

科技人文

爱因斯坦独特的科学方法和哲学思想在科学发明中的伟力

李醒民

摘要 爱因斯坦在发明相对论的同时,也创造了独特的哲学认识论(由温和经验论、基础约定论、意义整体论、科学理性论、纲领实在论组成的内涵丰赡、外延阔大的多元张力论)和方法论(探索性的演绎法、逻辑简单性原则、准美学原则、形象思维及宇宙宗教思维方式或宇宙宗教方法)。科学与哲学联姻在他的科学生涯和创新过程中可谓珠联璧合、相得益彰。科学家能够由此受到启迪,获取教益。

关键词 爱因斯坦;科学与哲学;认识论;方法论;科学发明

一切科学理论的探索,归根结底也是科学方法与科学认识的探索。这句话包含双重含义。从积极的或肯定的方面讲,科学理论探索与科学认识和科学方法的探索是并进的,科学理论的探索必然需要科学认识和科学方法的探索;科学理论的创新,往往会伴随科学认识和科学方法的创新;而科学认识和科学方法的创新,则是科学理论创新的前提条件。从消极的或否定的方面讲,没有新科学理论的发明(基本概念和基本原理远离经验事实的科学理论是科学家发明出来的,而不是发现的——这也是爱因斯坦本人的看法),就不可能有新科学认识论和科学方法的创造;没有新科学认识论和科学方法论

的创造,也不可能有新科学理论的发明——这里特别指称基础性的、根本性的科学理论的发明,而不是那些仅仅停留在经验资料上的、小打小闹的科学发现。就此而言,相对论的创立无疑是一个绝佳的例证;爱因斯坦无疑是集伟大的科学家与伟大的哲学家于一身的哲人科学家的典型代表,是运用高超的哲学思想和高明科学方法发明高妙的科学理论的高手^[1-2]。

在创立狭义和广义相对论的20年间,甚至在创立狭义相对论的10年间,爱因斯坦已经切磋琢磨并娴熟地运用了他的别出机杼的科学方法——探索性的演绎法、逻辑简单性原则、准美学原则、形象思维。正是这些别出心裁的科学方法,使他能够破除重重思想障碍,克服重重现实困难,最终攀登到现代科学理论的峰巅。

先说探索性的演绎法。一般而言,完整的科学理论是三元的:科学事实(经验事实)、科学定律或科学命题、科学原理(科学公理或基本假设)。在科学的幼年时期,科学家主要运用归纳法,从事实归纳定律,从定律归纳原理。但是,在科学发展到比较成熟的时期即理论化的时期,单靠归纳法,通过构造性的努力,已经无法使科学理论向前推进,必须代之以探索性的演绎法,才能建构现代科学的“原理理论”。这种演绎法与古老的或传统的演绎法的最大区别在于,它的逻辑前提即原理、公理或基本假设既不是不证自明的常识,也不是能够从事实和定律直接归纳出来的,而是在事实的启示下,通过“思维的自由创造”和“理智的自由发明”直觉地醒悟到的。也就是说,从事实到原理的路径是非

中国科学院《自然辩证法通讯》杂志社,
北京 100049

收稿日期:2024-07-23;修回日期:2024-08-26

作者简介:李醒民,教授,研究方向为科学论(科学哲学、科学思想史、科学文化等),电子信箱:lixingming@ucas.ac.cn

引用格式:李醒民. 爱因斯坦独特的科学方法和哲学思想在科学发明中的伟力[J]. 科技导报, 2025, 43(12): 185-188; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2024.07.00901

逻辑的,是思维的跳跃。爱因斯坦狭义相对论的相对性原理和光速不变原理、广义相对论的相对性原理和等效原理就是如此获取的。在得到逻辑演绎的前提即科学原理后,则可以借助逻辑演绎或数学推导,从原理导出定律(如光电效应定律、质能关系式 $E=mc^2$ 、引力场方程等)或命题(尺缩钟慢、星光通过太阳偏折、引力红移、黑洞和引力波存在等),这些定律或命题是可以交付实验确认或否证的,是可以检验其是正是误,是真是假。定律或命题的确认或否证,虽然是对原理的间接支持或异议,但是并不能够断定原理的正误或真假,也不能决定原理的取舍。因为原理就其实质而言是彭加勒所说的中性假设,是在经验事实引导下自由的约定,无所谓正误或真假,只看其是否有用——有用则用,无用则改或则弃而已。

次说逻辑简单性原则。在科学中,尤其是在物理学中,对简单性的追求一直绵延不绝。在爱因斯坦之前,前科学时代有毕达哥拉斯的万物皆数、奥康剃刀;近代科学时期有牛顿的节约原理、马赫的思维经济、彭加勒的力戒特设假设。爱因斯坦则别具只眼,创造性地提出逻辑简单性原则。该原则的核心主见为:作为科学理论逻辑前提的基本概念和基本原理要尽可能得简单,在数量上要尽可能得少,其包容程度当然也就随之尽可能得大。这实际上是对已有的简单性原则的深化和具体化,具有明确的可操作性。浩瀚深邃、洋洋洒洒、华美绝代的狭义和广义相对论各自仅基于2个基本原理

而建构起来,前者只是外加一个同时性定义而已。而且,广义相对论更为简单,它把狭义相对论作为特例囊括其中:狭义相对论中的各种基本概念和原理不再是独立的逻辑元素,它们不过是引力可以忽略不计、黎曼时空过渡到欧几里得时空的特例罢了。爱因斯坦后40年追求的统一场论也是朝着逻辑统一即逻辑元素最少的崇高科学目标迈进的,也就是力图消除引力场和电磁场在物理学中作为彼此独立的概念(逻辑元素)存在的现实。

再说准美学原则。在开普勒、彭加勒、皮尔逊等科学美学大师的影响下,爱因斯坦对科学美,尤其是科学的理性美(理论美和数学美)具有相当敏锐的鉴赏和判断能力——一种只可意会、难以言传的绝妙的直觉品味(taste)能力。他的科学美学思想强调和谐和统一、雅致和对称,并认为科学美与简单性是相通的。和谐和统一主要是就科学理论的内容而言的,雅致和对称主要是就科学理论的形式而言的,而简单性则主要是就科学理论的逻辑基础而言的。准美学原则是爱因斯坦发明新科学理论的指路明灯——他在创立狭义和广义相对论时,就分别运用了定性概念形式的抽象对称法和定量数学形式的不变对称法。而且,准美学原则既是他批判旧科学理论的锐利武器,也是他评价新科学理论的试金石——他对科学理论的评价是双标尺的,即用“内在的完美”(理论之美)补充“外在的确认”(实验确认)之不足。他依据准美学原则,发现经典理论中的不

和谐统一、不雅致对称、不具有简单性。他发明的相对论,则消除了惯性系、匀速系和加速系,惯性质量与引力质量,动能、势能和场能,以及时间、空间和物质等之间的区别和绝对对立,使科学的基本概念变得简单,使科学理论变得自洽和融洽。有拉丁格言曰:“简单是真的印记”“美是真理的光辉”。爱因斯坦将其修正为:美的科学理论不见得是真的,但是真的科学理论必须是美的——这对科学理论提出了更高的要求。

后说形象思维。在一般人的眼中,形象思维似乎是艺术或艺术家的专利,与科学或科学家天然无缘,因为科学或科学家擅长和运用逻辑思维。其实,事实并非如此。爱因斯坦是科学家,更是科学艺术家。他不仅善于形象思维——这可能与从小就喜欢拉小提琴,且一生迷恋音乐有关^[3]。而且,他还具有把逻辑思维和形象思维琴瑟在御地交织在一起的绝妙技艺——这充分体现在他对思想实验(thought experiment)的运用自如上。要知道,思想实验就是以逻辑的程序连贯地组织起来的、各种假想的具体心理形象参与的、具象地在思想中进行操作的虚拟实验。形象思维,尤其是思想实验,被爱因斯坦运用得十分精到、十分精微,乃至达到炉火纯青、出神入化的境地。他的光速不变原理就是通过对追光悖论的形象思维憬悟的,而他的等效原理是凭借升降机的思想实验悟到的。难怪爱因斯坦坚信:想象力比知识更重要,想象力是科学研究中的实在因素。

如果说以上4项科学方法是爱因斯坦创立相对论的方法论工具,那么他的多元张力论(pluralistic tensionalism)哲学则是他科学发明的认识论武器。这种科学哲学是由温和经验论、基础约定论、意义整体论、科学理性论、纲领实在论组成的一个内涵丰赡、外延阔大的和谐统一体,各个组成要素既各尽其责、各尽其能,又相互补充、彼此限定,从而显得洋洋大观、落落大方,可谓所向披靡、势在必得。所谓温和经验论,是指在科学的起点和终点对激进的、僵硬的传统经验论有所弱化,重新加以定位。在起点,从经验事实无法归纳出科学原理,经验事实仅仅起提示作用。在终点,经验事实只能确认(confirmation)而非证实(verification)由原理推导出来的定律或命题,但不能对原理做出或存留或摒弃或修改的判断。对科学理论的评价增加了“内在的完美”标准,作为对实验检验标准的辅助。基础约定论是指科学理论的基础,即其基本概念和基本原理是约定的,是直觉的领悟,并非基于科学事实的归纳。意义整体论是指科学理论是一个意义统一体,单个概念或原理、定律、命题离开整体,便不具有独立的经验意义。在经验上等价的理论并非仅仅是形式上的不同,而是在本体论上对应不同的实在。基本概念愈抽象,基本原理愈简单,则愈能深刻地把握物理实在,洞察自然的奥秘。科学理性论是指依据现实状况提出的,适应了现代科学发展需要的理性论。它清除了传统理性论的观念论和先验论的

因素,强化了实在论的倾向,强调理性、数学、思辨在科学发明中的神奇功能。尤其是,科学理性论的理性是依傍实证的,而非天马行空、独来独往,在理性论和经验论之间保持了必要的张力或微妙的平衡。科学理性论还把探索性的演绎法作为自己的方法论,从而成为科学发明的制胜法宝。纲领实在论是指无论是本体实在(即外部世界、物理世界、实在世界、客观实在和存在的实在等),还是理论实在(作为在科学理论中概念化的实在,科学家以此神悟和把握本体实在),都是一种研究纲领,或者说是一种建构实在论的科学理论的纲领,这便赋予科学研究以充分的自由。纲领实在论也表明,科学实在并不是一成不变的,不同的科学理论对应不同的科学实在,越抽象的科学理论越能悟道本体实在,接近本体实在。纲领实在论完全超越了本能的朴素实在论和粗浅的常识实在论,也跨越了形形色色的传统科学实在论,而把实在论升华到切合现代科学实践的实在论,从而成为现代科学自身的哲学。

爱因斯坦向来不拘泥于一种认识论体系,而是博采众长,包罗万象,切磋琢磨,融会贯通,锤炼适应现代科学发展的科学哲学。正是这种科学哲学,在催生相对论的过程中发挥了独特而微妙的“助产士”的作用。无怪乎爱因斯坦深有感触地说:“我对任何‘主义’并不感到惬意和熟悉。对我来说,情况仿佛总是,只要这样的主义在它的薄弱处使自己怀有对立的主义,它就是强有力的;但是,如果后者被扼杀,而只有它处于旷野,那么

它的脚底下原来也是不稳固的”^[4]。正是在上述科学认识论和科学方法论的启迪和引导下,爱因斯坦发明、创造了举世瞩目的相对论。

最后再说一个很有趣的问题,一般科学家很少或根本没有想到这一点。爱因斯坦不信仰传统的宗教和人格化的上帝,而信仰宇宙宗教(cosmic religion)和在事物的和谐秩序中显示出来的“上帝”,并具有强烈的宇宙宗教感情(cosmic religious emotion)——这是在斯宾诺莎的自然神论和海克尔的“宇宙的感情”(cosmic emotion)思想的启示下,通过自己的科学实践逐渐形成和强化的。他的宇宙宗教的核心信条是,对世界的合理性和可理解性、宇宙和谐、自然秩序、事物的规律性、现象的统一性、实在的理性本质等的虔诚信念和崇高赞颂。他的宇宙宗教感情的表现形式是,对大自然和科学的热爱和迷恋,对宇宙奥妙的体验、感悟和神秘感,对自然现象的好奇心和惊奇感,对物理实在的谦恭、谦卑、崇敬和赞赏,以及对能够猜测和把握宇宙隐秘的人的理性赞美和高扬。对宇宙宗教的笃笃的信仰和澎湃的激情,既是爱因斯坦科学探索的本能动机和强大动力,也是他的别具一格的思维方式或别开生面的思考方法——“宇宙宗教思维方式”(cosmic religious thinking mode)或“宇宙宗教方法”(cosmic religious method)。我曾经这样概括其深湛而玄妙的内涵:在宇宙宗教思维中,思维的对象是自然的奥秘而不是人格化的上帝;思维的内容是宇宙的合理性而不是上帝的神圣性;思维的方式中的

虔敬和信仰与科学中的客观和怀疑并不相悖,而且信仰本身就具有认知的内涵,它构成了认知的前提或范畴(科学信念和科学预设);此外,体验与科学解释或科学说明不能截然分开,它能透过现象与实在神交,启示直接导致了灵感或顿悟,进而触动直觉和理性,综合而成为科学的卓识和敏锐的洞察力。与此同时,宇宙宗教思维方式中所运用的心理意象(imagery)和隐喻、象征、类比、模型,直接导致新的科学概念的诞生。这种思维方式在很大程度上是摆脱了语言束缚和逻辑限制的右脑思维,使人的精神活动获得了广阔的活动空间和无限的自由度,从而易于形成把明显不同领域的元素关联起来的网状思维——这正是创造性思维的典型特征,因为语词的或逻辑的思维是线性的。爱因斯坦在思索科学的根本问题时总是猜测:上帝手里到底握着什么底牌?他还设想:假如我是上帝,我将以何种方式创造宇宙?此时,大自然与认知主体、上帝与科学家、客观精神

(宇宙的理性或自然的规律)与主观精神(科学家的思维或思想)已经融为一体,这种天人合一的境界,正是科学家捕获物理实在,袭取自然深藏不露的诡秘的最佳时机。

可以毫不夸张地说,爱因斯坦是千载难逢的科学大师和哲学大师。他在做出第一流科学发明的同时,也创造了体现现代科学精神气质的认识论和方法论;反过来,这种认识论和方法论也强有力地推动和促进了相对论的发明。爱因斯坦不愧是使科学与哲学珠联璧合、相得益彰的奇人。他是这样谈论自己的亲身体察和心理感受的——很值得科学家深思、再深思:“如果把哲学理解为在最普遍和最广泛的形式中对知识的追求,那么显然哲学就可以被认为是全部科学研究之母。”“认识论同科学的相互关系是值得注意的,它们互为依存。认识论若是不同科学接触,就会成为一个空架子;科学要是没有认识论——只要这点是可以设想的——就是原始的混乱的东西”^[5]。“科学研究的结果,

往往使离开科学领域很远的问题的哲学观点发生变化。哲学的推广必须以科学成果为基础。可是哲学一经建立并广泛地被人们接受以后,它们又常常促使科学思想的进一步发展,指示科学如何从许多可能的道路中选择一条路。等到这种已经接受了的观点被推翻以后,又会有一种意想不到的完全新的发展,它又成为一个新的哲学观点的源泉”^[6]。

参考文献(References)

- [1] 李醒民. 哲学是全部科学研究之母(上)——狭义相对论创立的认识论和方法论分析[J]. 社会科学战线, 1986, 2: 79-83.
- [2] 李醒民. 哲学是全部科学研究之母(下)——狭义相对论创立的认识论和方法论分析[J]. 社会科学战线, 1986, 3: 128-132.
- [3] 李醒民. 爱因斯坦与音乐[J]. 方法, 1998, 4: 26.
- [4] Fine A. The shaky game[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1996: 9.
- [5] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集: 第一卷[M]. 北京: 商务印书馆, 1976.
- [6] 爱因斯坦, 英费尔德. 物理学的进化[M]. 周肇威, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1962.

Einstein's unique scientific methods and philosophical ideas have great power in scientific inventions

LI Xingmin

Association for the Journal of Dialectics of Nature, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract While inventing the theory of relativity, Einstein also created a unique philosophical epistemology (a pluralistic tensionalism or pluralistic tensionism with rich connotations and broad extensions, consisting of mild empiricism, conventionalism for constructing the foundation of scientific theory, holism in meaning, scientific rationalism, and realism as a research program) and methodology (exploratory deduction, principle of logical simplicity, quasi aesthetic principle, visual thinking, and cosmic religious thinking or method). The marriage of science and philosophy can be said to be a perfect match and complementary in his scientific career and innovation process. Scientists can be inspired by it and get lessons from it.

Keywords Einstein; science and philosophy; epistemology; methodology; scientific inventions ●



(责任编辑 王微)