·教育理论研究·

物理教育中的相互作用观念：内涵、生成与培养策略

侯建华[1] 于士博[2,3] 于海波[2]

（1.广西师范大学物理科学与技术学院，广西 桂林 541000；2.东北师范大学物理学院，吉林 长春 130024；3.长春力旺实验中学，吉林 长春 130024）

摘 要：相互作用观念是物理观念体系中的重要一环.现实中，人们在物理学习与教学中对相互作用观念的认识存在“表面化”“简单化”倾向.如何全面理解相互作用观念以及怎样有效建构、发展学生的相互作用观念是目前一线物理观念教学的重要问题.文章对相互作用观念进行内涵阐释与解读，结合宏观与微观视角来分析、探讨其构成要素与生成路径，进一步从相互作用观念的认识、生成、深化及进阶等方面提出相应教学策略，以期为物理观念的具体化培养提供有益启示.

关键词：相互作用观念；结构；生成路径；培养策略

1 问题的提出

追求物理知识的建构性、观念性理解已成为当前我国初、高中物理课程与教学的共同愿景，相应地，物理观念作为物理学科核心素养的重要内容和物理课程的基本目标之一被正式提出，[1]最新颁布的初、高中物理课程标准中，对物质观、运动和相互作用观以及能量观都提出了培养要求.在课程目标层面，物理观念的提出可以说是本轮物理课程改革中一个“前无古人”的新要求和新目标.那么，如何细化、有针对性地理解物理观念，如何结合现实学情、课程教学资源来促进学生物理观念的具体化生成，仍是当前我国物理观念教学中迫切需要解决的关键问题.

我们深知，物理学是“研究物质基本结构、相互作用和运动规律的学科”.[2]相互作用是物理学的重要研究内容，相互作用观念也是基本的、基础的、重要的物理观念之一，与人们日常生活、社会生产联系紧密，在解释自然现象、解决物理问题和建构各个自然学科理论时发挥着至关重要的作用，与学生的发展密切相关.在物理学的发展历程中，凝结着人们对事物通过物质和能量的相互影响而形成的多层次、多要素系统联系过程的深度理解，蕴含着在不同作用中对各种“过程与结果”的反思.然而，在现实关于相互作用的学习、理解与教学中，人们对其既“熟悉”又“陌生”，熟悉的是，谈起相互作用，人们自觉地、自然地将其当成是“力”的代名词，[3]而当人们真正去反思、去追问相互作用究竟是什么，除了力之外还有哪些形式的时候，又会感到困惑与“陌生”.为此，有必要解读和厘清相互作用观念的内涵、特点和构成要素，结合生成路径，进一步凝练出促进学生相互作用观念理解和生成的教学策略，助力物理观念的具体化培养.

2 相互作用观念的内涵及特点

2.1 相互作用观念的内涵

相互作用观念是一个复合词，由“相互作用”和“观念”组成，准确把握相互作用观念的关键在于理解“观念”和“相互作用”.观念，它的包容性很强，处于个人认识结构中“高阶层”，通常以“判断”和“指向”的特征存在于心理活动中.可以定义为“个体面对某一领域、某种现象或问题时，行为主体经过学习、反思和实践获得的，并在现象分析和问题解决中所显现和反映出来的、具有鲜明个人色彩和个性特点的、居于基础地位和发挥支配作用的整体而概括的认识和看法”.[4]

“相互作用”是一个具有历史性和跨学科性的概念.我国古代《易经》中的“乾坤说”“阴阳说”，从相互联系的思想出发，强调互根、互容、互变、互化，[5]用“乾坤”“阴阳”两种力量之间的交互作用来解释宇宙万物的千变万化.古希腊时期亚里士多

基金项目：本文系吉林省社科基金项目“农村学校教师课程思政能力提升策略研究”（项目编号：2022M8）研究成果.

中国知网 https://www.cnki.net

德从潜能和现实的关系出发，把相互作用理解为事物之间引起的某种变化.近代以来，相互作用逐渐成为哲学、社会学及自然科学关注和研究的重要内容.在哲学中，恩格斯指出："相互作用是事物的真正的终极原因."[6] 马克思也提出："不同要素之间存在着相互作用，每一个有机整体都是这样."[7] 强调相互作用的联系性、因果性和普遍性.在社会学中，相互作用指在社会角色、结构、文化等互动过程中发生的各种关系和影响，强调相互作用的交互性和影响性；化学、物理学等自然科学中的相互作用则相对更加具体，如化学中体现在化学键的形成和断裂、反应物各分子、反应物与反应条件之间.

结合上述观点及物理学科自身特征，"相互作用"凸显物理对象与对象之间、对象与现象之间的系统性、影响性、联系性和过程性.对此，如果聚焦于对象之间的"相互"，则更为关注、强调彼此之间的联系和影响；若是聚焦于对象之间的"作用"，则倾向于对作用的本质、类型、作用过程及作用机制的探索.所以，物理学中的"相互作用"可归纳为物理对象通过物质的相互交换、能量的相互转化、信息的相互传递以及作用形式的相互规定而形成的多要素、多层次的系统影响和联系过程.[8]

需要注意的是，理解相互作用观念不能脱离物理教育背景，观念层面的追求既是物理核心素养的重要理念，也是物理课程与教学的核心目标之一.结合对"观念"和"相互作用"的深入理解以及物理教育的背景剖析，相互作用观念可以看成是人们是从事物之间普遍联系的角度，对相互作用性质、形式、对象、过程、机制、原因、结果、功能，及各作用中包含的物质、能量交换、信息相互传递等相互影响过程的整体、概括和判断性认识.

2.2 相互作用观念的特点

相互作用观念既是物理学理论的重要成分，也是一种观念意义的存在，既有物理观念的普遍特点，也彰显着相互作用本身的特质，可概括为以下 3 方面特点.

(1) 高阶性与普适性.相互作用观念的高阶性是相对于知识层面而言的，也就是说相互作用观念不同于相互作用知识，是知识的高阶表现.一方面，相互作用观念需要人们在各种相互关联和影响的物理对象、现象及过程中不断追问、总结、概括，是通过对物理概念、规律的逐步学习而形成的.[9] 另一方面，相互作用观念是其知识发挥认识论、方法论作用的高阶形式，处在人们物理认识结构金字塔的"上层"，具有更大的解释力和统摄性.从物理学哲学角度品味相互作用的具体内涵，可以表征为实体间的相互关联.不管是微观粒子的存在，还是宏观物质的聚集态，乃至更大尺度的星系间的影响，其存在及运动的本质都可以归结于 4 种基本相互作用及量子相互作用.因此，相互作用观念所体现出的一些思想性、规律性内容非常具有普适性.比如能量守恒定律，适用于任何微观与宏观过程.

(2) 过程性与建构性.相互作用总是在一定形式和一定过程中进行，也是建立关系的基础，但相互作用并不等于关系，[10] 实质上反映的是物质、能量等相互联系的"过程".学生相互作用观念生成也是对相互作用形成高阶认识的建构"过程"，比如学生的感应作用观念就可能经历生活现象的表象描述到感应起电的经验解释，再到对电磁感应的微观、深层、精细分析的认识过程.同时，物理教育意义上的相互作用观念并非相互作用内容在人们头脑中作出的客观反映，在课标层面，观念具有素养、目标及理念等多重身份，融合了建构主义知识观，是"对事物本质的符合客观实际的建构性认识".[11] 如学生在面对电磁感应、光的干涉等现象时，能够从物理对象交互、联系、影响的角度去追问、反思，便会在头脑中建构出相应的个人化、个性化"见解"，相互作用观念便会油然而生.

(3) 系统性与结构性.首先，相互作用本身就蕴含着物质、能量、信息等多要素的结构性和多层次的系统性；其次，相互作用观念由相互联系的多个具体观念构成，是一个包含宏观的、微观的、对象的、现象等的"观念簇"的复合物，可分解为相应的"子观念"，如分子作用观念、量子作用观念、摩擦作用观念、感应作用观念和相干作用观念等；再次，相互作用观念的生成也是一个系统过程，把各种相互作用作为系统来考查，努力梳理这些要素间的有机联系、层级关系，进而从中获得结构性的、规律性的、概括性的认识.

3 相互作用观念的结构

相互作用观念是有内在结构的，我们需要基于相互作用观念的内涵、特点以及学生学习、发展的现实需要，对其展开进一步的具体化追问和分解.想要全面认识相互作用观念，既要有整体、大视

中国知网 https://www.cnki.net

野下的“全景印象”，也需要微观、具体化的“局部考察”，因此，可从宏观和微观视角对相互作用观念进行分类.

3.1 宏观视角下相互作用观念的结构

一是相互作用本质观.人们在整体上对“相互作用究竟是什么”的本质追问与回答，便构成了具有物理哲学意蕴的相互作用本质观.在不同视角、问题及价值的导向下，人们有着自己的理解.以牛顿运动定律为视角，认为学习理解相互作用的第一步就是对于牛顿第三定律的学习.虽然在牛顿之前惠更斯等就发现了作用力和反作用力，并通过碰撞试验得到了验证，但牛顿不仅指出了力的作用是物体对物体的作用，而且这种相互作用是对称的；以作用结果为依托，可认为物体间的相互作用是物体运动状态及能量变化的原因；从本体论视角，可认为任何的现象都源于物体间的相互作用，没有相互作用，“物质本体”也就没有可以被观测的时空形象（此视角的相互作用包括人的观测信号的作用）.虽然答案莫衷一是，但从观念培养的角度说，对相互作用的本质追问的思维过程比结果更重要，这是以一种“震叶以寻根”的思维冲动，去反复琢磨、推敲，进而不断追问、深思，逐渐形成丰富而深刻的相互作用观念.

二是相互作用发展观.这一观念是人们对物理学中相互作用的发展、演变、动力、过程等的总体认识，与相互作用本质观互为表里，揉捏在一起.各种相互作用并不是固定不变的，处于不断发展、演进之中.例如，场的作用观念就经历了古希腊时期的虚空中超距作用、以太的接触作用、近代的电磁之间“弹性介质”作用、力场物质性作用等认识，使得场的作用由经验、定性、形式化的描述发展为定量、实在化解释.这提醒我们，要引导学生追溯相互作用的发展历史，在各种相互作用的形成与深化的过程中去建构观念.

三是相互作用形式观.相互作用形式观是学生对相互作用系统性、关系性的认知表现，这涉及到人们如何根据相互作用的过程和特点来识别各种作用，以及如何准确把握相互作用的各种形式.不同形式的相互作用体现在不同物理对象、物理现象、物理影响和物理过程之间，如侧重物理对象方面，可分为天体、光、电磁、分子、原子、量子等相互作用，侧重物理现象，可分为吸引、排斥、摩擦、碰撞等相互作用.学会以分类的视角去审视相互作用的类型和特点，会帮助我们形成更大的视野，对观念的把握更加全面.

四是相互作用模型观.相互作用模型观是人们对于相互作用的本体、过程和现象等“显性”内容的简化；用物理思维对其中的结构属性、关系、思想等呈现的“隐形”内容与“显性”内容揉捏成一个整体，实现具象化的展现以及对于“模型”的应用及修改的认知.物理学事物、现象都是复杂的，是诸多成分、要素、过程的统一体.[12] 例如宇观现象中的黑洞模型、引力波模型，宏观现象中的平衡力模型，电磁学模型，微观现象中分子模型和原子模型以及量子力学模型等，都能够以简洁、生动的语言、公式、图示加以表达.《K－12科学教育框架》指出“模型都是可识别的”.相互作用模型观的建立，可为学生相互作用的进一步研究、学习奠定基础.

五是相互作用价值观.相互作用价值观指人们对相互作用具有的“价值”的基本态度和认识，是人们对相互作用“功用”的基本看法.结合物理学科特点，相互作用价值观划分为个人本位价值观、物理本位价值观、社会本位价值观.个人本位价值观，指人类从相互作用与自身发展的关系去看待其价值.“本质类”相互作用内容的学习可以加深个人对物质世界的认知，建立万物关联的信念；“互动类”相互作用内容能够提升个体对相关模型构建及解决生活中相关问题的能力.“思想类”相互作用内容加强了个体物理学内容体系的构建，是利用“相互作用”如何改变及创造物质世界的首要依据.从物理本位的角度来看，不管是“超距作用”还是“场的作用”，每一次的突破，都是物理学史上的一次重要观念革新.从解释现象的角度来看，相互作用解释了物体存在的道理，为物体本身创建了时空形象.从预言新事物的角度来看，不管是黑洞的猜想还是引力波的预测，相互作用观念在其中都起到重要作用.社会本位价值观，既体现在“相互作用”过程中，主、客体的需求、价值等同性，也表现为“相互作用”对人类生活、生产生活及环境的发展、改变所存在的重要意义.

3.2 微观视角下相互作用观念的结构

一是“力”的作用观.力是什么？力的作用是怎样发生的？又是如何传递的？能反映出什么物理意义？人们对此类问题的深思与回答便构成了力的作用观.有的强调力的作用对象和属性，认为力是物体间的相互作用；有的从作用的因果性出发，

中国知网 https://www.cnki.net

认为力是改变物体运动状态、使物体发生形变的原因;也有的深入到力与运动量度的关系,认为力的作用能反映运动传递的快慢、反映动量随时间变化的快慢、反映动能随位移变化的快慢等.至此,我们需要反思,在物理教育的视角下,当下中小学教材中对力是物体间相互作用的说法是否过于“单一”,遮蔽了力的丰富内涵,是否过于“统一”,忽视了观念的进阶发展.

二是接触作用观.接触作用是如何发生和传递的?有哪些形式?接触作用如何描述?这些都是接触作用观念的核心内容.以接触作用形式为例,在经典力学中包括宏观物体的碰撞、弹力、摩擦力、压力和支持力,这些作用与物体的形状、大小、材料、相对位置有关;在电学中,接触作用可以使导体形成电位差,进而影响电流的流动;在热学中,分子接触、碰撞运动的无规则性通常用来解释大气压强的成因,接触作用与物体的热传导、热辐射和热对流的过程密切相关.应注重不同接触作用的相互比较,挖掘特点和规律,进而生成和丰富相互作用观念.

三是感应作用观.感应不仅是一种物理现象,更是重要的物理作用.在力学中,人们通过重力感应来确定物体的位置和方向;在电场中,通过静电感应作用使物体带电;在磁场中,两个磁体之间可通过磁场感应发生吸引与排斥作用进而传递能量;在电磁场中,可通过电磁感应作用使得导体生成感应电流.我们应引导学生从相互作用的视角来透视物理中的感应,建立感应对象之间的联系,挖掘感应作用的发生过程,进而把握感应的变化规律,逐渐形成感应作用观念.

四是叠加作用观.无论是物质波还是电磁波,当波与波之间发生相互作用,其结果都是波动能量会在相互叠加的空间里重新分配,进而导致新的能量分布.其中光波的干涉是分立的光束之间的叠加,是一种相对于整体光束而言的“粗粒化”叠加;波的衍射发生在整束光内部,是在传播过程中产生无限多子光源的相互叠加,是子波之间的“精细化”叠加.[13]量子力学指出,一个粒子可能存在多个状态,这些状态就会发生叠加,从而出现叠加态.

五是“场”的作用观.“场”可以看作是一种传递物质之间相互作用的因果关系系统,“场”的作用能够描述物质之间空间分布的广延性和物质之间作用的传递性.例如,万有引力通过“引力场”来传递,电荷之间、磁体之间的相互作用通过电、磁场来传递.随着“场”作用观念的发展,历史上的“超距作用”只能成为一种哲学追求,而法拉第提出力场物质性的观念,使得场的作用由形式走向实在,[14]使得“近作用”有了实在的物质基础.这提醒我们,要引导学生注重“场”作用背后意义和思想,不仅有助于发展相互作用观,也会深化学生的物质观和时空观.

六是量子作用观.“纠缠”是量子力学中比较“形象”和“传神”的概念,量子纠缠也是近年来很“热”的一个词,经常出现在科幻电影和科技网文中.纠缠作用是指两个或多个粒子发生的特殊作用关系,即使它们距离非常远,一个粒子的状态可以瞬间影响另一个粒子.量子纠缠作用突破了传统物理学中的定域性思想,有丰富的叠加态性质和信息传递、交换性质.虽然纠缠作用在教科书中鲜有提及,但从观念建构的全面性和丰富性的角度来说,引导学生适当了解、思考和探讨纠缠现象是非常有必要的,不仅深化了学生的相互作用观念,也体现了前沿物理理论的魅力.

整体来看,各相互作用之间不是相互割裂的,这几个方面环环相扣、层层递进、互为依托.对相互作用的本质、发展及价值的理解关系着作用类型的分解和对各种作用理解的深度,反之,对各种作用形式的性质、特点、过程等的深入考查也会影响着整体相互作用本质、发展、价值的全面把握.例如,当我们把相互作用仅仅看成是力,那就会认为相互作用只有这一种表现形式,不仅窄化了力的丰富内涵,也忽视、淡化了物体对象、现象之间的联系和影响.

4 相互作用观念的生成机制及培养策略

4.1 相互作用观念的生成机制

物理观念的形成既是认知性的,更是体验性的、理性分析的.[15]若深入地探讨相互作用观念的生成机制,就必须面对 3 个问题:(1) 物理学中哪些要素能够促进相互作用观念的生成?(2) 哪些教学行为、学习方式利于相互作用观念的生成?(3) 在相互作用观念培养的教学实践中还需要关注哪些影响因素?

关于第一个问题,笔者认为有几个要素对促进相互作用观念的形成很重要.(1) 社会实践.相互作用的独特之处就在于,它所反映的是在一个

中国知网 https://www.cnki.net

系统下的某一物体或者一些物体之间的影响、联系，因此对它观念的学习应该在某一系统中进行.生活本就是复杂的“系统”，蕴含着很多相互作用知识.学生在社会实践过程中，会遇到丰富的相互作用素材，同时进入真实情境中去感受、思考，易于学生相互作用观念的生成.(2) 相互作用知识.由概念、规律、定理、学说等构成的物理学知识，经常被认为是物理文化的主要内容表现.相互作用知识浅层次所展现的是对物质世界的客观描述，深层次中蕴含着物理学者共同的观念.比如，经典力学中的相互作用的背后，就蕴含着“宇宙宿命论”的观念.(3) 物理学研究方法.物理学研究方法指的是人们认识物理世界的手段.在这其中，隐藏着诸多的相互作用观念.比如控制变量法，注重各因素间的因果关系、逻辑性等.在应用相应的方法过程中，人们也能从中汲取相互作用观念.(4) 物理学史.相互作用观念的生成，需要人文精神的引导.HPS 对于物理观念的培养在国外也早有研究.物理学史不仅仅是物理的发展史，也存在着人文底蕴的暗线，其本身非常具有教育意义.其中所蕴含的相互作用思想、观念，对于学生进行相互作用观念“思想教育”非常有帮助.

第二个问题，相互作用观念的生成要素，需要什么样的教学互动，才能有效地转化为相互作用观念呢？通过对师生的访谈，总结发现，学生头脑中相互作用观念生成主要有讲授、团队合作、自悟 3 个途径，如图 1 所示.

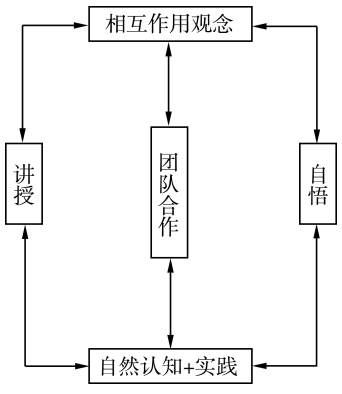

图 1

第一，讲授.讲授者会对相互作用观念进行整理、挖掘，依据自有的知识框架进行加工，再像陈述性知识那样教授给学生，学生对其进行记忆，内化和运用.这种方式的缺点是学生参与观念提取、加工的工作较少，通常只“知其然”并不“知其所以然”，不易真正将其内化为观念.虽然能让讲授者较快完成教学任务，但是学生的内化程度往往较低.第二，自悟.自悟是指学生依靠自己的生活实际感受，结合对相互作用知识体系、思想观念、学史等内容的理解，在体会、思考以及对科学方法的运用中形成相互作用观念.虽然最终效果因人而异，但所形成的观念往往扎实、稳定.第三，团队合作.团队合作依靠的一个学习团体或者学习小组，学生通过与团队成员实验、讨论、反思、分享等方式完成相互作用观念的转化.在相互作用观念形成的重要节点，团队发挥启发、引导、解惑的作用，教师以组织者、服务者的身份存在其中，为其提供问题设计、活动安排等教学环节.学生在教师的高阶指导与同学的平阶启发中寻找相互作用观念生成的突破点.这对教师的挑战非常大.

第三个问题，在相互作用观念培养的教学实践中，笔者认为还需要关注以下几个影响因素.首先是学生的先入观念对学习的影响：学生在学习物理之前可能已经形成了一些关于物理世界的相互作用观念.这些观念可能与科学概念或观念相冲突或不完全一致，需要进一步研究如何帮助学生更正或调整这些观念.其次是学生的认知过程和思维策略：学生在学习相互作用相关内容时如何处理和理解新的物理概念，以及他们如何将这些概念与之前的知识联系起来.包括学生在解决物理问题时所采用的思维策略和解题方法都是我们需要关注的.最后就是学生的情感态度和动机：学生对物理学的态度和动机会影响他们对观念的接受和理解程度.因此，了解学生的情感态度和动机对于理解相互作用观念的生成机制是很重要的.

4.2 相互作用观念的培养策略

如何有效培养学生头脑中的相互作用观念是一个长久性、复杂性的系统工程，这关涉到 3 个关键问题.一是物理学和生活中有哪些资源和要素有助于相互作用观念的生成？二是如何挖掘和理解这些资源来促进观念的发展的深化？三是如何学习能够帮助学生头脑中的观念进入新“台阶”？鉴于此，结合以上分析从不同角度提出以下策略.

(1) 注重相互作用的现象剖析，在多视角下“挖掘”相互作用观念.

相互作用观念具有系统性和结构性，既有宏观视野下的“大”观念，也有微观视域下的“小”观念，二者互依互促、相得益彰，物理文化中有丰富

中国知网 https://www.cnki.net

的资源有待结合微观与宏观视角来深入挖掘.对此可打个比方,我们把观念下的物理学世界比喻成一幅比较大的画,近距离看,这幅画十分精致和精细,各种线条、色彩有许多奥妙之处,这就好比我们从微观视角来洞悉相互作用,如侧重作用对象,可分为光、电磁、分子、原子等相互作用;侧重作用现象,则可分为碰撞、摩擦、感应、接触、相干、纠缠作用等,凸显作用强度,可分为强相互作用、弱相互作用;强调作用的"远近",可分为超距作用和近作用等;若要全面认识这幅"物理观念之画",我们还需要远距离观望,这就好比在整体上去深思相互作用的本质属性是什么,历史中如何呈现等.

(2) 回顾相互作用的历史发展,在物理"思想史"中"深化"相互作用观念.

物理思想是"人们对物理文化全面、深入思考的结果,是对物理学的凝练与升华,属于更上位、更深层、更富迁移力的智力结构".[16] 物理思想与物理观念源流相近、相辅相成,二者皆深刻反映出深藏于物理现象、问题、研究活动以及物理理论背后的物理学精华,物理学思想史则是生成与深化相互作用观念的重要资源.相互作用观念与物理学中的守恒思想、逻辑思想、模型思想、因果思想、类比思想、系统思想、相干思想、联系与转化思想等密切相关,深化观念可从物理思想中汲取营养.[17] 例如,因果思想是物理学中带有哲学色彩的物理思想,致力于揭示事物运动、变化、作用中一种客观存在的因果关系,可引导学生在因果思想形成、发展的历史中,从思想史的高度去考查事物相互作用的起因和源头,去探析事物相互作用的结果和归宿,进而对相互作用形成观念性、思想性认识.

(3) 注重观念的"过程性"特征,在观念建构中"进阶"相互作用观念.

从建构主义观点出发,相互作用观念是人们在长时间不断反思与实践过程中逐渐建构起来的,是"相互作用"知识的高阶认知表现,能够对相关问题的思考、解决提供更广的视域.我们不仅要看到物理观念在学生头脑中的"同时性"状态,即从横向不同内容中关注相互作用观念的培养,更要注意物理观念在学习经历中纵向的"历时性"特点.以"力"的观念为例,现行的中、小学教材中都将"力"表述为:物体对物体的作用.这种表达比较简洁和直观,但从物理学习的进阶和学生观念的发展来看,"力"的观念略显"单一"和"单薄",因此从进阶的角度来建构"力"的观念蓝图就十分必要.即在小学阶段引入物体间的相互作用存在力,以强调力体现在物体之间和力的属性;在中学阶段逐渐引导学生认识到力是改变物体运动状态的原因,力是物体之间能够改变物体运动状态、使物体发生形变的相互作用,[18] 力是物体之间单位时间内传递的动量,力是动能随位移变化的快慢等,以反映力的物质性和物理学本质,凸显相互作用观念的深刻内涵.

参考文献:

1 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版2020年修订)[S].北京:人民教育出版社,2020.
2 中华人民共和国教育部.义务教育物理课程标准(2022年版)[S].北京:人民教育出版社,2022.
3 王维.高中物理教师微观粒子间相互作用观的理论构建和现状考察[D].长春:东北师范大学,2021.
4 于海波,侯建华.论物理观念的生成机制与教学策略[J].物理教学探讨,2023,41(3):1-5,13.
5 杨仲耆,申先甲.物理学思想史[M].长沙:湖南教育出版社,1993.
6 马克思恩格斯选集:第3卷[M].北京:人民出版社,1972.
7 马克思恩格斯选集:第2卷[M].北京:人民出版社,1972.
8 徐健全.试论相互作用的内涵、实质及其特点[J].四川师院学报(社会科学版),1985(2):24-33.
9 张玉峰.物理观念发展的关键过程:关联整合、迁移创新[J].物理教师,2023,44(4),14-18.
10 赵国求.相互作用实在论及其科学和哲学意义[J].自然辩证法研究,2011,27(9):7-14.
11 孔德昊,冯利.从观念的视角谈物理观念的内涵、表征及生成[J].物理教师,2023,44(4):31-34.
12 孙小礼.模型——现代科学的核心方法[J].哲学研究,1993(2):20-26.
13 朱鎡雄.物理学思想概论[M].北京:清华大学出版社,2009.
14 蔡肖兵.物理学的哲学分析[M].北京:中国社会科学出版社,2011.
15 王勇.依托物理问题情境变"知识"成"观念"[J].物理教师,2023,44(10):26-28.
16 于海波.试论"物理课程与教学论"的学科定位与发展走向[J].课程·教材·教法,2010,30(9):97-101.
17 侯建华,于士博,于海波,等.国内物理"相互作用观念"教育研究的思考与展望——基于CNKI源刊的文献述评[J].物理教师,2024,45(6),2-6,11.
18 洪安生.中学物理教学中的100个科学性问题[M].北京:科学教育出版社,2023.

(收稿日期:2024-05-23)

中国知网 https://www.cnki.net