

核心素养视角下物理学史的价值体现

——以“热力学第一定律”为例

庞远舒 李德安

(华南师范大学物理与电信工程学院 广东 广州 510006)

(收稿日期:2022-03-08)

摘要:把物理学史引入中学物理教学是培养学生物理学科核心素养的有效策略之一.热力学第一定律的发现涉及迈耶、焦耳、亥姆霍兹等相关历史人物,具有把物理学史融入到教学中的价值.分析教材内容呈现的局限性,展现较为完整的“热力学第一定律”的发展历史,并以此为例,结合课标的要求,分析其在培养学生学科核心素养的价值.

关键词:核心素养;物理学史;价值体现;热力学第一定律

随着教育部颁布《普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)》(以下简称“课标”),高中物理课程目标由三维目标走向了物理学科核心素养,主要包括物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任4个方面^[1].课堂教学模式也随着教学理念和目标的变化而发生转变,但传统物理教学课堂中物理学史的缺失,难以体现物理学史与学科核心素养紧密联系的育人价值,与高中物理课程目标的要求相悖.因此,本文以高中物理“热力学第一定律”相关物理学史的引入为例进行探讨.

1 现行教材的呈现方式及其局限性

现行高中物理人教版教材选择性必修3第3章第2节是“热力学第一定律”,以“问题”栏目中的内能变化量的不同作为问题引入,引导做功与传热在改变系统内能方面具有等价性,接着通过呈现上节课已学内容,总结得出热力学第一定律.

课标对该内容的要求为:“通过有关史实,了解热力学第一定律的发现过程,体会科学探索中的挫折和失败对科学发现的意义.”由此可见,教材的局限性在于热力学第一定律的内容没有呈现出完整的发展历史和历史情境.迈耶、亥姆霍兹、克劳修斯等物理学家在热力学第一定律的发现过程中出现了“缺席”的情况,双重强化了焦耳的历史角色.这让

学生难以通过物理学史了解热力学第一定律发现过程,这与课标的要求相悖.再者,科学探索中的挫折与失败内容的缺失,难以让学生感受到科学发现与进步的意义,不利于学生核心素养的形成.另一方面,课文内容的呈现必然让学生产生这样的疑问:焦耳贡献那么大,为什么不叫焦耳第一定律?因此,有必要完整清晰地论述热力学第一定律的发现历史和历史情境.

2 热力学第一定律的故事

热力学第一定律建立的故事充满着跌宕起伏的情节,也深刻蕴含了科学家们对探索真理的哲学追求,在阐明迈耶、焦耳和亥姆霍兹为这一定律的建立的工作之前,我们先来了解一下历史上对热的本质的争论.

2.1 热的本质

关于热的本质,在物理学历史上存在两种对立的观点.一种是热质说,另一种是热动说.

布莱克、拉瓦锡等人从传热现象出发,认为热是一种看不见、没有重量的物质,即称为热质说.热质可以渗透到一切物体之中,可以像液体那样由一个物体流向其他物体,得到热素的物质会变热.热质说因成功地解释量热学实验而受到大多数物理学家的追捧,焦耳在早期的研究中也始终坚信“热质说”.而

作者简介:庞远舒(1998-),男,在读硕士研究生,研究方向为学科教学(物理).

通讯作者:李德安(1974-),男,高级实验师,硕士生导师,主要从事中学物理、小学科学实验教学研究.

培根、牛顿、罗蒙诺索夫等人根据摩擦生热等现象,认为热是微粒运动的表现,即称为热动说.但由于当时微粒运动认识水平的限制,热动说只能定性地说明少数热学现象.

随着研究的深入,致力于推翻热质说的物理学家伦福德根据其在兵工厂监制大炮镗孔时观察到的现象,做了一系列实验,于1789年在英国皇家学会宣读他的论文《论摩擦激起的热源》,文章中写道:“我发现,铜炮在钻了很短的一段时间后,就会产生大量的热;而被钻头从大炮上钻下来的铜屑更热.……由摩擦所产生热的来源似乎是无穷无尽的.”伦福德由此推出热的来源不是别的,而是来自运动的结论.伦福德的论文得到了化学家戴维的响应,戴维在1799年发表了《论热、光及光的复合》的论文,介绍他所做的冰摩擦实验:真空中两块为 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰经过几分钟的剧烈摩擦,都化成了水,且温度达到了 $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$.戴维由此说:“热质是不存在的,摩擦和碰撞引起的物体内部微粒的特殊运动或振动就是热的本质.”^[2-4]

伦福德和戴维的实验为热质说的最终被推翻提供了最早的论据,成为建立能量守恒定律的前奏.

2.2 充满哲学修养的迈耶

迈耶是德国的一位医生,在1940年随船经过热带地区时,发现船员的静脉血的颜色要比在欧洲时红一些.迈耶认为热带地区的高温,使得不需要太多的氧气在人体内燃烧生成热,因而静脉血中含有较多的氧气,颜色要红一些.迈耶展开联想,认为身上的热来源于全身的血肉,血肉靠每天的食物维持,食物又是靠太阳的光热而成长……迈耶最终得出机械能、热、化学能是可以相互转化的结论.迈耶由血液颜色的不同这一孤立事件,一下子“跳跃”被称为伟大的守恒定律上去,与迈耶所信奉谢林、康德的自然哲学观有密切的联系.这种哲学认为:整个自然界,以及自然界的每一个细部,都要服从一个原理——简单性原理^[5].

迈耶在1842年发表的题为《热的力学的几点说明》的论文,论述了热和机械能的相当性和可转化性.他的结论是“因此力(即能量)是不灭的、可转化的、不可称量的客体”.这是能量守恒定律的最早完整表达.

克劳修斯曾称赞:“(迈耶的)文章中所包含的

大量美丽悦人和正确的思想,令我感到震惊.”但由于迈耶的观点缺少严密的科学论证和精密的实验证明,以及当时的科学界对新思想的强烈抵触,迈耶的贡献长期未得到科学界的承认,反而被一些著名物理学家斥为“肤浅的局外人”.

2.3 苦测热功当量的焦耳

对物理学家来说,只有大量美丽悦人和正确的思想是不够的,物理学还要求实验的证明.迈耶根据气体的定体热容和定压热容推算出误差较大的热功当量^[6],但他所追求的哲学概括和审美的判断让他没有进一步精确计算这个当量的值.这项精密的工作,最终被40年艰苦测量热功当量的焦耳所完成.

焦耳出生于英国一个富有的酿酒商家庭,从16岁起到著名化学家道尔顿那里学习,使其对科学产生了浓厚的兴趣.在焦耳20岁时,一股电气的热潮席卷了欧洲,使其对磁电机这样的新动力设备产生了兴趣.1840年,22岁的焦耳通过测定电流通过电阻线所放出的热量,总结出了以他名字命名的、对确立热功当量起着基础性作用的著名实验定律——焦耳定律,又称 i^2R 定律.

此后,焦耳从1843年以磁电机为对象开始测量热功当量,直到1878年最后一次发表实验结果,先后采用了原理不同的各种方法,做实验400余次.在这400余次实验中,尤以1843年设计的“磁电式机器通过感应而产生的电流,应该与其他电源的电流一样的产生热效应”的实验最为著名,该实验不仅得出了热功当量值为4.6焦耳/卡,而且否定了热质说,因为这里的电路是完全封闭的,水温升高完全是由于机械能转化为电,而电又转化为热的结果.

1849年6月,焦耳做了题为《热功当量》的总结报告,给出的热功当量数值为4.154焦耳/卡,与现代公认的数值4.187焦耳/卡极为接近.焦耳的工作为热和功的相当性提供了可靠的实验证据,使能量守恒定律确立在牢固的实验基础上.

2.4 亥姆霍兹最全面和最严谨的论证

亥姆霍兹出生于德国一个教师家庭,因家庭无力负担大学教育的费用,被迫放弃物理学专业而进入由军队赞助的定向军医专业.在医学之旅中,在柏林大学结识了著名的生理学家米勒.在米勒的帮助下,亥姆霍兹由医学而走向生理学.

亥姆霍兹在研究动物肌肉生热的过程中,渐渐

萌生了“能量守恒”的观念. 1847年, 26岁的亥姆霍兹写成了著名论文《论力的守恒》, 向世人宣告了能量守恒定律. 他的论文共分6节, 内容分别为“活力的守恒原理(即动能守恒)”“力的守恒原理(即机械能守恒原理)”“原理在力学定理中的应用”“热的力当量”“电过程的力当量”“磁和电磁现象的力当量”^[7]. 历史证明, 这篇论文在热力学发展中占有不容忽视的重要地位, 因为亥姆霍兹提出了能量守恒定律的哲学基础、数学公式和实验根据, 一举把能量观念从机械运动推广到了所有变化过程, 证明了普遍的能量守恒原理.

亥姆霍兹是在力学的基础上, 运用精确的数学方法概括能量守恒, 并将其运用到自然界中各种过程的第一人. 他的工作完全以理论物理的模式展开, 被认为是能量守恒定律的第一个最严谨、最全面的论证.

2.5 热力学第一定律数学表达式的形成

在经过许多不懈的努力后, 特别是焦耳对热功当量的测定和亥姆霍兹对能量守恒定律的论证, 物理学界开始普遍接受能量守恒的观点.

1850年德国物理学家克劳修斯发表了著名论文《论热的动力及由此推出的关于热学的诸定理》, 在论文中, 克劳修斯全面分析了消耗的热量 Q 、功 W 和气体状态的某一特定函数 u 之间的联系, 考虑一无限小过程, 列出全微分方程: $dQ = du + dW$, 他写道: “气体在一个关于温度和体积所发生的变化中所取得热量 Q , 可以分为两部分, 一部分是 u , 它包括添加的自由热和做内功所耗去的热(若有做内功); 另一部分则包括做外功所消耗的热 W .” 这就是首次以完整的数学形式表述出来的热力学第一定律.

1851年, 汤姆孙明确地把函数 u 称为物体所需要的机械能, 他把上式看成热功相当性的表示式, 这样就全面阐述了能、功和热量之间的关系. 1867年, 汤姆孙和泰特又将 u 改为内能, 并一直沿用至今.

3 热力学第一定律的价值体现

热力学第一定律的发现从热的本质的萌芽到迈耶、焦耳的发展, 到亥姆霍兹的论证, 再到克劳修斯和汤姆孙的数学表述, 无不体现了科学探索中漫长、复杂和艰辛的逻辑特点. 下文将结合课标中物理学科核心素养的4个方面及内容要求, 探讨把相对完

整的物理学史引入物理教学过程的教育价值, 以体现出物理学史在达成物理学科核心素养目标的价值.

3.1 有助于在历史的发展脉络中感悟物理观念

概念和规律的正确认识是学生形成物理观念的有机组成部分, 让学生体会历史的发展脉络, 将促进学生对物理概念和规律由浅入深、由抽象到具体的认识. 在教学中, 通过创设必要的历史情境, 让学生重复、理解发生的历史事件, 独自建构知识, 感悟物理观念^[8].

从迈耶的“跳跃”、焦耳的精确、亥姆霍兹的严谨和克劳修斯的表述中, 让学生感知从早期人们认为“跳跃”“异想天开”的学说到能量守恒定律实现自然界的统一的过程, 在历史的发展脉络中学生感悟物理观念, 以动态的而非静态的、开放的而非封闭的、历史的而非局限的眼界去看待科学研究.

3.2 有助于在科学争论中培养科学思维

物理学理论被人们接受之前, 往往要经历一个与错误观念和片面观念的斗争过程. 科学家对热的本质的争论, 是热质说与热动说之争, 通过批判与继承, 才最终形成热动说的正确观点. 在物理教学中如果能够展现这个完整的物理学史, 會讓学生在对比、批判中会更容易理解科学研究的思想方法, 形成批判性思维的意识 and 能力. 如教学中教师可提问学生: “为什么百年来热质说的观点一直被人们接受, 而伦福德和戴维却提出了质疑?” 这其中所蕴含的批判与质疑创新意识, 摒弃了我们拥有“终极真理”的狭隘思维, 正是我们要培养学生的科学思维.

3.3 有助于在问题解决中理解科学探究

施瓦布认为在科学探究教学中应提倡科学史, 作为探究的科学教学的本质是让学生理解在科学发现过程中, 问题是怎样提出的, 如何得到验证的, 最后又是怎样得出结论的^[9]. 如焦耳的实验工作围绕着热功当量的测量展开, 融入物理学史进行教学可以让学生感受焦耳如何从电流热效应现象出发, 对磁电热的不确定性提出自己的问题, 利用浆叶搅拌法等方法进行科学探究, 得到理论的整个过程. 一系列的猜想、实验、解释、得出结论以及反思的过程可使学生对热功当量的测量过程和研究思路理解得更加透彻, 可以让学生深刻体会科学探究素养各个要素的内涵以及科学探究的步骤和方法.

(下转第149页)

立文化自信和民族自信,学习有力量,学习有方向.

参考文献

- [1] 李建刚. 我国超导托卡马克的现状与发展[J]. 中国科学院院刊,2007,22(5):404-410.
- [2] 冯开明. 可控核聚变与国际热核实验堆(ITER)计划[J]. 中国核电,2009(3):212-219.
- [3] 高翔,万宝年,宋云涛,等. CFETR 物理与工程研究进展

- [J]. 中国科学:物理学 力学 天文学,2019(4):7-14.
- [4] 丁厚昌,黄锦华. 受控核聚变研究的进展和展望[J]. 自然杂志,2006,28(3):143-149.
- [5] 张杰. 浅谈惯性约束核聚变[J]. 物理,1999,28(3):142-152.
- [6] 乔辉. 可控核聚变的诱惑[J]. 太空探索,2019(4):30-34.

Principle and Prospect of Nuclear Fusion

GUO Pengcheng WU Jing YAO Lieming

(School of Physics, University of Electronic Science and Technology, Chengdu, Sichuan 611731)

Abstract: Nuclear fusion has high energy density, huge reserves, environmental friendliness and profound development potential. It is the best energy to support the future production and life of human society. This paper introduces the principle and application prospect of nuclear energy, focuses on combing the idea of controllable nuclear fusion engineering with the physical formulas involved in middle school textbooks, and hopes to be helpful to colleagues and middle school teachers and students.

Key words: nuclear fusion; Tokamak; energy; clean energy

(上接第 141 页)

3.4 有助于在科学家与社会发展联系中形成科学态度与责任

科学态度与责任的形成不是一蹴而就的,应当在教学中融入物理学史中的科学家思想、精神人格和当时的社会发展趋势,帮助学生从人文、社会、历史和哲学的角度去理解物理学,让学生感受物理学科学精神与人文精神的统一.如年轻的焦耳被电气热潮所吸引,抱着追求高效方便的新动力美好愿景研究磁电机,以锲而不舍的精神进行 40 年的实验,得到伟大的实验成果.通过物理学史的呈现,可以让学生感受到物理学家不是艰苦、苦难的代名词,而是促进人类生活和社会发展的伟大贡献者,认识到科学家与社会发展的密切联系,形成正确的世界观与价值观,提高社会责任感.

4 结束语

在教学中呈现热力学第一定律的发现历史和历史情境,不仅揭示了科学知识的形成过程,还蕴含着科学家的思考方式和研究方法,是培养学生物理学

科核心素养的有效手段,体现了物理学史的育人价值.

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版 2020年修订)[S]. 北京:人民教育出版社,2020.
- [2] 郭奕玲,沈慧君. 物理学史[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2005:48.
- [3] 贾泽昊. 关于热的本性的争论与能量转换和守恒定律的发现[J]. 物理通报,2018(12):123-124.
- [4] 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.
- [5] 杨建邺. 物理学之美[M]. 北京:北京大学出版社,2011:65.
- [6] 赵凯华,罗蔚茵. 新概念物理教程热学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2005:130.
- [7] 田川,董彦. 一位伟大的科学全才——纪念伟大的物理学家亥姆霍兹诞辰 200 周年[J]. 物理教师,2021,42(11):71-73,77.
- [8] 冯爽. 普通高中物理课程标准中物理学史内容分析及教学策略构建[J]. 物理教师,2021,42(4):21-25.
- [9] 林长春. 美国科学史教育的演进及其启示[J]. 外国教育研究,2004,31(6):32-35.