

从热学概念出发关联基本定律并构建知识图谱

马瑞雪*, 周小卫#, 李润玉, 陈兴鹏, 李昕阳, 肖靖泓

云南大学物理与天文学院, 云南 昆明

收稿日期: 2026年7月26日; 录用日期: 2026年8月18日; 发布日期: 2026年9月1日

摘 要

本论文从热学基本概念入手, 将其关联到热力学基本定律, 理解这些概念在热力学定律导出过程中的奠基性作用。反之, 通过定律对基本概念加深理解, 使概念与定律形成有机结合体。此外, 从热学基本概念出发, 构建具有逻辑性的知识图谱, 利用知识图谱将热学内容中看似交叉且复杂的知识点进行分层梳理, 帮助学生建立起合理的热学知识体系, 重点理解好热学中宏观量与微观量之间的内在联系。通过本研究的讨论培养学生良好的物理思维, 为后续高阶物理知识的学习打好基础。

关键词

热学概念, 热学基本定律, 知识图谱, 物理思维

Relating Fundamental Laws of Thermodynamics through Thermal Physics Concepts and Constructing a Knowledge Graph

Ruixue Ma*, Xiaowei Zhou#, Runyu Li, Xingpeng Chen, Xinyang Li, Jinghong Xiao

School of Physics and Astronomy, Yunnan University, Kunming Yunnan

Received: July 26, 2026; accepted: August 18, 2026; published: September 1, 2026

Abstract

This work begins with the basic concepts of thermology, establishing their connections to the

*第一作者。

#通讯作者。

fundamental laws of thermodynamics, and elucidates the foundational role of these concepts in the derivation of thermodynamic laws. In turn, a deeper understanding of the basic concepts is achieved through these laws, thereby forming an organic integration of concepts and laws. Furthermore, starting from the basic concepts of thermology, a logical knowledge graph is constructed. By employing this knowledge graph, the seemingly intertwined and complex knowledge points in thermology are organized into an orderly hierarchical structure, which assists students in building a coherent knowledge framework for thermology and comprehending the intrinsic connections between macroscopic and microscopic quantities. Through the discussion presented in this study, the good physical thinking for students is cultivated, laying a solid foundation for their subsequent learning of advanced physics.

Keywords

Thermal Physics Concepts, Fundamental Laws of Thermodynamics, Knowledge Graph, Physical Thinking

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

热学是经典物理的重要组成部分，在大学物理教学中是一个难点[1]。一方面是由于初高中阶段所接触的热学知识比较薄弱，另一方面是热学内容相对琐碎，使得学生把握其脉络结构有一定难度。理解基本概念是学习热学的基础，热学相较于力学及电磁学等经典物理课程来说，其知识点显得零散和缺乏逻辑。除此之外，热学内容覆盖范围广，知识点繁杂且涉及多种模型，讨论时经常在微观与宏观问题之间切换。这导致学生常常对一些知识点感到模糊且容易造成混淆，难以形成一个完整的知识系统。另外，热学的研究范围非常广泛，涉及物质结构、物态变化、热功转换及化学反应等诸多领域[2]。正因如此，同学们在热学课程学习中对基本概念及关键定律的理解和应用存在一定难度。我们针对云南大学 25 级天文拔尖班 19 名本科生开展问卷调查，超过半数的同学表示热学课程虽然难度不大，但知识点过多且繁杂。当前网络信息及智能化高度普及，有 11 名学生表示在碰到问题时更倾向于自己回顾课本、课件及网上素材。因此，教师提供合理的知识图谱是适应学生需求的重要方面。通过将热学概念关联到基本定律并构建知识图谱，学生能更有效地把握热学课程的关键知识点，并梳理清楚整体的脉络结构，做到把知识学“厚”的同时也要能化繁为简。

热学知识体系是由概念节点及基本定律链接所构成的紧密系统，从而形成一个完整的知识有机体。由于热学概念与热力学基本定律有着紧密的联系，故从热学概念出发关联到热学基本定律是一种行之有效的学习方法，同时可以让学生在定律的学习过程中深化对于概念的理解[3]。知识图谱则可将繁杂的知识进行归纳并分层整理，非常适合热学这样基本概念多且知识点交叉显著的课程。基于知识图谱可以理清思路并建立框架，让热学的知识脉络更具逻辑性，促进学生构建合理的知识体系[4]。热学围绕“热”的本质进行讨论，“热”是其中最基本的概念[5]。从“热质说”到“热动说”反映了科学家对热本质的争论研究[6][7]，我们在学习热学时应重视宏观问题与微观问题的区别与联系。本文旨在解决热学课程知识点多且显得繁杂的问题，在强调逻辑推导的基础上，通过以主要概念关联热学定律及构建知识谱图的方式为热学课程的教学提供有益借鉴[8][9]。

2. 基本概念是知识内容的切入点

从基本概念出发构建知识体系是自然科学的一大特点, 热学知识框架正是由核心概念切入, 通过实验观察和逻辑推演总结得出。热学始于对“热”现象的理解与量化, 由此直接引出了温度与热量这两个最关键的概念。例如“温度”的提出是为了回答“热的强度”问题, “热量”的提出是为了回答“热的多少”问题。有了这些概念, 再结合实验结果, 并利用逻辑推演, 可得出描述概念之间潜在关系的普适规律。如热力学第一定律就是关于内能、热量及做功这三个概念间的定量法则[1]。另外, 通过热学概念构建知识图谱, 形成知识的脉络及框架, 能够帮助学生更好地理顺热学知识。最后, 基于概念、定律以及它们之间的内在联系, 则构成了热学课程完整的体系。

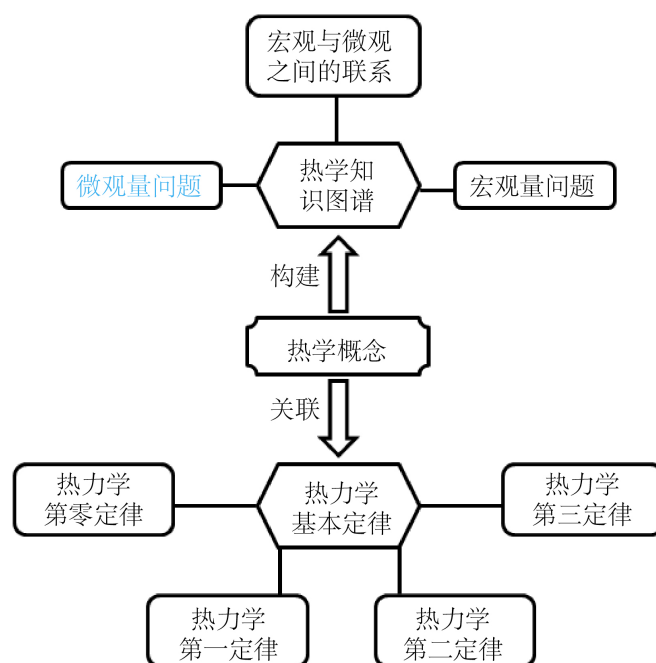


Figure 1. Relating fundamental laws of thermodynamics and constructing a knowledge graph with thermal physics concepts

图 1. 以热学概念关联基本定律及构建知识图谱

如图 1 所示, 从热学概念出发, 一方面可关联热力学基本定律(依照建立的时间先后顺序, 含热力学第一、第二、第三及第零定律)。另一方面, 可构建热学知识图谱, 这些知识内容可笼统地分为微观量与宏观量问题, 重点及核心是把握宏观量与微观量之间的联系。热学概念并非孤立存在, 而是以热力学基本定律为主线, 形成了一个彼此支撑的概念网。自建立起热力学第一定律(能量守恒)以来, 完成了从“热质流”到“能量流”的转换, 热学研究步入研究正轨。在“热机效率”提升的实践中, 逐步发现热力学第二定律, 而“熵”这一概念的引入定量刻画了过程的方向性与限度, 为热力学第二定律的探讨提供了量化标准, 并揭示了自然过程不可逆的本质。热学是与我们生活密切相关的一门基础学科, 热力学基本定律是其主要的理论基础, 最具代表性的是揭示能量之间转化与守恒的热力学第一定律, 以及表明宏观物态演化具有不可逆性及方向性的热力学第二定律[10]。此外, 热力学第三定律提出绝对零度不能达到, 给出低温极限[11], 为热学的深入探索拓宽了空间。最后, 热力学第零定律给测温实践提供了理论依据与操作方法[12]。

3. 热学概念与热学基本定律的关联

如图 2 所示, 基于热学概念, 可将热力学基本定律进行有效关联及梳理。热力学第一定律主要涉及内能、热量与功三个概念[1], 理想气体吸热用于增加自身内能并对外做功, 表达了能量守恒, 说明第一类永动机不可实现。在讨论等压吸热时, 引入焓这一概念及定义, 因为等压过程吸收的热量正好等于焓变。在讨论宏观过程的方向性与不可逆性时, 我们关注热机效率的极限值, 导出理想的卡诺热机效率并提出热力学第二定律, 指出第二类永动机不可实现, 其不仅指明了热过程方向, 还引入了“熵”的概念[13][14], 为建立不依赖于任何测温物质属性的绝对温标提供了理论依据。热力学第三定律则进一步为这一绝对温标划定了下限, 指出绝对零度不可达到[5][11], 并为熵的计算提供了基准, 提出在绝对零度时一切完美晶体的熵值为零, 而微观状态数及玻尔兹曼熵则将熵具体量化。热力学第二与第三定律存在一致性, 若绝对零度可达到, 则卡诺热机效率就能达到 100%, 这违背第二定律[13]。同时, 绝对零度意味着系统的微观完全有序(熵为零), 而孤立系统的熵增原理要求系统向无序演化(熵大于零), 所以绝对零度不能达到。热力学第零定律确立了温度在平衡态系统中的普适地位, 为定义温度这一核心状态参量提供了实验基础[12], 从而实现了测温。此外, 针对热学中的概念, 需区分“状态量”与“过程量”。

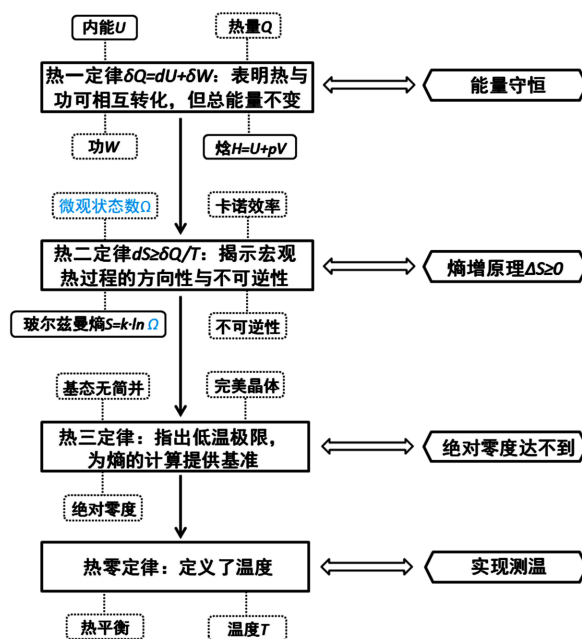


Figure 2. Relating fundamental laws of thermodynamics through thermal physics concepts

图 2. 通过热学概念关联热力学基本定律

热学概念与定律的提出是在社会发展和生产实践过程中逐步确立并完善的。在工业革命时期, 为了提高热机效率, 直接驱动了热学理论的诞生与发展。卡诺通过对热机工作循环的研究, 抓住了“吸热、放热和做功”三个过程, 并提出理想的可逆循环[1]。尽管他当时错误地以“热质说”进行推理, 但率先揭示了热过程的方向性以及热机的最高效率仅由高温热源与低温热源的温度差决定, 这是热力学第二定律的雏形, 其在第一定律被明确之前已被提出, 表明两定律相互独立。焦耳通过实验提出“功热等效”和“能量守恒”, 这与卡诺的“热质说”形成了矛盾。克劳修斯和开尔文采纳了焦耳的理念并结合卡诺关于热过程方向性的判定, 共同奠定了热力学的基石[15], 而“温度”的科学定义是之后通过“热力学第

零定律”才得以确立。我们从历史上热学理论的提出、讨论及确立过程，能够了解到科学研究历程的复杂性及其关键脉络，这也是我们面临科学问题时应具备的态度与方法。

4. 以热学概念构建知识图谱

如图3所示，我们基于热学概念，构建了合理的热学知识图谱。其中，气体动理论模块主要从微观角度展开，热力学定律模块主要从宏观角度阐述，但两者不是泾渭分明，而是你中有我，我中有你，相互关联。反映热力学定律的宏观描述与反应气体动理论的微观描述共同体现在过程与循环中，如三个典型的等值过程(等体/等温/等压)与绝热过程，其中涉及重要的等体与等压摩尔热容概念，以及热机循环的实际效率与理想效率(卡诺循环)。当理想气体处于非平衡态，将通过粘滞、热传导及扩散等输运过程向平衡态过渡。热力学定律应用于宏观热学问题的讨论，前述内容已叙述。气体动理论主要从微观角度出发，如基于理想气体模型导出重要的气体状态方程，并得到直接体现出宏观量与微观量关系的温度公式及压强公式。在通过压强及体积修正后，则获得实际气体的范德瓦尔斯方程。在讨论麦克斯韦速率及速度分布时，所提出三种典型速率(最概然、平均及方均根速率)在研究分子总体分布特性、平均自由程及能量问题时各有应用。当气体分子处于一定的势场中(如简单的重力场)，则可利用玻尔兹曼分布得到等温下压强按高度变化的公式，该结果与采用受力分析并利用理想气体状态方程导出的结果一致。基于自由度的概念提出能量均分定理，其体现了热学中经典统计的方法。本文所提出的“关联-建构”学习方法是基于科学的逻辑联系而不是死记硬背来强化热学知识点，这符合“奥苏贝尔”经典学习理论[16][17]。

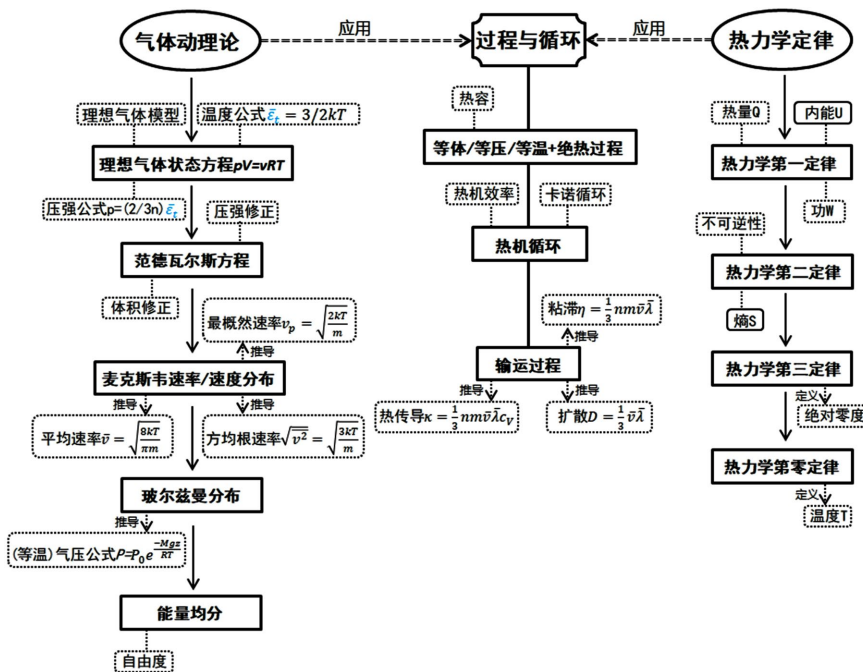


Figure 3. Constructing a knowledge graph with thermal physics concepts

图3. 以热学概念构建知识图谱

“熵”与“不可逆过程”是热学中的典型概念也是教学难点，正是由于实际过程的不可逆，才有熵的增加，也即热力学第二定律的内容。“熵”既有定性表达，又有定量计算，在具体计算某一过程的熵增时需设计假定的理想过程，即“可逆过程”。如图4所示，我们以简单的等压膨胀过程为例进行熵增的定量计算，其中涉及①~⑤五个热学概念，当将这些概念具体展开并应用简单的高等数学积分知识，最后

便可以用宏观参量 T 和 V 表达熵增。可见利用知识图谱可将相关概念及计算操作有机地整合在一起,使学生在解决实际问题时形成清晰的思路。

$$\begin{aligned}
 \text{①熵增} \quad \Delta S &= \int_A^B \frac{\delta Q}{T} \quad (\text{可逆过程}) \\
 &\xrightarrow{\text{②热力学第一定律 } \delta Q = dU + \delta W} \int_A^B \frac{dU + \delta W}{T} \\
 &\xrightarrow{\text{③内能表达式 } dU = \nu C_{v,m} dT} \int_A^B \frac{\nu C_{v,m} dT + \delta W}{T} \\
 &\xrightarrow{\text{④做功表达式 } \delta W = PdV} \int_A^B \frac{\nu C_{v,m} dT + PdV}{T} \\
 &\xrightarrow{\text{⑤理想气体物态方程 } PV = \nu RT} \nu C_{v,m} \ln \frac{T_B}{T_A} + \int_A^B \frac{\nu R dV}{V} \\
 &= \nu C_{v,m} \ln \frac{T_B}{T_A} + \nu R \ln \frac{V_B}{V_A}
 \end{aligned}$$

Figure 4. Example of a knowledge graph for entropy increase calculation in an isobaric expansion process

图 4. 等压膨胀过程中熵增计算的知识图谱示例

热学概念作为热学课程关键的知识节点,是整个热学知识网络的支撑点。热学中基本概念较多,教师需利用概念构建思维导图及知识图谱,使热学知识形成层次分明且逻辑性强的脉络结构,以引导学生系统性学习以及本人开展合理的教学设计[1][4]。

5. 结语

热学课程具有知识点多且繁杂,逻辑与推理性不够显现的特点,其相比于其他模块的经典物理课程来说更需注意学习方式。本文从热学概念为出发点,首先将其与热力学基本定律进行关联,帮助学生更好地理解热力学定律的内涵,便于学生熟悉热学课程的核心内容。其次,以基本概念入手构建热学知识图谱,使学生理清热学课程的知识脉络,并形成合理的内容框架与潜在逻辑,重点让学生能够根据经典统计有效掌握宏观量与微观量之间的内在联系,不仅促进了知识的结构化,还培养了学生的系统性思维。

基金项目

云南大学教育教学改革研究重点项目(2023Z02);教育部高等学校热学课程教学研究项目(JZW-25-RX-01);2024年度云南省研究生优质课程建设项目(凝聚态物理:纳米材料与纳米技术);2026年教育部高等学校大学物理教学研究项目;云南大学校级大学生创新项目(20257139、20251201)。

参考文献

- [1] 冯艳全, 胡海云. 在热学教学中应突出热学独特的研究方法和思维方法[J]. 物理与工程, 2016(S1): 17-21.
- [2] 陈征, 强艳. 热学基础概念的源流与认知路径[J]. 物理, 2022, 51(10): 734-736.
- [3] 朱鉉雄, 王世涛. 是“教物理教材”还是“用物理教材教”——大学物理《热学》教学改革的尝试及其提供的启示[J]. 物理与工程, 2008, 18(4): 12-15.
- [4] 王晓芳, 吴登平. 热学课程教学中基于思维导图构建知识体系的探索研究[J]. 物理通报, 2012(7): 41-43.
- [5] 令狐荣锋. 浅谈热学中的辩证法[J]. 安顺师范高等专科学校学报(综合版), 2003(3): 79-80+83.
- [6] 解士军. 浅析“热质说”和“热动说”之争[J]. 科技创新导报, 2009(17): 217.
- [7] 余长敏. 漫评热的本性——热质说与热动说[J]. 物理教师, 2005, 26(2): 40-41.
- [8] 王琛琛, 张睿, 吴天刚. 大学物理知识图谱的构建及其在个性化教学中的应用[J]. 物理与工程, 2020, 30(5): 76-81.
- [9] 刘霞, 黄宝歆, 曹连振, 等. 基于人工智能及知识图谱的大学物理课程教学改革与实践[J]. 潍坊学院学报, 2026,

26(2): 103-107.

- [10] 钟立新. 生活中的热力学[J]. 现代物理知识, 2003(2): 9-11.
- [11] 林熙. 热力学极限与低温终点[J]. 物理, 2025, 54(7): 509-512.
- [12] 李炜, 周正, 娄捷, 等. 关于热力学定律的一些讨论[J]. 复旦学报(自然科学版), 2021, 60(4): 510-514.
- [13] 邵云. 论卡诺定理的热力学价值及其与热力学第二定律的关系[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2017, 38(5): 23-26.
- [14] 江振西. 热力学基本理论探索和过程热力学计算[J]. 黄河科技学院学报, 2025, 27(8): 18-34.
- [15] 文亚. 开尔文的热力学研究及其影响[J]. 武汉理工大学学报(社会科学版), 2016, 29(3): 422-428.
- [16] 刘炜. 奥苏贝尔的先行组织策略及其对现代教学的启示[J]. 青春岁月, 2013(9): 290+289.
- [17] 聂玉凤. 奥苏贝尔有意义接受学习理论对现代教育的启示[J]. 牡丹江教育学院学报, 2016(5): 60-61.