



物理学史在《大学物理》教学中的应用初探

李 宇

(大连海事大学物理系 辽宁 大连 116026)

(收稿日期:2017-01-24)

摘 要:作为面向非物理专业的《大学物理》课程,其授课对象通常没有受过系统的数学物理训练,而物理学作为一门系统科学,如果要系统学习则必须有良好的数学物理基础.因此,在《大学物理》授课过程中经常遇到的一个问题,就是如何让没有受过系统的数学物理训练的学生去接受和理解那些重要的物理学观念.笔者将通过授课过程中的几个案例,将授课内容与相关的物理学史的内容有机结合,来尝试解决这一问题,并对这一授课方法的优点加以总结.

关键词:大学物理 物理学史 非物理专业

1 简介

物理学本身是一门系统科学,其整体理论都是建立在一整套完备的基本假设和数学框架基础之上的.因此,对于物理学专业的学生而言,通常课程的安排是在普通物理课程(力学、热学、光学、电磁学、原子物理等)之后,开设一门《数学物理方法》课程.开设此课程的目的即是让学生接受初步的数学物理训练,随后才会进入所谓的“四大力学”(理论力学、热力学与统计物理、电动力学、量子力学)的学习.

然而,对于《大学物理》课程而言,其授课对象通常是非物理学专业的学生.由于授课对象除了学习过《高等数学》等课程外,没有接受过系统的数理训练,因此对于物理学的基本观念和 basic 思想达不到深刻理解的程度.大部分学习《大学物理》课程的学生通常只是简单的对公式和概念的记忆,或是对某一类型题目的解题方法的掌握.这样并不能让学生充分理解物理学的观念,也不能很好地培养学生的科学素养并建立科学精神.也不能真正地让学生利用所学到的物理知识去解决他们自己所在专业和领域中遇到的问题.

法国著名的实证主义哲学家奥古斯特·孔德

(Auguste Comte)说过:“要了解一门科学,必须知道它的历史.”如果只注重横向地了解一门知识,而忽略追踪这门知识的纵向演化,这是一种缺憾.不知道一门科学的历史,就不可能透彻地理解它的现状.

受此启发,可以尝试在《大学物理》教学过程中引入相关的物理学史的内容,将物理概念和物理定律的来龙去脉展现给学生.这样做的好处有二:一是可以让学生知道,物理定律不是天上掉下来的,而通过物理学家们长时间的摸索、修正、推理而来的.这样学生就更容易接受这些定律,进而接受隐藏在在这些定律背后的科学观念;第二个好处,是可以培养学生形成一种思考问题的“物理模式”——即像物理学家一样思考问题和解决问题.

本文将通过实际授课的几个案例来初步探索这种通过引入物理学史相关内容来深化学生对知识的理解的方法.

2 授课案例一:气体状态方程

《大学物理》课程中所要求的气体状态方程主要指理想气体的状态方程

$$pV = NkT \quad (1)$$

按照通常的授课方式^[1,2],首先定义状态参量

“温度” T ,并指明:温度与压强 p ,体积 V 三者并非独立,因此温度可以看成是压强与体积的函数.而具体的函数形式,是由波义耳定律、查理定律、盖-吕萨克定律等实验定律所决定.

但是其中有两个地方是容易让学生困惑的,一是温度的概念.通常在此内容之前要明确温度的概念,因此就要涉及到温标.一般授课时会直接告知学生,如果要使用理想气体状态方程,那就需要使用“热力学温标”.这样学生就会产生一个问题:为什么必须要使用热力学温标?第二个容易让学生产生困惑的问题是:为什么要先验地认为温度、压强和体积三者之间不是独立变化的?或者为什么要认为温度是压强和体积的函数?温度是否有可能还是其他物理量的函数?

之所以会产生这样一些困惑,原因在于无论是热力学温标还是热力学参量之间的关系,都是在热力学整体理论框架形成后再来讨论先前实验结论的时候产生的.事实上,在波义耳定律提出之时,甚至连温度的概念都没有.而热力学温标也是几个主要温标当中出现最晚的一个.

因此,在缺乏对热力学基本理论框架的理解的前提下,直接先验地提出热力学温标,以及热力学参量之间的关系,必然会导致学生产生如上的疑问.

如果这部分内容按照历史的发展顺序讲解,将会更有利于学生对这一知识点的理解.

授课的出发点可以从意大利物理学家托里拆利的水银柱实验开始.托里拆利的实验说明了一个很重要的事实,就是大气存在压力——大气压.

当时意大利的水泵制造商们绞尽脑汁想制造一种能将水压到10 m高的水泵,但是均告失败.似乎10 m是将水提升高度的极限.这一问题引起了包括伽利略在内的很多物理学家的关注.而作为伽利略助手的托里拆利则认为,这很有可能说明了大气也是有压力的.最终他利用水银做的实验结果同之前估算的结果非常接近也说明了大气是具有压力的.这一结论当然也可以推广到一切气体.

在气体压强概念的基础上,英国的化学家波义

耳通过实验研究了气体压强和气体体积之间的关系,并发现了据称是“人类历史上的第一条定律”——波义耳定律^[3]

$$pV = \text{常量} \quad (2)$$

在授课过程中,还要指出,波义耳在得出这一定律的实验中并没有对气体加热.而如果对气体加热的话,波义耳还发现,气体的体积会膨胀.但当时还没有温度的概念和测量温度的仪器,因此波义耳并没有得出温度同压强,体积之间的数学关系.

而温度的概念和温度计,要到18世纪初才出现.1709年,德国物理学家华伦海特利用毛细管中酒精的热胀冷缩现象制造了第一个酒精温度计.同时还给出了温度的标准——即华氏温标.但是华氏温标使用起来并不方便.1742年,瑞典物理学家摄尔修斯创立了新温标,经过1745年瑞典生物学家林奈的修改,形成了目前最常用的“摄氏温标”^[4].

在温度和温标的基础之上,就可以引入19世纪初发现的查理定律和盖-吕萨克定律:气体的压强,体积都与温度成线性关系.而不论实验使用的是何种气体,其线性关系的反向延长线都交于温度轴上的一点: $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

在此时,可以引导学生思考,应该如何让查理定律和盖-吕萨克定律的线性关系变得更加简单?答案显而易见,就是设立一种新的温标,这种新温标的零度设置在 $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 上,这样,上述两个定律就由线性关系转变为更为简单的正比例关系

$$V \propto T \quad p \propto T \quad (3)$$

将3个定律结合起来就容易得出

$$pV \propto T \quad (4)$$

而在1811年,意大利化学家阿伏伽德罗发表了一项假说:同等压强和温度下,同体积的气体所包含的分子数是相同的.这一假说于1860年被实验证实.将这一阿伏伽德罗定律与式(3)结合,就可以得出

$$pV \propto NT \quad (5)$$

如果进一步将上式写成等式,则需引入比例常数 k ,此即理想气体状态方程

$$pV = kNT \quad (6)$$

按照这种“历史顺序”讲授这部分内容的好处一是使学生能够明白,物理学家并不是一开始就提出了热力学温标.热力学温标的产生是随着热力学理论不断的完善应运而生的.第二个好处是可以使学生明白,理想气体状态方程是经历了几代物理学家不断的摸索,最后在大量的实验事实的基础上总结而成的.

3 授课案例二:卡诺循环

通常卡诺循环这部分内容在授课过程会放在热力学第一定律和热力学第二定律两部分内容之间.实际上也可以利用物理学史的内容融入其中,将卡诺循环这部分内容做成第一定律和第二定律之间的一个过渡性桥梁.

在介绍了基本热力学过程和热力学循环等相关概念之后,可以对学生指出:瓦特在改良蒸汽机后,其后继者为了提高蒸汽机输出的能量,做出了很多努力.但是基本思路基本都是想办法去扩大蒸汽机的容量,而很少有人会去思考该如何去提高机器的效率主要原因是这些先驱者们不具有热力学的理论基础.而真正要提高蒸汽机的效率,则需要那些具有热力学理论的思想者,卡诺就是这样的思想者^[5].

1824年,卡诺完成了他一生唯一的一部著作《论火的动力》.在这部书中,他提出了一种新的循环——卡诺循环.这是一种理想的热力学循环,其效率只由高低温热源的温度决定.在书中,卡诺还从理论上证明了卡诺热机的效率是所有热机中最高的,即卡诺定理.卡诺定理也说明了,不可能存在效率为100%的热机^[6].

1844年,一位在法国学习的英国青年物理学家偶然看到了卡诺循环,1849年他几经周折找到了卡诺的著作.受到卡诺定理的启发,他于1851年将卡诺的理论重新给予了准确的表达:不存在那种从单一热源吸热,使之完全变为有用功而对外界不产生影响.此人即后来的开尔文勋爵^[7].而他的表述即为热力学第二定律.由此即可将热力学第二定律的内

容引入.

将卡诺循环及相关发展历史内容作为第一和第二定律的过渡,可以让学生明白如下几个问题:

(1)物理学家并非是通过“空想”而得出这些基本定律的.

(2)要解决一些影响社会生产力的重要问题的时候,往往是那些具有深厚理论基础的思想家取得成功.

(3)物理理论可以解决实际问题,而同时,实际问题的发展也反过来促进物理理论的发展.热力学理论的发展就与工业革命的进程是息息相关的.

4 授课案例三:爱因斯坦相对性原理

近代物理部分的内容无疑是《大学物理》授课过程中的一个难点.其难度并不在于计算,而在于近代物理的基本观念与经典物理和生活经验“背道而驰”,尤其是生活中一些“理所应当”的结论在量子力学和相对论的观点看来都是错误的.这些基本观念和假设都是经历了很多物理学大师们从实验、哲学、数学等各个角度,不断的思考、探讨、争论乃至论战才最终成熟而被广泛接受的.如果在授课之初,就直接抛出这些基本观念和基本假设,那么必然会让学生感觉难以接受.

因此近代物理部分的授课更应该注重与物理学史相结合.将这些物理学家们的思考、推理、论证,和争论过程较详细地讲解出来,这样一方面可以让学生跟着物理学大师们思路去思考这些艰深的问题,另一方面也可以让学生更好地去接受和理解这些观念.

在这一节中,我们以爱因斯坦的相对性原理为例来探讨这一问题.

在授课之前,应当先带领学生重温一下牛顿的相对性原理和伽利略变换.可以说,牛顿的相对性原理和伽利略变换是与实际生活经验非常“吻合”的.

但是当麦克斯韦建立电动力学之后^[8],很快就发现,电动力学并不符合牛顿的相对性原理和伽利略变换.一个典型的问题就是光速问题.按照麦克斯

韦的理论,真空中的光速只和真空中的介电常数和真空中的磁导率有关,而与参考系无关.这明显与牛顿相对性原理矛盾.

比起已经被承认 200 余年的牛顿力学相比,人们更倾向于怀疑建立只有 20 年的麦克斯韦方程组.于是物理学家们都在致力于修改电动力学的理论.但结果都是无功而返.特别是迈克尔孙-莫雷实验的零结果使得人们也慢慢开始对伽利略变换产生疑问.1904 年,荷兰物理学家洛伦兹就指出,若要保证麦克斯韦方程组在不同惯性系中保持不变,那么坐标变换就不能是伽利略变换,而应该用一种更为奇特的坐标变换取而代之,即洛伦兹变换^[9].但洛伦兹并未进一步去否定牛顿相对性原理.迈出这关键一步的正是爱因斯坦^[10].

1905 年,爱因斯坦在其著名的论文《论运动物体的电动力学》中大胆提出,麦克斯韦方程组没错,而牛顿错了.进而提出了自己的相对性原理:一切物理定律,当然包括麦克斯韦方程组,在所有惯性观者看来都是一样的.而如果承认这一点,那么光速在不同惯性参考系中都一样.这就是狭义相对论的第二条假设:光速不变原理.

而在这两条假设的基础上,就可以进一步讨论同时的相对性、钟慢尺缩,最终推导出洛伦兹变换的具体形式.最后向学生指明:伽利略变换是洛伦兹变换的低速近似.

这样,学生就可以理解,为什么要推翻已被接受 200 年的牛顿理论去建立一个新理论.也能够让学生明确,牛顿相对性原理错在哪里.

5 总结与讨论

在本文中,我们初步探讨了如何将物理学史的相关内容有机地融入到《大学物理》某些授课过程中,去解决一些学生不容易理解的概念和观念.

通常在授课过程中所引入的物理学史内容多是

为了调节枯燥的授课内容,或者是活跃课堂气氛,提起学生的学习兴趣.但是物理学史能起的作用不止如此.

物理学虽然是一门系统科学,但是这绝不意味着物理学是被系统地发现的.从来没有哪个物理理论是物理学家一次性的系统地提出的.都是某些物理学先驱们先提出设想,经过不断的讨论、完善、否定,重建最终才趋于成熟的.而这一过程正体现了物理学大师们独特的思考问题和解决问题的方式.事实上,这些才是物理学留给人类最宝贵的财富,也是物理学的精髓所在,也是学生真正要学习的东西.当这些非物理专业的学生毕业后,或许并不记得具体的公式,定律和定理,但是这些思考问题的方式却能深植于他们的思想中.而将物理学史的内容有效地融合进《大学物理》课程当中,无疑是一种行之有效的教学手段.

参考文献

- 1 张三慧.大学物理学.北京:清华大学出版社,2008
- 2 吴百诗.大学物理学.北京:高等教育出版社,2012
- 3 刘劲生.罗伯特·波义耳——把化学确立为科学的人.自然杂志,1983(8):65~68
- 4 丁小平,刘战存,李红娇.华氏和摄氏温标的创立.物理教学,2005(11):36~38
- 5 袁运开,戚越然.萨迪·卡诺——热力学的奠基者.自然杂志,1983(07):545~549
- 6 王志兴.关于热力学的卡诺定理.东北师大学报(自然科学),1981(4):33~37
- 7 文亚.开尔文的热力学研究及其影响.武汉理工大学学报,2016(03):422~428
- 8 刘觉平.麦克斯韦方程组的建立及其作用.物理,2015(12):810~818
- 9 孙春峰,吕付国.洛伦兹变换的地位、作用及其物理意义.湖北师范学院学报(自然科学版),2003(01):88~92
- 10 赵峥.爱因斯坦与狭义相对论的诞生.大学物理,2015(08):4~8