

伽利略的科学思维方法论探析

黄 华 新

(浙江大学 人文学院, 浙江 杭州 310028)

[摘 要] 伽利略从求真的科学精神出发, 倡导“观察——原理——观察”的逻辑程序和“实验——数学相统一”的科学模式, 并把分解与组合、抽象与理想化作为基本的科学思维方法; 伽利略的科学思维方法论在西方科学思想发展史上占有重要的地位。

[关键词] 科学思想; 求真; 伽利略; 思维方法

[中图分类号] B503.922 [文献标识码] A [文章编号] 1008-942X(2000)05-0023-05

The Study of Galileo's Theory of Scientific Thinking Method

HUANG Hua-xin

(College of Humanities, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

Abstract: Galileo based his scientific spirit on the pursuit of truth, and advocated the logic procedure of “observation-theory-observation” and the scientific model of “Unity of the experiment-mathematics”. He used analysis-synthesis and abstraction-idealization as the basis of scientific thinking method. Galileo's theory of scientific thinking method played an important role in the development of the Western scientific thought.

Key words: scientific thought; pursuit of truth; Galileo; thinking method

意大利科学家伽利略(1564-1642)是研究自然的实验——数学方法的创始人, 在《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》(1632年)和《论两种新科学》(1638年)这两部著作中, 他从求真的科学精神出发, 对自然科学研究的程序、模式、思路和方法作了较为系统的总结和概括。他的科学思维方法论思想对西方近现代的学者们产生了广泛而深刻的影响。正如美国学者克莱因所说, 伽利略的“卓越之处在于他非常清楚地看出当时科学研究工作中的错误和缺点, 彻底地抛弃了旧的方式, 而又非常明白地制定了新的程序”^{〔1〕}; 他工作的完整, 思想表达的清晰以及论辩的力量, 影响了几乎所有他的同辈和后辈。

一、观察——原理——观察

伽利略所处的时代, 正值西欧文艺复兴运动蓬勃发展之际。在这场思想解放运动中, 伽利略全面批判经院教条和某些人对亚里士多德思想的曲解, 他从亚氏的原著出发, 阐述并发展了亚氏关于科学研究程序的理论。

亚里士多德的科学程序理论可归结如下: 科学研究从观察上升到一般原理, 然后再返回观察。亚氏主张, 科学家应该从要解释的现象中归纳出解释性原理, 然后再从包含这些原理的前提中演绎出关于现象的陈述。他认为: “没有归纳就不可能有一般的知识”^{〔2〕}; “……很显然, 我们必须通过归

纳认识第一原理.....^[2]

亚里士多德认为,科学研究从有关某些事件发生或某些性质同时存在的知识开始,只有当关于这些事件或性质的陈述从解释性原理中被演绎出来时,科学解释才得以完成。因此,科学解释就是从关于某个事实的知识过渡到关于这个事实的原因的知识。

伽利略在科学程序理论问题上首先批判了亚里士多德追随者对亚氏科学程序理论的歪曲与误解。那些人一开始就用亚氏的第一原理,而不是从感觉经验中进行归纳,这就歪曲了亚氏的原意。针对这种情况,伽利略指出:要学好亚里士多德,还必须懂得他的方法。他认为:那种一开始就用第一原理的做法不过是亚氏著书立说时所使用的,而不是他考察问题的方法;“我比较敢于肯定,他首先通过感觉、实验和观察所得的结果,尽可能地弄清自己的哪些结论无误,以后才设法加以证明。”^[3]他相信,如果亚氏本人拥有17世纪用望远镜观察到太阳黑子的证据,他会放弃天界永恒不变性的学说。因此他宣称:“说天界是可变的,因为我的感官告诉我如此”,这要比说“天界是不可变的,因为推理使亚里士多德相信如此”,无疑是更好的亚里士多德哲学。^[3]

在制定科学方法论的过程中,伽利略顺应时代精神,把观察、实验看作到达真理的,非它不行的唯一途径。他在许多地方都强调了观察、实验的重要性。“这些感觉试验,诚如亚里士多德所说的,归根结底应当比人类理性所能提供的证据更为可靠。”他还认为,在讨论法律或古典文学时,可以使用雄辩术,但在自然科学中,“任何一个平凡的人,只要他碰巧找到了真理,那么一千个德摩梯尼和一千个亚里士多德都要陷入困境”。

伽利略在评述科学程序理论时强调感觉经验的作用,倡导“观察——原理——观察”的逻辑程序,这与时代精神是相一致的,同时,这也符合“先行后知”、“知行合一”的人类认知发展模式。

二、分解与组合相结合

为了求得对事物整体的认识,近代实验科学主要是采用分析、解剖的方法。其特点是:从部分来求解整体,即首先通过把整体分解为若干个组成部分来探求其中的因果联系,进而达到对事物整体的认识。这时,科学家应该使用分析的方法和综合的方法。伽利略把前一种方法称之为分解法(决疑法),把后一种方法称之为组合法(结构法)。分解法实质上就是分析、解剖自然界的方法。伽利略分解或分析的思维方法确实使他解释了许多自然现象,最光辉的证据就是他发现了一系列力学定律。组合法则是这样一种方法,它通过一系列的演绎来检验分析过程中所提出的假说的真理性,这是一种在分解法基础上演绎出新结论或者说作出预测、假说的方法。伽利略认为,在一个完整的科学认识活动中,分解与组合的方法总是协同使用的,只有同时使用分解法和组合法,科学家才能发现新的有意义的真理。

伽利略在自己的研究工作中,明显地应用了这种方法,并且把这种方法的运用与数学计算结合起来。比如,伽利略从抛射体抛物线轨迹的假说中推演出45°达到最大射程。在45°时达到最大射程这一点在伽利略以前人们就知道了。伽利略的成就是对这一事实作了科学的解释。伽利略还从抛物线的轨迹出发,推论出仰角在45°以外移动时也能达到同样的射程。

在《论两种新科学》第四天的谈话中,伽利略详尽地研究了抛射体的运动,伽利略发现,假设抛射体以某一水平初速度被抛出,抛射体的轨迹是物体不受重力时所作的匀速直线运动和不存在水平初速度时匀加速自由下落运动的合成。在第一种情况下,通过的距离与时间的一次方成正比;在第二种情况下,通过的距离与时间的二次方成正比。这两个运动的合成,物体将描出一条曲线,伽利略看出,这正是一条阿波罗尼乌斯的抛物线。在斜抛的条件下,轨迹将是对于通过最高点的垂线

左右对称的抛物线。要求出所谓射程,只须考虑在上升与下落的时间内物体的水平运动就行了。伽利略把以各种仰角发射的物体的轨道的射程和高度——计算出来作成表格,从而得出当仰角 $\alpha = 45^\circ$ 时射程最大,任何两个仰角 $\alpha' = 45^\circ \pm \beta$ 的射程相等。我们知道,塔塔格里亚曾经通过经验而得出了前一个结论。伽利略议论道:“仅用数学便得出如此严格的证明,这使我心中充满了又惊又喜的感觉。……通过探索原因而达到对某一简单效应的理解会使人顿开茅塞,从而使理解和确证其他事实毋需再借助实验,目前的例子恰好说明了这一点,由于作者成功地证明了最大射程必定是在仰角为 45° 时发生的,因此他也就证明了在实际上可能从未观察到的情况,即同 45° 角相差(大于或小于)同一数量的仰角时,射程是相等的……”^①

与当时的自然科学发展水平相适应,伽利略同时代的许多科学家都采用了分解——组合的思维方法来探求事物的因果联系。伽利略高出同时代科学家的地方在于:他在自己的科学研究活动中,进一步采用数学的程式来表示事物的因果联系。

显然,伽利略的组合法所指的演绎绝不是经院哲学家所熟知的简单的三段论推理,而是对科学家感兴趣的事实进行数学计算的方法,它常常用一定的公式表现出来。这个时期的许多科学家在恢复古代毕达哥拉斯主义传统时,曾经幻想过这样的计算,但是,只有伽利略才把它放在真正科学的基础上。这里,伽利略找到了研究自然的经验归纳法和抽象演绎法的结合点,这个结合点使人们有可能把抽象的科学思维与对自然现象的具体感受有机地联系起来。

三、抽象和理想化

在科学研究中,抽象是单纯提取事物的某一特性加以认识的思维活动。科学抽象不仅需要把研究对象从整体中分离出来,而且需要在纯粹的状态下,对于事物的性质及其规律进行考察。而所谓理想化就是一种考察纯态下的事物性质及其规律的科学思维活动。理想化的东西是通过抽象而产生的,理想化的目的就在于揭示被研究对象在想象的纯化状态下的客观规律性。抽象和理想化的思维方法是科学研究不可或缺的方法。

伽利略非常强调抽象和理想化在科学研究中的价值。他主张,抽象和理想化对物理学的研究来说是重要的,因此,应推广所能达到的归纳技术。在自己的研究活动中,他就运用了抽象的方法,比如,伽利略本人对落体运动的研究就是如此。在自然状态下,自由落体运动规律的表现受着空气阻力因素的干扰。如果要排除空气阻力因素的干扰,那就需要创设一个真空环境,考察真空中的自由落体是遵循什么样的规律运动的。但是在伽利略所处的时代,人们还不能创设真空的环境条件来从事落体实验。伽利略运用了抽象的方法,他依靠思维的抽象力,在思想上撇开空气阻力的因素,设想在纯粹形态下的落体运动,从而得出了自由落体定律,推翻了亚氏“重物体比轻物体坠落较快”的错误结论。

伽利略自己对抽象在科学中的作用十分了解。他写道:“正如一个要计算糖、丝和羊毛的计算机必须扣除箱子、捆包和其它包装一样,数学家要在具体条件下看出他在抽象条件下所证明的那些原理时,同样必须除掉那些物质的障碍,而且如果他能做到这样的话,我敢向你保证,事物是和计算的结果同样符合的。所以错误不系于抽象还是具体,也不系于几何学或者物理学,而系于计算机者是否懂得进行正确的计算。”^[3]

伽利略在物理中的许多成就可归因于他能在种种复杂情况下作出抽象,以便用“真空中的自由

① 参见《物理学史简编》,山东教育出版社1985年版,第309页。

落体”、“理想摆”和“船在海洋上的无摩擦运动”等理想概念进行工作。“伽利略的理想实验”是他科学发现必不可少的条件。所谓“理想实验”并不是实物的实验,而是在人们的头脑中,依据理想化的条件进行推导并想象其结果。经典力学的一条最基本的定律——惯性定律,就是伽利略通过“理想实验”而得出的。伽利略曾做过让小球沿斜面下滚的实物的实验。在这个实际实验过程中,他发现:当斜面做得足够光滑,使小球与斜面的滚动摩擦足够小时,从一定高度滚下的小球,可以再滚上对称放置的另一个斜面,它能达到的最大高度几乎同滚下的高度相等。之所以实际上略低于原来的高度,那是由于受到了斜面摩擦阻力和空气阻力的作用。在实际实验中,我们总可以把阻力尽量减少。实验证明,阻力越小,小球上升的高度也越接近初始滚下的高度。伽利略在头脑中设想了一种理想化条件——如果所有阻力减小到零,于是小球就会上升到原来的高度,这正是一个“理想实验”。伽利略再把这个“理想实验”继续展开,小球滚上第二个斜面的高度只与它在第一个斜面上滚下的高度有关,而与第二个斜面的斜度无关,所以我们可以把第二个斜面的斜度不断减小,随之小球在第二个斜面上运动的路程也就不断增长。如果我们设想把第二个斜面的斜度减小到零,即把它变为平面,那么,小球就应该一直向前滚动,永远也不会停止下来。由此,伽利略才最早形成了“惯性”的概念。

伽利略在科学研究活动中应用抽象和理想化的方法是富有成效的。这些方法成功的应用实际上正是说明了创造性的想象力在科学研究活动中的作用。伽利略认为,经由理想化而发现的原理既不能通过简单枚举归纳法获得,也不能通过求同和求异法获得。对于一个科学家来说,重要的是能直觉到现象的哪些性质可作为理想化的基础,而哪些性质也许是可以被忽视的。

四、实验——数学相统一

实验——数学相统一的科学研究模式,是伽利略科学思维方法论思想的核心,也是伽利略对科学方法论的重要贡献。

伽利略强调实验方法在科学认识中的地位和作用,他认为自然科学本质上是实验科学,而实验科学的出发点是观察和实验所得到的结果。伽利略以前的不少思想家也指出过实验、观察的意义,但是伽利略与他们不同,他所着眼的不是对自然界的单纯观察,而是有计划进行的实验,在做这种实验时,研究者就像在向自然界提出他们感兴趣的问题并且得到回答。

伽利略认为,理论和自然是否符合,必须由“选择得当的实验”来判断。即使对那些已公认的观点也得采用实验法加以探究。

在科学方法论的发展史上,格罗斯代特和罗·培根在分解法和组合法上附加了一个第三阶段,在这个阶段已达到的结论要用实验进行进一步的检验。对此,伽利略给予了肯定。例如,在《论两种新科学》中,萨尔维蒂推演出落体定律后,辛普利西奥要求用实验确证这种关系,伽利略借萨尔维蒂之口回答说:“作为一个科学家,你提出的要求是十分合理的,因为这是把数学证明应用于自然现象的那些科学的习惯,并且这样做也是正当的。”^[4]

伽利略认为,在对自然界进行实验研究的过程中,必须同时运用数学计算的方法。所以他特别重视实验的定量分析。伽利略深信,自然界这本书是用数学语言写成的,不懂得数学的语言,就不能揭开自然界的奥秘。在自己的工作中,他创造了一些可以测量的条件,使实验尽可能结合数学方法的应用,从实验结果中概括出数量关系式,从而把数学引进了力学。

实验——数学相统一的科学研究模式是伽利略在科学方法上的一个重大发展。伽利略也像他的同时代人弗兰西斯·培根一样,重视实验和观察,在自己的研究活动中运用了归纳法。但是,他们

之间也有明显的区别。培根的归纳法是一种定性的归纳，量的分析被忽略了，而伽利略在处理观察、实验所提供的归纳证据时，善于运用数学计算的方法进行定量的研究。正因为他深刻地认识到量的分析对研究自然界所起的巨大作用，所以他确定了对自然界的实验（归纳）同数学（演绎）的统一关系。

伽利略的科学研究模式也与哥白尼、开普勒的思想有别。在哥白尼和开普勒那里，数学的简单性与和谐性被看作描述物体运动的先验原则。伽利略既重视数学方法的应用，又抛弃了数学先验论的神秘观点，他认为数学是科学认识、定量研究的工具。伽利略充分肯定了数学方法在科学研究中的普遍有效性，在他看来，可以把数学方法推广到探索任何涉及可测量的问题。伽利略的这一见解，是有远见卓识的。

伽利略实验——数学相统一的科学研究模式是与他抽象和理想化的科学研究方法紧密相联的。在进行实验时，往往需要做一系列抽象和理想化的工作。为了得到一个“数学模型”并从中演绎出某些逻辑结论以供实验检验，必须撇开一些次要的、非根本的因素，尽量地把实验条件做得理想和符合“数学要求”。在落体问题的研究中，伽利略非常成功地应用了这种方法。这种实验——数学相统一的科学研究模式，为近代自然科学的发展开辟了广阔的道路。爱因斯坦和英费尔德在《物理学的进化》中评论说：“伽利略的发现以及他所应用的科学的推理方法是人类认识史最伟大的成就之一，而且标志着物理学的真正开始。”伽利略对科学的贡献就在于毁灭直觉的观点而用新的观点来代替它。这就是伽利略的发现的重要意义。^[5]

[参 考 文 献]

[1] M·克莱因，古今数学思想（第二册）[M]．上海：上海科学技术出版社，1979.39.
[2] 亚里士多德，工具论[M]．广州：广东人民出版社，1984.191-256.
[3] 伽利略，关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话[M]．上海：上海人民出版社，1974.70-268.
[4] 伽利略，论两种新科学（英文版）[M]．英国多佛出版社，1914.178.
[5] A·爱因斯坦，L·英费尔德，物理学的进化[M]．上海：上海科学技术出版社，1962.3-5.

[责任编辑 庄道鹤]