



“热力学第二定律之争”及其教育功能

赵海艳

(北京师范大学实验中学丰台学校 北京 100086)

(收稿日期:2021-08-03)

摘要:热力学第二定律是反应自然过程的方向性的定律,它广泛地应用于各个学科和生活领域.热力学第二定律两种说法提出的具体过程,教材中提到的很少.参考了相关文献,较为完整地展现了热力学第二定律的背景及两种说法的提出过程,为物理课堂教学提供相应的史料支撑,让学生体会物理观念和科学方法的重要性,有助于培养学生的哲学思想,特别是有助于对学生物质观、运动观以及世界观的培养.

关键词:热力学第二定律 物理学史 永动机 汤姆孙 克劳修斯

在人教版和教科版的高中教材中,“热力学第二定律”两种说法的提出,寥寥数语,没有多做介绍.“热力学第二定律”的两种说法,有着丰富的历史过程,物理学史可以让学生们更好地了解物理规律,能够从中学习到严谨的科学态度和科学思维方法,以及他们的科学态度和世界观.

本文详细介绍了热力学第二定律的发现过程,为使学生们更深入地了解物理规律和科学家解决问题的方法提供史料支撑,有助于培养学生的哲学思想,特别是有助于对学生物质观、运动观以及世界观的培养,从学史的角度体现了其教育功能.

1 热力学第二定律之争

1.1 热力学第二定律提出的历史背景

自从瓦特的分离式冷凝器蒸汽机问世以后,到了19世纪蒸汽机已经广泛应用于工业中,尽管人们做了多种尝试,但效率依然不高,如何减少热的耗散量成为大家争相解决的焦点.第二类永动机不断出现,它们企图利用从冷体向热体传输热量而使热机工作,但是与事实是矛盾的,这就意味着有一个新的热力学基本定律在起着作用,需要有一个新的热力学基本定理对这些普遍的情况进行说明.

1.2 热力学第二定律提出过程

19世纪20年代,法国陆军工程师卡诺(S.

Carnot, 1796—1832)(图1)从理论上研究了热机的效率问题.1912年卡诺在《看法》一书中,指出“单只是提供热量,并不足以产生推动力,必须还有冷,没有冷,热将是无用的”.并且“使用于提高液体温度的热素再回到A体中是不可能的.”^[1]卡诺认识到两个热源对于热机而言是必要的,他指出热机必须工作在两个热源之间,热机的效率仅仅决定于两个热源的温差,而与工作物质无关,在两个固定热源工作的所有热机,以可逆机效率最高^[2].但是由于卡诺相信“热素说”,他的结论里包含有不正确的成分.



图1 卡诺工程师

例如:他将蒸汽机比拟为水轮机,热质比拟为流水,热质从高温流向低温,总量不变.他写道:“我们可以足够确切地认为热的动力取决于所用的热质的量以及热质的‘下落高度’,即交换热质的两物体之间的温差”^[3].卡诺的研究“差不多已经探究到问

题的底蕴.阻碍他完全解决这个问题的,并不是事实材料的不足,而是一个先入为主的错误理论.”(恩格斯:《自然辩证法》)^[4].

1824年,卡诺在卡诺循环基础上提出了卡诺定理(Carnot principle):

(1) 在相同的高温热源和相同的低温热源之间工作的一切可逆热机,其效率都相等,与工作物质无关.

(2) 在相同的高温热源和相同的低温热源间工作的可逆热机的效率高于不可逆机的效率.

用“热质说”论证了上述定理之后,汤姆孙(William Thomson, 1824—1907)(图2)以此为依据,于1848年提出了与工作物质无关的“热力学温标”的设想.汤姆孙起初对焦耳热可以转化为机械功的观点持犹豫的态度,因为他深信卡诺定理是对的,而且很重要,但此定理却是在热质说的基础上证明的,与焦耳热转化为功的观点矛盾^[5,6].就在汤姆孙感到困难之际,克劳修斯(Rudolf Julius Emanuel Clausius, 1822—1888)(图3)在1850年《物理学与化学年鉴》上发表了《论热的动力及能由此推出的关于热本性的定律》,他根据已经发现的事实说明:热并不是一种物质,而是存在于物体的最小粒子的一种运动”.他认为在由热做功的过程中,一部分热作了机械功,另一部分热通过从热体向冷体传递而耗散掉.克劳修斯指出,汤姆孙对他提出的两种区别了解得很清楚,但是却仍然坚持热质说.克劳修斯认为应该从热是一种运动的观点进行论证,他写道:“与新的思想方式相抵触的,并不是卡诺定理本身,而只是那个‘没有损失热量’的补充,因为在产生功的过程中有可能有两个过程同时发生,即一些热量转化了,另一些热量从热体传到冷体,并且这两部分热量可能与所产生的功有确定的关系”^[7].1854年,克劳修斯在《热的机械论中的第二个基本理论的另一形式》中更加明确地阐明:热不可能由冷体到热体,如果不因而同时引起其他关系的变化.这就是沿用至今的热力学第二定律的克劳修斯表述也称为“克氏说法”.这种表述对热传导中热量的传递方向具有很重要的意义.

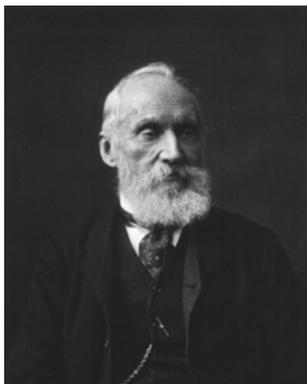


图2 汤姆孙

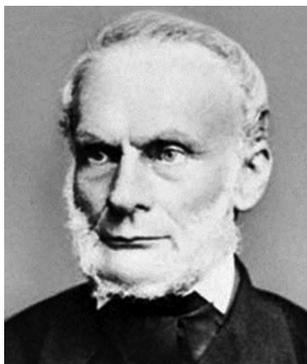


图3 克劳修斯

对热力学第二定律的发现做出另一个重要贡献的是汤姆孙,他采用了焦耳提出的热是一种粒子的运动而不是物质的思想后才形成的.1851年3月汤姆孙连续在《爱丁堡皇家学会会刊》上发表了3篇论文,题目是《热的动力学理论》.文中提出了两个命题,比克劳修斯1850年的论述更为明确^[8,9],包括被认为是严格的第二定律的证明.

命题 I (焦耳):不管用什么方法从纯粹的热源产生出或者以纯粹的热效应损失掉等量的机械效应,都会有等量的热消失或产生出来^[10].

命题 II:如果有一台机器,当它逆向工作时,它的每一部分物理的和机械的作用也全部逆向,则它从一定量的热产生的机械效应,和任何具有相同温度的热源和冷凝器的热动力机一样^[11].

汤姆孙认为命题 II 是建立在下面的定理基础上的“不可能由非生命物的作用,将物质冷却到比周围最冷的东西还要低的温度的方法,使物质的任何部分产生机械效应”^[12].

汤姆孙(被封为开尔文男爵)用公认的事实否定了“第二类永动机”,提出了他对热力学第二定律

的新说法“开氏说法”(亦称为“开尔文表述”):不可能从单一热源吸收热量,使之完全变为有用的功而不产生其他影响.同时建立了普遍的热力学第二定律表达式

$$\frac{H_t}{t} + \frac{H'_t}{t'} + \dots + \frac{H_t^{(n-1)}}{t^{(n-1)}} + \frac{H_t^n}{t^{(n)}} = 0$$

汤姆孙在1851年提出的热力学第二定律表述形式,与克劳修斯在1850年没有提出表述形式相比,是一大进步,它与克劳修斯在1854年提出的 $\int \frac{dQ}{T} = 0$ 是相同类的,但是却比后者在1865年提出的 $\int \frac{dQ}{T} \leq 0$ 较为逊色.关于热力学第二定律的两种说法的关系问题一直是人们感兴趣的,也是有争议的.汤姆孙在1851年就指出,他与克劳修斯的说法只是形式上的不同,本质上是一样的.而且汤姆孙明确指出“首先建立定理的功劳,完全属于克劳修斯”^[13].在历史上有很多关于两种说法的关系和先后的争论,马赫作为重要的科学史学家指出:“对于这个问题,两个研究者对等地做出了证明”^[14].

2 热力学第二定律之争给我们的教育启示

2.1 物理观念至关重要

汤姆孙更早地进行了卡诺定理的研究,但是由于观念上的守旧,不敢突破世俗观念的束缚,很遗憾没有最先提出热力学第二定律.虽然在克劳修斯提出“热力学第二定律”之后,他也独立提出来另一种说法,但是“热力学第二定律”的优先权是属于克劳修斯的.在学习中,我们要勇于质疑和探索科学的真理.

2.2 科学方法很重要

两位科学家都是根据事实,提出自己的观点,然后证明自己的观点,并不断发展正确的定律.他们研究问题的方法正是我们需要传授给学生的,科学的研究方法有益于正确的发现.让学生体会物理方法的简洁之美.

2.3 重视物理实验

克劳修斯在焦耳热功当量实验的基础上,根据实验现象,大胆否定了卡诺定理的错误部分.在物理

实验中,重视实验现象,根据实验现象得到自己的结论.我们应该重视实验带给我们的思维能力的培养,体会实验之美.

2.4 科学家实事求是的科学态度

虽然汤姆孙的“开氏说法”提出来的比较晚,但是“开氏说法”带有表达式而克劳修斯的“克氏说法”当时并没有表达式.当大家都在争论谁是第一个提出来的时候,汤姆孙主动承认优先权是属于克劳修斯的.科学家实事求是的科学态度值得我们学习,感受科学发展的历程.

参考文献

- 1 阎康年. 热力学史[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1989. 133
- 2 郭奕玲, 沈慧君. 物理学史[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993. 66 ~ 68
- 3 郭奕玲, 沈慧君. 物理学史[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993. 68
- 4 郭奕玲, 沈慧君. 物理学史[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993. 68 ~ 69
- 5 赵凯华, 罗蔚茵. 新概念物理教程热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005. 172
- 6 赵凯华, 罗蔚茵. 新概念物理教程热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005. 177
- 7 R. Clausius. Annalen der Physik und chemie[M]. Bd. LX-XIX, 1850. 371
- 8 R. Clausius. Annalen der Physik und chemie[M]. Bd. LX-XIX, 1850. S. 503
- 9 W. Thomson. Mathematical and physical Papers[M]. Cambridge, 1882. 178
- 10 郭奕玲, 沈慧君. 物理学史[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993. 74
- 11 郭奕玲, 沈慧君. 物理学史[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993. 674
- 12 阎康年. 热力学史[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1989. 148
- 13 阎康年. 热力学史[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1989. 138
- 14 阎康年. 热力学史[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1989. 152