教学论坛

物理观念的教学思考

杨亚芳 （绍兴市教育教学研究院 浙江 312000）
蔡铁权 （浙江师范大学课程与教学研究所 浙江 321004）

摘 要 物理观念作为物理学科核心素养的组成部分，确立了物理观念在中学物理教育中的地位。在有效落实到课堂教学之中的过程中，还存在种种需要破解的困惑。对此，文章提出了我们的教学思考，以期为“观念为本”的中学物理教育提出我们的见解。对应教学思考，列举经典物理学发展历程中几则物理观念教学的案例，表明物理观念是物理学演进的原动力，是物理学本质之所在，同时，也是物理教育改革的表征，是物理教育本质之所在。

关键词 经典物理学 物理教育 学科核心素养 物理观念
文章编号 1002-0748(2024)1-0002 **中图分类号** G633·7 **文献标识码** B

当代著名物理学家、因发现反质子而荣获1959年诺贝尔奖的埃米里奥·金奥·赛格雷(Emilio Gino Segrè)，在他的《从落体到无线电波——经典物理学家和他们的发现》一书中说道：“对每天发生的几乎任何事情，如何提出从科学家的新观点看来是出乎意料的问题，这将是最令人感兴趣的。这是伽利略(Galileo Galilei)作出伟大成就的不二法门。”[1]表明了应该时刻保持对大自然的好奇心，从普通的现象中发现深刻的自然规律。而且，在科学的发展史上，不少在当时被看作是离经叛道之说与无稽之谈的内容，却成为日后的经典之论，是远见卓识。

在物理学发展的漫长历程中，人们往往不愿意摒弃一直被接受的观念，尽管这会产生许多不必要的烦恼。而一旦摆脱了旧观念的束缚，物理学就会出现意想不到的发展以致跃变。这需要洞见，需要勇气，需要牺牲精神。从亚里士多德(Aristotle)至霍金(Stephen Hawking)，物理学的发展表明了这一规律。只是人们通常在当时不能认识到，反而会产生误解、抵制和反对，但终究会被深刻地理解并大行其道。一部物理学发展史，其实质即是一部物理观念的变革史，没有物理观念的深刻变革，物理学就无法前行。

物理观念作为物理学科核心素养的组成部分，在中学物理教学中已受到应有的关注，但现实的教学中尚存在不少的困惑，本文拟对此提出我们的思考与对策。

1 物理观念在中学物理教学中的困惑

物理观念是分不同层次的[2]，物理观念在物理学长期的发展过程中不断演进[3]，而且，物理教学中的关键观念和物理学科中的关键观念是有区别的[4]。这些都为我们在物理教学中有效落实物理观念提供了参考。我们应该从不同的层面上去认识和形成物理观念，不能拘泥于只从物理学科整体的视角去看待物理观念。应该在物理教学中不同学段根据学生的已有知识和认知水平，形成不同时期的物理观念，不能局限于物理观念的某个认知阶段。但是，在实际的物理教学中，由于物理观念理解的复杂性，在物理教学中形成物理观念的困难性，不同教师对物理课程标准诠释的差异性，也由于对物理观念认识的不深刻，对物理观念教学的经验不足，等等，造成了物理观念在中学物理教学中的种种困惑。

首先，概念和观念的界定不清，概念和观念的关系不明。例如能量，既是概念又是观念，在物理学的各个分支中都有能量，都有对能量特定的概念和能量观念的认识。什么时候、什么情况下能量是概念？什么时候、什么情况下能量是观念？明确的分界何在？如何从能量概念归纳、提炼和升华成能量观念，又如何升华才是适切的？各个不同物理学分支的能量之间如何建立内在联系，找出其共同的特征和本质，构建起一致的能量观念？力学的能量(包括动能、势能等)，与电磁学中的电磁能、热学中的热能、光学中的光能、原子核中的核能内在的联系何在？

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

如何建立这种联系，共同的本质如何体现？等等。从概念到观念，提炼、升华的途径和方式又是什么？这些疑问或疑难，在理论上没有切实的指导，在实践上缺乏有效的借鉴。

其次，观念的形成是以什么为标志的，如何体现？怎样进行测试和评价，又怎样衡量学生对物理观念理解和把握所达到的层次和程度？这些问题没有得到明确的解决，很难判断学生物理观念有没有养成，达到的水平如何，还存在哪些方面的不足，如何进一步解决，等等。物理观念作为一种学科核心素养，其形成是切实的而不是虚化的，是内化为学生的思想、精神的而不是外在的形式，这种内化又将以外显的行为表现出来，这之间的关系又不是简单的线性的单向的。这一切都对物理观念的教育实施带来了困惑和困难。

再次，我国的《普通高中物理课程标准(2017年版)》明确地指出："物理观念包括物质观念、运动观念、相互作用观念、能量观念及其应用。""通过高中阶段的学习，学生深入理解力学、热学、电磁学、光学等经典物理的概念和规律，逐步形成经典物理的物质观念、运动观念、相互作用观念、能量观念等，能用其解释自然现象和解决实际问题。"[5]这就明确地规定了高中物理学科核心素养中物理观念的内容，即上述的四个观念。一方面，对中学物理教学的物理观念确立了具体的内容，有利于教师对中学物理教学中对物理观念内涵的理解；另一方面，在实际教学的过程中，对一个具体的概念、规律、原理的观念归属却带来了困惑。分子运动的概率统计的观点、熵的观点、光以横波的形式在同种均匀介质中直线传播等，归属于什么观念合适？物理学中的物理观念和中学物理教学中的物理观念，在理解与应用上也不是完全等同的。

最后，如果认为从物理学整体的视角认识世界而形成物理观念，必须在中学物理全部内容学习完整以后才有可能，例如能量观念，要到学习了核能利用后才形成，这样机械地理解与处理会造成物理观念的形成遥遥无期，在平时的教学中不断遇到各种形式的能量时感到为难，觉得无从下手，对物理观念落实找不到适当的时机，也没有有效的途径与方法，望观念而兴叹，成为中学物理教学中的一大难点。

以上的种种困惑，都对中学物理教学核心素养的有效落地带来了困难，特别是对物理观念的形成，影响是直接而且是明显的，值得引起关注并进行研究。

2　物理观念教学解惑的思考

教师的教学思考是教师面对教学世界应有的态度和担当，它必须始终以对具体境遇的密切关注为己任，并以对现实教学问题的回应表征自己的存在。教学思考是为了教学行动，并转化为影响教学世界的现实力量[6]。面对中学物理教学中物理观念形成的困惑，做出我们的教学思考，面对问题做出我们的回应。

第一，明确对物理观念的认识，深刻理解物理观念的内涵，正确区分物理概念与物理观念，恰当把握物理概念和物理观念的复杂关系和本质联系。物理概念指的是一类物理现象和物理过程的共同性质和本质特性在人们头脑中的反映，是对物理现象、物理过程抽象化和概括化的思维形式。概念是思维的产物，具有抽象性、概括性的特征。这与国外的概念内涵不一致，而在中国文化语境中的观念与国外概念的内涵基本一致，表达的是一个学科领域中最精华、最有价值的学科内容，表达的是一个观点、一种认识、一种总体的看法。物理观念是指从物理学的视角形成的关于物质、运动与相互作用、能量等的基本认识，是物理概念和规律等在头脑中的提炼与升华，是从物理学视角解释自然现象和解决实际问题的基础。

概念和观念之间是有区分的，又是紧密相关的，不可分离的，而且两者之间具有一定的交叉和叠加。只是概念具有更多的客观属性，观念具有更多的主观属性，观念比概念有更大的范畴，更广的概括，更高的抽象。两者都是一种思维形式，是思维的产物，而且都用于解释、分析物理现象，解决物理实际问题以及跨学科、超学科的科学问题。例如前述的能量，在19世纪初期，物理学家研究了光和热的相互转化以及电和磁的相互转化问题，焦耳(James Prescott Joule)的实验确立了热和机械功的等当性，亥姆霍兹(Hemann von Helmholtz)在1847年发表的一篇极有创意的论文中，把这些现象表示为能量的不同形式，从而说明了力学、热学、光学、电学和磁学之间的关系。亥姆霍兹强调指出，能量概念是力学自然观的另一种表述方式，他所建立的能量守恒定律也是数学和力学的一个定理，这也进一步充实了物理学统一性的基础。由此，可以认识到能量概念为物理科学提供了一个全新的统一的理论框架，借此，包括热、光、电及力学在内的一切物理现象都可以在力学自然观的范畴内，采用统一的概念框架给以解

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

释[7]。这为我们对概念和观念之间关系的理解提供了一个依据。

第二,要有强烈的观念教学意识。在我国科学教育传统中,一直重视概念教学,研究概念的引入、概念的形成、概念的深化、概念的拓展、概念的巩固及概念的应用研究,积累了丰富的经验和众多的成果。对于观念,却是一种新生事物,一些教师甚至对物理观念进入物理教学显得格格不入,有一种排异的心理。从本质上来看,一部物理学发展史,一部物理学思想史,就是一部物理观念的发展史,一部物理学观念史。没有物理观念的发展与变革,物理学就不可能发展与变革,物理学思想就是物理学世界观,物理学的科学观和方法论,就是物理学家对物理学的思考、认识和由此所形成的观点。物理观念是物理学的核心内容,是物理学的精髓,是物理学的精华所在。要深刻认识物理学的本质,深入理解物理学发展的内在动力,关键就在于对物理观念的认识和理解。要转变我们的物理教育理念,从概念教学转变到观念教学的轨道上来,为观念建立而教学,为观念养成而努力。

第三,突破束缚,灵活运用,及时形成物理观念。在中学物理教学的过程中,只要符合物理观念的界定,而且是物理学发展历程中的物理观念变革,在物理学的发展中具有典型意义和明显作用的,就应该在物理教学中凸显出来,就是实施物理观念教育的良机,及时形成物理观念。要深刻认识物理观念的重要地位和作用,并内化为学生的学科核心素养。而并非一定要找到规定的物理观念的归属,也不必等到与某一物理观念有关的内容全部学完,才做完整的归纳概括、提炼升华。这里所说的物理观念的形成方式与从物理学科的视角形成整体的物理观念的方式之间并不矛盾,不是相互对立的,而是相辅相成的,互为补充而形成统一的方式方法。

作为中学物理教师,要了解物理学的本质,经典物理是在牛顿力学框架下,以力学解释纲领为核心所导致的物理学的进步,这样,才能使我们对经典物理学的本质有深刻的认识,对经典物理学的思想、方法有正确的认知,以此形成正确的物理观念。由于中学物理教学的各种限制,内容不断删减(在相当长的时间里不学热学,删去动量甚至万有引力的内容),残缺的物理内容很难形成系统的理论体系和研究方法,体现物理学特有的思维方式。而且,科学史、科学哲学、科学社会学的重要思想与内容在教学内容中只是极少的点缀式的体现,这将导致探究过程的片断化,研究方法的静态化,思维方式的简单化,科学态度的形式化。解决的途径首先需要教师在这些方面具有全面的修养,完整的体系化的知识结构,有足够的适应能力。

第四,重视实践应用、迁移创新,构建相应的评价机制和评价体系。核心素养强调在真实的环境中,在具体的条件下解决实际问题的能力,是适应个人终身发展和社会发展需要的必备品格和关键能力。在物理观念方面,对于经典物理学,应深入理解力学、热学、电磁学、光学与原子物理学的概念与规律,在面对自然现象和实际问题时,能发现问题、提出问题、分析问题、解决问题(包括解释现象)。因此,必须十分重视物理观念的实践应用、迁移创新。在教学过程中,创设真实的物理情境,运用物理观念实施应用与创新,并不断开发设计跨学科、超学科的主题,进行学科交叉、学科整合的实践,如 STEM、HPS、SSI、STSE 等主题的项目式学习。

在物理课程标准设定的学业水平基础上,制定与物理观念相应的评价机制和评价体系,提供物理观念外显的行为表征和鉴别的依据。构建认知、能力、态度相协调的全面的评价内容,提供多样的评价方法。

对于物理观念的养成,我们的教学思考是初步的、局部的,我们的目的是引发更多的、深入的、全面的研究成果,推进物理观念教学的纵深发展,实现物理学科核心素养的有效落地。

3 经典物理观念教学例析

为说明和实证我们的教学思考,选择了几则典型的中学经典物理观念教学的案例。为了论述的清晰和论证的有据,我们在案例中借助于科学史、科学哲学的知识,物理教育正是在这两者之间的和谐共处中不断发展的[8]。

案例 1 玻尔兹曼(Ludwig Boltzmann)的分子运动概率统计理论。

统计规律是对大量偶然事件整体起作用的规律,表现了这些事物整体的必然联系。中学物理教学一般通过伽耳顿板实验引入的。实验结果表明,尽管单个小球落入哪个狭槽是偶然的,少量小球按狭槽的分布也带有一定的偶然性,但是,大量小球按狭槽的分布情况则是确定的。这就是说,大量小球整体按狭槽的分布遵从一定的统计规律。分子运动中,当外界条件(温度、压强或体积)固定时,分子速度分布达到动态平衡而趋于不变。玻尔兹曼认为研

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

究分子运动论必须引进统计学，并证明了麦克斯韦(James Clerk Maxwell)的气体分子速度分布律不仅是系统达到平衡后唯一的分布，也不只是单原子气体分子遵循这一分布律，而且多原子乃至凡可以用质点系看待的分子体系在平衡态时，都遵循麦克斯韦的分布律。玻尔兹曼采用近似独立子系的相空间处理数目大于10^{19}个微观粒子系统的问题，这一研究成果成为了非平衡统计力学的基础。玻尔兹曼的一个重要工作，是得到了熵和热力学状态的概率联系起来的公式：$S = k\ln W$。在孤立系统中，熵增加对应于向最可几状态的过渡，用概率可以用来解释物理现象的观念是具有突破意义的，将几百年来的机械决定论全面推翻。个别粒子的运动具有偶然性，但大量分子组成的系统的运动又具有必然性[9]。对此普里戈金(Iiya Prigogine)的评述有代表性："玻尔兹曼的突破是通向过程的物理学的决定性一步。在玻尔兹曼方程中决定时间演变的不再是与力的类型有关的哈密顿量；反之，现在与过程相联系的函数(例如散射截面)将产生运动[10]。玻尔兹曼的分子运动概念统计理论，是对大量分子在一定的外界条件下所遵从的物理学的规律，这种统计观念，是一种相对于质点运动规律完全不一样的认识，完全不一样的观点，是一种全新的物理观念，及时做出提炼概括，进行必要的强调，正是物理观念形成的良机。

案例2　奥斯特(Hans Christian Oersted)关于电流磁效应的发现。

1820年初，丹麦物理学家奥斯特关于电流磁效应的重新发现，使电磁学的研究进入到一个迅速发展的时期。青年时期的奥斯特就深受康德哲学的影响，认识到科学不仅仅是自然的再发现，科学家的任务也不仅仅是记录实验事实和进行数学概括；在对自然现象的认识中，人的思想要把一定的"规则"施加到感性知觉上。奥斯特一直没有放弃寻找电和磁之间关系的努力，认识到电向磁的转化是完全可能的，问题在于找到这种转化的具体条件。1820年4月，当他把导线与磁针都沿磁子午线方向并行放置好，接通了伽伐尼电池，果然小磁针向垂直于导线的方向偏转过去。此后，经过三个月六十多个实验的深入研究，得到结论："电冲突(奥斯特把导线中及其周围空间发生的这种效应称为电冲突)只能对磁性粒子起作用。所有非磁性体看来都能让这种电冲突通过，但磁性物质或磁性粒子则阻抗这种电冲突通过，因为它们就为冲突所产生的冲力带动而发生运动。"奥斯特特别指出，这种电冲突同时扩散到周围空间，这种冲突呈现为圆形。奥斯特实验在初中物理、高中物理教材和课堂教学中都必不可少地呈现。在教学中，我们可以把奥斯特实验设计成科学探究，让学生亲身体验，小磁针在通电直导线周围不同位置处的偏转特点，尤其当小磁针位于直导线的延长线上和与直导线位于同一水平面上时，小磁针的偏转特点对奥斯特实验现象的特点做出概括归纳，从物理学的视角做出解释，并与牛顿力学中力的作用方式相比较。

奥斯特的发现与牛顿力学的基本原理是尖锐矛盾的，牛顿的力是作用于物体连线上的"中心力"，奥斯特发现的是"旋转力"，而且奥斯特所描述的"电冲突"效应在周围空间扩散的看法，正是后来发展起来的"场"的思想的开端。电流磁效应的发现打破了电与磁无关的传统信条，为物理学新的重大综合的实现，开辟了一条广阔的探索之路。[11]这是一种令人震撼的物理观念的转变，这种"旋转力"和"场"观念的提出，在物理学发展史上确实是石破天惊的变革。

案例3　法拉弟(Michael Faraday)、麦克斯韦的电磁场理论。

法拉弟电磁感应定律是中学物理的核心内容，麦克斯韦的伟大综合也是中学物理必不可少的题中应有之义，但我们却常常忽视了他们工作的观念内涵，没有从物理观念的高度去认知。法拉弟根据他长期对电和磁关系的实验研究与思考，于1831年11月24日向英国皇家学会报告了他的电磁感应发现。法拉弟创造了两个全新的概念：①电应力状态；②磁力线。到1838年，法拉弟在电力方面的一系列实验研究已完成了14个系列，而法拉弟的力线观点经受住了每一次考验。1845年11月4日的论文中，法拉弟提出了"磁场"的概念，这在日后将成为物理学家不可缺少的一个领域。此外，法拉弟最早提出了发电机、电动机、变压器的原理，提出了电力线、磁力线、磁场的概念，当然还有不少其他的研究成果和贡献，但这些已经足够使他成为一个不朽的科学伟人，一个物理观念的改革家了。

麦克斯韦把电、磁、光集成于一身，成就非凡。但是，麦克斯韦的模型在当时看起来是如此的怪异和笨拙，以至没有人认为它正确地反映了客观实在。当时人们的思想根深蒂固地沉浸在牛顿宇宙中，麦克斯韦的模型其实并不代表自然的实际机制，而仅仅是对思维的一种暂时的辅助，一种通过类比得出的与数学相关的方法。麦克斯韦的理论包含8个方程，其中6个是矢量三元组，所以总共是20个方程。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

后来由海维赛德(Oliver Heaviside)推导成我们今天熟悉的4个方程式[12]。

爱因斯坦曾经说过:在麦克斯韦以前,物理实在是由质点来描述的,质点的运动完全服从常微分方程。在麦克斯韦以后,物理实在是由连续的场来表示的,它们服从偏微分方程,不能对它们做机械的解释。这一关于物理实在概念的变革,是自牛顿以来物理学家所感受到的最深刻、最富有成果的进展。费恩曼(Richard Phillips Feynman)这样评价:从现在起一万年的人类历史长河中,毫无疑问的是,麦克斯韦对于电动力学的发现将被视为19世纪最重要的事件,与这一重大科学事件相比,发生在同一个十年中的美国南北战争只不过是一桩地区性的小事而不足挂齿[13]。杨振宁认为:麦克斯韦将法拉弟不可捉摸的"电紧张态"概念与汤姆生(William Thomson)引入的"矢量势"对应起来,这是麦克斯韦科学研究中第一个重大的观念突破。20世纪初,场论发生了一次观念革命,它源于狭义相对论,没有以太,电磁场自身就是媒介,真空是场在某一时空区域的特定状态。在1930～1932年间,根据狄拉克(Paul Dirac)的理论,真空是一个充满"负能量电子"的无限海洋,这是场论中的又一次观念革命。麦克斯韦方程组具有的"规范对称性"已经成为粒子物理标准模型的结构性支柱[14]。法拉弟、麦克斯韦对物理观念发展的贡献,在整个中学物理学中是具有独特地位的。法拉弟提出的电力线、磁场、磁力线的概念,本质上是一种观念革命。麦克斯韦在电学、磁学、光学已有唯象理论的基础上,经过他的天才的数学推演,形成物理学上著名的方程式,爱因斯坦、费恩曼、杨振宁的评价正是一语中的,道出了麦克斯韦物理观念的真谛,表明了这一物理观念在物理学发展过程中的里程碑式的意义。在物理教学的课堂上,必须引起我们足够的重视,以应有的教学方式充分地凸显出来。

物理学发展史上充满了大量物理观念的例证,上述几个例证,就充分表明了物理观念在物理学发展的历程中承担了举足轻重的作用。其实,就是像托勒密的理论,牛顿关于光的本性的早期理论,在今天看来并不正确,对这样的观念在历史上的作用却是不能抹杀的。令人遗憾的是在中学物理教科书中,却常常是轻描淡写地一笔带过,在课堂上,很少有教师会对它们引起特别的关注,加以浓墨重彩地渲染。我们需要对物理观念的教学引起足够的重视,充分地落实。

4　结　语

物理观念是物理学发展的原动力,是物理学变革的关键节点。经典物理学的发展如此,现代物理学的发展同样如此[15]。物理教学凸显物理观念的这种功能是物理教学不可推卸的责任,这是物理学本质的体现,也是物理教学本质的体现。由于长期的教学思维定势,我们忽视了物理观念的教育,物理观念的教学被边缘化了,以致在新课改的背景下,对物理观念的教学出现了种种困惑。随着对学科核心素养的深入理解,随着新课改向纵深推进,教育理念将会得到全面的更新,"观念为本"的物理教育[16]终将成为现实。

参考文献

[1](美)埃米里奥·赛格雷.从落体到无线电波　经典物理学家和他们的发现[M].陈以鸿,译.上海:上海科学技术文献出版社,1990:24　25.

[2]蔡铁权,郑瑶.物理观念的内涵、层次和架构[J].物理教学.2019,41(6):2　6.

[3]蔡铁权,郑瑶.物理观念的演进与教学启示[J].物理教学探讨.2018,36(12):4　7.

[4]Zongyi Deng. The distinction between key ideas in teaching school physics and key ideas in the discipline of physics [J]. Science Education, 2001,85(3):263-278.

[5]廖伯琴.普通高中物理课程标准(2017年版)解读[M].北京:高等教育出版社,2018:54.

[6]徐继存.教学思考的张力[J].教育研究.2021(9):50　57.

[7](英)彼德·迈克尔·哈曼.19世纪物理学概念的发展[M].龚少明,译.上海:复旦大学出版社,2000:2　4.

[8](澳)迈克尔·马修斯.科学教学　科学史和科学哲学的贡献[M].刘恩山等,译.北京:外语教学与研究出版社,2017:1　8.

[9](希)安东尼斯·英迪诺斯.物理学的历程[M].孙琦,译.上海:上海科学技术出版社,2021:152　155.

[10](比)伊·普里戈金,伊·斯唐热.从混沌到有序[M].曾庆宏,沈小峰,译.上海:上海译文出版社,2005:242　243.

[11]申先甲,杨建邺.近代物理学思想史[M].上海:上海科学技术文献出版社,2021:301　304.

[12](美)南希·福布斯,巴兹尔·马洪.法拉弟、麦克斯韦和电磁场:改变物理学的人[M].宋峰,宋婧涵,杨嘉,译.北京:机械工业出版社,2020:77　192.

[13]刘觉平.麦克斯韦方程组的建立及其作用[J].物理,2015,44(12):810　818.

[14]杨振宁.麦克斯韦方程和规范理论的观念起源[J].物理,2014,43(12):780　786.

[15]蔡铁权,杨亚芳.现代物理学的学科核心素养蕴涵[J].物理教学,2023,45(6):2　7.

[16]蔡铁权,郑瑶.构建"观念为本"物理教学设计模式[J].浙江师范大学学报(自然科学版),2021,44(1):100　108.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net