

科学素养文化·科学元典丛书

自然哲学之数学原理

〔英〕艾萨克·牛顿著

王克迪译

袁江洋校



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

自然哲学之数学原理 〔英〕牛顿著 王克迪译 北京：北京大学出版社，1956

科学素养文库·科学元典丛书

I 援自... II 援①牛...②王... III 援经典力学 IV 援

中国版本图书馆CIP数据核字(1956)第000000号

书名：自然哲学之数学原理

著作责任者：〔英〕牛顿著 王克迪译 袁江洋校

丛书策划：周雁翎

丛书主持：陈斌惠

责任编辑：陈斌惠

标准书号：155009·001·001

出版发行：北京大学出版社

地址：北京市海淀区成府路 252号 邮编：100871

网 址：http://www.pup.cn 电子邮箱：bj@pup.cn

电 话：邮购部 010-62750174 发行部 010-62750175 编辑部 010-62750176

排版者：兴盛达打字服务社 印刷者：北京印刷厂

印刷者：

787毫米×1092毫米 1/32开本 10.5印张 210千字

1956年 1月第 1版 1956年 1月第 1次印刷

定 价：1.50元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，翻版必究

盗版举报电话：(010) 62750174 62750175 62750176

弁摇摇言

· *Preface to Series of Chinese Version* ·



这套丛书中收入的著作,是自文艺复兴时期现代科学诞生以来,经过足够长的历史检验的科学经典。为了区别于时下被广泛使用的“经典”一词,我们称之为“科学元典”。

我们这里所说的“经典”,不同于歌迷们所说的“经典”,也不同于表演艺术家们朗诵的“科学经典名篇”。受歌迷欢迎的流行歌曲属于“当代经典”,实际上是时尚的东西,其含义与我们所说的代表传统的经典恰恰相反。表演艺术家们朗诵的“科学经典名篇”多是表现科学家们的感情和生活态度的散文,甚至反映科学家生活的话剧台词,它们可能脍炙人口,是否属于人文领域里的经典姑且不论,但基本上没有科学内容。并非著名科学大师的一切言论或者是广为流传的作品都是科学经典。

这里所谓的科学元典,是指科学经典中最基本、最重要的著作,是在人类智识史和人类文明史上划时代的丰碑,是理性精神的载体,具有永恒的价值。

—

科学元典或者是一场深刻的科学革命的丰碑,或者是一个严密的科学体系的构架,或者是一个生机勃勃的科学领域的基石。它们既是昔日科学成就的创造性总结,又是未来科学探索的理性依托。

哥白尼的《天体运行论》是人类历史上最具革命性的震撼心灵的著作,它向统治西方思想千余年的地心说发出了挑战,动摇了“正统宗教”学说的天文学基础。伽利略《关于

托勒密与哥白尼两大世界体系的对话》以确凿的证据进一步论证了哥白尼学说,更直接地动摇了教会所庇护的托勒密学说。哈维的《心血运动论》以对人类躯体和心灵的双重关怀,满怀真挚的宗教情感,阐述了血液循环理论,推翻了同样统治西方思想千余年、被“正统宗教”所庇护的盖伦学说。笛卡尔的《几何》不仅创立了为后来诞生的微积分提供了工具的解析几何,而且折射出影响万世的思想方法论。牛顿的《自然哲学之数学原理》标志着 17 世纪科学革命的顶点,为后来的工业革命奠定了科学基础。分别以惠更斯的《光论》与牛顿的《光学》为代表的波动说与微粒说之间展开了长达 100 余年的论战。拉瓦锡在《化学基础论》中详尽论述了氧化理论,推翻了统治化学百余年之久的燃素理论,这一智识壮举被公认为历史上最自觉的科学革命。道尔顿的《化学哲学新体系》奠定了物质结构理论的基础,开创了科学中的新时代,使 19 世纪的化学家们有计划地向未知领域前进。傅立叶的《热的解析理论》以其对热传导问题的精湛处理,突破了牛顿《原理》所规定的理论力学范围,开创了数学物理学的崭新领域。达尔文《物种起源》中的进化论思想不仅在生物学发展到分子水平的今天仍然是科学家们阐释的对象,而且 150 多年来几乎在科学、社会和人文的所有领域都在施展它有形和无形的影响。《基因论》揭示了孟德尔式遗传性状传递机理的物质基础,把生命科学推进到基因水平。爱因斯坦的《狭义与广义相对论浅说》和薛定谔的《关于波动力学的四次演讲》分别阐述了物质世界在高速和微观领域的运动规律,完全改变了自牛顿以来的世界观。魏格纳的《海陆的起源》提出了大陆漂移的猜想,为当代地球科学提供了新的发展基点。维纳的《控制论》揭示了控制系统的反馈过程,普里戈金的《从存在到演化》发现了系统可能从原来无序向新的有序态转化的机制,二者的思想在今天的影 响已经远远超越了自然科学领域,影响到经济学、社会学、政治学等领域。

科学元典的永恒魅力令后人特别是后来的思想家为之倾倒。欧几里得的《几何原本》以手抄本形式流传了 1500 余年,又以印刷本用各种文字出了 1500 版以上。阿基米德写了大量的科学著作,达·芬奇把他当作偶像崇拜,热切搜求他的手稿。伽利略以他的继承人自居。莱布尼兹则说,了解他的人对后代杰出人物的成就就不会那么赞赏了。为捍卫《天体运行论》中的学说,布鲁诺被教会处以火刑。伽利略因为其《关于托勒密与哥白尼两大世界体系的对话》一书,遭教会的终身监禁,备受折磨。伽利略说吉尔伯特的《论磁》一书伟大得令人嫉妒。拉普拉斯说,牛顿的《自然哲学之数学原理》揭示了宇宙的最伟大定律,它将永远成为深邃智慧的纪念碑。拉瓦锡在他的《化学基础论》出版后 17 年被法国革命法庭处死,传说拉格朗日悲愤地说,砍掉这颗头颅只要一瞬 间,再长出这样的头颅一百年也不够。《化学哲学新体系》的作者道尔顿应邀访法,当他走进法国科学院会议厅时,院长和全体院士起立致敬,得到拿破仑未曾享有的殊荣。傅立叶在《热的解析理论》中阐述的强有力的数学工具深深影响了整个现代物理学,推动数学分析的发展达一个多世纪,麦克斯韦称赞该书是“一首美妙的诗”。当人们咒骂《物种起源》是“魔鬼的经典”、“禽兽的哲学”的时候,赫胥黎甘做“达尔文的斗犬”,挺身捍卫进化论,撰写了《进化论与伦理学》和《人类在自然界的位置》,阐发达尔文的学说。经过严复的译述,赫胥黎的著作成为维新领袖、辛亥精英、五四斗士改造中国的思想武器。爱因斯坦说法拉第在《电学实验研究》中论证的磁场和电场的思想是自牛顿以来物理学基础所经历的最深刻

变化。

在科学元典里,有讲述不完的传奇故事,有颠覆思想的心智波涛,有激动人心的理性思考,有万世不竭的精神甘泉。

二

按照科学计量学先驱普赖斯等人的研究,现代科学文献在多数时间里呈指数增长趋势。现代科学界,相当多的科学文献发表之后,并没有任何人引用。就是一时被引用过的科学文献,很多没过多久就被新的文献所淹没了。科学注重的是创造出新的实在知识。从这个意义上说,科学是向前看的。但是,我们也可以看到,这么多文献被淹没,也表明划时代的科学文献数量是很少的。大多数科学元典不被现代科学文献所引用,那是因为其中的知识早已成为科学中无须证明的常识了。即使这样,科学经典也会因为其中思想的恒久意义,而像人文领域里的经典一样,具有永恒的阅读价值。于是,科学经典就被一编再编、一印再印。

早期诺贝尔奖得主奥斯特瓦尔德编的物理学和化学经典丛书《精密自然科学经典》从1903年开始出版,后来以《奥斯特瓦尔德经典著作》为名一直在编辑出版,有资料说目前已经出版了10卷余卷。祖德霍夫编辑的《医学经典》丛书从1904年就开始陆续出版了。也是这一年,蒸馏器俱乐部编辑出版了10卷《蒸馏器俱乐部再版本》丛书,丛中全是化学经典,这个版本甚至被化学家在20世纪的科学刊物上发表的论文所引用。一般把19世纪拉瓦锡的化学革命当作现代化学诞生的标志,把1914年爆发的第一次世界大战称为化学家之战。奈特把反映这个时期化学的重大进展的文章编成一卷,把这个时期的其他全部总结性化学著作各编为一卷,辑为10卷《19世纪以来的化学发展》丛书,于1925年出版。像这样的某一科学领域的经典丛书还有很多很多。

科学领域里的经典,与人文领域里的经典一样,是经得起反复咀嚼的。两个领域里的经典一起,就可以勾勒出人类智识的发展轨迹。正因为如此,在发达国家出版的很多经典丛中,就包含了这两个领域的重要著作。1926年起,沃尔科特开始主编一套包括人文与科学两个领域的原始文献丛书。这个计划先后得到了美国哲学协会、美国科学促进会、科学史学会、美国人类学协会、美国数学协会、美国数学学会以及美国天文学学会的支持。1926年,这套丛书中的《天文学原始文献》和《数学原始文献》出版,这两本书出版后的10年内市场情况一直很好。1927年,他把这套丛书中的科学经典部分发展成为《科学史原始文献》丛书出版。其中有《希腊科学原始文献》、《中世纪科学原始文献》和《19世纪(1800—1870年)科学原始文献》,文艺复兴至19世纪则按科学学科(天文学、数学、物理学、地质学、动物生物学以及化学诸卷)编辑出版。约翰逊、米利肯和威瑟斯庞三人主编的《大师杰作丛书》中,包括了小尼德勒编的10卷《科学大师杰作》,后者于1927年初版,后来多次重印。

在综合性的经典丛中,影响最为广泛的当推哈钦斯和艾德勒1927年开始主持编译的《西方世界伟大著作丛书》。这套书耗资100万美元,于1936年完成。丛书根据独

创性、文献价值、历史地位和现存意义等标准,选择出 20 位西方历史文化巨人的 20 部作品,加上丛书导言和综合索引,辑为 20 卷,篇幅 20 万单词,共 2000 页。丛书中收入不少科学著作。购买丛书的不仅有“大款”和学者,而且还有屠夫、面包师和烛台匠。迄 1954 年,丛书已重印 10 次左右,此后还多次重印,任何国家稍微像样的大学图书馆都将其列入必藏图书之列。这套丛书是 20 世纪上半叶在美国大学兴起而后扩展到全社会的经典著作研读运动的产物。这个时期,美国一些大学的寓所、校园和酒吧里都能听到学生讨论古典佳作的声音。有的大学要求学生必须深研 10 多部名著,甚至在教学中不得使用最新的实验设备而是借助历史上的科学大师所使用的方法和仪器复制品去再现划时代的著名实验。至 1960 年代末,美国举办古典名著学习班的城市达 100 个,学员约 2000 余众。

相比之下,国人眼中的经典,往往多指人文而少有科学。一部公元前 300 年左右古希腊人写就的《几何原本》,从 1850 年到 1950 年的 100 年间先后 10 次汉译而未果,经 20 世纪初和 1950 年代的两次努力才分别译刊出全书来。近几百年来移译的西学典籍中,成系统者甚多,但皆系人文领域。汉译科学著作,多为应景之需,所见典籍寥若晨星。借 1960 年代末举国欢庆“科学春天”到来之良机,有好尚者发出组译出版《自然科学世界名著丛书》的呼声,但最终结果却是好尚者抱憾而终。1980 年代初出版的《科学名著文库》,虽使科学元典的汉译初见系统,但以 10 卷之小的容量投放于偌大的中国读书界,与具有悠久文化传统的泱泱大国实不相称。

我们不得不问:一个民族只重视人文经典而忽视科学经典,何以自立于当代世界民族之林呢?

三

科学元典是科学进一步发展的灯塔和坐标。它们标识的重大突破,往往导致的是常规科学的快速发展。在常规科学时期,人们发现的多数现象和提出的多数理论,都要用科学元典中的思想来解释。而在常规科学中发现的旧范型中看似不能得到解释的现象,其重要性往往也要通过与科学元典中的思想的比较显示出来。

在常规科学时期,不仅有专注于狭窄领域常规研究的科学家,也有一些从事着常规研究但又关注着科学基础、科学思想以及科学划时代变化的科学家。随着科学发展中发现的新现象,这些科学家的头脑里自然而然地就会浮现历史上相应的划时代成就。他们会对科学元典中的相应思想,重新加以诠释,以期从中得出对新现象的说明,并有可能产生新的理念。百余年来,达尔文在《物种起源》中提出的思想,被不同的人解读出不同的信息。古脊椎动物学、古人类学、进化生物学、遗传学、动物行为学、社会生物学等领域的几乎所有重大发现,都要拿出来与《物种起源》中的思想进行比较和说明。玻尔在揭示氢光谱的结构时,提出的原子结构就类似于哥白尼等人的太阳系模型。现代量子力学揭示的微观物质的波粒二象性,就是对光的波粒二象性的拓展,而爱因斯坦揭示的光的波粒二象性就是在光的波动说和粒子说的基础上,针对光电效应,提出的全新理论。而正是

与光的波动说和粒子说二者的困难的比较,我们才可以看出光的波粒二象性说的意义。可以说,科学元典是时读时新的。

除了具体的科学思想之外,科学元典还以其方法学上的创造性而彪炳史册。这些方法学思想,永远值得后人学习和研究。当代研究人的创造性的诸多前沿领域,如认知心理学、科学哲学、人工智能、认知科学等等,都涉及到对科学大师的研究方法的研究。一些科学史学家以科学元典为基点,把触角延伸到科学家的信件、实验室记录、所属机构的档案等原始材料中去,揭示出许多新的历史现象。近二十多年兴起的机器发现,首先就是对科学史学家提供的材料,编制程序,在机器中重新做出历史上的伟大发现。借助于人工智能手段,人们已经在机器上重新发现了波义耳定律、开普勒行星运动第三定律,提出了燃素理论。萨伽德甚至用机器研究科学理论的竞争与接受,系统研究了拉瓦锡氧化理论、达尔文进化学说、魏格纳大陆漂移说、哥白尼日心说、牛顿力学、爱因斯坦相对论、量子论以及心理学中的行为主义和认知主义形成的革命过程和接受过程。

除了这些对于科学元典标识的重大科学成就中的创造力的研究之外,人们还曾经大规模地把这些成就的创造过程运用于基础教育之中。美国兴起的发现法教学,就是几十年前在这方面的尝试。近二十多年来,兴起了基础教育改革的全球浪潮,其目标就是提高学生的科学素养,改变片面灌输科学知识的状况。其中的一个重要举措,就是在教学中加强科学探究过程的理解和训练。因为,单就科学本身而言,它不仅外化为工艺、流程、技术及其产物等器物形态、直接表现为概念、定律和理论等知识形态,更深蕴于其特有的思想、观念和方法等精神形态之中。没有人怀疑,我们通过阅读今天的教科书就可以方便地学到科学元典著作中的科学知识,而且由于科学的进步,我们从现代教科书上所学的知识甚至比经典著作中的更完善。但是,教科书所提供的只是结晶状态的凝固知识,而科学本是历史的、创造的、流动的,在这历史、创造和流动过程之中,一些东西蒸发了,另一些东西积淀了,只有科学思想、科学观念和科学方法保持着永恒的活力。

然而,遗憾的是,我们的基础教育课本和不少科普读物中讲的许多科学史故事都是误讹相传的东西。比如,把血液循环的发现归于哈维,指责道尔顿提出二元化合物的元素原子数最简比是当时的错误,讲伽利略在比萨斜塔上做过落体实验,宣称牛顿提出了牛顿定律的诸数学表达式,等等。好像科学史就像网络上传播的八卦那样简单和耸人听闻。为避免这样的误讹,我们不妨读一读科学元典,看看历史上的伟人当时到底是如何思考的。

现在,我们的大学正处在席卷全球的通识教育浪潮之中。就我的理解,通识教育固然要对理工农医专业的学生开设一些人文社会科学的导论性课程,要对人文社会科学专业的学生开设一些理工农医的导论性课程,但是,我们也可以考虑适当跳出专与博、文与理的关系的思考路数,对所有专业的学生开设一些真正通而识之的综合性课程,或者倡导这样的阅读活动、讨论活动、交流活动甚至跨学科的研究活动,发掘文化遗产、分享古典智慧、继承高雅传统,把经典与前沿、传统与现代、创造与继承、现实与永恒等事关全民素质、民族命运和世界使命的问题联合起来进行思索。

我们面对不朽的理性群碑,也就是面对永恒的科学灵魂。在这些灵魂面前,我们不是要顶礼膜拜,而是要认真研习解读,读出历史的价值,读出时代的精神,把握科学的灵

魂。我们要不断吸取深蕴其中的科学精神、科学思想和科学方法,并使之成为推动我们前进的伟大精神力量。

需要说明的是,编辑科学元典丛书的计划,曾经得益于彭小华先生及李兵先生的支持。1980年代初,在科学史学界一些前辈学者和同辈朋友的帮助下,我主编了《科学名著文库》,由武汉出版社出版。十多年过去了,我更加意识到编辑和出版科学元典丛书的意义。现在,在北京大学出版社的支持下,我们得到原《科学名著文库》以及其他汉译科学元典译者的帮助和配合,编辑出《科学素养文库·科学元典丛书(第一辑)》,奉献给读者。这套丛书的前期组织工作,还得到了中国科学技术协会科普专项资助。当然,科学经典很多。我们不可能把所有科学经典毫无遗漏地都收进这套丛书中来。我们期待着,继第一辑之后,这套丛书还会有第二辑、第三辑……的出版。当然,这需要有更多的优秀译者加入我们的行列。

任定成

1999年 愿月 远日

北京大学承泽园迪吉轩

《自然哲学之数学原理》导读

摇摇

• *Chinese Version Introduction* •



《自然哲学之数学原理》的体系、结构和特点——
《自然哲学之数学原理》各部分导读——牛顿本人为
《自然哲学之数学原理》一至三版所作序言——科茨
为《自然哲学之数学原理》第二版所作的序言——牛
顿的生平

摇摇《自然哲学之数学原理》是牛顿一生中最重要的科学著作。

《原理》(第一版)成书于1687年,是牛顿经过16年的思考、实验研究、大量的天文观测和无数次数学演算的结晶。这16年,以及这之前的几十年里,欧洲的许多先进思想家和科学家在研究自然和数学方面取得了许多成就。其中直接或间接影响牛顿的思想体系以及《原理》的主要有:

哥白尼(1473—1543)提出了日心说。在哥白尼以前,欧洲占统治地位的宇宙学说是亚里士多德—托勒密(2—100)地心说体系。地心说本来是许多种宇宙学说中的一种,与纪元前后人们的天文观测水平相适应,它认为地球处于宇宙的中心,行星和太阳、月亮围绕着地球旋转,宇宙的最外层是不动的恒星,上帝住在遥远的恒星天注视着人类活动的地球,主宰着整个宇宙。由于这一学说符合上帝创造世界和人的基督教教义,后来在政教合一的欧洲成为占统治地位的意识形态,长期禁锢欧洲的思想界达千年之久。它的影响所及,既包括人们对于世界的基本看法,也影响人们对于天文历法编制、普通物体运动,甚至人类的生老病死的具体看法、解释和态度,可谓无所不包。但是,到中世纪中后期,随着人们天文观测精度的提高和观测资料的大量积累,地心说越来越不能自圆其说,不能满足实际需要。例如编制历法,到中世纪后期,天文现象与历法之间的误差越来越大,不仅天象(如日月食)无法预报和解释,连季节变换和每年的元旦都定不准,误差竟达几个月。

波兰的天主教神父和天文学家哥白尼对地心说体系发起了挑战,他用神学的语言和毕生天文观测的数据写成了《天体运行论》一书。他指出,更合理的宇宙结构应当是太阳为宇宙中心,地球和其他行星绕太阳旋转,旋转的轨道是完美的圆形。但哥白尼预计到自己的学说会被当做宗教异端对待,他直到临死前才发表了这部著作。

哥白尼的著作和学说赢得了有独立思考能力的思想家和科学家的赏识。意大利哲学家布鲁诺(1584—1642)就到处宣传日心说,遭到教会的迫害,他在备受酷刑摧残之后,被烧死在火刑柱上。

意大利科学家伽利略也相信日心说。他进一步认为,自然的语言是数学,观察和研究自然要通过科学的实验,而要表达自然的运动规律,应当使用数学和实验数据。伽利略发明了折射望远镜,并且用望远镜发现了木星的卫星,伽利略认为木星的卫星围绕木星旋转充分说明了哥白尼原理的正确性。伽利略还发现了惯性原理,他用数学关系精确表达了运动物体的距离与时间的关系(如自由落体),他研究过单摆的运动,他还研究了力的合成及抛体运动。伽利略写下了两本著名的书:《关于托勒密和哥白尼两大世界宇宙体系的对话》和《关于两种科学的对话》,集中表达了他的科学(主要是物理学和天文学)成就,以及他对于宇宙和新的实验科学的看法。他被宗教法庭判为异端。他屈服了,写下了“悔过书”,但他被押离法庭时还是喃喃自语:“但是地球毕竟是在动的!”伽利略死于1642年,1687年之后,牛顿出生了。

从伽利略以后,新的实验科学获得了地位,数学语言取代哲学思辨语言用于表达自

然的规律,成为时尚。但是宇宙体系问题还远远没有解决。哥白尼日心说简洁优美,但在天文计算中却十分繁杂,比起托勒密地心体系甚至有过之而无不及。于是德国天文学家第谷(1576-1641)提出了折中方案,认为太阳和月亮围绕地球旋转,行星围绕太阳旋转,但是这并没有使问题变得简单些。第谷的学生开普勒认识到需要作更加精密的天文观测,然后才有可能回答宇宙体系的问题。他一生孜孜不倦地观测天象,用大量数据总结出天体(行星)运动三定律,其核心是发现行星的运行轨道是椭圆,而不是哥白尼所说的正圆,太阳或地球位于椭圆的两个焦点之一。开普勒的行星运动定律是牛顿之前人类所取得的最高天文学成就。

与伽利略的实验科学传统略有不同的是法国哲学家和数学家笛卡尔(1596-1650)。以今天的眼光看来,笛卡尔有些奇怪,他在数学上很有建树,对于代数学和几何学都有很大贡献,他发明了我们今天十分熟悉的坐标系,以及把几何问题转化为代数问题的解析几何。马克思(1818-1883)评价笛卡尔,说从他开始,运动被引入了几何学。在哲学世界观上,笛卡尔坚持用自然的原因来解释自然,但是他在认识论上却又是个不可知论者,他的名言是“我思故我在”。

笛卡尔的哲学学说有极大影响,从他年轻时直到死后统治整个欧洲长达一个世纪。这影响波及科学领域,特别是天文学和物理学。在物理学上,笛卡尔及其追随者强调有某种特殊的物质“以太”(牛顿所说的“隐秘的质”),它们充满空间,因为“自然厌恶真空”,以太传递物体之间的相互作用,使物体的运动得以持续。“以太”是一种想象中的物质存在,一种纯思辨的产物,它排除了物质世界里和物体运动关系中神的作用,但为探究自然规律设置了新的障碍。

困难在于它既无法测量,又难以想象。笛卡尔学说的最大成就和最大失败都集中体现在它的宇宙论中。它承认日心说体系。因为它必须否认真空的存在,他设想宇宙中充满以太,太阳的转动在以太中形成宇宙涡旋,涡旋运动带动各个行星运动,从而有我们见到的天象奇观。这一解释从哲学思辨上来说,其成功是前所未有的,它首次提出了一个不诉诸神力的宇宙动力学模型,很有想象力,满足了人们解释天象的思辨需要。

但是,笛卡尔学派的涡旋说在具体的天文现象的解释上却遭遇到重重困难,例如,地球和各行星的自转,这要求在整个宇宙的大涡旋中有局部的方向和速度都不相同的小涡旋,而且因为各个行星围绕太阳的公转速度不同,大涡旋的到太阳距离不同的部分的旋转速度也不相同,这很难与人们的日常经验相符;更糟的是,某些行星,如火星,有时会出现天文学中常见的“逆行”现象,似乎宇宙大涡旋中的某些层次有时会随心所欲地发生“逆转”,这对于以自然解释自然的信条构成了严重障碍。还有,涡旋说无法说明行星发光现象,只能暗示天体实际上是某种与地面物体很不相同的“精英”物质,这就又请回了亚里士多德的宇宙论。最后,涡旋说对于具体的天文现象的解释与实际观测数据相矛盾,在《原理》第二编的末尾,牛顿指出涡旋的速度与它到涡旋中心的距离成正比,然而天文观测数据表明行星的速度与它到太阳距离的平方成正比,这对涡旋说来说是致命的。

笛卡尔宇宙体系是牛顿出世时面对的最大的宇宙体系,英国和整个欧洲大陆的大学都讲授它,以它为标准的宇宙学说。牛顿在大鼠疫时期就已经看出笛卡尔体系的问题,

摧毁这一体系,成为牛顿研究生涯的首要直接目标。而要建立起一个全新的体系,则要经过长达 16 年的思考和研究,直到完成《原理》的写作。

牛顿在思想上还受到英国的思想家培根(1562—1621)、洛克(1632—1704)和摩尔(1627—1700)等人的影响,他们都强调经验论的作用。在科学思想和神学思想上,牛顿又受到同时代的英国化学家玻义耳(1627—1709)的影响,认为每一个哲学家的最崇高的职责是认识并证明上帝的存在和完美,自然界是上帝创造的,它只是上帝的神性的外在形式,它可以为人类所认识和想象,人类只能通过自然哲学去研究自然才能最终认识上帝。在此意义上,牛顿毕生所从事的各种研究,包括数学、物理学、天文学、炼金术、圣经考古学和圣经年代学以及神学等,都是服务于他心目中的上帝的。

此外,当牛顿进入学术研究时,与他同时代的一些科学家也做出了一些重要的工作,如荷兰物理学家和天文学家惠更斯发明了发条钟和摆钟,这为准确的科学计时准备了条件;荷兰工程师贝克曼(1634—1702)的提出一切运动都要找出其力学原因的思想,为机械唯物主义做好了铺垫;地理大发现已经过去了一个多世纪,欧洲人早已有能力在地图上画满经度和纬度线,以准确定位地球上的每一点。

牛顿的《原理》正是在这样的背景下写作出来的。

《自然哲学之数学原理》的体系、结构和特点

牛顿并没有声称自己要构造一个体系。牛顿在《原理》第一版的序言一开始就指出,他要“致力于发展与哲学相关的数学”,这本书是几何学与力学的结合,是一种“理性的力学”,一种“精确地提出问题并加以演示的科学,旨在研究某种力所产生的运动,以及某种运动所需要的力”。他的任务是“由运动现象去研究自然力,再由这些力去推演其他运动现象”。

然而牛顿实际上构建了一个人类有史以来最为宏伟的体系。他所说的力,主要是重力(我们今天称之为引力,或万有引力),以及由重力所派生出来的摩擦力、阻力和海洋的潮汐力等,而运动则包括落体、抛体、球体滚动、单摆与复摆、流体、行星自转与公转、回归点、轨道章动等,简而言之,包括当时已知的一切运动形式和现象。也就是说,牛顿是要用统一的力学原因去解释从地面物体到天体的所有运动和现象。

在结构上,《原理》是一种标准的公理化体系。它从最基本的定义和公理出发,“在第一编和第二编中推导出若干普适命题”。第一编题为“物体的运动”,把各种运动的形式加以分类,详细考察每一种运动形式与力的关系,为全书的讨论做了数学工具上的准备;第二编讨论“物体(在阻滞介质中)的运动”,进一步考察了各种形式的阻力对于运动的影响,讨论地面上各种实际存在的力与运动的情况。牛顿在第三编中“示范了把它们应用于宇宙体系,用前两编中数学证明的命题通过天文现象推演出使物体倾向于太阳和行星的重力,再运用其他数学命题由这些力推算出行星、彗星、月球和海洋的运动”。在全

书(我们选用的这个第三版)的最后,牛顿写下了一段著名的“总释”,集中表述了牛顿对于宇宙间万事万物的运动的根本原因——万有引力——以及我们的宇宙为什么是一个这样优美的体系的总原因的看法,集中表达了他对于上帝的存在和本质的见解。

在写作手法上,牛顿是个十分专注的人,他在搭建自己的体系时,虽然仿照欧几里得(公元前3世纪)的《几何原本》,但从没有忘记自己的使命是解释自然现象和运动的原因,没有把自己迷失在纯粹形式化的推理中。他是极为出色的数学家,在数学上有一系列一流的发明,但他严格地把数学当做工具,只是在有需要时才带领读者稍微作一点数学上的远足。另一方面,牛顿也丝毫没有沉醉于纯粹的哲学思辨。《原理》中所有的命题都来自于现实世界,或是数学的,或是天文学的,或是物理学的,即牛顿所理解的自然哲学的。《原理》中全部的论述都以命题形式给出,每一个命题都给出证明或求解,所有的求证求解都是完全数学化的,必要时附加推论,而每一个推论又都有证明或求解。只是在牛顿认为某个问题在哲学上有特殊意义时,他才加上一个附注,对问题加以解释或进一步推广。

大多数读者在阅读《原理》时感到困惑和困难的是牛顿的对于命题的解决方式。首先,牛顿大量使用作图,采用几何学的证明方法;其次,牛顿大量运用比例关系式,这一点令读者感到繁杂,但却正是牛顿论证的有力之处。它在思想上符合牛顿的可测度空间和时间以及重量等物理概念只是相对性的见解,运算中回避了拘泥于单位制的麻烦并且使牛顿极为方便地引入了他发明的极大极小比方法。此外,我们应当理解到,在牛顿写作《原理》时,用来解决物体运动的动力学问题的有力工具微积分(牛顿称为流数法)还处于发明的初期,远远没有成熟到今天的样子,而牛顿本人正是这种技术的主要发明人之一。有证据表明,书中的许多论述,牛顿是通过自己发明的流数法或反流数法得到的,但在写作《原理》时,牛顿换成了当时人们较为熟悉的几何作图与代数运算相结合的形式。实际上,《原理》发表后,许多读者根本读不懂,以至于有人认为牛顿写了一本“连他自己也看不懂的书”,牛顿那令人眼花缭乱的数学技巧使许多当时一流的数学家也感到非常吃力。

《原理》中使用的数学、物理学和天文学概念术语非常多,其中有许多与我们今天常见的相同,但也有许多不同,还有一些今天已很少使用。这一点需要读者注意。

《自然哲学之数学原理》各部分导读

一、定义、运动的公理或定律导读

牛顿的《原理》大致上仿照古希腊欧几里得的《几何原本》来布局。全书是一种逻辑体系,从基本的定义开始,再给出几条推理规则(运动定律),经过一系列的推理和演算,得到一些普适的结论,再把这些结论应用到实际中与实验或观测数据相对照。

《原理》一开始就是“定义”和“运动的公理或定律”。其中“定义”部分共有 8 条,在

随后的附注中又补充了源对十分重要的定义。

第一个定义是“物质的量”，也就是我们今天所说的“质量”。在当代物理学中，质量是一个最基本的物理概念，但在牛顿时代，这一点还没有得到公认，也没有国际公认的质量标准和统一单位制，因此牛顿利用物体的密度和体积来决定物质的量。这与我们今天的做法正好相反，我们是用质量和体积来定义密度。不了解历史背景的人以为牛顿是在搞循环论证，实际情况是牛顿发现一切物体在运动中都有某种共同的不变的东西，不管物体怎样运动，受到怎样的力，它的体积与密度的乘积都是保持不变的，这就是物质的量，研究物体的运动时，必须要考虑到它。

第二个定义是“运动的量”，即质量与速度的乘积，也就是我们今天熟知的动量。

第三个定义是物体的惯性，表述物体保持其已有运动的大小和方向的本领（当物体不受其他外力作用时）。伽利略已经知道物体的惯性。今天我们知道，物体的质量越大惯性越大。

随后牛顿定义了外力、向心力及其度量，然后是向心加速度和向心运动量的定义。这些与我们今天物理教科书的定义大致相同，只是我们较多地谈论向心力和向心加速度，其他概念则较少用到。

这些概念总的来说是我们今天所熟知的，但在当时，正如牛顿所指出的，是“鲜为人知的术语”。

引起后世广泛讨论的是牛顿在附注中所作的源对补充定义，即绝对时间和相对时间、绝对空间和相对空间、绝对处所和相对处所以及绝对运动和相对运动等源对范畴，其中后两对是派生概念，而前两对十分重要。绝对时间和绝对空间是牛顿力学的基本框架和标志性概念，由此引申出后来的宇宙在时间和空间上的无限概念。牛顿用了较大篇幅解释他的时间和空间概念，但读者可能会认识到，牛顿的绝对的时间和空间并不是绝对必要的，至少在他的《原理》讨论所及不是必要的，这一对范畴为牛顿力学所提供的框架远较其所必要的来得充分。的确如此。其实牛顿自己也承认，绝对的时间和空间实际上是无法测度或被认识的，我们能确知的只是相对的时间和空间，它们才是在运算上有意义的。

那么怎样理解牛顿的绝对时间和空间呢？牛顿写作《原理》，有两大基本任务，一是建构自己的体系，另一是批驳笛卡尔学派的体系。绝对时间和空间概念虽然对于牛顿自己的计算并不是必要的，但对于预防对手的攻击却是必要的。在牛顿的体系中，巨大的宇宙空间里行星及其卫星各自在自己的轨道上运行，秩序井然又常运不已，这体系是上帝的创造，但上帝在创造它以后却不再进行干预。按照牛顿的力学，如果时间不是绝对的，则必然要顾虑到时间起点和终点问题，而要使得这一体系永远维持其稳定，空间又必须是真正的空，而且在尺度上也必须足够的大，它必须没有边缘，否则牛顿必须回答自己无法解答的空间的起点问题。牛顿把一切绝对的、无限的性质归结于上帝（我们将在《原理》最后的“总释”中见到有关论述），这是由其基本宗教信念决定的，绝对时间和空间范畴的引入，既很好地体现了牛顿的神学见解，又有效地回避了对手的诘难。

长期以来，很多学者，主要是哲学家，对牛顿的绝对时间和绝对空间概念进行了经久不息的讨论，并且因此给牛顿戴上或是“唯心”或是“唯物”之类的帽子。这些争论在科

学上毫无意义可言,而且硬要给 1687 年多年的历史人物贴上某种标签的做法,是一种肤浅幼稚的举动。例如,牛顿的绝对时空观,说它是唯心主义的,因为它没有把上帝彻底排除出局,把宇宙的第一次推动留给了上帝。那么,我们要问,如果牛顿不是使用绝对时空概念,他将把他的有限宇宙中的主宰者放在什么地方呢?他的绝对时空概念是不是使得上帝离人间更遥远一些了呢?实际上,正是牛顿的绝对时空观使得后来的唯物主义的无限宇宙论得到科学上的依据,它在很长一段时间里统治着我们的哲学和思想领域,然而,现代科学已经证明,它才是根本站不住脚的,我们的宇宙,的确在时间上是有起点的,其空间也是有限的。

还有一种见解认为牛顿的绝对时空观是形而上学的,说他看问题太绝对化了。但是,既然牛顿用这样的思维方式如此有效地建构了宏伟的宇宙体系,使得世人沿用它长达 165 年之久,我们还能要求牛顿什么呢?还有哪一种方法能给我们带来更多的关于世界的真正的知识呢?

牛顿在试图区分绝对运动和相对运动时,提出了一个历史上极为著名的“水桶实验” 1684 年来,几乎所有的大物理学家和哲学家都对这个实验发表过见解,有人辩驳,有人维护。对此,我们不多加评论,请读者自己思考。

总之,牛顿写下的定义,是过去 165 年来所有大科学家、哲学家、思想家们寻找灵感的地方,值得认真研读、思考。

紧接着定义部分,就是“运动的公理或定律”。在这里,牛顿给出了每一个中学生都能倒背如流的极为著名的“力学三定律”。我们看到,牛顿对力学三定律的叙述与我们今天的表述几乎完全一样,反映出牛顿对有关问题的思考极为成熟,经得起时间的长期考验。

随后牛顿就三定律做出了远条推论,讨论了力的分解与合成,以及由此而产生的运动的分解与合成。其中值得注意的是牛顿关于多个物体的公共重心所作的讨论,牛顿的公共重心相当于我们今天所说的质量中心。这一概念的使用,在以后讨论天体的运动时有着重要意义,也反映出牛顿从复杂现象中抽象出简单的有代表性的现象的能力。

第一编导读

第一编共有 15 章内容。

首先,读者应能注意到,牛顿在专门引入数学工具时,使用的是“引理”,而在论述本书正题时,使用的是“命题”。引理与命题都在必要的时候加入推论和附注。

牛顿在第 1 章首先引入极限概念、求极限的方法,引入无穷小概念和求曲线包围的面积以及求曲线的切线的方法。这一章中的 15 条引理是牛顿能够成就《原理》所依赖的最重要的数学手段之一,几乎全是牛顿自己的发明。牛顿在该章的附注中指出,“这些引理意在避免古代几何学家采用的自相矛盾的冗长推导”。其中的引理 1 圆猴和 15 正是牛顿运用著名的牛顿流数法的例证。牛顿是这样来为自己的无穷小概念辩护的:

“可能会有人反对,认为不存在将趋于零的量的最后比值,因为在量消失之前,比率

总不是最后的,而在它们消失之时,比率也没有了。但根据同样的理由,我们也可以说物体达到某一处所并在那里停止,也没有最后速度,在它到达前,速度不是最后速度,而在它到达时,速度没有了。回答很简单,最后速度意味着物体以该速度运动着,既不是在它到达其最后处所并终止运动之前,也不是在其后,而是在它到达的一瞬间。”

第 8 章论述根据物体的运动轨迹(轨道)来求该物体所受到的向心力。这里,牛顿做出的是最一般化的讨论,曲线的形状包括正圆、椭圆、双曲线、螺旋线、抛物线等,物体到指定向心力中心的力与距离的关系则又有多种情况。其中命题 8 的推论 1 远适用于天体运行的情况:“如果周期正比于半径的 3 次幂,则向心力反比于半径的平方;反之亦然。”这一关系,是牛顿宇宙论最核心的基石。

在随后的第 9 章中,牛顿进一步详尽考察了物体沿圆锥曲线运动时的有关问题,包括向心力的规律(反比于距离的平方)、确定曲线形状等。命题 9 的推论 1 为几种由已知条件(点、线或某些区域)画出圆锥曲线,在当时的天体力学乃至当今的天文学中都有重要意义。

第 10 章是求解已知轨道上物体的运动,相当于我们熟知的由已知方程求解。其中第 10 章是“物体的直线上升或下降”,把伽利略的自由落体运动定律推广到最一般的情形。

由前面几章的铺垫,牛顿就可以在随后的几章里运用力和运动的合成与分解方法,讨论抛体运动、摆体运动和物体沿轨道运动时的回归点运动,以及其他受两种以上力的物体的运动。

第 11 章“受向心力作用物体的相互吸引运动”是整个第一编的高潮,其中的命题 11 是整部《原理》中最长的一个,它讨论了 3 个相互间都有吸引力作用的物体的复杂的相互运动关系,推论多达 11 个,几乎讨论了地面物体的运动、各种天体的运动、天体轨道的运动、潮汐运动等所有形式,差不多可以认为它就是一部浓缩的《原理》。但是,这一命题所讨论的还不是严格的三体问题,对三体问题的正式讨论出现在第三编的命题 11

第 12 章中再次出现了极为重要的内容。这一章的标题是“球体的吸引力”。在命题 12 的推论 1 和 2 中,我们看到了今天尽人皆知的万有引力定律的文字表述。这一定律还将在随后的论述中多次出现,全书最后的总释中也以更加标准的形式加以表述。需要指出的是,我们今天谈到牛顿的丰功伟绩时,首先会谈到他万有引力定律,其次才是他的力学三定律。《原理》的读者可能很容易在书中发现他的力学三定律,但找不到万有引力定律,原因是牛顿并没有把这一定律像我们今天这样把它突出出来。但是,这并不意味着牛顿本人不认为万有引力定律有普适意义,而是在牛顿那里,万有引力的大小、方向等规律必须是推导出来的结果,不是当做经验性的普适原理直接引入的。

在随后的第 13 章,牛顿把由典型的球形物体得出的引力规律进一步推广到一般的非球形物体。

第一编的最后一章也是值得注意并且十分有趣的。牛顿讨论“受指向极大物体各部分的向心力推动的极小物体的运动”。在这里,极大物体指的实际上是具有平行平面的光学介质,而极小物体指的是光线。牛顿认为,光的本性是极其微小的颗粒,这些微小颗粒受力学规律的支配。这就是在历史上一度产生巨大影响的关于光的本性的“微粒说”,

牛顿是这一学说的鼻祖。与牛顿同时代的荷兰物理学家惠更斯提出关于光的本性的“波动说”，曾在《原理》发表以前得到普遍认同，但后来由于牛顿和《原理》的巨大影响，微粒说压倒了波动说，直到19世纪托马斯·杨（~~托马斯·杨~~）的光的干涉实验得到波动说的圆满解释后，波动说才又重新抬头。有趣的是，到19世纪初量子论提出出来后，光的微粒说又得到复活。现在的通行观点是光以及所有的粒子都有微观粒子所特有的“波粒二象性”。在《原理》中，牛顿把光看作是粒子，在考虑了介质的吸引或排斥作用后，推导出了光的折射定律。牛顿还进一步考察了光在经过介质后所产生的像差，指出运用折射原理的任何光学仪器都不可能产生出完美的像。

《原理》的第一编篇幅巨大，它具备了牛顿力学的全部主要内容，包括基本定义、力学三定律和万有引力定律、求极限和无穷小数学手段、物体的各种运动形式、物体的各种受力情况、各种运动轨道与受力的关系，甚至还涉及到光的传播、海洋潮汐运动等等。正如有的学者所评论的，即使《原理》没有完整出版，仅仅凭着这第一编，就足以使牛顿成为有史以来最伟大的人物之一。

第二编导读

尽管牛顿本人认为《原理》的第二编也和第一编一样是推导“若干普适命题的”，但是今天的人们还是倾向于认为这个第二编主要是属于第一编的应用部分。牛顿给它的标题与第一编几乎相同，叫做“物体（在阻滞介质中）的运动”，其括号中的限定语说明第二编所讨论的主要是地面物体的实际运动情况。这一部分中虽然没有第一编中那么多君临天下的大规则、大定义，但却也推导出许多重要的具体结论，读起来常常令人顿生“原来如此”的感慨。

本编的导读，我们不再逐章逐节地介绍，而是换一种方式，把值得特别指出的成果进行罗列。

首先值得指出的是牛顿在引理圆中介绍了他发明的求微分或导数的方法，即牛顿流数法。牛顿说，“一个变化的量，其增大或减少的速率，他称之为“瞬”，“是一种普适方法的特例或更是一种推论，它不仅可以在毫不困难地推广到求作无论是几何的还是力学的曲线的切线，或与直线及其他曲线有关的方法中，还可用于解决有关曲率、面积、长度、曲线的重心等困难的问题”。显然，这一方法正着用是求导数，反着用就是求积分。牛顿分三种情形详细介绍了求导数的方法，还做出了猿项推论。我们已经知道，牛顿早在大鼠疫时期就发明了这种方法，这是他一生中最为杰出的发明之一。

其次，牛顿演示了在求解极为复杂的问题时，可以采用近似求解的方法。在命题16中，牛顿具体演示了求解抛体在阻滞介质（空气）中的运动时，用双曲线来近似替代更为复杂的抛物线的方法求解。他甚至还就这种方法给出了愿条规则。实际上，直到今天，科学家们拥有功能强大的运算工具电子计算机，在求解大量的科学、技术和工程问题时，还是必须大量采用近似求解的方法。难能可贵的是，牛顿的演示表明，近似的方法，在大大简化求解难度的同时，又不会过度失去严格性，这正是现代科学的精妙所在。