

专 论

# 物理观念的内涵、层次和架构

## ——关于物理观念教育的思考

蔡铁权 (浙江师范大学物理与电子信息工程学院物理系 浙江 321004)  
郑 瑶 (浙江省杭州学军中学 浙江 310035)

**摘要** 物理观念并不是远离教学实践,而是切合物理教学实际的。本文深入地探讨了物理观念的内涵,分析了物理观念所具有的层次,从物理观念本身来探究其内在的复杂性、多元性和发展性。依据分析,我们构建了物理观念形成的架构,希望将观念的形成和学科能力的培养结合成一体,为全面理解物理观念提供帮助;为物理教学中实现物理观念的养成提供途径和方法;为教学目标的阐明指出方向;为单元教学设计给出抉择的依据,为具体的课堂教学设计提供思路。

**关键词** 核心素养 学科能力 物理观念 层次划分 架构分析

文章编号 1002-0748(2019)6-0002

中图分类号 G633·7

文献标识码 A

物理观念在物理学发展的历史过程中具有不断演化的特点,同时也变得多元和复杂。从物理观念这一概念本身来认识,由于人们对“观念”的理解有一个发展变化的过程,对科学观念本质的诠释也是变动和多层次的,其构成的要素也相互交叉纠缠。我们要正确把握物理观念,需要对这些关系梳理清楚。

### 1 观念、科学观念与物理观念

“观念”一词,从词源上追溯,当然来源于希腊语,也有其语义演变的过程。“观念”成为哲学术语与柏拉图(Plato)的本体学说相关,柏拉图的 idea,作为事物之自身,乃是事物的本质,作为思维存在,乃是与事物之本质相应的思维之概念,而同时又是事物的理想存在,构成了现实事物所要达到的理想目的<sup>[1]</sup>。走过中世纪,笛卡尔(Descartes)将它转变成了认识论的术语,又经过康德(Kant)和黑格尔(G. W. F. Hegel),观念的现代含义得到确定,即观念在思维中是一种必然的真实。正确的观念来源于对客观规律的正确观察与科学总结<sup>[2]</sup>。人类的认识是一个历史的过程,但在一个观念刚刚产生时,一定反映着那个时代的人类对客观世界认识的最高水平,人们可能一时不接受,也是常常发生的,但反过来,这种认识又会对下一个更科学的观念的流行产生阻碍。观念是在曲折中发展前行的。

高瑞泉通过对观念史的研究,认为“观念”可以表示概念,也可以泛泛而论地表示意见、思想、观点、

看法等等复杂的意思。与“观念”相关的还有“观”,“观”可以指系统的理论形态的学说,也可以指比较零散的、未必经过充分反思的看法(观点)或看法的综合。我国学术界对“观念”的使用,在 20 世纪后半叶占主流的,通常是在非常宽泛的意义上运用的。它常常包括,(1)表象或印象;(2)与客观世界相对的东西,包括人们对于事物的一般看法和认识;(3)社会意识。而且在具体的观念后面通常还包含有人的情感、意志、利益诉求,纠缠着信念或信仰等未必能单纯依靠概念分析等知性活动来把握的要素<sup>[3]</sup>。

从哲学的角度对“观念”内涵作出分析,可以认为:观念是客观事物在人脑中的反映,但它绝不是一般意义上的概念,是概念的上位“概念”;观念的形成是一个过程,是对经验事实的联合与整合,在个体认知发展过程中,观念与客观事物的本质特征和发展规律日趋一致;观念反映客观事物,同时又反作用于客观事物,即观念具有预测、指导、改造客观存在的强大反作用力<sup>[4]</sup>。

什么是科学观念?科学观念是存在于某一自然研究领域的某种形而上的信念,这种信念,作为本体论,科学观念对特定自然领域中的物质实体及其属性提出了独特的看法;作为方法论,科学观念对该领域允许使用的研究方法提出了独特的看法;作为价值论,科学观念还对该研究领域的研究目的提出了独特的看法。这三者之间是密切相关的,各以另外两者作为自己的逻辑补充。同时,科学观念又是科

学知识体系中最深层的凝聚物,科学观念代表着所在领域内科学思想的精华,它为有关科学共同体的理论活动和实践活动奠定了思想框架和行动准则,科学观念有着最大的抽象性,它以具体的科学理论为中介与经验世界相联系<sup>[5]</sup>。

也有学者认为科学观念是对科学事物的本质、变化过程、规律、方法、价值以及外部联系等问题的抽象的、概括的和总结性的认识与见解<sup>[6]</sup>。而且科学观念随着科学技术的发展和人们对科学本质认识的深化而进步,科学观念是发展的、变化的,也是复杂的。

我国确定物理观念作为物理学科核心素养,有这样几方面依据:科学技术的原理与应用;概念的学习和运用是科学教育的核心目标;核心概念或者大概念已成为世界各国科学课程标准中科学素养的重要内容。概念是根据事实和经验形成的、结合物理观念的定义内涵及表现的阐释<sup>[7]</sup>。由此与上述“观念”和“科学观念”内涵分析作比照,我们认为,我国高中物理课程标准对物理观念的确定,符合词源学和哲学的界定,也与“观念史”的发展相一致。当然,从不同的视角看,也不是无懈可击。我们的观点是应该在实践的过程中不断地去丰富、充实,而避免过多地纠缠于细枝末节,反复地争论于概念名称等。

## 2 物理观念的层次

我们在上一篇论文中曾专门论述了物理观念形成的历史阶段性,在物理学发展的不同时期,由于人们对物理学本质的理解和对物理学规律的认识是有差异的,是不断发展和变化的<sup>[8]</sup>。我们认为,物理观念的认识,可以从比较简单的层面,从非常具体的视角去概括而得出对物理学中的物质实体及其属性的看法,从中得到规律性的结论;也可以从比较复杂的层面,从高度概括和抽象的视角去归纳而得出对物理学整体的深层次的看法,从中得出一般性的普遍性的结论,甚至上升为哲理性的思想观念。以这样分不同层次的观点对我国高中物理课程标准中物理观念这一学科核心素养的层次做出分析,有利于我们对物理观念做出正确的定位,找到物理观念和其他下位概念的内在关联,从而得到教学的途径和实施物理观念教学的有效教学策略。

最基础的层次是对一种物理特殊规律的陈述,反映对物质及其变化的基本规律,如“力是物体运动状态改变的原因”“热量可以从高温物体自动地传递给低温物体”,这种陈述反映了人们对物理学的认识和观点。

第二层次是对物理现象的一种解释,如“地心说”“日心说”,以及“量子论”,是对具体研究领域的形而上的认识,而不仅仅只是一种理论,这种认识随着物理学的发展也不断地演变和进步。

第三层次是指对物理学自身形而上的概括的认识,反映物理学特殊的特色和学科所需要解决的基本问题,如“运动观念”“能量观念”“相互作用观念”和“物质观念”,是由物理学的研究对象和研究方法决定的,是反映物理学的本质特征的。

第四层次是由特定的思维方式而形成的对整个科学本质的阶段性认识,由此构成世界的科学图景,如经典科学中的纯客观性观念,严格决定论观念,现代科学中的历史演化观念、自组织复杂性观念,等等,这已经超越了具体的单一学科,而是对科学整体的形而上的认识了。

最后一个层次是对科学宏观的、理性的认识,指向科学本质和科学发展规律的高度哲理性的认识,如经验科学观念、力量科学观念、相对科学观念、实践科学观念,等等。这是对科学的哲学概括,是科学哲学研究解决的问题。

我国高中物理课程标准对物理观念的定位,是在第三层次上,反映了物理学的特色和物理学致力研究解决的基本问题,反映了物理学的本质特征,是恰当的。

## 3 物理观念的架构

我们谈到物理观念是上位概念,或可以认为是元概念,那么,物理观念和一般的概念,以至和物理学的经验和事实之间如何建立一个框架,构成相互之间在逻辑上紧密相关,在教学中可以顺利实施的结构呢?

国内外学者已有研究表明,物理学科能力表现与物理学科核心素养互为表里,物理学科能力是物理教育研究与实践的核心议题,比较一致的观点有:物理学科能力是一种综合性的能力,包括多个方面或多个维度,其中观察概括、推论预测、解释论证、探究剖析等是不同建构视角中的共性要素;物理学科能力既有一定程度的迁移性,又与学生对物理学科具体内容的认识紧密关联,故物理学科能力的培养和测评均需结合具体的物理知识和物理问题情境进行;对物理学科能力的研究可以基于对学生解决物理问题时的外在表现的描述和分析,进而对学生的内在心理特质作出合理推断<sup>[9]</sup>。由此构建起来的物理学科能力表现框架对建构物理观念的架构具有重要的价值和成为基本的理论依据。我们认为在物理

教学中物理观念养成的架构为：

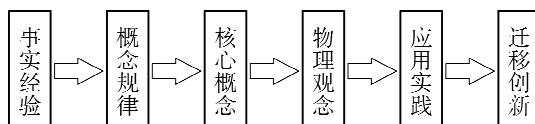


图1

这一框架可以为物理观念教学中教学目标层次的确定和物理观念教学的过程提供指导。现在, 我们对这一框架的各个组成部分作一初步的解读。

对自然和实验的观察得到物理事实, 通过思维加工得到外界的信息, 对已有知识的回忆和既往经验的重现, 两者构成物理学习的基础。在这一过程中, 需要在一定的情境中对相关信息进行加工处理, 如辨识和确认, 概括和关联、推理和论证、解释和说明, 等等, 得到我们所需要的有用的信息。对选取的信息根据物理过程进行抽象思维, 演绎类比, 归纳概括, 找出内在的关联和物理本质, 形成概念, 建构规律, 得出原理, 并由此建立起物理学的基本理论。

关于核心概念的确定, 我们倾向于埃里克森(H. Lynn Erickson)和赫特(P. Dehant Hurd)的观点。美国课程专家埃里克森认为, 核心概念是指居于学科中心, 具有超越课堂教学的持久价值和迁移价值的关键性概念、原理或方法。这些核心概念具有广阔的解释空间, 源于学科中的各种概念、理论、原理和解释体系, 为领域的发展提供了深入的视角, 还为学科之间提供了联系。赫特进一步提出选择核心概念的标准有: 展现了当代科学的主要观点和思维结构; 足以能够组织和解释大量的现象和数据; 包含了大量的逻辑内容, 有足够的空间用于解释, 概括, 推论等; 在教学中可以用上述各类情境下的例子, 并可使用于日常生活中常见的情况和环境; 可以提供许多机会, 用以发展与本学科特色相关的认知技能和逻辑思维过程; 可以用以组建更高阶的概念, 而且有望与其他学科的概念结构建立联系; 表达了科学在人类智力成果中所占有的地位<sup>[10]</sup>。核心概

念的确定, 是基本概念基础上的一种聚合, 反映了部分概念的共性, 展示了相关内容的内在联系, 为物理观念的形成提供了支架, 可以看成基础概念和物理观念之间的桥梁。

追求统一性是物理学发展的内在动力, 一代又一代的物理学大师都为阐明物理学的统一性而不懈努力, 物理学的统一性也体现了物理学科的本质特征。因此, 在掌握了概念、规律、原理以后, 尤其是在确认了核心概念之后, 应在此基础上提炼和升华, 整合核心概念, 从物理学的视角去解释自然现象和解决实际问题, 并建构相对完整的对物理世界的认知, 即形成物理观念。

物理观念的形成, 可以更好地分析和解释物理现象, 有利于物理实际问题的解决。有学者对科学知识在具体实践中如何应用进行调查研究, 研究表明: 一些学生在毕业后, 之所以用不上所学知识, 往往不是由于学习该知识时成绩不佳, 也不是由于在所处的环境中没有有关的科学因素, 而在于他们仅仅掌握了一些具体的事例, 却没有形成有关的科学观念<sup>[11]</sup>。显然, 物理观念的养成是从根本上解决所学物理知识转化为应用实践的关键, 是物理教育走向实践的必由之路。迁移创新是更高层次的物理能力表现, 是物理学科核心素养的具体体现。核心素养的重要内容就是能在真实的复杂环境下解决实际问题时所表现出来的能力, 是学科核心素养的体现, 也是教学目标的终极结果, 是指向深度学习的重要标志。这就要求将所学的知识和方法合理地迁移到新的问题情境中去, 同时还必须具备在质疑的基础上进行批判性思维的能力。运用创新思维, 建构新的模型和问题解决方案, 达到能解决陌生的复杂的真实情境中的问题。

#### 4 物理观念架构示例——能量观念

根据上述建立的物理观念架构的形式, 以能量观念为例, 对高中物理内容形成具体的观念架构。详见表1。

表1 高中物理“能量观念”架构

事实经验	概念规律	核心概念	物理观念	应用实践	迁移创新
行驶的车辆, 流动的江水, 水坝高处的水, 弹弓弹射, 物体振动, 波动	动能, 势能, 功, 功率, 重力势能, 弹性势能, 引力势能, 机械能, 简谐振动能量, 机械波, 动能定理, 功能原理, 机械能守恒定律	机械能与机械能守恒	能量观念	基于对动能、重力势能等能量形式的理解分析解释物理问题。 能用机械能守恒分析解释力学问题。 综合功能关系分析复杂情境中的能量转化等问题	分析具体情境中机械能的转化和应用, 并作出批判性思考和评价

续表

事实经验	概念规律	核心概念	物理观念	应用实践	迁移创新
带电物体能吸引轻小物体,电荷在电场中做加速运动,带电粒子在电场中受力和运动,电流做功,闭合电路向外输出功率,带电粒子在磁场中运动,磁场对载流导线作用	电场能,电势能,电功,电功率,闭合电路输出功率,磁场能,磁能密度,交流电的功率,电磁场,电磁振荡,电磁波	电场能、磁场能及其相互转化	能量观念	能用能量守恒定律分析电磁场中的能量转化和做功问题	通过能量转化认识常见的发电方式、电源和用电器,并对用电器的机制作出批判性思考和评价。 分析实际情境中电势能的转化
电子荷质比 $\frac{e}{m}$ 与速度有关,核反应及反应中产生的质量亏损,核反应中产生能量	相对论能量,静能量,质能关系,相对论的能量—动量关系,静质能	相对论质能关系		了解做高速运动物体的质能关系	
搓手发热,物体的温度,太阳能热水器,冰箱,空调,气体参量变化时(等压、等容变化)内能发生变化	热量,分子动能,分子势能,内能,热功,热机做功,热交换,能量耗散,焦耳定律,热力学第一定律,热力学第二定律,能量守恒定律,熵增原理	热力学能量及守恒定律		综合使用分子动能、温度、内能、分子势能解决热力学问题,运用能量转化与守恒分析复杂情境中的能量问题	运用能量、能量守恒和能量耗散的原理,分析热机等动力机械的效率,对能源和能源危机作出思考和评价。对社会和生活中的能量问题作出思考与评价
照明,太阳能,光的传播,成像,光强分布,光的吸收和散射,光与物质相互作用	光强,光的吸收,散射,干涉,衍射,光电效应,光电效应方程	光能及其转化		能用能量转化和守恒定律分析与解释光学现象	对光能的转化与利用作出批判性思考与评价
激光,核弹爆炸,核电站,核放射,宇宙膨胀	能级,跃迁,自发发射,受激发射,受激吸收,核能,衰变,核裂变,核聚变,结合能,暗能量,核反应方程	原子能及利用		能用质量亏损和质能关系解释有关物理现象	对核能利用作出批判性思考与评价。 能量的开发与利用,节约能源,新能源开发,环境保护等问题的批判性思考与评价
热辐射,黑体	能量子,能量量子化,波粒二象性	量子论中的能量		了解能量量子化	

从这个架构中,我们可以看到物理观念的建构在教学中是有一个渐进的过程的,而且也印证了约瑟夫·科瑞柴科(J. Krajcik)所指出的:学科核心概念可以让我们更深入地探索更为重要的观点和规律,了解更为复杂的观念<sup>[12]</sup>。对于物理学来说,经典物理中力学、热学、电磁学、光学和原子物理学是有不同的物理内容和规律的,也是各具特点的,必须归纳得到各自的核心概念。而物理观念应该统摄相关的全部核心概念,以至包括相关的全部物理学的内容。例如在能量观念的形成中,先创设情境,提供丰富的事实与经验,在此基础上,在力学领域,由各种机械能形式和机械能相互转化及守恒的关系和规律,建立力学中能的转化与守恒的核心概念,并相应地建立热学、电磁学、光学、原子物理学以至相对论、量子论中的关于能量的核心概念,这些核心概念各具特点,但又

具有内在的统一性,归纳、概括并提炼升华这些核心概念,形成能量观念。然后,运用能量观念去分析、解决物理问题,发展学生发现问题、提出问题、分析问题和解决问题的能力,并进而实现迁移创新能力的培养。最终,学生形成对物理学能量观念的建构,深刻理解并树立“能量是物质运动转换的量度,表征物理系统做功的本领”的能量观念,对能源、能源开发、能源利用、能源危机和环境保护形成正确的观念。另一方面,我们也要从物理观念的视角统领核心概念的建立,并进而引领物理概念和规律的建构方式及内容。

## 5 结束语

从“观念”史的哲学溯源,表明对观念的认识应特别关注其过程性和它对事实经验的提炼,使学生的认知与事物的特征和规律达到一致。这种认识固然有不同的层次,而在反映物理学科本质特征和所需解

(下转第70页)