



教材与书评

《费恩曼物理学讲义》对中学物理观念教学的启示^{*}

杜明荣 周沐可

(河南大学物理与电子学院 河南 开封 475000)

(收稿日期:2021-06-28)

摘 要:《费恩曼物理学讲义》中包含着费恩曼教授大量的物理教学思想,他别具一格的教学风格和教学理念在某些层面上契合了当下物理教育的要求.本文以《费恩曼物理学讲义》第一卷第 4 章“能量守恒”的教学内容为例,探寻费恩曼在“物理观念”教学方面的方法与路径,以期为“物理观念”教学获得一些有益的启示.

关键词:物理观念 能量观 核心概念

1 引言

依据《普通高中物理课程标准(2017 版)》,物理学科核心素养包括物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任 4 个维度.“物理观念”的提出,在物理教师中引起了广泛的讨论,部分教师认为这一维度相较于之前的“知识与技能”目标,十分难以把握,相对于已经成熟的物理概念及规律教学模式,如何在物理教学中整合物理概念和规律,渗透物理观念培养,最终形成核心素养的路径还不是很清晰.因此,通过分析已有的教学经验,探索物理观念的培养策略,研究物理观念的形成路径,将有利于落实物理学科核心素养的培养.《费恩曼物理学讲义》(以下简称《讲义》)是费恩曼(R. P. Feynman,1918—1988)教授在 1961—1964 年为加州理工学院的本科生上物理课的记录.费恩曼是 1965 年诺贝尔物理学奖得主之一,他不仅在学术上取得了令人瞩目的成就,在物理教学上也颇有造诣.费恩曼的教学生涯中曾先后担任康奈尔大学、加州理工学院的物理学教授等职务,并于 1972 年获得了“奥斯特教学奖章”,费恩曼与朗道并称为对物理教学贡献最大的两位 20 世纪顶尖物理大师^[1].《讲义》由费恩曼讲课的音频整理而来,该讲义 3 卷与朗道的 10 卷《理论物理学教程》被誉为物理教科书的经典宏作^[2].尽管是为本科生讲授的课程,但据此讲义,我们可以一窥费恩曼教

授的教学智慧与教育理念,从而为中学的物理教学提供一些启发,正如费恩曼教授在序言中所写:

“也许在某些小地方有个别教师和学生会从讲义中受到一些启示或获得某些观念,当他们彻底思考讲授内容,或者进一步发展其中的一些想法时,他们或许会得到乐趣.”^[3]

2 “物理观念”的内涵辨析

物理观念的学习目的,是为了学习者能够用相关知识去解释自然现象和解决实际问题^[4].对于高中生而言,即使在中学毕业后从事非物理相关工作,遗忘了许多碎片化的知识,但已深植于脑中的物理观念仍然会对其有所帮助,使其在生活与工作中遇到有关的现象及问题时,能够利用物理观念理性、科学地去审视或解决.

《普通高中物理课程标准(2017 版)》将“物理观念”定义为“从物理学视角形成的关于物质、运动与相互作用、能量等的基本认识;物理概念和规律等在头脑中的提炼与升华;从物理学视角解释自然现象和解决实际问题的基础”,主要包括物质观念、运动与相互作用观念、能量观念等要素^[5].从“物理观念”的外延来看,它与“物理核心概念”包含的知识内容十分接近,都涵盖物理学中一些较为重要的知识;但“物理观念”在内涵上更进一步,强调包括“核心概念”在内的知识要经过学习者加工,在大脑中形成观念.

^{*} 河南省教育厅 2021 年度教师教育课程改革研究项目“理科教师‘课程思政’育人能力的提升路径与策略研究”,项目编号:2021-JSJYYB-013

作者简介:杜明荣(1969—),女,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为物理课程与教学论.

有学者通过研究认为物理观念的架构是:事实经验,概念规律,核心概念,物理观念,应用实践,迁移创新^[6]。“核心概念”处在中心环节,上承概念与规律,下启物理观念,表明物理教育需要着重围绕某些重要的概念进行教学;同时也意味着,要更加注重学生的学习生成,要对相关知识进行整合,并通过多种方式促进学生的知识内化。而《讲义》中体现的教学思想在很大程度上符合了物理观念教学的要求,以其中“能量守恒”一章为例,通过挖掘该章节的教学方法和教学思路,可以得到关于物理观念中能量观教学的启示。

3 《讲义》对物理观念教学方法的启示

3.1 通过合理类比 将抽象知识形象化

费恩曼最反对的是“用字解释字”,他认为这样会使教学停留在浅层,不利于引起学生深入思考。他常用类比的方法,将抽象的物理规律以较为具体的形式展示出来。在《讲义》“能量守恒”一章的第 1 节中,费恩曼编了“淘气的丹尼斯”的故事来类比:设想有一个叫“丹尼斯”的孩子,有一堆积木,积木无法分割且不会损坏。即预设能量以“不可分割、数量恒定的积木”为喻体,接下来的故事里,有以下的关键信息:

(1)有一天母亲发现房间里积木只有 27 块了,但调查后发现还有一块在地毯下。

(2)某一天清点后发现积木只有 26 块,发现窗户被打开,另外 2 块在窗外;又有一天发现有 30 块积木,原来是一个叫布鲁斯的孩子带着他的积木来过,并将他的积木留在了房间里。

(3)母亲拿走多余积木,关上窗,并且不再让布鲁斯进入,积木数量回归正常。

(4)有一次母亲发现只有 25 块积木,并且房间里有一个玩具箱,丹尼斯不让母亲打开。母亲得知每块积木重 3 盎司,当房间内看到所有积木都在时,箱子重 16 盎司,则她发现式子:

$$(\text{所见积木数量}) + \frac{(\text{箱重}) - 16 \text{ 盎司}}{3 \text{ 盎司}} = \text{常数}$$

(5)母亲计算之后仍未得到正确数量,通过进一步观察发现,浴缸里的脏水高度有变化。她判断孩子可能将积木扔进了脏水里,但水很浑浊,她看不见。

已知水原来的高度是 6 英寸,每块积木会使水升高 $\frac{1}{4}$ 英寸,那么公式变成了:

$$(\text{见到的积木数}) + \frac{(\text{箱重}) - 16 \text{ 盎司}}{3 \text{ 盎司}} + \frac{(\text{水的高度}) - 6 \text{ 英寸}}{\frac{1}{4} \text{ 英寸}} = \text{常数}$$

(6)随着复杂性逐渐增加,积木都藏在了看不见的地方,结果母亲得出了一个复杂的公式,无论孩子怎么玩要,都能通过看得见的变化计算积木总和。

通过分析关键信息,在这个故事中我们可以知道:对于(1)、(2)、(3),我们可以知道,在一个孤立的系统(故事中的“房间”)中,能量(“积木”)的总量是不变的;对于(4)、(5),能量在这个系统当中以多种形式存在,即藏在箱子中、脏水中,例如机械能、热能、电能等等,它们都能通过可观察到的现象,经由一定的表达式各自计算出来。对于(6),能量实际上是不可见的,我们看不到“积木”本身,只能看到由于“积木”数量变化带来的某些改变,例如物体内能的增加会使其温度升高等等。

如果仅仅要表述什么是“能量守恒”,可以用十分简洁的方式说明:“能量不会凭空产生,也不会凭空消失,只会由一个物体传递到另一个物体”,或是“在一个孤立系统中,总能量不变”。但当我们尝试着用文字解释、理解其中的含义,需要不厌其烦地去解释何为“传递”“孤立系统”,并且因为能量并非直观可见,而是较为抽象的概念,所以又需要列举出大量的实例来说明,变得更加复杂。

相较于枯燥冗长的文字解释,这样的一个故事更令人印象深刻,借此可以将抽象的概念与规律以生动的形式展现出来,从中更为直观地了解能量守恒的条件、内涵等。教师可以通过学生熟知的事物及其规律来类比新的物理概念或规律,从而建立起新旧知识间的联系,促成有意义学习。

而值得注意的是,使用类比教学时需要学生具有一定的知识基础,因为类比并不是严谨的逻辑推理,只能借助喻体的特征强化学生对于本体的理解,起到辅助理解的作用。如果经历过机械能守恒定律等规律的探究,理解“丹尼斯的积木”这样的类比并不困难,不过是换了个生动的展现方式而已。

类比在物理教学中并不罕见,并且有多种形式:学科内的知识间类比,例如类比万有引力与库仑力公式;跨学科及与常见事物的类比,例如将电流类比为水流等等.但类比的运用有较大的局限性——其一,并非每一个概念或规律都能找到合适的喻体;其二,喻体的某些特征是本体不具备的,则容易导致学生对本体概念或规律产生片面理解.为了避免类比带来的片面理解,需要特别明确两个对象间的差异,在“丹尼斯的积木”这个类比中,费恩曼教授在最后特别提到,能量并非以一定数量的颗粒物的形式出现,积木保持不变的机制与能量守恒在本质上是不同的.

3.2 通过思想实验 促进核心概念内化

思想实验是物理学研究中常用的方法,通过想象力构建一个恰当的模型,并通过逻辑推演其变化过程和结果.在《讲义》“能量守恒”的第 2 节“重力势能”和第 3 节“动能”这两部分,费恩曼教授进行了几个关于重力势能和动能的思想实验的推导,通过能量守恒导出重力势能和动能的表达式,就像是故事中的母亲利用积木总数不变,来寻找藏匿的积木一样.此处以其中一个关于“动能”的思想实验来举例.

在“重力势能”一节,已经得到公式

$$E_p = Gh$$

对于一个单摆而言,将它提高后放开,它就会自行地来回摆动.显然,摆处于高处时比在低处具有更大的重力势能,取单摆运动最低处为零势能面,当单摆降低到最低处时,重力势能为零,在高处时具有的重力势能也就转化为了某种形式的能量.已知摆在底部时,它具有的动能可以使其上升到一定的高度,转化为重力势能.则

$$E_k = Gh$$

这个上升的高度犹未可知,但我们知道摆从底部运动到最高处需要能量,而这个能量来自于运动的速度,这与“竖直上抛运动”上升过程的情形是一致的.通过竖直上抛的运动学公式

$$v^2 = 2gh$$

则动能的式子变为

$$E_k = mg \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{1}{2}mv^2$$

这是一个简单的推理,以能量守恒为出发点推

导动能的表达式,而关于动能的表达式这一知识在高中物理教材上处于“能量守恒”之前,在能量的知识体系中属于下位知识.用新知识去理解旧知识,这样的安排并非画蛇添足,而是利用思维的训练,使得上位知识“能量守恒”与下位知识“动能”及“机械能守恒”间产生更紧密的联系,在帮助学生在脑海中把处于不同层级的知识联系起来,推动“能量与能量守恒”这一核心概念的内化.

“能量观”的形成基础是核心概念“能量与能量守恒”,核心概念需要具有解释能力和一般性,即它要能解释领域内的其他概念及问题,也能作为理解或探究更复杂概念的关键工具^[7]. 这样的推理过程正体现了核心概念的解释能力,通过思想实验推理,能够帮助学生更为深入地理解核心概念“能量守恒”与相关概念“动能”“势能”等之间的关系,进而帮助学生深入理解“能量与能量守恒”作为核心概念的内涵,从而构筑起“能量观”.

3.3 通过问题解决 推动物理观念形成

“物理观念”要求学生能理解所学的物理概念的规律及其相互关系,能正确解释自然现象并综合应用所学知识解决实际问题.素养是现实情境下体现出来的能力,作为物理学科核心素养一部分的物理观念,也应在解决实际问题的过程中形成.因此利用物理学核心概念解决一些现实情境下较为复杂的问题,对于知识在脑海中的升华至关重要.

在“能量守恒”第 4 节“能量的其他形式”当中,费恩曼教授举了很多实际的例子:利用弹簧提升物体时的系统弹性势能的增加、杠杆工作时机械材料的原子无规则摆动产生的热能……在分析与能量相关的具体的情境中,问题看似十分复杂,但能够利用核心概念的“一般性”,也就是“能量守恒”这一关键工具,透过这个关键工具,学生能在探索与能量有关的未知领域时,不至于毫无头绪或者盲目猜想,而是在某种能量增加或减少时,认识到过程中必然发生了做功与能量转化,借此深入探究,找到内在的规律.

通过解决实际问题,学生能体会到核心概念在问题解决过程中的重要作用——在能量的问题中,即便不了解具体的细节,只要知道其中各类能量的表达式,就能顺利分析问题并给出解答.当能量的核

心概念能够被学生自觉地运用于解决问题时,能量观也就达到了初步形成.

4 《讲义》对物理观念教学路径的启示

《讲义》第一卷第4章以“能量守恒”为章名,包含4个小节:什么是能量,重力势能,动能,能量的其他形式.费恩曼教授在教学的起初,利用类比定性地讨论能量与能量守恒,再用能量守恒为前提公理,推导出重力势能和动能的表达式.

这种高屋建瓴式的风格贯穿费恩曼所讲授的大多数基础物理课程,费恩曼本人认为“这些课程是对班级中最聪明的学生而讲的”.结构安排的差异主要是由于课程面向的学生群体不同:费恩曼面对的是大学本科生物生,学生普遍具有良好的物理学基础,也具有一定关于能量守恒的知识,理解起来没有太大困难;而高中物理教材面向所有选择这门课程的学生,需要考虑到学生间的经验、理解力差异,帮助学生从无到有,建立起基本的各种形式能量的概念,再讨论能量守恒的内容和意义.

进行物理观念教学并不等于抛弃了传统的概念、规律教学,相反更需要扎实的知识基础,才能建立起相关知识间的实质联系,并认识到其物理本质所在.因此,对于普通高中教学来说,从现象到规律、由特殊到一般的结构无疑是更恰当的.事实上,费恩曼也并不认为他的讲授是概况性质的,他的所有类比与推理都是建立在严谨的物理学基础知识之上的.

因此,在学习完几种特殊形式的能量守恒之后,费恩曼的教学思路或许就能派上用场——把分布在不同章节中的相关知识联系起来,统合成为围绕“能量与能量守恒”这一核心概念的知识体系,建构起对于能量的本质和能量守恒的认识,从而形成“能量观”.

结合高中物理的内容和《讲义》中费恩曼教授的教学思想,可以通过归纳相关概念的上位学习,获得关于“能量与能量守恒”的基本认识后,再经过下位学习,以“能量与能量守恒”为核心概念,运用思维重新审视各类属知识,并解决实际问题,通过逐步深入的学习,强化上位知识与下位知识的联系.以“能量与能量守恒”为例,从“概念规律”到形成实质的“物理观念”的过程中,有如图1所示的教学路径.

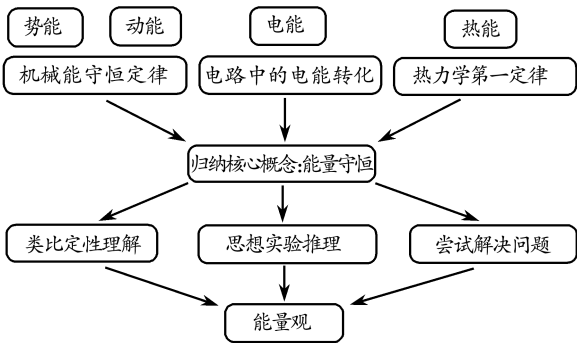


图1 物理观念教学路径

5 结束语

《讲义》中包含的教学思想是极为丰富的,本文所分析的也只是冰山一角,费恩曼教授在他的教学实践中不断地尝试各种新的方法,有很多与当前的教学理念不谋而合之处.而费恩曼试验新的教学方法的初衷,是使得学生能保持学习物理的兴趣,为学习更艰深的知识作铺垫.因此他希望优秀的学生可以深入思考他的教学内容,并展开讨论、有所顿悟;而普通的学生至少能学习到主要的概念和定理,至于高深的枝节问题和应用,则等待学生在学习过程中慢慢领会.或许这就是费恩曼教授的教学理念与新的物理教学观相近的原因:让学有余力者能通过物理观念发展新认识,不断吸收相关知识,完善围绕观念的知识体系;让多数学生能利用观念,了解基本现象和规律,解决一些现实问题,体现物理学科对于认识物质世界的价值.

参考文献

- 1 赵凯华.为纪念物理大师费恩曼百年诞辰而作[J].大学物理,2018(1):1~3,10
- 2 包景东.费恩曼教育思想与分子马达[J].大学物理,2018(5):11~13
- 3 Feynman R, Leighton R, Sands M. 费恩曼物理学讲义第一卷 新千年珍藏版.郑永令,华宏鸣,吴子仪,译.上海:上海科学技术出版社,2015.3
- 4 廖伯琴,李洪俊,李晓岩.高中物理学科核心素养解读及教学建议[J].全球教育展望,2019(9):77~88
- 5 教育部.普通高中物理课程标准(2017年版)[S].北京:人民教育出版社,2018.4
- 6 蔡铁权,郑瑶.物理观念的内涵、层次和架构——关于物理观念教育的思考[J].物理教学,2019(6):2~5,70
- 7 郭玉英,姚建欣,张静.整合与发展——科学课程中概念体系的建构及其学习进阶[J].课程·教材·教法,2013(2):44~49