

大学物理思维课堂建设研究与实践^{*}

郭龙 吴妍 马科 罗中杰 汤型正

[中国地质大学(武汉)数学与物理学院 湖北 武汉 430074]

(收稿日期:2023-04-14)

摘要:物理思想和方法是科学世界观和方法论的典范,深刻影响着人类对物质世界的基本认识、思维方式和
社会活动,在人才的科学素养培养中起着重要的作用.以热力学基础中3个片段为例探究将物理思想和方法显现于
课堂,构建思维活动浓郁的大学物理思维课堂,实现大学物理课程教学的高阶性、创新性和挑战性.

关键词:物理思想;物理方法;思维课堂;大学物理;教学方法

课堂是育人的前沿阵地,是师生思维交流的舞台,在培养人的根本问题上起着桥头堡作用.2018年,教育部提出了金课建设的“两性一度”^[1].高阶性和创新性要求教师着重培养学生的科学思维;挑战度要求学生具有自主开展科学思维的能力.思维活动是课堂教学的灵魂,有思维活动参与的知识才是活的.教师在知识传授过程中需注重以知识为载体引导学生积极开展思维活动.

在物理学的发展过程中,形成了一套行之有效的物理思想和方法,例如类比法、归纳演绎法、模型法、理想实验、微扰论和控制变量法等.物理思想和方法是科学世界观和方法论的典范,深刻影响着人类对物质世界的基本认识、人类的思维方式和社会活动,是人类文明发展的基石,在人才的科学素养培养中起着重要的作用.大学物理是高等学校理工科学生一门重要的通识必修基础课.大学物理受众广,在国民科学素养的提升中具有不可替代的作用.笔者及其团队经过多年的教研和教学实践,提出“厚基厚德”大学物理教育教学理念.“厚基”旨在夯实学生的数理基础,培养学生的科学思维和科学研究方法;“厚德”旨在提升学生的科学素养,引导学生形成唯物主义世界观、正确的人生观和价值观.

在实践“厚基厚德”大学物理教育教学理念过程中,我们构建了大学物理思维课堂,充分关注学生物理思维的训练,将物理思想和方法显现于课堂,培

养学生的物理认知能力^[2].文献[3]和文献[4]分别对物理学方法和物理学思想作了系统阐述和解读.文献[5]和文献[6]详细阐述了什么是物理方法和物理认知过程,为大学物理思维课堂建设提供了理论和方法支撑.本文以热力学基础中3个片段为例探究物理思想和方法在课堂的呈现,激发学生的学习兴趣,把大学物理课堂建设成一种有价值的科学思维活动场所.

1 理想模型法在课堂思维活动中的呈现

学生在初高中阶段已经接触到不少物理思想和方法,但理解深度有限.大学物理应该接过这一接力棒,在授课中以知识为载体将物理思想方法讲清讲透,注重学生科学思维活动的训练.理想模型法是物理学研究常用方法之一.例如机械运动中的“质点”和“刚体”,热力学系统中的理想气体,电磁学中的“点电荷”和“电流元”,它们都是理想化的,是对客观实体的一种抽象,最能体现同一类研究对象中的共同本质^[5].我们以理想气体模型构建为例讨论课堂思维活动的呈现.

学生对理想模型已经有了初步的理解和认识,我们可从理想模型法的概念出发让学生对其有更深层次的理解,以便在今后的学习和科研中有遵循地应用.我们可以这样讲授,人们对自然现象的观察犹如管中窥豹,是没办法面面俱到的.为了探究自然规

^{*} 中国地质大学中央高校教改基金(本科教学工程)项目资助,项目编号:2021G58,2021A29.

作者简介:郭龙(1982-),男,博士,副教授,主要从事大学物理教学和统计物理研究工作.

律及其背后的原因,需要在观察和实验的基础上,运用抽象思维能力,忽略次要因素和过程,只考虑起决定作用的主要因素和过程,把研究对象形式化、纯粹化,构建理想化的研究对象.在构建理论模型时,要以研究对象为原型,突出反映研究对象的主要特征或共同特征.紧接着,我们结合实例,在讲解知识的过程中清晰明了地将理想模型法的关键点和思维操作呈现给学生.

学生在高中阶段已经有了理想气体的初步概念,常解释为稀薄气体,即压强不太大、温度不太低的气体系统可抽象为理想气体.在课堂中,结合理想模型构建思想的概念通过提问引导学生进一步思考,为什么这样的气体可抽象为理想气体,在这一过程中,考虑的主要因素是什么,忽略了什么次要因素,为什么忽略这些次要因素.通过这样一系列的发问,可将大学物理与中学物理进行有效地衔接,激起学生的思维活动.

带着这些问题,对“压强不太大、温度不太低”进行深入解读.从分子动理论的角度看,理想气体的状态方程($p = nkT$)可知,气体压强与温度、分子数密度成正比.在压强不太大而温度不太低的要求下,分子数密度就需要很小.这样的气体称为稀薄气体.对于稀薄气体,每一个分子所占据的空间比它自身体积要大很多,分子之间的距离与分子尺寸相比也大很多,分子之间的相互作用也很小.可将它们视为次要因素.在后面分析理想气体内能时,我们就不考虑分子间的势能,仅考虑分子的动能,这里先埋下一个伏笔,激起学生继续探究的兴趣,让学生对后续课程的学习有所期待.

讲到此,我们不要停下思维的脚步,进一步通过提问(若分子间相互作用力和分子体积的影响不可忽略时,又将如何呢?)激发学生思考.这就需要对理想气体的研究结果加以修正,体积修正为 $(V - b)$ 而压强修正为 $(p + \frac{a}{V^2})$.气体的状态方程就写为 $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$,这就是熟知的范德瓦尔斯气体.它也是理想化模型,但比理想气体更接近实际气体.通过比较理想气体和范德瓦尔斯气体的状态

方程,让学生分析它们数学形式上的一致性和差异性,理解在对复杂问题分析时如何从理想模型通过逐步加入影响因素的方法对实体开展研究的范式.这部分是对原有热力学基础课堂上讲授理想气体知识的进阶拓展,范德瓦尔斯气体状态方程具体的推导可留给学有余力的学生通过收集资料课下自学或与老师开展讨论,培养学生的自主学习和主动探究能力.

由于假设近似的存在,由理想模型建立起来的相应理论是有一定使用范围的,依赖于我们在分析实体时的思维侧重.理想气体是在“压强不太高,温度不太低”条件下对真实气体的近似描述.它所抽象的客体必须满足这一条件才能成立.这样的模型构建的思维过程在大学物理授课过程中多有呈现,例如“质点”和“刚体”模型中考虑了物体大小和形状对物体机械运动是否有影响而对物体进行的抽象.这一点要明确告诉学生,让学生明白人类对自然界的认知是有局限性的,科学的发展和技术的进步都是人类在一次次地突破极限.

2 控制变量法在课堂思维活动中的呈现

大学物理思维课堂不能为了物理思想方法的讲授而忽略知识的一致性和连贯性.知识的一致性和连贯性就像课堂行进的主线,而思想方法的呈现是课堂行进主线上耀眼的明珠.

在讲授理想气体状态方程时,我们不能一开始就讲什么是控制变量法,然后再讲理想气体状态方程.这样,会让学生觉得这是物理思想方法论课程,而不是大学物理课程,大学物理知识似乎只是说明思想方法的例子.而是应该在讲授知识过程中,适当穿插引入物理思想方法的讲授,让学生真正理解在分析问题如何恰当选择物理思想方法.

理想气体状态方程是用压强、温度和体积3个宏观参量来描述的,它们应该满足函数形式.我们期望写出这一函数的具体表达式,弄清理想气体平衡状态的规律.在分析该问题时,若同时探究3个宏观参量之间的关系将会变得困难重重,那怎么处理多变量的函数关系呢?

自然界的各种现象总是相互交错,彼此影响.研究对象不是孤立的,与周围环境有着或多或少的联

系;它的影响因素也不是单一的,总是多种因素交织在一起.为了精准地分析研究对象的基本特征,弄清楚研究对象背后所蕴含的基本规律,就需要在特定条件下对研究对象进行分析观察,根据研究目的、运用一定手段(实验仪器、设备等)主动干预或控制自然事物、自然现象发展的过程,在特定的观察条件下探索客观规律.这就是控制变量法.

由理想气体状态方程的求解为实例引入控制变量法,这就像海滩上玩耍时偶然遇到一个精美的贝壳一样,能够激起学生的兴趣.我们通过一定的条件设法控制3个宏观参量中的一个不变(在实验室中常用的方法),即在特殊的条件下研究另外两个物理量之间的关系,然后通过归纳演绎分析3个参量的函数关系,这就是控制变量法.在对一定质量的理想气体进行观察时,控制温度不变,研究体积与压强的关系,得出了玻意耳定律;若控制体积(或压强)保持不变,研究压强(或体积)与温度的关系,便得出了查理定律了(或盖·吕萨克定律).这3个定律都是用控制变量法得出的描述一定质量气体的状态量之间关系的实验定律,为建立理想气体模型、推导理想气体状态方程提供了可靠的实验依据.接下来,给学生一道练习题,让他们自主从等压、等容和等温3个热力学过程中任选两个过程推导理想气体的状态方程,对理想气体的状态方程有一个更深入的理解和认识.在此基础上,需要对学生进一步强调实验(实践)在理论分析中的重要作用.

3 多种物理思想方法在课堂思维活动中的呈现

在课堂授课过程中,物理思想方法的呈现并不总是单一的,而是在同一个知识主题内有多个物理思想方法的交映出现,它们的有效配合让思维活动跃于知识载体之上,有助于培养学生的物理认知能力.

在推导理想气体准静态绝热过程过程方程时,大多采用微分方法.对于准静态绝热过程,热力学第一定律微分式为

$$-pdV = \nu C_{V,m} dT \quad (1)$$

将理想气体的状态方程写成全微分的形式

$$pdV + Vdp = \nu R dT \quad (2)$$

联合迈耶公式,整理得

$$\frac{Vdp}{p} = -\gamma \quad (3)$$

其中, p 和 V 是两个独立参量, γ 为系统的比热比.利用分离变量法将式(3)写为

$$\frac{dp}{p} = -\gamma \frac{dV}{V} \quad (4)$$

式(4)给出理想气体在准静态绝热过程中体积的变化与压强变化之间的微分关系.这里需给学生讲明分离变量法.式(4)等号左边是关于压强的函数关系,而右边是关于体积的函数关系.若这两个函数关系相等,那么这两个函数关系中不能显含压强和体积,而应等于独立于 p 和 V 的常量.对式(4)积分整理可得

$$pV^\gamma = \text{constant}$$

它反映了理想气体在准静态绝热过程中压强与体积的 γ 次方是成反比的.

讲到此,按理关于准静态绝热过程的过程方程知识已经讲完了,我们可以讲授下一个知识.但别着急,我们可以继续追问“能否直接从积分的角度来分析准静态绝热过程的过程方程”.

设理想气体经历了从 (p_1, V_1, T_1) 态到 (p_2, V_2, T_2) 的准静态绝热过程,其内能变化为

$$\Delta U = \nu C_{V,m} \Delta T = \nu C_{V,m} (T_2 - T_1) \quad (5)$$

外界对系统做的功为

$$A = -\int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (6)$$

在绝热过程中,系统与外界没有热量交换, $Q=0$.依据热力学第一定律可知

$$\nu C_{V,m} \Delta T = -\int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (7)$$

在绝热过程中,压强、温度和体积都会发生变化,理想气体的状态方程(已知)可视为一个约束性条件.它体现了描述系统宏观状态量相互关系的一种“物理约束”,使我们分析问题时所需独立参量的个数减小.例如,若我们将 p 和 V 作为独立参量,那么 T 就不再是独立参量,而是依赖于 p 和 V .我们只需要寻找这3个状态参量中的两个在绝热过程的函数变化关系就可以探明这3个宏观参量之间的关系.我们选择压强 p 和体积 V 作为独立参量,它们之

间满足什么样的函数关系呢?

我们引导学生主动回忆已学知识中是否有关于 p 和 V 函数关系的热力学过程. 当学生回答有, 并指出等温过程时, 我们鼓励学生对等温过程过程方程再分析, 并提出是否可类比等温过程的方法来描述绝热过程的过程方程. 这就是类比法, 并对类比推理法进行概念阐述.

类比推理是根据两个对象(或事物)具有一系列相同的属性, 而且已知其中一个对象(或事物)还具有其他的属性, 由此推出另一个对象(或事物)也具有同样的其他属性. 类比是人类有效认识世界的一种科学方法, 有共存类比、因果类比、对称类比和数学相似类比等. 仿生学就是类比应用的典范之一. 开普勒曾言, “我珍视类比胜过任何别的东西, 它是我最为信赖的老师.” 在物理学中, 类比也是人们作出科学预言、提出科学假设的一个重要手段. 但预言和假设并不是凭空乱想的, 而是要有依据的. 在类比过程中要大胆猜想, 小心求证.

等温过程中压强和体积是两个独立参量且满足 $pV = \text{constant}$. 同时, 将等温过程和绝热过程在 $p-V$ 图中的准静态过程曲线进行数学相似类比, 提出问题: 在等温过程中, p 与 V 的负一次方成正比, 那么 p 与 V^α 成正比时会对应什么样的热力学过程呢? 我们不妨大胆假设, 设绝热过程的过程方程满足

$$p = CV^\alpha \quad (8)$$

其中, C 和 α 为待定参数. 这种方法就是待定系数法. 它在物理学发展中有着重要的作用. 它能让我们非常直观地去猜测物理量之间的关系, 操作简单且目标明确.

将式(8)代入式(7)右端, 积分得

$$-\int_{V_1}^{V_2} p dV = -\frac{1}{\alpha+1}(CV^\alpha V_2 - CV^\alpha V_1) \quad (9)$$

联立式(8)和理想气体状态方程, 得

$$-\int_{V_1}^{V_2} p dV = -\frac{1}{\alpha+1}\nu R \Delta T \quad (10)$$

将其代入式(7)

$$\nu C_{V,m} \Delta T = -\frac{1}{\alpha+1}\nu R \Delta T \quad (11)$$

进而可求出待定参数

$$\alpha = -\frac{C_{V,m} + R}{C_{V,m}} = -\frac{C_{p,m}}{C_{V,m}} = -\gamma \quad (12)$$

其中, 待定参数 α 与系统比热比有关, 准静态绝热过程的过程方程为

$$pV^\gamma = \text{constant}.$$

从积分的角度, 利用物理学中的待定系数法来求解绝热过程的过程方程, 与微分法有异曲同工之妙. 这里的计算不算繁琐, 对大学物理课程来说是适宜的, 在夯实学生数理基础的同时培养学生的科学认知能力.

4 总结

本文中, 我们以热力学基础中 3 个片段探究了大学物理思维课堂的构建, 通过对大学物理知识进行重构, 设置问题启发质疑, 将物理思想方法点缀于知识主线中, 激发学生的学习兴趣, 培养学生的物理认知, 让大学物理课堂成为一个有价值的科学思维活动场所. 通过近 3 年的教学实践, 我们的思维课堂得到了学生的普遍好评. 有学生曾言, “老师通过一门物理课, 以通俗易懂的语言让我们对晦涩难懂的物理了解透彻, 并且对我们的生活也有积极的引领作用.” “老师授课有方法, 便于我们快速掌握物理知识, 且课堂氛围活跃, 对提高学生学习物理的兴趣很有帮助. 老师会给我们补充课堂之外的知识和内容, 拓宽了我的眼界和思路.”

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 教育部关于狠抓新时代全国高等学校本科教育工作会议精神落实的通知[EB/OL]. (2018-08-27)[2022-12-01]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/s7056/201809/t20180903_347079.html.
- [2] 穆良柱. 物理课程思政教育的核心是科学认知能力培养[J]. 物理与工程, 2021, 31(2): 9-15.
- [3] 朱铨雄. 物理学方法概论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [4] 朱铨雄. 物理学思想概论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [5] 穆良柱. 什么是物理方法[J]. 大学物理, 2018, 37(2): 18-21.
- [6] 穆良柱. 什么是物理与物理的认知过程[J]. 大学物理, 2018, 37(1): 21-24.