

物理学认识路径的构建

张玉峰¹ 陈征^{2,†} 魏红祥³ 姚建欣⁴

(1 北京教育科学研究院 北京 100036)

(2 北京交通大学理学院 北京 100044)

(3 中国科学院物理研究所 北京 100190)

(4 北京师范大学物理学系 北京 100875)

2021-10-31收到

† email:chenzheng@bjtu.edu.cn

DOI: 10.7693/wl20211110

物理学认识路径是物理学的重要组成部分,也是物理学习的重要内容。物理学认识路径是从物理学视角对现象情境中所反映的客观事物的本质属性、内在规律及相互关系的认识过程中所使用的系统化思维模式。物理学认识路径模型是主要由问题表征、认识对象、认识角度、认识方式四个相互关联的要素构成的系统。以伽利略对自由落体运动的研究,初步检验了物理学认识路径的合理性。

1 引言:掌握物理学认识路径的必要性

物理学是自然科学领域的一门基础学科,研究自然界物质的基本结构、相互作用和运动规律。物理学基于观察与实验,建构物理模型,应用数学等工具,通过科学推理和论证,形成系统的研究方法和理论体系^[1]。物理学史表明,每一次物理学思想上的危机,都孕育着物理学上的一次重大的突破,而每一次重大的突破,都会强烈地在当代乃至下一代的哲学思想上留下不灭的印记。牛顿、爱因斯坦等在物理学发展进程中所做出的贡献,始终伴随着他们从哲学高度所阐发的

思想,不仅对物理学,对全部自然科学乃至社会科学的探究,均产生了深刻的影响^[2]。玻恩(Max Born)在诺贝尔物理学奖致谢词中讲到:“我荣获1954年的诺贝尔奖,与其说是因为我所发表的工作里包含了一个自然现象的发现,倒不如说是因为那里面包括一个关于自然现象的新思想方法基础的发现。”因此,物理学对人类的影响是积极而广泛的,不仅有助于我们从物理学视角观察自然界,还有助于以物理学的方式认识自然界,甚至有助于以物理学的态度融入社会。

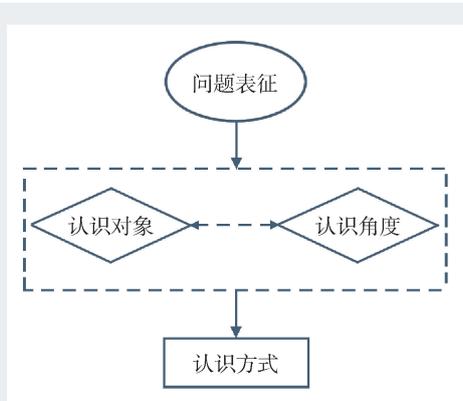
物理学习除了要掌握经典物理学的理论体系及其迁移应用之外,还应该了解物理学家认识自然界的路径,学会像物理学家那样思考。这是随着人类知识总量的激增和人工智能的发展所致的必然变化,既是时代发展对物理教育提出的要求,亦是个人可持续发展、应对未来挑战的关键。通过物理学习,学生逐渐形成看待客观世界的物理学视角和认识方式。这不仅有助于学生学习化学、生命科学、地学等所

有自然科学,甚至可以迁移到经济学、社会学等社会科学的学习中。

2 物理学认识路径的界定:内涵与特点

研究者常用科学方法、物理学思想、思维方法、思想方法等不同术语来称呼物理学家在研究探索自然界过程中所采用的思维工具^[3,4],以示区分这些抽象的思维工具与物理学知识本身。本文不把区分与物理学有关的思维工具作为研究重点,而是把这些思维工具与所掌握的物理观念等内容进行整合,建构一般化的认识客观世界的程序或者通法,统称为物理学认识路径。从学科教育层面看,物理学认识路径,是指面对物理现象或者问题情境时,从物理学视角对客观事物的本质属性、内在规律及相互关联的认识过程中所使用的结构化、系统化思维模式或者程序。物理学认识路径是由若干相互关联的认识要素以特定的方式组织起来的系统,主要包括问题表征、认识角度、认识对象、认识方式四个要素,如图所示。这些要素连接起来形成一定结构,从整体上发挥认识客观事物的功能。

本文中物理学认识路径内涵界



物理学认识路径模型

定充分考虑基础教育阶段物理课程内容的局限性和中学生认识水平的阶段性特征。因此,本文中的“物理学认识路径”严格说来是“中学生的物理学认识路径”,与物理学家认识客观事物的方式具有很大程度的一致性,但不完全相同。

物理学认识路径具有明显的学科性、普遍性和发展性。

(1)物理学认识路径具有明显的物理学科特点。物理学以实验为基础、自身具有严密的理论体系和数学表述^[5],带有方法论性质^[6]。实验本身是从物理学视角认识客观事物的重要方式,实验中蕴含丰富的认识路径。物理学认识路径隐含于理论体系之中,与其共同构成物理学主要内容;尽管物理学认识路径不同于物理学知识,但与知识紧密联系、相辅相成,统一在人类认识自然界的过程中。从物理学的视角认识自然界是物理学认识路径的重要内容,而要从物理学的视角认识自然界,需要认识者首先继承人类已有的认识成果,因此,从这个角度看,物理学知识又蕴含于认识路径之中。因此,物理知识与物理学认识路径相比较而言,物理学知识是显性的,更容易传承,外显为理论体系;而认识路径则是隐性的,不易传承,外显为研究方法,因此带有方法属性,这与“物理学是一门具有方法论性质的学科”^[7]的观点是一致的。

(2)物理学认识路径具有普遍性。物理学认识路径的“普遍性”是相对适用于特殊情况的具体方法或者技巧而言的。物理学认识路径普遍存在于学科内,是学科内不同主题探索自然界规律的“通法”;在不同学科领域内是普遍存在的,可以迁移到化学、生命科学、地球与宇宙科学

等自然科学;不管是概念、规律的理解,还是应用这些概念、规律解决实际问题的过程都是普遍存在的。

(3)物理学认识路径具有发展性。从人类发展的时间尺度上看,人类的认识路径是随着人类对自然界加深认识的过程逐渐丰富和发展的,是相对长期的积累过程;从个体发展的时间尺度看,个体的认识路径也是随着个体的探索过程而逐渐丰富和发展的,是相对短期的积累过程。因此,不管是人类,还是个体的物理学认识路径都是暂时的,认识路径与认识结果之间相互作用,随着认识的逐渐深入而不断发展,这也是科学本质在认识路径上的体现。

3 物理学认识路径的初步检验:以伽利略研究自由落体运动为例

伽利略对自由落体的研究始自亚里士多德“重的物体下落得快”的论断。他认为,根据这一论断,可以推出相互矛盾的结论。例如,假设一块大石头的下落速度为8,一块小石头的下落速度为4,当把两块石头捆在一起时,大石头会被小石头拖着而变慢,整个物体的下落速度应该小于8;但是,把两块石头捆在一起后,整个物体比大石头要重,因此整个物体下落的速度应该比8还要大。这种相互矛盾的结论说明亚里士多德“重的物体下落得快”的看法是错误的^[8]。

考察物理学发展史,可以发现:利用逻辑推理说明了重物与轻物下落的同样快后,伽利略并没有就此止步,而是进一步通过实验研究了自由落体运动的规律。在伽利略时代还没有建立描述运动的物理量,伽利略便首先建立了速度、加

速度等概念;然后,为了克服当时计时仪器精确度不能满足实验要求的困难,设计了斜面实验,获取物体运动的数据,得出物体在斜面上做匀加速直线运动的结论;最后,对上述结果做了合理的外推,把实验与逻辑推理和谐地结合起来,从而发展了人类的科学思维路径和科学研究方法。

分析伽利略对自由落体的上述研究过程,可以发现他对自由落体运动认识经历了以下几个步骤。

(1)伽利略首先从质疑亚里士多德的观点入手提出问题,并进一步猜想:重的物体与轻的物体应该下落得同样快。以此猜想作为后面进一步研究物体运动的速度随时间变化的关系的基础。这一过程伽利略用语言表征了所要研究的问题,因限于尚未建立速度、加速度概念,还无法用数学表达式或者物理图像表达要研究的问题;另一方面,伽利略还选择了一个不考虑质量大小、形状等因素的一般化的“物体”作为认识对象,其实这个“物体”就是质点模型。

(2)伽利略之所以建立速度、加速度等描述运动的概念,其前提是伽利略希望从运动与相互作用的角度来研究物体的下落情况。尽管在伽利略时代还没有这些描述运动的物理概念,从后续的斜面实验也可以看出,伽利略试图描述物体的速度与时间的变化关系,都足以说明:伽利略在研究落体运动时选择了运动与相互作用这一认识角度。

(3)伽利略在猜想的基础上,通过斜面实验获取数据,并描述物体的位置随时间的变化关系,并在上百次实验结果的基础上,做了合理外推。显然,伽利略采用了猜想与验证(科学探究)、实验与逻辑推理

相结合的认识路径。

综上所述,伽利略对自由落体运动的研究所经历的路径大致可以概括为:表征自由落体运动研究问题(问题表征)→选择下落物体进行比较研究(认识对象)→选择从运动学角度认识自由落体运动(认识角度)→确定通过比较质量不同重物下落进行研究的实验方法(认识方式)。因此,伽利略对自由落体运动所经历的路径与本文提出的物理学认识路径具有一致性。

4 结语

物理学认识路径是物理学科本质的集中体现,是随着学生对物理学科知识的掌握和活动经验的积累而逐渐发展的。随着研究的深入,

需要进一步刻画认识路径由简单到复杂的思维层级,为学生物理学能力发展提供可视化依据。

物理学认识路径是物理学科核心素养发展的关键内容和重要抓手。加深理解和掌握认识路径,离不开在真实情境中应用知识和方法解决具体问题的过程,而不是把认识路径作为知识去学习。脱离物理概念、规律本身空谈认识路径,将虚化认识路径,使认识路径的规划与发展沦为空谈。脱离合适的问题情境规划认识路径的学习,也将僵化认识路径,使其变成“死知识”。

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). 北京:人民教育出版

社,2018

- [2] 朱鋈雄. 物理学思想概论. 北京:清华大学出版社,2009年第一版
- [3] 张宪魁,李晓林,阴瑞华 主编. 物理学方法论. 杭州:浙江教育出版社,2007年第一版
- [4] Barry Gower. Scientific Method: An historical and philosophical introduction. London: Routledge, 1997
- [5] 闫金铨,郭玉英. 中学物理新课程教学概论. 北师大出版社,2008年. p. 8
- [6] 许国梁 主编,束炳如 等改编. 中学物理教学法. 北京:高等教育出版社,1993年第二版
- [7] 闫金铨,郭玉英. 中学物理教学概论. 北京:北京师范出版社,2008年第一版
- [8] 人民教育出版社课程教材研究所 编著. 普通高中物理必修第一册. 北京:人民教育出版社,2019年第一版

· 物理新闻和动态 ·

检验黑洞面积定理

黑洞可能是最奇怪的宇宙客体,但它们应该遵循热力学规定的简单定律。霍金提出了这样的定理:黑洞视界的面积,像熵那样,不会随着时间而减少(至少在比宇宙年龄短得多的时间尺度上)。目前不可能通过测定单个黑洞的大小来检验这一定理,但是引力波观测可以使研究人员利用黑洞并合来检验这一定理。麻省理工学院的 Maximiliano Isi 及其同事报道说,通过分析首次探测到的黑洞并合 GW50914,对该定理进



行了直接检验。该团队比较了并合前后黑洞的大小,表明没有违反这一定理。

当用于并合时,面积定理意味着并合前两个黑洞面积之和不能超过并合后黑洞的面积。在物理学家 Kip Thorne 提出的问题推动下,Isi 和同事们研发了从引力波信号计算这些面积的方法。该方法涉及,在时域中分别分析信号的“激励”与“衰荡”部分来提取黑洞在并合前与并合后的面积。研究团队比较了包含或排除信号的不同部分(如谐波,或并合时刻附近的窄窗口)的程序,因为每一种分析都需要不同的假设。他们发现,对于这一特定的并合,该定理成立的概率至少为95%(或 2σ 的置信度)。研究人员说,通过分析过去与未来的其他探测结果,他们可以提高精度,也可利用大量黑洞或候选黑洞检验这一定理的有效性。

(周书华 编译自 *Physics*, July 1, 2021)