

·方法论·

## 为什么实验方法和逻辑方法对科学特别重要？

钱兆华

(江苏大学人文学院,江苏 镇江 212013)

**摘要:** 实验方法和逻辑方法是科学研究中最普通、最基本和最重要的两种方法。为什么实验方法和逻辑方法对科学如此重要呢？因为科学由四个部分组成：(1)科学事实或对自然现象的发现；(2)对科学事实的试探性解释或对自然现象背后原因的猜测；(3)以这些解释或猜测为前提推演出有关定律、公式、结论和预言；(4)对这些定律、公式、结论或预言等进行检验；而其中(1)和(4)部分主要依赖实验方法，(2)和(3)部分主要依赖逻辑方法，所以，实验方法和逻辑方法就成了科学研究中最基本的方法。

**关键词:** 实验方法；逻辑方法；科学研究

**中图分类号:** N031

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003 - 5680(2004)02 - 0020 - 03

人们凭直觉就可以明显感知到，实验方法和逻辑方法对科学研究似乎特别重要，果真离开了实验方法和逻辑方法，科学将寸步难行，更谈不上发展。大科学家爱因斯坦曾明确指出：“西方科学的发展是以两个伟大成就为基础的，即希腊哲学家发明的形式逻辑体系（在欧几里德几何学中），以及通过系统的实验发现有可能找出因果关系（在文艺复兴时期）。”<sup>[1]</sup>无独有偶，大科学家杨振宁也说：“我以为中国古代由于种种原因没有出现欧几里德研究这样具体的几何问题，以及因为研究这类问题而产生出来的逻辑系统，至少是中国没有产生近代科学原因的一半。”<sup>[2]</sup>人们当然要问，为什么实验方法和逻辑方法对科学如此重要呢？这无疑是我们必须要搞清楚的一个重要问题。

其实，实验方法和逻辑方法对科学之所以重要，是由科学本身的性质所决定的。尽管从不同角度对科学的构成可以作不同的划分，但就文艺复兴以来诞生的近代科学而言，我们可以把它分为四个部分：(1)科学事实或对人类自然现象的发现；(2)对科学事实的试探性解释或对自然现象背后原因的猜测；(3)以这些解释或猜测为前提、为基础推演出的有关定律、公式、结论或预言等；(4)对这些定律、公式、结论或预言等进行检验。

必须指出的是，科学的这四个组成部分是相互联系、相互制约、相互依存的，它们共同构成了一个不可分割的有机

整体。换句话说，任何一个单独的部分都不能称为科学。第一部分是科学的基础，没有它科学就成了空中楼阁；第二部分是科学的核心，科学之所以是科学，不是经验总结或对自然现象的忠实描述，而是因为它是自然现象背后原因的猜测，并以这种原因来解释这些现象为什么会如此发生；第三部分是科学的推论，这是科学之所以能够变为技术或能够成为人们社会实践的理论指导的前提和基础；第四部分是科学的证明，这是人们之所以相信科学，承认科学，把科学看成是“真理”的保证。

不难看出，如果只有第一部分，那么，这种知识只能叫做经验。如果只有第一、第二部分，那么我们当然就分不清它们究竟是科学、哲学、还是宗教，因为无论是科学、哲学、还是宗教，都是对现象的解释体系。如果只有第一、第二、第三部分，没有第四部分，那么，我们就无法让人们相信、接受科学，而且在很大程度上，我们也无法把科学与伪科学或甚至迷信区分开。

我们不妨举两个实例来说明科学的这四个部分的涵义。人们在日常生活中经常会观察到或发现这样的现象：在同一介质中光沿直线传播；光有折射和反射现象；还有干涉、衍射现象等；这些都是大家公认的科学事实（第一部分）。人们当然要问，为什么光会产生这些现象呢？或者说，应当如何解释这些现象呢？惠更斯首先明确提出了光的波动说，认为光

【基金项目】 江苏省教育厅社科规划课题(02SJD720007)

【收稿日期】 2003 - 08 - 25

【作者简介】 钱兆华(1954 - )，男，江苏大学教授，主要从事科学哲学和科学史研究。

的本性如果是一种波动,那么就可以很好地解释这些现象(第二部分)。然而,既然光是一种波动,那么它就应当有波的一切性质:波长、周期、传输速度、波峰、波谷、驻波、多普勒效应、在不同介质中传播速度不同等,并可以据此推导出波长 $\times$ 频率=速度,推导出折射定律,推导出干涉定律,推导出“泊松亮点”等等,等等(第三部分)。那么,这种波动说究竟对不对呢?假如惠更斯和后来的菲涅耳胡说八道咋办?很简单,只要对这些假说或猜测进行严格检验就行。事实上,科学史上对光的波动说所进行的观察和实验检验几乎数不胜数(第四部分)。

再如人们在实验中发现,黑体辐射的规律与经典物理学理论相矛盾,出现了所谓的“紫外灾难”现象(第一部分)。为什么自然界会出现这样的现象呢?或者说,它是由什么原因引起的呢?应当如何解释呢?普朗克猜测,这是由于黑体辐射能量时,并不是连续的,而是把能量分成一份一份地,或量子化地释放出来的,这就是著名的量子假说(第二部分)。既然黑体辐射能量时是以量子化方式释放的,那么根据世界统一性原理,在其他情况下,能量的释放和吸收当然也是量子化的。据此,可以推导出一系列量子力学公式、定律和预言,如原子的量子化轨道,原子的光谱线公式等等(第三部分)。这些公式、定律和预言能否在实验中或观察中得到确证,当然是检验量子假说是否“正确”的唯一标准。众所周知,正是由于在量子假说基础上推导出的一系列公式、定律和预言在实验中都得到了确证,经受住了严格的检验,因此才被人们广泛接受(第四部分)。

接下来的问题显然是,为了进行科学研究,把科学推向前进,人们必须观察到尽可能多的自然现象或获得尽可能多的科学事实,因为这些感性材料是科学研究的基础,是科学研究的“原始材料”。换言之,不发现自然现象或获得科学事实,当然就谈不上对自然现象背后的原因进行猜测或对科学事实进行解释。那么,如何才能发现尽可能多的自然现象或获得尽可能多的科学事实呢?当然只有通过两种方法:观察和实验。不过,通过观察方法发现自然现象或获得科学事实有许多局限性,甚至有许多重大缺陷。第一,自然状态下产生的自然现象通常都非常复杂,各种因素交织在一起,使人们分不清哪些是偶然的、次要的、非本质的因素,哪些是必然的、主要的、本质的因素。这样一来,就极大地影响了通过观察所发现的自然现象作为科学研究的第一手材料的可靠性。第二,自然状态下的许多自然现象对人们的认知而言,不是太慢,就是太快,有些现象甚至出现过一次就再也不会重复,这无疑给人们的研究造成了极大困难。第三,许多自然现象在通常状态下是不出现的,只有在极端状态下才会出现,但是,自然界中当然不会出现相应的极端状态。这就意味着,单凭观察,有许多自然现象人们永远也发现不了。例如,在极低温的状态下,金属导体的电阻会突然消失,出现所谓的超导现象;在强电场中,原子发出的光谱线会分裂成几条;高速运动的正负电子相撞,会变为 $\gamma$ 射线等等。

而实验方法则不同,由于它本质上是人们根据一定的研究目的,运用适当的物质手段,人为地控制、模拟或创造自然

现象,以获取科学事实的一种方法,因此它完全可以克服观察方法的许多局限性。事实上,在实验中,科学工作者可以根据需要获得系统的、典型的、定向的、纯粹的、精确的自然现象,使之成为非常可靠的科学事实;可以根据需要加速、延缓或再现自然过程;还可以根据需要创造出自然界中不可能出现的极端状态,如超高真空、超低温、超强电磁场、超高压等,以发现更多的、在自然状态下不可能出现的自然现象。

所以说,科学的第一部分主要依靠实验方法,尤其在今天,科学研究的第一手材料的获得越来越依赖于实验方法。

当人们在观察和实验中发现了许多自然现象或获得了许多科学事实后,就要对这些自然现象产生的原因进行猜测或对这些科学事实进行解释。那么,如何猜测或如何解释才能令人信服呢?才能被学术界或其他人接受呢?答案是:必须合逻辑。就是说,这种猜测或解释必须是经过合逻辑的推理得到的。或者说,这些猜测或解释应当是有关事实的逻辑结论。按照这种观点,我们就可以弄明白,为什么牛顿会提出万有引力假说。因为苹果总是掉在地上,不飞到天上去,人无论把物体向上抛多高,该物体总会落回到地球上的一个合逻辑的推理就是,地球与苹果和这些抛物体之间必定存在相互吸引力。既然地球与苹果和这些抛物体之间有相互吸引力,那么合逻辑的推论就应当是,地球与其他物体之间,地球上的任何物体之间也有相互吸引力。既然地球与其他物体之间,地球上的任何物体之间都有相互吸引力,那么宇宙中的任何物体之间也肯定都有相互吸引力。同样道理,为什么阿基米德会提出浮力假说呢?因为有重量的木头不沉到水底的一个合逻辑的推理就是水对木头有向上的浮力。既然水对木头有浮力,那么水对浸在其中的其他任何物体肯定也有浮力。既然水有浮力,那么其他液体肯定也有浮力。很显然,如果地球与月球、太阳之间有相互吸引力,而木星与水星之间没有相互吸引力;如果水对浸在其中的物体有浮力,而其他液体对浸在其中的物体没有浮力的话,这肯定是不合逻辑的,是不可思议的。

从这里我们不难看出,对现象背后原因进行猜测或对事实进行解释本质上就是一种逻辑推理,人类的这种合逻辑的推理(所谓“理性思维”的实质)和自然界的“规律”当然是吻合的。或者说,“我们头脑中出现的理性与我们在世界中观察到的秩序,这两者之间有着一种深层的一致。”<sup>[13]</sup>其实,康德所说的“人的理性为自然界立法”的深刻内涵也在于此。

尽管人们用合逻辑的推理对自然现象背后的原因进行猜测或对科学事实进行解释,照道理“应当如此”,但这些猜测或解释是否“正确”在其自身范围内毕竟是得不到解决的,只有通过人类的经验来检验。但在通常情况下,这些猜测或解释无法通过人类经验来直接检验。比如说,牛顿猜测,宇宙中任何物体之间都有相互吸引力,然而我们无论怎么看,怎么听,怎么闻,怎么尝都感知不到“引力”。同样,凭人类的感官永远也不可能感知到光是一种波或是一种粒子,热是一种无重的流体,原子的结构与太阳系的结构差不多。那么,我们应当如何通过人类经验来检验这些猜测或解释的“正确”与否呢?只有一种办法,那就是以这些猜测或解释为

前提,通过严密的逻辑推理,推导出一系列结论,然后再把这些结论与人类经验相对照。由于这些结论和前提之间存在着逻辑上的一致性,因此,它们可以被看作是等价的,是同义反复。换言之,如果这些结论与人类经验相吻合,那么就认为其前提(即猜测或解释)是对的;反之,如果这些结论与人类经验不吻合,那么就认为其前提是错的。这就是科学检验所遵循的一个基本原则:后件为真(或假),前件亦为真(或假)。

不言而喻,推导出的这些结论就是我们熟知的科学公式、定律、预言等。必须特别指出的是,由于数学与逻辑本质上是一回事(罗素说过,“逻辑是数学的少年时代,数学是逻辑的成人时代。”<sup>[41]</sup>),而且借助数学作为逻辑推理的工具不仅更有效,而且更具有可靠性。所以,在许多情况下,尤其当科学发展到一定水平,达到基本成熟的时候,人们往往都运用数学方法来进行逻辑推理。比如,人们可以根据万有引力假说推导出万有引力公式,可以推导出地球上物体的运动轨迹必定是抛物线,行星绕太阳转的轨道必定是椭圆,可以推导出人造卫星可以绕地球运行,等等。

这就是说,科学的第二部分和第三部分都必须依靠逻辑方法(包括数学方法)。

众所周知,对科学假说的检验必须依靠人类经验。而人类经验的获得主要有两种途径:或者通过观察,或者通过实验。如前所述,通过观察所获得的经验不如通过实验所获得

的经验定向、系统、精确、纯粹和可靠,因此,用观察方法所获得的经验来检验科学假说具有很大局限性,而且在许多情况下甚至根本无法进行精确地检验。所以,对科学假说进行严格检验主要通过实验方法。尤其重要的是,与观察相比,由于实验不受时间和空间的限制,不受自然因素的制约,因而它可以非常方便、非常精确和非常可靠地对有关假说进行检验,有人甚至认为它在很大程度上可以对科学假说作一锤定音式的判决性检验。所以,科学的第四部分(即对有关知识进行检验)必须主要依靠实验方法。

综上所述,我们可以得出结论,科学的第一部分和第四部分必须借助实验方法,而第二部分和第三部分必须依赖逻辑方法,所以,实验方法和逻辑方法就成了科学(严格地讲是“西方科学”)所不可或缺两种最主要方法,对推动科学的诞生和发展显得特别重要。

### 【参 考 文 献】

- [1]许良英. 爱因斯坦文集(第1卷)[M]. 北京:商务印书馆, 1977. 574.
- [2]高策等. 杨振宁论中国传统文化与科学技术[J]. 科学技术与辩证法. 1998(2):39.
- [3]阿利斯科·E·麦克格拉斯. 科学与宗教引论[M]. 王毅译. 上海人民出版社, 2000. 161.
- [4]罗素. 数理哲学导论[M]. 北京:商务印书馆, 1982. 182.

(责任编辑 殷杰)