·教育理论研究·

中学生物理科学建模素养的三个面向*

——从物理学家建模和学生建模学习的角度阐释

翟小铭[1] 何春生[2]

(1. 北京师范大学物理学系,北京 100875; 2. 北京市第八十中学 100102)

摘 要: 物理科学建模素养是物理学科核心素养的重要构成,发展学生物理科学建模素养是物理课程的重要育人价值之一. 基于科学史实和建模教育的相关文献分析,从物理学家建模和学生建模学习两个角度,分析论证了中学生物理科学建模素养有 3 个面向:科学概念、认知过程和实践活动,并界定了 3 个面向的内涵.

关键词: 科学模型; 建模; 物理科学建模素养; 物理学科核心素养

从上世纪 80 年代初至今,物理科学建模教育研究先后经历了"从'科学理论'到'教学理论'"、"围绕'科学素养'教育目标的多元发展"及"'多元整合'与'核心素养'"等几个研究阶段,[2]并在近 10 年来成为国际物理教育研究的热点.[3]经过 30 多年的研究,国际物理教育领域基本达成共识——即培养学生的物理科学建模素养是物理学科的核心育人价值之一. 而我国在近百年颁布的物理课程标准和教学大纲中缺乏对建模素养培养的相关课程目标和要求,[4]也缺乏相关的实证研究. 2017 年,新一轮高中物理课程标准修订将模型建构纳入物理学科核心素养,引起了我国物理教育实践者的广泛关注.[5]然而关于物理科学建模素养的内涵、构成等,相关研究并没有达成一致.[6]明确物理科学建模素养的构成面向,成为推进物理科学建模素养相关教学实践的重要前提.

美国教育研究会(AERA)前主席谢瓦尔逊[7]指出,关于"素养"问题研究的核心是"在一种典型的情境问题之下,一个人究竟知道什么且能做什么?'. 考纳兹、诺依曼等[8]从科学教育的角度从三个方面回答了关于素养构成的问题. 他们认为,素养应该包括内容(Content)、认知(Cognitive)和素质(Literacy)三个向度. 然而,现实的研究中大多数学者只关注了科学建模素养的某一个或某些方面. 例如,关注科学建模的元认知、[9]心智建模过程、[10]实践活动[11]等方面. 帕帕沃瑞陪都等[12]做的一个关于科学建模素养的综述中同样发现,很少有研究者关注科学建模活动过程中需要的完整的素养结构. 本研究首先以科学史实为基础,剖析了物理学家在建构物理模型的过程中体现的物理科学建模素养. 然后,结合科学建模教育的相关研究成果,从学生物理建模学习的角度进一步做了相关阐释,初步确定了中学生物理科学建模素养的 3 个面向.

1 从物理学家建模的角度分析

物理学是探索自然规律的科学,建模在科学家探索自然规律的过程中起着关键作用. 首先,科学家通过建构模型来认识自然现象和事物. 模型具有自然现象和事物的主要特征或部分特征,科学家在认识现象或事物时首先根据所获取的信息提取出这些特征,并在头脑中建构心智模型,从而实现对现象和事物的初步认识. 其次,科学家通过比较、推理、实验等从大量的不同现象或事物中抽象出其一般特征,从而形成科学理论,以解释自然现象或事物的规律. 这个过程中,科学家会通过不断评价、检验和修正模型,以优化科学理论. 正因为建模在物理理论形成中的重要作用,具备科学建模素养成为科学家必备的基本素养. 科学建模素养最好的展示体现在科学原理的发现过程中. 下面以万有引力定律发现这一科学史实为基础,[13]讨论分析在建构"行星为什么绕着太阳转?'这一科学模型过程中科学家体现的科学建模素养.

情境问题提出:引力定律建立的过程起始于对现象的观察. 在古代,人们就观察到行星在天空

基金项目:本文系北京市未来教育高精尖创新中心项目(项目号:BJAICFE6SR-005)成果;第一作者受留学基金委国家建设高水平大学公派研究生项目资助(项目号:201506040139).

* 本文未使用"维度(Dimensions)",主要是考虑到"维度"要求彼此之间正交,而学生的建模表现在内部一般会存在相关性.[1]因此,此处使用了"面向(Aspects)"这个词,也可称为"方面",为表述统一,全文统一使用"面向".

中是运动的，古希腊的阿里斯塔克(Aristarchus)甚至曾经预言过各种行星都是绕着太阳运行的，即日心说. 但是，阿里斯塔克的“日心说”很快就被人遗忘了，日心说真正被提上科学议程是从哥白尼开始的. 哥白尼给生性好奇的科学家提出了一个问题：如果行星是绕着太阳运行的，为什么呢？

1.1 物理学家的科学建模是一个复杂的认知过程

首先，科学家要对情境进行科学的分析. 情境分析的前提是能观察、分析现象中蕴含的有用信息. 对此，第谷·布拉赫做出了重要贡献. 他在哥本哈根附近的一个小岛上装配了专门用于指向定位的装置，用以记录各个星体的位置，从而为揭开问题的谜底提供了第一手资料. 开普勒是第一个试图根据这批数据揭开谜团的人. 他仔细地研究了第谷留下的数据，用“尝试和纠错”的方式来分析数据，试图描绘行星的运行规律. 第谷留给开普勒的记录中，蕴含着大量的行星运行规律的原始数据，如时间、位置(相对位置)等. 开普勒对这些数据的分析遵循着从表象到本质，从个别行星运行规律到行星一般运行规律的分析过程. 开普勒通过分析这些数据，提出了著名的开普勒一、二、三定律，被誉为“天空的立法者”. 然而，开普勒的结论更像是描述性的规律，并没有回答“为什么”. 但是，他的结果为后来的研究者像胡克、牛顿等人提供了一手的信息，成为后人分析研究的基础.

从人们意识到行星是在运动的，到认识到行星的运动轨迹是一个椭圆，并以特定的速率运行经历了漫长的过程. 开普勒将人们生活中习以为常的星移斗转描绘成了物理图景——事件概念化. 所谓事件概念化，即头脑中形成对物理事件的图景及其将发生的事件概念化为物理过程. 他起初假想行星是在圆形的轨道上运行，太阳则处在圆心上. 后来，他经过仔细比对火星的运行数据，发现有约 8′的偏差，而他认为这种偏差不太可能是由于第谷的观测误差造成的. 这引导着他进一步探索，最终将行星的运行轨道锁定为椭圆，太阳位于一个焦点上. 同时他还分析了行星运行速率变化的情况，并比较了不同行星运行周期与其到太阳距离之间的关系，从而令行星是如何运动的这一事件成为物理上精确的描述.

牛顿在事件概念化的过程中也做出了巨大的贡献. 他将行星的椭圆形运动与伽利略的惯性定律建立了联系，通过反推的方法认识到“力”是主导行星运行规律的主角. 牛顿还将行星的这种运动与地球上自由落体的运动做了类比，从而为最终将引力定律推广到所有物体之间奠定了基础. 牛顿的贡献在于，他将行星的运动和力这种相互作用建立了联系，从而揭示了更深层次上、视觉所不能触及的物理事件.

在发现引力定律的过程中，科学家还需要对象进行概念化. 所谓对象概念化即将研究对象的主要物理特征进行抽象概括，忽略次要特征，形成物理图景. 这里主要的研究对象是太阳、行星，以及行星的卫星. 尽管它们都属于巨大的物体，但开普勒在分析的过程中仍然是把它们看做是质点而忽略大小和形状的. 而牛顿最初在研究地球与月球之间的引力时并没有能够将地球和月球看做质点，这成为制约他研究进展的重要原因，直到后来发明了微积分才将问题解决.[14] 另外，在验证引力定律的时候，牛顿曾经分析过潮汐现象. 在这个过程中，必须考虑地球的构成、形状以及不同部分的特质而不能把地球看做质点. 而且，能否恰当概念化地球构成部分及其特质成为验证引力定律的关键. 由此可以看出，对象的概念化在实际问题解决过程中有重要的意义.

对于科学家来讲，适用性和自洽性的评估过程是一个对模型检验的过程，它推动着科学家反思自己建构的模型. 例如，开普勒通过对火星运行数据的分析，发现自己最初认为行星绕行轨道是圆形的假设是不合理的，这推动他对行星运行模型做了进一步的修正，开始认识到行星并不是传统上认为的匀速率运动，而是变速率的，这也直接导致了开普勒第二定律的修正. 对于牛顿来讲，他也在通过不断地将自己的模型应用到具体的情境中，从而做出适用性和自洽性的评估. 例如，他尝试进行的“地月检验”，将月球的运行和地球上物体的运动联系到一起来，就是对自己假设的评估.

1.2 物理学家建模的过程中要运用甚至创造科学概念

在回答“行星是如何绕着太阳运行的”这个问题时，不管是开普勒还是牛顿，都是基于原有的科学概念. 他们将原有的科学概念运用到现有的模型建构过程中. 例如，开普勒使用了“圆周运动”的概念，这在当时仍然是非常先进的. 因为，当时人们并没有确立力和运动之间的关系，因此对于物体(行星)为何能做圆周运动无法给出合理的解释. 再如，牛顿借鉴了伽利略的惯性定律，分析了“当物体不沿直线运动时发生了什么”. 这引导他从力、加速度、速度改变等角度去分析，最终发现

是存在一个指向太阳的力在改变行星的运行方向,并确立了力与运动之间的关系.如果没有伽利略的惯性定律的指引,牛顿很难将“运动速度的改变”与“力”之间建立联系.另外,物理学家还可能创造或重新界定科学概念.例如,牛顿在 1684 年的《论运动》中阐述了平方反比定律和向心力定律,之后不久又发表文章重新界定了“质量”概念,并讨论过质量和引力之间的关系.

界定研究“系统”也是物理学家必须要做好的基础工作.开普勒在发现第一定律和第二定律的过程中,主要是以单颗行星与太阳组成的系统为研究对象.但是在发现第三定律的过程中,他开始关注不同行星之间运行周期之间的关系,这时候研究系统扩大到了整个太阳系的行星和恒星.牛顿起初是以开普勒研究为基础的,但是他在分析过程中做了许多对比分析,对比过程中也涉及了不同的研究系统.例如,在“月地检测”中,他分别选择了“地球和月球”系统、“地球与地面下落物体”系统等.但是无论他们怎么选取,我们发现他们选取的系统服务于分析的问题,抓住主要特征而忽略掉一些次要的因素.实际上,行星不仅受到太阳的吸引,还受到其它天体的吸引作用,因此它们实际的运行轨迹与理论推导结果是有差异的(例如,天王星的发现正是基于对这种差异的分析发现的).但是,系统选取的关键是服务于研究问题本身,在这一点上无论是开普勒还是牛顿都是做的非常成功的.

1.3 物理学家的科学建模需要进行科学表征

开普勒在第二定律和第三定律中都表述了量化关系,特别是第三定律中得到“行星的绕行周期平方与轨道半长轴三次方之比为一常数”是比较典型的量化关系表述.牛顿则通过微积分最终证明了万有引力定律——平方反比定律,并通过牛顿第二定律建立了万有引力与行星运动之间的量化关系.可以看出,最终的解释模型是通过对量化关系的表述来实现的.

在分析情境问题的过程中,开普勒和牛顿都使用了物理量来表达.物理量是用来量化表达物理概念的参量.这些物理量中,包括运动学中已有的如速度、周期、力等;也包括运动学中新创造的物理量如万有引力等.当然,由于万有引力定律和牛顿一、二、三定律是同时发表的,许多物理量创造的具体时间已经不能详查.但是可以肯定的是,牛顿在研究这些原理的过程中根据需要创造或定义了一些新的物理量.总之,物理量作为建模语言的基础单元,在模型建构过程中起到了重要作用.牛顿等科学家在解决问题的过程中,能灵活使用已有的物理量,并能根据需要建立新的物理量以解决新的问题,这体现了科学家重要的科学素养.

开普勒在分析第谷数据之初,主要依赖于图形语言,通过图直观表征行星位置与太阳关系,借助于图来思考行星运行的规律.在得到基本的假设后,他开始尝试通过数学语言更精确描述运行规律,例如第三定律.牛顿研究是建立在开普勒研究的基础之上的.他长于数学,因此许多推理性的工作都是在理想实验的基础上,通过数学公式的推导完成的.牛顿根据开普勒第一和第二定律推导出行星受到向心力的作用,通过开普勒第三定律推导出这个力是满足平方反比关系的力.他还反推出在这样的力作用下,物体做的是圆锥曲线运动.当然,牛顿的数学推理不是只限于数学公式,他的几何知识在其中也发挥了重要作用,这自然也离不开图形语言.

与中学物理学习中建构科学模型不同的是,“行星为什么绕着太阳转?”这一模型的建构过程中汇聚了几代物理学家的心血.他们当中最典型的代表是第谷、开普勒和牛顿等.从第谷开始观察记录数据到牛顿最终发表万有引力定律其研究的时间跨度长达百年之久.然而,细细梳理整个研究过程我们仍然能够发现研究的大体脉络:确定研究对象(第谷)——观察记录现象(第谷)——描述运动情况(开普勒)——分析受力情况(牛顿、胡克等)——建立力和运动关系模型(牛顿).一般的科学建模过程,也要遵循科学合理的流程才能实现建模的目的.

科学建模的目的是分析物理现象背后的产生机制,以解释现象发生的机理或者预测可能发生的物理事件,这也是科学研究者的主要工作目的.但是,任何的模型都只能是现象主要特征或部分特征(有的是可观测的,有的是不可观测的)的体现,因此其解释能力或预测能力都是有条件的或有限的,是可以通过研究来不断发展和完善的.开普勒的工作为后来牛顿的工作提供了基础,让牛顿不必再从第谷海量的数据中分析出行星的普遍运行规律,然而他的工作并没有很好解释行星为什么这样运行,而是对运动规律进行了抽象归纳总结(当然这也是建模).牛顿的工作则做了根本性的发展.但是事实上,胡克在牛顿 1687 年发表《自然哲学的数学原理》之前,即 1680 年初,就曾写信告诉牛顿他自己的观点即引力符合平方反比

定律的想法，但是限于数学知识有限（没有微积分），他只证明了圆轨道的情况. 而牛顿则借助于微积分证明了椭圆轨道下的平方反比定律. 可以看出，胡克也建立了解释行星运行机理的模型，但是显然他的模型机理是不完善的，另外胡克也缺乏力与运动关系的牛顿一、二、三定律为支撑，其模型就不能很好解释行星的椭圆轨道运行的现象. 牛顿建立的模型则完全可以解释行星的运行规律. 当然，牛顿的模型有没有局限呢？我们只能说在当时的背景下这个模型已经是非常完善的了. 至于后来随着科技的发展特别是观测技术的精细化，人们已经不能再满足于牛顿运动观下的模型，从而最终导致相对论等理论的产生，这些就不在本研究的讨论范围了.

总之，开普勒将第谷用毕生精力记录的观测数据浓缩为三条定律，用这三条定律为“天空立法”. 这种从事物中抽象出一般特征和共性的方式正是科学建模的典型特征. 牛顿在开普勒研究的基础上，借助于伽利略的惯性定律找到了影响行星运行的原因，发现了万有引力定律，从而最终借助于牛顿一、二、三定律建立了完整的科学解释模型. 这个过程中，科学家们表现出的科学建模素养是他们得以分析探索自然规律的保障. 对科学家在科学建模过程中的表现的分析能帮助我们进一步了解物理科学建模素养的内涵，具体如下.

首先，物理科学建模的过程是一个复杂的认知过程. 这个过程中需要科学家获取真实的数据并从数据中分析出有用的信息，能够将研究对象和事件从物理学的角度概念化，从而将其转化为物理上可以研究的问题. 同时，还需要物理学家评估并在此基础上改进模型以提高其解释能力. 其次，物理科学建模不同于其它建模（如经济建模、统计建模）的地方集中体现在它使用了物理学科的概念. 这其中即包括学科核心概念，也包括科学共通概念. 在真实的建模过程中，科学家甚至需要根据需要创造或重新界定物理核心概念，这正是科学发展的重要形式之一. 最后，物理学家建模需要表征性的实践活动，以实现帮助思维和交流的目的. 也就是说，建模不能只停留在心智模型或概念模型的阶段，而是要能够通过表征活动进行表达. 当然，模型的表征方式是多样的，但是物理学家最青睐的仍然是最具简洁性的数学表征. 因此，通过使用物理量，借助数学语言（以及其它语言形式），并经过科学的表征流程将模型中的量化关系表达清楚，是物理学家在建模过程中需要的重要素养.

2 从学生物理建模学习的角度分析

建模教学理论的创始者们从最初就注意到科学建模学习必须将科学概念学习和实践活动结合到一起，只有这样才能促进学生的科学素养的发展. 早在上世纪八十年代，海斯特斯教授就指导他的博士生威尔斯开展科学建模教学. 有丰富教学经验的威尔斯意识到，科学建模必须让学生参与到各种表征、交流和协作的活动中去. 为此，他在教室里为每个学生准备了一块小白板，让学生在建模过程中将自己的模型表征出来，收到了非常显著的教学效果. 他的这种教学方式一直延续到现在，在美国超过 10 个州每年都会举办培训活动（Workshop）. 海斯特斯同时注重实践活动和概念转变的结合，将实践活动看做是促进概念转变的手段和方式. 为此，他跟他的另一个博士生哈伦编制了一套测量学生概念转变的量表，以检测学生在建模学习过程中的效果. 这套量表就是后来享誉科学教育界的著名量表 FCI.

海斯特斯团队这种注重概念转变与实践活动相结合的教学与美国《新一代科学教育标准》及《K-12科学教育框架》[15]中提出的整合学科核心概念、共通概念和实践活动的要求不谋而合. 在美国《K-12 科学教育框架》中提到：“表现期望和标准必须与框架相一致，要充分考虑到在不参与探究、实践和讨论的环境下学生是很难真正理解科学和工程的观念的. 同时，在没有具体的学科内容的实践活动中学生也很难真正学习和培养素养 P. 218.”为此，《新一代科学教育标准》将科学建模列为了 8 个实践活动之一，贯穿了其他 7 个实践活动，其实践性特征非常明显.

当代建模理论的支持者们，如华盛顿大学温世拓等[16]都认为，建模学习不是单纯的实验活动或实践动手技能的训练，它更重要的一个目的是发展学生的认知思维能力. 科学建模一个核心的特征是学生如何从自然现象中抽象出物体和事件的关键特征，将生活中的物和事概念化为物理上可解读的信息，这个过程即科学建模中典型的认知过程. 这个过程中，学生需要经历推理、类比、想象等等，以支撑其实践活动的发展. 而这个过程，也会促进其概念理解水平的进阶. 我国西南大学廖伯琴教授团队也指出，[17]活动与思维是一个连续体，并提出了在围绕模型的探究教学中发展学生的活动能力和思维能力的观点. 因此，当谈及科学建模素养的时候必须考虑关注学生的认知过程，以及如何将其整合到对实践活动和科学概念

的理解中去.

通过上述分析可以看出,学生在建模学习过程中,需要同时发展其科学概念理解、认知思维能力以及实践能力.因此,为了描述高中学生的物理科学建模素养,应考虑科学概念、认知过程和实践能力等三个面向.

3 结论

通过上述的分析可以看出,不管是从物理学家建模的角度还是从学生建模学习的角度,为了能全面、客观地反映中学生的科学建模素养,应从 3 个面向刻画:科学概念、认知过程和实践活动——在建模过程中运用科学概念、建构和优化心智模型并将心智模型清晰、准确地表达出来,以实现为"真实世界建模"[18]的目的.根据以上的分析,中学生物理科学建模素养 3 个面向的内涵可概括如下.

科学概念:面对一个情境问题,建模者首先依据自己对情境的理解从整个系统的角度分析情境条件和信息,并从概念域中选择与该情境相近或相关的概念,形成初步的推理分析框架.之后在建构和优化心智模型的过程中,仍需不断调用概念域中的概念以提高和优化心智模型的解释能力和预测能力.所谓"概念域",是一组相互关联的科学概念集合,它有一定的规模和结构.勒梅干和韦尔-巴拉伊斯[19]等最早将概念域引用到物理教育领域.在物理教育领域,概念域围绕科学核心概念形成层级结构,个体可以应用它对某一类别的问题进行思考、建模、演示等活动.

认知过程:接下来,学生需要应用心智图示来推演或概念化物体及事件的一些物理特征.同时还需要不断审视概念化过程与情境信息之间是否自洽,并根据审视的结果对形成的心智模型[20]进行修正.在这个过程中他们必须确定推理框架的有效性,进行复杂的认知活动,从而保证建构的模型具备预测和解释的能力,这些心智活动属于认知过程面向.

实践活动:科学建模素养涉及的另外一个方面是模型的表达与交流,即建模的实践活动面向.建模者在建构心智模型后,需要通过一定的方式将模型呈现出来进行交流、评价等.在本研究中,我们把将心智模型通过一定的科学语言表达出来的活动界定为科学建模的实践活动.我们注意到在其他研究中,有的学者还将模型的优化和修改、[9]模型的评价、[12]模型的调度[21]等活动界定为科学建模的实践活动.然而由于本研究期望揭示的是某一个物理科学建模的认知过程,因此我们只关注于模型的表达活动.

参考文献:

1 X Zhai, Y Guo, M Li, P Thummaphan. Detect the relationship of scientific modeling competence, conceptual understanding and relative abilities for High School Students. AERA; Washington DC. 2016: 1－10.

2 翟小铭,郭玉英. 美国科学建模教育研究三十年概述及启示[J]. 全球教育展望,2015,44(12):81－95.

3 翟小铭,郭玉英. 十年来国际物理教育研究热点分析及启示[J]. 全球教育展望,2015(5):108－117,124.

4 翟小铭,郭玉英,陈颖. 中学物理核心能力要求的百年沿革与展望——基于课程标准和教学大纲目标文本分析[J]. 课程·教材·教法,2015,35(9):59－67.

5 翟小铭,郭玉英,项宇轩. 物理建模教学例析——以"静电现象的应用"教学为例[J]. 物理教师,2015(7):31－35.

6 翟小铭,郭玉英. 科学建模能力评述:内涵、模型及测评[J]. 教育学报,2015(6):75－82,106.

7 R J Shavelson. On an approach to testing and modeling competence[J]. Educational psychologist,2013,48(2):73－86.

8 A Kauertz, K Neumann, H Haertig. Competence in Science Education[A]. In: B J Fraser, K Tobin, C J McRobbie, editors. Second International Handbook of Science Education[C]. Springer International Handbooks of Education. 24: Springer Netherlands, 2012: 711－721.

9 C V Schwarz, B Y White. Metamodeling knowledge: developing students' understanding of scientific modeling[J]. Cognition and Instruction, 2005, 23(2): 165－205.

10 G L Chiou. Reappraising the relationships between physics students' mental models and predictions: An example of heat convection[J]. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 2013, 9(1):15.

11 J C Libarkin, S R Thomas, G Ording. Factor analysis of drawings: Application to college student models of the greenhouse effect[J]. International Journal of Science Education,2015,37(13):2214－2236.

12 M Papaevripidou, C T Nicolaou, C P Constantinou. On defining and assessing learners' modeling competence in science teaching and learning. American Educational Research Association; Philadelphia, Pennsylvania, USA 2014.

13 费曼. 引力定律——物理定律的一个例子[A]. 关洪译. In: 费曼. 物理定律的本性[C]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2016: 1－28.

14 刘筱莉,仲扣庄. 物理学史[M]. 申先甲编. 南京: 南京师范大学出版社, 2004.

(下转第 10 页)

条，让实验作用和效果最大化. 在人民教育出版社 2008 年出版的《物理 3-2 教师教学用书》第 18 页就有“跳环”实验. 实验装置如图 4 所示，将 J2425 型教学用可拆变压器的条形铁芯竖直放置，把一轻质铝环套在其上，接通交流 220 V 电源的瞬间，铝环上跳. 实验注意事项是：由于通过线圈的电流较大，通电时间不要超过 30 s. 由于教师参考用书上没有给出具体的操作步骤和流程，E 教师作了各种尝试，首先将红色线圈的 0－1400 匝直接接到带有按钮开关的插座上，当按下按钮开关瞬间会看到铝环明显的跳起来，跳到比较大的高度. 由于采用的是 220 V 电压，笔者和 E 教师认为这样的操作是非常危险的，稍有不慎就会触电，不适宜让学生上讲台操作，经过多次尝试可以作如下改进. 使用学生电源的交流电压最大挡 16 V，输出电流采用 3 A，通电瞬间也能够看到铝环向上跳动. 这样改进有利于实验的安全，可以让学生操作实验. 对于直接接 220 V 电压可以看到铝环跳得很高这一现象，E 教师作了反向思考，如果将铝环从上端放置会看到什么现象呢？经过多次实验尝试，找到了制成磁悬浮实验的方法：用 220 V 交变电流，将铁芯竖直放置在红色线圈的上方，两根导线的一端连接红色线圈中的 200－1400 匝效果是最好的，另一端直接接在带按钮开关的插座上，先接通电源，然后放置铝环（铝环的规格是直径为 6.1 cm、高 1.4 cm、壁厚2.2 mm、内径 5.65 cm），就可以看到铝环处于悬浮状态. 磁悬浮实验是教材中没有的，这一现象可以帮助学生理解磁悬浮列车悬浮的基本原理. 在 30 s 以内停止实验，让学生摸一下铝环，学生可以感知到铝环是热的，这时可以追问学生，铝环中的热量从何而来？环中电流如何产生？能量如何转化？这样一来就对“跳环”实验进行了多维度的改进、拓展、延伸. 使得“跳环”实验的“生命力”得到升华.

从这个案例中可以看出，物理教师心中要时刻装着实验设计的基本原则，还要有开阔的思维素养，要不断提升实验的安全性和拓展实验的应用范围，在研制实验中无论是实验设计还是实验步骤等都不断完善，一定要体现学生至上的工匠精神. 这样才能更好的培养学生的物理思维.

德国哲学家雅思贝尔斯说：“教育就是一棵树摇动另一棵树，一朵云推动另一朵云，一个灵魂唤醒另一个灵魂”. 不管现在还是未来，不管国家还是世界，都一直渴求越来越多的杰出工匠出现，才能造出越来越多的优质产品. 要达到上述目标，就需要我们教师在平时的物理教学工作中体现追求卓越、精益求精、淡泊名利的工匠精神，具体体现在打磨好教学的每一个环节、研制好每一个学生实验和演示实验、设计好每一节课的课前导入，让物理课直观、有趣、激思起来，让上物理课成为学生的一种期待，让物理成为学生毕业后难忘的课程. 学生通过长时间的耳濡目染和教师的言传身教，工匠精神一定会潜入学生的内心深处，成为当代学生的普遍追求. 这不仅进一步促进了学生物理核心素养的养成和发展，还为我们国家培养出越来越多的“大国工匠”夯实基础.

参考文献：

1 彭前程. 物理选修 3-2 教师教学用书（第 3 版）[M]. 北京：人民教育出版社，2008.

2 陈熙谋，吴仁祖. 普通高中课程标准实验教科书（选修 3-2）（第 1 版）[M]. 北京：教育科学出版社，2006.

（收稿日期：2017－05－23）

（上接第 6 页）

15 NRC. A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. [M]. Washington DC: The Natiaonal Academies Press, 2012.

16 M Windschitl, J Thompson, M Braaten. Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations [J]. Science Education, 2008, 92(5): 941－967.

17 姜涛，廖伯琴. 方法与建模：两种竞争的探究教学模式评析[J]. 课程·教材·教法，2012(10)：89－94.

18 D Hestenes. Modeling games in the Newtonian world [J]. American Journal of Physics, 1992, 60(8): 732－748.

19 G Lemeignan, A Weil-Barais. A developmental approach to cognitive change in mechanics[J]. International Journal of Science Education, 1994, 16(1): 99－120.

20 D Norman. Some observations on mental models. [A]. In: D Gentner, A Stevens, editors. Mental models[C]. London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1983: 7－14.

21 I Halloun. Schematic modeling for meaningful learning of physics[J]. Journal of Research in Science Teaching, 1996, 33(9): 1019－1041.

（收稿日期：2017－06－30）