

# 牛顿的自然研究方法论

刘 华 桂

**内容摘要** 牛顿关于自然研究的方法论思想在近代科学发展史上占有极重要的地位。这种方法论坚定地继承了经验主义基调,极为反对当时还占有较大优势的经院哲学方法论,十分重视与经验和实验紧密相关的归纳方法在科学研究中的重要作用,也不排斥演绎方法、特别是假说在科学研究中的合理运用。不仅如此,牛顿在他的整个科学实践活动中,还创造性地运用了有效的数学方法作为思维工具,使他能从直接的经验材料中抽象出大量具有普遍意义的规定性即科学概念,并以此形成了严密的科学体系。

**关键词** 牛顿 自然研究方法论 《自然哲学的数学原理》 经验主义

牛顿关于自然研究的方法论思想在近代科学发展史上占有极其重要的地位。作为经典自然科学的缔造者,牛顿在他那个时代独树一帜的方法论思想无疑是导致他取得自然探索巨大成功的一个极端重要因素。正是他的这些思想的深远影响,引导着200年来科学家把经典科学发展到了顶峰。爱因斯坦深刻地指出:“牛顿成就的重要性,并不限于为实际的力学科学创造了一个可用的和逻辑上令人满意的基础,而且直到19世纪末,它一直是理论物理学领域中每个工作者的纲领。”<sup>[1]</sup>

爱因斯坦这里所指的“纲领”,实际上指的是牛顿基本的方法论思想。牛顿曾以极其精简的语言将他的方法论思想表述为著名的“哲学的推理法则”,即《自然哲学的数学原理》(以下简称《原理》)第三编首节中的推理四法则。它们是:“法则Ⅰ:除那些真实的并且足以说明现象的原因之外,不承认自然界事物的其它原因。法则Ⅱ:所以,对于自然界中相同的结果,必须尽可能归之于相同的原因。法则Ⅲ:物体的属性,凡是既不能增强也不能减弱的,并且在我们的实验所能及的范围内为一切物体所具有的,我们就应该把它们视为所有物体的普遍属性。法则Ⅳ:在实验哲学中,我们必须把那些从各种现象中运用一般归纳得出的命题看作是完全正确的,或者是非常接近的,尽管可以想象出任何与之相反的假说,但是没有出现其它现象足以使之更为正确或者导致例外以前,仍然应当给予如此的对待。”<sup>[2]</sup>大致说来,这四条反映了牛顿深信宇宙万物一致性的信念,其要旨是阐明了他面对自然的基本态度,以及如何从现象(观察和实验)出发,得到正确命题(定律和原理),从而建立科学理论,把握自然客观规律的基本方法论思想。时至今日,这四条法则在科学研究中仍然是有效的。

只要我们稍加分析牛顿的“四条法则”,就不难发现这样的要点,即始终强调这样一个简单然

而却是一切科学研究中非常重要的立场:专心于观察事实。在牛顿看来,科学本质上是通过自然进行实验得来的认识。这不仅表现在他坚信任何关于自然的基本原理都是从经验中归纳而来的,也表现在他坚持即便是通过理论自身结构演绎发现的定律也要在经验和实验中得到证实才能证明其真理性的思想。简言之,坚持自然研究的起点是经验和实验这一唯物主义认识路线是牛顿取得成功的根本前提。

牛顿的整个方法论基调是以经验为主的。正是这个基本立场,使牛顿在自然研究的起点问题上坚定地继承了以培根为代表的经验主义的方法论,极力反对当时还占有较大优势的经院哲学的方法论。因此,牛顿在《原理》原序中旗帜鲜明地提出他的自然哲学不是对自然现象作“隐蔽性质”的解释,而是“在于发现自然界的结构和作用,并且尽可能把它们归结为一些普遍的法则和一般的定律——用观察和实验来建立这些法则,从而导出事物的原因和结果”<sup>[3]</sup>。从这里可以看出,牛顿把科学研究的任务规定为从研究自然现象出发,从而发现自然规律、探索事物属性。其正确方法是从观察实验中归纳出事物的属性。

因此,牛顿把观察、实验列为科学研究的第一步。他着重指出:“物体的属性只有通过实验才能为我们所了解”<sup>[4]</sup>。“探索事物属性的准确方法是从实验中把它们推导出来”<sup>[5]</sup>。在具体的科学实践中,牛顿自己严格采用经验、实践的方法,他不仅制作过诸如日晷、水钟、透镜、棱镜和望远镜等多种力学和光学仪器,而且利用它们进行了大量的科学观测,由此取得了一些重大科学发现,如光的色散效应和牛顿环现象等。

当然,牛顿自己非常清楚地知道:“实验—归纳”发现科学定律虽然是一种重要的科学发现逻辑,但却不是唯一的,例如人们也可以通过“数学—演绎”发现科学定律。实际上,牛顿本人曾自觉地采用这种方法,并发现了大量的科学定律。不过,牛顿强调指出,通过“数学—演绎”发现的科学定律,也必须经过实验作出鉴定证实后才能列入其理论体系之中。例如,他在《原理》第一编从三条基本运动定律推出六条推论之后,强调指出:“迄今我所写下的这些原理,都是已为数学家们所接受,并为许多实验事实所证明了的。”<sup>[6]</sup>由此可见,牛顿不仅把观察实验看成自然研究的起点,而且把它看成检验认识成果是否具有真理性的标准。牛顿明确宣称,他之所以相信他所提出的理论是对的,不是由于它来自这样一种推论,因为它不能别样而只能这样……而是因为它是从得出肯定而直接的结论的一些实验中推导出来的”<sup>[7]</sup>。因此,牛顿告诫人们,考察他的理论是否正确的关键点就在于考虑他所提出的实验,“是否确实证明了这个理论中应用了这些实验的那些部分,或者是去进行为理论自身的验证而提出其它实验”<sup>[8]</sup>。他还说,在实验的确证面前,一切异议都将变得软弱无力。牛顿的这一思想至今看来也是十分正确的。

牛顿虽然十分重视与经验和实验紧密相关的归纳方法在科学研究中的重要作用,但他并不排斥演绎方法,特别是假说方法在科学研究中的合理应用。许多人常常根据牛顿的这句名言“我不作假说”批评牛顿蔑视理性思维在科学研究中的作用,我以为这是对牛顿的莫大误解。

实际上,牛顿的“我不作假说”的意旨是与他坚持自然研究的起点是经验和实验的主张相一致的。甚至可以这样说:前者是对后者的最有力的注脚。我们只有具体地考察牛顿时代关于自然研究的基本态度,确切地明辨牛顿“假说”一词的含义,才能完整地理解牛顿的整个关于自然研究的基本方法论思想,以及为什么牛顿强调和坚持自然研究的起点是经验和实验这一看似颇为

简单的方法论原理何以在历史上起了这么大的作用。

我们从与牛顿同时代的科学家、剑桥三一学院研究员罗杰·科茨为牛顿《原理》第二版写的序中,可以清楚地知道牛顿时代主要有三类不同的自然哲学家。第一类自然哲学家渊源于亚里士多德,他们的学说是以“一些特定的物体的现象是按照不知其所以然的方式进行的”这种原则为基础的。比如亚里士多德把天体规定为圆周运动,把地球上的物体规定为直线运动,实际上亚里士多德并未解释过物体从何处获得这些特性,而圆周运动和直线运动的原则又成为亚里士多德运动学和天文学的基础。第二类自然哲学家是“把假说看作他们思辨的第一原则的人”,这是指以笛卡尔为代表的唯理论科学家,他们不是以经验为基础,而是以先验的“第一原理”和假说为出发点。第三类自然哲学家就是牛顿式的科学家,他们“从不把没有被现象所证明的东西作为原理”,而是从现象出发,利用分析法导出规律,再利用综合法得出普遍的原理而去说明其它事物的构造<sup>[9]</sup>。

其次,我们要注意到“假说”一词在牛顿那里有多种含义。例如有的学者指出牛顿著作中“假说”一词一共有九种含义<sup>[10]</sup>。我认为主要意义有两个,其一是他那个时代对假说的特定理解——泛指那些不是从现象出发的理论,即笛卡尔的方法;其二是指从现象得出而尚待证明的理论,这与现代对假说的理解是一致的。因此,牛顿的“我不作假说”是将“假说”一词限制在第一种意义上使用的,主要在于对抗笛卡尔式的唯理倾向,即以假说为出发点,通过思辨,并不是在实证的基础上建立体系,并不是一般地反对假说方法。不作这样的理解,就不能解释为什么牛顿自己也常常使用假说。比如,他的光的微粒说,解释引力机制时的超距作用等,都是以假说的形式出现的。关于对“假说”一词的第二种意义的理解,牛顿曾这样写道:“因为进行哲学研究的最好的和最可靠的方法,看来第一是,勤恳地去探索事物的属性,并用实验来证明这些属性,然后进而建立一些假说,用以解释这些事物本身。因为假说只应该用于解释事物的一些属性,而不能用以决定它们,除非它能为之提供一些实验。”<sup>[11]</sup>由此看来,牛顿对假说方法的合理应用是持肯定态度的。

由于牛顿坚持实证的科学研究道路,因此有背于在欧洲源远流长的思辨传统,常为此遭到他同时代人的非议。例如惠更斯和莱布尼兹曾批评牛顿工作的非哲学性。我们从这里可以理解牛顿坚持自然研究的起点是经验和实验的主张需要何等的理论勇气。正是靠了牛顿的努力和卓有成效的工作,自然研究才被纳入了有坚实根基的实证研究道路。爱因斯坦对牛顿的“我不作假说”的理解是深刻的,值得我们好好体味:“理论物理学的广博而合用的体系的首创者牛顿却相信,他的体系的基本概念和基本定律是能够以经验中推导出来的。这无疑就是他所说的‘我不作假说’(hypotheses non fingo)的意义。”<sup>[12]</sup>

自然研究起点是经验与实验,这为自然研究的认识成果能正确地反映客观现实,从而指导人们能动地改造自然提供了保证。但是自然研究的重要任务却在于最终能超越直接的经验,从看似混乱和不断变化的大量自然现象中探索出一个有秩序和有意义的协调一致的结构——即科学的概念和体系,并以这种方式解释自然现象以及对未来做出预言。用爱因斯坦的话来说:“各门科学的目的是要协调我们的经验并使它们成为一个逻辑体系。”<sup>[13]</sup>总之,自然研究的目的是力图构成一套有条理的、逻辑的和必要的总的思想体系,使我们经验的每一成分都能得到解释。

牛顿在他后期出版的《光学》一书中对他研究自然的方法以及自然研究成果的表达等问题作了较明白周详的阐述。他写道:“在自然科学里,应该像在数学里一样,研究困难的事物时,总是应当先用分析的方法,然后才用综合的方法。这种分析法包括实验和观测,以及通过归纳法从中作出普遍的结论,并且不使这些结论遭到异议,除非这些异议来自实验或其它确实可靠的真理。因为在实验哲学中是不应该考虑什么假说的。虽然通过归纳法从实验和观测中进行的论证并非普遍结论的证明,但它是事物的本性所许可的最好的论证方法,并且随着归纳的愈为普遍,这种论证就愈有力。如果在许多现象中没有出现例外,那么可以说,结论就是普遍的。……用这样的分析方法,我们就可以从复合物论证到它们的成分,从运动到产生运动的力,一般地说,从结果到原因,从特殊原因到普遍原因,一直论证到最普遍的原因为止。这就是分析的方法。而综合的方法则是假定原因已经找到,并且已把它们定为原理,再用这些原理去解释由它们发生的现象,并证明这些解释。”<sup>[14]</sup>由此可以看出,牛顿的方法论是基于经验和实验基础之上的分析—综合过程。所谓“分析过程”,是指依据经验和实验发现“一般定律”,从而找出事物的原因。在牛顿以前,伽利略等人曾运用这种方法打开了认识自然界的大门,发现了许多至今仍正确的定律,如惯性定律、自由落体运动定律等。但牛顿之所以能作出更大的理论贡献,其中一个重要原因就在于牛顿非常重视所谓“综合过程”,即根据已发现的“一般定律”,运用数学—演绎相结合的方法以及公理化方法,建立知性的概念体系,从而凭借科学理论这种最高知识形态最大限度地发挥科学思维的逻辑力量。

牛顿在《原理》的原序中说:“由于古人认为研究自然事物时力学最为重要,而今人则舍弃其实体形状和隐蔽性质而力图以数学定律说明自然现象,因此我在本书中也致力于用数学来探讨有关的哲学问题。”<sup>[15]</sup>由此可见,在牛顿的心目中,数学方法以无与伦比的方式提供了理解和安排自然的技术。

纵观牛顿的整个科学实践活动,我们不难发现,作为近代科学初步完成者,牛顿不仅善于运用经验材料,更为重要的是能从直接的经验材料中抽象出大量具有普遍意义的规定性,即科学概念,并以此形成严密的科学体系。这主要得助于他创造性地运用了有效的思维工具——数学方法,才在科学史上第一次在经验自然科学上实现了古希腊人所追求的科学知识确定性、精密性和理论化的理想。

重视数学及其数学方法,这一直是欧洲科学和哲学的优良传统。特别是近代以来,人们更加自觉地将数学作为一种思维工具用来探索自然。近代科学的先驱伽利略就是其中的杰出代表。伽利略相信自然界是用数学设计出来的,坚决地同臆测的神秘的看法决裂而赞成力学的数学的观点。他认为,科学研究应该从定量观察和实验入手,从中获得准确的观测数据,再经过数学分析和处理从而获得相应的数学表达式。牛顿对伽利略的科学方法是赞赏并加以继承的。正如梅森所说:“牛顿的方法事实上和伽利略采用的方法非常之像,不但在总的方面相似,而且在细节上也相似。”<sup>[16]</sup>值得注意的是,牛顿不仅自觉地将数学方法用于自然研究,而且还亲自发明新的数学手段以应对复杂现象的解剖。在牛顿之前,数学语言在运动问题上只能用于静态地描述关系,远不能适应于刻画运动的动态过程。为此,牛顿发明了微积分。他用微分方程使刻画运动过程的瞬时状态得以可能。从这里可以清楚地看出,数学方法在牛顿那里得到了极大的重视。爱

因斯坦一语道破了个中缘由：“对牛顿来说，把这种方法搞得更完善，是绝对必要的，因为只有这种方法才能为他提供表达他的思想的工具。”<sup>[17]</sup>

有的学者指出：“科学产生于用数学解释自然这一信念。”<sup>[18]</sup>这也许有偏狭之嫌。但无疑有一点可以肯定，数学作为最精纯完善的知性科学，它在主要以知性为其特征的实证科学中的作用是绝对的，其原因在于数学是知性思维表达的最有效的工具。

数学通过对事物的“量和形”的突出打破了直观经验事物和量的一般描述，为人们深入事物内部、抽象出具有普遍意义的规定性提供了条件。数学的抽象方法确定远离了现实，但是当回到现实时，它却比把所有因素都考虑进去更为有力。至于数学方法的知性特征所固有的认识上的局限性只能放在由感性、知性、理性三个不同的环节组成的人的思维进程这个统一体中加以理解，否则孤立地谈它的片面性是无任何意义的，甚至是有害的。因为这将导致将数学的知性方法当作“形而上学”方法而加以排斥。其实，“知性是人类特有的抽象与概括能力的表现，是从事实证科学研究的方法论的灵魂，是高级的人类辩证的哲学思维不可缺少的基础”<sup>[19]</sup>。这就是我们从牛顿将数学应用于自然研究获得成功中所得到的启示。

知识的积累使科学面临着知识的系统化，由此引发了用什么方法建立严密科学体系的任务。

在牛顿以前的西方历史上，有一个在这方面取得非凡成功的光辉范例，这就是欧几里德的《几何原本》。欧几里德凭着公理化方法，将散见的、由许多人各自发现的不同几何定律囊括在仅由一些基本概念和定义、以及极少数的公理和公设，通过演绎组成的严密体系之中。这个鸿篇巨制的体系深深地影响着西方的思想发展史。尽管《几何原本》显示出来的那种追求一种纯粹思维、远离经验的唯理倾向至少压抑着多少世纪以来人们将经验知识通过类似的方法建立体系的冲动，尽管我们现在可以说《几何原本》远不是纯形式化的体系，它的公理的经验依赖性仍有明显的痕迹，但无论如何，《几何原本》在历史上长期以来给人们的强烈印象却是形式化的数学几何体系。

牛顿的伟大在于他明察到《几何原本》的经验来源。他写道：“几何学是建立在力学的实践之上的，它无非是普通力学的一部分，能精确地提出并论证测量的方法。”<sup>[20]</sup>正是基于这卓越的认识，牛顿充满信心地、毫无愧色地依照欧几里德的公理化方法将带有具体内容的自然知识组成为博大精深的体系。如果说欧几里德在历史上建立起了第一个较形式化的数学几何体系，那么牛顿是首次创造性地将具体内容与形式化相统一建立了科学的力学理论。海森堡对牛顿力学公理系统作了这样的说明：“牛顿的《自然哲学的数学原理》一书从一组定义和公理开始，这些定义和公理是这样内在地联系在一起，以致它们构成了人们可称为闭合系统的一组东西。每一个概念能用一个数学符号表示，而不同概念之间的联系可以用数学符号的数学方程表示。系统的数学映象保证系统中不出现矛盾。这样，物体在作用力的影响下可能产生的运动就由方程的可能解表示。能够用一套数学方程表示的定义和公理系统，被看作是描述自然的永恒结构的系统，既与特殊的空间无关，也与特殊的时间无关。”<sup>[21]</sup>总之，牛顿力学所以成为近代科学时期里发展出包括众多分支的古典物理学庞大体系的基础，就因为牛顿应用公理化方法，借助于数学一演绎方法，建立了严密的数学化的力学理论体系，从而使科学思维具有无可估量的逻辑力量。

我们在这里试图加以说明的是：从牛顿用公理化方法建立数学力学理论这个明显事实，可以

清楚地看到牛顿的科学方法论不同于与他同时代的两种极端倾向,即既不同于以培根为代表的经验主义方法,也不同于以笛卡尔为代表的唯理主义方法,而是兼有了二者优点。如果仅仅仰仗培根的归纳法,就不可能促使牛顿去精心构想《原理》这样的宏伟体系;如果片面坚持笛卡尔的先验的自明原理,就不能想象牛顿敢将由经验归纳得出的三条运动定律称作公理作为其体系的出发点。

牛顿的《原理》是一部伟大的不朽著作,这虽已为人们所公认,但书中采用的研究方法却没有得到应有的研究和重视。我觉得,在我们今天的科学方法论研究中,理应深入研究这部著作,挖掘其所蕴含的科学方法,这无论在理论上还是实践上都是十分有益的。

### 注释

[1][12][17]《爱因斯坦文集》第1卷,商务印书馆1976年版,225页、312页、223页。

[2][3][4][5][6][7][8][11][15][20]塞耶编《牛顿自然哲学著作选》,上海人民出版社1974年版,3—6页、1页、4页、9页、35页、9页、9页、6页、10页、11页。

[9]参丹皮尔《科学史》,244—245页。

[10]参约翰·洛西《科学哲学历史导论》,94页。

[13][14]见G. Holton《物理科学的概念和理论导论》上册,高等教育出版社1983年版,258页、254页。

[16]梅森《自然科学史》,上海译文出版社1981年版,187页。

[18]克莱因《古今数学思想》第2册,上海科学技术出版社1980年版,37页。

[19]萧焜焘《精神世界掠影》,江苏人民出版社1987年版,75页。

[21]海森堡《物理学和哲学》,商务印书馆1981年版,52页。

(刘华桂:四川省经济管理干部学院政治系,讲师,四川成都610041)