·教材与教法·

促进科学本质认识的 HPS 教学过程构建

——以“牛顿第一定律”教学为例

张 健[1] 王 华[1] 李春密[2]

(1. 北京师范大学第二附属中学,北京 100088; 2. 北京师范大学物理学系,北京 100875)

摘 要: 本文通过对科学本质的解读,阐明了在物理教学中进行科学本质教育的重要意义,分析了将 HPS 内容融入物理课程的可行性. 以“孟克——奥斯本”的融入教学模式为基础,介绍了融入 HPS 内容的物理教学设计的“六阶段”方法,并以“牛顿第一定律”为例进行教学设计和实践;结合实践经验,对 HPS 内容融入物理课程的现状与挑战进行分析.

关键词: 核心素养; 科学本质; HPS 教育; 牛顿第一定律

党的十九大明确提出:“要全面贯彻党的教育方针,落实立德树人根本任务,发展素质教育,推进教育公平,培养德智体美全面发展的社会主义建设者和接班人.”2016 年 9 月,《中国学生发展核心素养》研究成果公布,明确提出核心素养是学生应该具备的“能够适应终身发展和社会发展需要的必备品格和关键能力”,中国学生发展核心素养是党的教育方针的具体化.

为了建立核心素养与物理课程教学的内在联系,充分挖掘物理学科教学对全面贯彻党的教育方针、落实立德树人根本任务、发展素质教育的独特育人价值,物理学科基于学科本质凝练了物理学科的核心素养,包括“物理观念”“科学思维”“科学探究”“科学态度与责任”4 个方面,物理学科核心素养是物理教学育人价值的体现.[1]

1 科学本质与 HPS 教育

什么是“科学本质(nature of science)”呢?只有明晰了这个概念,我们才能在教学中有意识地组织有效的教学活动. 人们对于科学本质的认识是不断发展、不断深化的,总的来说,经历了“知识本质”到“探究本质”的转变.

我们将科学本质界定为:科学知识、科学研究过程和方法、科学事业、科学的价值和局限性等方面最基本的特点. 国际科学教育领域对学校科学本质教育的比较一致的认识包括:(1) 科学知识方面,主要包括科学知识的确定性和发展性;(2) 科学方法方面,主要包括实验检验、数据的分析和解释、假设与预测、科学思维的多样性、科学的创造性、科学就是不断地提出问题等;(3) 科学研究群体与社会实践方面,主要包括科学知识发展

学中,能量由一种形式转化为另一种形式时,必伴随着做功的过程. 相应地,人们通过能力的展现,顺利完成某项任务,其智力才会获得相应的提升. 进一步,做功、能量与信息是通过 $W = \Delta E = \sum_{i=1}^{n} h\nu$ 而建立联系的,这样就使得智力与能力的关系从定性上升到了定量的层面,这亦与林崇德教授的观点相一致,这就为后续智力与能力的研究开辟了一条新的途径.

参考文献:

1 R L Atkinson. 心理学导论[M]. 孙名之,等译,车文博审. 台北:晓园出版社,1994.

2 Sternberg R J. Beyond IQ. Cambridge: Cambridge University Press, 1986.

3 Murphy K R, Davidshofer C D. Psychological Testing: Principle & Applications. Englewood cliffs: Prentice Hall, Inc., 1991.

4 Dennis I, Tapsfield P, ed. Human Ability: Their Nature and Measurement. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1996.

5 林崇德,教育为的是学生发展[M]. 北京:北京师范大学出版社,2006: 103.

6 吴晓义,杜晓颖,能力概念的多维透视[J]. 吉林工程师范学院学报(社会科学版),2006(22): 4.

7 Chenghua Gu et al. Caveolae in CNS arterioles mediate neurovascular coupling Brian[J]. Nature, 2020, 579 (7797): 106－110.

8 林崇德. 学习与发展[M]. 北京:北京师范大学出版社, 1999: 143.

(收稿日期:2020－04－28)

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

过程中的合作与协作、科学与技术的区别和相互作用等.

根据麦克马斯、赫里克等人对科学本质要素的研究成果,可以整理出科学本质的 3 个维度 17 个要素:(1) 科学知识维度:认识性、暂定性、累积性、重复性、公开性、科学理论与科学定律;(2) 科学探索维度:实证性、经验性、创造性、预测性、科学方法的非固定性、非绝对客观、非权威性;(3) 科学事业维度:科学与道德、科学与社会、科学与技术、科学家形象.[2]

在物理课程教学中开展科学本质教育,有利于学生形成正确的科学观、有利于学生体验科学的方法与过程、有利于培养学生的批判与质疑的精神、[3]有利于培养学生的科学情感并提高人文底蕴.

近年来,西方的科学教育专家以建构主义为指导思想,构建了一种融合科学史(history of science)、科学哲学(philosophy of science)、科学社会学(sociology of science)为一体的教学模式,称为"HPS 教育",具体是指在课堂教学中,以知识的产生和发展过程中所蕴含的科学思维、科学精神为基础,渗透有关科学史、哲学和社会学等方面内容,模拟或重演科学家的探究过程,让学生了解概念的形成过程、规律的建立过程,以提升学生对科学本质的理解,培养学生的创新意识和创造能力.

开展 HPS 教学首先要重新建构科学知识体系,从科学史、哲学和社会学角度将大量的自然科学内容进行重组与整合. 基于 HPS 教育理念的物理课程要使学生不仅仅学到物理概念、规律、定理和应用,还要学习到物理学史、科学哲学、社会学等方面的内容,认识到物理学知识的发展也是受到社会因素与个体因素影响的;认识到物理学的知识不是累加得来的,而是科学研究范式不断变化、科学家不断纠错的结果;在学习那些曾经被质疑、被否定或如今正在被挑战的原理、命题、概念或规律的过程中,使学生树立起"开放的"知识观和"完整的"物理学体系,认识到科学知识具有相对持久性和普适性,真正领悟科学的本质.

文献[4]中指出 HPS 融入科学课程的教育价值包括 3 方面:(1) HPS 融入科学课程可以促进学生理解科学的本质;(2) HPS 融入科学课程可以促进学生的知识建构;(3) HPS 是实施科学态度、情感及价值观教育的有效途径. 将 HPS 融入物理课程教学,对于促进学生物理核心素养的发展大有裨益,值得探索与实践.

2 HPS 融入物理课程的教学模式

20 世纪 90 年代,英国科学教育家孟克与奥斯本总结了科学教育的本质,结合建构主义思想、皮亚杰的学习心理学和科学认知论,在科学史与科学哲学的基础上加入科学社会学的内容,并强调社会学对科学教育的作用,形成了"孟克—奥斯本的融入教学模式". 该模式将教学过程分为 6 个阶段:演示、引出观念、学习历史、设计实验、科学观念与验证性检验、评论和评估(见表 1).

表 1 HPS 融入物理课程的教学模式

阶段	教师活动	学生活动	设计意图
演示	现象展示或实验演示(现象是物理学史上科学家进行过理论研究的现象)	观察并产生需要解决的问题	激发学习兴趣,促使学生利用物理学史资源深入探究
引出观念	组织学生小组讨论、头脑风暴,根据观察的现象提出自己有证据的观点或解释	讨论交流,表达自己的想法和解释,体会到所谓"科学事实"是科学家的创造性建构	调动和激发学生积极性,鼓励创造性地思考
学习历史	介绍早期科学家对此现象的认识;举例说明当时其他科学家的观点;引导学生探索分析这些观点产生的背景、条件	知道对这同一现象的不同观点并比较分析,对科学知识的发展形成系统性认识;认识到社会因素、个人因素对科学发展的影响	激发学生的想象力;提升科学本质认识,认识到社会背景对科学知识发展的作用
设计实验	组织学生根据不同的观点开展分组探究,设计实验	明确自己观点,并与同组讨论交流、设计实验	通过实验检验这些观点
科学观念与验证性检验	教师给出当前(教材)对此现象的科学解释;通过演示实验证明这种科学观点的正确性;引导学生比较分析其他观点的错误之处	学习科学的观点和解释,反思并表达自己观点的错误之处和错误认识的成因;同化、顺应新的科学知识,构建丰富的物理学认知系统	形成科学的认识,在比较中发展科学思维、认识到科学的发展性和相对持久性;培养批判意识和创新思维

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表

阶段	教师活动	学生活动	设计意图
评论与评估	通过提问的方式，引导学生总结科学家探究的思维方法，思考社会和科学发展的关系、对科学知识的认识	围绕科学本质的话题进行深入探讨，在理解科学知识的基础上学习科学本质	使学生更加深刻地了解科学探究的过程，历史上科学家的探究，提升对科学本质的认识

3　融入 HPS 内容促进科学本质认识的“牛顿第一定律”教学设计

设计意图. 本节课属于物理规律课，主要设计思想体现在两方面：(1) 注重物理核心素养目标的和谐统一. 牛顿第一定律是经典物理学的基石，是力学的第一原理，它改变了人们对自然的认识，改变了人们的世界观，即原来亚里士多德认为物体的运动(受迫运动)需要力维持，而现在是运动不需要力这样重大的“力与运动”观念的转变，堪称真正的科学真理. 因此，在融入 HPS 内容的教学中要让学生理解科学的完整内涵、发展过程，同时在人文、德育方面给学生潜移默化的影响；(2) 注重情境创设，让学生体验建构新知识的乐趣. 在初中阶段，学生对牛顿第一定律已有大致了解，知道亚里士多德的观点是错误的，也知道是伽利略通过研究澄清了力与运动的关系. 但是，在解决实际问题中，他们还会无意识地运用亚里士多德的观点去分析，说明科学的观念并没有真正建立起来. 因此，在教学中要注重创设情境，突出研究过程和方法，让学生头脑里的前概念与科学概念交战而产生认知冲突，引导学生主动构建新知识.

3.1　阶段 1——演示

(屏幕播放：天问一号发射过程视频)

师：2020 年 7 月 23 日，我国在海南文昌航天发射场，用长征五号遥四运载火箭将我国首次火星探测任务“天问一号”探测器发射升空，飞行 2000 多秒后，成功将探测器送入预定轨道，开启火星探测之旅，迈出了我国自主开展行星探测的第一步.

探测器的发射升空要靠地面上技术人员的控制，要想成功地控制其运动，必须知道它为什么能这样运动，也就是运动的原因.

关于“运动的原因”问题是一个古老的话题，可以追溯到公元前 4 世纪，最早对这个问题作出回答的是古希腊圣人——亚里士多德.

3.2　阶段 2——引出观念

(1) 亚里士多德的运动观.

师：亚里士多德观察了大量物体的运动，经过思考，把运动分为两类：一类是“自然运动”，另一类是“受迫运动”.

自然运动是指物体的运动不需要外界的影响而自发进行. 例如，重物的下落、轻物的上升，日月星辰等天体的圆周运动是最完美的自然运动.

除了自然运动外，一切物体的运动都只能在外界影响迫使下才能进行，即“受迫运动”. 例如一个静止的物体只有在推动者的推或拉的作用下才能运动，停止推拉的作用，原来运动的物体便归于静止.[6]

思考：同学们能举出在生活中类似的实例吗？

生：用力推小车，小车就动，不推，小车就会停下来；用力踢足球，足球就动，不踢，足球也会停下来.

亚里士多德的运动观念听起来很有道理，与生活经验相符合，可称为“朴素的运动观”. 从公元前 4 世纪诞生起，2000 多年里没有受到质疑，一直到公元 16 世纪，欧洲大学物理讲的还是这种观点.

(2) 引导学生认识受迫运动原因的实质.

师：亚里士多德的伟大之处在于，他在寻找运动的原因时跟推或拉等外界影响建立起了关系. 他总结的受迫运动原因的实质是：运动需要力来维持，力是维持运动的原因.

通过初中的学习，大家都知道这种观点是错误的，有问题，那么问题出在哪里呢？你能否设计实验来证明你的观点呢？

生 1：在冰壶运动中，推出去的冰壶可以在冰面上一直运动着.

生 2：在气垫导轨上放置的滑块，推它一下，它就可以一直运动下去，不需要用力维持运动啊！

师：同学们的想法非常好，这些证据也说明了亚里士多德观点是错误的，那大家知道历史上谁是最早否定亚里士多德观点的人吗？当时没有大家所说的实验装置时，他又是如何研究的呢？

3.3　阶段 3——学习历史

(1) 质疑的切入点.

师：伽利略在对运动观察时发现沿着斜面滚下的物体运动越来越快，做加速运动；沿着斜面向上冲的物体运动越来越慢，做减速运动.

请同学们思考并推理：什么情况下物体会做匀速运动？

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

师:伽利略把他的观察记录在他的著作《关于两门新科学的对话》中:在向下倾斜的平面上已经存在一“加速因素”;而在向上倾斜的平面上则有一“减速因素”. 由此可见,在水平面上的运动是永久的……

师:伽利略也看到了大家的实验现象,他正是由此引发质疑:原来运动的物体之所以停下来真的是因为没有力的作用吗?

不是. 原来运动的物体之所以停下来,是因为摩擦或空气、水流的阻碍作用的结果.

(2) 猜想与假设.

师:如果没有摩擦力、流体阻力的影响,“在水平面上运动的物体将会一直运动下去”,这就是我们的猜想. 这种猜想是否正确呢,怎么去研究呢?通过实验,这是伽利略的研究方法,他设计了一个对接斜面实验.

3.4 阶段 4——设计实验

(1) 理想斜面实验.

演示实验 1:如图 1 所示,这是一条很长的铝制窗帘轨道,两端垫高,构成了对接斜面. 一个钢球从一侧斜面上的某高度处静止滚下,冲上另一侧斜面,用小旗标记钢球冲到的最高点. 实验步骤如下.

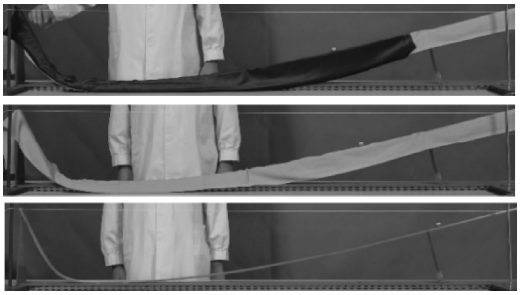

图 1

① 首先铺上尼龙布实验;

② 换用棉布. 仍由同一点释放,记录下最高点;

③ 撤去棉布,重复操作.

师:通过实验对比,发现小球上升得更高了,越来越接近释放点的高度,但总是差一点. 这是什么原因呢?

生:有摩擦.

师:(引导学生推理)摩擦大时上升的高度小,摩擦越小上升的高度越大,如果没有摩擦呢?应该上升到和释放点同样的高度.

演示实验 2:假设这个对接斜面是光滑的. 在该位置释放小球前,先把另一侧斜面的倾角减小,用小旗标记小球运动的最远距离.

观察现象:小球运动的距离变大了,再次减小另一侧斜面倾角,小球为寻找等高点要走更远的距离.

思考:当另一侧斜面倾角减小到 0 时,会有什么现象呢?假设轨道足够长,而且没有摩擦,小球将会如何运动?

师:小球在水平轨道上运动时,水平方向有推或拉的外界作用吗?

师:这说明什么呢?物体的运动不需要力来维持.

到此为止,我们验证了前面的猜想:如果没有摩擦力、流体阻力的影响,在水平面上运动的物体将会一直运动下去.

(2) 总结伽利略的科学研究方法.

师:想一想,在研究落体运动时我们就把两位伟人的观点做了对比,现在又把他们研究“力与运动”的观点进行对比. 之所以伽利略能够超越前人的认识,原因之一是他的研究方法和亚里士多德不同,你觉得有什么不同呢?

生:有实验,有推理.

师:亚里士多德:观察 → 结论,称作“猜想性结论”.

伽利略:观察 → 猜想 → 实验 → 推理 → 结论,称作“逻辑性结论”.

师:理想实验是在实验的基础上进行合理的外推,实验和推理完美结合,这是伽利略开创的科学研究方法.

爱因斯坦对伽利略的评价:伽利略的发现以及他所应用的科学的推理方法是人类思想史上最伟大的成就之一,而且标志着物理学的真正开端.

(3) 笛卡尔的补充.

与伽利略同时代的法国著名物理学家、数学家笛卡尔补充完善了伽利略的观点:如果运动中的物体没有其他原因作用的话,它将继续以同一速度沿同一直线运动,既不停下来也不偏离原来的方向.

思考:对比笛卡尔和伽利略的表述,有什么不同呢?

3.5 阶段 5——科学观念与验证性检验

(1) 牛顿第一定律.

师:无论是伽利略还是笛卡尔都没能准确说明“加速因素”、“减速因素”、“其他原因”是什么,直到 30 多年后牛顿创造性地指出“因素”、“影响”就是力.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

牛顿站在巨人的肩膀上，在前人研究的基础上，对力和运动的关系做了全面的阐述：一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态. 后人把这个结论称为“牛顿第一定律”，写在了《自然哲学之数学原理》这本书里.

(2) 牛顿第一定律的理解——惯性与质量的关系.

师：理解牛顿第一定律可以从前半句和后半句分别分析. “一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态”说明无论在什么条件下，任何物体都有这样的性质：匀速直线的保持匀速直线、静止的保持静止，这是物体与生俱来的本领. 即保持原有运动状态不变的本领，或者说抵抗运动状态变化的本领——惯性.

师：物体惯性越大，运动状态改变越难；惯性越小，运动状态改变越容易. 那如何使物体的运动状态改变？又如何比较物体运动状态改变的难易程度呢？

生：可以施加相同的作用力比较物体运动状态改变的难易程度.

演示实验 3：将大小相同、质量不同的小球用纸包起来，用铁架台悬挂起来，让学生在不直接接触的情况下，判断两个小球的惯性大小.

一位同学用力吹两球，一个几乎不动，一个状态改变明显，拆开纸发现几乎不动的是钢球，另一个是乒乓球.

引导学生分析：这个实验说明钢球的惯性大，钢球质量大，可以用质量来衡量物体的惯性大小：质量越大，惯性越大，运动状态越难改变.

(3) 牛顿第一定律的理解——力是产生加速度的原因.

师：定律后半句指出了“力是改变物体运动状态的原因”. 物体的运动状态是用速度 v 这个物理量来描述的，它是矢量，物体运动状态发生变化即速度 v 发生变化，也就是物体有加速度了，因此可知力是产生加速度的原因，这是“力”的定性定义.

3.6 阶段 6——评估与评价

问题 1：伽利略生活在欧洲文艺复兴时期，这样的社会文化背景对伽利略的研究有什么影响吗？他是如何研究“力与运动”关系的，采用了什么科学方法？

问题 2：牛顿第一定律能否被实验验证？我们凭什么相信它呢？

问题 3：伽利略是在否定亚里士多德的观点时提出了科学的运动观念，是否意味着亚里士多德的研究毫无意义？你对科学家有什么认识呢？

4 结语

HPS 融入物理课程具有多方面的价值. 通过探索物理概念或规律建立、发展过程，重温科学发展的“心智历程”，可以加深学生对科学知识的理解，也可以提高学生的人文修养；认识到科学知识的不定性、可变性，学会用批判的、发展的眼光审视现有的科学知识；能够正确认识科学家之间发生的意识形态的争论，能客观公正地评价科学家的贡献；认识到科学是人类创造性劳动的成果，是科学研究方法实践的结果，多维度、立体化地发展学生对科学本质的认识.

HPS 融入物理课程也面临着诸多挑战. 在教师层面，面对着卷帙浩繁的物理学史材料，如何高效地筛选、组织、重构、形成体系需要教师具备一定的科学史知识和课程开发的能力；在学生层面，是否具备通过物理学史素材发掘科学价值的能力，是否能够激发他们的学习兴趣等也是课堂实践成败与否的关键；在考试评价层面，融入物理学史的内容势必会减少知识讲解、运用和练习的时间，这是否会造成学生练习不够、知识点掌握不牢、考试成绩不理想等情况，这种顾虑也是阻碍一线教师大胆尝试多样化教学模式的重要原因.

综上，笔者认为 HPS 内容融入物理课程契合国家基础教育课程改革的出发点，顺应教育教学改革发展的潮流，是一种促进和发展学生的科学素养的有效教学模式，但也不能泛化 HPS 教学模式，要根据学生的学情、课标解读、教学内容分析等选择性地开展实践. 相信在广大教育同仁的努力探索与积极实践中，HPS 融入物理课程的教学会结出累累硕果.

参考文献：

1 张健，李春密. 以“静电场”教学为例，谈物理观念的渗透与培养[J]. 物理教师，2018(6)：7－10.

2 Mccomas W F，AlmazroaH，Clough M P. The Nature of Science in Science Education：AnIntroduction[J]. Science & Education，1998，7(6)：511－532.

3 袁维新. 科学的本质与科学本质教育[J]. 课程·教材·教法，2004(7)：70－71.

4 胡诚. HPS 融入科学课程的研究[D]. 武汉：华中师范大学，2006.

5 郭奕玲，沈慧君. 物理学史(第 2 版)[M]. 北京：清华大学出版社，2012：9－12.

(收稿日期：2020－08－17)

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net