM physics pedagogy reform.

Keywords

Problem-Driven Instruction, Multimodal Learning, Abstract Concepts, Digital Education Innovation, Doppler Effect

Copyright © 2025 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

多普勒效应作为波动学中的核心概念，揭示了波源与观察者相对运动时频率变化的物理规律。其原理在交通测速、医学超声、天文观测等领域具有广泛应用，是大学物理课程中连接基础理论与工程实践的重要桥梁。然而，这一概念的教学长期面临显著挑战：一、抽象性高：学生易混淆“波源频率”与“接收频率”，难以理解动态传播中波长与频率的关联性；二、传统教学局限：单向讲授模式依赖公式推导，缺乏直观现象支撑，导致学生被动接受知识，难以建立物理模型与实际场景的联系。近年来，教育领域倡导以学生为中心的创新教学模式[1]，强调通过真实问题激发学习动机，并借助多模态工具降低认知负荷。如何将抽象的物理概念转化为可感知、可探究的学习过程，成为提升理工科学生物理素养的关键。

本研究以多普勒效应为切入点，探索问题驱动[2]与多模态教学法[3] [4]在抽象物理概念教学中的协同作用，具有双重意义。在理论价值方面，能验证“问题链引导 + 多感官刺激”教学模式的有效性，为物理教育研究提供新视角。在实践价值方面，一方面可以通过交通测速等真实问题，帮助学生从现象感知过渡到理论建模，培养科学思维与创新能力，另一方面，可以为教师提供可复用的教学设计方案(如动画演示波前压缩、手机模拟音调变化)，破解“重公式、轻应用”的教学困境。

当前，问题驱动教学法与多模态教学在理工科教育中已有初步探索[5]-[7]。Jonassen 指出，问题链设计能够促进学生从被动接受转向主动探究，结构化问题链能促进学生高阶思维发展[8]。Mayer 的多媒体学习理论[9]则强调“图文声像”协同可提升记忆留存率，其学习原则进一步证明，多感官协同可显著降低抽象概念的认知负荷。国内研究多聚焦于语言类、工程类课程，但对物理抽象概念的应用研究较少[10]

[11], 现有研究仍存在以下缺口: 1) 物理教学中的问题设计往往脱离实际场景, 难以激发学生兴趣; 2) 多模态工具的应用碎片化, 未能形成“现象观察→理论推导→技术应用”的完整闭环; 3) 智能教育新形态的轻量化应用尚未普及, 借助通用平台实现实时学情反馈等低成本解决方案仍有探索空间。

本研究旨在构建“问题驱动-多模态协同”教学模式, 并以多普勒效应教学为例, 解决以下问题:

一、如何设计层次化问题链: 从场景认知(救护车鸣笛、火车驶过)到场景应用(交通测速), 逐步引导学生建立物理模型;

二、如何整合多模态工具: 通过动画模拟波前分布、手机实验感知音调变化、轻量化智能工具实时调控教学、虚拟仿真展示生活应用, 实现抽象概念具象化;

三、如何构建效果验证的理论框架: 结合认知诊断理论, 设计多维评估指标(定量测试 + 学习反馈 + 行为观察), 为实证提供方法论基础。

本文首先剖析多普勒效应的教学难点, 提出“问题驱动-多模态协同”教学设计框架; 其次, 详细阐述教学实施过程(问题链构建、多模态工具设计); 最后, 通过理论推演阐释该模式对科学思维与知识迁移的作用机制, 为理工科物理教学改革提供参考。

2. 教学难点剖析与教学设计框架

2.1. 多普勒效应教学的核心难点剖析

本课程的学生为理工类专业, 本科大一下学期学生。基于学情分析与课堂反馈, 本研究发现多普勒效应的教学难点可归纳为以下三方面:

一、概念混淆: 波源频率与接收频率的认知冲突。传统教学中公式推导优先于现象观察, 学生缺乏对“相对运动”动态过程的直观认知。学生普遍认为“频率是波的固有属性”, 难以理解观察者运动导致的感知频率变化。

二、物理建模困难: 多变量动态关系的抽象性。单向讲授模式忽视学生认知规律, 未通过分层问题引导建模过程。学生无法有效区分三种运动场景(波源运动、观察者运动、两者同时运动), 导致公式记忆混乱。

三、理论与实践的割裂: 应用场景的认知空白。教学中案例单一, 未能有效连接物理原理与生活实际。学生虽能计算频移公式, 但对常见现象(如火车鸣笛音调变化)或基础应用(如交通测距)缺乏知识迁移能力。

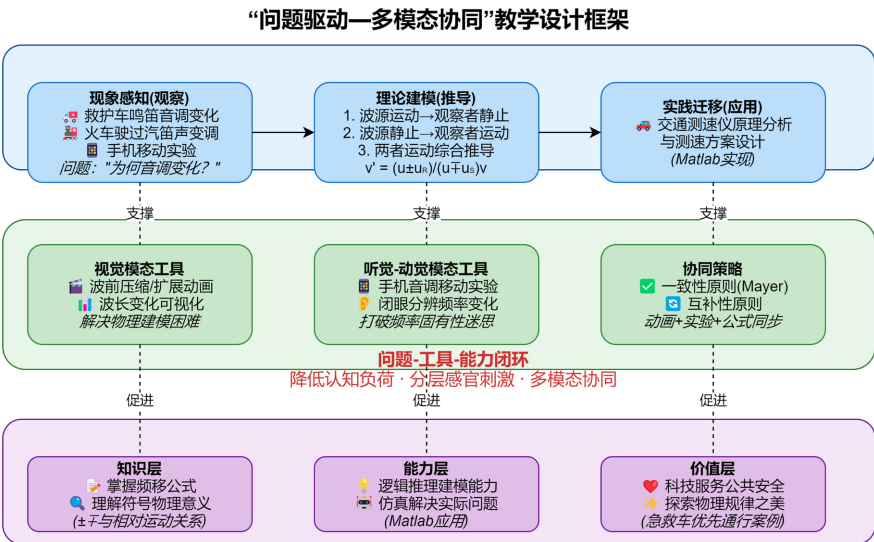


Figure 1. Diagram of the instructional design framework
图 1. 教学设计框架图

2.2. “问题驱动 - 多模态协同” 教学设计框架的构建

为解决上述难点,本研究提出“问题驱动 - 多模态协同”框架(见图 1),包含问题链引导、多模态工具支撑、分层能力培养三大模块,具体设计如下。

2.2.1. 问题链引导: 从现象到本质的阶梯式探究

问题设计遵从真实性和层次性两大原则。以生活场景(如救护车鸣笛、火车驶过、交通测速仪)为锚点,激发学生兴趣。例如提问:“为何救护车靠近时音调变高?”。问题链设计遵循“现象感知(观察) - 理论建模(推导) - 实践迁移(应用)”三阶逻辑框架(见图 1),具体实施案例详见第三部分。问题解决路径分为建模阶段和验证阶段。在建模阶段,分场景(波源运动→观察者运动→两者同时运动)推导公式,每一步匹配动画演示与板书推导。例如,通过动画展示波源移动时波前的压缩过程,学生观察波长变化并推导公式。在验证阶段,通过低成本实验(如手机播放固定频率音源并移动,学生闭眼分辨音调变化,直观感知频率差异)验证理论结果。

2.2.2. 多模态工具支撑: 降低认知负荷的关键策略

在教学设计中,多模态工具通过分层感官刺激与协同作用,能有效降低多普勒效应这一抽象概念的认知负荷。首先,工具设计遵循“感官适配”逻辑。视觉模态:利用动态动画直观展示波前压缩与扩展过程,将抽象的波长变化转化为可视化的波阵面运动,解决学生“物理建模困难”问题;听觉 - 动觉模态:通过手机演示实验让学生亲历音源移动时的音调变化,以听觉差异与肢体动作打破“频率固有性”迷思。其次,多模态工具的协同遵循两大原则。一致性原则:动画中的波速(u)、观察者速度(u_R)、波源速度(u_S)等标注与公式变量严格对应,避免图文冲突导致的认知负荷;互补性原则:实验现象与动画机制互为补充,例如手机实验后回放波前动态图,解释“音调变化源于波长压缩而非波源频率改变”,从感官体验与理论推导双路径深化理解。此外,实时反馈工具(如问卷星)遵循认知负荷即时调控原则[12],可通过学情可视化实现教学动态调整。通过多模态工具的系统整合,学生得以从“现象感知”过渡到“本质抽象”,最终实现“实践迁移”,形成完整的学习闭环。

2.2.3. 分层能力培养: 从知识到创新的目标递进

教学设计以“知识 - 能力 - 价值”三阶目标为导向,逐步实现学生能力的全面提升。知识层:通过分场景推导多普勒频移公式,帮助学生掌握波动学核心规律;能力层:以“波源运动、观察者运动、两者同时运动”等场景建模训练逻辑推理能力,引导学生从特殊到一般归纳物理规律,设置开放性问题(如“交通测速是如何实现的?”),鼓励结合软件仿真(如 MATLAB)完成,培养通过模拟仿真解决问题能力;价值层:通过生活案例(如急救车优先通行)讨论物理原理的社会价值,引导学生思考科技如何服务公共安全。这一分层设计以知识奠基、能力驱动、价值升华为主线,形成从理论掌握到创新实践再到社会责任的全方位培养路径。

3. 教学实施过程: 问题链构建与多模态工具设计

3.1. 问题链构建: 从现象到实践的三阶引导

在教学实施过程中,首先通过现象感知层的生活场景导入,播放“救护车鸣笛驶近 - 远离”视频,引导学生观察音调变化现象,并配合手机实验——教师移动播放固定频率音源的手机,学生闭眼分辨音调高低差异,由此抛出核心问题:“为何同一音源移动时,我们听到的频率不同?波源频率真的改变了吗?”——通过视觉与听觉的多感官刺激,直接打破学生对“频率固有性”的迷思(呼应第二部分“概念混淆”难点)。随后进入理论建模层,利用 MATLAB 仿真动画分场景推导公式(见图 2)。场景一:波源运

动、观察者静止。动画模拟波源移动导致波前压缩，波后扩展，学生观察波速不变但波长变化(波长变为 $\lambda' = (u \pm u_s)/v$ ，+为波源背离观察者运动，-为波源靠近观察者运动)，推导接收频率公式 $\nu' = [u/(u \pm u_s)]\nu$ 。场景二：波源静止、观察者运动。动画展示波前分布，学生观察波长不变但波速变化($u' = u \pm u_R$ ，+为观察者靠近波源运动，-为观察者背离波源运动)，推导接收频率公式 $\nu' = [(u \pm u_R)/u]\nu$ 。场景三：两者同时运动。结合前两种动画叠加，总结频移公式 $\nu' = [(u \pm u_R)/(u \mp u_s)]\nu$ 。教师逐步板书公式，学生分组讨论“±符号的物理意义”，并用不同颜色标注运动方向对公式的影响。通过分层动画与符号逻辑训练，解决“多变量建模困难”问题。最后在实践迁移层，结合生活化案例向学生发布任务，如以小组为单位，设计“基于多普勒效应的交通测速方案”，鼓励学生尝试 AI 辅助设计方案流程图(如“发射声波→接收反射波→计算频移→反推车速”)和公式计算，并延伸问题链：若车辆超音速行驶，测速方案是否有效？”，引入冲击波概念。这一过程以真实任务为纽带，打通理论公式与实践的壁垒，呼应第二部分“实践割裂”难点。

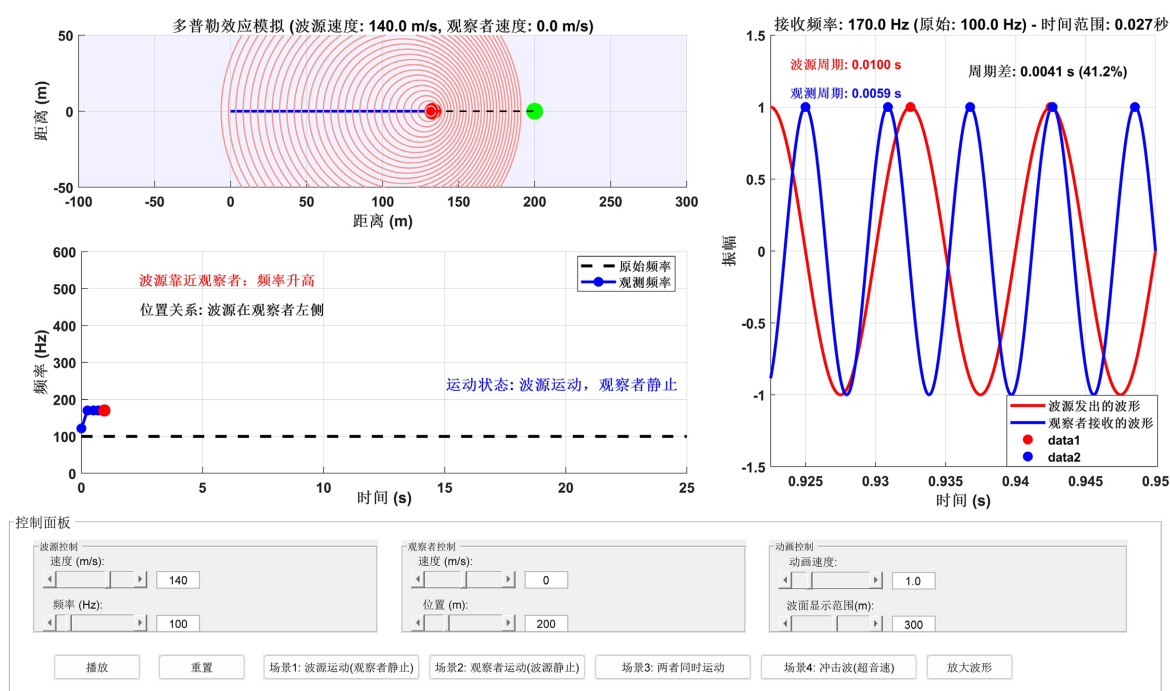


Figure 2. MATLAB simulation diagram of Doppler Effect

图 2. MATLAB 仿真多普勒效应图

3.2. 多模态工具设计：工具组合与协同策略

在教学实施中，多模态工具通过精心设计的组合与协同策略，实现了抽象概念的可视化与感知强化。视觉模态工具方面，仿真波前压缩动画(工具 1)在推导“波源运动”公式时动态展示波前密度变化(图 2)，将波长压缩过程具象化，学生观察波峰间距变化后，主动提出“波长缩短是因为波源‘追赶’前一波阵面”，教师引导其用公式验证。通过问卷星(工具 2)创建“波长压缩原理解度”投票(选项：完全理解/部分理解/不理解)，课堂扫码提交数据，即时生成理解率热力图，教师据此调整讲解进度。听觉-动觉模态工具中，手机音调实验(工具 3)通过教师移动音源，学生亲历音调渐变(部分学生反馈靠近声源时音调显著升高)，学生通过肢体动作(跟随音源移动)强化“相对速度影响频率”的认知。多模态协同策略进一步优化学习效果：动画-实验-公式同步标注。在播放波前动画时，右侧同步显示公式变量，严格遵循

一致性原则，避免图文认知冲突。通过工具组合与策略协同，多模态教学不仅突破单一感官局限，更构建了“观察-验证-综合”的立体学习路径。

4. 教学模式的理论机制与生成路径：科学思维及知识迁移的双维发展

4.1. 效果验证的理论框架

为验证“问题驱动-多模态协同”模式的有效性，本研究构建混合方法验证框架。能力测评设计方面，设置基础计算(频移公式推导)、现象解释(救护车音调变化)、开放应用(交通测速方案)三类题型，重点考察知识迁移与创新思维；学习反馈机制方面，采用李克特五级量表评估多模态工具对认知负荷的降低作用(如动画辅助性、兴趣激发度)；课堂观察重点方面，记录学生符号逻辑推导、跨学科问题提出等科学思维行为。分析方法遵循三角验证原则：能力测评验证认知发展，学习反馈解释动机机制，行为观察捕捉思维过程。该框架的设计遵循认知诊断理论，可通过后续实证检验。

4.2. 科学思维能力的结构化发展机制

基于问题链的阶梯式引导，该模式通过双路径促进学生科学思维的进阶：1、逻辑推理的系统化训练。遵循从具体到抽象的认知规律，通过分场景建模：波源运动(波长变化主导)→观察者运动(波速变化主导)→两者运动(复合效应)，学生逐步掌握符号方向与相对运动的关联规律，建立动态物理模型；2、问题意识的跨学科激活：在问题链末端设置开放性问题的(如 3.1 节延伸问题：“若车辆超音速行驶，测速方案是否有效?”)，引导学生关联冲击波概念(物理学科内迁移)，质疑多普勒效应的普适性(如“引力波是否适用?”)。

4.3. 知识迁移能力的三阶实现路径

多模态工具与真实场景的整合，为知识迁移提供结构化路径。技术整合路径：在测速装置设计任务中，学生需关联多普勒公式与信号处理技术，通过 MATLAB 仿真反射波频移过程，完成从物理模型(频移公式)到技术方案(车速反演算法)的转化，培养工程转化能力；角色认知路径：基于情境认知理论，引导学生动态解析车辆的双重角色——接收信号时为运动观察者(u_R)，反射信号时为运动波源(u_S)，通过角色转换动画与公式变量联动，深化对多普勒效应相对性本质的理解；工程思维路径：以交通测速为锚点案例，构建“频移公式精度→车速计算误差→传感器优化设计”的逻辑链条，强化物理原理与技术参数的关联认知，呼应工程教育标准对系统思维的培养要求。

4.4. 教学模式推广的理论价值

本研究的设计为理工科物理教学提供了三点核心启示：工具轻量化创新上，低成本实验(如手机音调实验)突破资源限制，使抽象概念具象化；问题设计方面，以交通测速等真实问题为任务，驱动知识迁移，预期显著提升学习动机；评价过程化转型，从“单一笔试”转向“过程性考核”，课堂互动、开放设计、基础笔试的复合评价体系，更契合工程教育认证标准对解决复杂问题能力的要求。该框架可平行迁移至电磁学(无线充电设计)、光学(干涉仪误差分析)等模块，推动物理教学从知识传递向能力生成转型。

4.5. 局限性与改进方向

尽管教学模式成效显著，仍存在一定局限：学生差异方面，数学基础较为薄弱的学生依赖公式模板(如直接套用公式而未理解符号条件)，在复杂场景中错误率较高(如混淆波源与观察者运动方向)。部分学生反馈“仿真难度较大”。针对这些问题，提出改进策略。分层任务设计中，为薄弱学生提供“符号判定流程图”(如图 3)，逐步引导符号逻辑；技术优化上，为仿真困难学生提供多普勒仿真基础程序，让学生

在此基础上修改参数进行模拟。

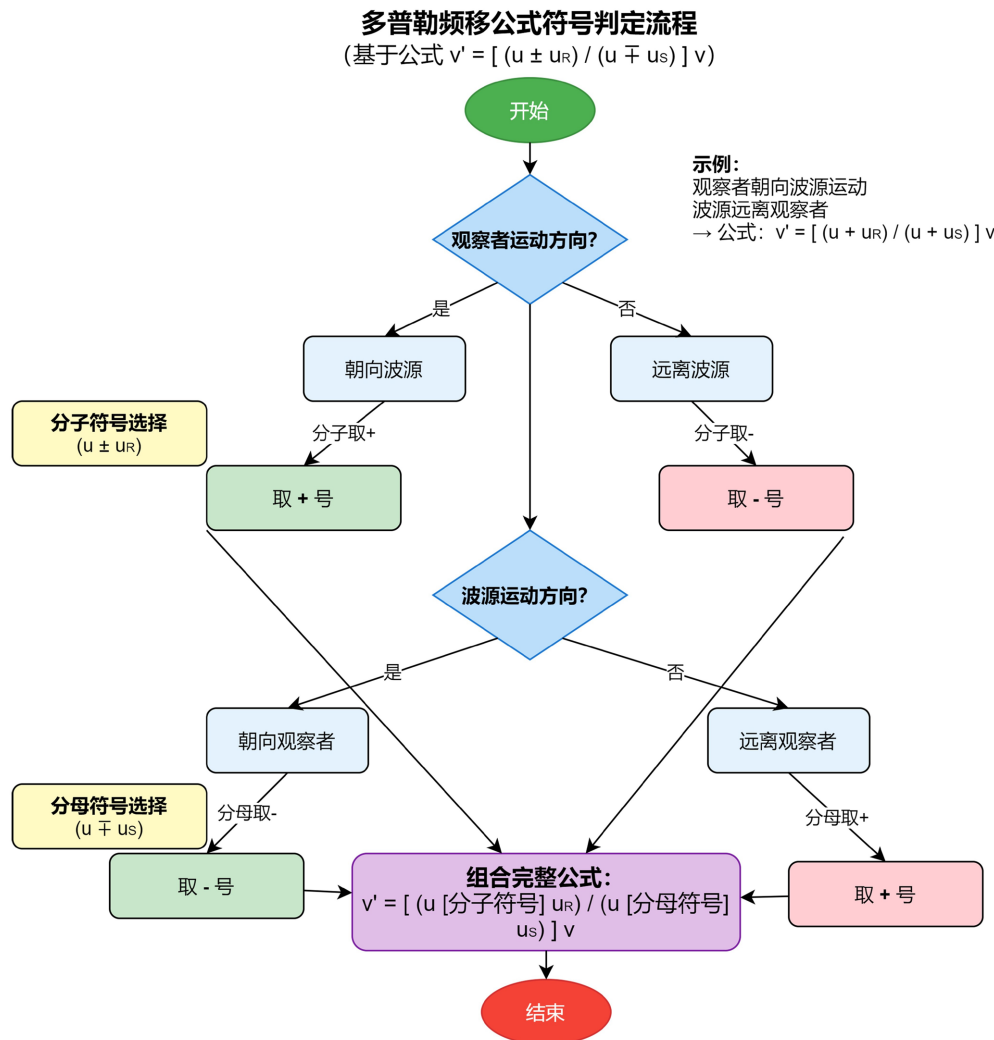


Figure 3. Flowchart for sign convention determination in Doppler shift formula
图 3. 多普勒频移公式符号判定流程图

5. 结语

本研究通过“问题驱动 - 多模态协同”教学模式，为科学思维与知识迁移能力的发展提供有效路径。研究表明，该模式不仅能破解多普勒效应的教学难点，更通过工具创新与设计案例，为理工科物理教学提供了可迁移的实践范式。未来研究可探索轻量化智能工具生态，整合 AI 生成案例库、低代码互动平台，构建“教师主导 - 技术赋能”的新形态教学闭环。多普勒效应的教学实践表明，物理教育不仅需传递知识，更应成为培养“懂原理、能设计、敢创新”的新型人才的基石。

基金项目

感谢国家自然科学基金青年科学基金(12404258)、北京市高等教育学会面上课题(MS2023301)、中国高等教育学会基于一流课程建设的教学改革与实践研究专项课题项目(2020JXYB03)以及北京工业大学教育教学研究课题“数智化绿色化”改革专项(ER2025ZXB042)的资助。

参考文献

- [1] 李琼, 杨格丹, 李敏辉. “以学生为中心”的融合交互教学模式研究——以清华大学深圳国际研究生院为例[J]. 现代教育技术, 2021, 31(10): 110-117.
- [2] 王青. 源自苏格拉底的问题驱动式教育: 在互动中共同学习和成长[J]. 物理与工程, 2020, 30(5): 3-25.
- [3] 王一岩, 王杨春晓, 郑永和. 多模态学习分析: “多模态”驱动的智能教育研究新趋向[J]. 中国电化教育, 2021(3): 88-96.
- [4] 倪晓雪. 基于 ELAN 的多模态微课教学分析——以海南师范大学为例[J]. 教育进展, 2024, 14(10): 366-371.
- [5] 胡永刚. 问题驱动式习题课教学探索——以矩阵秩恒等式为例[J]. 教育进展, 2024, 14(11): 1002-1009.
- [6] 杨祉妍. 问题驱动式教学法, 培养数学核心素养[J]. 教育进展, 2024, 14(9): 540-547.
- [7] 蔡苏, 焦新月, 杨阳, 蒋林帆, 余胜泉. 5G 环境下的多模态智慧课堂实践[J]. 现代远程教育研究, 2021, 33(5): 103-112.
- [8] Jonassen, D.H. (2010) Learning to Solve Problems: A Handbook for Designing Problem-Solving Learning Environments. 1st Edition, Routledge, 472.
- [9] Mayer, R.E. (2020) Multimedia Learning. 3rd Edition, Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781108894333.003>
- [10] 蒋志佳. 多模态协同教学在语法教学中的应用与实践探究[J]. 国外英语考试教学与研究, 2023, 5(3): 129-133.
- [11] 周高峰, 张琦. 问题导向式教学在工程类课程教学中的应用[J]. 工程学研究, 2022, 1(3): 41-44.
- [12] Sweller, J. (2020) Cognitive Load Theory and Educational Technology. *Educational Technology Research and Development*, 68, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3>