

热力学第二定律课堂教学设计与实践

张 亮 季振宇

(空军军医大学生物电磁检测与智能感知陕西省重点实验室, 陕西 西安 710032)

摘 要 本文以公共基础课程“大学物理”中热力学第二定律为例,开展了以学生为主体的启发式教学设计与实践。通过对知识点进行梳理,构建新的知识逻辑框架;以自然过程的方向性问题为主线,从宏观与微观两个角度串联热力学第二定律及其数学表征,让学生理解并掌握热力学第二定律和熵的物理内涵,并建立二者之间的逻辑联系。同时融合当前热点话题,组织思政要素,从知识到思想逐层推进,开展了科学知识人文素养、理论学习与实践认知相融合的闭环教学,实现了知识传授与课程育人的教学目标,为大学物理课程教学与课程思政设计与实践提供更多思路 and 参考。

关键词 大学物理;课堂教学;课程思政;热力学第二定律;熵

DESIGN AND PRACTICE IN THE TEACHING OF THE SECOND LAW OF THERMODYNAMICS

ZHANG Liang JI Zhenyu

(Key Laboratory of Bio-Electromagnetic Detection and Intelligent Sensing of Shaanxi Province, Air Force Medical University, Xi'an, Shaanxi 710032)

Abstract In this paper, the second law of thermodynamics in the public basic course college physics was taken as an example to achieve the heuristic teaching design with students as the main body. The logical framework of knowledge was reconstructed based on combing knowledge points. This lesson takes the directionality of natural process as the main line, and connects the written expression and mathematical representation of the second law of thermodynamics from macro and micro perspectives, enables students to understand and grasp the essence of the second law of thermodynamics and entropy, and establish the logical connection between the two. At the same time, this lesson integrates current hot topics, organizes ideological and political elements, advances from knowledge to thought layer by layer, and carries out closed-loop teaching that integrates scientific knowledge and humanistic literacy, theoretical learning and practical cognition, achieving the teaching goal of imparting knowledge and educating people, and providing more ideas and references for the teaching design of college physics course under the background of ideological and political education.

Key words college physics; classroom teaching; curriculum ideological and political education; the second law of thermodynamics; entropy

收稿日期: 2022-10-18

基金项目: 高等学校教学项目研究项目(DWJZW202216xb), 教育部教指委教学课题(DJZW201924ZN-7), 基础加强计划技术领域基金项目(2019-JCJQ-JJ-090), 空军军医大学教学改革研究项目(2H201608)。

作者简介: 张亮,男,副教授,主要从事大学物理理论教学和生物电磁研究工作。

通讯作者: 季振宇,男,副教授,主要从事生物医学工程、生物物理等方面的研究和教学工作,jizhenyu@fmmu.edu.cn。

引文格式: 张亮,季振宇. 热力学第二定律课堂教学设计与实践[J]. 物理与工程,2023,33(5):17-22.

Cite this article: ZHANG L, JI Z Y. Design and practice in the teaching of the second law of thermodynamics[J]. Physics and Engineering, 2023, 33(5): 17-22. (in Chinese)

教育的目标就是育人。“培养什么人、怎样培养人、为谁培养人”是我国教育发展的根本问题^[1]。教育部在《高等学校课程思政建设指导纲要》中指出,课程思政建设就是寓价值观引导于知识传授和能力培养之中,帮助学生塑造正确的世界观、人生观、价值观,是人才培养的应有之义,更是必备内容^[2]。因此,教学活动不能仅仅停留于知识和技能层次,需要进一步上升到思想认识和价值观层面。这对广大教师提出了更高要求:要在深入理解课程教学内容的基础上,结合课程和授课对象特点,充分挖掘思政元素,并将其与知识与技能、过程与方法、情感与价值观有机融合,以达到“润物无声”的教学效果。

物理学是研究物质结构和运动变化规律的基础科学,其不仅展现了数学的严密与逻辑、公式的简洁与纯粹,还展现了哲学的抽象与概括、思想的广博与深邃,在西方曾被称为自然哲学。这让大学物理这门课在课程思政中具有鲜明的优势。热学是物理学重要组成部分,主要研究物质的热现象性质与变化规律。其从微观与宏观两个角度开展研究,形成了统计物理学和热力学两大理论。其中热力学第二定律不仅是热力学核心理论之一,对工程实践具有重要的指导意义,还广泛应用于生命、信息科学等其他领域^[3-4],在物理学中具有十分重要的地位。热力学第二定律的发展史包含了丰富科学理论和哲学思想;熵概念的广延化塑造了更多的知识要素和讨论热点。这些为课堂教学提供了丰富的思政元素和广阔的设计空间。但同时热力学第二定律概念抽象,不易论证,使得学生在学习过程中难以理解,给课堂教学带来了不小的挑战。

因此,本文在新时代高校大力推进课程思政的背景下,基于以学生为主体的启发式教学,融合当前热点话题,对热力学第二定律这次课进行课堂教学设计与实践。从现象出发到理论最后再回归实践,从知识到思想逐步推进,展现了科学知识人文素养、理论学习与实践认知相融合的闭环教学设计理念,为大学物理课程教学与课程思政设计与实践提供更多思路 and 参考。

1 教学设计

1.1 教学目标与重难点

大学物理课程开设对象为本校生物医学工程专业学生,其中热力学第二定律授课于大一下学期,是整个热力学基础的最后一次课。依学情分析,本次课的教学目标为:

(1) 理解热力学第二定律与熵的基本表述、本质内涵及二者之间的逻辑关联;在推演过程中培养学生的逻辑思维能力;基于热力学第二定律与熵的内涵理解,激发学生对个体正能量、群体秩序与价值导向必要性的思考。

(2) 了解热力学第二定律与熵的概念外延;在阐述过程中培养学生的知识拓展能力;结合热力学第二定律的历史争论,激发学生对科学探索道路的选择性与坚持性的思考,鼓励学生积极探索、勇攀高峰的科学精神。

本次课的教学重点是热力学第二定律与熵逻辑关联的阐述,教学难点是克劳修斯熵推演过程中对热温比 dQ/T 、克劳修斯不等式以及熵等物理本质的理解。图 1 给出了本次课的教学目标设

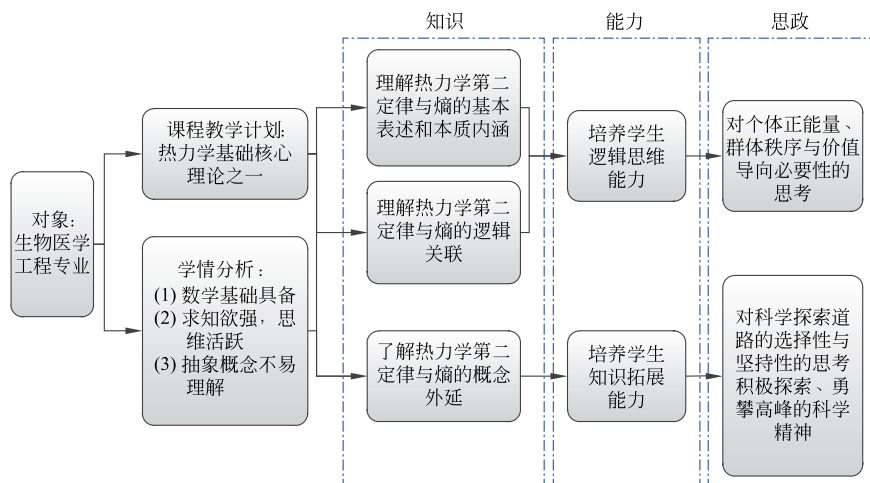


图 1 热力学第二定律教学目标设定思路

定思路。

1.2 知识点逻辑结构框架

热力学第二定律概念较多且抽象不易理解,各知识点之间的脉络比较发散,需要对其进行梳理,建立逻辑结构框架,避免授课过程凌乱混杂。图2给出了本次课的知识点逻辑结构框架。本次课的内容概括起来就是:一条主线串联,一个核心凸显,两个角度探究,两种表述总结。其中主线为自然过程的方向性问题。知识核心即为热力学第二定律;围绕核心主要从宏观能量和微观分子运动两个角度对其进行研究探索;结论以开尔文、克劳修斯的两种表述以及熵的数学表征两种形式呈现。

1.3 教学策略设计

课题组一贯秉持以学生为主体的启发式教学,在设计本次课教学过程时,注重知识逻辑的梳理,激发并引导学生进行自主思考与探究。

授课过程采用闭环式设计:通过现象认知激

发学生兴趣,观察现象特征,凝练出待研究问题;通过解析问题,联系现有知识对其进行建模;解析模型,讨论其中的可变参量,最终总结规律,得到成果;将所得成果紧密联系实际应用,让学生能够进一步感受所学有用,所得有益(见图3)。此外,在教学过程中注重多媒体与板书结合的方式,充分利用音画资源将抽象概念具象化,创设丰富的教学情景,多角度表达教学内容的要义;涉及理论推演过程,则采用板书推导的方式,引导学生重视数学基础,特别是微积分思想。

1.4 思政要素挖掘

热力学第二定律包含丰富的思政要素,在实践教学运用较多的有对生命的思考以及节能环保的重要性启示^[5-6]。在本次课的教学设计中,思政要素的挖掘可从以下几个方面考虑:一是紧跟时代步伐、围绕热点话题开展;二是贴合学生自身需求;三是关注科技前沿;四是从热力学发展史上的争议论题进行切入。以上四点的根本目的在于

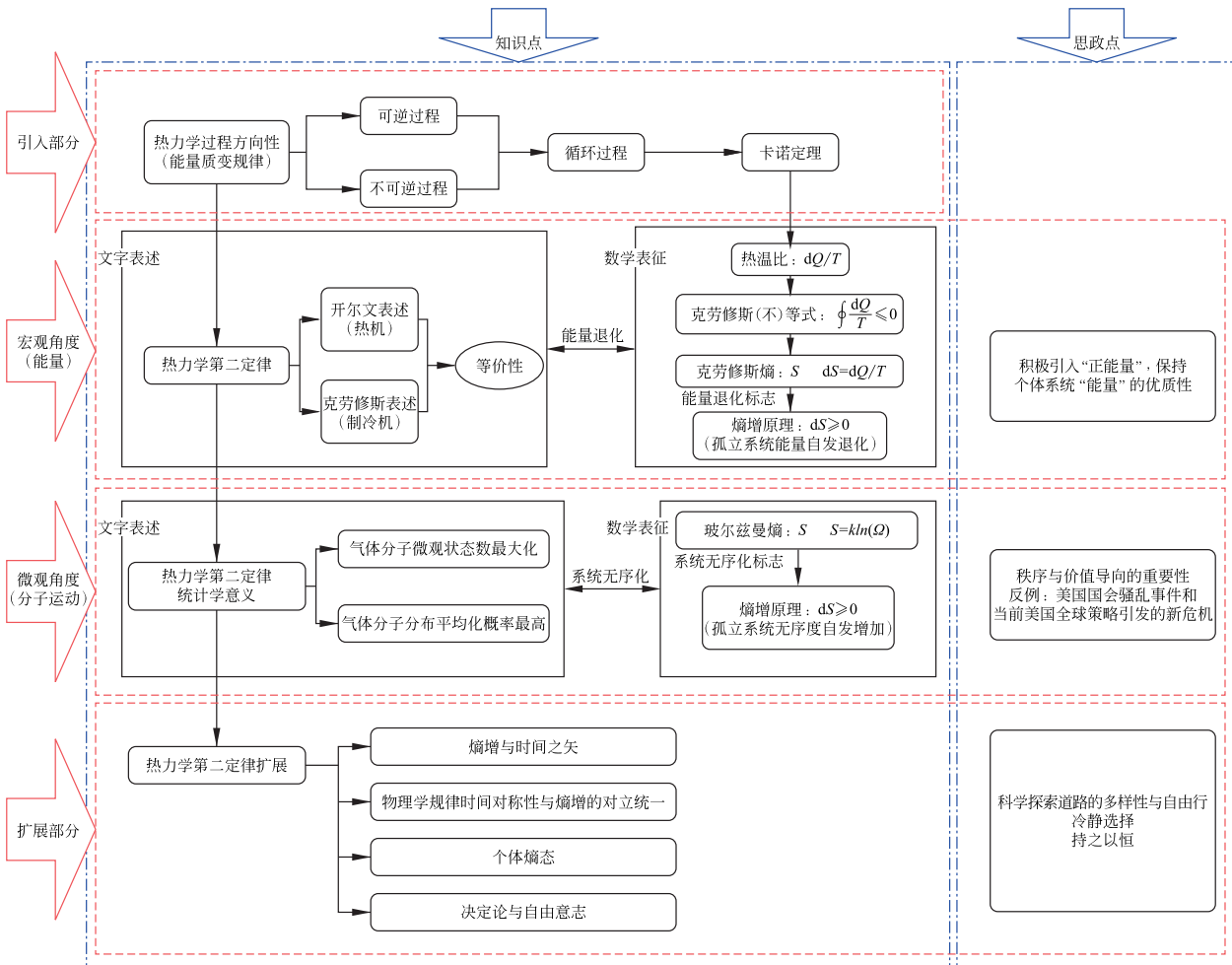


图2 热力学第二定律课堂教学知识点逻辑结构框架

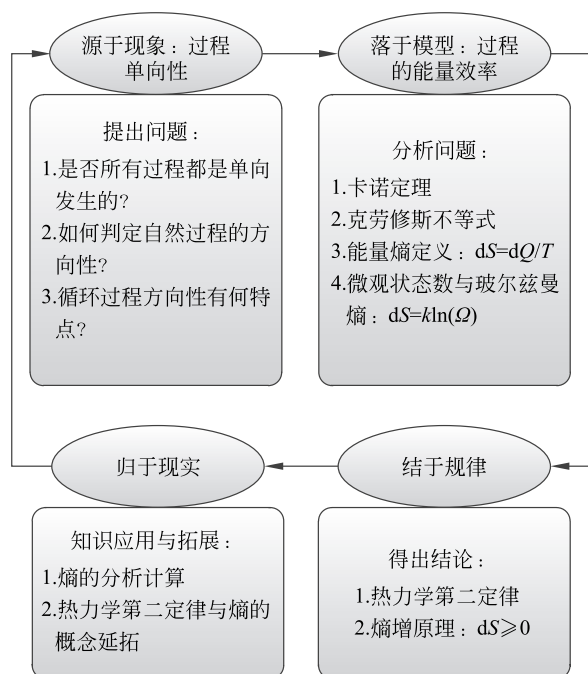


图3 “四于一体”的课堂教学思路

贴合学生兴趣,提高其课堂教学参与度,进而提升课堂教学与课程思政的效果。

2 教学实施过程

2.1 问题引入与铺垫

回顾上次课热力学第一定律,从第一类永动机不可能实现出发,给出第二类永动机示例,启发学生思考其是否满足第一定律,是否可以实现?以此为伏笔点明热力学过程发生不仅需要满足能量的守恒,还需要遵守其他准则,开启本次授课,实现课堂教学的承上启下。

以香水气味的扩散和热咖啡自然冷却至室温为例给出现象:过程的进行具有方向性。并以此启发学生思考:是否所有的过程都是单向发生。如图2所示,引入可逆过程和不可逆过程的概念对一般过程的方向性进行标准化定义。通过分析给出结论:自然过程通常都是不可逆过程(特点:单向性);随后层层推进,将热力学过程范围扩展至循环过程,从能量效率的角度启发学生思考可逆与不可逆循环过程的特点,并给出卡诺定理,完成课堂教学引入部分的知识铺垫。最后提出问题:不可逆的自然过程如何判定其进行方向开启本次课的核心内容——热力学第二定律。

2.2 热力学第二定律

热力学第二定律在本次课中从宏观和微观两个角度各有物理学现象描述和数学表征两种形式存在。授课过程可以按照先宏观再微观,先现象描述再数学表征的逻辑顺序进行展开(如图2所示)。其中开尔文和克劳修斯的两种表述,不能仅仅侧重于二者的等价性论述,还应点明两种表述的意义与差异性。克劳修斯在研究可逆热力学循环过程中,论证了功热转换与热量传递过程的等价性,进而给出了相关结论,基于此结论状态量熵被导出^[7]。开尔文则是以热机效率为切入点,进而给出结论,基于此结论证明了第二类永动机不可能实现(以此结论为前面引言的伏笔收线,进一步强调第二类永动机和第一类的差别)。两者都是以卡诺原理为基础,并没有直接提出过程的方向性,但又揭示了热力学第二定律的本质内涵。这部分的论述授课老师应注意把握尺度,可引导感兴趣的同学课后查阅相关资料开展讨论。

对克劳修斯熵的讲授侧重于建立热力学第二定律与熵的关联性这一教学重点。可优先从热温比的概念进行突破,深入剖析其物理本质,逐步推进解析克劳修斯熵以及熵增原理的物理内涵,进而突出热力学第二定律与熵增之间的物理现象描述与数学表征之间的联系。

2.3 物理内涵

在克劳修斯熵的推演过程中,热温比 dQ/T 并非单纯的数学概念,而是具有明确的物理意义:根据循环过程的能量分析, dQ 的大小恰好等于过程中做功的能量 A 大小,且与系统温度相关^[8]。通常我们将系统可用于做功的能量视为有效能量,并用能质来进行表征^[8]。因此,热温比 dQ/T 表征了热力学过程中能质的大小。据此,克劳修斯不等式

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$$

其物理意义为热力学系统每经历一次可逆循环过程,其有效能量收支平衡不发生变化,而系统每经历一次不可逆循环过程,其有效能量减小。

而另一组不等式

$$\frac{dQ}{T} \leq dS$$

其内在本质为热力学过程中,系统实际使用的有效能量不会超过系统潜在可用的有效能量。据此

可知熵 S 是热力学系统用于评定其能量有效性(能质)的状态函数。根据孤立系统的熵增原理推断, S 是表征系统无法用于做功的无效能量大小的状态函数。根据能量守恒,无效能量的增加,表明系统的能质在减少。

至此,热力学第二定律和克劳修斯熵在宏观层面得到了统一。高温物体只能自发向低温物体传热,反之无法进行。其本质在于系统能质的退化。因此,孤立系统由于无法得到“补充”,其熵值将不断增加。这里可以与热力学第一定律形成呼应:热力学第一定律主要探究热力学过程中能量的量变规律,而热力学第二定律则主要探究热力学过程中能量的质变规律。如果将生命个体看作一个热力学系统,要阻止系统自身的能质退化,就需要不断地从外界进行补充($dS < 0$),但一旦“能量”摄入不当($dS > 0$),反而会加剧自身能质的退化。由此引入本次课的第一块思政内容,启发学生思考“正能量”引入的必要性。

另一方面从微观角度来看,孤立系统内进行的过程总是向着分子均匀分布(系统无序度增大)的趋势发展。由于系统内部无序度增大,分子运动产生的热能转换为功的效率降低,使得系统的质降低。这也告诉我们,一个稳定有序的系统,将具备较高的运作效率,反之将会阻碍系统的有效运转。这里可举美国国会骚乱事件和以美国为首的西方国家近期在全球范围内引发的一系列冲突问题为反例,启发学生思考秩序和价值导向对于社会的重要性,以此开展第二块思政内容。

综上所述,自然过程的方向性遵从热力学第二定律,这是由于系统的能质在不断退化,其根本原因在于系统内部的无序度在不断增加,这一点通过熵增原理清晰的给予了阐明。揭示这一物理本质是本次课的难点。在教学过程中需要充分利用幻灯、图示,将热温比、熵等抽象概念具象化以突出其本质内涵,同时采用提问互动的方法增加学生的参与度,促进其形成长期记忆。

2.4 知识拓展

适当对热力学第二定律与熵的概念进行拓展,不仅可以丰富课堂教学内容,进一步增强学生兴趣,还可以让教学过程形成闭环——从实践中提取理论,最终回归到实践中去。因此,可从以下几个方面进行知识拓展:

首先,在应用层面将玻耳兹曼熵的概念内涵

进一步拓展引入信息熵,并结合生物遗传信息学和人工智能等当前较火的前沿科学,初步探讨其对于信息不确定度和缺损度、遗传组织复杂度和进化度的定量描述方法。既贴近学生所学专业,为其后续学习做好铺垫,又贴合前沿,激发学生的探索热情。

其次,将熵类比时间,在假定二者存在关联性的前提下,启发学生思考时间逆流的可能性,并以此开启拓展部分内容的探讨。这样展开的目的一方面可以通过时间之矢的概念激发学生兴趣,另一方面检验学生对本次课热力学第二定律微观层面统计意义的掌握程度。根据其统计意义的描述,自发过程可逆的可能性应该是存在,所以时间逆流也是可能的,但概率极低。

此外,从时间逆流的现实合理性出发,通过自由落体、完全弹性碰撞等示例,启发学生思考自然过程的宏观不可逆与微观可逆之间的对立统一性,并以此引出物理学史上玻耳兹曼与庞加莱等人关于熵增的争论。为学生呈现物理学探索道路的多样性与自由性,启发并引导学生思考在攀登科学高峰的过程中,选择与坚持的意义。

援引 2020 年诺贝尔物理学奖得主罗杰·彭罗斯关于思想与意识的论点^[9],启发学生思考并讨论熵在现代信息学中的地位与作用。并以个体意识自由化为切入点,引入历史上以拉普拉斯为代表的决定论观点,留下问题由学生课后思考并探讨:意识思维与物理学规律之间究竟谁占主导?

以上设计的特点在于贴合热点、激发学生兴趣,同时与课程思政紧密联系。

2.5 小结

对本次课的内容进行梳理总结。热力学第一定律揭示了自然过程中能量的存在方式与总量不变的转换准则,表现出时域内能量在量上的对称性;而热力学第二定律进一步揭示了自然过程中能量转换的方向性准则,表现出时域内能量在质上的非对称性。二者相辅相成共同支撑了热力学理论体系。热力学第二定律是热力学研究得到的重要成果,其进一步完善了对自然过程中能量存在与转换的规律揭示。特别是有序化与熵概念的提出,对热量传递、热功互变、化学反应、燃料燃烧、气体扩散、混合、分离、溶解、结晶、辐射、生物化学、生命现象、信息理论等领域的研究都具有十分重要的指导意义。

最后对拓展部分内容给出自己的见解启发学生思考,升华主题:对大家而言,在科学探索的道路上,观点的分歧不代表对错,只是各自踏上了不同的道路,看到了不同的风景。尽管殊途同归,但现在的我们还远未到达那个层次。影响我们的只在于道路的选择以及坚持走下去的恒心,前者决定了我们走什么路,后者决定了我们能走多远。

3 实施效果

本课堂设计自2020年起在本校生物医学工程专业小班课开展实践,取得了较为满意的效果。通过课后与学生和听课专家沟通得到了本课堂设计的相关反馈:(1)课程脉络清晰,知识点之间的逻辑关系衔接较好;(2)重难点突出,学生对热力学第二定律也有了更深入的理解,达到了预期教学目标;(3)授课内容丰富,既有知识传授,又有哲学方面的思考与讨论,有一定深度,且学生感兴趣的要素较多,很多课堂互动主题都具有启发意义;(4)思政元素丰富且贴近实际,有一定的育人价值。

本课堂设计有待进一步优化的要点主要包括:(1)伴随知识深度和广度的拓展,授课难度有所提升,授课时间压力较大,对教师的课堂掌控力有较高的要求;(2)可以进一步突出实践需求导向,特别是本校医学特色实践,为后续临床专业物理课程的教学实践打下基础。

4 结语

本次课采用以学生为主体的启发式教学,以自然过程的方向性问题为主线,从宏观与微观两个角度,对热力学第二定律的表述和数学表征进行探究。重点把握热力学第二定律与熵的本质内涵,并且建立二者之间的逻辑关联。同时在课程思政设计上,融合当前热点话题,贴合学生的兴趣点,从知识、思想、境界三个层面逐层推进,展现了科学知识与人文素养、理论学习与实践认知相融合的教学设计理念,在知识传播的同时实现育人价值。

参 考 文 献

- [1] 冯留建. 新时代青年党史教育的目标和任务[J]. 人民论坛, 2021(26): 58-61.
FENG L J. The goal and task of Youth Party history education in the new era[J]. People's Tribune, 2021(26): 58-61. (in Chinese)
- [2] 吴岩. 建设中国“金课”[J]. 中国大学教学, 2018(9): 4-9.
WU Y. Building China's "Golden Course"[J]. China University Teaching, 2018(9): 4-9. (in Chinese)
- [3] 付沙, 周航军, 陈智俐, 等. 基于粗糙集与信息熵的课堂教学质量评价体系研究[J]. 中国管理信息化, 2018, 12(19): 207-211.
FU S, ZHOU H J, CHEN Z L, et al. Study on evaluation system of classroom teaching quality based on rough set and information entropy[J]. China Management Informationization, 2018, 12(19): 207-211. (in Chinese)
- [4] 蒋锋. 熵与能的竞争——科学文化与人文文化融合的教学案例[J]. 中国电力教育, 2021(A1): 79-80.
JIANG F. Entropy versus energy—A teaching case of the integration of scientific culture and humanistic culture[J]. China Electric Power Education, 2021(A1): 79-80. (in Chinese)
- [5] 张辉, 梅洛勤, 陶宗明, 等. 热力学第二定律的教学设计[J]. 物理通报, 2017(2): 36-39.
ZHANG H, HAI G Q, TAO Z M, et al. The teaching design of the second law of thermodynamics[J]. Physics Bulletin, 2017(2): 36-39. (in Chinese)
- [6] 陈晖, 陈富于. 热力学第二定律的教学实践案例分析[J]. 电子技术, 2021, 50(6): 92-93.
CHEN H, CHEN F Y. Case study on teaching practice of the second law of thermodynamics[J]. Electronic Technology, 2021, 50(6): 92-93. (in Chinese)
- [7] 薛提微, 过增元. 热力学第二定律克劳修斯表述的误解及其后果[J]. 科学通报, 2018, 63(25): 2666-2672.
XUE T W, GUO Z Y. The misunderstanding of Clausius statement of the second law of the thermodynamics and its aftermath (in Chinese)[J]. Chin. Sci. Bull, 2018, 63(25): 2666-2672. (in Chinese)
- [8] 宫克勤, 刘立君, 王志国. “热力学第二定律”教学方法探讨[J]. 高教学刊, 2017(5): 89-90.
GONG K Q, LIU L J, WANG Z G. Discussion on teaching methods of the second law of thermodynamics[J]. Journal of Higher Education, 2017(5): 89-90. (in Chinese)
- [9] 彭罗斯 R. 皇帝新脑[M]. 许明贤, 吴忠超, 译. 长沙: 湖南科技出版社, 2007.