

近代科学 的 建构 机械论与力学

THE
CONSTRUCTION
OF
MODERN
SCIENCE
MECHANISMS
AND
MECHANICS

内 容 简 介

本书作者以17世纪翔实的科学史料为依据,遵循那个时代各门科学的代表人物的思想脉络,论述了在机械论哲学的影响下,各门科学在17世纪的发展概况。

第一章以开普勒和伽利略为主线,阐述了牛顿之前天上的动力学与地上的力学的发展过程。第二章探索了从吉尔伯特、笛卡尔到伽桑狄机械论哲学自身的形成及其特点,指出了机械论哲学对17世纪各门科学的深刻影响。第三章论述了气压计及光学理论的发展。第四章描述了机械论哲学使得化学进入科学范围的过程。第五章论述了17世纪的生物学在机械论哲学影响下突飞猛进的发展。科学事业的发展离不开科学事业的组织,第六章分析了科学社团在科学发展中的作用。第七章介绍了17世纪对碰撞与圆周运动的研究,分析了两个主题对17世纪力学科学的影响。第八章以牛顿动力学为主线,分析了牛顿将伽利略所代表的数学描述传统与笛卡尔所代表的机械论哲学传统相统一,并确立了现代科学发展的整个框架,完成了17世纪的科学革命。

剑桥科学史英文版编者

乔治·巴萨拉 (George Basalla), 特拉华大学 (University of Delaware)

威廉·科尔曼 (William Colman), 威斯康星大学 (University of Wisconsin)

剑桥科学史汉译编委会

主 编: 任定成 龚少明

编 委: (以姓氏汉语拼音字母为序)

曹珍芬, 复旦大学出版社

丁荣源, 复旦大学出版社

龚少明, 复旦大学出版社

郝刘祥, 中国科学院自然科学史研究所

刘 兵, 清华大学人文社会科学学院

彭万华, 北京大学科学与社会研究中心

任定成, 北京大学科学与社会研究中心

苏贤贵, 北京大学哲学系/宗教学系

田 铭, 中国科学技术大学研究生院(北京)

袁江洋, 中国科学院自然科学史研究所

周雁翎, 北京大学科学与社会研究中心

英文版《剑桥科学史》总序

在西方世界智力劳动的成就中,科学的地位越来越突出。不管是出于宗教的目的,还是出于哲学上的探索,或者出于技术上创新的要求和经济上的考虑,科学的发展的确建立了自身独特的思想体系,而且还明确了专业训练和实践的具体标准。在这一过程中,又逐步建立了很有特色的社会团体和研究机构。相应地,科学——天文学,物理学及相关的数学方法,化学,地质学,生物学及医学的方方面面,还有关于人的研究——的历史,不但显示出极大的重要性和异常的复杂性,而且还为进一步分析研究提出了大量带有挑战性的难题。

半个多世纪以来,国际上有一批学者致力于各门科学的历史研究。他们的研究著作,只有具备相当水平的专业知识的读者才能真正理解,换言之,这类作者只热衷于为科学史领域的少数专业人士而写作。这就产生了一种悖论,即受过现代教育,并关注科学技术及其在人类生活和现代文化中的作用的人们,反而很难理解那些专门从事说明科学的概念演变和社会影响的学者的看法。

《剑桥科学史丛书》的主编和撰稿者们却是那些既致力

于科学史的研究,又面向广大读者的作者群体。各书的作者熟悉各自专业的学术文献,但要成书却很不容易,因为他们需要在综合科学史的最新学术成就和相关结论的基础上,再向普通读者讲述西方历史中各个重要时期内的科学活动,还要对这些科学活动作出言简意赅的评价和分析。本套丛书中各卷都是一个相对独立的整体,全套丛书就描绘出西方科学传统的全貌。此外,各卷都罗列了与其主题相关的内容广泛的文献简介,以利读者深入研究时参考。

乔治·巴萨拉

威廉·科尔曼

《剑桥科学史》汉译弁言

科学是国际性的文化。以科学为对象的科学史,也是国际性的文化。了解国际学术背景并进而在国际学术背景下工作,是我们发展自己的学术事业的必由之路。

巴萨拉和科尔曼编辑的这套科学史丛书,历时近 30 年,从 1971 年至今共出版 11 部(1971—1975 年由约翰·威利父子公司出版了其中的 4 部,从 1977 年起改由剑桥大学出版)。丛书的作者都是优秀的科学史学家。他们或者是国际科学史研究院院士,或者是国际学术组织负责人,或者是国际性学术奖得主,在国际科学史界占有重要的学术地位。他们以准确、精短的叙述和分析,继承了已有的科学史遗产,总结了新的科学史研究成就,纠正了对科学史的种种谬见和误解,勾勒出科学发展的复杂图景,为我们奉献了一批科学史著作的精品。

科学家们在他们的科学工作之外撰写科学史的历史相当悠久。

据说,欧德摩斯(Eudemus)在公元前 4 世纪写过天文学史和数学史著作。普罗克拉斯(Proclus)和辛普利西乌斯(Simplicius)分别在 5 世纪和 6 世纪有过关于欧几里得数学

史和前亚里士多德自然哲学史的论述。现代科学诞生即文艺复兴时期,古典权威的捍卫者和新科学的先驱都把历史作为斗争的工具。在他们心目中,只有历史古老性和权威性才是学术思想合法性最有力的论证。

到18世纪,科学家们撰写的科学史在两个方向上展开。在一个方向上,普里斯特利(Joseph Priestley, 1733—1804)等人把科学史当作科学家们已经做的和能够做的事情的报告。其主要特征是按照作者所处时代关注的主题,着重描述相应专业的具体知识的演化,由此形成了科学家们塑就的持续至今的科学—历史传统。普里斯特利的《电学史》(1767)和《光学史》(1772)、蒙丢克拉(Jean Étienne Montucla, 1725—1799)的《数学史》(1758)、巴伊(Jean-Sylvain Bailly, 1736—1793)的《天文学史》(1775—1782),都是这个传统中的优秀范例。这个传统中的作品,有时候也被人们不太恰当地称为“内史”作品。与内史相对的另一种科学史传统被称作“外史”,因为它着眼于具体的科学知识之外那部分与科学事业相关的历史。在这个方向上展开的科学史,从斯普拉特(Thomas Sprat, 1635—1713)开始。他撰写的《皇家学会史》(1667)是科学建制史而不是科学知识史。惠威尔(William Whewell, 1794—1866)的《归纳科学史》(1837)可能是第一部科学通史著作。

19世纪末20世纪初,迪昂(Pierre Duhem, 1861—1916)的研究,开创了把科学史研究建立在严格的文献考证基础上的风气。可以说,到这个时候,科学史研究的学术传统和基本范型已经奠定了较为坚实的基础。与此相联系,随着科学的职业化及其社会地位的提升,一些著名科学家,如海克尔(E.H.P.A. Haeckel, 1834—1919)、奥斯特瓦尔德

(F. W. Ostwald, 1853—1932)等人,主张从根本上改造传统史学,用科学家取代国王在历史中的地位,用以科学进步为基础的历史取代以经济、政治、战争和外交为主要内容的历史,从而确认科学在文化中的支配地位。与此同时,考古学、人类学和语文学等学科取得的一些重要成就,进一步充实科学史的内容,丰富了科学史的研究范围。科学史的成就及其独立价值越来越得到社会的认同;借助一些具体的社会形式,科学史与其研究对象一样,也开始了其职业化进程。

科学史的职业化大致有这样一些外在标志:1892年,法国任命第一位科学史教授;1900年,第一届国际科学史大会在巴黎举行;1912年,萨顿(George Sarton, 1884—1956)创办迄今最有影响的科学文化史刊物《爱西斯》;1924年,美国成立了国际性的科学史学会;1923年,辛格(Charles Singer, 1876—1960)在伦敦大学学院创设科学史与科学方法系;1929年,国际科学史学会成立;40年代,哈佛大学授予第一个科学史专业的哲学博士学位;50年代,科学史终身成就奖萨顿奖章设立。现在,全世界的科学史或医学史研究机构已达数百个,著名大学几乎都设有科学史教学机构或研究生培养计划,重要的科学史学术刊物至少数十种,每年发表的科学史书籍或论文数千部(篇)。

要在汗牛充栋的文献中,保持审视不同科学史观、取舍恰当的科学史方法、辨识科学史方向和潮流、鉴赏优秀科学史作品的的能力,对于外行,甚至职业科学史学家来说,都是一个相当困难的问题。感谢剑桥科学史丛书的编者,他们为我们选择了当代科学史著作的珍品,为我们了解这一领域的优秀成果提供导引;也要感谢剑桥大学出版社和复旦

大学出版社的精诚合作,特别是龚少明先生、林骧华先生的卓有成效的工作,感谢剑桥大学出版社版权部主任克里斯蒂娜·罗伯茨(Christina Roberts)和中国访英学者周午纵先生的热情帮助,经过众多译者的艰苦案头工作和出版社编辑的认真审校,这套丛书的汉译才得以问世。

剑桥科学史丛书从一定意义上反映出第二次世界大战以后世界各国科学史领域的重大成就。丛书既为文化史和各相关专业的学生和学者提供了高水准的参考书,又为一般读者提供了了解科学文化发展的指南。每部书末附有进一步的阅读文献,其间夹有作者对相应文献的简要评介,为有兴趣者进一步研究指出了门径。更为可贵的是,丛书在论述过程中渗入了科学史的现代研究方法和思维方式。应当说,寄寓于优秀科学史著作中的科学史观和科学史方法,是最有生命力的。

我国改革开放以来,已经翻译出版了不少优秀的科学哲学著作和一定数量的科学社会学经典著作。相比之下,优秀科学史著作的翻译出版相当薄弱。从学术研究的角度看,这种情况不仅不利于国内科学史界了解国际学术背景,而且也使科学哲学和科学社会学研究缺乏必要的科学史基础。科学哲学和科学社会学的深入研究,离不开对新的重大的科学史成就的分析、诠释和概括。这套丛书的翻译出版,如能为相关学术领域研究的深入发展起到一些积极的作用,则幸甚。

任定成

1999年12月于承泽园

目 录

序·····	1
导言·····	1
第一章 天上的动力学与地上的力学·····	1
第二章 机械论哲学 ·····	25
第三章 机械论科学 ·····	44
第四章 机械论化学 ·····	68
第五章 生物学和机械论哲学 ·····	87
第六章 科学事业的组织 ·····	113
第七章 力学科学·····	128
第八章 牛顿动力学·····	148
进一步阅读建议·····	169
英汉译名对照表·····	177
译 后 记 ·····	189

序

过去7年,我一直在讲授17世纪科学史。这本曾经给普通大学生讲授过的教科书概述了我对17世纪科学史的认识。我明白我的认识还没有达到(甚至接近)最终的完形;我想,假如我从现在开始再花5年时间重写本书,我会把更多的篇幅用在文艺复兴时期的自然主义(或赫尔墨斯传统,正如我有时称呼的),以及科学运动用以自我表达的社会学形式上。然而,我认为这些变化不会使本书完全改变。相反,它们会构成一种结构上的修改,这种结构所追求的是提出关于科学革命的前后一致的诠释,而科学革命所拥有的不仅仅是一时的价值。

我必然受惠良多。我要感谢印地安纳大学及其科学史与科学哲学系给我机会,使我致力于撰写本书所必需的持续研究。我感谢许多图书馆,特别是剑桥大学、哈佛大学和印地安纳大学的图书馆,让我使用它们的设施和服务。我的学生给了我机会检验与他们善意的怀疑相撞击的思想。我在印地安纳大学和其他地方的同事提出了明达的意见和批评。我的家庭给予我始终如一的支持,没有他们的支持任何良机都不会有结果。最后,我要特别感谢的是我的儿子阿尔弗雷德,他为我编写了索引。

理查德·S·韦斯特福尔

导 言

两个主题统治着17世纪的科学革命——柏拉图-毕达哥拉斯传统和机械论哲学。柏拉图-毕达哥拉斯传统以几何关系来看待自然界,确信宇宙是按照数学秩序原理建构的;机械论哲学则确信自然是一架巨大的机器,并寻求解释现象后面隐藏着的机制。本书探索受这两种主导倾向共同影响的近代科学的建立。这两种倾向并非总是融洽吻合。毕达哥拉斯传统用秩序处理现象,满足于发现某个精确的数学描述,并把这种描述理解为对宇宙终极结构的一种表达。相反,机械论哲学关心的则是诸个别现象的因果关系。笛卡尔主义者至少信奉自然界对于人的理智是透明的这一命题,机械论哲学家一般说来力图从自然哲学中消除每一丝朦胧,并证实自然现象是由不可见的机制引起的,而这种机制完全类似于日常生活中人们所熟知的机制。这两个思想运动追求不同目的,导致相互冲突,而且显然不只是数学科学受到了影响。由于它们提出了冲突的科学理想和不同的程序方法,远离毕达哥拉斯几何化传统的科学,如化学和生命科学,都受到了这种冲突的影响。对机械因果关系的阐释常常站在与通向精确描述之路相反的路途上,科学革命的充分完成要求消除这两个主导倾向之间的张力。

科学革命不只是关于自然的思想范畴的重建。它也是

一种社会学现象,既表达了从事科学研究活动者的数目不断增长,又产生了在近代生活中起着越来越有作用的一套新体制。然而,在我看来,遵循其自身内在逻辑的思想发展是建立近代科学的中心要素,而且,尽管我力图在某种程度上指出这场科学运动的社会学结果,但是本书表达的是,我确信科学革命史必须首先集中在思想史上。

第一章

天上的动力学与地上的力学

17 世纪来临之际,哥白尼的天文学革命已过去了 50 多个年头。或许更确切的说法是,哥白尼的《天体运行论》(*De revolutionibus orbium coelestium*, 1543)一书已面世 50 余年。这本书是否引起了一场革命还有待确定,说它引起了一场革命,那是因为:在 1600 年刚刚度过了他们最初的一段科学生涯的两个人——开普勒和伽利略将成为这场革命的主要推动者。约翰尼斯·开普勒(*Johannes Kepler*, 1571—1630 年)和伽利略·伽利莱(*Galileo Galilei*, 1564—1642)都承认哥白尼是他们的导师,且都献身于巩固哥白尼开创的天文学理论革命。尽管他们在各自的贡献中都以哥白尼不大可能接受的方式修改了哥白尼主义,但他们都为巩固这场革命作出了实质性的贡献。哥白尼本人曾在亚里士多德科学之公认框架的范围内就行星理论作过有限的改革,但到开普勒和伽利略时,有限的改革成为激进的革命,而且,17 世纪里的那些奠定了现代科学结构基础的工作,就在于探求开普勒和伽利略开启的各种问题。理智史并非总能均匀地划分成与日历吻合的节目单,科学家们亦不关心把他们的工作划分为与学术科目相一致的一些单位。然而,17 世纪的曙光正好和科学新纪元的曙光同步。

开普勒最初登上其职业舞台还是在4年以前,即1596年,他出版了《宇宙的奥秘》(*Cosmographic Mystery*)。在20世纪人们眼中,这本书甚至比其书名所显示的更神秘,但当对它研究时,其神秘性正体现着开普勒工作的许多特征。它公开承认哥白尼学说,并从行星的数目入手证明日心说理论的正确性。在托勒密体系中月亮被看成是一颗行星,哥白尼体系则少一颗行星,即只有六颗而不是七颗行星。开普勒试图证明上帝何以选择创造一个有六颗行星的宇宙亦即日心说宇宙。上帝的选择,结果弄清楚是,存在五种、并且只有五种规则立方体。如果一个立方体与一个半径为土星半径的球体内接,那么与该立方体再内接的球体半径将是木星的半径,余者类推。五个规则立方体决定了六个球体之间的空间,并且因为只存在着五种规则的立方体,所以只可能存在六颗行星。《宇宙的奥秘》所探究的问题并不是现代科学所关注的那类问题。正因为此种原因,这本书更清楚地揭示了开普勒赖以进行其天文学工作的基本假定。就像在他之前的哥白尼一样,开普勒深深地受惠于文艺复兴时期新柏拉图主义,并且吸纳了宇宙按几何原理建构的原理。开普勒比哥白尼出生晚两代,他有条件正确地看到哥白尼体系何以未能达到他们两人共同相信的几何简单性理想。按照新柏拉图主义原理,开普勒的工作可说是哥白尼天文学的完善化。

开普勒同样确信,天文学理论绝不仅仅是说明观察现象的一套套数学方法,它也必须依赖于合理的物理学原理,从导致行星运动的原因推知行星的运动。他在其最杰出的著作上冠以《建基于原因之上的新天文学,或基于火星运动研究的天体物理学》(*New Astronomy Founded on Causes, or Celestial Physics Expounded in a Commentary on the Movements of Mars*)的标题。亚里士多德(Aristotle)时代以来,即在开普勒之前的两千年里,已有一致的看法,具体地讲天是由水晶球构成的。天界被认为是完美的并具有不易性,这必然要求有一种不同于组成尘世中易腐坏的万物之四种元素的物质,而且球体的绕轴旋

转,即天的被允许的一种运动,对应于完美的圆周运动,人们希望天文学家由这类圆周运动建构他们的理论。哥白尼著作标题所说的“天球”(Celestial Spheres)即是同样的水晶球。然而,开普勒确信水晶球根本不存在。第谷·布拉埃(Tycho Brahe, 1546—1601)和其他人对1572年的新星与1577年的彗星的仔细观察都证明这两者皆位于月界之外,而月界被认为是不易的。彗星的运动显然同水晶球体的存在是不相容的。“正如第谷·布拉埃已经证明的,这样的球体不存在”——通过开普勒的著作,这一句子就跟着广为流传。一旦水晶球体被击碎,那就必须建立一种新的天体物理学以说明稳定的、循环往复的行星运动。对开普勒来说,对物理原因的持续研究与对几何结构的研究结合进行,这两者不过是同一事物的不同方面而已。

开普勒所运用的物理原理表达了亚里士多德动力学的基本命题,而17世纪又用完全不同的一套原理取代了它们。无论如何,开普勒是现代天体力学的奠基人。他第一个坚持认为:长期公认的天的水晶结构并不存在,并且认为关于天体运动的一组新问题必须用公式表示。由于确信自然的一致性,他试图通过运用地上力学中的相同原理来说明天上的各种现象。开普勒在这一方面而非其他方面的思想,使他成为现代科学早期历史上的一个富有创见的人物。在他那里,我们能看到一种基于地上力学原理建立起来的天上的力学开始取代对天的纯运动学处理。一种探求理解控制行星运动的力的天文学,代替了被认为是表达了一个遥远王国的完美与不朽的天体运转的轨道操作。即使开普勒的力学原理最终揭示了它们自身并不令人满意,然而,根据这些原理开普勒得出了今天仍被接受的行星运动定律。

当然,开普勒所寻求揭示的是真实的数学结构和真实的物理原因。这些东西必须同观察一致,开普勒拒绝将一些先验的理论不惜违背观察事实而强加于自然界之上。这里就提出了《宇宙的奥秘》

的问题。就水星与土星而言，理论与公认的观察背道而驰。然而，开普勒意识到那些已被接受的观察是不可靠的，而且一位当代观察者——第谷·布拉埃，正在收集迄当时为止更加精确的一批数据。在1600年，开普勒成为第谷的助手。在1601年第谷辞世，近水楼台，开普勒运用了这批宝贵的观察资料。作为不可替代的数据，开普勒的天才在于根据这些数据提出了行星运动定律。

火星是开普勒工作的主要对象。开普勒一贯坚信太阳系的结构统一性，他毫不迟疑将他对火星得出的结论运用于其他行星。1609年出版的《新天文学》(*Astronomia Nova*)收录了这些结论。但书中还包含了更多的内容，就像一份关于理智活动的自传，它详细描述了研究的每一步，以至于我们能跟踪开普勒思想的进展，而对于其他的科学家，我们很少能做到这一点。书中所揭示的思想进步过程分两方面：一方面，这是一个远离由过时的对圆着迷的思想转向承认非圆轨道的过程；另一方面，这是一个由远离泛灵论思想模式转向率直的机械论宇宙观的过程。

自从希腊科学繁荣以来，天文学一直试图通过匀速圆周运动的组合来说明天上的现象。由于圆是完美的图形，只有它适合于描述天体。开普勒也借助于圆开始他对火星的思考，但从一开始他的处理就不同于前人。在他以前的天文学家已经对圆进行了组合——即使用一个基本的均轮，此轨迹正如其名称所表示的那样，是由偏轮和本轮组合而成，而一个研究者可以选择多种方式进行组合——以说明观察到的行星的位置（见图1.1）。将这些圆彼此衔接在一起，矢径方向上的半径的增减，就决定着将行星放置在观察发现它所在的位置上的过程。相反，开普勒确信新的物理学思考更为优越，确信水晶球体并不存在，确信行星仍然按照确定的轨道通过空旷的空间。因此，从一开始他所关注的就是轨道本身。以前的理论没有提出行星的轨道是一个圆。开普勒最先尝试使火星正好适合于这样一个圆轨道。然而，在使用这种圆轨道的过程中，开普勒通