

试论爱因斯坦的科学文化观

——纪念爱因斯坦逝世 50 周年

程民治

(巢湖学院 物理系, 安徽 巢湖 238000)

摘要: 文章阐述了爱因斯坦辉煌的科学人生, 分析了他在科学探索中的人文动机、人文方法和人文关怀, 揭示了其理论和实践艺术地融合了科学与人文, 指出科学与人文是共生互动的, 科学决不是孤立的科学, 它是以人文为导向的。

关键词: 爱因斯坦; 科学; 人文; 科学文化观

中图分类号: G 112

文献标识码: A

文章编号: 1008-3634(2005) 04-0076-06

On Einstein's view of science and culture —The 50th anniversary of Einstein's death

CHENG Min-zhi

(Department of Physics, Chaohu College, Chaohu 238000, China)

Abstract: Through analyzing Einstein's remarkable scientific life, this paper reveals profoundly that Einstein integrates science and humanism based on the theory and practice. It also expounds that science and humanism are mutual, and science is definitely not isolated, it is based on humanism.

Key words: Einstein; science; humanism; view of science and culture

爱因斯坦是整个人类历史和思想史上一颗光耀千秋的科学巨星, 他那辉煌的科学成就, 深邃的哲学思想和高尚的道德情操, 是人类的精神瑰宝。他的一生犹如一个巨大而富饶的矿床, 可供我们认真研究和学习的非常丰富。在呼唤科学与人文相互交融的今天, 努力发掘和探讨爱因斯坦的科学文化观, 具有极其重要的现实意义。

一、科学探索中的人文动机

爱因斯坦关于科学探索中的人文动机, 主要包括:

1. 对‘自由与科学美’的渴求

爱因斯坦曾将科学家的探索动机划分为三种类型: 即自我满足型、功利型和超脱型。对绝大多数科学家来说, 这三种动机兼而有之, 只是每个人各种动机的成分有所不同。其中第三种类型的人为数较少,

收稿日期: 2004-07-08

作者简介: 程民治(1945-), 男, 安徽绩溪人, 巢湖学院物理系教授。

但却超凡脱俗,格调高雅。他们超越自我,努力实现更高的人生境界;有志于探索宇宙的和谐,追求科学创造中的艺术性,即追求、创造着科学美。

爱因斯坦本人就属于上述第三种类型的人。在他看来,对自在性的日常生活世界的超越,就是一种自由的境界,而这种自由的境界的获得则是通过科学探索和创造来实现的。爱因斯坦指出:“一个人的真正价值首先决定于他在什么程度上和在什么意义上从自我解放出来”^{[1](P35)}。一个人如果被日常生活中“反复无常的欲望”所缠绕,其内心就得不到平静和安宁,精神上就不能进入一种自由的境界。他在《探索的动机》《论科学》和《论自由》等文章中反复强调从事科学探索最有力的动机,在于逃避日常生活中的粗俗沉闷和单调乏味,在于摆脱反复无常的欲望的桎梏,在充满创造形象的世界里寻找避难所。超越性的自由境界是自在性的日常生活中所无法得到的,而对自然规律的探索可以使人获得一种精神上的自由,这种自由既不受权力和社会偏见的限制,也不受一般的未经审视的常规和习惯的羁绊。爱因斯坦曾说过,客观世界“在我们面前就像一个伟大而永恒的谜”“物理学的概念是人类智力的自由创造”,科学家“在专心从事这项事业中,找到了内心的自由和安宁”^{[2](P2)}“观察和理解的乐趣,是大自然最优美的礼物”^{[1](P315)}按照爱因斯坦的观点,科学和艺术、宗教在追求真善美的最高境界上是相似相通的。它们都可以提升人的精神境界,“一切宗教、艺术和科学都是同一株树下的各个分枝。所有这些志向都是为着使人类的生活趋于高尚,把它从单纯的生理上的生存境界提高”^{[1](P149)},他认为画家、诗人、思辨哲学家和自然科学家所做的工作在本质上是相通的,“他们都按自己的方式去做。各人都把世界体系及其构成作为他的感情生活的支点,以便由此找到他个人经验的狭小范围里所不能找到的宁静和安定”^{[2](P101)}。他们在自己的创造活动中获得的内心的“宁静和安定”,实质上就是一种超越了自然层面的生存之境而达到的自由之境。爱因斯坦进而把科学创造性活动中所获得的这种自由概括为“内在的自由”,或曰一种“消极的动机”。他并且呼吁:“只有不断有意识地追求外在的自由(按:指的是一种既能得到法律的保护,又能得到全民的宽容的一种言论自由)和内在的自由,精神生活的发展和完善才有可能实现,从而人类外在生命和内在生命才有可能得到改善”^{[3](P16)}。

同时,爱因斯坦认为,科学探索还有一种积极的动机,那就是科学和艺术不再是摆脱现实生活的“避难所”,而是一种“征服”。不过,这种“征服”已不再局限于“经验的世界”,而是在理性的世界里进行的,并且是通过理性的世界来“征服”经验世界。他说:“人们总想以最适当的方式来画出一幅简化和易领悟的世界图像;于是他就试图用他的这种世界体系(Cosmos)来代替经验世界并来征服它。……渴望看到这种先定的和谐,是无穷的毅力和耐心的源泉。”^{[2](P103)}在爱因斯坦看来,无论是科学家,还是哲学家和艺术家,他们都会用一种审美的眼光透视自然界,常常为自然界永恒的和谐而陶醉,为描绘这种“先定的和谐”而从事充满激情的探索,都试图用不同的工具描绘出一幅尽可能简化的和容易理解的“世界体系”。所不同的是,画家用的是色彩和线条,雕塑家用的是石膏,音乐家用的是音符,诗人用的是文字,哲学家用的是概念和原理,而科学家使用的则是逻辑和数学的“语言”。一旦科学家“发现数学概念之间的精美的联系”,就会给他带来“源源不断的创作动机”;使他获得“灵魂沉醉喜悦中的强烈战栗”和“一种壮丽的感觉”。这样的美感对爱因斯坦来说几乎接近获得人生超越的宗教感情。他曾宣称:“感觉到那种只能以其最原始的形式为我们感受到的最深奥的理性和灿烂的美——正是这种认识和这种情感构成了真正的宗教感情。”^{[1](P45)}

2. 对“宇宙宗教感情”的迷恋

由于受一些通俗科学书籍,特别是欧几里德的《几何原本》等书的影响,少年时代的爱因斯坦便毅然决然地与宗教信仰决裂。但后来因为受其本人的科学实践的促成、斯宾诺莎和普朗克的影响,以及受制于自身和社会的文化背景,在通向科学天堂的道路上,爱因斯坦却皈依了他所谓的“宇宙宗教”——一种无神论宗教。他心目中的“上帝”当然不是人格化的耶和华、耶稣,而是自然、理性和秩序。他强调说:“同深挚的感情结合在一起的对经验世界中所显示出来的高超的理性的坚定信仰,这就是我的上帝概念。”^{[2](P496)}在爱因斯坦看来,在“宇宙宗教”时代,“科学的宗教精神”对于科学家来说是不可或缺的。他

指出:‘我没有找到一个比‘宗教’这个词更好的词汇来表达我们对实在的理性本质的信赖;实在的这种理性本质至少在一定程度上是人的理性可以接近的。在这种信赖的感情不存在的地方,科学就退化为毫无生气的经验。’^{[2](P244)}从而也就无科学美可言。足见,在爱因斯坦的思想中,科学研究与科学美是与宗教感情密不可分的。只是在爱因斯坦那里,对自然对理性的崇敬代替了对上帝的崇敬。对自然理性的把握犹如对上帝的皈依,灵魂得到净化,精神获得安顿。他说:‘如果要使人类尽可能从自私自利的要求、欲望和恐惧的奴役中解放出来是宗教的目标之一,那么科学推理还能够从另一角度来帮助宗教。……凡是曾经在这个领域里胜利前进中有过深切经验的人,对存在中所显示出来的合理性,都会感到深挚的崇敬。……对体现于存在之中的理性的庄严抱着谦恭的态度,从宗教这个词的最高意义来说,我认为这种态度就是宗教的态度。’^{[1](P186)}这种对自然、对理性的宗教感情,爱因斯坦称之为‘宇宙宗教感情’。它既是理性的,又是充满着激情的,具体反映‘在科学上有伟大创造成就的人,全都浸染着真正的宗教的信念,’^{[1](P256)}‘你很难在造诣较深的科学家中间找到一个没有自己的宗教感情的人。……他的宗教感情所采取的形式是对自然规律的和谐所感到的狂喜和惊奇,因为这种和谐显示出这样一种高超的理性’^{[2](P526)}。而且随着人类精神不断地向前进化,‘通向真正宗教感情的道路,不是对生和死的恐惧,也不是盲目信仰,而是对真理知识的追求。’^{[1](P186)}因此,爱因斯坦认为这种出自于对宇宙的合理性的信仰而萌发的宇宙宗教感情,具体表现在科学创造的主体摆脱自我、超越自我的冲动,并在科学家对和谐的宇宙的追求和体现中实现。所以,只有“宇宙宗教感情”,才是科学研究的最强有力的最高尚的动机,无论科学和艺术探索的“消极的动机”还是其“积极的动机”,其实质都是对科学美的追求,只不过是前者被视为精神生活的消遣,后者被当作理性征服外部世界的手段。这样一来,科学和艺术间的屏障就消失了,它们都是建立在对自然界的征服的基础上,都是人类美的创造成果。由此可见,既不是宗教教徒又没有宗教倾向的爱因斯坦,在他所处的由于逻辑实证主义盛行而致使人文因素在科学文化中丧失了应有的地位的时代,仍然十分执著地为科学保留了一片人文信仰的空间,以及极力推崇科学与人文相互交叉融合的观点,实属难能可贵。

二、科学探索中的人文方法

爱因斯坦认为,建立在经验和理性基础上的科学并非绝对排斥人文方法。正如他所说:‘在科学思维中,永远存在着诗歌的因素,真正的科学和真正的音乐要求同样的思维过程。’^[4]其中爱因斯坦所推崇的人文方法主要有:

1. 对形而上学理念的虔诚

科学就其本质而言,它是经验的而不是思辩的,任何概念原理、定理、定则和定律等都必须诉诸实验的严格论证。而这似乎与人文系列尤其是宗教领域往往采取信仰的方式把握世界大相径庭。他说:‘每一个真正的理论家都是一种温和的形而上学者’;他们总是自觉不自觉地坚守自己“不可思议的信条”^{[2](P283)}。因为“人的五种感觉是有限度的体系”^[5],这就造成了科学并不是纯粹经验的活动,由‘内知觉’所获得的关于自身的意识结构、先天概念,关于世界的存在、人的存在以及人的某一方面活动的认识和把握等,甚至包括一些基本命题和理论,显然都不是能够诉诸经验检验的。这些认识是经验科学所达不到的领域。如果把这些认识内容从知识系统中统统清除出去,其结果只能是造成人类知识范围的缩小而不是扩大。

爱因斯坦对形而上学理念的虔诚,首先表现在他对科学信念的先验预设。在他看来,尽管科学信念一开始并未得到实践的检验(也许有的科学信念根本就无法用实践来验证),但是科学家还是坚信它们,“这是谁也不能缺少的一种信仰。”因为这种先验的理性信仰是科学探索中的一个重要因素,它不仅直接影响着科学家的研究方向和所要达到的目标,而且也是科学家孜孜不倦地从事艰难的研究工作的强大动力之一^{[2](P91)}。爱因斯坦甚至认为由科学信念所支持的人的意志,比那些似乎是无敌的物质力量有更

强大的动力。他的科学信念主要分为: 第一, 客观性。爱因斯坦坚信, 自然界是客观的, 自然规律是客观的。他坚定地认为一切自然科学的基础乃是相信有一个离开知觉主体而独立的外部世界。并且从自然界和自然规律的客观性出发, 坚信科学真理的客观性。第二, 可知性。爱因斯坦坚信自然界和自然规律至少部分地是我们的观察和思维所能企及的。他说: “相信世界在本质上是有序的和可认识的这一信念, 是一切科学工作的基础。”^{※21 (P284)}毫无疑问, 任何科学工作除完全不需要理性干预的工作以外, 都是从世界的合理性和可知性这种坚定的信念出发的。^{※21 (P284)}并认为这种关于世界的合理性或者可理解性的信念是宇宙宗教感情(即深挚地赞赏和敬仰自然神秘的统一性与和谐性)的亲属, 它存在于一切比较高级的科学工作的背后。如果丧失这种信赖的感情, 科学就失去了它应有的品位和魅力, 变为枯燥的经验。第三, 和谐性。坚信世界的和谐性, 是爱因斯坦矢志不移的科学信念; 追求以世界的和谐性为前提的科学理论的统一性, 是爱因斯坦始终不渝的既定目标。他说: “要是不相信我们的理论构造能够掌握实在, 要是不相信我们世界的内在和谐, 那就不可能有科学。这种信念是并且永远是一切科学创造的根本动力。”^{※21 (P379)}同时, 爱因斯坦还认为, 坚信自然界的和谐性, 就必须坚信科学的统一性, 这是客观世界的本性在主观世界中的反映, 并把在世界图像中尽可能地寻求逻辑的统一性看作科学的目标。

此外, 逻辑简单性原则、因果性也是爱因斯坦坚定不移的两个科学信念。在爱因斯坦看来, 上述科学探索的信念基础来自虔诚的形而上学的理念。他认为科学家那种不畏艰难、坚忍不拔的探求真理的精神, 正是来自于对宇宙和自然的一种根本性的理性信念, 其实质就是对宇宙统一性或合理性的一种执著的信仰, 也就是相信人的思维在某种意义上可以把握实在, 而这种信仰本身是无法得到科学解释和经验论证的。它是一种先验的信念, 是一种形而上学的虔诚。

与此同时, 爱因斯坦对形而上学理念的虔诚, 还表现在他认为科学理论的建立离不开形而上学的思辨, 特别强调科学对哲学的依赖关系。由于他抛弃了第二代实证论主义的主要代表马赫关于“概念来自经验”的观点, 并在自己的科学实践中吸取了康德形而上学的思想。因此他认为: “科学作为一种现存的和完成的东西, 是人们所知道的最客观的、同人无关的东西。但是, 科学作为一种尚在制定中的东西, 作为一种被追求的目的, 却同人类其他一切事业一样, 是主观的、受心理状态制约的。”^{※21 (P298)}爱因斯坦进而得出结论说: “科学不能仅仅在经验的基础上成长起来, 在建立科学时, 我们免不了要自由地创造概念, 而这些概念的适用性可以后验地用经验方法来检验。这种状况被前几代人疏忽了, 他们认为, 理论应当用纯粹归纳的方法来建立, 而避免自由地创造性地创造概念。”^{※21 (P309)}并认为物理学是从概念上掌握实在的一种努力。

2. 对非逻辑思维方式的信赖

所谓“非逻辑方式”, 指的是不能用一般形式所包括的思维方式, 它并不是艺术构思和艺术思维的专利, 它同样受到科学思维方式的青睐。爱因斯坦认为, 随着初始的假说变得愈来愈抽象, 离经验愈来愈远, 那种运用于科学幼年时代的以归纳法为主的方法, 正在让位于探索性的演绎法。爱因斯坦关于“概念是思维的自由创造”的思想就是一个生动的例证。他反复强调, 概念(或原理、定律)不能从直接经验通过逻辑过程(“归纳”“推导”……等)产生, 而只有通过非逻辑过程(“直觉”“猜测”“想像”甚至是“自由发挥幻想”等)创造出来。他甚至认为, 在物理学研究中, 通往普遍的基本定律“并没有逻辑的通道, 只有通过那种以对经验的共鸣的理解为依据的直觉, 才能得到这些定律”^{※21 (P102)}, 由此他进一步肯定狭义相对论这一发现决不是逻辑思维的成果, 尽管最终的结果同逻辑形式有关。所以, 他宣称“我相信直觉和灵感。……想象力比知识更重要, 因为知识是有限的, 而想象力概括着世界上的一切, 推动着进步, 并且是知识进步的源泉。严格地说, 想象力是科学研究中的实在因素。”^{※21 (P284)}

3. 对真理美学标准的设定

固然, 科学家在探索自然界奥秘的过程中, 总是以“求真”作为自己的第一思维目标。一个科学假说是否为真理, 最终要诉诸经验的证实。这就是科学的经验证实原则。但是爱因斯坦作为一位审美直觉型的科学家, 他还将其自然性原则(包括内在完备性、逻辑简单性)和对称性及和谐统一性原则, 作为他

毕生构建科学理论的有效工具或者评价选择科学理论的美学标准。在他看来,如果赋予理论体系的基础以“逻辑简单性”,客观世界的统一性、和谐性就可以在“思维自由创造”的理论体系中得到反映和体现。正是在这个意义上,爱因斯坦指出:“逻辑上简单的东西,当然不一定就是物理上真实的东西。但是,物理上真实的东西一定是逻辑上简单的东西,也就是说,它的基础具有统一性。”^{[2](P380)}“自然规律的简单性也是一种客观事实,而且正确的概念体系必须使这种简单性的主观方面和客观方面保持平衡。”^{[2](P214)}

在爱因斯坦一生的科学创造活动中,他能够自觉、潇洒自由地运用真理的美学标准,为我们树立了推动物理学不断发展的光辉范例。如在创立狭义相对论时,他十分关心各种物理理论之间形式上的不对称。他发现,电动力学和力学之间关于运动的相对性是不对称的。并在其论文的开头就指出麦克斯韦电动力学应用到运动物体上,就要引起“似乎不是现象所固有的”“一些不对称”,他引用了导体和磁体相对运动的例子。为了消除该例子中理论解释的不对称,他把力学中的相对性原理提升为公设,推广到电动力学。在光量子论文中,爱因斯坦为了消除力学和电动力学二者在各自的实体(粒子和场)方面存在的不对称,而提出了光量子假设。

又如,我们如果从爱因斯坦的逻辑简单性这一美学标准出发,去审视经典力学、狭义相对论和广义相对论,三者之间就形成了鲜明的对比,雄辩地说明了爱因斯坦的这一美学标准是放之四海而皆准的真知灼见,即“一切理论的崇高目标,就在于使这些不能简化的元素尽可能简单,并且在数目上尽可能少。同时不至于放弃对任何经验内容的适当表示”^{[2](P314)}。首先,将经典力学与狭义相对论进行比较,我们就不难发现:前者的时间和空间、动量和能量、电场强度和磁场强度等概念在逻辑上都没有必然的联系,都是独立的概念。而在后者中,时间和空间成为一个量(四维空间中的矢量)、能量和动量也成为一量(四维空间中的能量动量张量)、电场强度和磁场强度同样只是四维空间中的一个秩张量的不同分量而已。显然,狭义相对论中独立的概念要比经典力学中来得少。但是,狭义相对论的应用范围则更广,它既适用于经典力学只能描述的低速运动,又适用于高速运动,即使在微观高速过程中,狭义相对论仍显示了其精确性。其次,再将狭义相对论和广义相对论作一比较,也令人深感确实应该“把广义相对论看作是一切现有物理学理论中最美的一个”(朗道语)。由于后者比前者的前提更简单,则后者所涉及的事物种类更多,应用范围更广;理论结构的和谐性与对称性也就更圆满。具体地说,虽然广义相对论愈加抽象,推导亦愈加繁复,但从前提而论,却是更简单一些。后者的前提是“任何参考系(包括惯性和非惯性参考系)俱都等价”的广义相对性原理。狭义相对论置惯性系于特殊地位,撇开非惯性系而不论,以致不能解释引力场问题。而广义相对论将非惯性系置于与惯性系同等的地位,其对称性进一步提高;又因非惯性系与引力场在动力学意义上等效,这拓展后的理论结构就必然对引力场运动规律作出描述。可是,任何参考系之间坐标的一般变换比惯性系之间坐标的线性变换(洛伦兹变换)繁难得多,前提的简单性与数学论证和演绎推导的繁复性是同时增强的。即便如此,广义相对论的核心——爱因斯坦场方程却并不复杂,这是因为黎曼几何及其张量分析体系具有直观简洁而完美的表述形式。

爱因斯坦在自己的科学实践中,努力崇尚和推崇真理的美学标准,受到了众多著名学者高度的赞赏。如B·霍夫曼指出:“爱因斯坦的方法,虽然以渊博的物理学知识为基础,但在本质上是美学的、直觉的。……我们可以说,他是科学家,更是个科学的艺术家。”^[6]所以,自相对论问世(按:其中狭义相对论创立于1905年,广义相对论于1915年提出)以来,虽然已过去了一个世纪或近一个世纪,但它作为人类科学大厦中晶莹剔透的艺术珍品,有多少物理学家依然沉迷在它绚丽多姿的美之中。如密立根曾誉狭义相对论是19世纪一种美丽的光的波动理论的自然继续。玻恩称广义相对论在我面前像一个被人远远观赏的伟大艺术品。钱德·拉萨克认为广义相对论在我们推进的每个水平“都显示了调和中的奇异”,它具有比任何其他理论“都多的无与伦比的美”。狄拉克则依据审美标准,道出了他支持广义相对论的理由。他说:“这一理论的基础比人们仅仅从试验证据支持中能够取得的要深厚。真正的基础来源于这个理论的伟大的美。……我认为正是这一理论的本质上的美是人们相信这一理论的真正原因。”^[7]就连爱因斯坦本人晚年时也曾对别人谈起过广义相对论主要吸引人的地方,在于它逻辑上的完整性。从它推出的许多

结论中,只要有一个被证明是错误的,它就必须被抛弃;要对它进行修改而不摧毁其整个结构,那似乎是不可能的。

三、科学应用中的人文关怀

爱因斯坦认为,照亮人生道路的生活理想是真善美,科学家在“求真”的过程中,必然有一个导向“求善”的问题。他说:“客观世界为我们达到某些目的提供了有力的工具,但是终极目标本身和要达到它的渴望却必须来自另一个源泉。^{[1](P174)}这个源泉就是科学家的人文关怀或者说科学应用要“以人为本”。虽然科学与伦理是涉及事实与价值的两个互不相同的领域,但是,两者有着共同的价值精神。指出“科学的不朽的荣誉,在于它通过对人类心灵的作用,克服了人们在自己面前和在自然面前的安全感。^{[1](P137)}它解放着人的思想,增进人的智慧,为人类创造着精神财富。因此,从科学的本质上来说,真与善是统一的。爱因斯坦心目中的科学家“并不是每一个学过使用那些直接或间接地看来像‘科学的’工具和方法的人,……我只是指那些科学精神状态真正是生气勃勃的人。^{[1](P291)}即他所认为的科学家应该通过他的思想和工作的独立性唤醒时代,对他的同胞进行启蒙并且丰富他们的生活,肩负起作为一个科学家的道义和尊严。而决非被当作一个盲目的工具听任使唤,驯服地献出自己的才能;也决不是为了追求财产、权力、虚荣、奢侈、安逸、享乐,去帮助完成那些注定要造成人类普遍毁灭的工具。对于科学技术应用中的负效应,爱因斯坦表示了极大的忧虑和关注,他说:“这实在是难以忍受的令人心碎的悲剧。^{[1](P260)}为此,他从未停止过警示人们的科技成果对人类的异化危险,也从不讳言对运用科学技术制造大规模杀人的原子弹等反人道行为的谴责。第二次世界大战期间,他极力反对对日本使用原子弹。认为由于原子弹的产生,带来了一种恐怖的压力。应该利用这种压力‘迫使人类把秩序带到国际事务中去。^{[1](P204)}他提出了‘防范应该是储存原子弹的唯一目的’^{[3](P187)}之主张,力图使原子弹这一巨大的科学成果用于造福人类而不是置人类于末日。爱因斯坦曾大声疾呼:‘在我们这个时代,科学家和工程师担负着特别沉重的道义责任,因为发展大规模破坏性的战争手段有赖于他们的工作和活动。^{[1](P287)}并强调指出:‘关心人本身,应当始终成为一切技术上奋斗的主要目标。^{[1](P73)}爱因斯坦正是抱着这样一个坚定的信念:“人类有充分的理由把那些崇高的道德标准和道德价值的传播者置于客观真理的发现者之上。^[8]他在为科学做出了划时代的贡献的同时,还为科学有效地应用于人类的和平与正义事业而竭力呼号和奔走。综上所述,爱因斯坦这位千百年来难得一遇的“伟大的人”;他关于科学与人文融合的观点,生动地阐明了科学并不是孤立的科学,它是在人文的语境中并从中吸取人文滋养的科学,即科学有人文的精神与人文的内涵,没有人文的科学是残缺的科学。同理,也有以科学为奠基的人文,即人文有科学的基础与科学的精髓,没有科学的人文是残缺的人文。

[参 考 文 献]

- [1] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集(卷 3)[M]. 许良英译. 北京: 商务印书馆, 1979.
- [2] 爱因斯坦. 爱因斯坦文集(卷 1)[M]. 北京: 商务印书馆, 1976.
- [3] 爱因斯坦. 爱因斯坦晚年文集[M]. 海口: 海南出版社, 2000.
- [4] (苏)И. А. 拉契科夫. 科学学——问题·结构·基本原理[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 294.
- [5] 爱因斯坦, 英费尔德. 物理学的进化[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1962. 33.
- [6] 赵中立, 许良英. 纪念爱因斯坦译文集[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1977. 229.
- [7] 詹姆斯·W·麦卡里斯特. 美与科学革命[M]. 长春: 吉林人民出版社, 2000. 13.
- [8] Ferris T. The Other Einstein[M]. Science, 1983, 83: 36.

(责任编辑 张和平)