

热学课程的PBL教学模式探索

——以热力学定律与分子动理论为例

杨曼曼, 夏峥嵘, 张 贤

淮南师范学院电子工程学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2026年4月1日; 录用日期: 2026年4月29日; 发布日期: 2026年5月8日

摘 要

基于热学课程的教学目标与内容特点, 针对学生概念理解浅层化、知识体系碎片化、宏观与微观联系薄弱等问题, 本文提出一个由问题驱动、合作探究、开放讨论和递进式问题设计四个核心要素构成的PBL在热学教学中的实施模型。该模型以热力学定律与分子动理论为核心内容, 旨在通过结构化的问题链和系统化的课堂组织, 帮助学生建立宏观热力学规律与微观统计解释之间的逻辑桥梁。实践表明, 该PBL模型能够有效激发学生的学习动机, 促进热学概念的深度理解, 并在批判性思维、建模能力和论证能力等科学思维维度上培养学生的综合素养。

关键词

热学, PBL教学模式, 问题导向学习, 热力学定律, 分子动理论

Exploration of PBL Teaching Model in Thermal Physics Courses

—Taking Thermodynamic Laws and Molecular Kinetic Theory as Examples

Manman Yang, Zhengrong Xia, Xian Zhang

School of Electronic Engineering, Huainan Normal University, Huainan Anhui

Received: April 1, 2026; accepted: April 29, 2026; published: May 8, 2026

Abstract

Based on the teaching objectives and content characteristics of thermal physics courses, and in response to common student difficulties such as superficial conceptual understanding, fragmented

knowledge structures, and weak connections between macroscopic and microscopic perspectives, this paper proposes an implementation model of PBL in thermal physics teaching. The model consists of four core components: problem-driven learning, collaborative inquiry, open discussion, and scaffolded question design. Focusing on the laws of thermodynamics and the kinetic theory of gases, the model aims to help students establish a logical bridge between macroscopic thermodynamic principles and microscopic statistical interpretations through structured problem chains and systematic classroom organization. Practical application shows that this PBL model effectively enhances students' learning motivation, promotes deep understanding of thermal concepts, and cultivates students' comprehensive competencies in scientific thinking dimensions such as critical thinking, modeling, and argumentation skills.

Keywords

Thermal Physics, PBL Teaching Model, Problem-Based Learning, Thermodynamic Laws, Molecular Kinetic Theory

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

问题导向式学习(Problem-Based Learning, PBL)作为一种以问题为核心驱动力的教学方法,自提出以来,在医学教育等领域获得了广泛应用与高度认可[1][2]。受此启发,李金环等人结合物理学科的教学特点,将其教学理念迁移至物理教学实践中,提出了基于物理问题的教学模式(Physics Problem-Based Learning, PPBL) [3]。该模式以物理问题为教学起点,强调学生在学习过程中的主体地位,聚焦于提升其运用所学知识分析和解决实际问题的能力。实践表明,该教学模式在光学课程和基础物理实验课程中均展现出良好的教学成效[4]-[6]。

将 PPBL 教学模式应用于热学理论课程,需结合该课程在内容组织、教学目标与知识体系方面的特点,探索适宜的教学策略。值得注意的是,现有 PBL 在物理教学中的研究多集中于光学、力学等分支,而对热学中特有的“宏观 \leftrightarrow 微观”认知跨越难题涉及较少。通过教学实践,本文提出一套面向热学课程的 PBL 实施方式。在该模式下,教师以富有启发性的科学问题为引导,激发学生自主学习的动力;学生在小组合作中开展探究式学习,围绕问题展开多维度、开放性的讨论。借助层层递进的问题设置,推动学生逐步深化对内容的理解,在探究过程中不断提升综合分析能力与科学思维水平。本文的核心贡献在于:提出一个由问题驱动、合作探究、开放讨论和递进式问题设计四个要素构成的 PBL 在热学教学中的实施模型,并阐明了该模型如何针对热学中宏观与微观认知脱节的特定难题,提供结构化的解决方案。

2. PBL 方法提出的背景

当代科学技术的加速迭代,正在重塑高等教育的人才培养目标。在这样的大环境下,热学课程被赋予了新的使命——不仅要传授基础知识,更要着力于学生创新潜能的激发与科学思维方式的塑造。作为物理学体系中的基石性课程,热学在构建学生科学素养、锻造研究能力方面承担着独特而重要的功能。近年来,随着教学改革的纵深推进,课程定位也发生了深刻转变:从既往以知识传递为主导,转向更加关注学生多元能力的协同发展,包括文献整合能力、逻辑分析能力、自主探索能力以及学术表达能力等。各高校相继将前沿科学问题与研究型教学手段引入课堂实践[7][8],推动教学理念的迭代升级[9],探索以

研究为导向的教学新形态[10]。

与此同时，信息化浪潮深刻改变了学生的学习方式与认知习惯。互联网技术的普及与移动终端的大范围覆盖，使得知识获取变得前所未有地便捷，却也衍生出新的问题：信息来源庞杂，内容真伪难辨，知识呈现高度碎片化。这种外部环境投射到热学学习中，表现为学生对物理概念的理解停留在表层，习惯于机械记忆公式与结论，却难以触及热学定律背后的物理本质；热力学规律与其微观解释之间的逻辑链条常常断裂；理论知识与现实问题之间缺乏有效联结，学生面对实际情境时往往无从下手，知识迁移能力明显不足。

一门优质课程的持续生长，离不开教学团队的稳定传承。热学课程通常由多位教师共同承担，当团队成员因工作调整等原因更替时，如何将既有的教学经验、教学智慧以及课程文化有效地传递给新成员，成为团队建设不可回避的问题。这种隐性的、嵌入实践的教学传统，需要借助制度化的载体才能得以延续和发扬。

为了适应新形势，针对新问题，传承优良传统，提出了 PBL 教学方法。

3. PBL 教学方法的观念与结构

面对人才培养目标升级、信息环境变迁带来的学习困境，以及教学团队传承的内在需求，PBL 教学模式被引入热学课程，旨在回应时代挑战、破解教学难题、延续优质教学传统。本节将系统阐述 PBL 方法的核心要素及其内在结构。

3.1. 问题驱动：以问题为引擎的知识建构

问题驱动是 PBL 模式的灵魂所在。其基本理念是以科学问题作为学生探究、思考与学习的起点，引导他们在解决问题的过程中逐步建构起完整的知识体系和物理模型。在继承“基于问题”这一核心思想的基础上，结合热学课程的学科特质，对“问题”的内涵进行了拓展与深化。

热学概念具有高度的抽象性，学生理解这些概念需要调动热力学、统计物理、数学等多学科知识的综合运用。与此同时，热学与能源、材料、环境等前沿科技领域存在着紧密的联系。学生在热学课程中所掌握的知识与技能，为其日后从事前沿科学研究或解决现实应用问题奠定了重要基础。基于上述教学内容特点与学生发展需求，PBL 模式将“物理问题”与科技前沿和实际应用有机结合，鼓励学生主动探索课堂所学与前沿领域之间的内在关联。

问题驱动的具体实施形式包括问答式与研讨式两种，二者互为补充。问答式适用于结构相对简单、目标明确的问题，能够帮助学生快速聚焦核心概念；研讨式则更适合开放性、复杂度高、复杂度高的问题，有利于激发学生的深度思考。无论采用何种形式，问题驱动的根本目的在于以问题为节点，帮助学生梳理知识点之间的逻辑脉络，最终实现知识体系的系统建构。

3.2. 合作探究：小组协同的知识建构路径

合作探究强调以小组为单位，围绕学习过程中遇到的热学问题展开协同研讨。其核心取向是引导学生将宏观热力学规律与微观统计解释有机结合，运用相关理论知识对热学现象和物理规律进行多角度分析。大量研究证实，借助技术支持、以学生为中心、采用小组讨论与合作学习的方式，能够显著提升教学效果[11]。基于这一认识，教学实践中将 3 至 4 名学生编为一个研讨小组，共同面对具有一定深度和开放性的问题展开探究。在小组互动中，学生需要表达自己的理解、倾听他人的观点、协商分歧、形成共识——这一过程本身即是知识建构的重要组成部分。合作探究不仅加深了学生对热学概念的理解，也培养了团队协作与沟通能力。

3.3. 开放讨论：贯穿始终的多元对话空间

开放讨论贯穿于 PBL 教学的全过程，为学生和教师提供了持续对话的空间。在课堂上，学生可以随时就热学相关问题与同伴或教师展开交流；教师则根据讨论进程适时介入，引导话题走向、调整讨论节奏。讨论的内容边界是开放的。它不仅涵盖课程内的知识点，更延伸至热学发展史、科技前沿、应用领域、研究方法乃至课程思政等多元话题。借助开放讨论的形式，教师可以依据自身的学术背景拓展教学内容，引入相关的科技前沿与应用技术，从而激发学生的学习兴趣。由于 PBL 以问题驱动为基本思路，教师可以大胆拓宽视野，将热学前沿问题引入课堂讨论。开放讨论同样鼓励师生之间的多向交流，只要能够正面引导学生成长的话题——无论是科学精神、学术道德还是审美素养——都可以纳入讨论范畴。

3.4. 递进式问题设计：思维深化的阶梯式安排

递进式问题设计是引导学生由浅入深、系统掌握热学思想、培养科学思维能力的重要抓手。其设计逻辑体现在四个层面：首先，在课程整体结构上，遵循从宏观到微观、从平衡态到非平衡态的逻辑顺序安排教学内容，使学生沿着热学学科自身的发展脉络逐步深入。其次，在每个教学模块内部，围绕核心问题设计层层递进的子问题链。每个子问题既是前一问题的延伸，又是后一问题的铺垫，形成环环相扣的问题序列。第三，对于系列概念的讲解，按照先易后难的原则进行合理排序，确保学生在建立初步理解的基础上逐步接触更复杂的概念。第四，在教学实施过程中，对学生进行由浅入深、递进式的思维引导，帮助他们在已有认知基础上不断攀登新的理解高度。

3.5. 四维一体的 PBL 结构关系

PBL 方法的四个核心要素——问题驱动、合作探究、开放讨论、递进式问题设计——并非孤立存在，而是相互关联、彼此支撑、交叉融合，共同构成一个有机整体(如图 1 所示)。

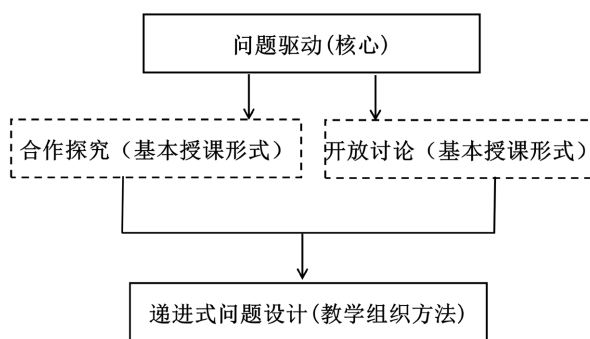


Figure 1. Schematic of the PBL method

图 1. PBL 方法结构图

本文将此称为“四维一体”模型。该模型的核心创新在于强调四者之间的动态交互机制：问题驱动提供认知锚点，合作探究与开放讨论构成知识建构的双轨，递进式问题设计则提供时间维度上的认知阶梯。在这一结构中，问题驱动居于核心地位。问题不仅是探究、讨论、学习的主题，更引领着整个教学过程的走向。其余三个要素均围绕问题展开，服务于问题的提出、分析、深化与解决。合作探究与开放讨论是 PBL 教学的基本形式。前者以小组为单位进行协同探究，后者则提供更为开放的对话空间。二者相互渗透：开放讨论为合作探究提供思想碰撞的平台，合作探究则为开放讨论提供具体议题和讨论素材。递进式问题设计是组织教学的方法论原则。它为问题的层层深入提供结构化安排，同时也在与另外两个要素的互动中不断演化。合作探究和开放讨论往往会在基本教学内容之外衍生出新的问题，这些问题为

递进式问题设计提供了新的研究对象；而递进式问题设计不断拓展问题研究的深度与广度，反过来又为开放讨论和合作探究提供新的切入视角和思考方向。该模型特别针对热学中宏观与微观认知跨越的难题：递进式问题设计从宏观现象(如“为什么热只能从高温物体传向低温物体”)出发，逐步引入微观解释(如分子运动的有序性与无序性)，合作探究与开放讨论则在这一跨越过程中提供同伴支持和教师引导，使认知跃迁得以平滑实现。四者之间的动态交互，使 PBL 教学成为一个自组织、自更新的有机系统。在这个系统中，问题不断深化，讨论不断拓展，探究不断推进，学生的综合能力也在这一过程中得到持续提升。

4. PBL 教学模式在热学课程中的实践路径

基于前文阐述的 PBL 理论框架，我校热学课程经过多年教学探索，逐步形成了一套可操作的实践方案。该课程面向物理学专业本科一年级学生，于秋季学期开设，每周 4 学时，总计 12 周教学时长。课程采用模块化组织结构，划分为五个相对独立的教学单元：温度与热平衡、气体动理论、热力学第一定律、热力学第二定律、相变。各模块内容既根植于经典热学理论，又辐射相关前沿研究领域，蕴含着丰富的物理思想。五个模块分别由一位核心教师牵头负责，其他任课教师协同配合，形成团队共建的教学格局。下文以热力学定律与分子动理论模块为例，具体呈现 PBL 方法的实施过程。

4.1. 目标导向下的递进式内容设计

我校热学课程确立了四位一体的目标体系：在知识层面，夯实热学基本概念与定律的理解；在能力层面，训练逻辑推理与科学思维方法，培养分析、归纳、吸纳新知识的能力；在素养层面，培育科学精神与创新意识。这一目标体系为教学内容的选择与组织提供了基本遵循。

热力学定律与分子动理论模块围绕以下核心内容展开：温度与热平衡、理想气体状态方程、压强与温度的微观解释、能量均分定理、热力学第一定律、热容量、热力学第二定律、熵。按照从宏观到微观、从现象到本质的认知规律，将这些内容组织为三个递进层次：

第一层次聚焦宏观热力学基础，引导学生建立温度和热平衡等基本概念；第二层次进入微观分子动理论，帮助学生搭建宏观现象与微观机制之间的桥梁；第三层次深入热力学定律，使学生理解能量转化规律与过程方向性的本质。在完成各层次基础内容后，安排专题研讨环节，引导学生对核心问题进行反思性梳理与拓展性探究。

4.2. 单元教学中的 PBL 操作框架

4.2.1. 问题链引导下的知识建构

每个教学单元围绕一个核心科学问题展开。学生从既有知识储备出发，在解决问题的过程中习得相关物理知识，锻炼相应思维能力，逐步内化物理学的思维方式。教学实践表明，若仅呈现抽象的核心问题，学生往往感到无从下手，难以在规定课时内完成学习任务。为此，我们在每个单元的核心问题基础上，设计了一系列具体化、阶梯式的引导性问题，帮助学生理顺思路，最终建立起完整的物理模型与知识结构。

以热力学第二定律单元为例，单元核心问题为“自然过程为何具有方向性”。围绕这一核心，设定了三个递进的学习目标：理解热力学第二定律的两种经典表述及其内在等价性；掌握卡诺定理与卡诺循环的核心思想；领会熵的概念本质与熵增加原理的物理内涵。在教学互动中，教师根据学生反馈动态生成一系列引导性问题，涵盖热力学与统计物理的多个层面，形成如图 2 所示的问题脉络。

4.2.2. 合作探究与开放讨论的双轨运行

合作探究与开放讨论是学生建构知识的主要途径。我校热学课程实行小班授课，每班 35 人左右，

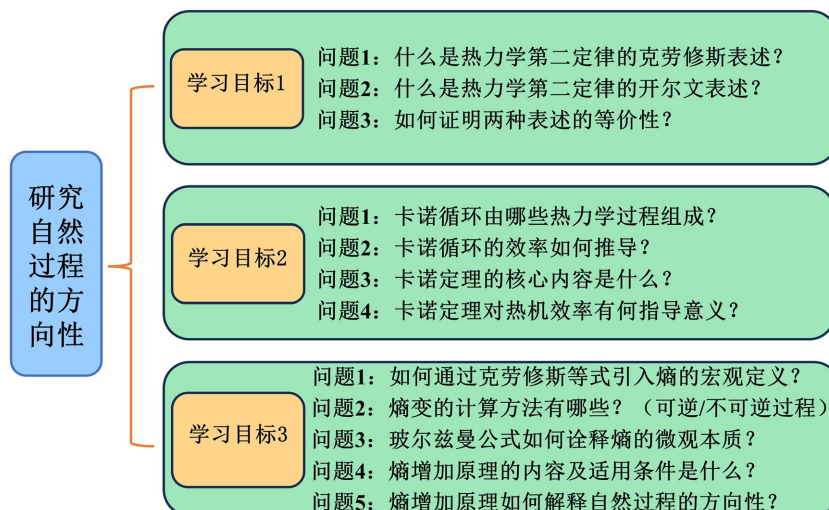


Figure 2. Problem context of the second law of thermodynamics unit
图 2. 热力学第二定律单元的问题脉络

由一位教师全程指导。教学过程中将学生划分为 3 至 5 人的学习小组，以学生为主体，围绕研究性问题开展合作探究，并对学习过程中遇到的问题及相关知识点进行开放式研讨。

以“气体动理论”单元为例，学生以小组形式协同探究以下内容：压强公式的推导逻辑、温度概念的微观本质、能量均分定理的物理内涵；理想气体微观模型的基本假设及其合理性论证；麦克斯韦速度分布律的推导思路与统计意义。这种学习方式显著提升了学生的课堂参与度和学习主动性，同时也培养了沟通协作能力。

近年来，在学校持续投入下，热学课程的教学条件得到显著改善，为合作探究与开放讨论提供了硬件支撑。教师团队不断充实教学资源，为学生提供文本、图片、课件、视频等多元化学习材料。授课过程中，教师根据学生状态适时提出问题以调控教学节奏，并通过与个别学生的交流确保全体学生深度参与学习过程。学生在探究与讨论中的表现，也被纳入过程性评价体系，成为学习反馈的重要依据。

4.2.3. 递进式问题设计的双重意涵

递进式问题设计在单元教学中具有两层含义：

其一，认知深化的螺旋上升。热学概念内涵丰富、关联复杂，仅凭一次性讲解难以使学生真正掌握。需要通过多次接触、反复探究，才能逐步加深理解。以“熵”概念的教学为例：首先通过热力学第二定律引入熵，建立初步印象；继而借助克劳修斯等式与不等式，深化对熵的理解；最后通过玻尔兹曼熵公式，揭示熵的微观统计本质。在这一螺旋上升的过程中，学生对热学知识的掌握不断强化，最终实现从“知晓”到“运用”的质变，使知识内化为稳定的能力结构。

其二，个体差异的因材施教。学生的知识基础、兴趣取向、发展愿景各不相同。递进式问题设计为不同学生提供了差异化的学习路径：基础较弱的学生可以在前序问题中夯实根基，学有余力的学生可以沿着问题链继续深入探索。每个学生都有机会依据自身需要和兴趣，在课程中找到适宜的学习节奏和探究方向。正因如此，通过热学课程的学习，每位学生都能获得符合自身特点的成长与提升。

4.3. 集中讨论：深理解与拓展视野的枢纽环节

经过四周的教学探究，学生对热学模块的内容已形成初步理解。集中讨论环节的意义在于：为学生提供一系统性反思的平台，使其能够在更高站位上审视所学内容，思索知识之间的内在关联，并在交

流碰撞中拓展认知边界。实践表明,这一环节在以下四个方面产生了显著成效:

1) 概念细节的深度剖析。学生在常规教学中往往按照既定推导流程学习,对概念的掌握停留在“会用”层面,而对概念内部的逻辑细节缺乏深入思考。集中讨论为学生提供了“慢下来”审视概念的机会。以熵的概念讨论为例。学生在前期学习中已经掌握了熵变的计算方法,了解了可逆过程与不可逆过程中熵变计算的基本公式。在集中讨论环节,教师引导学生回到概念的源头,细致辨析:为什么可逆过程的熵变可以通过积分计算?不可逆过程的熵变计算为何必须设计可逆路径?这两种计算方式背后的物理依据有何异同?通过这样的追问,学生对熵概念的把握从操作层面上升到理解层面,真正领会了熵作为状态函数的深刻内涵。

2) 知识体系的整体建构。热力学定律与分子动理论模块包含多个相对独立的教学单元,学生在分单元学习时容易形成“知识点孤岛”。集中讨论的价值在于:帮助学生打通单元壁垒,建立全局性的知识图谱。学生被引导回顾整个模块的内容,思考不同单元之间的逻辑关联。例如,温度这一核心概念,在热力学第零定律中被定义为判断热平衡的参量,在气体动理论中被揭示为分子平均平动动能的宏观表现,在热力学第二定律中又与熵的概念产生深刻联系。通过追溯同一概念在不同语境下的表现形式及其内在统一性,学生逐渐认识到:热学并非零散知识的集合,而是一个由核心概念相互勾连、层层递推的严密体系。温度、内能、熵、压强等概念之间的区别与联系,也在这一过程中变得更加清晰。

3) 学科边界的拓展延伸。热学的生命力不仅体现在其理论体系的完整性,更体现在它与众多前沿领域的深刻关联。集中讨论为学生打开了一扇望向学科边界的窗口。在讨论环节,学生被鼓励分享与课程内容相关的拓展性话题。有学生探讨熵在信息论中的角色,尝试理解信息熵与热力学熵之间的类比与差异;有学生将热机效率与能源问题联系起来,思考热力学定律对能源利用的根本性约束;有学生关注热力学定律在生命系统中的作用,探究耗散结构与生命现象的内在关联。这些讨论不仅拓宽了学生的学术视野,也让他们真切感受到:课堂上所学的抽象原理,恰恰是理解自然与技术的钥匙。

4) 综合能力的实践锤炼。集中讨论也是学生综合能力得到锻炼的重要场域。学生需要围绕自己感兴趣的话题查阅文献,筛选有效信息,组织逻辑框架,最终形成口头报告与同学分享。这一过程涉及文献检索能力、信息筛选能力、逻辑组织能力、口头表达能力的综合运用。在报告与交流中,教师适时介入,纠正学生在内容理解或表达形式上的偏差,发现学生对某些知识点理解的薄弱环节并予以补充讲解。值得注意的是,集中讨论也是过程性评价的重要组成部分。学生在讨论中展现的思考深度、表达能力和互动质量,都被纳入学习评价的视野,成为反馈与改进的依据。

4.4. 拓展性研究:迈向真实科学探索的桥梁

在热学课程的收官阶段,教学重心从“知识传授”转向“研究启蒙”。每位授课教师基于自己负责的教学模块,提出若干拓展性研究题目。这些题目通常具有以下特征:与课程内容紧密相关,但超越教材范围;具有一定开放性,不存在标准答案;难度适中,适合本科生在有限时间内完成初步探索。学生根据研究兴趣自由选择指导教师,在教师指导下开展为期数周的自主研究。这一环节的设计逻辑是:让学生在“做研究”的过程中“学做研究”,将前期积累的知识与方法运用于真实问题的解决。

从研究目标的确定,到研究思路的设计,再到文献资料的查阅,直至研究报告的撰写,学生完整经历一次小型研究项目的全过程。这一过程与真实科学研究具有高度相似性,因此可以视作学生接触科学研究的入门台阶。与常规作业不同,拓展性研究更加强调学生的自主性。教师的作用在于提供方向性指导和方法论支持,而非给出具体答案。学生在研究中需要自己发现问题、自己寻找解决方案、自己判断研究进展。这种“放手的指导”恰恰是培养学生独立研究能力的关键。

拓展性研究也为学生提供了探究个性化问题的机会。不同学生的兴趣取向和发展愿景存在差异,统

一的课堂教学难以满足所有需求。研究环节恰好弥补了这一缺憾。以“熵与信息”研究专题为例：对理论物理感兴趣的学生可以深入探究信息熵的数学形式及其与热力学熵的类比；对交叉学科感兴趣的学生可以关注信息熵在通信、编码、数据压缩等领域的应用；对哲学思考感兴趣的学生甚至可以探讨熵概念的泛化及其在跨学科语境中的意义。每位学生都能在这一框架下找到与自身兴趣契合的研究切入点，实现个性化成长。通过这一环节，学生不仅加深了对热学知识的理解，更重要的是初步体验了科学研究的基本范式——如何提出问题、如何寻找答案、如何表达发现。这些体验将成为他们未来从事科学探索的重要起点。

5. PBL 教学法实施的关键问题与应对策略

5.1. 思维引导：在自主探索中把握正确航向

PBL 教学模式鼓励学生自主探究，但这绝不意味着放任自流。学生的探索活动必须在科学思维的轨道上运行，这就对教师的引导作用提出了更高要求。在教学实践中，思维引导需要贯穿始终。教师在课堂讨论中通过精心设计的提问，帮助学生校准思考方向，避免在错误的路径上耗费时间。板书与 PPT 不仅是知识呈现的工具，更是思维轨迹的可视化载体——通过展示问题之间的逻辑脉络，教师将隐性的思维过程显性化，使学生在潜移默化中习得科学思维的基本范式。这种引导不是替代学生思考，而是为他们搭建思维的脚手架，让他们在攀登知识高峰时既不迷失方向，又能体会自主探索的乐趣。

5.2. 资源建设：为自主探究提供丰厚土壤

PBL 模式下，学生的自主探究活动大大增加，这对学习资源的数量和质量都提出了更高要求。优质的学习资源如同沃土，滋养着学生的探究之芽。资源建设是一项系统工程。教师需要持续搜集、整理、开发多元化的学习材料，包括但不限于：经典教材与参考书目、精心设计的课件、讲解清晰的视频、原始文献与综述文章等。这些资源需要在教室或网络平台上有序陈列，方便学生随时取用。值得注意的是，资源的来源不应仅限于教师。学生在集中讨论和拓展性学习中产生的优秀作品——无论是精彩的研究报告、独到的概念解读，还是创新的问题设计——经过甄别、整理和加工后，同样可以成为宝贵的课程资源。这种“取之于生，用之于生”的资源建设方式，既丰富了资源库的内容，也增强了学生的获得感与认同感。

5.3. 文化熏陶：营造润物无声的育人环境

PBL 倡导开放、自由的学习氛围，但教育从来不是价值中立的。教师需要确保学生活动的主流方向积极向上，而文化熏陶正是实现这一目标的有效途径。物质环境本身就是一种隐性的教育力量。在教室周围悬挂科学家画像、介绍科学发现背后的故事，将师生探究的优秀成果制作成宣传展板，这些看似简单的布置，实则构建了一个充满科学气息和文化温度的物理空间。学生在这样的环境中耳濡目染，自然会对科学探索产生向往，对求真务实的精神产生认同。文化熏陶的力量在于其潜移默化——它不直接说教，却在不知不觉中塑造着学生的价值取向和行为习惯。

5.4. 方法论的灵活性：把握精髓而非拘泥形式

PBL 方法凝结了我校热学教学团队多年的实践经验，其价值在于为教师提供方向性的指导，而非一套僵化的操作手册。任课教师在具体实施中需要把握 PBL 的核心思想，而外在表现形式则可以灵活变通。以问题驱动为例，问题的呈现方式可以多种多样：可以口述，可以板书，可以制作成宣传板长期展示，也可以根据授课进度逐条呈现。关键在于问题本身是否具有引导性，是否能够激发学生的思考，而非问

题以何种形式出现。同样,合作探究可以采取小组讨论的形式,也可以借助现代信息技术实现线上协作;开放讨论可以在课堂内进行,也可以延伸至课后。PBL 的生命力恰恰在于其适应性——它能够根据不同教师的教学风格、不同班级的学生特点、不同内容的内在要求而灵活调整,在变与不变之间找到最佳平衡。

5.5. 提问的艺术:简单问题与探究性问题的有机配合

PBL 以问题为基础,但问题并非只有一种形态。根据功能和层次的差异,可以将问题分为简单直接的问题和综合开放的问题两类,二者在教学过程中各有妙用。简单问题主要用于了解学情、诊断困难、搭建台阶。在课程开始时,教师可以通过简单问题了解学生的知识基础和预习情况;当学生在探究过程中遇到障碍时,教师可以将复杂问题细化为一系列简单问题,帮助学生逐步跨越难关。这类问题的特点是目标明确、答案清晰,能够快速检验学习效果,为后续教学提供反馈。

综合性与外延性问题则承担着引领探究方向、激发学习兴趣的功能。这类问题通常没有标准答案,需要学生综合运用所学知识进行多角度分析。以熵的概念教学为例,教师可以提出层层递进的问题序列:从“熵增加原理与时间箭头的关系”“为什么孤立系统的熵总是增加”,到“如何计算不可逆过程的熵变”“熵与混乱度的关系”,再到更具外延性的“信息熵与热力学熵的关系”“生命过程中的熵变规律”“宇宙热寂说的科学性辨析”“熵概念在环境分析中的应用”等。这些问题如同一扇扇窗口,让学生窥见热学知识的广阔应用天地。

简单问题与探究性问题的配合,体现了教学过程的节奏感:简单问题保持思维的连续性,探究性问题拓展思维的疆域;简单问题帮助学生跨越障碍,探究性问题引领学生走向远方。关键在于通过问题让学生始终保持思考和探究的状态——既不被困难困住,也不因浅尝辄止而失去深入探索的机会。

6. PBL 教学法对热学课程的多维价值

课程是连接教师与学生的桥梁,而 PBL 则为这座桥梁注入了新的活力。实践表明,PBL 方法能够有效促进教师、课程与学生三者的协调发展,形成良性循环,持续提升人才培养质量。

6.1. 人才培养质量的全面提升

综合素质的培育。教育的根本任务是立德树人,高等教育肩负着为国家培养德才兼备高素质人才的重任。PBL 方法通过反复的思考与训练,帮助学生在基础知识、科学思维和问题逻辑等方面获得系统提升。具体而言,本文所定义的“科学思维”包含三个可操作的维度:批判性思维(质疑信息源、验证推理过程)、建模能力(将实际问题转化为物理模型)和论证能力(基于证据的逻辑推理与反驳)。其中,递进式问题设计主要培养学生的建模能力——学生需要从宏观现象中抽象出核心变量并建立数学关系;开放讨论则侧重论证能力——学生在小组中需要为自己的观点提供理由并回应质疑;合作探究中的同伴互评环节则锻炼批判性思维——学生需要判断他人推理中的逻辑漏洞。更为重要的是,与时代发展紧密相连、与现实问题密切相关的科学问题,能够引导学生讨论科学家的社会责任、科学发现的社会影响等具体议题;开放讨论中的师生互动,为价值引导提供了自然融入的空间;合作探究与递进式问题设计,则在潜移默化中培养学生批判质疑、勤于探索的科学品格。

个性化发展的实现。热学内容综合性强、涉及知识范围广,这为学生的个性化发展提供了可能。在完成基本学习任务的前提下,学生可以根据自身特点和兴趣,在基础理论、数学表达、应用技术等不同方向上有所侧重。集中讨论环节为学生提供了自由表达的空间——无论是知识细节的深入挖掘,学科思考的独到见解,还是教学设计的创新想法,都可以在此分享交流。拓展性学习环节更是为学生提供了展现个性的研究平台,使每个学生都能在自己感兴趣的领域深入探索。

信息素养的提升。信息时代带来知识获取的便利，也带来信息过载与碎片化的困扰。PBL 方法强调围绕科学问题，结合理论分析与逻辑推理，对相关知识进行多层次、多角度的审视。在这一过程中，错误信息可以被发现、验证和纠正，零散的知识点可以被嵌入系统的物理模型。经过 PBL 训练的学生，在接收信息时自然会保持独立思辨的态度，养成追溯信息源头、考证信息真伪的习惯，从而在信息洪流中把握真正有价值的知识。

学习状态的改善。PBL 方法显著改善了学生的课堂参与状态。讨论热烈深入，学生能调动已有知识分析新问题，并重视与预期不符的细节，通过归纳反思深化理解。例如，在学习热力学第二定律时，学生通过讨论可逆与不可逆过程的本质区别，理解自然界过程的方向性；在理解熵的概念时，结合实际过程运用统计物理原理，形成直观而深刻的认识。这种主动建构的知识，才能真正转化为能力。

6.2. 教学与科研的双向赋能

PBL 方法对教师的学术素养提出了更高要求。开放讨论意味着学生会提出更多超出教材范围的问题，这就要求教师不仅透彻理解授课内容，还要持续跟踪相关领域的最新进展，不断提升学术水平。

与此同时，PBL 为教师实现教学与科研的融合提供了天然平台。在拓展性学习环节，教师可结合自身研究兴趣设计题目，将科技前沿引入教学，同时在指导学生过程中推进科研思考。图 3 呈现了教学与科研协调发展的循环机制：教师从科技前沿中提炼知识点融入教学；在课堂实践中对相关知识进行反复思辨；通过师生研讨凝练出值得深究的学术问题，扩充科研主题；经由科学研究，教师又能够关注更多、更新的前沿内容。这一过程形成良性循环，教学内容的更新与科研问题的提炼互为来源。

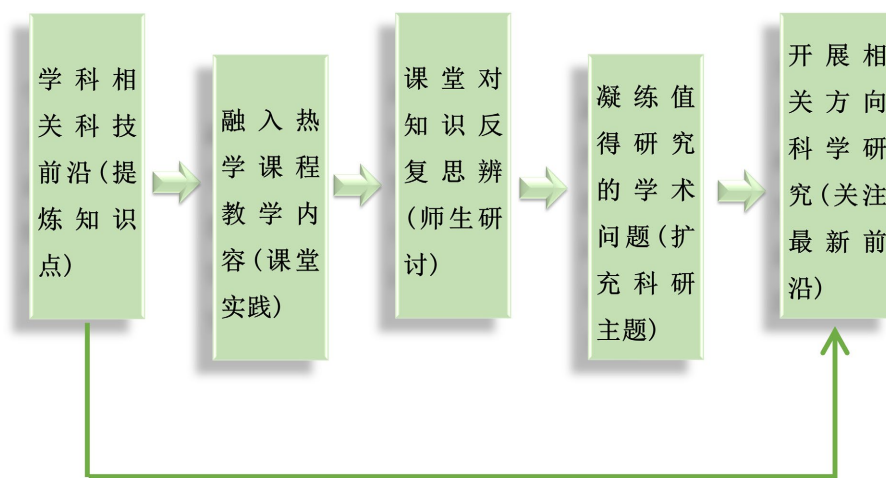


Figure 3. Schematic diagram of the coordinated development process of teaching and research
图 3. 教学、科研协调发展的过程示意图

图 4 以熵的教学为例具体展示了这一机制。非平衡态热力学作为统计物理的前沿领域，其核心思想可以融入热力学第二定律的教学；在教学过程中，教师对熵产生、耗散结构等概念的深入思考，又可以凝练出学术问题，反哺非平衡统计物理的科学研究；而科研的深入，又进一步拓展了对熵产生等过程的认识。这种良性互动，使教学与科研不再是彼此分离的两张皮，而是相互成就的有机整体。

6.3. 课程质量的持续提升

PBL 围绕问题展开教学，而探究过程中形成的成果经过整理后可以成为课程资源，持续丰富课程内容。教师以问题引领学生，学生通过问题来学习，问题的不断深入也带动课程的深度、广度和高度不断

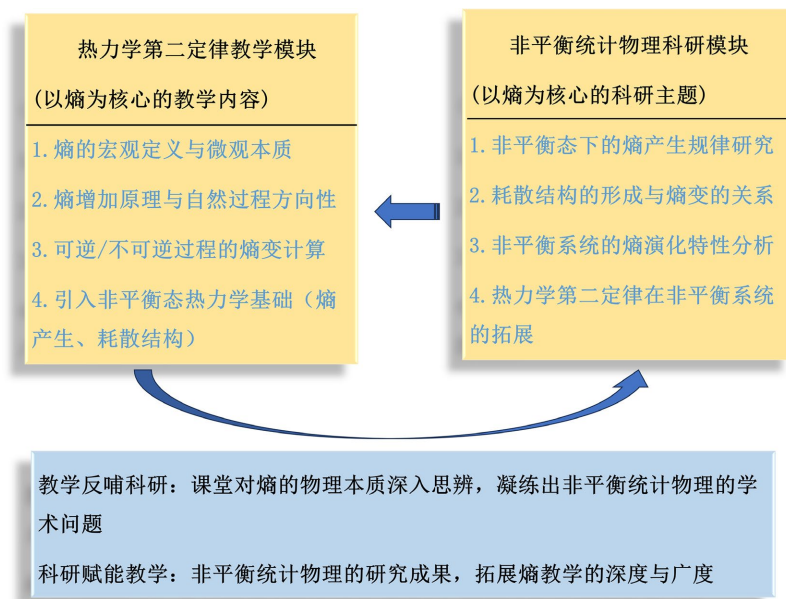


Figure 4. Schematic diagram of the mutual promotion process between entropy teaching content and nonequilibrium statistical physics research topics

图 4. 熵教学内容与非平衡统计物理科研主题之间相互促进的流程示意图

提升。当问题具有足够的学术深度时, 对问题的探究本身就构成了学术研究的雏形。这意味着课程不再是静止的知识集合, 而是一个不断生长、自我更新的有机体——每一届学生的探究都会为课程注入新的内容, 每一次讨论都可能催生新的问题, 每一个研究成果都可能成为未来教学的素材。在这种动态发展中, 课程质量得到持续提升, 教学也因此保持着旺盛的生命力。

7. 结论

PBL 教学方法是在总结我校多年热学课程教学经验的基础上, 面向卓越人才培养目标, 针对信息化时代带来的新挑战而提出的问题导向教学模式。该方法由问题驱动、合作探究、开放讨论和递进式问题设计四个核心要素构成, 四者相互配合、交叉融合, 形成有机整体, 共同促进学生、教师和课程的协调发展。在人才培养层面, PBL 方法帮助学生系统掌握热学的核心思想与知识脉络, 在知识建构、科学思维和问题逻辑等方面获得全面提升。其中, 科学思维的培养被具体化为批判性思维、建模能力和论证能力三个可操作的维度, 分别由不同的教学环节承担。同时, 该方法培养学生独立思考、批判质疑的精神品质, 使其能够更加有效地利用信息技术获取真知。在教学与科研融合层面, PBL 为教师实现教学相长提供了实践平台, 既促进了教师学术水平的提高, 又推动了科研成果向教学内容的转化。在课程建设层面, PBL 使课程成为一个动态生长的有机体, 探究过程中生成的成果不断丰富课程资源, 问题的层层深入持续提升课程的品质。综上所述, PBL 方法是适应新时代人才培养需求、回应信息化挑战、传承优质教学经验的有效教学模式, 对于提升热学课程教学质量、培养创新型人才具有重要价值。

基金项目

安徽省高等学校自然科学基金青年项目, 2025AHGXZK40039。

参考文献

[1] 刘嘉欣, 鄢朝晖, 李玉飞, 于才红, 刘英姿. PBL 理念在医学教育中的实践与思考[J]. 首都食品与医药, 2024,

- 31(14): 112-115.
- [2] Ge, W., Zhu, X., Lin, J., Jiang, J., Li, T., Lu, Y., *et al.* (2025) Critical Thinking and Clinical Skills by Problem-Based Learning Educational Methods: An Umbrella Systematic Review. *BMC Medical Education*, **25**, Article No. 455. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-06951-z>
- [3] 李金环, 王笑军, 王庆勇. PPBL 教学模式在光学教学中的实践探索[J]. 物理实验, 2015, 35(8): 10-14.
- [4] 李金环. 课程建设及课程思政的有效实施——以“光学”课程为例[R]. 吉林省高校名师公益讲堂. <https://zxdjt.mh.chaoxing.com/engine2/d/8889539/1677609/0?t=4448234>, 2022-05-26.
- [5] 梁丽勤, 张宝健, 王岩. 基于双 PBL 模式的数字电子技术实验设计案例——简易洗衣机控制电路[J]. 物理实验, 2022, 42(1): 35-38+49.
- [6] 周琴, 张九红, 陈沈. PBL 教学法在建筑物理实验教学中的应用[J]. 物理实验, 2022, 42(1): 29-34.
- [7] 刘俊杰, 郭盼, 郭聪, 白丽华. 大学物理热学教学与前沿研究的融合探索[J]. 大学物理, 2025, 44(1): 85-88, 100.
- [8] Wang, J. and Wang, J. (2025) Exploration and Practice of Research-Based Teaching Model in Application-Oriented Universities under the Digital Background. In: Striefkowski, W., Black, J.M., Butterfield, S.A., *et al.*, Eds., *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, Atlantis Press SARL, 421-433. https://doi.org/10.2991/978-2-38476-452-5_54
- [9] 李栋, 李政涛. “新基础教育”研究 30 年: 历史回溯、演进逻辑与时代贡献[J]. 教育研究, 2024, 45(5): 49-60.
- [10] 史曼莉. 研究性教学思想发展初探[J]. 大学教育科学, 2008(6): 35-41.
- [11] Ravi Sankar, S. and Kumar, R.S. (2026) Jigsaw Cooperative Learning: A Study of Its Effect on the Grade 11 Students' Achievement in Physics. *Physics Education*, **61**, Article 025023. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ae44e1>