

“动力学”主题的认识路径例析

张玉峰^{1,†} 陈征²

(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)

2022-03-29收到

† email: zhangyf318@163.com

DOI: 10.7693/wl20220409

1 引言

物理教育的目的并不仅仅是掌握物理学规律,更重要的是帮助学生了解物理学家认识和发现规律的基本方法。也就是说,希望学生掌握物理学认识路径,学会以物理学认识自然界本来面目的方式去认识世界,学会像物理学家那样思考。而物理学认识路径并不是泛泛而谈的抽象方法,是知识与方法的结晶,是人们认识客观世界的一般化的大思路。在人类探索自然界过程中,随着航海、天文和生产发展等方面的需要,人们开始探索运动改变的原因,即探索物体的运动与物体间相互作用的内在联系,通常称为“动力学”,其中蕴含丰富的物理学认识路径。本文试从发展学生科学思维的角度,以物理学认识路径模型为依据,结合基础教育阶段《物理学》中的“动力学”内容,举例说明其中所蕴含的认识路径。

2 运动与力的因果解释

研究自然界事物之间的因果关系及其规律性是包括物理学在内的所有科学研究所关注的重要内容。这正如伽利略所指出的,科学的真正目的就是要找出产生现象的原因,一旦认识了这种因果关系,就能揭示未知现象。公元前的古希腊哲学家亚里士多德就已经用“天然位置”、“自然运动”、“强迫运动”、

“隐蔽的质”等概念来描述运动^[1],开始关注从物体运动和受力之间关系的角度研究自然界纷繁复杂的运动现象;直到被称为“近代物理学之父”的伽利略选择一组全新的、可测量的概念,如距离、时间、速度、加速度、力和重量等来研究自由落体、钟摆的等时性,这些概念的引入为进一步定量描述运动和力的关系提供了基础;再到后来“物理学集大成者”牛顿在伽利略、笛卡儿等人研究基础上提出牛顿三大定律,成为牛顿机械因果观的集中体现。利用牛顿运动定律,只要给出关于一个物体的起始时刻的运动状态和受力情况,就可以预言它在以后任意时刻的运动状态。

抓住运动和力的关系,从受力角度解释和预测物体的运动,不仅是研究力学现象的重要认识路径,也成为科学家研究电磁学、热学、光学等主题的通用思维方式。站在中学物理学习的视角,从运动与相互作用关系的角度分析带电粒子在电场、磁场中的运动,通电导线在磁场中的运动,导体棒切割磁感线产生感应电动势,分子无规则热运动与分子力等都是重点学习内容。因此,不管从物理学思想发展史的角度看,还是考察基础教育阶段学生的物理学习内容,以运动与力的关系作为认识自然界的基本视角,从受力的角度解释或者预测物体的运动情况,都是人们认识自然界的

重要思维模式。

3 研究对象的整体与部分

动力学的研究任务是揭示物体运动及其受力之间关系,并基于它们之间的关系解释或者预测物体的运动。因此,动力学的研究对象是自然界中真实存在的物体。这里的“物体”可以是单个物体,也可以是多个物体构成的整体。而动力学问题需要对物体的运动情况和受力情况分别进行分析,这就需要根据实际问题需求选择合适的研究对象,并进一步把选择的研究对象抽象、简化为物理模型。

如果所选择的研究对象是单个物体,例如,一个做自由落体运动的小球,对物体的受力分析和运动情况描述就相对简单一些,只需要把这个物体和周围的物体隔离开来,进行受力分析,即根据这个物体与周围物体相互作用的具体情况,明确作用于物体的所有力;同样地,物体的运动情况分析也相对简单一些,只需要分析这个物体的运动状态变化,例如,区分是直线运动还是曲线运动,速度是如何变化的等。

对于多个物体构成的整体,可以简化为质点、质点系等不同模型。如果简化为质点,物体的受力分析和运动情况描述相对简单一些,跟单个物体类似。如果所选择的研究对象需要简化为多个物体构成的质点系,由于质点系内各质点

之间彼此有相互作用,所以每个质点的运动都可能与其他质点的位置和运动有关,既存在质点系内质点之间的内力,也存在质点系外的物体对质点系内质点的外力,因此,不管是对质点系运动情况的分析,还是对质点系受力情况的分析,都相对复杂很多。当研究一些比较复杂的物体(如刚体、流体)的运动和力时,虽然不能把这些物体看成质点来研究,但在处理方法上可把复杂物体看成由许多质点构成,在解决质点动力学问题的基础上来研究这些复杂的物体。为了解决问题方便,可以选择几个物体组成的整体作为研究对象,也可以选择部分物体。在研究中涉及多个物体时,往往选择整体作为研究对象更方便。

在动力学中可以选择整体或者部分物体作为研究对象的思路,不仅可以解决宏观物体的运动与相互作用关系的问题,还可以迁移应用到热学、光学、原子物理等不同物理学分支,例如,实际的固体、液体和气体都可以看成是包括无限多个质点的质点系,可以应用质点系的动力学规律解决一些简单的问题;甚至可以迁移应用到生命科学、经济学、教育学和社会学等其他领域,对解决问题发挥重要作用。

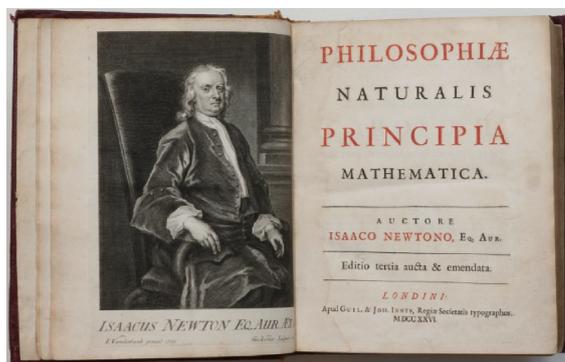
4 力的瞬时与积累效果

如本系列专栏前文所述,从物理学发展史的角度看,动量和动能概念的建立与牛顿运动定律的建立是相对独立的研究过程。但是,从物理知识的内在逻辑看,牛顿第二定律反映了力改变物体运动状态的瞬时定量效果,如果在牛顿第二定律 $F=ma$ 的方程两边分别对时间积分,就可以得出动量定理 $I=\Delta p$,也就是说,物体所受合力在时间上的

积累效果表现为物体动量的变化;同样地,如果在牛顿第二定律 $F=ma$ 的方程两边分别对空间积分,就可以得出动能定理 $W=\Delta E_k$,也就是说,物体所受合力在空间上的积累效果表现为物体动能的变化。

教学内容的选取并非一定要按照物理学发展过程来呈现,可以从促进学生科学素养发展的角度,对物理学发展过程进行“剪辑”,通过内容重组,形成有利于素养发展的载体。因此,在不同版本的教材中,大都在“动力学”主题内容中体现出分别分析力的瞬时作用效果和和时间、空间上的积累效果的一般化思维方式。另外,在动量定理的基础上,还可以通过选择合适的系统作为研究对象,得出系统的动量守恒定律,体现出在变化中追寻不变量的典型物理学认识方式;在动能定理基础上得出机械能守恒亦是如此。当然,在物理学发展史上,并非是从动量定理和动能定理推导得出动量守恒定律和机械能守恒定律。但是,从学生学习过程和素养发展的角度看,可以打通这些内容之间的藩篱,作为物理学认识路径发展的载体,促进学生形成并掌握一般化的认识路径。

在动力学中,考虑力的瞬时作用效果和和时间、空间上积累效果的思维方式,可以迁移应用在其他物理学主题中,例如,电场强度可以在空间上积累,其线积分表现为某两点之间的电势差,其面积分表现为穿过某个面的电通量。



1687年牛顿出版的《自然哲学的数学原理》

5 公理化假设与约定

尽管物理学是一门以实验为基础的自然科学,“观察—假说—验证”也一直是物理学家认识客观世界的主要方式,但这并不意味着实验是知识得出的唯一途径,动力学主题的研究也是如此。除了通过实验验证的定律之外,在动力学理论建构中,还存在大量的公理化假设和人为的约定。

牛顿在1687年出版的《自然哲学的数学原理》中明确提出了“运动基本三大定律”,作为经典物理学的起点,得到了科学界公认。这里的定律实质只是公理而不是定律^[2]。这是因为:第一,牛顿第一定律所假设的不受外力的条件,以及永远运动下去的结果,是任何实验都无法验证的。之所以接受这一假设,是因为至今没有根据牛顿第一定律得出与现有的有限的实验相矛盾的预言。第二,牛顿第二定律中本身包含着两个未经定义的物理量:力和质量。要证明牛顿第二定律就需要首先测出物体所受的力及其质量,当时却还没有力和质量的明确定义,这显然在逻辑上是不自洽的。实际上,在牛顿的《自然哲学的数学原理》一书中,三大定律的确是牛顿在“序言”部分作为公理提出的。因此,在动力学主题

的理论体系中蕴含着物理学家在研究中基于观察建立公理化假设的认识方式。

在一个具体问题中,常会遇到相互联系多个物理量,正是它们之间的联系启示我们没有必要把每一个物理量的单位逐一作出独立的规定。只要选择一些基本物理量,规定它们各自的单位,其他物理量的单位就可以通过定义或者它们与基本物理量的关系推导出来。例如,在国际单位制中,约定长度的基本单位为米(m)、质量单位为千克(kg)、时间单位为秒(s),那么就可以约定力的单位牛顿(N),即 $1\text{ N}=1\text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 。类似地,在其他单位制中,也可以对力的单位作出其他约定。其实,从更广义一点讲,物理规律是客观的,但其表达形式却具有主观性,在某种程度上是人为约

定的,例如,冲量、功、动量、动能等物理量完全可以建构不同于现在定义的表达式,这也正是科学本质观的具体体现。总之,物理学家在建立动力学理论体系的过程中,约定这一认识方式也发挥了不可替代的作用,也因此,约定成为物理学的一种重要认识方式,理应成为学生物理学习的重要内容。

公理化假设和约定不仅在经典的动力学主题上有丰富的体现,在相对论、量子力学等近现代物理学中也发挥了重要作用,甚至可以迁移应用在生命科学、地学、政治经济学等其他自然科学或者社会科学领域的探索中。

6 结语

基础教育阶段科学教育的主要目的是为学生应对未来不确定性现

实世界的挑战、探索未知世界奠定基础。而物理学认识路径是物理学家作为“方法”的经验,这些经验是物理学知识和物理学思想方法的结晶,是指引物理学家不断认识未知自然界的重要思维工具。显然,这些经验是人类智慧传承和发展创新的重要内容,不仅应该作为科学思想方法教育的内容进入作为教学主阵地的课堂,并且应该成为课堂教学的灵魂,贯彻始终,以及面向全体公民的科普教育的重要内容。

参考文献

- [1] 申先甲,杨建邺著.近代物理学思想史.上海:上海科学技术文献出版社,2021.p.79
- [2] 朱铨雄.物理学思想概论.北京:清华大学出版社,2009.pp.23—24



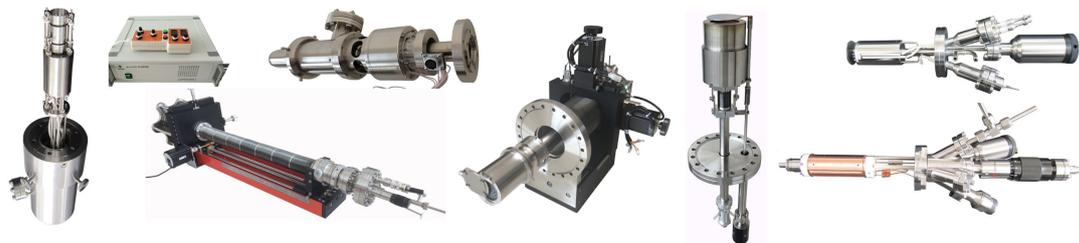
大连齐维科技发展有限公司

地址:大连高新园区龙头工业园龙天路27号

电话: 0411-8628-6788 传真: 0411-8628-5677

E-mail: info@chi-vac.com HP: <http://www.chi-vac.com>

表面处理和薄膜生长产品: 氩离子枪、RHEED、磁控溅射靶、束源炉、电子轰击蒸发源、样品台。



超高真空腔室和薄膜生长设备: PLD系统、磁控溅射系统、分子束外延系统、热蒸发镀膜装置。

