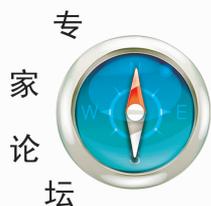


文章编号:1005-4642(2022)04-0057-07



论物理学科本质及其对物理教育的启示

邢红军¹,董鑫鑫¹,石尧²

(1. 首都师范大学教师教育学院,北京 100048;2. 北京中学,北京 100048)

摘要:在对国内外物理学科本质研究的基础上,基于物理学三维结构模型、核心素养理论以及物理核心素养理论,给出了物理学科本质的构成要素,包括:物理知识、物理方法、物理思想、物理观念、物理实验、数学、科学精神与人文精神。这不仅为物理学科本质的研究提供了新的视角,也为在物理教育教学中发展学生的物理核心素养开辟了新的途径。

关键词:科学本质;物理学科本质;核心素养;物理核心素养

中图分类号:G633.7

文献标识码:B

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.04.011

普通高中《物理课程标准》提出要在物理教学中进行学科本质教育的要求,并在课程基本理念中将“在课程目标上注重提高全体学生的科学素养”修改为“注重体现物理学科本质,培养学生物理学科核心素养”^[1],这一重要改变体现了物理教育理念的进步。然而,物理学科的本质究竟是什么?它的构成要素到底包括哪些内容?相关的研究虽然较多,但关于物理学科本质的研究始终莫衷一是、众说纷纭,从而影响了物理学科本质教育的开展。鉴于此,本文对此问题展开讨论,以期对物理学科本质的研究有所启迪。

1 物理学科本质的研究思路

物理学科的本质是什么?目前,国内物理教育界对该问题研究的通常做法是,以科学本质代替物理学科本质进行研究。

1989年,美国科学促进协会认为应该从3个维度来理解科学本质:

1)科学世界观——世界是可被认知的;科学理念是不断变化的;科学知识是相对持久的;科学家不能完美地回答所有问题。

2)科学探究观——科学需要证据作为支持;科学融合了逻辑和想象;科学需要解释和预见;科学家要努力避免偏见;科学不依赖于仰仗权威。

3)科学事业观——科学是一项复杂的社会活动;科学由学科内容组成,有不同的研究机构;科学研究有普遍接受的道德规范;科学家在参与公共事务时的身份既是科学家又是公民^[2]。

1996年,德里弗(Driver)等人认为科学本质包括:科学目的、科学知识的地位和性质、科学作为一种社会事业^[3]。我国学者李醒民也在其著作《科学论:科学的三维世界》中将科学本质划分为三层,即作为知识体系的科学、作为研究活动的科学、作为社会建制的科学^[4]。不难发现,经过多年的理论探讨,人们对科学本质的认识已经基本达成共识,即科学本质应当包括科学过程、科学结果以及科学事业对人类社会的影响。

科学学科群虽然包括物理学,但物理学并不等同于科学。这是因为科学本质是上位概念,而物理学科本质是下位概念,二者的内涵有交集,但又具有很大的不同。科学本质的范畴与内涵并不能直接外推到物理学科本质的研究中,也不能直接外推到物理学科本质教育中。因此,科学本质的研究范式只能对物理学科本质研究提供启示,但无法准确界定与诠释物理学科本质的内涵。

长期以来,人们一直采用以科学本质代替物理学科本质来展开研究。造成这种现象的原因可能在于:a.研究者默认科学本质就是物理学科本

收稿日期:2021-12-31;修改日期:2022-02-11

基金项目:全国教育科学“十三五”规划2019年度国家一般课题(No. BBA190024)

作者简介:邢红军(1960—),男,河南平舆人,首都师范大学教师教育学院教授,博士,研究方向为物理教学论、学科能力发展与培养。E-mail: xhjncu1960@sina.com

质,认为按照这样的方式进行研究就不会出现问题;b. 国际科学界对于科学本质的研究汗牛充栋,按照拿来主义的方式进行研究非常顺手,且可以在此基础上侃侃而谈. 不幸的是,这种研究范式虽然省时省力,但其研究结果却与物理学科本质南辕北辙,相去甚远. 同时,以科学本质代替物理学科本质还存在指鹿为马的嫌疑. 因此,物理学科本质的研究既要超越简单的拿来主义研究范式,也要超越简单的经验主义思维,摒弃没有理论依据的物理学科本质研究范式.

上世纪 70 年代美国学者霍尔顿(G. Holton)提出物理学三维结构模型. 霍尔顿认为,物理学任何一部分的基本内容及结构都可以分解为以下 3 种成分:X——实验(事实)、Y——物理思想(逻辑、方法论等)、Z——数学^[5]. 这种普适性的结构模型抓住了物理学知识结构的核心,也为物理学各分支学科、单元结构及教学规律的研究奠定了基础. 将三维结构投影到平面上,就形成了上(实验)、中(核心理论)、左(科学方法论)、右(数学)、下(延伸与应用)5 个部分,这不仅揭示了物理学科的 5 个特点,而且彰显了物理知识与方法的关系. 该结构图被称为物理学知识—能力结构图,如图 1 所示.

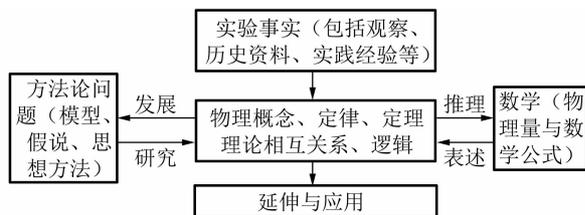


图 1 物理学知识—能力结构图

深入分析物理学三维结构模型后,发现物理实验、物理思想与数学是物理学科本质的 3 个基本构成要素. 鉴于物理学三维结构模型中对于物理思想的界定不够清晰,通过进一步结合物理学知识—能力结构图进行分析,可将物理思想明确为物理知识与物理方法. 于是,物理学科本质的构成要素就初步确定为物理实验、物理知识、物理方法与数学.

为了确定物理学科本质的要素,有必要从物理学科核心素养的角度进行考查.

普通高中《物理课程标准》将物理学科核心素养界定为 4 个方面,即物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任. 然而,深入分析不难发

现,物理学科核心素养未能真正反映出我国物理教学的理论与实践成就,因此,物理学科核心素养需要进行重新建构. 为此,本文从核心素养的内涵、特点与价值取向出发,结合物理学的学科特征,建构出了物理学科核心素养层级模型,如图 2 所示,其构成要素包括:物理知识与物理方法、物理思维与物理技能、物理思想与物理观念以及科学精神与人文精神^[6].

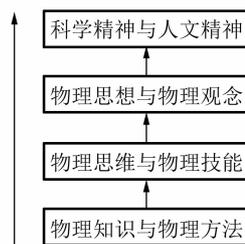


图 2 物理学科核心素养层级模型

认真研究物理学科核心素养层级模型,不难发现,作为物理知识与物理方法的升华,物理思想、物理观念也应纳入物理学科本质的构成要素之中. 这是因为,物理思想是由物理学共同体对物理知识和方法进一步提炼而形成的关于物理本质的深层认识. 它不仅能够影响物理方法的形成,还能够引领物理观念的发展. 可以说,正是在物理思想的指导下,物理世界才能够从孤立的知识碎片上升为系统的知识体系,并促使感性认识逐步向理性认识过渡. 物理观念是在物理学视角下形成的关于物质、运动与相互作用、能量等的基本认识;是由物理概念和规律在人的头脑中经过凝炼升华而形成的.

物理学本来就是科学与人文的统一,因此,物理教育的目的不仅在于传播物理知识与方法,培育科学精神,还需要进行人文精神的浸润与陶冶. 人文精神作为具有普适价值的人类自我关怀,它表现为对人的尊严、价值、命运的维护、追求和关切,对人类所保存的各种精神文化现象的尊重与珍视,是对全面发展理想人格的肯定和塑造. 因此,物理学科本质教育亟需科学精神与人文精神协同共进,从而扭转物理教育中长期存在的唯科学主义倾向.

综上所述,物理学科本质的构成要素包括:物理知识、物理方法、物理思想、物理观念、物理实验、数学、科学精神与人文精神.

2 物理学科本质的内涵解读

在确定物理学科本质的基础上,需要进一步厘清物理学科本质中各个要素的内涵,从而为物理学科本质教育的开展奠定基础。

2.1 物理知识本质

知识是人们在长期实践活动中对客观世界的认识和经验的结晶,包括感性知识与理性知识。其中,感性知识反映的是事物的外在属性或外部联系,其心理表现形式为感知与表象;理性知识反映的是事物的本质属性或内部联系,其心理表现形式为概念和原理。就物理学科而言,作为一门严密的理论科学,物理学以物理概念为基石,以物理定律为主干,建立了经典物理学和现代物理学,以及各个分支物理学的严密逻辑体系。

怎样在物理教育教学中进行物理知识本质教育?这就要求教师在物理教育教学中,把握物理知识的实质,揭示物理知识的真谛。例如,在电动势教学中,虽然教材的定义为“电动势等于非静电力将单位正电荷从电源的负极搬运到正极所做的功”,但是学生对于非静电力的产生原因及“搬运”正电荷的方式并不清楚,这在一定程度上影响了学生对电动势的学习与掌握。以伏打电池为例,教师通过对电动势概念进行高端备课,发现并揭示了电动势的形成机理。即在内电路中,带正电荷的铜板与带负电荷的锌板之间形成了“板电场”,同时,锌板附近带正电荷的“薄膜”锌离子层与铜板附近带负电荷的“薄膜”电子层形成了“膜电场”,由于2个电场的方向相反,于是就形成了等效电场 $E_{\text{非}}$, $E_{\text{非}}=E_{\text{膜}}-E_{\text{板}}$ 。由于 $E_{\text{非}}$ 不是静电场,故带电离子在 $E_{\text{非}}$ 中受到的力属于非静电力。可见,只有深入到电动势形成的微观机制去备课与教学,才能真正触及到物理知识的本质^[7]。

2.2 物理方法本质

物理方法是人们在认识和改造客观世界的实践活动中总结出的行为方式,是人们认识和改造自然的有效工具,对物理知识的建构有重要作用,如物理教学中常用的比值定义法、控制变量法等。

虽然物理方法与物理知识都是物理学的组成部分,但严格说来,二者又具有不同的特点。物理知识与客观物质世界联系密切,是对客观世界的描述与反映;而物理方法涉及的是人类认识物质世界的途径与方式,具有高度的抽象性。同时物

理方法具有自己独特的表达方式,它往往隐藏在物理知识背后,决定着物理知识的获取和应用。

以比值定义法的教学为例。中学物理教学中,许多物理量的定义都是采用比值定义法,例如速度、加速度、密度、压强等。比值定义法的运用包括4个步骤,分别是:1)选取比较的对象;2)选取比较的标准;3)研究比较的意义;4)得到比较的结论^[8-9]。只有按照以上步骤展开比值定义法的教学,才能称之为是进行了物理方法的本质教育。除此之外,教师还要告诉学生,比值定义法中位于分子的物理量是优势变量,而位于分母的物理量是非优势变量,二者地位不对等。所以,在速度概念教学中,同等时间比位移和同等位移比时间的教学方式,其不足的根本原因在于教师不明白比值定义法的物理本质。

2.3 物理思想本质

物理思想的形成经历了从物理学家的“个人科学”到物理学共同体的“公开科学”的发展过程,其中物理学家的灵感与思考、探索过程与体验是物理思想形成的重要源泉。物理思想作为独立存在的内容,能够丰富物理学的内涵与外延,并最终引领物理学的发展与完善。

为了使学生充分领略物理思想的本质,须从物理思想的特征出发,归纳出物理思想的主要内容^[10],包括:对称思想、守恒思想、不可逆思想、等效思想、假说思想、比较思想、转化思想、相干思想、量子化思想、相对性思想。

怎样在物理教育教学中进行物理思想教育?以守恒与转化思想的形成为例,中学物理教材中的能量概念定义是:能量是表明物体做功本领的物理量。对此,诺贝尔物理学奖获得者莱尔曼(G. Lehrman)提出了质疑。他认为,能量的定义应该同时以热力学第一定律和热力学第二定律为依据,热也应作为一种形式考虑在内^[11]。他指出,能量转化存在一定的不可逆性,即一定量的功可以产生一定量的热,但一定量的热却不能在对外界无影响的情况下完全转化为功;能量在转化中总保持守恒,而做功的本领却不是守恒的,它在转化过程中会不断地损失^[10]。因此,正确的能量定义应当是:能量是表示物体做功本领和传递热本领的物理量。由此可见,要使学生真正理解能量的本质,除了正确定义外,还要使学生理解能量概念背后的守恒与转化思想。

2.4 物理观念本质

物理观念主要包括物质观、时空观、能量观、相互作用观等。其中,物质观的演变先后经历了不连续的物质观到连续的物质观,再到更高层次的物质观统一。时空观主要指物质存在的 2 种基本形式——时间和空间。时间是物质运动持续性和顺序性的表现,空间是物质存在广延性和伸张性的体现。能量观是代表物理学属性的重要观念,即能量是对物体做功本领和传递热本领的度量。相互作用观的本质在于,当一部分物质对另一部分物质发生作用时,必然会受到反作用。

物理观念是重要物理思想的浓缩,但不是所有的物理思想都可以升华为物理观念,只有代表物理学最本质的认识,才能称之为物理观念^[6]。因此,物理观念是比物理思想更加深层次的物理本质。这就好比相信牛顿力学体系的人始终认为时间和空间相互独立,时空中的物质和运动均不会对时空本身产生影响,在绝对时空观之下,不同参考系中,物体的运动都遵循伽利略变换。但爱因斯坦却否认这种观点,他认为空间坐标变量、时间变量和物体运动之间存在某种联系,这种联系可以用洛伦兹变换表示。1905 年,爱因斯坦提出了狭义相对论,扫除了盘旋在物理学发展上空的“一朵乌云”。然而,物理学史证明,洛伦兹对时空现象的研究要早于爱因斯坦,并更早地提出了洛伦兹变换公式。为何洛伦兹没有率先提出相对论呢?这可能要归咎于洛伦兹未能挣脱经典时空观的束缚,没有迈出构建新的物理观念的关键一步。

2.5 物理实验本质

物理学发展的历史表明,在伽利略首创将实验、物理思维和数学演绎三者结合的科学方法指引下,经典物理学才真正从自然哲学中分离,并逐渐形成独立的学科。

物理实验是人们利用物理仪器和设备,控制实验条件,排除次要因素的干扰,抓住主要因素,在有利的条件下重复地去研究物理现象及其规律的活动。

物理实验是手脑并用的科学活动。学生需要经历理解实验原理、观察实验现象、操作实验仪器和处理实验数据等一系列认知活动,从而不断提升自身的物理实验能力。需要强调的是,在物理实验教学中,应当树立这样的观点,即不能把实验单纯视为操作过程,而应将其视为操作与思维相

结合的活动。这是因为实验操作离不开思维的指引,实验操作只是借助仪器设备把思维活动进行了外显。同样,思维也兼具动作属性,它是一种在大脑中进行的内隐动作。由此观之,操作与思维只是动作的不同形式,在此意义上,知(思维)与行(操作)是统一的。

根据皮亚杰理论,人的认识既可以是物质性的(运用物理工具在实物上进行,即物理实验的操作成分),也可以是精神性的(运用符号工具在头脑中进行,即物理实验的思维成分)。因此,在物理实验教学中,只关注实验的操作过程而忽视实验操作中的思维成分,忽视操作与思维的辩证关系,势必会造成实验活动与物理实验本质渐行渐远,甚至南辕北辙。

2.6 数学本质

从物理学的学科本质来分析,一般认为,实验是物理学的基础,理论是物理学的主干,而数学则是物理学的语言和工具。这是因为,要使物理学的学科结构能够反映出自身的基本概念、原理和基本方法之间的关系,并使物理学的表述上升到定量层面,仅凭单纯的语言文字是难以胜任的,必须有数学的参与才能完成对物理学理论的真正描述。因此,数学是物理学的一部分,物理学科本质的构成要素应该包括数学。

杨振宁教授在《美与物理学》中^[12],给出了物理学领域,如图 3 所示,该图对理解物理学科本质与数学的关系具有重要启示。杨振宁教授指出,19 世纪后半叶的许多实验工作引出普朗克的唯象理论;经过爱因斯坦和玻尔的研究,又有了一些重要发展,但这些都还是唯象理论;最后通过量子力学的产生,才步入理论架构的范畴。

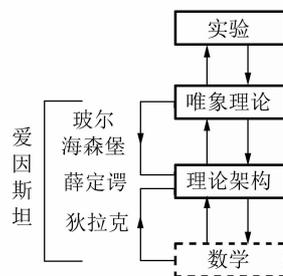


图 3 几位 20 世纪物理学家的研究领域

海森堡的灵感来自于他对实验结果与唯象理论的认识,进而得到了方程式 $pq - qp = -i\hbar$ 。狄拉克的灵感源自他对数学之美的直觉欣赏,进而

写出了狄拉克方程。爱因斯坦兴趣广泛,在许多领域中,如唯象理论、理论框架和数学领域都曾做出过划时代的贡献。

杨振宁教授给出的物理学领域图中,虽然把数学也列在其中,并且置于最基础的位置,但却以虚线标明,以示其与实验、唯象理论和理论架构的区别与联系。杨振宁教授曾经用长在根茎上的“双叶”来形容数学与物理学之间的关系,如图4所示。一片叶子是物理学,另一片叶子是数学,两者生长在共同的根茎上,重叠的地方则是二者之根,二者之源。这充分说明了数学与物理学的同源关系。



图4 物理学与数学关系的“双叶”示意图

2.7 科学精神本质

科学精神的主要表现是追求真理,崇尚创新,实事求是。科学精神倡导对真理的不懈追求以及敢于质疑和创新的精神,坚持真理面前人人平等的信念,用质疑的态度不断发展物理学的知识体系。科学精神尊重物理学已有的认识,崇尚理性质疑精神,否认任何权威与教条,承认物理学的发展永无止境,鼓励发现和创造新的物理学知识。科学精神本质强调物理学所有的假设和结果都必须经过物理实验的检验才能得到承认,即实验是检验真理的黄金标准。科学精神尤其强调尊重事实,反对弄虚作假、篡改数据等不良行为。

在基础教育领域,《中国学生发展核心素养》将科学精神界定为学生在学习、理解、运用科学知识和技能等方面所形成的价值标准、思维方式和行为表现,包括理性思维、批判质疑与勇于探究3个要素^[13]。

理性思维是科学精神的内在基础和动力。包括:a.崇尚真知,能理解科学原理和基本方法;b.有实证意识和严谨求实的态度;c.逻辑清晰,能运用科学的思维方式认识事物并解决问题等。

批判质疑是科学精神的核心,构成了科学精

神的内核。包括:a.具有问题意识;b.能够进行独立思考与判断;c.能从多角度、辩证性地分析问题,并能作出相对最优的决策。

勇于探究是科学精神的外在表现,是科学精神发展的评价依据。包括:a.敢于克服困难,具有坚定不移的探索精神;b.不断尝试,积极探索高效的问题解决方法等。

2.8 人文精神本质

物理学虽然是自然科学,但是物理学科的本质仍然包含人文精神。这是因为物理学作为客观存在的知识体系,其终极价值在于为人类的生存与发展服务。

科学精神与人文精神同为人类文明的重要成果,二者相辅相成,同属于人类对于真善美的共同追求。科学精神求真务实,表现为如何为人做事的外部取向;人文精神则指向人自身的世界,是人生观、价值观和世界观的集中体现。人文精神包含人类对理想和信念的孜孜追求,对于美好品德的赞颂以及普适价值的向往。人文精神与科学精神犹如并存的两翼,千百年来和谐共存于人类的文化遗产中,科学精神保证了人文精神的真正实现,而人文精神则保证了科学精神的正确指向。

爱因斯坦是一位极具人文精神的物理学家。第二次世界大战以后,爱因斯坦深刻意识到核战争对整个人类生存发展带来的威胁,因而费尽精力为“反对核战争”奔走呼号。在他临终前7天,仍不忘为人类和平与预防核危险的事业努力,郑重签署了呼吁防止核战争的《罗素—爱因斯坦宣言》。在爱因斯坦反对核武器滥用的10年间,他不遗余力地发出政治伦理的呼吁,建议消灭和管控好核武器,有效地减缓了核军备竞赛,使人类能够驱散“核威胁”和“核讹诈”的阴霾。

朗道同样是一位伟大的物理学家,但却展现出了典型的学阀作派。1932年,朗道怀揣着振兴苏联理论物理学的愿景和计划,担任乌克兰物理技术所理论部主任。朗道的学生皮亚季戈尔斯基担任力学项目的领导人,出于对国家发展利益的考虑,在雷达项目上对朗道的“侍从武官”科列兹提供了不利证词,招致朗道对其长达20年的学术打压。朗道的这种学阀作派处事风格,使得其学派内的学生不得不完全服从他的安排和要求^[14],这充分说明了朗道缺乏人文精神的人格特质。

3 物理学科本质研究的启示

3.1 物理学科本质的研究需要依据理论的支撑与启迪

物理学科本质的构成要素作为一种理论建构,需要遵循理论建构的基本要求.哥德尔定理表明:一种足够丰富和论证完备的理论,是不能由它本身,或者比它更“弱”的手段来证明其自身的无矛盾性;理论体系如果只依靠自身手段为工具证明自身,必定会导出一些难以判断其真伪的系列命题.由于任何理论体系就其自身而言总是不完备的,因此若要证明自身的无矛盾性就必须跳出其中,借助比它更完善或者更“强”的理论来完成证明^[15].在这个意义上,缺乏坚实理论基础的物理学科本质研究,很难给出正确的物理学科本质要素.

有研究认为,物理学科本质包括物理现象及实验,物理概念、定律及理论,物理学应用及物理学发展过程中所形成的方法和思维方式^[16].这就自然而然地会导出以下疑问:物理学科本质为什么是这样几个构成要素?得到这些构成要素的依据是什么?作者对此没有给出原因与解释.相比而言,本文明确地说明了物理学科本质构成要素是基于物理学三维结构模型、物理学科核心素养层级模型以及核心素养理论而建构的,从而使所建构的物理学科本质要素具有扎实的理论基础.

3.2 物理学科本质的研究需要关注数学的价值与作用

把数学作为物理学科本质的构成要素,同样是基于物理学三维结构模型.将数学纳入物理学科本质的要素之中,在物理学科本质的研究中具有重要的价值与意义.

长期以来,人们往往把数学作为物理学研究与教学的工具或基础,但没有把数学看作是物理学的一部分.杨振宁教授曾说^[17]:20世纪物理学中基本概念的发展已经纳入了数学框架,如表1所示.不难发现,每个物理学理论的背后都隐藏着与之对应的数学形式,可以说没有数学,物理学的发展就寸步难行.

把数学作为物理学科本质构成要素的意义还在于,已经发布的《中国学生发展核心素养》以培养“全面发展的人”为核心,包括文化基础、自主发

展、社会参与3个方面,综合表现为人文底蕴、科学精神等六大素养,并具体细化为国家认同的18个基本要点,但这些基本要点中并未包含数学素养.因此,把数学作为物理学科本质的构成要素,不仅有助于物理学科本质本身的理论建构,而且还有助于补充核心素养的构成要素,为《中国学生发展核心素养》的修订与完善提供有益的启示.

表1 物理学概念与数学框架的对应关系

物理学概念	数学框架
狭义相对论	四维空间——时间
广义相对论	黎曼几何
量子力学	希尔伯特空间
规范理论	(具有拓扑复杂性的)纤维丛

3.3 物理学科本质的研究需要关注精神的价值与引领

物理学与文化是息息相关、密不可分的,因此,物理学科本质的研究还需要关注精神的价值与引领.这是因为,文化是人存在的根本和灵魂.尤其是基础教育,它强调学生能够在学校教育中习得人文、科学等各领域的知识与技能,继承并运用人类优秀智慧成果,陶冶内在精神品质,追求真善美的统一,发展成为有宽厚文化基础与高尚精神追求的人,这就要求物理教育所培养出来的人要具有人文精神和人文情怀.

如前所述,无论是爱因斯坦还是朗道,他们都是在物理学发展中具有里程碑式的人物.为何二人在处理人与人的关系时却有着截然不同的表现呢?这是因为,爱因斯坦始终认为要站在物理学科的视域思考人与人的关系,强调物理学科的社会价值和物理学家的社会作用.他的人文精神主要表现在:具有社会责任感,热爱和平,追求自由,主张民主,反对民族压迫和种族歧视等.而朗道则依仗自己的学术权威地位,做出既损人又不利己的事情,以至遭到后人非议,其根本原因在于缺乏人文精神.即使是在今天,校园里仍然存在着类似于朗道那样的欺凌现象^[18],这就充分说明,在物理学科本质教育教学中融入科学精神与人文精神是十分必要的.

4 结束语

基于物理学三维结构模型、核心素养理论以

及物理核心素养理论,本文给出了物理学科本质的构成要素,即物理知识、物理方法、物理思想、物理观念、物理实验、数学、科学精神与人文精神,并对这些构成要素进行了深度分析.物理学科本质的构成要素不仅为物理学科本质的研究提供了新的视角,而且为在物理教育教学中发展学生的物理核心素养开辟了新的途径.

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)[S]. 北京:人民教育出版社,2018.
- [2] 美国科学促进协会. 面向全体美国人的科学[M]. 中国科学技术协会,译. 北京:科学普及出版社,2001:3-11.
- [3] Driver R, Leach J, Millar R, et al. Young people's images of science [M]. Buckingham: Open University Press, 1996:72-135.
- [4] 李醒民. 科学论:科学的三维世界(上)[M]. 北京:中国人民大学出版社,2010:121-133.
- [5] Holton G. 物理学科的概念和理论导论(上册)[M]. 张大卫,戴念祖,等译. 北京:人民教育出版社,1983:323-325.
- [6] 邢红军. 物理学科核心素养:透视、商榷与重构[J]. 教育科学研究,2018(11):5-14.
- [7] 许冉冉,邢红军. 电动势教学的高端备课[J]. 物理教师,2016,37(5):6-8.
- [8] 邢红军,胡扬洋,陈清梅. 密度概念教学的高端备课[J]. 教学月刊·中学版(教学参考),2013(8):53-56.
- [9] 邢红军. 按照比值定义法的本质改进高中物理概念的编写[J]. 物理教师,2004,25(4):5-7.
- [10] 邢红军,张抗抗. 论物理思想的教育价值及其启示[J]. 教育科学研究,2016(8):61-68.
- [11] 莱尔曼. 能量并非是作功的本领[J]. 周赞明,译;雷树人,校. 物理教学,1980(2):44-47.
- [12] 杨振宁. 美与物理学[J]. 物理,2002(4):193-199.
- [13] 核心素养研究课题组. 中国学生发展核心素养[J]. 中国教育学刊,2016(10):1-3.
- [14] 刘寄星. 谈书说人之四:师徒反目的缘由及其教训[J]. 物理,2021,50(4):273-278.
- [15] 雷永生. 皮亚杰发生认识论述评[M]. 北京:人民出版社,1987:19.
- [16] 陶昌宏. 试论物理学科本质及独特的育人功能[J]. 物理通报,2021(5):2-9.
- [17] 杨振宁,范岱年. 几何和物理学[J]. 世界科学译刊,1979(11):1-6.
- [18] 邢红军. 大学职场欺凌的质性研究[J]. 科教文汇,2020(29):21-27.

Nature of physics and its enlightenment to physics education

XING Hong-jun¹, DONG Xin-xin¹, SHI Yao²

(1. College of Teacher Education, Capital Normal University, Beijing 100048, China;

2. Beijing Academy, Beijing 100048, China)

Abstract: On the basis of the research on the nature of physics at home and abroad, the constitutive elements of the nature of physics were given based on the three-dimensional structure model of physics, core literacy theory and core literacy theory of physics. These essential elements included physical knowledge, physical methods, physical thoughts, physical concepts, physical experiments, mathematics, scientific spirit and humanistic spirit. This not only provided a new perspective for the study of the nature of physics, but also opened up a new method to develop students' physical core literacy in physics education and teaching.

Key words: nature of science; nature of physics; core literacy; core literacy of physics

[责任编辑:郭伟]