



西方思想文化史研究丛书

The History of Western Ideas and Cultures

科学从此成为科学： 牛顿的生平与工作

吴以义 著

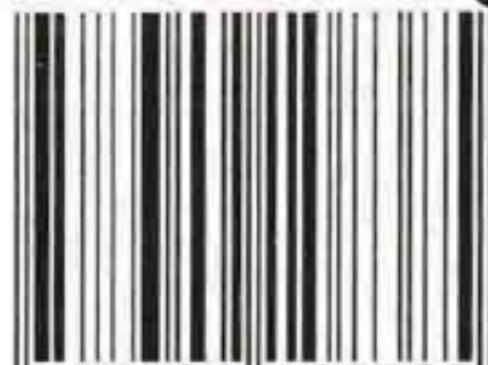


 復旦大學出版社

The History of Western Ideas and Cultures



ISBN 978-7-309-10838-5



9 787309 108385 >

定价：28.00元

www.fudanpress.com.cn

西方思想文化史研究丛书

The History of Western Ideas and Cultures

科学从此成为科学： 牛顿的生平与工作

吴以义 著

 復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

科学从此成为科学:牛顿的生平与工作/吴以义著. —上海:复旦大学出版社,2014.9
(西方思想文化史研究丛书)
ISBN 978-7-309-10838-5

I. 科… II. 吴… III. 牛顿,I. (1642 ~ 1727)-生平事迹 IV. K835.616.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 158904 号

著作权所有:© 东大图书股份有限公司

本著作中文简体字版由东大图书股份有限公司授权复旦大学出版社在中国境内(台湾、香港、澳门地区除外)独家出版。

本著作禁止以商业用途于台湾、香港、澳门地区散布、销售。

版权所有,未经著作权所有人书面授权,禁止对本书之任何部分以电子、机械、影印、录音或其他方式复制或转载。

著作权合同登记号 图字:09-2012-828

科学从此成为科学:牛顿的生平与工作

吴以义 著

责任编辑/史立丽

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路 579 号 邮编:200433

网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853

外埠邮购:86-21-65109143

常熟市华顺印刷有限公司

开本 890 × 1240 1/32 印张 6.75 字数 179 千

2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-10838-5/K · 485

定价:28.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

自 2011 年开始,复旦大学历史系在建设世界史一级学科的过程中,本着从本系世界史学科的现实出发,考虑其学术传统,也着眼于未来的发展,并符合国际学术的主流走向的主旨,拟议在本学科中提炼出相关的数个方向进行发展,而思想文化史也列在其中。为此,经过从事本方向研究的各位老师数次的讨论商议,决定编辑出版“西方思想文化史研究”系列丛书,一则将本方向同仁的研究成果及时出版面世,以供学界批评参考之用,二来也可建立起一个学术平台,从而可以吸引本系同仁之外的其他学者参与,求得更多和更好的学术著作进入本丛书,以扩展影响,进而形成一套具有学术展示和引领作用的学术研究丛书。而在此过程中,复旦大学出版社也为了支持我们的学科建设和学术发展,欣然同意将本套丛书列为该社的出版计划,于是便有了这套丛书的问世。

早在 20 世纪 80 年代,复旦大学历史系世界史学科就编辑出版过“世界文化史”研究丛书,在当时的学术界产生了重大的反响,既推动了文化研究和世界历史研究的深入,同时也对国内世界史学科的建设起到了很大的促进作用。在一定意义上,本研究丛书当然是这一学术传统的承续,也是其光大和发扬。将史学史、思想史和文化史三者融为一

体，侧重于在思想观念、仪式象征以及话语表达等方面展开，既讨论精英的思想，也探讨大众的观念、情感和心态；既研究个人的思想和概念的形成，也关注某个群体以及社会思潮和社会观念；既注重文本的分析，也考察仪式、象征和话语表达；既在史学演进的层面来研究其思想观念和不同流派的演进，又将史学本身也看成为文化和思想观念的一种表达。由此，在研究内容上，我们不囿于以往的思想史和文化史研究的独立划分，而是在新的思想史和文化史研究逐渐合一、互有交叉的背景下，拓展其思路。这也就意味着从前思想史和文化史各自进行独立的分支研究已经过去，两者之间的融通已为学界之主流，更值得关注的是，目前的新文化史研究大有取代以精英和文本为主的思想史研究之趋势。难怪国外有学者称，是思想史还是文化史？正是在研究内容不断扩展和研究理论与方法不断推陈出新的学术背景下，我们将之冠名为“西方思想文化史研究丛书”也凸显和呼应着这样一种国际学术界的新变化。并且我们还设想在这一学术视野中形成学术研究的新路径，打造一套具有特色的学术丛书，进而也推动着我们自身研究领域的深化，改变历史研究的实践方式与提升学科队伍的建设水准。

在编辑和出版这套丛书的过程中，世界历史学科，特别是从事思想文化史研究方向的各位同仁全力参与，奉献出了各自的学术成果；复旦大学出版社的诸位编辑也为此花费了很多时间与精力，并且为本丛书成功地申请到上海市文化发展基金的资助，这不仅是对这套丛书设想的肯定，同时也赋予了我们更多的责任来回报如此高规格基金的支持。同样，复旦大学和历史系在进行“211工程”三期学科建设的过程中，也将本丛书列入其计划予以支持。在本套丛书即将面世之际，我们对上述提及以及没有提及的个人和机构表示衷心的感谢。这种谢意并非是一种常规的客套，实际上也印证了，在学术性知识生产的过程中，需要这一生产链或者说学术共同体的多个环节相互配合和支持，可以设想，没有这些支持和帮助的话，这些知识无法得以面世和进入市场来进行

展示与流通。

本套丛书的面世还仅仅只是一次启动,后面的工作还有很多,也许更为沉重的压力在等待着我们,但可以相信,在全球化不断加深的今天,正在成长中的中国比以往任何时刻都需要理解外部世界,特别是西方世界。而在这种理解中,从思想文化入手是比较好的路径。因为思想文化既是引领行动的基础,又作为独立的存在而建构其实践性内容,塑造着实体性存在本身。正因为如此,复旦大学历史系世界史学科的诸位同仁将会在今后更加努力地工作,并将此丛书的编纂坚持下去,以取得新的进展。

“复旦西方思想文化史研究丛书”编辑委员会

2012年9月



大陆版序言

科学何以成为科学：爱因斯坦品读牛顿

和复旦大学出版社史立丽编辑一起，几经斟酌，把这本小册子的书名改为《科学从此成为科学：牛顿的生平与工作》^①。台湾东大图书公司的初版受丛书体例的限制，只能作《牛顿》，但现在这个书名显然更好地反映了写作的主旨。

科学当然不是一蹴而就地出现在历史上的。究竟什么时候科学成为科学，说实在的无法也不必作排他性的认定。本书说科学自牛顿起成为科学，意在强调科学的几项基本特征至此充分展现；其中比较有意思的有三：作为对象的自然界、理性的权威地位以及对于科学探索本质的认识。而对此的讨论，对牛顿的评价，则当以来自“一个在科学上同牛顿相匹敌的人”为上选^②。爱因斯坦对牛顿赞誉有加，惺惺相惜，自然值得特别的留意，而其论述也常在这三个方面。让我们作稍微细致一些的考察。

科学把我们的感官所反映的自然界确立为自己的研究对象，这一

① 这是十四五年前的旧作，这次再版，除了改动若干错字以外，没有修订。有些地方，如说某书没有中译本之类，是指当时我所知道的情形，改不胜改，于是径按原样付印，读者鉴之，并向译者致歉。

② 伯纳德·科恩(I. B. Cohen)语，见“An Interview with Einstein”，*Scientific American*，193 (1955) 71。中译见许良英等译：《爱因斯坦文集》第一卷（下文引语均在第一卷，不另出注），北京：商务印书馆，1977年，第623页。

观念由来已久。亚里士多德^①就明确地说，“既然我们是在寻求感觉物体的本原，既然感觉是可触的意思，而可触又是感官触及的东西”，研究的对象就是这些东西。所谓研究这些东西，就是要揭发它们之间的因果联系。他后来又说：“显然，我们应须求取原因的知识，因为我们只能在认明一事物的基本原因后才能说知道了这事物。……从这些事实说来，我们将谓万物的唯一原因就是物质……”^②爱因斯坦强调说：“牛顿的概念体系逻辑上的完备性就在于：一个体系中各个物体的加速度的唯一原因就是这些物体本身。”^③

但是，严格界定科学研究的对象，把除了感官所提供的经验事实以外的一切全部摒弃在科学之外，并没有把牛顿的研究局限在一种狭小的视野之中。近150年在科学和技术高速发展的同时，对自然的研究也日益专门化。科学家看见的，是他所专注的一个或几个极其专门的问题，而且常常是和现实经济或政治利益紧密相关的问题，这和牛顿的时代很不一样。牛顿面对的，始终是整个自然。从星辰的运动到潮汐，从原子的吸引到丹药，从光的本质到视觉，牛顿的研究在爱因斯坦眼里，是和自然的直接的无障碍的沟通：

对于他，自然界是一本打开的书，一本他读起来毫不费力的书。他用来使经验材料变得有秩序的概念，仿佛是从经验本身，从他那些像摆弄玩具似的而又亲切地加以详尽描述的美丽的实验中，自动地涌溢出来一样。他把实验家、理论家、工匠和讲解能手兼于一身。^④

对于爱因斯坦来说，科学所面对的就是这样的作为一体的自然：

① 参见 329b7-8,《论生成和消灭》，徐开来译，苗力田主编《亚里士多德全集》第1卷，北京：中国人民大学出版社，1991年，第441页。

② 《形而上学》983a25-26，吴寿彭译，北京：商务印书馆，2009年，第7页。

③ 《牛顿力学及其对理论物理学发展的影响》，原文在 *Naturwissenschaften*, 15 (1927) 273-276，中译见上引《文集》第222页，下一段引文中224—225页。

④ 《牛顿的〈光学〉序》，上引《文集》第287页。

我想知道上帝是怎么创造世界的。我对这一或那一个现象无甚兴趣，对这一或那一种元素的光谱无甚兴趣，我想要知道的是上帝的想法，余皆细枝末节。^①

当牛顿和爱因斯坦面对整个自然时，他们当然不是只注视一个或几个孤立的现象或客体；科学所要求的，不是对现象或客体的孤立的描述，不是感官所提供的直接感受，而是对存在于现象之间的因果关系的确认。因果关系是科学地理解自然的本质特征，也是科学所孜孜追求的终极目标。爱因斯坦认为，正是牛顿，最终完成了亚里士多德的这一要求：“我们必须明白，在牛顿以前，并没有一个关于物理因果性的完整体系，能够表示经验世界的任何深刻特征”；“在牛顿以前，还没有什么实际的结果来支持那种认为物理因果关系有完整链条的信念”^②。爱因斯坦简要地归纳了牛顿建立这种因果关系的工作：

牛顿设想，作用在一个物体上的力是由一切离该物体足够近的物体的位置所决定的，这种思想无疑是受了行星运动定律的启发。只有在这种观念建立起来以后，才能得到关于运动的完整的因果概念。大家都知道，牛顿怎样从开普勒的行星运动定律出发解决了引力问题，并且由此发现了作用在星球上的推动力和引力在本质上是相同的。……以这里所简要说明的基础为根据，牛顿成功地解释了行星、卫星和彗星的运动，直至其最微末的细节，同样也解释了潮汐和地球的进动——这是无比辉煌的演绎成就。^③

他后来又补充说：

① 转引自 Silvio Bergia, “Einstein and the birth of special relativity”, in *Einstein: A Centenary Volume*, A. P. French ed., Cambridge: Harvard University Press, 1979, p. 67.

② 爱因斯坦，上引《文集》，第 222 页。

③ 同上书，第 224—225 页。

科学家却一心一意相信普遍的因果关系。在他看来，未来同过去一样，它的每一个细节都是必然的和确定的。^①

进一步，爱因斯坦认为，从纷繁的现象中整理出因果规律，“不能单从经验中得出，而只能从理智的发明同观察到的事实两者的比较中得出”^②。这就是理性的作用。正是理性，这种人类独有的分析能力，可以对自然材料加工，可以揭示自然现象的联系。这一人类特有的智力活动，就是科学。而这一智力活动的实现，有赖于两个基本的假定：一是自然界的规律确实是存在的，自然变化确为因果律所统帅；二是这种规律是可以认识的，自然现象对于人来说，或多或少，或迟或早，在本质上是是可以理解的。

这是自然科学之所以可能的先验的认识论基础。爱因斯坦认为，这是唯一的不可理解的命题：

借助于思维，我们的全部感觉经验就能够整理出秩序来，这是一个使我们叹服的事实，但却是一个我们永远无法理解的事实。可以说，“世界的永久秘密就在于它的可理解性”。要是没有这种可理解性，关于实在的外部世界的假设就会是毫无意义的……^③

所以，在这个意义上，爱因斯坦把这种对可理解性的先验的信心比作一种宗教：

你很难在造诣较深的科学家中间找到一个没有自己宗教感情的人。但是这种宗教感情同普通人的不一样。……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，同它相比，人类一切有系统的

① 《科学的宗教精神》，上引《文集》，第 283 页。

② 《约翰内斯·开普勒》，上引《文集》，第 276 页。

③ 《物理学和实在》，上引《文集》，第 343 页。

思想和行动都只是它的一种微不足道的反映。^①

爱氏回忆说，在十二岁的时候，他第一次读到欧几里得几何关于三角形三条高交于一点的证明。“它们本身虽然并不是显而易见的，但是可以很可靠地加以证明，以致任何怀疑似乎都不可能。这种明晰性和可靠性给我造成了一种难以形容的印象。”^②他以后的工作就是建立在这样一种对理性的“宗教感情”之上：

相信世界是一个有秩序的和可认识的实体，这是一切科学工作的基础，也是一种宗教情感。我的宗教感情就是对这种秩序的谦恭的赞赏，这一秩序在现实的一鳞半爪中显现，而这一小块现实和我们微不足道的理性正旗鼓相当。^③

所以，求得自然现象的因果解释，是科学的终极目的，而在这一追求中，理性贯穿始终。爱因斯坦对牛顿及其工作所怀有的，正是这种“谦恭的赞赏”：

想起他就要想起他的工作。…… 牛顿第一个成功地找到了一个可以用公式清楚表达的基础；从这个基础出发，他能用数学的思维，逻辑地、定量地演绎出范围很广的现象，并且能同经验相符

① 《科学的宗教精神》，上引《文集》，第 283 页。

② 《自述》，上引《文集》，第 4 页。

③ 《论科学》，*Cosmic Religion: With Other Opinions and Aphorisms*, New York: Covici-Friede, 1931, p. 98, 中译参见上引《文集》，第 284 页，译文有改动。这儿“现实的一鳞半爪”原文是 a small patch of reality, “微不足道的理性”原文是 feeble intelligence。因为这是一段箴言，很难从上下文再作推敲，译文也不易传神。案爱氏此处的意思，盖在强调人类认识之于宇宙的渺小。和这段文字约略同时，爱氏还在另外一个场合谈到过类似的主体，见 *Forum and Century*, 84 (1930) 194: “我自己只满足于生命永恒的神秘，满足于察觉现存世界的神奇的结构，窥见它的一鳞半爪，并且以诚挚努力去领悟在自然界中显示出来的那个理性的一部分，即使只是其极小的一部分，我也就心满意足了。”中译参见《纪念爱因斯坦译文集》，赵中立等译，上海：上海科技出版社，1979 年，第 50 页。两处对照阅读，或较容易理解爱氏原意。

合。……由此，目标就达到了，天体力学这门科学也就诞生了，这门科学已无数次地为牛顿自己和他以后的人证实。^①

在爱因斯坦看来，理论为实践所证实，是理性发展的必然。如果理性不能把我们引向正确的结果，那倒是理性所不能理解的了：

科学……鼓励人们根据因果关系来思考和观察事物。在一切比较高级的科学工作的背后，必定有一种关于世界的合理性或者可理解性的信念，这有点像宗教的感情。同深挚的感情结合在一起的，是对经验世界显示出来的深邃的理性的坚定信仰，这就是我的上帝。^②

至此我们谈到了自然界，以及人对自然的认识。既然这种认识本质上是自然现象之间的关系，而不是单一和孤立的现象，理性所追求的这种因果关系当然就不能为感官所直接把握，就必须通过人特有的智力活动认识；这种活动为理性所指导，为理性所贯穿。而在理性的带领下对因果关系的认识，基于一种对自然和自然规律的敬畏和对人的认识能力的信心，常表现为一种从不知到知，从知之甚少到较多的过程。这一过程为科学的成果所标志，但是这一进程的本质却并非这些成果而是它们的不断更新。开普勒在讨论行星运动时曾用 being 和 becoming 来强调静止的状态和变化的过程，在这儿或可以作一不恰当的附注^③。如果留意科学的本质是这样一种过程，我们就不会为牛顿学术生涯中的表现不一致而困惑。事实上，他在天文学上的、炼金术和

① 《爱萨克·牛顿》，*The Manchester Guardian*, Dec. 25, 1942 中译见上引《文集》，第401—404页。

② 《关于科学的真理》，上引《文集》，第244页。译文稍有改动。

③ 开普勒原话是说光在行星和太阳之间的作用，这儿戏用其意，故云“不恰当”，但古人（《左襄二十八》）也有“赋诗断章，余取所求”之说，此或不为太过。原文见氏著 *Astronomia nova*, tran. William Donahue, Cambridge: Cambridge University Press, 1992, p. 382。

年代学方面的工作同样都是理解自然的努力。

由此可见，科学活动必然是一种探索。这种不断完善的过程的起点，常在对于理论的弱点和不足的深刻认识。科学理论从来不是自我封闭的。在理论成功的同时，认识到其中的弱点，恰恰为理性的下一步的追求指明方向，这就使得科学成为一种连续的、指向明确的、世代相袭的社会活动。爱因斯坦认为，牛顿理论的弱点在于绝对时空的概念，这一概念是虚幻的^①；在于假定力的超距作用，这一假定和我们日常生活的经验不合；还在于认定引力质量和惯性质量相等，牛顿对此没有作任何物理的解释，而《原理》定义质量的妙处恰恰在于其可操作性。不难看出，爱因斯坦所注意的，正是相对论的出发点，正是他所力图解决的问题。理论就是这样成长。作为牛顿事业的直接继承人，爱因斯坦比任何人都更加亲切地感受到牛顿的伟大：

牛顿的基本原理从逻辑的观点看来是如此完善，以至于检验这些原理的动力只能来自经验事实的要求。……我必须强调指出，牛顿自己比他以后许多博学的科学家都更明白他的思想结构中固有的弱点。这一事实时常引起我对他的深挚的敬意……^②

值得注意的是，爱氏的敬意来自牛顿对自身理论的弱点的认识和思考。牛顿关于以太的考虑，在爱因斯坦看来，这才是一种“挑战”：

去了解牛顿想的什么，以及他为什么要干某些事，那是最重要的。……比如，牛顿是怎样并且为什么提出他的以太概念的？尽管牛顿的引力理论得到了成功，他对引力概念还是不满意。……牛顿所最强烈反对的是一种能够自己在空虚空间中传递的力的概

① 爱因斯坦的传记作者，普林斯顿高等研究院教授派斯(A. Pais)对“虚幻的”一词作下列注释：重要的是要留意爱因斯坦用“虚幻的”一词指人的心灵的自由发明，见 *Reviews of Modern Physics*, 51(1979) 907。

② 《牛顿力学及其对理论物理学发展的影响》，上引《文集》，第 226 页。

念。牛顿希望用以太来把超距作用归结为接触力。……这里有一个牛顿思想过程的最有趣的说法……^①

因此，尽管牛顿的以太概念后来被证明不成功，但是，如果注意到科学发展的本质模式是探索，我们就不会在个别成果个别概念上纠缠：

本来理智每一活动的目标，就是要把奇迹转变为理智所已掌握的东西。如果在这种情况下，奇迹确实可以转变，那么我们对牛顿的才智，就只会更加钦佩。^②

惺惺相惜，在爱因斯坦看来，正是牛顿，规范了“西方的思想”。牛顿所树立的，是以后科学研究乃至一切学术研究的“规矩”和“典范”：

我们觉得有必要在这样的时刻来纪念这位杰出的天才，在他以前和以后，还没有人能像他那样地决定西方的思想、研究和实践的方向。他不仅作为某些关键性方法的发明者来说是杰出的，而且在善于运用他那时的经验材料上也是独特的，同时还对数学和物理学的详细的证明方法有惊人的创造才能。由于这些理由，他应当受到我们的最诚挚的尊敬。^③

不须解释，如果以科学的最终目标即自然界中的因果关系、科学的最高原则即理性的批判精神，以及科学的发展形态即尝试和实验的探索模式来衡量，牛顿的工作确实标志了一个时代。在牛顿诞生将近三百年的时候，爱因斯坦再次提到牛顿，深沉的眷恋溢于言表：

① 《同科恩的谈话》，原文在 *Scientific American*, 193 (1955) 68 - 73, 上引《文集》有节译，引文在 622—623 页。

② 上引《文集》，第 402 页。

③ 上引《文集》，第 222 页。译文稍有改动。

牛顿的时代早已被淡忘了，他那一代人的充满疑虑的努力和痛苦已经从我们的记忆中渐渐消失；只有少数几个伟大的思想家和艺术家的作品留了下来，给我们和我们的后代以欢愉和高尚。^①

但是，这种“欢愉和高尚”并不会自发自动地向受众转移。爱因斯坦八十年前的担忧，现在听起来竟像是近乎先知式的警告了：

我所以说这些话，是因为在我们这个时代里，为知识而尊重知识的精神，已不再像文艺复兴时代的那几个世纪时那样的强烈了。^②

的确，科学革命时代上承文艺复兴余绪，下开启蒙运动先河。文艺复兴的一个标志是人的兴趣极大地转向自然。在此之前，人们为了追寻上帝而诉诸自然，自然对于人而言，是上帝智慧的展示。当牛顿的工作为世人所知晓、科学革命臻于完成的时候，情形丕变，人们为了追寻自然而诉诸上帝。在这一长达一个半世纪的探索中，上帝退居原动者和最后因，而理性作为这一探索的主线，始终贯穿。当理性成为人类活动的最初动因和最后判定者时，科学就成为了科学。

① 《牛顿〈光学〉序》，上引《文集》，第287页。译文稍有改动。

② 上引《文集》，第404页。译文稍有改动。



牛顿的主要工作是科学方面的，这在现在几乎是一个学龄儿童的常识。但是牛顿当年孜孜然于书房、图书馆和他的炼金术炉火旁时，他并没有把自己限制在我们所定义的“科学”这种“分科的学问”之中，他面对的是整个自然。自然作为一个整体，充满活力，永不止息地运动着，而理性则深藏其间。在他很多研究成果之中，最著名的是利用引力的概念来说明天体的运动。当彗星按照人的理性所理解的那样在预期的时刻出现在预期的天区时，它所造成的震动不是我们这些生活在三百年以后的人所能稍许想象的。人的理性之不可动摇的至上地位从此确立，并成为以后文化发展之不可须臾或缺的一环。在这个意义上，我们说科学成为文化之一部。

牛顿传的撰写起于法国人丰特纳耶 (Bernard le Bovyer de Fontenelle, 1657—1757)，牛顿 1727 年去世时他任法国科学院秘书，按照惯例，他为牛顿写了一篇悼词^①，内容主要是康杜伊特

^① 即 *Eloge de M. Newton*，最初发表在 *Histoire de l'Academie Royale des Sciences*, 1727, pp. 151 - 172. 英译见 *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*, ed. by I. B. Cohen, Cambridge: Harvard Univ. Press, 1978, pp. 444 - 474.

(John Conduitt)^①提供的。1821年，法兰西学院的物理学教授毕奥(Jean Baptiste Biot, 1774—1862)为《大百科全书》写了一个长三十八页的条目^②，备述牛顿生平，或可看作学者撰写牛顿传的开始。19世纪最重要的，至今仍常被牛顿学者引用参考的，是布鲁斯特爵士(David Brewster, 1781—1868)的牛顿传^③。布鲁斯特是第一个利用所谓的朴茨茅斯(Portsmouth)手稿研究牛顿的传记作者，而他的专业方向是光学，所作自然在光学方面特别留心。布鲁斯特的书无论在质量上还是在篇幅上都足当一代之选，以至于直到一个世纪以后的1932年才有人认真地考虑再写一部牛顿传^④。

中文文献方面，就以义所知，除早年把牛顿及其力学介绍到国内时有些介绍外^⑤，在1987年假《原理》发表三百周年，又刊出几部专著^⑥，各有专精。

近四十年来，西洋学术界在牛顿研究方面取得了长足的进展。文献的发掘和刊布^⑦，其意义的讨论和阐释^⑧，以及牛顿当时的心理和智

① J. Conduitt 的原稿写于当年10月，今藏 King's College, Keynes Collection, 载 Edmund Turnor, *Collections for the History of the Town and Soke of Grantham, ...*, London: William Miller, 1806, pp. 158 - 167.

② *Biographie universelle*, 1821, v. 30, pp. 367 - 404.

③ *The Life of Sir Isaac Newton*, London: John Murray, 1831。他后来又写了 *Memoirs of the Life, Writings and Discoveries of Sir Isaac Newton* (Edinburgh: Thomas Constable, 1855), 共上下两卷，此书有影印本, New York: Johnson Reprint Co., 1965.

④ Louis Trenchard More, *Isaac Newton, a Biography*, New York: Dover, 1934, rpr. 1962.

⑤ 对这一阶段的回顾，参见郭永芳：《牛顿学说在中国的早期传播》，刊中国科学院自然科学史研究所编：《科技史文集》第12辑，上海：上海科技出版社，1978年。

⑥ 例如查有梁：《牛顿力学的横向研究》，成都：四川教育出版社，1987年；戴念祖等编：《纪念牛顿“原理”出版三百周年文集》，成都：西南交通大学出版社，1988年；阎康年：《牛顿的科学发现与科学思想》，长沙：湖南教育出版社，1989年。——不能尽数枚举，限于所见而已。

⑦ 参见本书书末所附文献。

⑧ 例如 A. Koyre, *Newtonian Studies*, London: Chapman & Hall, 1965; I. B. Cohen, *Franklin and Newton*, Philadelphia: American Philosophical Society, 1956; *Introduction to Newton's Principia*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1971; *The Newtonian Revolution*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1980; R. S. Westfall, *Force in Newton's Physics*, London: Macdonald, 1971。此外，还有数十部专著，数百篇论文。

力环境的重建^①，均斐然有成。这本小书试图利用这些研究成果，介绍所谓的“牛顿革命”^②这一人类文化史上的重大进步。

现有的牛顿学术传记首推威斯特弗尔(R. S. Westfall)所著《永不止息》(*Never at Rest*)^③，但颇不易读^④。洋洋洒洒九百八十页，并不细分段落，一气呵成的大块文章，事实上使得大部分非专业读者望而生畏。若以科学作为文化之一部来考察，牛顿的工作应该不仅仅为专业人士所留意，所以“竭其心力以求善读之，然后出其所读者以供人之读”^⑤，写一本像本书这样的小书，或者不为无功。

但是要在这样有限的篇幅中完成对牛顿一生主要活动的描述，尤其是他思想的发展，实在非笔者能力所及，所以在撰写时预设若干限制。首先是叙述介绍止于牛顿，时代背景、所牵涉的人物事件，大部分一笔带过，只是在第一章对培根、伽利略和笛卡尔辈对牛顿有直接影响的著作学说作了简略的讨论。其次是在叙述牛顿工作时，也尽量限于他本人的笔记著作。一来是因为牛顿同时或后世的研讨议论实在多得无法一一照顾到，二来也希望使读者有机会直接接触原始资料，形成自己的判断。

这样的写法大概会导致两个问题。一是乏味，既然要严肃地写作，就要尽量舍弃遗闻轶事、妙语杂谈，也就很难妙笔生花；二是有时读者会觉得作者不是在写书而是在抄书，即把各种资料罗列排比，却不发挥。以义先前用此法撰《库恩》^⑥，颇为识者所讥。现复以此作《牛顿》，非执迷不悟，盖未得两全之法。既然鱼与熊掌不可得兼，以义的做法是宁可枯燥，力避失真，其中苦心读者鉴之。

① 例如，Frank E. Manuel 著名的三部曲：*Isaac Newton, Historian*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1963; *The Religion of Isaac Newton*, Oxford: Clarendon, 1974; *A Portrait of Isaac Newton*, London: Frederick Muller, 1980。

② I. B. Cohen, *Revolution in Science*, Cambridge: Harvard Univ. Press, 1985, III, 10.

③ R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1980.

④ 参见例如 M. S. Mahoney 的书评, *Tech. & Culture*, 23 (1982) 655。

⑤ 梁启超：《中国历史研究法》，上海：华东师范大学出版社，1995年，第1页。

⑥ 《库恩》，台北：东大图书公司，1996年。

在本书撰写过程中，业师格力斯比(C. C. Gillispie)教授、马豪尼(M. S. Mahoney)教授时有指点，普林斯顿大学火石(Firestone)图书馆、范恩(Fine)和弗瑞克(Frick)分馆以他们一贯的好意给予方便，谨此致谢。胡明杰、李育之博士夫妇在电脑使用排印上给予无数及时的帮助，谨此致谢。家人的理解和支持则是本书得以完成的一项不可须臾或缺的条件。

吴以义

一九九九年八月

Franklin Park, NJ.



大陆版序言

科学何以成为科学：爱因斯坦品读牛顿	/ 1
自序	/ 1

第一章 牛顿所继承的学术传统	1
一、新工具	2
二、世界体系	6
三、论世界	11
第二章 童年和剑桥岁月	17
一、家世	18
二、童年	22
三、剑桥三一学院	25
四、“若干哲学问题”中的笛卡尔	28
五、剑桥：巴罗(Isaac Barrow)和莫尔(Henry More)	32
六、“若干哲学问题”中的科学	40
第三章 神奇年代	45
一、神奇年代	45
二、1665—1666年：手稿 Add MS 3975, ff. 1 - 22 中的光学	48
三、1665—1666年：手稿 Add MS 4004 中的力学思想	52

四、月地检验	57
五、手稿 Add MS 3958, 81 和 Add MS 4003 中的空间和力的 概念	63
第四章 1670 年代	67
一、数学：引进变化的量	68
二、光和颜色的本质	72
三、光是波动吗？	76
四、炼金术或“寻找哲人汞”	81
五、什么是力？	86
第五章 《原理》	93
一、引言：1679 年动力学研究状况	94
二、注意力重新转向力学	98
三、“论运动”(De motu)	103
四、《自然哲学的数学原理》：第一篇和第二篇	110
五、《原理》第三篇：科学方法和理论的结构	116
六、《原理》的出版	121
七、伟大的综合	124
第六章 在伦敦	126
一、《原理》中隐含的形而上学问题	127
二、造币厂：生活在尘世里的牛顿	134
三、皇家学会	138
四、《光学》和所附“疑问”	142
五、讯问自然	146
第七章 晚年	152
一、优先权	153
二、科学和神学中的上帝	162
三、晚年	171
参考文献以及本书注释中引用时所用缩写	174
牛顿年表及著作系年	177



第一章 牛顿所继承的学术传统

在人类认识自然的历史上,17世纪是一个真正的英雄时代。所谓的现代科学,是这个时代的产物,而这个时代本身,又是对已经发展了一二百年的科学革命的一个总结。

从1492年哥伦布首航美洲起一个多世纪,新的发现和新的事物纷至沓来,新的想法和新的理论层出不穷。这是一个激动人心的时代,人们突然发现,没有什么事情是不可想象的,没有什么新鲜的东西是不可接受的。当人以智力和体力向自然挑战所带来的兴奋与陶醉渐渐平息时,他们发现他们的理解力面临着自然的挑战:如何把纷繁的现象,错综杂陈的事物归纳梳理,如何建立理性所能接受的囊括各种现象的知识体系,正是17世纪开始时自然学者所面临的课题。他们满怀自信地迎接了这一挑战。“造化启迪众生探索,人的灵智能够理解万物。领悟宇宙的神奇结构,测量天体的运行轨迹……性灵敦促我们锲而不舍,直到采摘丰硕的果实。”^①

培根、伽利略和笛卡尔从不同的方面回答了这一挑战。1650年代

^① Christopher Marlowe (1564 - 1593), *Tamburlaine*, Pt. 1, II, vii, 用孙梁译本。

末当牛顿面对这个世界的时候，他正站在这些巨人的肩上^①。他们为牛顿日后的发展奠定了基础，提供了素材，指明了方向。在这个意义上，牛顿继承了这样的学术传统：从归纳现象出发，经过理性批判，进而建立说明自然规律的知识体系；这一体系所能作出的预期，正反映了它本身对自然的理解。

一、新工具

1620年，培根(Francis Bacon, 1561—1626)的《新工具》^②出版。培根一生所醉心的，是一个他叫做“伟大的复兴”的庞大计划。据作者最初的安排，“伟大的复兴”至少有六个部分：从科学的分类起，到科学研究的方法，到科学发展的历史，最后以“新哲学”结束。通过这一拟议中的伟大著作，培根要全面总结过去科学和历史的发展，要概括地介绍当时的科学，还要提出以后科学发展的方向和道路。一句话，培根认为他所担负的，是历史的承先启后的责任。他完全有理由这么想。

在培根的时代，人类知识的发展到了这样一个阶段：一方面，哥伦布和哥白尼的发现百千倍地扩大了人类的视野，面对浩瀚的宇宙和浩瀚的海洋，人类第一次认识到“我们现有的知识连告诉我们去寻求什么都不够”^③，第一次认识到自己的渺小和无知；另一方面，实用技术和实证科学的发展，又百千倍地增强了人类征服自然的能力，正如培根所注意到的，印刷术、指南针和火药的发明，“已经在世界范围内把事物的全部

① “如果我看得更远，那是因为我站在巨人的肩上”(H. W. Turnbull ed., *The Correspondence of Isaac Newton*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1959—1977, v. 1, p. 416, 本通信集以后简写作C), 常被当作牛顿尊重前人、谦虚坦荡的例证, 其实只是成语, 典出12世纪伯纳德(Bernard of Chartres): “我们一如坐在巨人肩上的矮人……”以后至少被二十六位名家用过, 见 Robert Merton, *On the Shoulders of Giants*, New York: Free, 1965。

② *Novum organum*, ed. by Thomas Fowler, Oxford, 1878, 是常见的拉丁原本, 通行的英译是 J. Spedding 等人所编全集(*The Works of Francis Bacon*, London: Longman, 1858)所收的译本。本书有许宝騄中译本: 《新工具》, 北京: 商务印书馆, 1984年。

③ 培根语, 见 Proem to the Interpretation of Nature, R. W. Church, Bacon, New York: AMS Press, 1968, p. 72。

面貌和情况都改变了……竟至任何帝国、任何教派、任何星辰对人类事务的力量和影响都仿佛无过于这些机械性的发现了”^①。知识从来没有如此令人信服地表现为力量。

培根对知识的信心在很大程度上来自他对实用技术研究的兴趣。15世纪后半期,实用技术渐渐发展为一个引人注目的门类。先是比林古启欧(Vannoccio Biringuccio, 1480—1538)用意大利文撰写了《热学》(*Pirotechnia*)^②,稍后1556年,阿格里科拉(Georgius Agricola, 1494—1555)用拉丁文写的《论金属》(*De re metallica*)^③出版。这两本书,尤其是后者,对采矿冶炼和有关设备作了巨细靡遗的描述。1579年,法国人贝松(J. Besson)^④描述了车床和其他机械加工的设备,以及疏浚河流的挖泥船;1588年迈尔利(A. Rameli)^⑤最先完整地描述了风力的和水力的磨坊;1595年斯特拉丹尼斯(Stradanus)^⑥描述了他当时的军火工厂和印刷厂;差不多同时又有达尔玛西亚(Dalmatia)的主教弗兰提乌斯(F. Verantius)的《新机器》^⑦，“描述了一些有趣的风车的细

-
- ① *The Works, op. cit.*, v. 4, p. 114; 中译见上引许宝骥译本,第103—104页。
- ② 本书有英译本: *The Pirotechnia of Vannoccio Biringuccio*, trans. by Cyril S. Smith and Martha T. Gnudi, New York: Basic Books, 1942, reiss. 1959, 有前言和注释, 颇易于应用。案周昌忠等译《十六十七世纪科学技术和哲学史》(北京: 商务印书馆, 1985年)中本书书名作《论高热技术》(第556页), 似稍有“现代化”之嫌。
- ③ 本书有英译本: *De re metallica*, trans. by Herbert C. Hoover and Lou H. Hoover, London: the Mining Magazine, 1912。但常见的版本是1950年的美国重印本: New York: Dover, 书前有作者小传和前言。前引周昌忠等译《十六十七世纪科学技术和哲学史》对本书有细致描述, 见第556—585页, 又在第407页有作者传, 唯提及本书时译名与稍后引用时不一致。
- ④ J. Besson (d. 1569), *Theatre des instruments mathematiques et mechaniques*, Leon, 1579, 参见 Charles Singer et al., *A History of Technology*, Oxford: Oxford Univ. Press, 1957, v. 3, pp. 334 - 335; 并见 R. S. Kirby et al., *Engineering in History*, New York: McGraw-Hill, 1956, pp. 143 - 144.
- ⑤ Agostino Rameli (1531 - 1590), *Le diverse et artificiose machine*, Paris, 1588, 这本书是他自费出版的, 参见 Charles Singer et al., *op. cit.*, pp. 89 - 92.
- ⑥ Van der straat Jan Stradanus (1536—1604), 参见 Charles Singer et al., *op. cit.*, pp. 350 - 351, 394 - 399.
- ⑦ Faustus Verantius (1551—1617), 他的名字有时写作 Veranzio, 氏著 *Machine novae*, 前后两版, 1595年和1617年, 引文见前引周昌忠第601页。介绍参见 R. S. Kirby et al., *op. cit.*, p. 139.

部结构,桥拱的拱架,吊桥以及疏浚设备”。我们当然不能尽数枚举这类著作,这儿所列举的,只是一些当时和后来都流行很广的书。欧洲各地在短短五六十年中出现的这些精美的实用技术的著作,内容涵盖了工业、农业、军火制造、交通运输各个应用项目,一方面反映了这些领域自身的发展,另一方面也提示了人们观念上的深刻的变化:工艺不再仅仅是工匠们的事了。吸引学者注意力的,是技术本身的发展,更是技术发展所创造出来的成果。这些成果作为物化了的论据强有力地证明,“知识就是力量”^①。

按照培根的计划,《新工具》是“伟大的复兴”这一大著作的第二部分。但事实上除了第一部分在先前出版的《论学术的进展》中粗具轮廓外,只有《新工具》真正成书。该书以箴言形式写成,分上下两卷。上卷一百三十条,称“破坏之部”,下卷五十二条,称“建设之部”,书名取自亚里士多德的《工具篇》。培根认为,工欲善其事,必先利其器,而亚氏所提供的工具实在不堪应用:亚氏未能尽数利用他以前的,自有初民以来的知识,而在发展新知识方面,亚氏又把实验仅仅用作证明已有结论的工具,而不是探索的手段,这是最不能接受的。

培根的时代是探索的时代。纷至沓来的新发现,层出不穷的新事物,一方面增加了人类的知识,另一方面更增强了人类接受新事物的心理准备。“天地之间有许多事情,是你们的哲学里所没有梦想到的呢”^②,1600年上演的“哈姆雷特”中的名句,正是这种心态的鲜明反映。培根批评亚氏的演绎方法,诉诸归纳,实在是这个时代的要求。没有什么大前提可以规范约束这个探索的时代,没有什么事物在原则上不能

① *The Works*, v. 7, p. 253. 这是培根 1597 年写的《圣思录》(Meditationes sacrae)中论“异端”时的一句插话。有的作者如王义军可能因为不知这个出处,遂以为是“被后人简要概括”出来的(《培根传》,石家庄:河北人民出版社,1997年,第86页),是说对了一半:这句话的原文见于上引文集 p. 241, nam et ipsa scientia potestas est, 英译为 for knowledge itself is power, 而中译进而作“知识就是力量”当无疑义;但另一方面,从上下文看,培根说的是上帝的力量,和这句话现在通行的用法并不一致,所以说“后人概括”云云也未可谓全错。

② Shakespeare, *Hamlet*, Act. I, Scene 5. 中译用朱生豪译本:《莎士比亚全集》,北京:人民文学出版社,1978年,第9卷,第33页。

想象、不能接受。在培根的著作中,与通常脍炙人口的归纳法、三表法、四偶像赫然并存的,是炼金术和隐秘科学。培根满怀信心地指出^①,所有的金属都为同一种精气(spirit)所规定,一种金属不同于另一种金属是因为它们的纯粹程度不同。所以通过某种方法将其锻炼,使之精粹,进而把一种金属变成另一种金属,应该是完全可能的。这种精气同样存在于有生命的东西之中。生物死亡,精气消散,腐烂随之发生。质理缜密的东西所以不易腐败,是因为精气不像在疏松多孔的物质里那样易于逃逸。培根说的精气,绝非精神性的东西,绝非亚氏哲学中万物因以不断完善的内在动因 entelechy,而是一种微妙的、不可见的,却又有其空间存在的东西^②。

这儿我们看见的是文艺复兴时代泛神论的传统。培根曾阅读过的并深受其影响的,有阿格里巴(Heinrich Cornelius Agrippa, 1486—1535)^③,有卡达诺(Girolamo Cardano, 1501—1576)^④,还有台利斯乌斯(B. Telesius, 1508—1588)^⑤。他们首先相信万物不是被动的存在,而各自含有自身存在的依据。万物相互联系,按照自身存在的依据相互作用,或者相互吸引,或者相互排斥。这种泛神论观点肯定了自然界的变化是有规律的,使得对自然的研究有了意义。这些哲学的最后代表是培根的同时代人堪巴纳拉(T. Campanella, 1568—1639)^⑥,他明确地反对经院哲学,否认亚里士多德的权威,提倡经验方法,认为哲学

① *The Works*, v. 3, p. 690, v. 2, pp. 213 et seq., v. 2, pp. 254 seq., *Novum organum*, II, 40, etc.

② *The Works*, v. 2, p. 256;有时可以是气和火的组合,见 v. 2, p. 215。

③ 对 Agrippa 的研究从 1856 年他的标准传记 M. H. Morley, *The Life of Henry Cornelius Agrippa von Nettresheim* 出版起几乎没有中断过。综合性的介绍参见例如 Charles G. Nauert, Jr., *Studies in the Renaissance*, 6 (1959) 195—222;这篇文章是该文作者的博士论文的发展。

④ 和我们现在讨论的主题有关的资料参见 Lynn Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science*, v. 5, New York: Columbia Univ. Press, 1951, pp. 563—579, 即 Ch. 26, 不过他的名字写作 Jerome Cardan。

⑤ Bernardino Telesius 的英文传记是 Neil van Deusen, *Telesio, the First of the Moderns*, Ph. D. Thesis, Columbia Univ., New York, 1932。

⑥ 对 Tommaso Campanella 的研究几乎全由意大利学者包揽,英语文献仅见于 *DSB*, Suppl., pp. 68—70;另有法语传记 L. Blanchet, *Campanella*, Paris, 1920, 或可参阅。

和科学的意义在于扩大人的解决实际问题的能力。他对人的能力的信赖，使得他对炼金术和我们现在看来不可思议的神奇幻术一律充满信心；他对经验的信赖使得他不肯接受哥白尼的日心说，因为在他的时代，日心说的确没有经验的支持。

培根所鼓吹的和上述堪巴纳拉的看法几乎一样。但是培根之所以能区别于晚期自然哲学家，卓然独立成为科学革命时代的第一个代表，首先在于他把科学定义为人类的事业^①，断然拒绝个别人的隐秘的努力，断然拒绝超自然的奇迹。在培根看来，人类必须以敬畏之心仔细阅读自然这本大书^②的每一页，不必期望有任何捷径可走；人类必须卑恭地学习这本书所用的语言，就像一个小学生开始学习阅读书写一样。在这个意义上，培根宣称：

除了小孩子以外，没有人能够踏进建立在科学之上的人的国度，一如除了小孩子以外，没有人能够踏进天上的王国一样。^③

二、世界体系

1632年2月，伽利略的《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》^④

① Val. Term., Sp. v. 3, p. 226; C. V., Sp. v. 3, p. 591; R. Ph., Sp. v. 3, p. 580; Sraef., Sp. v. 1, pp. 127-128; N. O., v. 1, p. 75, 88; D. A., Sp. v. 1, p. 462; etc.

② 把自然作为一本大书来读，在十六和十七世纪之交当是一种流行的说法。培根多次提及，如 *The Works*, v. 3, p. 224, 617, 687, 在 v. 7, p. 252, 他还同时提到 *The Scriptures* 和 *His creatures*, 说前者表现上帝的意愿，后者则表现其力量。更完整的表述见于 Thomas Tymme (d. 1620), 他在 1612 年写道，“天地万物的全能的创造者……在我们面前展示了两本书，一是自然，一是他写下的言语文词……”*OP. cit.*, Allen Debus, *Man and Nature in the Renaissance*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1978, p. 14.

③ *Novum organum*, I, 68.

④ *Dialogo di galileo galilei linceo ... massimi sistemi del mondo tolemaico, e copernicano ...*, Florenza, 1632; 本书有 Stillman Drake 英译, Galileo Galilei, *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems-Ptolemaic & Copernican*, Berkeley: University of California Press, 1953; 以这个英译本为基础, 有周煦良中译《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》, 上海: 上海人民出版社, 1974 年。

出版。这部被爱因斯坦^①称为“知识宝库”的著作，“要人们不带偏见，并且孜孜不倦地对物理事实和天文事实求得更深入、更一致的理解，用以代替那个僵化而贫乏的思想体系”。既然要以一者“代替”另一者，这就意味着革命。

《对话》被安排在四天中完成，而要证明的中心命题是地球绕太阳运动而不是相反。这个早在九十年前就由哥白尼提出的理论在很长的一段时期中被当作数学模型——至少被很多人刻意导向这样的解释；而现在，伽利略所做的，是强有力地证明了这是一种物理实在，是我们厕身其间的宇宙的真实图景。伽利略在“第一天”里首先引述了开普勒和第谷(Tycho)所观测到的新星，他自己所发现的太阳黑子和对月球表面的山峰谷地^②，并力图由此说明，亚里士多德“天体完美”的说法不真，但是他遭到了坚持亚里士多德权威和坚信常识的人的反驳。于是他在“第二天”里一口气举出七个例证^③，说明周日运动是实在的，然后细致地分析了落体和抛射体的运动，这些运动常被用作反对周日运动的决定性论据。在这些讨论中，伽利略证明了他著名的落体定律，声称下落的距离与下落时间的平方成正比而同其他无关^④，他又提出了运动的相对性原理，用船上的乘客常无法判明船是否在航行来说明地球上的人常无法感觉到地球的运动。伽利略在“第二天”将近结束的时候宣称^⑤，“依照哥白尼的方法，一个人必须否定自己的感觉”。在说明了地球的周日运动以后，伽利略在“第二天”里利用新星，金星位相，木星

① 见爱因斯坦为该书 1953 年英译本写的“前言”，在英译本 p. vii，下一段在 p. xi。中译见许良英等编译《爱因斯坦文集》第一卷，北京：商务印书馆，1977 年，第 579 页。下一段引文在同书第 581 页。

② *Dialogue*, pp. 51, 52, 60 et squ., 中译本第 63、64、76 页及以后。他自己的观测，可参见例如 S. Drake ed., *Discoveries and Opinions of Galileo*, New York: Doubleday, 1957, 2nd Pt, pp. 59 et squ.

③ 七个例证见 *Dialogue*, pp. 116 - 120, 中译本第 153—158 页。落体的讨论在 *Dialogue*, pp. 126 et squ., 中译本第 166 页及以后；抛射体的讨论在 *Dialogue*, pp. 150 et squ., 中译本第 197 页及以后。

④ *Dialogue*, p. 222, 中译本第 287 页。

⑤ *Dialogue*, p. 254, 中译本第 329 页。

卫星和视差说明了地球的周年运动^①。所有这些，与日常常识颇相抵牾，所以伽利略也一再强调，“在亚里斯塔克和哥白尼身上，理性和论证克服了感觉的证据”，稍后又重复说“哥白尼信赖理性，而不信赖感觉”^②。

伽利略在这本书里展示了一种把数学用于分析物理现象的研究方法，这一方法不同于开普勒的神秘的数字学，而是以对现象的描述为出发点，利用数学特有的推理能力来深化对现象的理解；他又展示了一种从现象出发，但崇尚理性分析的研究方法，现在自然学者不再是自然现象单纯的旁观者和记录者了，他们的理性主导了对自然的探索，因此这一探索再也不是兼收并蓄地聆听，而变成深思熟虑的推求了；他又展示了一种图景，这是哥白尼九十年前所构造的，而他现在无可辩驳地证明了这不是模型，而是真实的宇宙图景。

经过精密的推算，经过无数次的观测，经过精心的写作，伽利略完成了《对话》，为科学革命树起了又一座里程碑。八个月以后，作为对科学上的这一最重要的进展的一个直接反应，天主教宗教裁判所把伽利略传唤到罗马，帮助他认识自己的“荒谬”。

在以后的十年里，伽利略经历了很多苦难。他从来藐视权威，现在他必须屈辱地按照他们的指示去生活；他最亲爱的女儿赛莱斯特(Maria Celeste)为他的审判焦虑忧伤，在他获释后不久去世；1637年，这个七十三岁的以准确精细著名的观测家双目失明。1638年9月米尔顿(John Milton)在阿赛特里(Arcetri)看见他时，伽利略已衰弱到了极点。差不多同时，教皇委派的监护人法纳诺(Muzzarelli Fanano)也报告说伽利略看上去“不像活人，更像一具死尸”，教皇于是仁慈地同意让伽利略回他的家乡^③。

① *Ibid.*, pp. 282 et squ., pp. 322, 340, 376 et squ.; 中译本第363页及以后,第418、443页,以及第491页及以后。

② *Ibid.*, p. 328, 339; 中译本第426、441页。

③ James Brodrick, S. J., *Galileo, the Man, His Work, His Misfortunes*, New York: Happer, 1964, pp. 142 - 143.

但是,伽利略没有被摧毁。他的第二本书《两门新科学》^①,经友人的帮助,1638年6月在荷兰出版。这部书主要是伽利略早年力学研究的总结。大段的篇幅用于诸如加速度、重力中心、实验和观测、抛物线和摆、力和真空等问题的讨论。较之《对话》,我们看见的是更精致严谨的推理和更完整的数学处理。特别引人注意的是伽利略所描述的一系列实验。

一个特别著名的例子是自由落体。亚里士多德认为,比较重的物体下落比较快,较轻的则比较慢,换言之,重物下落的速度正比于它们的重量^②。伽利略首先从纯粹逻辑的层面揭示其困难^③。他问道,如果“重”使物体下落快些,“轻”使之慢一些,那么,把轻重两个物体绑在一起,其下落是变得快一些了呢,还是慢一些了呢?这是一个悖论:因为两者重量加在一起,势必比原来较重的那一物体还要重一些,因此下落当更快;但如果坚持原来的说法,较轻的物体应该下落较慢并且“拖累”那较重的物体,那么它就应该比单独下落时运动得慢一些。这就说明了亚氏的推理内部包含矛盾。

可是伽利略的对谈者辛普里修(Simplicio)仍觉得很难想象“一颗鸟屎和一枚炮弹”会以同样的速度下落。伽利略接着描述了一个他做的实验^④。他注意到,重的铁球的确较轻的先着地,但两者着地先后距离不大于两

① *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due nuoue scineze*, Leida: Elzevir, 1638。这部书大约在1662年由Thomas Salusbury译成英文,但只有少数几册逃过了伦敦大火。后来又有Thomas Weston 1730年的重译本, Henry Crew和Alfonso de Salvio 1914年的重译本,但现在常用的是Stillman Drake 1974年的重译本: *Two New Sciences*, Madison: The Univ. of Wisconsin Press, 1974。

② 此一论断常被引述证明亚氏理论之荒谬,其实颇为不公。案亚氏常以常识为起点,而在日常生活中,我们所看见的,也确是重的东西先着地。这里亚氏与伽利略的分歧,不能简化为谁对谁错,而必须作细致分析。

③ 下文讨论的伽利略的实验在前引Drake译本,第68页。

④ 有一些研究者认为伽利略很可能并没有做过这些实验,而只是在叙述中引用了一些形象化的说法。参见例如M·克莱因:《古今数学思想》,江泽涵等译,上海:上海科技出版社,1979年,第二卷,第35—36页。原文见M. Kline, *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times*, New York: Oxford Univ. Press, 1972。但从本处行文看,伽利略特意加上了“在做这一实验时”几个字(见Pieroni手稿,S. Drake译本第68页引),似证明伽利略确实做过这一实验。

寸。他认为这一误差是可以接受的，至多只是一种“微不足道的小错”。

伽利略在这里，以及稍后在匀加速运动中时间和距离的关系^①、小球在斜面上运动^②等一系列研究中所展示的，是一种新的科学方法，即推理和实验相结合的方法。实验不再是因为“想看看自然到底是怎么回事”而进行的无特定目的的，仅仅为好奇心所驱使的活动，而成为推理的一个组成部分。通过实验，推理得到证实和加强；而通过推理，实验的结果得到解释，得以纯化，如上文中两寸的误差即被合理地舍弃了。伽利略在科学方法上的这一贡献，为后世哲学家所特别钟爱。康德在谈到斜面实验时评论说，“当伽利略使他预先称量过的小球从斜面上滚下来时……一缕光明即在对自然的研究中显现出来。……偶然的观测，未经预先设计的观测，从来不可能产生出理性所期望的必然结果”^③。

伽利略的工作几乎立即被欧洲的主要学术中心所接受。《两门新科学》出版的第二年，1639年，麦森纳(Marin Mersenne)在巴黎出版了该书的法文改写本^④，同年10月11日笛卡尔作了长篇评论^⑤。1662年萨鲁斯伯瑞(Thomas Salusbury)完成了英译。从严格的历史和科学意义上说，伽利略并没有完成对力学和天体运动的完整描述，但是，他确实完成了这样一种完整的描述所需要的基础：他给出了图景，也给出了方法。在1610年利用望远镜探索宇宙奥秘的高潮中，伽利略写道：

哲学就写在我们眼前的这本大书里，宇宙永远在我们眼前展开。……这本书是用数学语言写的……没有它们，人就永远在黑暗的迷宫里徒劳地徘徊。^⑥

① *Two New Sciences, op. cit.*, 1974 ed., pp. 165 - 167.

② *Ibid.*, pp. 169 - 171.

③ 《纯粹理性批判》，本书有蓝公武中译，北京：商务印书馆，1960年。笔者未及使用此一译本，而转译自 Norman Kemp Smith 英译本，London: MacMillan, 1963, p. 20.

④ *Les nouvelles pensees de Galilee*, Paris, 1639.

⑤ 参见 S. Drake, *Galileo at Work*, Chicago: The Univ. of Chicago Press, 1978, pp. 387 - 393.

⑥ *Opere*, v. 4, p. 171. 翻译时参考了前引江泽涵译本。

三、论世界

1633年7月22日,笛卡尔^①说他的《论世界》^②完成了。这部著作花了他整整四年的时间。1629年7月,为了逃避法国喧嚣的学术环境,笛卡尔移居荷兰。不久,笛卡尔就从两个相互独立的来源听说了舒那(Christoph Scheiner)在罗马附近的弗拉卡蒂(Frascati)观测到 parhelia 或“一天两日”的现象,论者纷然,莫衷一是。略经考虑,笛卡尔决定暂停他正在进行的《第一哲学沉思集》^③的写作,借此机会写一部著作来“解释自然的全部现象,即全部的物理学,而不仅仅是讨论一个孤立的现象”^④。

在笛卡尔的时代,哲学是涵盖一切的学问:天文地理,信仰人生,概莫能外,与晚近只谈论思维规律的哲学不完全等同。哲学家喜欢做的,或者他们认为他们应该做的,是构造一个体系,把尽可能多的东西包罗进去。笛卡尔要做的正是这件事^⑤。

《论世界》手稿十五章。第一章开宗明义,提出心物二分:“论我们的感受与生造感受之物^⑥之间的差别。”这里的“感受”原文是

① 笛卡尔致 Marin Mersenne, *Oeuvres*, Charles Adam et Paul Tannery ed., Paris, 1897 - 1913;增订版 1964 -, t. 1, p. 268.

② *Le monde ou traite de la lumiere*, 这一著作的出版颇为曲折,详下。有 M. S. Mahoney 英译, New York: Abaris, 1979。尚新建《笛卡尔传》(石家庄:河北人民出版社,1997年,第61页),马元德译罗素《西方哲学史下卷》(北京:商务印书馆,1981年,第81页)提及该著作时作《论宇宙》或《宇宙论》。案原文 le monde 实在是“世界”,而“宇宙”其实另有一词 l'universe,英译亦作 the World。上引著译者可能考虑笛卡尔的原意是指“上下四方,往古来今”,也通,但恐失信于原文。

③ 后来在 1642 年出版。该书有庞景仁中译本,北京:商务印书馆,1986 年。

④ *Oeuvres*, t. 1, p. 70.

⑤ 他后来谈到他之所以选“光”作为论题的原因。他说,这可以让他充分地讨论光,光由之而来的太阳和恒星,光所穿越的太空苍穹,光所被反射的行星、彗星和地球,特别是地面上的万物,或五彩缤纷,或透光无色,最后还有人,因为人是这一切的观察者。参见 *Oeuvres*, t. 6, p. 42.

⑥ “生造感受之物”即“感受”所以被造出来的东西。这一翻译相当拙劣,但我想力图避免诸如“客体”之类的在哲学中已有明确定义的词,因为在笛卡尔当时尚未形成我们现在熟知的概念,为避免误导,遂采用“宁拙勿误”的办法。

sentiment,意在“感觉”、“体验”和“想法”之间。笛卡尔自注 sentiment 是“以眼睛为中介在我们的想象中形成的想法”。但后来的解释似乎更玄：感受“是而且仅是灵魂以与外部感官相同的方式接受的东西”^①。至于“生造感受之物”则是“火焰里或太阳里的我们称之为‘光’的东西”。

“心物二分”一方面为自然科学明确了工作的对象即世界本体的问题,另一方面向哲学提出了认识的真理性即认识论问题。既然心物不是一体,我们就没有理由盲目地相信我们的感觉。他先举了用羽毛逗婴孩的例子^②,又举了士兵在战斗后把盔甲造成的不适误为受了枪伤的例子,力图说明感官提供的消息不足为恃,而要更好地研究世界,就必须以怀疑的态度来考察问题,排除一切先入之见。笛卡尔接着从讨论火焰的光和热起,慢慢转入对“虚空”概念的批判。他认为^③,人们所以能谈论一无所有的虚空,是因为有时我们的经验确实告诉我们有一部分的空间中什么都没有。但是,人人都知道,从孩提时代我们就以为我们周围除了固体液体实物之外的空间是“空的”,而事实上完全不是这么回事,我们周围的空间无处不充满了空气,只是我们当时没有能注意到而已。

既然整个世界都为某物所充满,世上任何东西的移动必定引起另一相邻物事的移动:如果A要移动到位置a,原来占据a的物事B必须移动以便为A让出位置a。而B要移动又以同样的方式牵涉到C,C到D,D到E,环环相连,所以运动常是环形的。笛卡尔举例说,如果仅在酒桶的底上开一小孔,酒并不会从桶中流出。这是因为桶外的空间已为某种物事占据,无处可去,自然不能为想要从桶中流出的酒让出位子,所以酒也无法移动。笛卡尔说,这不是酒害怕真空,如亚里士多德说的 *horror vacui*,而是这酒周围完全被某物事充满,所以它既无处可

① *Op. cit.*, t. 11, p. 349。下一段引文是笛卡尔在 *Le monde* 第一章中自己的解释,见上引 *Le monde*, p. 1。

② 用羽毛轻拂婴孩的脸使之入睡。笛卡尔认为该婴孩应不会把他的感觉和羽毛联系起来。见 *Le monde*, p. 13。这个例子最初是伽利略用来说明类似观念的,见氏著 *Assayer*, Ch. 48。

③ *Le monde*, pp. 25 ff.

去,也无路可走,只好留在桶里^①。

这种充盈宇宙的物事,笛卡尔说可以分为三类^②。第一类为火,精细绝伦,了无定形,在所有的物体中和物体间奔驰穿行而不稍为所阻;第二类是气;等而下之为土,是为第三类。在这三类中,一类比一类更加重厚滞拙。

至于这些物质运动,笛卡尔认为,物体如不和别的物体发生碰撞,其运动状况不会改变^③。从这三类物质和这个关于运动的基本定律出发,笛卡尔接下去从第六章起构造了整个宇宙的图景,太阳居中,太阳周围的第一类物质,或称以太,或称 *matiere subtile* 即精细物质,依次移动,形成巨大的涡漩,带动了整个太阳系,而行星彗星出没其间,井然有序^④。

这样笛卡尔完成了对宇宙的描述——但他所取的角度始终是探索者而不是教导者。在笛卡尔看来,宇宙就是物质及其运动,所谓的物质并不神秘,不外乎形状尺度而已;其运动规律也不神秘,不外乎碰撞以及方向速度的改变而已。这套哲学后来被称作机械论哲学。这种把宇宙看作、理解为一部大机器的说法并不起于笛卡尔。早在 14 世纪,李西厄(Lisieux)主教奥雷姆(Nicolas Oresmus, 1382 年卒)似乎是第一个提出 *machina mundi*(机器世界)的学者^⑤。论者常将这一说法联系到中世纪的机械工艺,对奥雷姆说来,特别是 1360 年代以德东第(Giovanni de'Dondi)为代表的钟表业的发展^⑥。先是用机械模拟日月

① *Le monde*, pp. 29 - 31。笛卡尔撰写 *Le monde* 的时候,E. Torricelli 的真空实验尚未完成,所以他完全不考虑真空的情形。

② *Op. cit.*, pp. 37 - 39。留意下文中的“火”、“气”、“土”,其名但取其某一方面的相似,并不定指一具体物,颇似亚里士多德的概念。

③ *Op. cit.*, pp. 61 et squ.

④ *Op. cit.*, pp. 79 - 123.

⑤ 例如 L. Thorndike 就提到过好几位作者,见氏著 *History of Magic and Experimental Science*, New York: Columbia Univ. Press, 1934, v. 3, p. 405; v. 4, p. 169。

⑥ 参见 Lynn White, Jr., *Medieval Technology and Social Change*, London: Oxford Univ. Press, 1962, rpr. 1974, pp. 125 - 126, 175 - 176。并见 Paolo Rossi, *Philosophy, Technology, and the Arts in the Early Modern Era*, New York: Harper & Row, 1970, Ch. 1,更细致的研究是 Franco Alessio, *Studi medievali*, 3a ser. 6 (1965) 71 - 161,但未闻有英译本。

星辰的运动而做成钟表，再是把宇宙比作钟表，最后这一比喻竟成了一种哲学，宇宙真的被理解为一部大机器了。

笛卡尔写完《论世界》时一定颇感满意，因为“除此而外已无事可论”^①。但不久传来伽利略为其《世界体系》一书受审的消息，着实让笛卡尔大吃一惊，“几乎决心把书稿付之一炬，或至少决不示之于人”，因为《论世界》的宇宙图景是日心说，当与伽利略同为异端，但如果“日心说错，我的哲学的全部基础亦必错无疑”^②。他生前事实上再也没有考虑过发表这部书稿，只是挑选了一些片断，改写成若干部著作，其中最著名的，就是1644年发表的《哲学原理》，而手稿本身，则要到1664年，亦即他死后十四年，才由巴黎的一个出版商根据手稿的抄件出版^③。

《哲学原理》^④是笛卡尔全面叙述其哲学的压卷之作。除了建立于三种物质之上的宇宙图景^⑤和涡漩理论^⑥之外，笛卡尔进一步把机械哲学扩充到磁力和重量这两个当时最令人困惑的问题上去^⑦。

笛卡尔认为，磁现象是足可以和气水土火相提并论的重要的自然力^⑧，值得重视。他断言，铁和磁石中有一种极小的孔，恰恰能接受从磁极来的一种表面带有特殊的沟坎的小粒子^⑨，这种小粒子原来是从

① 笛卡尔致 Mersenne, *Oeuvres*, t. 1, p. 268.

② *Oeuvres*, t. 1, p. 271.

③ *Le monde de Mr. Descartes, ou le traite de la lumiere, ...*, Paris: Jacques le Gras, 1664. 这一法文本在前引 M. S. Mahoney 英文本里被重印。

④ *Principia Philosophiae*, 1644, 1647 年法译, 现在通行的法文本是前引 *Oeuvres* 本。下文所引常见于 V. R. Miller 和 R. P. Miller 据法译本做的英译本, *Principles of Philosophy*, Dordrecht: Reidel, 1983, 必要时也参阅了 Blair Reynolds 的节译本, *Principes of Philosophy*, Lewiston: Edwin Mellen, 1989.

⑤ 如 Pt. 3, Arts. 48 - 52 讲三种物质粒子; Arts. 53 - 54 讲天地组成和 *matiere celeste*; Arts. 141 - 148 讲太阳系和行星的运动等。

⑥ 涡漩的定义在 Pt. 3, Art. 46, Arts. 30 - 31, 33, 34 讲涡漩的运动, Arts. 149 - 153 讲地球和月亮的涡漩等。涡漩理论的系统研究见 E. J. Aiton, *Ann. of Science*, 13 (1957) 249 - 264; *ibid.*, 14 (1958) 132 - 147; 以及 157 - 172。同一作者后来又在更大的范围里考察了涡漩理论, 见 *The Vortex Theory of Planetary Motions*, London: MacDonald, 1972。

⑦ 笛卡尔在 Pt. 4, Arts. 133 - 182 用了将近五十小节讨论天然磁铁, Arts. 23 - 27 讨论重力。

⑧ Pt. 4, Art. 133.

⑨ Pt. 4, Art. 138, “沟坎”法文作 *cannelees*, 英文作 *grooved*。

地球内部产生出来的，“并在地球外部寻找它们各自的途径”。这些小粒子被第一类物质的涡漩带动，运动速度极快。当两块磁铁接近时，从一个磁极奔向另一个磁极的小粒子撞击到这两块磁铁之间的第二和第三类物质，或者说就是空气的颗粒，将后者推往磁极的两侧^①。我们还记得当空间出现空缺时，邻近的物体会或者说必将移动过来，这就是为什么两块磁铁接近到一定程度就会相互奔趋。同极性的磁铁不表现这种性质是因为上述小粒子所带的沟坎有一定的方向，并非不经选择地进入磁铁中的小孔^②，一如螺丝有左旋的和右旋的一样。

笛卡尔关于磁现象的理论是他的机械论哲学的典型代表^③。值得注意的是，笛卡尔并没有为磁力这个在当时颇为独特的现象引进 ad hoc 即特异假定，用来解释现象的小粒子及其沟坎是整个世界图景的一部分^④；整个解释建立在常识可以接受的想象上而不诉诸任何神秘因素。事实上，笛卡尔在另一地方^⑤提及磁作用时曾说，如果磁现象果为我们的理解力所不及，那么它就不可能通过理性来把握，而我们就只能期待再有一种新的感官，或者神谕。

但是，笛卡尔现在有信心用简单明了的推理说明整个世界而不必等待上帝的启示。他的信心不是简单盲目的信仰，而是对因果关系在自然界中普遍存在的确认。这一信念最突出地表现在他对运动的分析。他指出，如无外来原因，物体常保有原来状态^⑥，静者常静，动者常动。尽管笛卡尔本人把这一基本论断归为上帝，哲学和科学史仍旧认

① Pt. 4, Art. 153.

② Pt. 4, Art. 133 和 Art. 154.

③ R. S. Westfall (*The Construction of Modern Science*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1971, pp. 36 - 37) 和 I. B. Cohen (*Revolution in Science*, Cambridge: Harvard Univ. Press, 1985, pp. 153 - 154) 都以此为例说明笛卡尔在理解自然、建立“机械论哲学”方面的尝试。

④ 带有沟坎的粒子最早在 Pt. 3, Art. 87 中定义，在 Pt. 3, Arts. 105, 109 中曾用来解释星辰。

⑤ Rules for the Direction of the Mind, Bk. 1, Rule 14.

⑥ Pt. 2, Art. 37。“如无外来原因”拉丁文原文是 quantum in se est, 英译作 as far as is in its power.

为这是笛卡尔的“无可置疑的”光荣^①。由此出发，笛卡尔提出了一整套运动理论^②；由这一套运动理论，他在《哲学原理》中进一步建立了一个自洽的明白清晰的世界图景。这部大书出版后一年，笛卡尔写信给友人时说^③：

然而，我必须对你承认，这些(运动)定律并非没有困难。如果有机会的话，我要试图进一步消除它们。但我的心思现在为别的想法所占据，如果你能原谅的话，我将等到以后把我的想法更加详尽地写下来寄给你……

他未能消除这些困难，后来也没有寄出什么特别重要的补充。他当然不知道，为了要消除这些困难，他必须抛弃他的理论中最重要的以太假设而代之以他断然拒绝的超距作用；他当然更不知道，消除这些困难重新构造自洽的明白清晰的宇宙图景的人在两年前已经出生，牛顿的时代已经来到了。

① 参见例如 A. Koyre, *Études galiléennes*, 3, Paris: Hermann et Cie, 1939, La loi d'inertie, p. 1.

② Pt. 2, Arts. 38 - 53.

③ 1645年2月17日致 Claude Clerselier (1614 - 1684), 见 *Oeuvres*, t. 4, p. 187.



第二章

童年和剑桥岁月

1642—1664年常被定为牛顿生活的“早期”。这一划分的理由是很明显的。1664年以后，如在下一章我们行将看见的，牛顿将作为一个相当成熟的自然探索者出现。研究者感兴趣的是，他敏锐的研究能力是如何发展起来的。

早年的传记作者认为这很简单：“因为他是个天才。”这一看法主要见于斯特克累(William Stukeley, 1687—1765)的记录^①和所谓的康杜伊特档案^②。斯特克累和牛顿是同乡，1726年放弃了在伦敦的医务，卜居乡间，收集了一些关于牛顿的遗闻轶事，并有机会亲炙牛顿，所以他的回忆文字常为史家所重视。康杜伊特(John Conduitt, 1688—1737)是牛顿的姻亲，追随牛顿有年，后来又继牛顿任造币厂总督^③，他所记资料当也可信。但现代研究者总希望用一种对史料的更细致的分析来代替这种近乎神话的解释。

① W. Stukeley, *Memoirs of Sir Isaac Newton's Life*, London: MacMillan, 1936.

② Conduitt的记录现存 King's College, Cambridge, Keynes 档。

③ 但这一任命并非出于牛顿。牛顿起先意属克拉克(Samuel Clarke, 1675—1729)，但克拉克似乎无意于此，康杜伊特遂得此美差。他后来送给克拉克的儿子一千英镑以示谢意。

对“早期”的研究在史料上有相当的困难，上述斯特克累和康杜伊特的记述总还是比较简略且常失于偏颇。从1960年代初起，随着大量牛顿早年笔记的刊行^①以及对未刊手稿的研究^②，我们对牛顿“早期”的认识有了长足的进步。牛顿不再是一个不可理解的孤独的天才，而表现为他自己时代的产物。根据他所留下的笔记，我们可以相当准确地知道，他看过些什么书，他受到了哪些哲学流派的影响。关于牛顿家世的研究帮助我们对于牛顿早期的心理状态有了初步的认识^③，而对剑桥的两位对他影响最大的学者巴罗(Isaac Barrow)和莫尔(Henry More)的分析，则提供了他早年思想发展的智力环境。我们行将看到，牛顿在接受伽利略、笛卡尔的同时，并没有断然拒绝现在被称为隐秘哲学的种种观念和做法。事实上，这对于牛顿以后的发展有特别重要的意义。

一、家 世

牛顿生于1642年12月25日，但也有书作1643年1月4日。这是因为当时正值历制改革，欧洲大陆已采用新历，而英国仍用旧历，两者差十天。科学史家一般采用前一写法，这不但因为伽利略在是年去世，而他的事业的继承人牛顿在同年出生这一戏剧性的巧合为历史增添了一点儿趣味，更因为按严格的历史学做法，系年常从传主。牛顿既为英国人，自应采用英国当时所奉行的记法。

牛顿的出生地是伍尔索普(Woolsthorpe)，向北七英里则是格兰瑟姆(Grantham)。在斯图亚特王朝，这是个有三四百户人家的小镇，驻

① J. Herivel, *The Background to Newton's Principia*, Oxford: Clarendon, 1965, 主要是和《原理》写作有关的手稿; J. E. McGuire and M. Tamny, *Newton's Trinity Notebook*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1983, 提供了牛顿早年在剑桥学习时的笔记和札记, 参见下文的介绍。

② 如 R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1980; 以及 J. Herivel, A. R. Hall 和 B. J. T. Dobbs 诸氏的研究。

③ F. Manuel, *A Portrait of Isaac Newton*, London: Frederick Muller, 1980.

有一个主教。在内战时代，格兰瑟姆又屡被波及，詹姆士一世（James I）和克伦威尔（Cromwell）都曾在此招兵买马，所以林肯郡（Lincolnshire）的这个小镇，并不十分闭塞，外间的消息常常传来，只不过当地人对此没有什么兴趣罢了。

牛顿出生的房子现在还在，保存完好，供人参观凭吊。正门狭窄矮小，进门正房颇为低矮，石地。卧室都在二楼；楼梯左边的一间是牛顿母亲的，牛顿就出生在这里。右边一间是牛顿的，东南角是牛顿的书房。大部分窗户都堵着以节省“窗户税”，在牛顿的时候，房产税是用窗户来计算的。即使以牛顿出生的时候看，这也是一座相当老的房子。最早的记录可以追溯到1450年，房主是比高（Pigot），后来几经转手，到1623年由牛顿的祖父罗伯特（Robert）买下。他当然没有想到，因为他孙子的缘故，这座老旧简陋的房子在以后的三百年里会被反复维修，变成博物馆，成为伍尔索普驰名于世的一个主要原因。

1705年牛顿被封爵后很花了一番工夫追寻他的先人，并列出了世系表^①。牛顿向上追溯了一百五十年，说他的先祖约翰（John）来自威茨比（Wetsby），于1544年去世。这个约翰有一支颇为显赫的后代：先是威廉·牛顿（William Newton of Gunnerby），三传至约翰·牛顿（Sir John Newton）（此公与其曾祖同名，1626年去世），以后三代均有爵位。牛顿说此约翰的长子也名约翰，正是他的高祖。他在1727年去世前几个月，还重做了这一世系图。在图中，这个约翰三传至罗伯特，是为牛顿的祖父。

^① 牛顿不止一次地做过他的家世图，有关的手稿见于 Babson, Keynes 以及 Yahuda 诸档。1806年 Edmund Turnor, *Collections for the History of the Town and Soke of Grantham, ...*, London: William Miller, 首先依所谓的 Portsmouth 档刊出他的家世图 (pp. 168 - 169), 以后为不少作者引用, 迭有修改。R. S. Westfall 曾被 the University of Texas 授权复制, 见 RSW, p. 43。另外 L. T. More, *Isaac Newton*, New York: Dover, 1934 (repr. 1962), p. 5, 还有一个更细致的叙述。据 More 说 (More, p. 3, n. 4) 系出自牛顿的密友 Dr. William Stukeley, 通过牛顿的私人医生 Dr. Mead 转给 John Conduitt, 也就是后来的 Portsmouth 伯爵。

根据近代学者的研究^①，比较可靠的资料实际上起于罗伯特。罗伯特是里查德·牛顿(Richard Newton)和伊莎贝尔(Isabel)的长子，大约生于1570年。牛顿家族累代是 yeoman，中文有时译作“自耕农”^②，但也有说他家是“小地主”^③或是“中等农户”^④的。这些说法听起来令人困惑，其实正是 yeoman 这一社会成分的各个方面：他们自己有土地，也参加耕种，生活小康；一旦王室有事，他们则会参与服务；在地方上他们也是有体面的人家，有权参与诉讼和其他事务。罗伯特在1594年、1595年、1613年、1614年、1626年和1627年曾被选为科尔斯特渥(Colsterworth)的教堂执事，参加教堂钱物仪式的管理。1639年，他指定伍尔索普的房子由儿子艾萨克(Isaac)即牛顿之父及其未婚妻汉娜·阿斯考夫(Hannah Ayscough)^⑤继承。这座房子当年价值^⑥约为每年三十英镑，在当时也是不太小的一项财产。罗伯特在1641年去世，葬在科尔斯特渥教堂的墓地。

牛顿的父亲艾萨克生于1606年。在他之前罗伯特曾生一子，但两个星期后就夭折了。在他之后还有一个弟弟罗伯特(Robert)，生于1607年。老艾萨克继承了父亲罗伯特的产业，在1642年4月娶了汉娜。同年10月1日病危，立下遗嘱，除一些零碎的赠送亲友和当地教

-
- ① C. W. Foster, *Reports and Papers of the Architectural Societies of the County of Lincoln, . . .*, 39, Pt. 1 (1928) 1-62. Foster 研究了牛顿家族二十四个成员的遗嘱，并刊出了牛顿自己做的世系图(MS 2, D 14)。Foster 的工作为现代学者采用，如 RSW, pp. 1-56。
- ② 如钱临照先生在1987年纪念牛顿《原理》发表三百周年大会上的主题报告即采用这一译法，见戴念祖、周嘉华：《〈原理〉——时代的巨著》，成都：西南交通大学出版社，1987年，第18页。
- ③ W·C·丹皮尔：《科学史》，李珩译，北京：商务印书馆，1975年，第222页；但原文确是 small landlord，这是因为丹著《科学史》初版在1929年，恐怕未及利用 Foster 的工作。
- ④ 如前引周昌忠等译《十六十七世纪科学技术和哲学史》，第161页。
- ⑤ 在我所见到的所有资料中，牛顿的母亲均作 Hannah，唯阎康年《牛顿》(长沙：湖南教育出版社，1989年，第29页)作 Harrit，音译作“哈丽特”，似非误印。或另有所本，志此存疑。
- ⑥ 英国当时习惯以房产如果出租而产生的收入作该产业的价值指标，故下文称“每年三十英镑”。

堂、修桥补路的款项外，财产约四百六十英镑全数留给汉娜。他没有在遗嘱上签字，只是在该签字的地方划了个十字，这使得科学史家猜想他大概根本就不识字。

汉娜的娘家阿斯考夫比牛顿家地位要高一些。汉娜的兄弟威廉(William)曾在剑桥受教育。老艾萨克死后两个月，1642年12月25日，汉娜生下牛顿。

三年后，汉娜改适巴纳巴斯·史密斯(Barnabas Smith)^①，而牛顿则由外祖母抚养^②。史密斯氏是北威森(North Witham)教区的教区长，收入颇丰。巴纳巴斯·史密斯在1597年考入牛津大学，在1601年和1604年获学士和硕士学位。巴纳巴斯·史密斯和汉娜共有三个孩子：长女玛丽(Mary)，1647年生，次子本杰明(Benjamin)，1650年生，幺女也叫汉娜，1652年生。1653年，巴纳巴斯去世，得年七十一岁。

再丧偶后，汉娜带着牛顿的三个同母异父的弟弟妹妹回到娘家。牛顿与他的母亲和继父以及弟弟妹妹的关系，在20世纪60—70年代曾颇为研究者注目^③。从现在仅存的一封信^④我们知道，汉娜不仅识字，而且多少能写写。汉娜的娘家家道中上，两嫁夫家也称小康。但是广为人知的若干故事，如汉娜曾令牛顿辍学归农，牛顿在剑桥当以“工作抵学费”的减费生，似乎也表明汉娜对牛顿的前程未必十分在意。另一方面，我们也知道牛顿曾把他延迟二十年发表万有引力定律的原因归为母亲去世所引起的过度悲伤，而且牛顿的外甥女婿康杜伊特(John Conduitt, 1688—1737)也言之凿凿地描述过牛顿为他母亲送终时的动人场面。以现有的资料而言，似乎还很难作出一幅完整的画面。我们只能说，牛顿童年时代的种种变故对他的性格想必有很

① 前引阎康年《牛顿》(第30页)作R. B. 史密斯，将冠于教长名前的尊号 Reverend(“尊敬的……”)误作此公的名字，当是阎先生一时误记。

② 他的外祖母 Margaret Ayscough 和舅舅 James Ayscough。

③ 在这一方向最著名的工作是 F. Manuel, *A Portrait of Isaac Newton*, Cambridge: The Belknap, 1968, 特别是 Pt. 1, 1. Hannah and the Fathers。

④ Keynes MS 126, C, v. 1, p. 2.

大的影响^①，但究竟如何却并不容易考证清楚。

在诸同母弟妹中，么妹汉娜与牛顿关系最近。她的丈夫罗伯特·巴顿(Robert Barton)来自布里格斯托克(Brigstock),1693年去世。当时她的情形颇为窘迫，所以写信给牛顿求助。几经周折，牛顿给了她一百英镑，后来她的女儿凯瑟琳·巴顿(Catherine Barton, 1679—1740)又搬到了伦敦，与牛顿同住在杰明(Jermyn)街。凯瑟琳后嫁康杜伊特，后者在牛顿死后曾为其编撰纪念册，在牛顿的朋友中征集回忆录，他自己也写了一份牛顿传的草稿：四十二页牛顿的童年生活，十六页牛顿在剑桥的工作，十七页的轶事，另外十七页谈牛顿的性格，最后一页多一点儿是牛顿生病和临终的情形。这一套资料，连同其他很多牛顿的手稿在康杜伊特夫妇死后由他们的女儿凯瑟琳·康杜伊特(Catherine Conduitt, 1718年生)保存。1740年，凯瑟琳嫁给了渥劳普(John Wallop)，后者后来又袭父亲的封号成为朴茨茅斯(Portsmouth)公爵，而上述资料即归朴茨茅斯家族。牛顿亲属中的这一支之所以为后世研究者特别关注，是因为牛顿很多手稿和一些重要的回忆录由此得以保存，最后大部分归入剑桥大学^②，在1960年代前一直是研究牛顿最主要的资料来源。

二、童 年

三岁时母亲离开了伍尔索普，离开了牛顿，搬到七八英里外的史密

① 参见 I. B. Cohen, *DSB*, v. 10, p. 43, 并见下一节的讨论。

② 朴茨茅斯档后来在流传中分为几支：先是赛克斯(A. A. Sykes, 1684—1756)借去了大约十一份手稿，但未归还原档。这一部分的档案辗转经艾金斯(Jeffery Ekins)最后归牛津大学新学院(New College)收藏。而本档的一大部分则在1872年由朴茨茅斯五世伯爵送给了剑桥，剩下的于1930年7月13日、14日在伦敦新邦德街(New Bond Street)拍卖。凯恩斯(J. M. Keynes)先购得全部三百二十九宗中的三十八宗，后来他又陆续增购，最后得一百三十宗，他把这些手稿送给了剑桥的国王学院(King's College)，世称 Keynes Collection，至今没有全部刊出。其中相当一部分的目录见于 B. J. T. Dobbs, *The Foundations of Newton's Alchemy*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1975, rpr. 1984, pp. 235-248。阎康年上引书第32页注释作“凯恩斯文集”，是误解了 Collection 的意思。

斯家去了。这件事无论怎么样对牛顿说来都不会是令人愉快的。到快要过十一岁生日的时候,母亲又回来了。一同回来的还有三个弟弟妹妹,这件事是让牛顿愉快还是不愉快恐怕也很难说。一年多以后,1655年,十三岁的牛顿被送到格兰瑟姆的学校,正式入学,但第二年即1656年又被母亲从学校召回,以便能帮着家里做些农活。据说他不喜欢干活,在放羊的时候看书。于是在剑桥受过教育的威廉(William)舅舅和格兰瑟姆学校的校长都劝汉娜还是让牛顿复学。大哥的话当然还有些效力,1660年,牛顿又回到学校。牛顿小时候的确做过一些风车、流水磨坊之类的小玩意^①,但绝不是个引人注目的神童,最多是个会做模型、会画画的孩子罢了。1960年代以后,借着牛顿早年笔记本的刊布和所谓的心理分析学派的工作,我们对牛顿的青少年时代的了解有了长足的进展。

牛顿有不少笔记本流传至今。已知写于进大学之前的有两本,常被认为是研究牛顿少年时代的主要资料来源。时代最早的是一本练习本^②,记录了大约三百五十个单词,每页分两列,先英文,后拉丁文,写于1659年以前,似乎是牛顿学习拉丁文时用的。其次是所谓的“摩根(Morgan)笔记本”^③,因为页首上方有牛顿写的“牛顿所有,赛克尔(E. Secker)证明,购于1659年,2便士”^④,所以令研究者猜想该笔记大概写于1659年前后^⑤。笔记本的第一部分记录了如何做颜料、如何用水做酒、如何抓乌鸦和小牛之类的事。研究者已经证明^⑥,这些内容来自

① 参见 G. L. Huxley, *Harvard Library Bulletin*, 13 (1959) 348 - 354.

② 现为洛杉矶某人收藏,1936年拍卖时苏富比的目录说是一本拉丁词汇练习本,记有按字母顺序排列的若干英文词,笔记本的另一边则是一些 Epiphianus, S. Augustine 著作的摘录。

③ 因由纽约 Pierpoint 的 Morgan 图书馆收藏得名。除了下文讨论的内容外, Morgan 笔记本还有一些和科学有关的内容,包括五页的解三角形,两页的哥白尼理论,另外还有些宗教节日的摘录。容稍后再作讨论。

④ E. Secker 其人不详,想必是牛顿当时的同学或朋友。

⑤ 牛顿有时会事后在笔记本上添些日期之类,所以即使有1659年的题签,本笔记的写作时间在牛顿研究者中仍有不同意见。参见史密斯(D. E. Smith)的研究,在 W. J. Greenstreet, *Isaac Newton*, London: G. Bell & Sons, 1927, pp. 171 - 179.

⑥ E. N. da C. Andrade, *Nature*, 135 (1935) 360.

贝特(John Bate)《自然和艺术的秘密》(*The Mysteries of Nature and Art*)^①一书。在这本笔记本里,牛顿还摘录了威尔金斯(John Wilkins, 1614—1672)的《神奇数学》(*Mathematical Magic*)。威尔金斯 1631 年毕业于牛津大学,1648 年任牛津渥登(Wadham)学院院长,1659 年任剑桥三一学院院长,是很活跃的政坛人物。1648 年刊行的《神奇数学》想必相当流行。这本书不见得讲了多少“数学”,像它的书名提示的那样,倒是讲了不少神奇的事:从永动机的最新设计^②到可以燃烧一千五百年的灯。书中还介绍了一些力学实验,以及诸如水车之类的机械。牛顿后来做的流水磨坊之类的小玩意恐怕是由此而来的。

牛顿阅读格里高利(Francis Gregory)《词林》(*Nomendatura Brevis*)时的四十二页笔记引起了现代学者的特别兴趣。格里高利的这本书略同于现在的“词汇手册”,把各种名词按诸如“艺术、贸易、科学”,“鸟类”,“兽类”,“服饰”的题目分作几大类,分章按字母顺序罗列。牛顿摘录了其中的十六章。有的研究者认为^③,牛顿有意识或下意识地选录的这些词,特别是少数不见于原书的词,透露了牛顿十六七岁时的心理状态。比如第十三章“家庭关系和称谓”中,字母 F 下列出的第一个字是 Father,而该词并不见于格里高利原书。紧接其后是“未婚同居者”(Fornicator)和“阿谀奉承者”(Flatterer)。字母 W 下是“妻子”、“婚嫁”、“求婚者”、“寡妇”。引人注目的是牛顿又加上了“鳏夫”和“妓女”^④,而这两个词也不见于格里高利原书。

今存剑桥费茨威廉(FitzWilliam)博物馆的笔记本^⑤中有一段记述

-
- ① John Bate, *The Mysteries of Nature and Art*, 1634 年初版,1654 年三版;牛顿看的大约是第三版。
- ② 牛顿后来在笔记中对永动机的构想见 Add MS 3996, f. 68 121v(430-431)。参见 J. E. McGuire & M. Tamny, *Certain Philosophical Questions, Newton's Trinity Notebook*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1983。下文中 Add MS 3996 均出此, f (folio)后第一个数字是牛顿自己编的页码,第二个数字是整套手稿的顺序号,第三个在括弧中的数字系该印本页次。
- ③ F. Manuel, *A Portrait of Isaac Newton, op. cit.*, 1968, pp. 27-34, 56-60。
- ④ 即 widower 和 whoore,后一词现在拼作 whore。案牛顿时代英语拼写尚不严格,故此。
- ⑤ FitzWilliam 笔记本的使用时间大约从 1662 年或更早到 1669 年 4 月以后,也就是说是在牛顿进大学以后的事。下面讨论的一段写于 1662 年降灵节后不久。

了五十八条他认为他应该忏悔的事,其中第十二和第十三条明白提及他的继父和母亲,应该可以看作是牛顿对他十一二岁时的想法的回顾^①。第十二条说他“不服从母亲,不肯到小房间去”,而第十三条则承认他曾“威胁我的父母史密斯氏说是要把他们的房子烧掉,烧死他们”。第十四条虽然没有明白提及父母,但牛顿确实承认他曾想死,还希望有些“别的人”死掉^②。

马纽尔(F. Manuel)据此认为牛顿早年的生活充满了“恐惧、焦虑、怀疑、悲凉、畏缩、自贬”,从而使牛顿的性格表现出“小心谨慎,自贬自责,苦行僧式的努力,以及由压抑引起的畏惧”^③。这一分析虽然不见得完全没有道理,但学术界对以此为牛顿一生研究的基本出发点仍有很大的保留^④。

三、剑桥三一学院

1661年6月5日^⑤,三一学院,“这所剑桥大学最著名的学院在不知不觉之中录取了它的最著名的学生”^⑥。

牛顿是作为“减费生”进校的。剑桥的所谓“减费生”(subsizar)相当于牛津的“服务生”(servitor),是以工作抵消一部分学费的穷学生。17世纪的剑桥一般每年收十三个减费生,三个为院长服务,另外十个或为教员服务,或承担一些杂务。减费生可能还要为高年级学生做事。

-
- ① 牛顿的继父巴纳巴斯·史密斯死于1653年。据笔记所说,他希望他“死掉”,自然是在1653年之前,即牛顿十一二岁时的事。
- ② 牛顿笔记本中的这两页是用一种当时读书人中流行的Shelton速记符号写的。最先由R. S. Westfall解读,见R. S. Westfall, *Notes and Records of the Royal Society of London*, 18 (1963) 1。
- ③ F. Manuel, *op. cit.*, p. 54.
- ④ 有关讨论的文献列于I. B. Cohen, *DSB*, v. 10, p. 86, n. 1。
- ⑤ 1661年6月5日录取为三一学院的subsizar,同年通过考试取得sizar (quadrantarius)资格。见J. Edleston, *Synoptical View of Newton's Life*, in *Correspondence of Sir Isaac Newton & Professor Cotes*, ... London: John Parker & Cambridge: John Deighton, 1850, p. xxi.
- ⑥ RSW, p. 70.

在现存的史料中关于减费生的实际情形的描述不多^①，但似乎绝非什么令人愉快的或得以自豪的经验。牛顿为什么以减费生的身份入学，常年来一直令研究者困惑，有的作者注意到^②汉弗莱·巴宾顿（Humphrey Babington, 1615—1691）其人在牛顿早年学业上的影响。汉弗瑞·巴宾顿是牛顿家乡林肯郡的一个教长，又在三一学院担任教职。牛顿在格兰瑟姆读书时正是住在他妹妹克拉克（Clark）太太家，以后的剑桥笔记本里多次提到过他^③，1687年牛顿的大作《原理》问世时还曾专门送他一本^④，所以猜想牛顿以减费生的身份去剑桥是出于他的设计，或竟是去当他名下的减费生，也许不见得一定是无稽之谈。

不管怎么样，牛顿是进了三一学院。他开始很为与同住的同学合不来而苦恼，直到两年后结识了威金斯（John Wickins）^⑤，情形似乎才稍许好了一点。威金斯比牛顿小两岁，他们同住了多久、住在三一学院的什么地方，均无考。

牛顿在三一学院的生活见于他的费茨威廉笔记本。我们知道他有时上上小酒店，玩玩纸牌。纸牌上的输赢也都仔细地记在笔记本上，有时牌运不佳，连输十五先令。但他手头似乎还宽裕，常还有些钱借给别的同学。

三一学院的生活，最重要的当然还是学术生活，还是牛顿之所以为牛顿，最令研究者注意。问题的核心是牛顿在学问上的发展：1660年代初，尽管有证据说他是“沉静多思”^⑥，他毕竟只是一个在一所乡村学

① J. Edleston 摘录了三一学院 1660—1661 年的校规，使我们知道减费生要去为教员拿饭菜之类，原文见 J. Edleston, *op. cit.*, p. xli, n. 2。

② RSW, p. 73.

③ FitzWilliam 笔记本, *op. cit.*, RSW, p. 70, n. 12。

④ 他收到此一礼物时说恐怕“至少还要研究七年”，才能理解书里的一个问题。

⑤ 见前引 J. Edleston 的书, xliii 页注 13 以及对注 13 的注。其中引用了牛顿 1686 年 7 月 27 日致哈雷（Halley）的信。

⑥ Sober, silent, thinking... 这是温森特（Vincent）太太在 1720 年代末在斯特克累（Stukeley）采访牛顿轶事时的回忆，参见 W. Stukeley, *Memoirs of Sir Isaac Newton's Life*, London: Taylor & Francis, rpr. 1936, pp. 45 - 46。温森特太太小牛顿三岁，牛顿在格兰瑟姆读书时曾住在她的继父克拉克（Clark）氏家里。在和斯特克累的谈话中，温森特太太还称牛顿当时对她颇有爱慕之心，而她却未予考虑。但这一佳话仅见于此，未得其他史料支持。

校受过不到三年正规教育的孩子。科学史家感兴趣的是,由此开始的四年的剑桥生活是如何把他一蹴而就地造就出来的。追寻这一神奇发展的主要线索除了上面提到过的费茨威廉笔记本之外,就是编号为 Add MS 3996 的笔记本。

Add MS 3996 又称“哲学笔记本”^①,封面里页上有“牛顿,三一学院,1661年”几个字。牛顿去世时参加整理遗物的派莱(Thomas Pellet)又加上了“不适于刊行,1727年9月26日”几个字。整本笔记实际上是两个关系不大的部分组成:最初的三十页和最后的四十页是牛顿看书时的摘录;当中的四十八页是他写的三十七条札记,总称“若干哲学问题”(Quaestiones quaedam philosophicam)。这四十八页文字在研究牛顿思想的早期发展上极为重要,下一小节将作稍微详细的专题讨论。对我们现在感兴趣的“剑桥年月”说来,牛顿的读书笔记使我们有可能了解到他进入学术世界的最初情形。

首先是亚里士多德的《工具论》(Organon),希腊文,但标题用的是拉丁文。这本亚氏的名著^②讨论思维法则。我们知道,在差不多同时,牛顿还买了山德森(Robert Sanderson)的一本逻辑学,即1618年初版的《逻辑学》(Logicae artis compendium),牛顿买的可能是这本书1641年的重印本。这恐怕是威廉(William)舅舅的主意,他当年在剑桥时用的也是这本书。

紧接着亚里士多德是玛吉瑞斯(Johannis Magirus)的《逍遥学派物理学》(Physiologiae peripeteticae)。这是一本介绍亚氏自然观的书。从笔记判断,牛顿没有读完这本书。在他的笔记本里,牛顿抄录了一些亚里士多德关于宇宙论方面的论述,长达十页。在这一些摘录之下,牛顿画了一条线,然后写下了伽利略的拉丁文名字 Galilaeus,然后

① A. Rupert Hall 最先注意到这套资料对于牛顿研究的重要性,见 *Cambridge Historical Journal*, 9(1948) 239-250。

② 虽然早在波菲利(Porphiry)时代本书已作为亚氏著作流传,并有多种注释本,可是因为这本书在其他公认的亚氏著作中从未被明白引用,它的真伪受到了现代学者的严重质疑。但在牛顿时代,这一真伪问题尚未提出。

又抄录了一些关于星云大小的数据^①。

值得注意的是，牛顿的学术生涯是从亚里士多德开始的。亚里士多德的理论是他所接触到的第一个严整精深的知识体系，这一体系旨在用理性整理世界万物纷繁的现象，由现象追溯原因；同时又对思维作出规范，使之符合理性的要求，从而能担负起整理现象、追寻原因的任务。在这一意义上，牛顿将是亚氏的当之无愧的继承人。

四、“若干哲学问题”中的笛卡尔

“若干哲学问题”中占突出地位的是笛卡尔，他至少被直接或间接地引述了十五次。从年龄上说，笛卡尔长牛顿将近五十年；从学问上说，在牛顿进入剑桥时笛卡尔的学说正风靡欧洲大陆。在牛顿以后漫长的学术生涯中，他将要处处与笛卡尔作战，但是现在，他好像还非得先好好读读笛卡尔不可。

笛卡尔对于思想界，尤其是关于科学和自然的哲学探讨，贡献殊伟。我们还记得^②，笛卡尔把“存在”划分为两个主要世界，一是精神存在(*res cogitans*)，一是物质存在(*res extensa*)，如果把它们直译出来，就是“思维的东西”和“延展的东西”。译文虽然不够雅驯，于原意却还算贴切。按笛卡尔，“思维”和“延展”正是这两大部类的本质属性。这种划分的一个实际结果是把任何和心灵有关的东西从 *res extensa* 里驱逐了出去，自然科学的工作对象由是明白确立。但这种对两个世界的断然划分又提出了它们的关系问题，这是近代哲学中认识论的新起点。

这两者的联系自然是感觉，即人的感官为人提供的消息。这是没有疑问的。问题是，笛卡尔不放心的是，我们怎么知道感官所传达的消息是真实的呢？笛卡尔通过他著名的怀疑推理展示了论证的力量。笛卡尔从 *cogito ergo sum*，即我思故我在，推出了上帝的存在，从而证明

① Add MS 3996, ff. 16r - 26r (361 - 375)。这一段摘录被断代为 1661—1663 年，见 J. E. McGuire & M. Tamny, *op. cit.*, p. 15。

② 参见第一章第三节。

了物质世界中理性的存在。

对于笛卡尔来说,物质世界是一部大机器,而宇宙的基本构成单元是极细小的微粒。这些微粒处于不断的运动之中,惯性保持其运动,碰撞改变其运动。所谓的 *res extensa* 可以分为三类:一是发光的,如日月星辰;一是不透光的,如地上万物;一是透光的,精细微妙,充斥宇宙,无所不在。因其无所不在,其中的微粒在运动中必然要去占据别的微粒所在的空间,迫使后者移动,而后者要移动让位,又必须迫使第三个微粒移动。于是次第移动,造成循环。这种微粒的环形运动形成了涡漩,笛卡尔以此机制构造了用以解释天体运动的图景。利用赋予上述微粒的各种特性,如形状、表面的沟坎孔壑、运动的方式快慢,笛卡尔还系统地讨论了光、重力和磁现象这些最令当时的学者们困惑的主题。

牛顿是在 1664 年的上半年在莫尔(Henry More)的介绍下注意到笛卡尔的。牛顿所用的是笛卡尔《哲学著作集》1656 年第三版^①。牛顿摘录了笛卡尔关于创世、关于灵魂和关于心物二分的论述^②。牛顿注意到:

必然的存在是它自己的原因,换言之,这种存在就像山巅是山谷的原因,三角形是其内角和为两直角的原因一样(不是从权势来的,而是从它们本性的特殊性而来的)。^③

牛顿在这一则笔记下列出了十一个页码,这在“若干哲学问题”中有些不寻常,事实上,牛顿从别人的书中摘录时一般不列出来源。在同一则笔记中,牛顿还写下了概念和外界客体的关系。牛顿写道:

① R. Descartes, *Opera philosophica*, 3rd ed., Amsterdam: Elzevir, 1656。研究者注意到牛顿所藏的本书有折角的书页页次恰与本笔记中引用的页次相合,故能断定牛顿当年使用的正是这一版本。

② Add MS 3996, f. 83 129r (447 - 449)。

③ Add MS 3996, f. 83r (463 - 465)。“必然的存在”原文是 a necessary being,这儿的译文从贺麟、王太庆译黑格尔《哲学史讲演录》第四卷,北京:商务印书馆,1978 年,第 77 页。

概念对于外在客体来说不过是一个空洞的名字或叫法,但对于心灵来说……却是一个真正的实在,或者叫做理念智能的一种状态,就好像印章上的文字对印章来说不过是一种刻画,印到蜡封上,就成了蜡封的一种状态。^①

这两段文字写在“若干哲学问题”的第八十三页上,同一页下方是一段比较完整的笔记,谈论上帝创世。据考证^②,后者大概写于1664年年中。这两则笔记所反映的牛顿早期的认识论令研究者吃惊,因为文中提到的“蜡-印章”比喻显然不是笛卡尔认识论的主要论点,而且也不见于牛顿一本正经地引用的那些书页之中。笛卡尔倒的确用过这一比喻,但牛顿在1664年似乎没有可能读到笛卡尔的这一论述^③。其实,“蜡-印章”的说法在西洋哲学传统中颇为常见^④,现在大部分牛顿研究者认为牛顿大概是通过莫尔的介绍从霍布斯(Hobbes)的著作中了解到这一比喻的。

如果说“蜡-印章”一段是牛顿早年的认识论的基础,那么“必要的存在”则可看作他的本体论。在笛卡尔哲学中,“必要的存在”常指上帝,这一“存在”常是笛卡尔冗长推理的合理性的基本保证。不太准确地说,在笛卡尔看来,任何事物必须有其理性前提。如此倒溯上去,总要有个起点,而这一起点的存在不需要有任何前提,换言之,它必须自己是自己的原因。如果没有这样一个起点,后面的通过推理得出的整个体系就会坍塌。这一存在是“自证其真”的,这就是上帝^⑤。

牛顿对笛卡尔的自然哲学涉猎甚广。麦克盖尔(J. E. McGuire)

① Add MS 3996, f. 83r(463 - 465)。

② J. E. McGuire and M. Tamny, *op. cit.*, p. 13.

③ 笛卡尔的论述见于 *Rules for the Direction of the Mind*, Bk. 1, Rule 12, 其主要部分直至1701年才在笛卡尔的《遗著》(*Opuscula posthuma*)中发表。在此之前本文曾以 *Regulae ad directionem ingenii* 为题在笛卡尔生前友好中传阅,而1664年前后牛顿显然不在此一学术圈内。参见 Laurence J. Lafleur, Introduction, *Rules for the Direction of the Mind*, Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1961。

④ 例如 Plato, *Theatetus*, 191C8 ff; Aristotle, *De anima*, Bk. II, 12. 424^a 20 ff。

⑤ Descartes, *Opera*, AT. VII, *Responsio ad primas objectiones*, pp. 111 - 115.

和汤姆尼(M. Tomny)^①仔细研究了牛顿在阅读笛卡尔时在书上所做的记号,并与“若干哲学问题”的札记做了对比,发现牛顿注意的论题有关于物体和物质本性的如“感官不能向我们提供客体的真实存在”,“物体的本质不在于轻重、软硬,或颜色,而在于其广延性”或“空间和实物的广延性的差别”等;关于方法论,关于为什么宇宙物质的运动必然是一种涡漩,以及什么是第一、第二和第三种质;关于在涡漩中运动的物体有脱离中心的“离心倾向”等,还有关于光学^②和力学^③的讨论。

在笔记中牛顿对于笛卡尔的涡漩宇宙模型提出了一连串问题^④,涉及笛卡尔的三种质的运动形式,以及“第三种质”的发光问题。他还企图通过对早潮晚潮的测量来发现“涡漩的压迫形式”^⑤。在另外一些札记中^⑥,牛顿对笛卡尔在《哲学原理》第二篇第五十五章中讨论的涡漩又提出了一系列问题,特别是涡漩理论如何解释彗尾。因为按笛卡尔的说法,彗尾应当是弯曲的^⑦。在牛顿稍后的札记中,我们看到数十次的彗星观察记录,从1664年年底一直延续到次年春天^⑧。

牛顿在“若干哲学问题”中似乎没有对笛卡尔^⑨多次论及的圆周运动以及与之相关的向心力、离心力的概念作出明白的反应。这似乎表明牛顿关于运动的想法要到稍晚的1665年才形成,而且大部分的文字都见于“废书”(Waste Book)。

牛顿在这本笔记中还有不少关于光的产生、传播和本性的

① *Op. cit.*, pp. 142 ff.

② 例如 Add MS 3996, f. 18 96v(361)讨论光和热的关系。

③ 例如 Add MS 3996, f. 59 117r(419-421)论运动, Add MS 3996, f. 25 100r(371)讨论空气。

④ Add MS 3996, f. 11 93r-93v(355-357)。

⑤ Add MS 3996, f. 49 112r(405)。

⑥ Add MS 3996, f. 6 90v(349-351),下文关于彗尾的讨论在 f. 12 93v(357)。

⑦ Descartes, *Principia*, Pt. 3, At. 136.

⑧ 本手稿 f. 12 93v(357)有牛顿在1664年12月10日和17日对彗星的观察记录, f. 55 115v(413-415)有1664年10月8日,12月9日和23日、24日、27日的观察记录, f. 56 115v(415-417)继续有12月28日到30日的记录,以后 f. 57, f. 58 还有1665年1月和4月的记录。

⑨ Descartes, *Principia*, Pt. 2, Ats. 8, 9, 39, 57, etc.

文字^①，为行文方便，这部分内容将归入下文讨论“光学”时一并处理。

“若干哲学问题”涉及了近十部笛卡尔的著作^②，而以对《沉思录》和《哲学原理》的讨论最为丰富。笛卡尔的《哲学著作集》没有包括他的主要数学著作《几何学》。牛顿是通过斯库顿(Frans van Schooten)的拉丁文注释本学习笛卡尔数学的。这本书非常难懂，但牛顿似乎是通过自学把它读完的^③。据说牛顿不喜欢欧几里得，以至于在和巴罗(Isaac Barrow)面谈时对欧氏几何学不甚了然^④。

五、剑桥：巴罗(Isaac Barrow)和 莫尔(Henry More)

在三一学院中，莫尔和巴罗以对牛顿的影响为后世牛顿研究者所特别注意。

巴罗(Isaac Barrow, 1630—1677)^⑤是在1645年进三一学院的，那年他才十五岁。三年后升为研修员，1663年被选为鲁卡斯(Lucas)讲座教授主讲数学，1673年起任三一学院院长。据修道士孔蒂(A. S. Conti)说^⑥，牛顿告诉他巴罗有一次拿了一道关于摆线的难题来问牛

① 其中最主要的有 f. 32 103v(381 - 383)等。

② 计有 *Meditations*, *Philosophical Principles*, *Discourse on Method* (包括 *Meteorology* 和 *Dioptrics*), *Treatise on the Passions of the Soul*, *Objections*, 以及 *Replies to the Meditations*。

③ 这是 J. Conduitt 的说法，见 Keynes MS 130. 10, f. 2v, *op. cit.*, RSW. p. 99, n. 89。

④ 这段轶事见上引 J. Conduitt，牛顿还对 Antonio-Schinella Conti 提起过类似的故事。阎康年前引书(第 32 页)引述了 RSW 的叙述，但说“巴罗(I. Barrow)发现他(牛顿)……对笛卡尔的几何相当了解……”并由此出发与 D. T. Whiteside, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, v. 1, p. 18 的引文作了考异。案 RSW 和 Whiteside 两书均本 Keynes MS 130. 10, f. 2v, 原文是“the Doctor (Barrow) ... never asked him (Newton) about Descartes's Geometry. . .”(Barrow 博士……从未问及笛卡尔……)当无异可考。

⑤ Mordechai Feingold, *Isaac Barrow: Divine, Scholar, Mathematician*, in *Before Newton: The Life and Times of Isaac Barrow*, New York: Cambridge University Press, 1990, pp. 1 - 104.

⑥ Antonio-Schinella Conti, *Prose e poesi*, Venice, 1739 - 1756, v. 2, pp. 25 - 26, *op. cit.*, RSW, p. 206, n. 85.

顿,牛顿只用了六步当场证完交还巴罗。后者大为吃惊,认为牛顿的学识大大超过了自己,遂辞去了鲁卡斯教职,起身让贤。因为孔蒂和牛顿确有来往,牛顿也确实向他口述过自己的一些故事,而且孔蒂的书上距牛顿去世并不太远,这则轶事似乎可信。但现代研究者^①多认为这是牛顿夸大其词甚至杜撰的故事。牛顿晚年以皇家学会会长之尊,以《原理》一书的辉煌,似乎没有必要求此虚荣。但我们现在的确知道,他常常为了虚荣做些完全没有必要的事。

牛顿和巴罗的交往起于1664年。牛顿是作为一名奖学金的候选人去巴罗那儿接受考试的。因为不懂欧几里得,所以巴罗对他印象平平。巴罗并不是牛顿的导师,但他的工作深深地影响了牛顿却是不争的事实,其中最重要的当是巴罗自1664年3月14日起所担任的鲁卡斯讲座。

鲁卡斯讲座教席之设起于亨利·鲁卡斯(Henry Lucas, 1663年卒),他早年就读于剑桥,后来担任过荷兰公爵瑞奇(Henry Rich)的秘书,后者从1628年起任剑桥的校长凡二十一年,至1649年被杀头。鲁卡斯好像也是个有学问的人^②。牛津大学在1619年由萨凡尔(Henry Savile)设立了萨凡立(Savilian)讲座教席,很是让剑桥人羡慕。于是,鲁卡斯在1663年的遗嘱里承诺向剑桥捐献一项每年足以产生一百英镑的地产,以此项收入设一教席。当时规定,担任鲁卡斯讲座教授的学者“每学期必须在几何、天文、地理、光学、静力学或数学方面授课,每年必须有十篇演讲送呈剑桥大学图书馆存档”。上文提及的1664年的讲座,正是巴罗荣膺鲁卡斯教授后讲授的以自然科学为主题的课程,这在当时的剑桥还是件新鲜事^③。巴罗的第一讲通论数学,第二到第六讲讨论几何学,再后的六讲处理比较特殊的几何学问题。以此为基础汇

① 参见例如RSW, pp. 206-207的分析。

② 我们对于Henry Lucas的生平所知甚少,但从他曾长期代表剑桥参加国会会议,从他的三千二百卷藏书可知他堪当一代之选,与剑桥也有相当的渊源。

③ 剑桥在此之前设类似教席是亨利八世(Henry VIII)下令建立的瑞吉斯(Regius)教席,时在1540年,距鲁卡斯教席已是一百二十年之前的事了。

编而成的《几何学讲义》稍后在 1670 年出版^①。

近年来的研究表明，巴罗和牛顿的私人关系似乎并非如早先研究者所认为的那么密切^②，巴罗对牛顿的影响主要还是在数学思想上而不是在人事关系上。广为流传的说法如巴罗是牛顿的导师，如巴罗为了让牛顿得到鲁卡斯的教职而辞职，都为更细致的考证所拒绝。

巴罗是一个热诚的保皇党人，克伦威尔时代他在意大利游学，在比萨(Pisa)结识了伯瑞利(Giovanni Alfonso Borelli)，后者正在做圆锥曲线的研究，在佛罗伦萨(Florence)结识了瑞那尔蒂尼(Carolo Renaldini)，后者当时正在撰写《代数学》。离开意大利以后，取道小亚细亚，经法国回到英国。不久，英皇复辟，巴罗回到剑桥继续他对学问的钻研。他毕生的热情和渴望常在神学方面，即便在做数学研究时亦复如是。对巴罗来说，数学是他走向上帝的路，他以这样的热情来看待数学^③：

啊！上帝，你是何等伟大的几何学家！这门科学威力无限，新的定理层出不穷，甚至凡人也能翱翔其间！你在一刹那之间完成了所有的定理，不见斧凿，神妙无迹！

他本来想献身于神学研究的，但未能如愿以偿。而查理二世(Charles II)的复辟却使他当上了瑞吉斯(Regius)教授^④，教授希腊语和文学。

① Londini, Gulielmi..., 1670。下文所引 M. Kline 的书(p. 346)作 1669 年，误；而 C. B. Boyer 的书正作 1670 年。是书有英译 *The Geometrical Lectures*, tr. J. M. Child, Chicago & London: The Open Court, 1916。

② 参看 RSW, pp. 99 - 102。稍早的研究如 A. R. Hall, *The Scientific Revolution, 1500 - 1800: The Formation of the Modern Scientific Attitude*, London: Longmans, 1954, p. 247, 和 C. C. Gillispie, *The Edge of Objectivity*, New Jersey: Princeton University Press, 1960, pp. 118 - 119, 都肯定了这两位 Isaac 之间的关系。在 1983 年彻底改写 1954 年初版时, Hall 称巴罗和牛顿的关系是“uncertain”, 见 *The Revolution in Science, 1500 - 1750*, London & New York: Longmans, 1983, p. 307。

③ A. Napier, ed., *Theological Works of Isaac Barrow*, v. 1, p. xlvii.

④ 瑞吉斯教职初设于 1540 年, 1654 年共和时, 担任此职位的杜波(James Duport)被迫离职, 由威德林顿(Walph Widdrington)接任。在复辟后, 威德林顿被认为是“篡夺”, 但杜波又不愿意重回旧任, 于是巴罗被任命为剑桥的瑞吉斯教授。

利用这一职务,巴罗很是想对剑桥的教学做一些改革,可是颇不成功:剑桥的学生不欣赏他们以前没有听到过的东西。从他的改革方向来看,他深受笛卡尔的影响,但绝不想用笛卡尔的“时尚之学”来取代亚里士多德。他服膺于笛卡尔,是因为后者既是哲学家又是数学家。

作为数学家,巴罗的工作,例如《几何学讲义》,所反映出来的他的主要学术兴趣,是当时数学研究的主流;他研究曲线,特别是圆锥曲线,它们的切线的求法,它们所围区域的面积的求法等。在他的时代,“所有对微积分学做过一部分先导工作的数学家中,没有一个比之于费马(Fermat)和巴罗所做的更接近于新分析学了”^①。虽然我们绝不能说巴罗已经有了近代的,或者哪怕是最简单粗糙的微分概念,但他对于求切线,以及求切线的逆运算就是求面积之类的问题,确实已经有了完整的看法。对于我们行将讨论的主题特别有意义的是他引进了一种他称之为特征三角形的图形,显示了曲线如何同切线渐渐一致的奇迹,被认为是代表了他“那个时代的思想”^②。

在数学思想上,巴罗倡导回到“数和几何概念的古典运用”,而不爱采用数列极限的方法。牛顿显然继承了这一观念。这种重视在运动和几何学中把握连续变化的量的观念比起数列来更有物理上的直观性。在这一意义上,牛顿是幸运的:他最初接触的,导向微积分方法的巴罗几何学,对于他马上要研究的行星运动来说,简直是再合适不过的了。

巴罗所代表的,是17世纪上半叶数学发展的主流。这一潮流的肇始当然可以推到很久远的时代,但在17世纪中把它推向高潮的,却是1661年笛卡尔的《几何学》第二版^③。这本书的拉丁文版最初由笛卡尔

① Carl B. Boyer, *The Concepts of the Calculus*, New York: Columbia Univ. Press, 1939, p. 185;上引文取自上海师范大学数学系中译本:《微积分概念史》,上海:上海人民出版社,1977年,第195页。唯中译本是根据该书第二版译出的。

② Morris Kline, *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times*, New York: Oxford Univ. Press, 1972, p. 346;上引文取自北京大学数学系中译本:《古今数学思想》第二册,上海:上海科技出版社,1979年,第53页。

③ 这本书的英译在1954年由Dover重印过,所以不难找到;法文原版 *La géométrie* 出现于1637年,已是不太容易见到的书了。

的密友斯库顿主持在 1649 年出版,为欧洲不谙法语的学者提供了整套的笛卡尔数学。但是笛卡尔在出版时对原书做了很多奇怪的删节,以防别人“不失机会地说我所写的都是他们早已经知道的东西”,这本书因此变得非常难读。斯库顿在第二版中很是加入了一些他自己撰写的注释,大大增加了这本书的影响。斯库顿本人在圆锥曲线方面颇有建树,又与当时在法国工作的惠更斯(Ch. Huygens)交厚,曾经主持出版过韦达(Viéte)的数学著作集,做这样的注释无疑是能愉快胜任的。我们还记得牛顿在 1661—1662 年间阅读笛卡尔时,用的正是这个注释本。这就使我们容易理解为什么他进了剑桥,一开始对数学的认真研究就转入了巴罗的方向。

莫尔(Henry More, 1614—1687)^①和牛顿一样来自格兰瑟姆。他在伊顿(Eton)和剑桥的基督(Christ)学院获得学位以后,自 1639 年起在基督学院继米德(Joseph Mede)正式担任教职,直至去世。尽管经历相当简单,他的思想却是他同时代学者中最复杂的一个,在这个意义上,他的传记作家豪尔(A. R. Hall)称他是“悖论之人”(Man of Paradox)。他笃信上帝,但又和被当时自然哲学家所不齿的隐秘怪诞的江湖术士交往密切,从而使得他本来最纯正的哲学变得与众不同;他在哲学上归属于所谓的剑桥柏拉图学派,而在把笛卡尔介绍到英国学术界方面,他又是 17 世纪数一数二的重要人物。

要理解莫尔,首先要注意到的,是对上帝的热诚的信仰贯穿了他的一生。从生活上说,莫尔要求甚低:“他除了书以外什么都不要,心灵享受着无求无欲的平静”^②:

我和地上的猛兽一起游戏,狮子像温顺的家犬一样轻轻地舔我的手,巨蟒闭着嘴静静地盘坐在我的膝上。我和天堂里的飞鸟一起玩耍,所有的鸟儿歇息在我的手臂上一起歌唱。所有这些都

① A. R. Hall, *Henry More: Magic, Religion, and Experiment*, Frome: Butler & Tanner, 1990.

② *Ibid.*, p. 85.

是真的,并非我在迷幻的景象中所见。

这不是浪漫的幻想,不是文学家的夸张,这是一个沉静的哲学家的真实感受。正是在这一点上,莫尔和笛卡尔有基本的共识。论者以为,如果逐字逐句地看,莫尔从来不是笛卡尔的信徒,但如果从大的方面来分析,从整个世界观来看,莫尔从来没有走出过笛卡尔的王国^①。

莫尔是英国研究笛卡尔的先驱之一,他一方面把笛卡尔的学说介绍到了英格兰,另一方面又以更加彻底的神学观点和更严格的逻辑对笛卡尔进行了批判。在1648—1649年间,莫尔在同笛卡尔的通信中系统地提出他的论证。首先,他认为笛卡尔以“广延”即有可度量的大小来定义“物”(res)太空泛。因为“上帝似乎确实确实是广延的”^②,不然上帝就不是无所不在的了。所以,莫尔认为,实物和精神都是广延的,只不过广延的方式不同罢了。莫尔认为,这两者的差别实在在于,前者是不可入的,即一实物一旦在空间占据了一个地位,别的实物就不能再占据这一位置了;而精神不具有这种不可入性。精神虽然在空间上是广延的,但并不排斥其他的精神或实物来占据同样的位置。

莫尔就关于原子是否存在的问题对笛卡尔提出了反驳。笛卡尔认为,实物在本质上是广延的,物质充满整个空间,或者说空间就是物质广延的度量,而没有物质的空间即“虚空”是不存在的。从这一想法出发,笛卡尔进一步认为物质应当是无限可分的,这是物质的广延性所要求的。笛卡尔认为,如果承认有不可分的原子存在,就实际上否定了上帝的全能。莫尔不同意笛卡尔的说法。他说,所谓的原子不可分,是指原子不能被我们这一世界中的任何力量所击破,即不能被上帝所创造出来的任何力量所击破,而不是上帝本身不能将原子击破。所以,笛卡尔的论证并不能成立。莫尔争辩说,上帝当然是无所不能的,但是还有很多事上帝并不做,比如说上帝不说谎:上帝并不是不能说谎,但他不

① A. R. Hall, *Henry More: Magic, Religion, and Experiment*, Frome: Butler & Tanner, 1990, p. 147.

② *Lettres de M. Descartes ...*, *Oeuvres*, Paris, 1903, t. 5, p. 238.

说谎。

笛卡尔对莫尔批评有过很诚恳的反驳^①，本书当然不能细致地追寻这一争论的各个方面。对于现代读者说来，这一争论中双方的推理方式和征引的论据一定显得很奇特。但是这绝非诡辩，也非儿戏，这是大约三百五十年前人类对于自然、真理和人所厕身其间的世界的最精深的探讨。笛卡尔要做的是完成“心”和“物”的二分，所以他要强调有形的物和无形的精神之间的差别；莫尔则更多地继承了古代希腊柏拉图和德谟克利特(Democritus)的哲学传统，着眼于原子存在的假定，进而着力区分“空间”和存在于空间之中的“物”。我们以后有机会看到，这些貌似空泛的论证对牛顿理论的发展建立自有其各自的贡献。

就关于上帝的讨论而言，从托马斯·阿奎那(Thomas Aquinas)起，就有两个主要的方向。一是把信仰贯彻到底，如同《圣经》所一直强调的那样。于是上帝本身就是真理，信就是福，因此并没有什么“为什么”可言，而上帝本身的行为，即便有理性存在其中，对我们人说来也仍旧是不可窥测的^②。另一方向则力图把信仰纳入理性，力图通过理性的考察来说明，或者更进一步证明上帝的存在和他的全能。笛卡尔^③、莫尔以及稍后的斯宾诺莎(Spinoza)，都更接近第二个方向。这一方向上的研究，最终将导致理性凌驾于上帝之上，换言之，上帝必须通过理性的批判才能获得存在的准许。于是对地面上的石块土堆，对苍穹中的星辰气雾的考察都有了神圣的意义。哥白尼、第谷(Tycho)和开普勒(Kepler)所孜孜追求的，在我们看来是客观世界的真实图景，而在他们自己看来，却是上帝为提示他自身的存在而展示的理性，或者是通过理性的追求而提示上帝存在。

但是，在1660年代的最初几年，牛顿坐在俯视康河的三一学院他

① R. Descartes à Henry More, 5, II, 1649, pp. 267 sq.

② 例如 Job 38 - 39 上帝回答约伯的著名篇章。

③ 例如 Descartes, *Meditations*, I, 最后一段, *Discourse on Method and Meditations*, tr. L. J. Lafleur, Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1960, p. 78, p. 80; 下文的斯宾诺莎, 参见 Baruch Spinoza, *Ethics: Treatise on the Emendation of the Intellect and Selected Letters*, tr. S. Shirley, Indianapolis: Hackett, 1992, pp. 44 - 45。

自己的房间里阅读莫尔的《论灵魂之不朽》时,事情并非如此显而易见。从“若干哲学问题”中可以看到,是牛顿对莫尔关于原子存在的论证的有趣补充^①。二十一二岁的牛顿以年轻人特有的信心写道:“原始物一定是原子,杰出的莫尔博士已经在他的关于灵魂不朽的书里无可辩驳地证明了。”牛顿用形式逻辑的定理对此提出了一个“补充证明”。他证明的大意是,一物必有有限的广延。如果能被无限划分,即可得无限个广延有限的“部分”即划分的结果。把这些“部分”重新组合成整体,就产生了无限个有限的广延之和,而这一总和必为无限,从而与“广延有限”的大前提矛盾。

1650年笛卡尔去世,莫尔的讨论骤然失去了对象。同一年,莫尔结识了他的学生和好朋友芬奇(John Finch)的妹妹安妮(Anne),开始通信。次年,安妮·芬奇嫁给了康威(Conway)子爵,成为康威夫人。莫尔给她写过很多长信讨论哲学和神学,而她也成了他在剑桥的生活、在公共事物和与鬼神交往方面最大的鼓舞和灵感的源泉。而与子爵一起为“消磨时间”而阅读的笛卡尔的《论灵魂的激情》,又启发了莫尔写出了《论灵魂之不朽》。1659年出版时,莫尔把他的这部最重要的著作献给康威子爵。

莫尔对于非物质的、隐秘的、超自然事物的兴趣可能来自康威夫人。这在当时并不像我们现在想象的那么怪诞不可思议。我们知道,格兰维尔(Joseph Glanvill)也从同样的渠道得到了同样的影响。著名的术士海尔蒙特(Francis Mercury van Helmont)在他逗留英国的很长的时期中,大部分时间都和康威夫人在一起。另一个奇人,剑桥的福克斯克劳福特(Ezekiel Foxcroft)的母亲正是康威夫人的贴身秘书。我们以后还有机会看到,这位福克斯克劳福特还是牛顿研究炼金术的主要指导者。1670年,通过莫尔,这两位隐秘幻术的主要代表在剑桥结成朋友,后来又一同在康威夫人那儿做了关于探求启示录本质、证明灵魂

^① Add MS 3996, f. 3 89r (341).

先于肉体的存在和犹太神秘教的实验^①。

但莫尔又绝不同于这些术士。牛顿出生那年，他刊行了《灵魂之歌》(*Psychodia Platonica*)，歌颂时空的广阔无垠。他在这一阶段的著作中还批判了炼金家弗安(Thomas Vaughan)。我们不能确切地知道莫尔是不是从哥白尼的原著中了解新天文学的，但他似乎仔细阅读过伽利略的《对话》^②。1647年刊行的《哲学札记》多处引用了伽利略^③，包括不少天文学的观测数据，也包括对于第谷体系的解说，甚至于还有金星位相的图解，以及行星运动中的留和逆行。他称赞哥白尼，称其假说“本身就极其合适和天才”。他也分析了伽利略的潮汐理论，并颇不以为然；他还提到了重物的下落，但好像完全没有理解伽利略的工作。

六、“若干哲学问题”中的科学

重物下落的实验同样也引起了牛顿的注意。在他的三一学院笔记本里^④，记录了伽利略的工作：

根据伽利略的实验，一个重 100 佛磅(以伦敦的度量标准是 78 磅)在 5 秒钟里下落 100 佛尺(或 49.01 Ells, 即 66 码)。

在牛顿的笔记中，还有一些据信是从伽利略的书里摘录的关于星云大小的数据。可以看出，牛顿仔细阅读过伽利略的《对话》，很可能还有《两门新科学》。在伽利略去世前后，他的实验-实证方法，正是崇尚“培

① Add Ms 3996, f. 389r(100).

② *Dialogo di Galileo Galilei Linceo*, 1632, 这是莫尔用的版本。现在通行的是 Drake 的前引英译本。

③ 参见 A. R. Hall, *op. cit.*, pp. 275 - 276.

④ Add MS 3996, f. 68 121v (429)。下文所描述的实验见 Galileo, *Dialogue*, tr. S. Drake, p. 223, 中译见前引中译本, 第 289 页。文中“佛磅”原文是 lb. Florentine, 译文是我杜撰的, “佛尺”(Florentine brace)亦然。Ell 系古尺名, 约合 45 英寸。下文所列的数据与真实情形相差很大(~53%), 这可能是伽利略写书时随口举的一个例子, 也可能是当时的计量技术尚不足以完成这样的实验。

根科学”的英国学者的一个热门话题。

在英国科学家当中，牛顿阅读得最多的恐怕要算波义耳了。波义耳(Robert Boyle, 1627—1691)出生在一个贵族家庭，从小享受到很好的教育：先是在家由私人教师辅导，再是著名的伊顿公学，再是由专人陪同遍游欧洲大陆。牛顿出生的那年他正在意大利的佛罗伦萨阅读伽利略的《对话》。回英国以后，他建造了一台抽气机。利用这一新设备，波义耳做了很多关于空气的实验。这些实验记录在1660年以《物理和机械的新实验》(*New Experiment Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air and Its Effects*)为题发表，确立了波义耳在实验科学研究方面的地位。在“若干哲学问题”里，牛顿多次提及波义耳关于真空的实验^①、摆^②，他还注意到声音在真空中要“弱得多”^③。

波义耳对空气弹性的理论解释表现了清晰的机械论哲学的倾向。他认为，空气可以“想象成如同羊毛那样层层重叠起来的细小物体的堆积”，每一个这种“细小物体”都像“一个细小的弹簧”，所以空气的微粒和羊毛的绒毛一样“都容易屈服于外部的压力……”^④留意笛卡尔关于化学亲和力和磁力的解释，我们很容易发现波义耳的思想同大陆机械论哲学的关系。从牛顿的摘录来看，在1664—1665年间，他仔细阅读了这本机械论哲学最重要的代表著作^⑤，同时还阅读了波义耳的其他著作，包括刚刚出版的《关于颜色的实验与思考》(*Experiments and Considerations Touching Colours*) (1664)^⑥和《关于寒冷的观察与实

① Add MS 3996, f. 20 97v (367).

② Add MS 3996, f. 23 99r (371).

③ Add MS 3996, f. 37 106r (391)。这儿说的“弱得多”显然是因为在波义耳的实验中真空程度不够高的缘故。

④ Thomas Birch ed., *The Works of the Honourable Robert Boyle*, London, 2nd, 1772, v. 1, p. 11。波义耳的这篇重要论文未闻有中文全译，上引译文见前引周昌忠等译《十六十七世纪科学技术和哲学史》，北京：商务印书馆，1985年，第270页。

⑤ 在本笔记中，牛顿直接或间接地援引波义耳关于空气弹性问题的研究凡七处，例如 Add MS 3996, f. 4 89v (343), f. 6 90v (349), f. 23 99r (371), f. 25 100v (373), f. 37 106r (391), f. 47 111r (401)和 f. 67 121v (427)。

⑥ 间接援引近十次，如 Add MS 3996, f. 23 99r(371)等。

验》(*New Experiments, and Observations Touching Cold*) (1665)^①, 这些当时最新的学术进展想必对牛顿的自然观有重要的影响。

“若干哲学问题”还记录了第格拜的高论^②。第格拜(Kenelm Digby, 1603—1665)是17世纪上半叶英国的一个奇人,三岁时父亲因故被杀了头,以后从叔父长大,在牛津受教育。稍长,与当时著名的美女斯坦利(Venetia Stanley)秘密结婚,随后潜往地中海完成一项秘密使命,名声大噪。他是世代的天主教徒,1630年忽改信英国国教,三年后妻子去世,大受打击,又重新皈依天主教,并退出公共事务,专心向学。他是皇家学会最早的会员之一,与笛卡尔和费马等法国哲学家、数学家有很多联系,在文学、宗教和哲学方面都有著作。1658年用法文撰文论“同情”在治愈伤口上的作用^③,对炼金术也很感兴趣。第格拜的思想更多地倾向于隐秘作用。尽管当时大陆机械哲学的研究者对任何稍带神秘倾向的东西都嗤之以鼻,但他们的哲学却也还不是无所不能的,所以诉诸隐秘因素的解释也总是有生存的余地。

格兰维尔(Joseph Glanvill, 1636—1680)出生在一个清教徒家庭,早年在牛津受教育,和牛顿差不多是同时代的人。他的自然观很混杂,研究过用矿泉水治病,并就采矿和冶金问题向皇家学会提交过论文^④。这种对工业生产和工艺的“功利主义”研究在当时的英国颇合潮流,是一种社会注目的时尚^⑤。他的代表作是1661年刊行的《教条化的虚夸》,牛顿所读的就是这本当时颇为风行的书^⑥。牛顿注意到,清新的

① 如 Add MS 3996, f. 18 96v(363)等。

② Add MS 3996, f. 39 107v(393)。

③ 这本书在当时非常著名,有“无数的”英、德、荷兰、拉丁文译本。参见 M. B. Hall 的 DSB 条目注释。

④ 这是稍晚(1667—1668)才在 *Philosophical Transactions of the Royal Society* 上发表的两篇论文的主题。因为上述皇家学会学报到1666年才创刊,所以格兰维尔在这方面的可能是稍早几年的。用矿泉水治病之类见于1669年的一篇文章。

⑤ 例如 A·默顿:《十七世纪英国的科学、技术和社会》,范岱年等译,成都:四川人民出版社,1986年,第223、351页及以后。

⑥ Add MS 3996, f. 43 109r (397)。

空气、摄食、喝适量的甜酒有助于发展想象力,而酗酒、暴饮暴食、学习过度、心神不安则对之有害,但如果把极度的热情倾注到思索想象之中,可能会使人发疯。牛顿特别摘录了书中所说的,人通过高度凝练想象力可以影响约束引导别人的思想^①。在另一处^②,牛顿摘录了格兰维尔的书上相当长的一段^③,讨论如果把一个轮子划分为二十四份,各以字母如 a, b, c, ……标记。在轮子旋转时,每一部分自然必须在前一部分移开、腾出位置时才有可能移动。牛顿问道,当轮子旋转时,某一特定的部分,比如用字母 b 来标出的那部分,是在其原来位置上呢还是不在? 如果在,那么下一个部分,部分 a,何以得以移入 b 所占据的位置;如果不在,难不成 b 早就离开了自己的位置吗?

格兰维尔的书在初版时似乎引起过很大的注意,其中对因果关系的看法为稍后的洛克所引用。他认为,要讨论的是观察结果的序列而不是什么确实的关系^④。论者认为^⑤,格兰维尔的哲学是一种新教条主义和理性主义的联姻,强调怀疑和在科学中抛弃中世纪和古代学术的权威。他再三强调科学的进展不会同宗教发生冲突。在强调面对日常生活所提供的经验事实方面,他显然不同意笛卡尔的“虚幻的物理学”。

在牛顿从伍尔索普的农舍踏进剑桥大学三一学院大门后的最初一两年里,他所接触到的就是这么一个环境。一方面,大陆理性主义、机械论物理学和与之相连的哲学正势不可挡地在英国思想界扩散;另一方面,英国传统的哲学、神秘主义的思潮还有很大的影响力。这两种本质上不相容的自然观,在 1661—1664 年前后,在年轻的牛顿的笔记本

① 牛顿所引的故事在格兰维尔的书 1661 年版的第 196—198 页。

② Add MS 3996, f. 59 117v (419).

③ 原文在该书第 26 页。

④ 格兰维尔也因此被认为是休谟(David Hume)怀疑论的滥觞,见 Richard H. Popkin, *Journal of the History of Ideas*, 14 (1953) 292 - 303.

⑤ Herbert Butterfield, *The Origins of Modern Science*, Rev. ed., New York: The Free Press, 1965, pp. 196 - 197; 此书有中译本:《近代科学的起源》,张丽萍等译,北京:华夏出版社,1988 年,上引内容见第 163 页。

里平静地待在一起，相安无事。从牛顿的思想渊源来说，这两者所构成的张力将要决定他一生工作的主要特点、方向和成果。我们稍后有机会看到，正是在这一时期，牛顿在他用以记录数学和力学的成果的“废书”(Waste Book)中写下了“论反射”，这被认为是牛顿在力学方面的最初研究。



牛顿自己曾说,1665—1666 年是他的创造力最为旺盛的时期。他所开列的属于这一时期的工作几乎覆盖了 17 世纪科学所有的主要方面,也包括了他以后近三十年中发表的大部分成果,而且所有这些又都是在几乎与外界,尤其是学术界完全隔绝的情形下做出的,确乎神奇。

在这一章的以后几小节中,我将依次考察牛顿在 1665—1666 年间在颜色理论、力学和万有引力方面的工作。我将力图说明,这些工作是当时科学研究主流的一部分,是对 17 世纪上半叶的科学事业的发展,又是牛顿天才的最初显现。但是我也将力图说明,在神奇年代,牛顿并没有解决他所说的任何一个问题:他的确提出了他将要解决的各个问题,并把正了解决的方向。就这一点来说,1665—1666 年的确是神奇的:一个二十三岁的,只受过八九年正规教育的青年,竟然一蹴而就地站到了这个伟大的科学时代的最前端。

一、神奇年代

1665 年夏,英格兰发生瘟疫,剑桥大学因此暂停了学校的日常活

动,让学生教员各自回家。牛顿于是回到了阔别四年的伍尔索普。这以后的十八个月是牛顿在科学上创造力最丰富的时期。牛顿后来回忆说:

1665年初,我发明了级数近似法和把任何幂二项式化成这样的一个级数的规则。同年5月,我发明了格里高利(Gregory)和斯鲁西乌斯(Sluisius)的切线法,而在11月间得出了流数的直接方法。次年1月得出颜色理论,继而在5月间,得出了反流数法。在这一年里,我开始考虑延伸到月球轨道的引力,并且在搞清楚怎样估算在球面内运动的球状物体对于球面的压力以后,从开普勒关于行星公转周期同它们到各自轨道中心的距离成 $3/2$ 次方比的定律中推出,把行星保持在它们的轨道上的力必与它们绕之旋转的中心到行星的距离的平方成反比;我于是比较了把月球保持在它的轨道上所必需的力和地球表面的万有引力,发现此两力差不多密合。这些都是在1665年和1666年那两个瘟疫年份做的,因为在那些日子里,我正在发现旺盛的年代,对于数学和哲学的研究,怀有比以后任何时候更大的兴趣。^①

这段被几乎所有谈论牛顿早期发展的著作所引用的文字,实际上是牛顿1718年给梅泽(Pierre des Maizeaux)的一封信中的一段。这时梅泽正在编写一本《通信集》^②,收集了莱布尼茨(G. W. Leibniz)、克拉克(Clarke)、孔蒂(Conti),当然还有牛顿的若干通信。他把这个集子的前言的清样寄给牛顿,而牛顿觉得有必要对他在不少方面的优先权再作强调,于是给梅泽写了相当长的一个“答复”。这个“答复”使得梅泽大幅度地修改了他原来写的前言,而上面这段著名的文字则成了后来

① Add MS 3968. 41, f. 85r. 后半段译文在翻译时参考过李珩的译文,见氏译丹皮尔《科学史》,北京:商务印书馆,1979年,第222—223页。

② Recueil de diverses Pieces sur la philosophie, la religion naturelle, ... par Messieurs Leibniz, ... , Amsterdam, 1720.

把 1665—1666 年定为牛顿的“神奇年代”^①的主要依据。

除了 1666 年 3 月到 6 月在剑桥住过一段时间之外,从 1665 年 8 月到 1667 年 4 月,他完全耽在家乡曾度过他童年的地方。有些作者认为^②,在四年紧张的学校生活和搜索枯肠的冥思苦想之后,突然的放松和宁静的乡间气氛,必定大大帮助了牛顿,使得他的创造性得以肆意发挥。

按我们现在所熟悉的科学分类,牛顿的工作可以大致划归三个主要的方向。首先是关于颜色的理论和实验。牛顿利用三棱镜分解日光得到了连续光谱。特别值得注意的是,这一工作在 1669—1671 年的发展中,牛顿系统地综合了实验和推理方法,使这一方法后来成为科学方法的典范。

在 1665—1666 年间,牛顿还考察了物体的运动。日后让牛顿永垂不朽的运动定律和用以解释行星运动的万有引力定律都在这一时期形成雏形。和以往的自然哲学家不同,他的工作不是猜想,而是建立在数学分析之上的;和以往的天文学家也不同,他的工作不是一种力图描绘现象的数学模型,而是建立在物理原理之上的数学解释,这一解释可以用天文观测来验证。牛顿的这一工作,为以后三个世纪的力学和天文学的发展规定了方向。

第三个方面是数学。牛顿在这儿所处理的,是他那个时代大多数学者热烈关心的核心问题。但要把对于这些核心问题的研究真正变成完整的科学,还有很长的路要走。为达到这一目的的关键手段,即处理变化的量和极限情形的数学工具还不完备。如果说牛顿的很多假说曾经被他以前的或和他同时代的学者提到过,那么,牛顿的光荣在于他利用数学工具给出了严谨的推导。这些数学工具,特别是“流数”和“反流数”的概念,是牛顿对当时已有的数学理论所作的重大的发展和创造。

① 1666 年英国海军在须德海烧毁宿敌荷兰商船一百二十多艘,而伦敦又从燃烧十天的大火中迅速复兴重建。英国作家约翰·德莱顿(John Dryden)遂称是年为 *Annus mirabilis*,即“神奇年代”。后来科学史家借以形容牛顿在当年的工作。F. Manuel, *A Portrait of Isaac Newton* 以此为一章,稍后 R. S. Westfall, *Never at Rest* 亦循此例,以后竟为俗成。

② F. Manuel, *A Portrait of Isaac Newton*, Cambridge: Belknap, 1968, Pt. 1, 4.

我们现在看见的，题为“利用运动来解若干问题”的手稿^①，是牛顿在这一方面的最早工作，大约写于1666年10月。手稿以八个命题开头，考察了点以不同的速度沿这些曲线运动的情形。根据牛顿在命题7里的解释，这儿的“速度”事实上已是很接近微商的概念；而作为命题7的逆命题的命题8则讨论了相当于我们今天所说的积分。这些概念经过半个多世纪的时间，在17世纪末最终变成了数学分析理论。在这一手稿的后半部分，牛顿利用他的新方法讨论解决了十七个问题，其中十三个是纯数学的，另外四个^②则显示了牛顿把新方法运用到引力分析上的努力。

从现代历史学家看到的资料判断，牛顿在上面这段回忆文字里提到的事大致可信，他确实在这些方面进行了研究。但是，研究的成果远非如他所说的那么成熟。现代研究者因此常对“神奇年代”的说法有所保留。科恩(I. B. Cohen)称之为 *screnario*^③，韦斯特福(R. S. Westfall)称之为“神话”^④，而怀特塞德(D. T. Whiteside)在引用了两位现代最深入的牛顿研究者的成果的基础上，得出结论说^⑤“难于证明”(有神奇年代)。事实上，牛顿一生特别是晚年，曾为发明的优先权问题和胡克(Robert Hooke)、莱布尼茨，以及其他很多别的学者闹得不可开交，在作上面一段回忆文字时，他当然决不肯作丝毫妥协的表示，以使得他的竞争者有可乘之机。

二、1665—1666年：手稿 Add MS

3975, ff. 1 - 22 中的光学

1665—1666年间，牛顿在光学方面的注意力主要集中在白光的分

① Add MS 3958, ff. 49 - 63, 即 HH I, 1, 原藏 Portsmouth 档, 1888 年整理时归入 Sec I (数学), 1962 年在 A. R. Hall, *The Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton*, Cambridge: The University Press, 1962, pp. 15 - 64 重印。

② 事实上是五个。科学史家一般称四个, 是因为这五道题中的两道没有按顺序编号。见 A. R. Hall, *op. cit.*, pp. 58 - 59。

③ 原系意大利语, 意为“生造的情节”, 见 *Scientific American*, 244 (1981) 179。

④ Myth, 见 RSW, p. 143。

⑤ D. T. Whiteside, *Notes and Records of the Royal Society of London*, 21 (1966) 33。

解上。太阳光是最典型的物理学所谓的白光。当白光从空气进入玻璃或水之类的介质时,常现出彩虹一样的颜色,这种现象叫做白光的分解。我们现在知道,这种现象的出现涉及光的两个性质:一是光从一种介质进入另一种密度不同的介质时光线的传播方向会发生偏转;二是不同颜色的光线的偏转程度不同。前者叫折射,后者叫色散。

玻璃碎片在阳光下显得五彩缤纷,当然能激发诗人的想象,但是对17世纪辛辛苦苦磨制镜片的学者来说,这实在是令人恼火的事:通过显微镜或望远镜得到的物象被莫名其妙地加上了五颜六色的花边,产生了畸变。这个问题吸引了当时很多学者的注意。据牛顿自己说^①,他正是在磨制镜片时注意到这一问题的:

1666年初,(那时我正在从事磨制一些非球面形的光学透镜)我做了一个三角形的玻璃棱镜,以便试验那些著名的颜色现象。为此,我弄暗了我的房间,并在窗板上开了一个小孔,让适度的太阳光进入房间,然后我把我的棱镜置于光的入口处,使光由此折射到对面的墙上。起初我看到那里产生的那些鲜艳浓烈的颜色,颇感有趣,但经过较周密的考察之后,我惊异地发现它们是长条形的;而根据公认的折射定律,我预期它们的形状应该是圆的。

这是牛顿在六七年以后对他1665—1666年间工作的回忆。令人吃惊的是,上文中“那时我正在从事磨制一些非球面形的光学透镜”云云显系误记。因为根据弗茨威廉(FitzWilliam)笔记本中牛顿的收支记录,他购买磨制镜片所必需的材料工具是在1667年的春天。现代

^① 牛顿致 H. Oldenburg, 1672年2月6日, Add MS 3970, f. 460r。本信原件已佚,这是牛顿在剑桥的同学 John Wickins 保留的一个抄件。该信同年2月19日发表在 *Phil. Trans.*, 80, pp. 3075-3087。现代研究者常用的是 C, v. 1, pp. 92-102 所载的版本。这是这封信的一个抄件和上述 *Phil. Trans.* 版的一个校勘本。中译本见上海外国自然科学哲学著作编译组译:《牛顿自然哲学著作选》,上海:上海人民出版社,1974年,第81页。关于这封信的较为细致的讨论见下一章第二节。

研究者^①因此对于牛顿关于颜色和太阳光的工作是不是纯粹从现象开始的归纳分析，常有保留。

事实上，折射现象早在托勒密时代就有研究^②。九百年以后，黑森(Ibn al-Haytham)又把这一研究进一步深入^③。黑森认为，光以极大的速度传播，如果碰见物体，其传播就会受到阻碍。不透明物体的阻碍最大，所以光无缘透入；透明物体的阻碍小些，光能穿过表面，进入物体，但仍受物体中的物质阻碍，运动因此减慢。唯这种阻力只发生在和物体表面相垂直的方向上，所以当光以斜角照射在物体上时，必须把光的运动分解为两个相互垂直的分量来分析。黑森认为，既然阻力只发生在与表面相垂直的方向上，光的运动应当只在这一方向上受阻变慢，而平行于物体表面的运动依旧不变。根据运动的平行四边形合成法则，光的运动方向于是发生偏转。

笛卡尔的做法和黑森一脉相承^④，不过他更加明白地把光想象为小球，由此出发对光的折射作了细致的分析^⑤，从而把光现象纳入了他的机械论哲学体系。

根据笛卡尔物理学，不同的颜色是用上述小球的不同的旋转方式来解释的。色散显然使笛卡尔演绎哲学遇到了困难。在论虹的形成的专篇论文里^⑥，笛卡尔对虹的分析明显地采用了从现象出发的分析方

① A. E. Shapiro ed., *The Optical Papers of Isaac Newton*, London: Cambridge Univ. Press, 1984, v. 1, pp. 10 - 11.

② 参见 A. Lejeune, *Annales de la Société Scientifiques de Bruxelles*, s. 1, 60 (1940) 93 - 101, 托勒密的研究见于 *Optica*, V, 19, 31, 33。

③ Ibn al-Haytham, *Optica*, VII, 8, ed. Risner, pp. 240 - 242, 综合性的介绍见 H. J. J. Winter, *Centaurus*, 3 (1954) 201。

④ 事实上，我们知道笛卡尔的确受过阿拉伯学者如黑森等人的著作的影响，参见例如 A. I. Sabra, *Theories of Light from Descartes to Newton*, London: Oldbourne, 1967, p. 12, 但细致的情形还有待考究。

⑤ 参见 *La dioptrique*，这是氏著《论方法》的一个附录，Second Discourse: Of Refraction, Paul J. Olscamp 英译，Indianapolis: The Bobbs-Merrill, 1965, pp. 75 - 83。中译见于蔡宾牟译《物理学原著选读》，北京：商务印书馆，1986年，第281—289页。唯其所依据的英译本 W. F. Magie ed., *A Source Book in Physics*, New York: McGraw-Hill, 1935, 稍嫌老旧。

⑥ *Meteors*, VIII, 英译见前引 P. J. Olscamp 译本, pp. 332 - 345。细致的讨论见 C. B. Boyer, *The Rainbow*, 1959, repr. Princeton: Princeton Univ. Press, 1987, pp. 200 ff.

法,这和他一贯提倡的从少数不证自明的原则出发以逻辑推演建立体系的做法颇为不同。他首先注意到,不仅是雨后,而且在喷水池边,都可以看见虹霓现象。于是他正确地推想,虹霓是小水珠折射太阳光形成的。他于是把一个球形玻璃容器贮满水,当作“一个非常大的水滴”,用以研究阳光穿过这水滴时的情形。他发现,当水球的下边缘到眼睛的连线和阳光照射的角度为 42° 时,水球下边缘“就呈全红色并比其余部分更亮”,而“将该角稍微缩小时,这颜色不是立即全部消失,而是好像先把自身亮度较差的两个部分,可以从中看到黄色、蓝色和其他颜色……”接下来笛卡尔把一个水珠的情形推广到很多很多水珠的情形,从而解释了虹霓的出现^①。

但是他同时还认识到,“既然还有许多其他射线也能在球形容器处于其他位置时经两次折射和一次或两次反射后射入眼中,那为什么只有我在上面提到的射线显现颜色呢?”为此,笛卡尔问道,是否还有其他方法可以使颜色出现?“我记起棱镜或三角玻璃也能表现同样的颜色”,笛卡尔接着描述了他用棱镜重新造出虹的实验。他注意到阳光通过棱镜以后表现出多种颜色,他指出这是虹产生的原因。

牛顿 1665—1666 年间用棱镜所做的实验是笛卡尔工作的继续^②。在所谓的“化学笔记本”^③里,牛顿记录了他的实验设置。他让从小洞里射入房间的光束通过棱镜,并在棱镜后面 260 英寸的墙上得到了长

① 笛卡尔相信他是第一个得出这一结论的学者。事实上,波斯人 Kamal al-Din al-Farisi 和日耳曼人 Theodoric of Freiberg 在他两百多年前就完成了类似的实验。参见 D. C. Lindberg, *Theories of Vision from Al-Kindi to Kepler*, Chicago: Univ. of Chicago, 1976, rpr. 1981, p. 123 和 A. I. Sabra, *op. cit.*, p. 62, n. 56。上文和下文所引的笛卡尔,均用前注所列蔡译,个别字句稍有改动。

② 事实上,早在 1664 年牛顿就注意到了笛卡尔关于光的解释和“小球”的比喻,见 Add MS 4004, f. 1v & ff. 1v-2r, 该手稿后来刊于 D. T. Whiteside, *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, v. 1, pp. 551-544, 555-558。牛顿后来在 1726 年 8 月 31 日对 Conduitt 说他在 1665 年 8 月买了一块棱镜“以试验笛卡尔关于颜色的书里所提到的实验”。见 Keynes MS 130. 10, f. 2v, 或 MP, v. 1, pp. 15-19。

③ Add MS 3975, ff. 1-22。全文见 J. E. McGuire and M. Tamny, *op. cit.*, pp. 466-489。

7—8 英寸、宽 $2\frac{3}{4}$ 英寸的太阳光光谱^①。在此以前，在大约写于 1664 年的一则笔记中，牛顿曾经注意到过“不同颜色的不同折射”^②，但这儿我们所看见的显然是更完全的表述。牛顿还做了进一步的实验以排除棱镜本身的制造缺陷，并证明了这也不是因为把太阳圆面简化为一个光点而造成的差错。最后，利用了“三个或更多的棱镜”，牛顿又成功地把已经被分解了的白光重新合成，从而从相反的方向证明了白光是多种颜色的光的混合体^③。

但是，牛顿在这份写于他“创造年代”的手稿里没有对上述实验及其结果作任何理论上的分析，也没有对其所以然作任何解释，甚至于没有作概括性的小结。所有这一切，都还要等到六年以后，才出现在 1672 年 2 月他提交给皇家科学院的关于光学的报告中。牛顿之所以没有在“神奇年代”完成他的颜色理论，原因可能是多方面的。但最重要的，恐怕是他当时尚未完全脱离笛卡尔对光的机械论解释的影响，也还需要时间重新考察惠更斯和胡克关于颜色是光在不同物体上的不同反映的修正说。虽然史料尚不允许我们作明白的判断，但牛顿对于颜色的研究并不是独立于当时研究潮流的神来之笔，应当是很明白的了。

三、1665—1666 年：手稿 Add MS

4004 中的力学思想

和 17 世纪大部分欧洲学者一样，牛顿对笛卡尔的物理学深感兴趣。我们还记得，笛卡尔给出的世界图景是一个物质充斥的宇宙，各种各样的物质微粒紧密地排列在一起，不留一点空隙。其最细密精致的部分是“第三类物质”，叫做“精细物质”(matiere subtile)。凡是通常我们所能看见的物体如星辰日月所没有占据的地方，都由这种“精细物

① Add MS 3975, f. 2. 这在技术上并不容易，讨论见上引书，pp. 242 - 262。

② Add MS 3996, f. 70 122v (435)。

③ Add MS 3975, f. 12.

质”所充填。从这个意义上说,笛卡尔宇宙又是一个连续的物质整体。宇宙间的所有变化,最终可以归结到这种物质的运动。因为这种物质是连续的,所以其某一部分的运动必然造成全体的运动:a部分的运动必然使得b部分前来弥补由此运动产生的空位,而b的移动又同样造成c部分前来弥补空位。依此类推,c又造成d的移动,d则造成e,e则f,如此无穷无尽,直到所造成的空位恰为a所填充。不难想象,这样所形成的运动构成了一种封闭的环。这就是笛卡尔物理学所谓的涡漩(vortex)。既然精细物质充斥宇宙,无所不在,既然它们的运动是一种涡漩,不难想象,被裹胁其中的日月五星也自然地一起作圆周运动。这可以粗略地看作笛卡尔的宇宙图景。理解这一图景的要点在于,物体的运动是相对于它相邻的物体而言的;物体运动如果发生改变,那一定是由于在和相邻物体的接触中发生了运动的传递。

我们还记得牛顿最早的关于运动的笔记和他关于“受迫运动”的种种议论。那时候,他听起来还是在用亚里士多德物理学的观念在分析问题。虽然在那以后运动主题几乎不见于他在三一学院笔记本里的海阔天空的讨论,我们仍旧知道他一定还在孜孜追求探索。就在为瘟疫离开剑桥的前几个月,他在所谓的“废书”(Waste Book)里写下了一则“论反射”的札记^①。科学史家相信,这段文字是牛顿力学发展的最早记录。

“废书”实际上是牛顿的继父史密斯神父用来记录神学问题,或者还有他自己的神学经验的一个笔记本。史密斯氏写下的最早的记录是1612年5月12日。可是在以后的四十几年里,他好像没有充分利用这本笔记本;到他去世的时候,这本一千一百九十四页的大本子大部分还是空白的。牛顿很可能是在50年代继父去世时得到了这一本子,然后用来作为自己的札记^②。在封面上有牛顿手写的“Waste Book”两

① Add MS 4004, f. 10 ff. 即 H II b。

② 这本笔记本最早在1727年牛顿去世时被 Thomas Pellet 著录,1888年被编入剑桥手稿目录,档案号为 Add MS 4004,1965年 H. W. Turnbull 编辑 *Correspondence* 时再被提到,但未闻有全面的研究,仅其力学部分被抽出汇编成书(见下 J. Herivel)。

字,其意义颇为费解,大概当时大家认为这是一本没有什么用处的本子也未可知。我们现在知道,这可不是一本“废书”,其中很多则札记实际上“蕴藏有牛顿最早的科学和数学观念”^①。20世纪60年代中,海瑞维尔(John Herivel)^②把“废书”中关于力学,尤其是和《原理》有关的部分整理出来作了系统的研究,牛顿早年的力学思想的发展脉络由是渐呈清晰。

笔记本的第十页上牛顿列出标题“论反射”^③,页边写有“1664年1月20日”^④。这是一则研究碰撞的札记。牛顿在这儿研究了大小^⑤和运动各个不同的两小球在碰撞前后的运动情形。这一论题曾是笛卡尔物理学的一个主题^⑥。从论题和讨论问题的方式可以清楚地看出,牛顿是从笛卡尔开始他的新力学的。

在这一页的反面^⑦,牛顿写下了十三条“定义”:例如“移动”被定义为“一量从延展^⑧的一个部分转移或转换到另一部分”;而“力”则被定义为“一物对于另一物的压迫或挤压”^⑨。我们再一次注意到牛顿在描述运动时使用的是和物体相连的“延展”的说法,而力也只有在两物体相接触时才有定义。抽象的空间概念和超距作用的力的概念还完全没

-
- ① I. B. Cohen, *The Introduction to Newton's Principia*, Cambridge: Harvard Univ. Press, 1971, p. 12.
- ② John Herivel, *The Background to Newton's Principia: A Study of Newton's Dynamical Researches in the Years 1664 - 1684*, Oxford: the Clarendon Press, 1965.
- ③ Add MS 4004, f. 10, 即 H II b, Of Reflection, *op. cit.*, pp. 132 - 135。案牛顿时 Reflection 或指光的反射,或指物体在碰撞中反弹。本书常以上下文文义为依据,分别译作“反射”或“反弹”。
- ④ 这是 Add MS 4004 中仅有的一两则表明日期的札记。可是大部分研究者都把它读作“1665年1月20日”,即假定牛顿写下这一日期时用的是旧历。细致的讨论见上引 J. Herivel, pp. 92 - 93。
- ⑤ 原文是 bulke, 其意义介于今日的重量和尺度之间,带有很重的笛卡尔物理学的色彩,今故译为“大小”,希望能传达这种模糊的意义。
- ⑥ R. Descartes, *Principles of Philosophy*, Pt. II, Arts. 36 - 40.
- ⑦ Add MS 4004, f. 10v, 即 H II c, pp. 136 - 139。
- ⑧ 原文是 Extension, 是笛卡尔哲学用语,直译作“延展”,颇为笨拙且不易解。虽然牛顿在别处(Add MS 3958(5), f. 81)确实将本词与“空间”(space)连用,但在本例中,以上下文考察,似不宜遽然改变原意。
- ⑨ J. Herivel, *op. cit.*, 定义 1, p. 136 和定义 9, p. 138。

有踪影。和我们以前所注意到的一样,这一则札记再一次提示了牛顿力学和亚里士多德以及笛卡尔的血缘关系。

下面两页牛顿引进了一套公理-命题系统^①。从文意上说,这似乎是上面“定义”的直接延伸,但从写作时间上考证,当较前文晚半年左右^②,这在牛顿的概念使用上可以清楚地看出来。

公理 1 表明牛顿已有了完整的惯性定律:一量一旦运动,将永不止息,除非有外因阻止之。公理 2 补充说:一量将常在同一直线上运动,不改变方位快捷,除非有外因改变它。在稍后的公理 100 中,牛顿把这两条公理合并成更完善的形式^③:每一事物自然保持它现有状态,除非有外因介入……一物体一旦运动,即常处于同一速率、运动量和方向的运动上。

公理 4 谈论运动和力的关系,或可视为日后的运动守恒定律的最朦胧的形式:为消灭一物中某一定量的运动所需要的力恰等于要产生这一运动所需要的力。牛顿在公理 5、6 和 23 中还发挥了相类似的观念。

公理 20 论受环状约束的小球的运动。使科学史家困惑的是,就在这同一本笔记本的第一页,史密斯神父列出的小标题“神”的下方,也有一则札记,讨论受约束的小球的圆周运动^④。从论述内容看,这段札记显然晚于我们上面讨论过的 MS II c 和 MS II d,当属于较成熟的年代,即 1665—1666 年间。但牛顿在使用继父的笔记本时为什么突然跳过了十页不写,后来又为什么反过来再用这十页写一则札记,至今令人不解。在这一段文字中,牛顿先假定小球在外切于环形约束的四边形框边上“反弹”,说明小球的运动因此受到了“修正”,亦即从直线运动改变为在框内反复冲折的折线运动。然后把想象中的外切四边形变为八边形、十六边形,乃至 1 000 边形,乃至无穷多边形,从而得出了作圆周运动的小球的受力情况。在公理 20 中,牛顿断言如果没有这种约束,小

① Add MS 4004, ff. 10v-12, 即 H II d, pp. 140-150。

② J. Herivel (p. 93) 将其写作时间定为 1665—1666 年。

③ H II e, p. 153。

④ Add MS 4004, f. 1v, 即 H II a。

球将沿着切线方向飞离中心。正是由于外加的约束的“不断的修正和反弹”，小球才离开它原来运动的方向，保持和中心的等距离运动。

如果这段札记确实是在 1665—1666 年写的，那的确有些神奇。我们看见牛顿正在小心翼翼地逼近新物理学的核心概念，那就是“力”。牛顿现在似乎已经模糊地认识到，力是运动改变的原因。在公理 104 中^①，牛顿写道，“这就说明，为什么对于有些运动物体需要强有力的原因，而对有些则只要稍弱的原因，来加强或减缓其速度。这一原因的实际作用通常叫做力”。稍下，公理 108 说“根据自然的启示，相同的力在相同的物体中引起相同的变化”。就把力和“变化”联系在一起而言，这一表述似乎可以被看作日后第二定律的最初形式。

关于两物体的相互作用，牛顿在同一手稿里表现了相当成熟的认识。在公理 121 旁边的页边上^②，牛顿写道，关于物体在反弹中的相互作用力，而该公理本身则多少类似于日后的第三定律：“……因此，它们（案指碰撞所涉及的两物体）在它们的运动中一定承受了相同的变化。”牛顿接着举例说明他所说的“变化”：“如果两物体 p 与 r 相遇，各自的阻力相同，p 给予 r 多少压力，r 也给 p 相同的压力。”

手稿 Add MS 4004 所记录的是 1665 年初至 1666 年牛顿关于力学的思索，当是牛顿力学的最初和最原始的形态。除了当时学界已经熟知的惯性定律即以后的以牛顿命名的第一定律之外，第二和第三定律也有了模糊的形象。如果我们认为这就是牛顿力学，那么 1665—1666 年这十八个月对于这个二十三岁的大学生而言的确是神奇的。但是，如果对这套手稿作稍微细致一些的考察，我们就不难发现，这些语录式的陈述中夹杂着大量的歧义纷繁的字词^③，有些是亚里士多德的，有些是笛卡尔的，更有些是借用的日常词汇。我们还不难注意到，

① Add MS 4004, f. 12, 即 H II e, p. 156。

② Add MS 4004, f. 13.

③ 除去在正文注释中提出过的，我们还可以举出 *crowding* 和 *press* (Def. 9, f. 10, 即 H II c), *hinder* 和 *help* (Ax. 104, f. 12, 即 H II e), *celerity* (Ax. 111, f. 12, 即 H II e), *mutation* (Ax. 121, f. 12, 即 H II e) 等。

不少定义,如定义 2 和 3,不仅冗长,而且费解。事实上,这种用词上令人困惑的情形,正是概念本身令人困惑的反映。牛顿现在直觉地感受到的自然现象,离严格的科学还很远。力学的下一步发展,有待于概念上的突破。

我们还可以清楚地看到,当牛顿谈论力和运动的变化时,例如在公理 118 的表述中,他的数学工具不够:比例和复比例在描写变化的量方面显得非常笨拙。如果没有数学上的进一步突破,力学的下一步发展也是一句空话。我们行将看到,在 1665—1675 年的十年中,牛顿关于力学的工作竟可以简单地归为两个方向,即概念和数学工具的发展。牛顿自然不是未卜先知地在这两个方向上努力,但是力学日后的发展的确肯定了他努力的方向。

四、月地检验

利用万有引力概念说明天体运行的规律,进而验之以月球的运动,是牛顿一生贯穿始终的事业,也是牛顿引以为骄傲的一项成就。据牛顿自己说,这一工作开始于“1665 年和 1666 年那两个瘟疫年份”,而广为流传的苹果的故事更使这一努力家喻户晓。

月球绕地球运行是久为人知的事实。早在古典文化发轫之初,亚里士多德^①就注意到天体的运动有两个明显的特点。一是所有的天体都作圆周运动,二是所有这些运动都是永恒的,经年累月不见衰竭。反观地面上的任何东西,不是上升如袅袅炊烟,就是下落如高山坠石,没有一件能自由地作圆周运动。而且,不管运动持续多久,终有止息的一天。亚里士多德由此认为,天地万物实在是两大类:一是“月上”,是为日月星辰;一是“月下”,即我们日常所见的种种物事。自第谷观察彗星,打破了月上月下的界限,天体运行的原因和机制始为一个问题。开

^① Aristotle, *De Caelo*, J. L. Stocks 英译, I, 2-3, 268b14-270a12; II, 12; 等等。综合性的叙述见 G. E. R. Lloyd, *Early Greek Science: Thales to Aristotle*, New York: W. W. Norton, 1970, pp. 109-112。

普勒以为是磁力，笛卡尔解释作涡漩，但或不能形成自洽的理论，或无法和已有的天文观测资料相印证，因此常不能令学者满意。特别是17世纪中叶以后，笛卡尔的涡漩学说受到了普遍的质疑，运动的惯性定律渐为学术界所了解接受，“月球为什么不飞离地球”即成了大问题。因为按惯性定律，任何物体如无外因干涉，当作直线运动，所以月球的圆周运动就成了一个需要解释的问题。

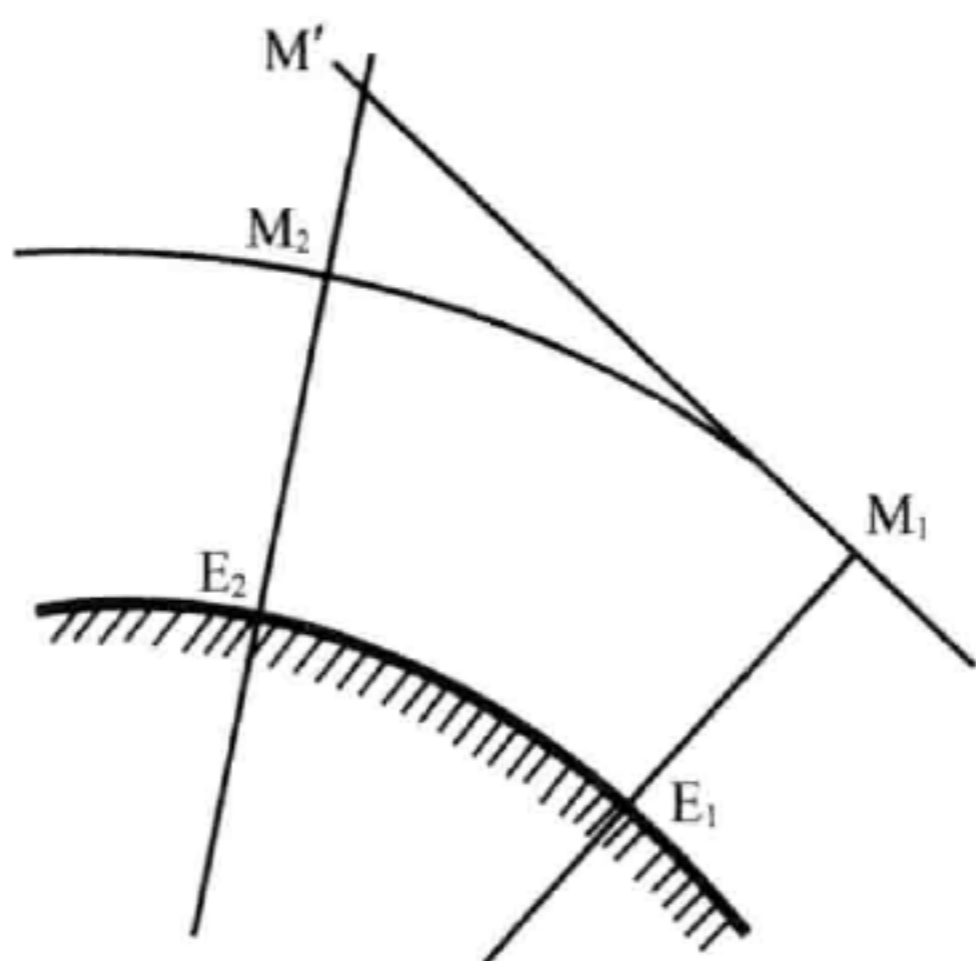
牛顿至迟在1665年初就对圆周运动的本质有了认真的研究^①。他注意到，实现圆周运动的一个必要条件是必须持续不断地修正运动方向。牛顿最初把这种修正想象为一个环状的框，运动中的小球被限制在其中，不断地在框的内壁上反弹，于是该小球沿圆周切线方向飞离的“倾向”不断地被克服，小球遂沿着环形路线运动。

对于月球，要实现其圆周运动，不使它沿切线方向飞离，也需要一个能时时修正其运动方向的因素。牛顿很自然地想到让引起苹果下坠的力充当这个因素。如果这力能延伸到月球轨道，那么月球也会像苹果一样落向地心；如果月球下落的距离恰为地球表面的弯曲所抵消^②，月球就会既不飞离，也不落向地球，而能始终和地面保持相等的距离，即在一个环绕地球的圆形轨道上运行。这正是我们所熟知的现象。

牛顿进一步分析说，既然月球绕地运行的周期即一个恒星月是已知的，那么利用月球到地球的距离，可以算出月球在其轨道上运行的线速度。这个速度引起的月球脱离圆轨道，沿切线方向飞离地球的“倾

① 参见例如上一小节讨论过的 Add MS 4004, f. 1v。

② 有一些牛顿研究者认为，牛顿关于月球绕地运行的解释可能来自伽利略，见 Stillman Drake,《科学》1980年12期，第76—83页。查《两大世界体系的对话》，伽利略确实提到（中译本第257页；S. Drake 英译，第199页及以后），抛射体的运动是沿着“地平线进行的，而如果抛出物的重量不使它向下弯曲，则将以均速沿地平线继续运动”。伽利略尚未有十分的把握把上述对抛射体的论证运用到月球上去。在另一个地方（中译本第303—304页，英译本第234页及以后），伽利略说，“如果他能够教给我什么是使地上万物落下来的原因”，他就能说明地球和月球的运动。但是他说他对通常大家说的“引力”的本质毫无所知，所以不愿意用它来解释天体的运动。我们知道牛顿的确读过伦敦1661年出版的伽利略的上述著作（Thomas Salusbury 版），但目前尚无的证表明牛顿的想法确实从此而来。



附图

如果没有“下坠”这一修正,在一段时间后月球当从 M_1 点沿切线方向运动到 M' 。但因月球“也如苹果一样落向地心”,它实际上是出现在 M_2 点,或者说“下落”了 $M'M_2$ 这段距离。又因地表面对应于 M_2 的 E_2 点也较原来对应于 M_1 的 E_1 点向下弯曲了相同的距离,那么从地球上,月球与地球的距离 M_2E_2 正等于原来的 M_1E_1 。

向”也可以通过计算得出。既然上文要求这种倾向应当恰恰被月球的“下落”所抵消,那么引起苹果下落的重力延伸到月球轨道时想必恰恰等于上述离心倾向。假定重力是按距离的平方反比规律变化的,它延伸到月球轨道时的大小也就能通过计算得出。如果这一结果恰与月球的离心倾向相合,则月球的运动就得到了定量的说明。

牛顿晚年多次向人说起^①,他是在他的花园里,看见苹果落地而悟

① 按发表顺序来说,最先提及苹果故事的是一个在剑桥受教育但是对牛顿的工作持否定态度的怪僻的人,即 Robert Greene (1678? —1730), 见氏著 *The Principles of the Philosophy of the Expansive and Contractive Forces . . .*, Cambridge, 1727, p. 972。他说他是听 Martin Folkes (1690—1754)说的,后者在牛顿任皇家学会会长时担任过一年副会长(1722—1723)。因为 Greene 其人很不为人所知,所以通常认为是伏尔泰第一个报道了这一则轶事,事在 *Elements de la philosophie de Newton, divices en trois parties*, 1738年初版,现在比较容易看见的重印版本是 *Oeuvres*, Paris, 1830, t. 38, p. 196, 他说他是听牛顿的外甥女(Catherine Barton, 1679—1740)说的。但伏尔泰没有明确说是苹果树,只是说“有些果子从树上落下”(tomber des fruits d'un arbre)。在他 1734 年匿名出版的 *Lettres ecrites de Londres sur les Anglois et autres sujets* 中已有类似的故事,但没有提及故事的来源。细致的讨论见于 D. McKie and G. R. de Beer, *Notes and Records of the Royal Society*, 9 (1952) 46—54。

出上述对月球运动的解释的。最详细的记录见于斯特克利(William Stukeley, 1687—1765)的回忆录^①。斯特克利在 1726 年 4 月 15 日造访牛顿。共进晚餐后,“天气颇暖,我们走到花园里喝茶。他和我两人坐在苹果树的树荫里,在谈论中,他告诉我,多年以前,正是在这样的情形下,万有引力的概念出现在他心中。当时恰有一只苹果从树上落下来,而他又恰恰在沉思之中……”

牛顿的解释方案比亚里士多德基于“天体运动的完美和永恒”的哲学和笛卡尔的涡漩学说有一个明显的长处,即他的理论是数学化的,从而可以利用数学进行推理,而结果也可以利用观测和实验来检验。

细看牛顿的说法,知要完成验证,首先要算出月球脱离地球的“倾向”即我们现在所谓的离心力;然后要能证明重力是按平方反比的规律起作用的。

据牛顿后来说^②,他在 1666 年前后就知道怎样估算上面所说的“倾向”即离心力了。从现存的手稿看,牛顿确实很早就注意圆周运动了。本节开始时讨论过的牛顿关于小球在环形约束下的运动,见于“废书”,时间当在 1665 年初。稍后^③,他计算了地球运动引起的离心力和重力之比^④。牛顿并没有采用我们现在所熟悉的离心力公式 $a = v^2 / r$, 这儿 v 是物体的运动速度,而 r 是所论圆周的半径。现在的牛顿研究者猜想,在这些早年的工作中,牛顿用的大概是“废书”中增加外切多边形的边数,逐渐逼近圆轨道的方法,这一方法后来同样出现在《原理》的

① William Stukeley, *Memoirs of Sir Isaac Newton's Life*, Hastings White ed., London, 1936。这份九十页的回忆录写于 1752 年,但始终没有刊印。1931 年斯特克利的后人 Oliver S. F. St. John 委托苏富比将手稿拍卖,后为皇家学会所得,卒于 1936 年出版。以此原因,牛顿的早期研究者如布儒斯特(David Brewster)都未及利用这一材料。下面的引文见于是书第 19—20 页。

② 见牛顿 1686 年 6 月 20 日和 7 月 14 日致哈雷的信。在前一封信中,牛顿回忆说平方反比定律是他在“十五年前或更早”发现的,见 C, v. 2, pp. 435 - 441, esp. p. 437; 后一信中他说,应该是“十八年或十九年前”,*op. cit.*, pp. 444 - 445。

③ J. Herivel 把这份手稿定为 1665—1666 年,并且“肯定早于 1669 年”。见氏著 *Background*, p. 93。

④ Add MS 3958, f. 45, 即 H III, 这份手稿有时被叫做 Vellem 手稿,最初的介绍见于 A. R. Hall, *Annals of Science*, 13 (1957) 62; 后来 J. Herivel 又作了较系统的研究。

证明中^①。在 1660 年代中期的另一份手稿^②中,牛顿对圆周运动中飞离中心的倾向做了计算,并试着以这一算法解释月球的运动。他写道,“在不同的圆周(运动)中,飞离中心的倾向为直径除以运行周期的平方……”^③稍作变换即可得上述 v^2/r 的表达。这使不少牛顿研究者^④相信牛顿在 1666 年前后确有独立算出离心力的能力。

要完成月地检验另一个必需的前提是力的平方反比定律。这个定律的来源颇为离奇。布里阿德(Smael Bullialdus, 1605—1694)^⑤在 1645 年发表了《天文学》(*Astronomia Philologica*),讨论开普勒定律。他不同意开普勒对驱动行星运动的力只是在一个平面上传播的推测。他认为,如果有这种力的话,其作用应当是散布在各个方向上的,因此,其大小也应当随其距太阳的距离的平方减弱,正如光在传播中强度按距离的平方减弱一样。尽管布里阿德的书曾经是学者了解开普勒的主要媒介之一,这样一种基于类比的推理方式对 1660 年代的学术界仍旧没有什么说服力。据牛顿自己说,他是“从开普勒关于行星公转周期同它们到各自轨道中心的距离成 3/2 次方比的定律中”推出平方反比定律的。如果前几段关于离心力计算的讨论成立,那么牛顿的这一说法属实的可能性就很高。因为平方反比定律可以通过合并开普勒的上述定律和离心力公式简单地得出。由此可见,牛顿在 1666 年利用他已有的知识作“月地检验”是可能的。在事后大约五十年,牛顿说他当时“发现此两力差不多密合”^⑥,也就是说他曾做了定量的估算。

从上文关于月地检验描述可知,要算出月球飞离地球的倾向即月

① *Principia*, Scholium to Prop. 4, Theor. 4, 参见 Florian Cajori 的英译本: Los Angeles: Univ. of California Press, 1962, p. 47。如无别注,下文 *Principia* 均指 Cajori 译本。

② Add MS 3958 (5), f. 87, 即 H IV a。

③ *Op. cit.*, 2. Corollary.

④ 参见 A. R. Hall, *op. cit.*, p. 68, 他似乎同意 R. Dugas, *La mécanique au XVIIe siècle*, Paris: Dunod Editeur, 1954, p. 360 的说法。

⑤ 参见 Max Jammer, *The Concept of Force*, Cambridge: Harvard Univ. Press, 1957, pp. 92 - 93。

⑥ Add MS 3968. 41, f. 85r.

球的离心力,必须知道恒星月的长度以及月球到地球的距离;要根据平方反比定律算出延伸到月球轨道上的重力的大小,则必须知道地球表面的重力值即我们今天所谓的重力加速度和月球到地球的距离。利用牛顿当年可能采用的这些经验数据的具体数值^①按月地检验的思路重作计算,结果似乎不能算作“差不多密合”。而按我们关注的 Add MS 3958, f. 87 的“系”给出的算法算^②,地面重力加速度为 27 英尺/秒²,而实际测量值是 32 英尺/秒²,相对误差几达 1/6 (15.625%),自然也不能说是“差不多密合”。事实上,现代牛顿研究者重做的估算与牛顿当时的人的回忆录更相一致^③。

其实,要真正用月地检验来验证万有引力定律,除了当时的数据,尤其是地球半径值严重偏小外,还有一系列的理论问题。首先,在整个估算中,地球和月球均被当作一个数学点处理,这一做法的合理性的严格证明还要再等将近二十年才最终完成^④。其次,按牛顿当时的物理学,碰撞是唯一的可以想象的力的作用。因此,要假定引力能延伸到月球轨道,必须对力的本质有所说明^⑤。我们行将看到,为此牛顿还要再努力十几年。事实上,理论和估算两方面所反映出的这么多的问题甚至使牛顿考虑过除引力之外其他因素作用的可能。但是牛顿在这儿所

① 按 Add MS 3958 (5), f. 87, 恒星月取 27 天 7 小时又 43 分;月地距离取 60 个地球半径;按 W. Whiston, *Memoirs*, London, 1749, v. 1, p. 35 和 H. Pemberton, *A View of Sir Isaac Newton's Philosophy*, Dublin, 1728, Preface, 牛顿对地球的大小采用纬度每度 60 英里,按 Vellem 手稿即 Add MS 3958, f. 45, 1 英里取作 5 000 英尺。

② 参见 A. R. Hall, *op. cit.*, p. 69。

③ *Op. cit.*, Whiston 和 Pemberton, 前者说牛顿“颇感失望”,后者说计算结果“未能与预期相合”。

④ 完整的证明见于《原理》第一篇第十二节命题 75, 英译本第 197—198 页。I. B. Cohen (*DSB*, v. 10, p. 90) 根据牛顿 1686 年 6 月 20 日给哈雷的信 (*C*, v. 2, p. 437), 认为牛顿很可能直至 1685 年夏天才完全作出这一证明。一个利用现代数学表达方式的证明见于 R. Resnick & D. Haliday, *Physics*, New York: John Wiley, 1977, Ch. 16, Sec. 6, 本书有郑永令等中译本:《物理学》,北京:科学出版社,1980 年。上引证明在第一卷第二册,第 503—505 页。

⑤ 伽利略曾正面拒绝过把“引力”作为天体运动的原因的假定。当 Simplicio 作此建议时,伽利略的代言人 Salviati 说,“你错了……你应当说谁都知道它叫做‘引力’。我问你的不是它叫什么名字,而是它的本质,而你对它的本质和你对那个使星球运动的原因,同样地毫无所知……”(英译本第 234 页,中译本第 303 页)。

遭遇到的复杂和艰难终于逼使他暂时放弃了对引力和天体运动问题而转向了对其他问题的研究。

五、手稿 Add MS 3958. 81 和 Add MS 4003 中的空间和力的概念

要把力的作用延伸到月球轨道上去,仅仅破除亚里士多德和笛卡尔的观念还是不够的。1666年夏天牛顿在苹果树下徘徊时,考虑得更多的恐怕不是如何摧毁这两位大师的体系,而是如何建立与之抗衡和竞争的新体系。

手稿“运动定律”^①共有八页,由小标题分为三个部分,即“移动单一物体的情形”、“物体如何被反弹”和“关于运动的一般评论”。牛顿一开始就定义运动。他说,物体离开一个地方或空间的一个部分,通过中间的空间而进入另一个地方,就是运动。然后是运动的平行四边形相加法则,然后是我们今天称之为刚体的物体运动和转动,以及两个转动运动的相加。对于旋转的物体,牛顿注意到,“每一物体保持相同的圆周运动的量和速度,除非有别的物体阻碍之。而且,它们还保持相同的旋转轴线……”

细致的考证表明“运动定律”写于1667年前后^②。除了关于运动的定义外,我们在这儿看见的,还多是对运动的比较直观的描述性的解释。要真正深入下去,他还必须回到哲学上来。写于同一时期或稍晚的一份标题叫做“论引力和液体的平衡”的手稿^③,表现了牛顿在清理力学的基本概念方面的真正异乎寻常的努力。这是一篇相当长的文章,从文章的标题看,牛顿本来好像是想写一篇关于浮力的札记,但不

① Add MS 3958, ff. 81 - 83 有标题作 The Laws of Motion, 即 HH II 2。

② A. R. Hall 认为在 1666 年,见 *Unpublished Papers, op. cit.*, p. 157, 但 J. Herivel 认为在“1668—1669 年间”,“肯定在 1669 年前”,说在 *Background, op. cit.*, p. 93。

③ De gravitatione et aequipondio fluidorum (Add MS 4003), 即 HH VI, pp. 121 - 156。按 A. R. Hall (p. 90) 的考证,本文写于 1664—1668 年间。

知为什么他一开头就转向对笛卡尔的猛烈批判，他说笛卡尔的理论是“荒谬的”，不仅推论混乱，而且也不合于事实。但是，要摧毁笛卡尔也不是这么简单。

首先是空间的问题。既然要排除笛卡尔的无所不在的“精细物质”（*matiere subtile*），既然要否定亚里士多德的“月上”和“月下”的分野，那就必须回答，你所说的“延伸”是什么意思呢？你所说的“运动”和“方向”又是什么意思呢？对于笛卡尔来说，“延伸”就是依次通过无数个涡漩，“运动”就是运动物体穿过那无所不在的“精细物质”的海洋，改换它们的相对位置；对于亚里士多德来说，“方向”就是指向地心的，万物自然奔趋的方向，或者和地心相反，指向苍穹的方向：上下既明，万物才有次序。它们可以向上运动，也可以向下运动，或者向别的方向运动，而这一方向可以很容易地通过和“上”或“下”的比较描写出来。现在的问题是，如何重新定义这些本来对任何人说来都不需要定义的东西呢？

从直觉考察，“空间”的确不是一个困难的概念，比如说一间一无所有的极大的房间，就提示了空间的样式。但是稍微仔细的考察就显示出上面的空间样式正是亚里士多德或笛卡尔所谈论的空间，它的存在是靠“房间”的存在保证的。有了这样一个有上下左右四四方方的房间样式，我们才有一个安全的、可以想象的“空间”可言。你或者可以想象，这房间不断地伸展，变得越来越大；但如果抛弃房间的概念，你怎么想象一无所有的虚空在延伸，你怎么能谈论一无所有的虚空的种种性质呢？

现在牛顿所要的，就是这样一个不依赖物体而存在，自己是自己的原因的空间。这有些麻烦。

要讨论虚空的确不容易。牛顿写道，“关于虚空原该无甚可说，更不必谈虚空的性质，可是我们对延展却真有格外清晰的观念，所谓延展就是抽提掉物体的样式和性质，而只剩下空间在长宽高各方向上均匀地无限地伸展出去……”^①为了弄清楚牛顿的意思，让我们先回到上面

^① *Op. cit.*, pp. 99 - 100, “虚空”原文是 *nihili*, 英译作 *nothing*; “空间”原文作 *spatij*, 英译作 *space*, 英译均见 p. 132.

关于“大房间”的讨论中来。在笛卡尔哲学中,所谓空间,完全依赖于“房间”这样一个实物。在这个房间的墙角,墙和墙以及墙和地板相交,形成三条相互垂直的线,分别是这房间的长宽高的度量。如果墙面和地板慢慢消去,剩下的就只有三条相互垂直的线,标志着一个一无所有的虚空。

我们必须马上指出,上面的说法只是便于想象而已,而且从本质上说,这种比拟并没有真正摆脱笛卡尔的“依赖于物体”的前提。事实上,空间是至大无外的,为了真正建立起这样的概念,牛顿只能采用从部分定义整体的办法。他说,所谓空间是可以划分为部分的,而这些部分的交结部就是“面”;面又是可以划分的,两个面的交结部就是“线”;再把线划分成两段,其交结部就是“点”。线和面都可以无限地延伸,空间于是展现为无限的。

牛顿自己都承认,这样无限的虚空是很难想象的。“但是”,牛顿争辩说,“我们可以理解这种无限的延展……我们总能理解,一定还有比我们所能想象的更大的延展存在”^①。牛顿正面批评了笛卡尔否定无限的论述^②。牛顿认为,笛卡尔之所以否认空间的无限性是因为他无法把这种无限性同上帝的无限完美协调起来。牛顿认为这不是个问题,因为无限只有被赋予完美的事物时才是无限完美。无限的智慧是最高品位的完美,但无限的愚昧是最低品位的完美^③。

牛顿关于空间的无限性的论述的重要之处在于这种无限性是空间的一系列性质的基础。空间是无限的,所以空间是真正静止的,于是牛顿为所有的运动找到了一个最终的绝对的参照物^④;空间又是所有事物存在的场所,事物在其中延续,而空间本身是永恒的^⑤。牛顿认为,这儿我们所看见的,正是上帝的完美永恒和无所不在。

① *Op. cit.*, p. 134.

② R. Descartes, *Principles of Philosophy*, Part I, Art. 26.

③ *Op. cit.*, pp. 135 - 136.

④ 性质之三:“空间是静止的。”性质之五:“位置,距离和物体的运动是相对空间各部分而言的。”

⑤ 性质之四和性质之六,*op. cit.*, p. 136, 137.

那么，“存在”是什么呢？牛顿接着写道，存在就是“不比物体更不实在的东西”^①，“或者它们很可以被叫做实物”。

有了空间，有了物体以后，牛顿转向了“力”的概念。牛顿在这儿遭遇的困难可以从他的用语中清楚地看出来。和上面关于空间的讨论不一样，对现代读者说来，牛顿突然变得很不像我们所熟悉的牛顿。“力”，牛顿写道，“是运动和静止的决定性的因素”^②。有产生或消灭或改变有些物体运动的外力，也有内因，物体已有的运动或静止因之得以保存，物体得以继续保持其状态，抗拒阻力”。在这里，牛顿明显地采用了亚里士多德的运动的冲量概念来解释运动。紧接着，“定义6”是笛卡尔的 *conatus*（倾向）：是被阻碍着的力，或受到阻碍的力。“定义7”则又是亚里士多德的 *impetus*（冲量）：是作用在一样东西上的力。“定义8”是关于惯性的：惯性是物体内部的力，如无惯性，物体的状态就会易于被外来的激发力所改变。所有这些力，牛顿写道，要从“强度”（*intensio*）和“延展”（*extensio*）两方面来测量：前者是力的“量的程度”，后者则是其“作用的时间或空间之量”。而此两者之积则是力的“绝对度量”。

和空间的概念相比，力的概念要困难得多了。这些定义的晦涩拗口，用词的任意含混，各个不同的哲学体系中的术语在不同的意义上的夹杂使用，正是作者艰难探索的痕迹。和抽象的绝对空间概念不同，在1665—1666年间，牛顿似乎并没有完整的超距作用的力的概念，他还徘徊在亚里士多德的、中世纪的和笛卡尔的概念的阴影中。我们还要再等一两年，才有机会看见按平方反比定律^③并且不需要任何媒介就能起作用的力的概念出现在牛顿的手稿里。

① *Op. cit.*, p. 140.

② 原文是 *causale principium* (p. 114), 英译是 *causal principle* (p. 148), “决定性的因素”似过于“现代化”，但斟酌良久，未得佳译。

③ *On Circular Motion* 即 *Add MS 3958*, ff. 87, 89.



第四章 1670年代

继“神奇年代”的十二三年，即 1667—1679 年，事实上是一个消化、充实和发展 1665—1666 年间种种创造的重要时期，但这一时期的工作无论在研究主题上还是方法上都迥然不同于“神奇年代”：驰骋的想象和天才的猜测逐步转变为严谨的实验和推理。首先是数学和光学，然后是炼金术和物质理论，最后是力和作用，牛顿想要知道的，是整个自然的作用。这种研究既然步步深入，17 世纪学术的两大潮流之一——笛卡尔的基于理性的机械论和渊源或可上推至中世纪甚至更早的隐秘哲学，就表现出越来越尖锐的对立。牛顿敏锐地看到，机械论哲学“为了用力学来解释一切事物，他们就虚构了一些假说……”^①换言之，机械论并不能最终地扫除隐秘原因，只不过是使用一些别样的说法来掩饰问题的实质罢了，因此，引进力的概念，并不见得一定是不可想象的。

放弃充满介质的宇宙图景，突破相互作用只发生于接触和碰撞的限制，是牛顿对笛卡尔物理学的重大革命。但是，笛卡尔绝非可以随便打倒的等闲之辈，否定机械论果然解决了一些困难的问题，但同时也造成了一些新的困难。作用不一定要以接触为前提，也不一定发生于碰

^① *Opticks*, p. 369, 中译在《著作选》第 185 页。

撞过程之中,那么,它是如何实现的呢?在回答这个不容回避的问题时,牛顿用的是一种全新的考虑方式。牛顿明确地把理论的出发点和归宿都放在现实世界之中。实验以及实验所提供的经验事实成了在这种冲突中坚实的立足点。实验前的设计和完成以后的分析,从众多的现象出发的归纳和建立在公理之上的演绎,使得牛顿的工作成为后世科学方法论的典范。

一、数学：引进变化的量

1667年4月,瘟疫的危险好像已经过去,牛顿和别的同学一样回到了剑桥。从他笔记本里保存的收支账目来看,他这时的生活并不紧张,有时和几个“相识”上上小酒馆,有时也玩玩纸牌,而且还有不太小的输赢^①。这有点让人小感不解,因为他正面临一场至关重要的考试,以取得研修员^②的资格。如果不幸失败,他大概除了回家务农之外没有什么别的机会了。尽管评审委员中有来自格兰瑟姆的同乡汉弗莱(Humphrey Babington),可是他的表现也实在是太胸有成竹。他花了不少的钱去买衣服和各种“工具”,甚至包括一架小的“车床”,好像他当时就知道他要在剑桥住一辈子一样。

后来的事实证明,他是对的。1667年10月2日他获得副研修员资格,五个半月以后进一步得到研修员职位,再四个月,1668年7月7日,获硕士学位。这一切好像是安排好的,这些考试好像是例行公事,但是重要的是,牛顿从此有了一份收入,在剑桥有了一处住所,从而可以安下心来做研究了。

牛顿这时的研究兴趣是“神奇年代”问题的自然延伸,即数学、光的散射以及天体的运动。无论是散射还是月球轨道,都明白地把他引向日后所谓的分析学的研究:对于光说来,折射、反射都是相对于透镜的

① 参见 RSW, p. 178 f. 这是 R. S. Westfall 根据费茨威廉笔记本描绘出来的情形。

② Fellow 译作“研修员”颇有不妥,容更觅佳译。

法线而言的,而为了求法线又必须知道镜面上相关点的切线;对于圆周运动说来,所谓的“倾向”(Conatus)正是指向切线方向。回到剑桥的最初半年里,牛顿写了两篇札记^①,内容都和圆锥曲线的研究有关。稍后,大约在1667—1668年间^②,他又写了曲线研究(*Enumeratio curvarum*),但是真正重要的文字是1669年7月底完成的“论分析”(De *analysisi*)。

17世纪数学发展的一个重要方面是引进“变化”概念。笛卡尔和费马(Pierre Fermat, 1601—1665)在坐标几何方面的工作为研究曲线奠定了基础^③。这种研究极大地为力学和光学研究所促进,求速率、求切线、求极大值和极小值以及求面积,是当时迫切要求解决的课题。当牛顿在伍尔索普考察光的散射,考察月球的轨道时,他会不可避免地遇到这些问题,自然也多多少少作了研究。他好像没有把他的研究成果系统地写下来,但肯定在剑桥的同事间讨论过。

在1660—1670年代,数学专业杂志还远未成为数学家们讨论切磋的主要场所,学问的交流是靠“通信”完成的。科林斯(John Collins, 1625—1683)是这种通信的一个主要中转站。科林斯出生在一个平常人家,没有机会受到很好的教育,但他酷爱数学,坚持在工余同英国的和欧洲大陆的数学家通信。1669年初,他收到了麦卡托(N. Mercator)把对数展开为无穷级数的论文^④。同以往一样,他把这篇论文转寄给了他的数学家朋友们,包括在剑桥的巴罗。6月20日,巴罗

① Problems of Curves, *MP*, v. 2, pp. 175 - 184 和 De solutione problematum per motum, *ibid.*, v. 2, pp. 194 - 200。留意第二篇札记不是先前提过的 October 1666 Tract, 尽管篇名类似。October 1666 Tract 见于同书 v. 1, pp. 400 - 448。

② RSW, pp. 197 - 198, 作 1668 年,“也可能 1670 年”; D. Gjertsen, *The Newton Handbook*, London: Routledge & Kegan Paul, 1986, p. 314, 径作 1667 年。

③ 微积分创立的时代背景参见 Morris Kline, *Mathematical Thought from Ancient to Modern Times*, New York: Oxford Univ. Press, 1972, Ch. 15 and 16; 本书有中译,见 M·克莱因:《古今数学思想》,北京大学数学系译,上海:上海科技出版社,1979年,第二册第十五和十六章。

④ 麦卡托(1620—1687)是皇家学会会员,1668年完成论文 *Logarithmotechnia*, 把对数 $\log(1+x)$ 写成关于 x 的幂级数。

告诉科林斯，“我的一个朋友有一天给我带来了一篇论文，文中有一套同麦卡托先生类似的计算方法，但（其适用范围）非常普遍……”^①十天以后，应科林斯之请，巴罗把牛顿的论文寄给了他。但是直到8月20日，巴罗才公开了牛顿的名字，在这以前他一直把文章的作者称为“我的朋友”：“……他的名字叫牛顿，是我们学院的一个研修员，很年轻……但在这些方面有非凡的能力和天才……”^②这是伦敦数学界第一次听说牛顿的名字。

《运用无限多项方程的分析》^③(*De analysi*)所讨论的，用我们现在的数学语言来说，是 $y=ax^{m/n}$ 的积分。牛顿分三步解决这个问题：先用 x 和 x 的“极其微小的增量” o 来讨论上述方程对应的曲线与 x 和 y 轴围成的面积，利用二项式展开，然后忽略带有 o 的高次项，牛顿得到了这一函数的积分表达式。接着牛顿讨论了多项式的积分，提出了“逐项积分”的法则，最后他讨论了形式比较复杂的函数，把它们展开为级数，然后再逐项积分。

数学史研究者认为^④，这一步使“我们可以认为微积分已被引出”。三个月以后，1669年10月29日，牛顿当选为剑桥的鲁卡斯教授，成为剑桥八个讲座教授之一，这在二十七岁的牛顿来说，实在是对他的数学能力的明白肯定。但是，同时还必须看到，牛顿当时还没有清晰的无穷小概念， o 的高次项还是莫名其妙地被抛弃掉的，而牛顿自己在这一手稿中也承认，这“只是简短的说明，而不是精密的证明”。

1671年7月20日，牛顿写信告诉科林斯说他又有了新的著作。他说的是一篇长达160页的文字，后来常被称作*De methodis*（《流数法

① C, v. 1, p. 13.

② *Ibid.*, pp. 14-15.

③ *De analysi per aequationes numero terminorum infinitas*, 中译名从上海师范大学数学系译《微积分概念史》(C. B. Boyer, *The Concepts of the Calculus*, New York: Hafner, 1949), 上海: 上海人民出版社, 1977年, 第202页。这篇论文最初刊于 William Jones ed., *Analysis per Quantitatum Series Fluxiones ac Differentias ...* London, 1711; 现在为研究者采用的英译本在 *MP*, v. 2, pp. 206-247。

④ C. B. Boyer, *op. cit.*, p. 192; 中译本第203页。

与无穷级数》^①。在这篇论文中,牛顿系统地讨论了微商、积分和它们的应用;引进了诸如 \dot{x} , \dot{y} , \ddot{x} 等独特的符号,明白地把变化率称为“流数”,引进了“无穷小增量”或“瞬”即 moment 的概念。牛顿此时的无穷小概念,按波耶尔(Boyer)的说法,可能是“类似于速度概念”之类的东西。在这一篇文字中,流数常不是单独地,而总是在比例中考虑的。这样,无穷小量就更接近一种变化的概念,而不是一个很小很小因而可以忽略的量了。牛顿的这些文稿直至他去世都没有发表,但是由于科林斯的帮助,数学界对他的工作仍颇为了解和赞赏。1671年12月21日,皇家学会会员、萨利斯伯瑞(Salisbury)的主教瓦德(Seth Ward, 1617—1689)提名牛顿为皇家学会会员,次年1月11日皇家学会接纳了这个年轻人。

无穷小量和与之相关的极限概念是分析学的核心,而这些概念与传统数学概念的本质不同在于它们是变化中的量。对牛顿来说,从最早的《1666年十月文稿》(October 1666 Tract)起,“通过运动解决问题”就是一个着眼点。点的运动形成线,线的运动形成面,面的运动形成体等;另一方面,力学的研究所要求的有关速度和面积的解,又常是变化的量。从运动出发考察问题,或者问题的考察最终要归结到求解运动上,对牛顿来说应当是自然的。但是,数学的优美和力量又常在其抽象性。如果拘泥于具体问题的求解,则又不能进一步得出普遍适用的理论。牛顿是幸运的,他一方面面对17世纪关于力、运动和天体的大问题,一方面接受了巴罗及其同事对于曲线、特征三角形和“最后比”研究的影响,因而比别的任何人都更清晰地理解问题的关键所在。

理解无穷小量的关键在于极限概念,其中的困难与其说是数学的,不如说是哲学的。现在数学家要处理的,不是若干个数,而是很多很多的数;不是它们的某种固定的排列,而是一种无穷延伸的排列;不是某

^① *De methodis fluxionum et serierum infinitorum*, 即 Add MS 3960. 14, 原稿第一页已佚,所以无从知道牛顿用的是什么题目。这一篇名是1736年第一次刊印本文时其英译者 John Colson 加的;中译名仍从上引 C. B. Boyer, 中译本第205页。现在采用的原文及其英译见 MP, v. 3, pp. 32 - 353。

个很小很小的量，而是一个不断变化的量。这是自数学在古希腊产生以后的一次真正的革命。无怪乎牛顿总是觉得还要再考虑一下。1672年5月，牛顿通知科林斯他有一个小册子可供同行传阅，但两个月以后牛顿仍旧没有寄出他的文稿，也不能肯定地说出大概什么时候他才能写完^①。

二、光和颜色的本质

从时代划分来看，牛顿在光学研究方面的文字可以很清楚地分为三段。早期即大学时期特别是1665—1666年，他直接承继了笛卡尔的工作，而主要的兴趣常在颜色，以对白光的分解为高潮，但记录尚称零散^②；中断四五年后开始本节行将讨论的第二期，到1675年颇为不愉快地结束；以后二十年他似乎完全没有回到这一方向上，直至1694年起才再有零星文章，最后到《光学》的发表，或可视为第三期，但以创造性而言，自又去前两期甚远，甚至可以说是第二期的迟到的总结了。

在前一章里我们曾有机会讨论了牛顿早年的工作。尽管在1660年代的最后几年里，牛顿的注意力越来越为数学问题所吸引，他对于光学的研究并没有停顿。剑桥鲁卡斯教职的一项工作是给大学生上课，牛顿自然也不能例外，而他最初开出的课就是光学。剑桥惯例，任课教授要把讲稿送交大学图书馆。牛顿在1670—1672年间担任光学课时似乎曾计划把讲稿连同上文提到过的《论分析》一同发表。但稍事考虑以后，又改变主意，生怕因此破坏了他享有的“自由和宁静”^③。注意到牛顿作出这一决定恰是1672年5月，当时他的光学论文和反射望远镜正遭受来自各方面的严重质疑，我们有理由相信牛顿真是因为害怕再

① C, v. 1, p. 215.

② 牛顿早年的光学笔记共十三则，较重要的有 MP, v. 1, pp. 551 - 554; Add MS 3996, ff. 69 122r - 74 124v (430 - 441) 和 Add MS 3996, ff. 91 133r - v (452 - 457) 的“论颜色”；A. Hall, *Ann. Sc.*, 11 (1955) 36 - 43 中重印的“论折射”，即 Add MS 4004；以及 Add MS 3975, ff. 1 - 22 (466 - 489)。

③ 1772年5月25日致 J. Collins, C, v. 1, p. 161.

起争端而搁置他的《光学讲义》^①的。

《光学讲义》分成两部分，一为“光线的折射”，一为“颜色的起源”。在讲稿的第一部分中，牛顿从光线有不同的折射率出发，讨论了折射的测量，被折射两次的光线的性质以及光线在弧形表面的折射现象。第二部分承继第一部分，讨论不同颜色的光通过棱镜后在墙上、在人眼中的反映，还分析了光通过不同质或不同边界的媒体时的行为。不难看出，牛顿1670—1671年间向剑桥学生讲授的，正是他四五年前在家乡茅舍里做的实验的心得。

据牛顿自己说，他在发现光的色散以后就认识到“‘折射’望远镜的完善程度之所以是有限的……”^②这是促成他着手建造反射望远镜的主要原因。由费茨威廉笔记本知，1669年，他花了不少钱购置了磨制反射镜面所需要的药品和设备^③，并动手做了一架放大倍数为四十的反射望远镜^④。利用这架长仅六英寸的小装置，牛顿清晰地看到了木星的圆面及其卫星，还看到了金星的位相，这通常要用六英尺的折射望远镜才能观察到。稍后，他又建造了一架更好的，于1671年年底送到皇家学会，并在次年年初的会议上展出^⑤。

① ULC, Dd. 9. 67, pp. 1 - 77, *Opticae*。另一份手稿, Add MS 4002, pp. 1 - 128, 据 Portsmouth 手稿整理者 H. R. Luard 等人的判断是本文的初稿, 说在 *A Catalogue of the Portsmouth Collection ...*, Cambridge, 1888, Sec. VII, no. 16, p. 48。本文在牛顿生前未及发表。1727年牛顿去世后, 该讲稿的第一部分由一位不知名的人译成英文, 同原文一起在伦敦刊行, 是为 *Optical Lectures read in the Publick Schools of the University of Cambridge AD 1669 ...* 现在通行的拉丁-英译对照本见于 *The Optical Papers of Isaac Newton*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1984, v. 1, pp. 280 - 604, 前述“初稿”见于同书 pp. 46 - 279。对这两份手稿细致的比较研究见于 Allen Shapiro, *Synopsis of the lectiones opticae and optica and their major differences, op. cit.*, pp. 26 - 41。

② Add MS 3970, f. 461v, 中译见前引《著作选》第85页, 译文稍有改动。

③ 参见 RSW, p. 196。

④ 牛顿在1669年2月13日给一个朋友的信里详细地描写了他的望远镜, 见 C, v. 1, pp. 3 - 4。

⑤ 现代研究者对牛顿把望远镜送到皇家学会展出一事颇有不同意见, 细致的考证见 A. A. Mills and P. J. Turvey, *Notes and Records of the Royal Society*, 33 (1979) 133 - 155, 他们认为并无证据表明牛顿曾在皇家学会展出过他的望远镜。本书仅根据通行的说法, 未及进一步的考究。

望远镜的发明和建造是牛顿第一次为优先权问题所困扰，事实上，各种各样类似的困扰将伴随他一生。先是胡克(Robert Hooke, 1635—1703)提出，他早在1664年就做成了一架类似的仪器，“长一英寸左右”。但真正的麻烦发生在5月，一个法国人德尼(Denis)写信给皇家学会^①说早在1663年，苏格兰人格里高利(James Gregory, 1683—1675)就描述过反射望远镜，而法国人卡森格瑞(Cassegrain)还画出了反射望远镜的装置图。格里高利曾在意大利留学，后来在圣安德鲁斯(St. Andrews)教数学，同科林斯一直保持着密切的通信联系^②。在1663年出版的《光学》(*Optica promota*)第92到94页上，他描述了反射望远镜的构造。皇家学会的秘书奥登伯格(H. Oldenburg)在5月2日写信告诉了牛顿，而牛顿在第二天回信^③说他确实知道格里高利的书，但是格里高利也好、卡森格瑞也好，都未能成功地建造出这样的望远镜，并罗列了七条上两种设计的缺点。

其实，牛顿的真正优势并不在望远镜本身，而在于他对此进行的理论分析，即和望远镜差不多同时送交给皇家学会的《关于光 and 色的新理论》^④。

这封长信可以分成四个部分。在一个简短的历史回顾以后，牛顿叙述了他关于白光分解的实验。光束射入黑暗的室内，通过三棱镜的作用形成了光谱。牛顿报道说，光谱距棱镜22英尺，光谱最大长度为 $13\frac{1}{4}$ 英寸，宽 $2\frac{5}{8}$ 英寸。他注意到光谱的宽度对小孔所张的角为 $31'$ ，“与太阳的(角)直径相当”，但其长度所张的角为 $2^{\circ}49'$ ，“比这直径的张角大五倍还多”^⑤。他认为太阳光通过棱镜后形成“长条形”的投影与预期不符。牛顿于是利用已有的理论作了种种假定，考察了诸如“玻璃

① C, v. 1, pp. 150 - 151.

② 今存科林斯给他的信有一百多封，而他回科林斯的也有四十几封。

③ Newton to Oldenburg, May 4, 1672, C, v. 1, pp. 153 - 155, 下文引文在 p. 154.

④ 牛顿于1672年2月6日送交皇家学会，旋刊于同年2月19日出版的 *Phil. Trans.*, 6: 80 (1672) 3075 - 3087; 常见的英文本在 C, v. 1, pp. 92 - 102; 中译见前引《著作选》第81—96页。

⑤ C, v. 1, p. 93; 中译在第83页。

的不平或其他偶然的不规则性”、“玻璃的厚度”、“来自太阳不同部分的光线”对投影的影响,并通过实验将它们一一排除。根据笛卡尔关于光的本性的假说,光是一种“球形的物体”,所以在经过棱镜时其传播的途径会发生弯曲。牛顿同样对此做了试验,但“看不到它们有这样的弯曲”。于是,他再设计了一个“判决性实验”:让光线先通过一个棱镜发生折射,“我把第一块棱镜拿在手中,并缓缓地将它绕轴转动,从而使得像(即光线被第一块棱镜折射产生的光谱)的各个不同部分……依次通过”一面纸屏上的小孔。牛顿又使通过这小孔选择出来的光线再投射到第二块棱镜上以“观察第二块棱镜会把它们折射到墙上什么地方”。牛顿发现“被第一个棱镜折射而射向像的一端的光确实在第二个棱镜中比射向另一端的光经受了大得多的折射”。牛顿于是得出结论,“(太阳)光本身是一种折射率不同的光线的复合混合物”。

这一点一经认定,折射望远镜的改善就不可能是无限的。光通过透镜产生的色差使得建造得无论多么精密的折射望远镜都不能产生无限精细的像。在文章的第二部分中,牛顿据此讨论了反射望远镜和显微镜。在紧接着的第三部分中,牛顿回到光学的理论问题,解释颜色的起源。

他分十三段阐述他的“学说”。他认为,颜色不是光在物体上诱导出来的,而是光自身的一种性质。同一大小的折射程度对应于一种颜色,对于只有一种颜色的“单色光”,没有“迄今所能观察到的任何原因”可以改变它的颜色或折射率。他进一步提出,不同的颜色实际上是不同的光的混合:

正像你看到当蓝和黄的粉末细致地混合时,对肉眼看来是绿的,但是那些成分的粒子的颜色并没有因为混合而真的发生了变化,只是混合了而已。^①

他利用这一基本的假说解释了棱镜的分光现象和雨后的虹,以及胡克

^① C, v. 1, p. 98; 中译在第 89—90 页。

早先提出的一个“出人意料的实验”。胡克曾报道说^①，把装着透明的红色溶液的容器和装着透明的蓝色溶液的容器重叠在一起，它们看起来就不透明了。牛顿认为，这只是因为光线不可能同时既是红色的又是蓝色的，所以当两个容器重叠时，没有一种光线能通过这些“透明的”容器。

这些实验和相关的理论解释对皇家学会诸人说来真有令人耳目一新的感觉。牛顿几乎立即就收到了肯定的答复。2月8日皇家学会秘书奥登伯格写信告诉他，《光和色》一文已成为大家“唯一感兴趣的题目”，并“一致同意……这一论文应当立即付印”^②。皇家学会还接受了牛顿在他的长信结束时的建议，请学会的一些学者^③，“从容细致地”做一个进一步的实验，用一个大的透镜把被棱镜分解了的白光重新会聚起来，再“合成”出白光。牛顿对他自己的工作信心十足，“我将非常高兴听到他做成功了什么……并且如果我的确犯了什么错误，我就……承认它”^④。

三、光是波动吗？

牛顿这份自信的潇洒并没有能保持多久。文章发表的一个星期以后，批评陆续出现，而且迅速扩大，不久就形成了一场一面倒的批判。这些反对意见大致可以分为两类：一针对实验本身，一关于实验结果如何解释。

首先是大陆科学家，特别是法国人^⑤，持完全的怀疑态度。帕蒂斯

① R. Hooke, *Micrographia* . . . , London, 1665, p. 73. 牛顿早年在笔记本里(Add MS 3958. 1, f. 1)曾详细摘录过胡克的这一实验。

② C, v. 1, pp. 107 - 108.

③ 据 Thomas Birch 说，三个参见者为 Seth Ward、Robert Boyel 以及 Robert Hooke，见 *History of Royal Society*, London, 1756 - 1757, v. 3, p. 9.

④ *Op. cit.*, v. 1, p. 102; 中译参见前引译本第 96 页，译文稍有改动。

⑤ 细致的讨论见 Henry Guerlac, *Newton on the Continent*, Ithaca: Cornell Univ. Press, 1981, 特别是 Ch. 5, Newton in France, The Delayed Acceptance of His Theory of Color.

(I. G. Pardies)在1672年3月30日和5月11日两次写信给皇家学会提出^①,太阳光通过棱镜产生的投影变长是由于来自太阳各部分的光线的人射角不同造成的,也可能是天上的云造成的,而实验结果完全可以用已有的屈光学定律和折射定律解释,因而关于白光是不同折射率的光线的混合物的假说是不必要的。稍后,林努斯(F. Linus)写信^②给皇家学会报告说未能重复出牛顿的实验。牛顿对于这一类批评开始还作了一些解释和说明^③,但后来这些责难显然使牛顿越来越难以忍受,最后他索性对奥登伯格说,“我记得你把 Line(义案指 Linus)的信给我看时我就告诉你,我认为书面答复是毫无意义的,因为这不是关于推理的争论,而是我是不是真的做成功过这个实验……这不靠辩论解决,而只要再做一下这个实验……”^④

第二类的批评集中于牛顿对实验结果的解释,以胡克为代表。胡克在他的时代是仅次于牛顿的科学家、发明家,1662年被选为皇家学会实验部主任。“在为皇家学会工作的四十年和死后的四十年里,胡克一直被认为是英国最伟大的科学家之一;在以后的两个世纪中,他却几乎完全不为人知。”^⑤这是因为他的为人和脾气不令人愉快,一生处处与别人竞争,时时为发明的优先权问题与牛顿争吵,颇不得与他同时和后世的学者的偏爱。在1665年发表的《显微术》^⑥里,他承袭笛卡尔的做法,称光“不过是穿过同质的,均匀的,并且透明的介质的一种冲动

① C, v. 1, pp. 130 - 133 和 pp. 156 - 158, 原文是拉丁文,附英文摘要。后来,经牛顿解释,Pardies在6月30日写信给皇家学会表示满意,见 C, v. 1, pp. 205 - 206。

② C, v. 1, pp. 334 - 336, 1675年2月15日。这儿的日期均从本书所用的 *Correspondence of Isaac Newton* 取英国记法,正文中同此。

③ 对 Pardies 有两个回答,即1672年4月13日致 H. Oldenburg, C, v. 1, pp. 140 - 142, 后发表在 PT, 84 (1672) 4091 - 4093, 和同年6月10日致 H. Oldenburg, C, v. 1, pp. 163 - 168, 后发表在 PT, 85 (1672) 5014 - 5018; 对 F. Linus 有三个回答,即1675年1月25日发表在 PT, 110 (1675) 219 的信,同年11月13日致 H. Oldenburg, C, v. 1, pp. 356 - 358, 后发表在 PT, 121 (1676) 501 - 502, 以及1676年2月29日致 H. Oldenburg, C, v. 1, pp. 421 - 425, 后发表在 PT, 123 (1676) 556 - 561。

④ C, v. 1, p. 356.

⑤ Margaret Espinasse, *Robert Hooke*, Berkeley: Univ. California Press, 1956, p. 1.

⑥ 本书有现代重印本: Robert Hooke, *Micrographia*, New York: Dover, 1961, 下面讨论的他的颜色理论见是书“观察 63”。

或运动”^①。作为复验牛顿光学论文三人小组的成员，胡克“经数百次试验”，对实验部分未生任何异议，但对于“解释现象的假说”，则“还看不出有任何不可拒绝的理由使我非把它视为当然的解释”^②。

胡克倒也不是故意刁难，他自有不能同意的道理。牛顿在他的文章中指出：

……不同种类的光线混合在一起……能使颜色看起来好像起了变化……正像蓝色和黄色的粉末细致地混合时，对肉眼说来是绿的，但是那些成分的粒子的颜色并没有因为混合而真的发生了变化^③，只是混合了而已。……既然颜色是光的性质……那么我们怎么能设想这些光线同样也是性质呢，除非一种性质可以是其他性质的主体并且承载它们，这实际上就应当称作实体。^④

牛顿在这儿很吃力地说明，光是一种“实体”即性质的承载物，但不一定是一种“物体”，我们通过物体的“可感知的性质”知道它们是实体^⑤。牛顿在这篇论文里谈论的“光线”的方式强烈地暗示了光不是一种性质，这与胡克对光本性的看法，以及当时占主流地位的光是媒体的一种状态的波动说有不可调谐的矛盾。胡克自然不能轻易让步。

对胡克有利的一个证据是光通过薄膜时产生环状色彩的现象，油膜、肥皂泡以及早先胡克观察和记录的平面玻璃和透镜相贴时所显示

① 见他的 *Micrographia*, p. 56, 62。牛顿摘录过胡克的这些论述，见 Add MS 3958, f. 1, 即 HH VI, p. 403。

② C, v. 1, p. 110.

③ 牛顿必定很早就有以各种颜色的粉末比各种颜色的光线的想法。在他 1670 年前后写的《光学讲义》中也有提到 (*Lectioes opticae*, Lecture 4, 51, 英译见前引 A. Shapiro ed., *The Optical Papers of Isaac Newton*, v. 1, p. 109)。A. Shapiro 根据牛顿早年的笔记 Add MS 3996, f. 91 133r (455) 认为牛顿的想法来自 R. Boyle, *Touching Colours*, Pt. 1, Obs. 17, pp. 238-239, 或 R. Hooke, *Micrographia*, Obs. 10, p. 78。但是，牛顿的《光学讲义》直到他身后才发表，所以胡克所看见的应该是上引 2 月 6 日的信。

④ C, v. 1, pp. 98-100; 中译在前引《著作选》第 89—93 页。

⑤ 实体的原文是 *substance*, 物体的原文是 *body*, 此处译文从前引中译本。

出来的色环,有力地提示了光的波动性。牛顿应用单色光改进了这一实验。利用精细的测量,他发现,明暗条纹的排列呈算术级数的规律,明条纹出现在1,3,5,7,9……的位置,暗条纹则出现在偶数级数的位置^①。牛顿发明了一种“猝发理论”来解释。牛顿假定光在传播时交替地发生折射和反射的倾向,当光线穿射薄膜时行经的距离恰是这种间隙的奇数倍时,反射发生作用,于是观察到明亮的条纹,否则即呈暗线。尽管牛顿的解释颇不为大家接受,他的实验,尤其他从实验中引出的数学规律确实给人以很深的印象,这一现象后来常被称为“牛顿环”,其实胡克的确是先于牛顿研究记录的^②。

光现象明显的周期性和诸如衍射之类的性质迫使牛顿认真考虑胡克的意见。他后来写道:“如果不借助于以太的脉冲,我就不知道怎样能很好地去说明透明薄片或皮层的各种颜色。”^③但是,牛顿觉得先前的关于光是实体的说法也有十足的证据,他于是倾向于一种折中的假说^④:

假定光线是从发光物质向各方面发射出去的小的物体的话,那么当它们碰到任何一种折射或反射表面时,就要在以太中引起振动,正像石块被投到水中时要引起振动一样。我还假定,这些振动将按照激发它们的上述颗粒性光线的大小和速度不同而有不同的深度或厚度。

不难注意到,牛顿和胡克的分歧在于如何解释现象。这个问题的发生,是因为人类对自然的认识已经进步到了这样一步:科学所处理的对象

① 牛顿比较完整的叙述在 *Opticks*, Bk. 2, Pt. 3, Props. 12-20, pp. 281 ff.

② Robert Hooke, *op. cit.*, Obs. 58; 真正第一个记录这现象的是意大利人 F. M. Grimaldi (1618—1663), 细致的考究见 E. N. da C. Andrade, *Proc. Roy. Soc.*, 201A (1950) 439-473.

③ C, v. 1, p. 363, 这是牛顿 1675 年 12 月 7 日写给 H. Oldenburg 的信。中译在前引《著作选》第 98 页。

④ 牛顿必然很喜欢这一假说,他在 1672 年 6 月 11 日和 1675 年 12 月 7 日给 Oldenburg 的信中两次引述,见 C, v. 1, p. 174, 363.

已不再是感官所能直接把握的了，对现象的解释也不再是仅仅通过一个正常人智力的直觉想象就可以完成的了。从物理上说，牛顿和胡克所各执一端的，是光的微粒性和波动性。当显然不能相容甚至显然相互排斥的假说都得到实验的有力支持时，物理学家的创造力和想象力就会面临严重的挑战。牛顿的折中方案是对这种挑战的一个回答。值得特别注意的是，牛顿始终把对假说的最后判决放在实验：

谁不知道光学和其他许多数学化了的科学同样依赖物理原理，就好像它们同样依赖于数学论证一样；而一种科学的绝对可靠性不可能超过其原理的可靠性。我对这些有关颜色的命题提出的证据正是从实验来的，因而是物理的……^①

牛顿认为，这种实验应当有能力判断谁是谁非，所以他把它们叫做“判决性实验”^②。像他用两块棱镜判断白光是由折射率不同的光线组成的，即是一例。

事实上，在科学史上很少有真正的“判决性实验”。20世纪盖格(H. Geiger)和马斯登(E. Marsden)关于卢瑟福(E. Rutherford)核型原子的实验或者可以算是一例^③，19世纪元素镓的发现或者可以算是另一例^④。但是，诸如光的本性这样复杂的问题，绝非一两个实验所能

① C, v. 1, p. 187. 中译参见《著作选》第96—97页，原译文稍有误译，已斟酌改正。

② Experimentum crucis, F. Bacon, *Novum Organum*, Bk. 2, apho. 35, 最先提到科学中有 instantia crucis, 盖指科学发展时的关键时刻。牛顿用的这个词先见于 R. Hooke, *Micrographia*, 1665, p. 54, 他误以为 Bacon 就是这个意思。牛顿从 Hooke, 仍讹用其意。李成仪等译《发现者》(D. J. Boorstin, *The Discoverers*, New York: Random House, 1983), 上海: 上海译文出版社, 1995年, 第578页将此一术语译作“苦实验”, 可谓莫名其妙。

③ 参见, 例如 G. L. Trigg, *Crucial Experiments in Modern Physics*, Van Nostrand Reinhold, 1971, Ch. 5. 本书有中译本: 尚惠春等译《现代物理学中的关键性实验》, 北京: 科学出版社, 1983年。

④ 镓是门捷列夫根据元素周期律预言的一个元素, 当时他叫它“埃卡铝”即“铝加一”的元素。俟其发现, 元素性质和发现途径一如门氏所预言, 化学元素的周期律遂为不移之定律。参见例如 M. E. Weeks, *Discovery of the Elements*, Easton: Journal of Chemical Education, 7th ed., Ch. 15, esp. pp. 646-648。

“判决”的。物理学为最终完成对光的“波粒二象性”的理解还要再努力三百年,而其困难程度当然远远不是牛顿当年所能稍许想象的了。

四、炼金术或“寻找哲人汞”

比光学花去牛顿更多时间精力的是关于物质的研究,或者可以叫做化学,或者可以叫做炼金术。但是,牛顿所做的既不是我们今天所谓的化学,他并不一般地研究化合或分解;也不是我们想象中的炼金术,他好像也不十分醉心于点石成金。

牛顿很早就对于化学颇感兴趣^①。据费茨威廉笔记本^②,牛顿在1669年去伦敦时买了不少研究化学所必需的设备,包括两只炉子。他还买了茨纳(Lazarus Zetzner)收编的17世纪主要炼金家的著作集*Theatrum chemicum*^③,皇皇六巨册。虽然在后来的回忆录里有人提到^④,在剑桥与牛顿同住一个宿舍的威金斯(John Wickins, 1719年卒)颇留意化学,牛顿是不是因为他的影响才研究炼金术似乎还很难说,因为在他们同住的最初几年,这两位性情各异的年轻人相处得并不好^⑤。牛顿去世时留下的1752本藏书中,有138本炼金术著作、31本化学书,占藏书总量的9.5%^⑥。1936年苏富比拍卖牛顿的手稿时,关于炼金术和化学的有121项,约65万字^⑦,其中有一篇他甚至同意发

① 牛顿的“化学辞典”, MS Don. b. 15, 共十六页,约七千字(English words),写于1667—1668年,包含诸如“汞齐”、“坩埚”和“升华”等化学词汇,也有诸如“龙血”(sanguinis draconis)之类的炼金术术语。

② *Op. cit.*, RSW, p. 196.

③ Lazarus Zetzner ed., *Theatrum chemicum*, 6 vols., London, 1659—1661。这本书在1602年初版,后来屡有增补。大部分研究者认为牛顿用的是该书1659—1661年的再版本。

④ J. Conduitt 1726年8月31日的回忆,在 Keynes MS 130. 10, f. 3v。

⑤ 见 J. Wickins 之子 Nicolas 的回忆, *op. cit.*, L. T. More, *Isaac Newton*, New York: Dover, 1962, p. 206。

⑥ J. Harrison, *The Library of Isaac Newton*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1978, p. 59.

⑦ Betty Jo Teeter Dobbs, *The Foundations of Newton's Alchemy*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1975, Appendix A, pp. 235—248.

表^①。以牛顿的个性看，若不是有十分的自信，他是绝不会把想法公之于众的。从年代上说，这些文字的写作起自 1668—1669 年，断断续续一直到 1696 年，整整延续了二十六七年。

当研究者最初接触到这些原始资料时，他们觉得很困惑^②。这些文字的写作年代，正是牛顿创造力最旺盛的时期。他关于光学、力学和天文学的研究后来构成了所谓现代科学的基础，而这些文字所提示的牛顿形象似乎与整个画面格格不入。比较早的研究者倾向于把牛顿在这一方向上的研究归入更加理性的、和牛顿的光学力学研究相仿佛的分析上去^③，但稍后的研究强有力地表明^④，情形并非如此。

牛顿对炼金术和化学的兴趣也见于不少他同时代人的回忆录和早年的传记。据他的助手汉弗瑞(Humphrey Newton)^⑤：

特别是在春天或落叶时节，他(牛顿)常常六个星期一直留在实验室里，不分昼夜，炉火总是不熄。实验室里……只有坩埚用得

-
- ① 是为《论酸》(*De natura acidorum*)，刊于 John Harris 主编的 *Lexicon technicum*，原文是拉丁文，刊出时附英文译文，事在 1710 年。现在容易找到的版本是 C, v. 3, pp. 105 - 114, 或 I. B. Cohen, *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1958, p. 244。
- ② 例如牛顿传的早期作者 David Brewster 写道，“一个有如此洞察力的人……竟会去抄写最不值得重视的炼金术歌诀，去注释显然是骗子和傻瓜写的著作……”见氏著《牛顿传》，v. 2, pp. 374 - 375。
- ③ M. Boas and A. Hall, *Archives internationales d'histoire des sciences*, 11 (1958) 151 - 152.
- ④ 其实，John Maynard Keynes 早在 1946 年就提出，牛顿未必能完全归于“冷峻的理性”，见 *Newton Tercentenary Celebrations*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1947, p. 27。但凯氏既非专业史学家，而当时牛顿研究尚未进入现代阶段，故其说竟未能引起足够的注意。
- ⑤ 汉弗瑞·牛顿是牛顿在格兰瑟姆的同乡人，但和牛顿却不是亲戚。他在 1685—1690 年间为牛顿做“书记”，或者说一种介于抄写员和秘书之类的职务。虽然牛顿说他“不知道自己在写什么”(案指他誊写《原理》和《光学讲义》)，他却是牛顿最重要的创造时期的最直接的目证。他很崇拜牛顿，1728 年得一子，以牛顿名名之。他的回忆为 J. Conduitt 记录，收在 Portsmouth 档，后为 Keynes 购得，档案号 Keynes MS 130。下面的引文见于 Lyman C. Newell, *Newton's Work in Alchemy and Chemistry*, 在 *Sir Isaac Newton, 1727 - 1927: A Bicentenary Evaluation of His Work*, Baltimore: the Williams & Wilkins Co., 1928, p. 212。

最多,他用它来熔融各种金属。他间或也会去查阅他实验室里放着的一本霉旧的书,我想书名是《阿格里科拉论金属》(*Agricola de Metallis*)^①,而金属的嬗变是他研究的主题……

这虽然是1680年代的情形,但我们知道汉弗瑞所提到的炉火早在十几年前就已熊熊生起,而有关金属嬗变的笔记也可以追溯到1668年或更早^②。

牛顿关于炼金术的手稿可以大致上分成四组^③。第一组是牛顿摘录的已刊著作,如 Keynes MS 17,出自瑞普垒(George Ripley)爵士1649年出版的著作选,而 Keynes MS 64则是凡楞提纳(Basilus Valentinus)的著作如 *Currus triumphalis antimonii* 的摘录。第二组是牛顿在1668—1675年间摘录的别人的未刊资料,如 Keynes MS 22摘自16世纪英国炼金术士简那若萨(Edwardus Generosus)的《健康宝籍概要》。第三组里包含很多牛顿自己的材料,一部分是当时流行的“处方”(recipes),颇可付诸试验;另一部分如 Keynes MS 51和 Keynes MS 52是“哲学意味更加浓重但操作细节较少的”文字。费拉特斯(Eirenaeus Philalethes)的影响很为研究者注意^④。Keynes MS 19可以大致断为1669年,其中谈论费拉特斯的“揭秘”(Secrets Reveal'd),还探讨了赛第弗吉乌斯(Sendivogius)和戴斯巴内(d'Espagnet)的炼金术的基础。其余的多为晚期文字。牛顿对炼金术的早期研究大部分归在第四组,如 Keynes MS 58可能写于1670—1675年间,而 Keynes

① 在牛顿的藏书中有三本 Agricola,其中 *De re metallica libri xii* 是1621年在 Basileæ 出版的,1727年的 *Huggins List* 和1767年的 *Musgrave Catalogue* 均有著录,今藏三一学院,少数书页上有折角,汉弗瑞盖指此。

② Add MS 3975, ff. 32r - 41v.

③ 下面采用的是 B. J. T. Dobbs 的分类,见氏著 *The Foundations of Newton's Alchemy*, pp. 129 - 134。J. M. Keynes 原来还有一个分类,也为四组,是为:(1) 摘录;(2) 翻译;(3) 索引和词汇表,如 *Alchemical writers* 收炼金术士一百一十三人, *Descriptoribus* 著录作品八十多种;(4) 牛顿自己的文字,如 *Clavis* = Keynes MS 18 和 *Praxis* = Babson MS 420(非 Keynes 档)。

④ B. J. T. Dobbs, *op. cit.*, pp. 179 - 182.

MS 18 则可能在 1675—1680 年间。MS 18, 又名“锁匙”, 以及可能写于 1672 年的 Dibner MS 1031^① 被认为是牛顿早期炼金术思想的代表作。

牛顿为什么要花这么多时间、这么多精力在炼金术和化学的研究上呢? 他研究的目的是什么呢? 现有的资料和研究尚不足以作出正面的无疑义的回答^②。但是, 从 17 世纪前半期剑桥的学术气氛来看, 牛顿的做法实在没有什么特别。在剑桥, 对牛顿影响很大的巴罗和莫尔从来没有排斥过谈论自然中隐秘因素的可能性。

巴罗对笛卡尔的机械论哲学持明显的保留态度。他一方面赞赏笛卡尔世界图景的清晰直捷, 另一方面^③也觉得笛卡尔过分地排除了非物质的因素如灵气(vital spirit)或灵魂(soul)。他觉得世间万物大概应该是由两个部分, 即精神的和物质的部分组成, 前者灵逸飘忽, 后者重浊厚拙。

莫尔可能是牛顿炼金术思想的另一个来源。莫尔并不一般地反对笛卡尔的机械论哲学, 他也谈论微粒之类的概念。但是, 对于物质本身及其运动, 莫尔认为^④, 机械论的解释还不能说明所有的现象, 特别是磁现象和引力。他提出了一种“无形物质”(substance incorporeall), 把世界万物各种现象的产生归之于“自然精神”(spirit of nature), 这一精神统领万物及其运动。这种东西并不能物化, 而其本原应该就是上帝。

现代研究者还认为^⑤, 巴罗和莫尔以及福克斯克劳福特是牛顿和所谓的哈特利(Hartlib)学派的联络纽带。正是通过他们, 牛顿得以读

① Sotheby Catalogue, No. 113, 后辗转归 Smithsonian, 全文见 Betty J. T. Dobbs, *The Janus Faces of Genius*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1991, App. A.

② 研究者如 Betty J. T. Dobbs 断言牛顿的工作是“一个求真知的统一的计划”, 而炼金术的研究是其中的一个成分, 见前引书, pp. 18 - 19。但这一说法未必能得到普遍的赞同。

③ W. Whewell 和 Osmond 都有类似看法, 为 B. J. T. Dobbs 所引用, 见氏著 *The Foundations*, op. cit., pp. 100 - 101。下面讲灵魂的一段见于 I. Barrow, *Works*, v. 4, p. 101, 但 Barrow 是用“这些哲学家认为……”的形式说的, 尽管他自己似乎也这么认为。

④ H. More, *The Immortality of the Soul*, ..., London, 1659, pp. 457 - 458, p. 469.

⑤ Betty J. T. Dobbs, op. cit., pp. 112 - 113.

到很多隐秘幻术的手稿,而这些人共同形成了一个研究隐秘幻术的“大圈”。

在牛顿时代,金属被认为是由相同的基质构成的,各种金属仅在于这些基质的搭配比例不同。适当地改变这种比例,即可以得到各种不同的金属。他们所说的基质是“硫”和“汞”,但绝非通常的 S 和 Hg,而是一种“硫精”(spirit of sulphur)和“哲人汞”(philosophic mercury)。通常的硫和汞结合生成辰砂即硫化汞(HgS)，“硫精”和“哲人汞”的混合则生成金属。如果比例适当,就可以得到黄金、白银或任何别种金属。所以,第一步是要提炼出真正的“硫精”和“哲人汞”,第二步是找出相关的神秘的比例,第三步是通过某种方式使“硫精”和“哲人汞”按这种既定的比例结合起来。

牛顿的工作是沿着这一方向发展的。1660年代末,牛顿的精力集中在从金属汞中提炼出“哲人汞”来。他试了两个方法:一是把汞和另一种金属溶解在类似于硝酸的一种水溶液(aqua fortis)或“强水”中,再进一步抽提出样品,称为“湿法”;另一条途径是把升汞和氯化铵混合,加热得到样品,称为“干法”。从现代化学的眼光看,他得到的应该就是金属汞;但17世纪炼金术士认为,此汞非彼汞,这儿得到的该是真正的“哲人汞”。我们上面用了几行文字描述的这两个过程耗去了牛顿的很多时间,直到1696年,他才比较有把握地认为他自己的确发现了完成这一神秘过程的合适的比例。

牛顿关于炼金术和化学的工作对于后来相关科学的发展有无贡献似乎还没有到下结论的时候。就现有的研究来看,好像可以说相当有限。对于牛顿后来的精神崩溃,倒是有研究说^①和汞中毒很有些关系;他常年与各种毒物为伍,沉溺在汞、砷和硫磺的蒸气烟臭之中,有些猜测甚至把他的去世都归为中毒,也不见得全无道理。然而,对于科学发展真正有深远意义的,是他在这些研究中形成和发展的物质相互作用

^① L. W. Johnson and M. L. Wolbarsht, *Notes and Records of the Royal Society*, 34 (1979) 1.

的观念。这些观念不久就将在他的力学研究中发挥重要作用，帮助他突破笛卡尔机械论哲学的藩篱。这一神秘主义和机械论哲学的联姻，使牛顿有可能重新构造“力”的概念，成为力学发展上的重要转折点。

五、什么是力？

从远古时代，力的概念就是和生命体相连的。据考证^①，早在第十九王朝，即公元前 14—前 13 世纪的孟斐斯(Memphis)时代，埃及人就拥有了“抽象的力的概念”。前 4 世纪的《墨子》则把力作为和人体相关的一事^②来讨论。对于那些不见形体的力的作用如风暴雷电，古人则常归于超自然的人格神。但有少数现象确实既不能诉诸能动的生命体，又似乎不能纳入神的一统画面，解释遂遭遇困难。磁现象即为一例。

吉尔伯特(W. Gilbert)是全面描述磁现象的第一人。1600年初版的《论磁》^③常被看作是近代实证科学的典范。全书六册，一百十五章，凡与磁力磁石有关的各个方面都有基于实验的讨论。至此，磁不再只见于马可·波罗从中国带回的神奇的磁罗盘^④，而是一种普遍的自然现象了。

① M. Jammer, *The Concept of Force*, Cambridge: Harvard Univ. Press, 1957, pp. 18—19. M. Jammer 的论断基于 Papyrus Harris 500, 并参考了 J. J. Hess(1888), F. L. Griffith (1900), W. Spiegelberg (1922), 和 Hans Bonnet(1952)的研究, 详 Jammer 的引证。

② 见《墨经》经上二十一：“力刑之所以奋也。”本段常为治中国科学史者所重视，诠释纷然。谭介甫将“奋”训为“加速度”，进而认为中国人在前 4 世纪已有了类似牛顿第二定律的观念，见《墨辩发微》，北京：科学出版社，1958 年，第 65—66 页。方孝博同意这一诠释，并引《列子·说符》以张其说，见《墨经中的数学和物理学》，北京：中国社会科学出版社，1983 年，第 51—52 页。但陈美东认为这不过是说“力是人体所具有的使运动发生转移和变化的手段”，见杜石然等《中国科学技术史稿》上册，北京：科学出版社，1982 年，第 121 页。戴念祖也认为这儿谈不上什么“加速度”概念，只是说“力和重是相当的”。见《中国力学史》，石家庄：河北教育，1988，第 27—28 页。综合经文字面考究和科学发展的整个画面，鄙意以为陈说、戴说近是。

③ W. Gilbert, *De Magnete*, London, 1600. 本书初版极为少见。专家估计印数远少于同年出版的莎士比亚初版，见 Derek J. de S. Price 为 *De Magnete* 英译本重印版写的前言，New York: Basic Books, 1958, p. viii. 该书英译初版见于 1900 年，译者达十人之多。

④ W. Gilbert, *op. cit.*, p. 4.

约略同时,亚里士多德的世界图景被16世纪天文学的种种发现所动摇:“月上”“月下”的分野被打破,“天体何能运动不息”则成了有意义的问题;既然万物并非都在孜孜然奔赴各自的“自然位置”,重物下落也成了需要解释的现象。

开普勒大概是第一个试图解决这个问题的学者。在1609年出版的《新天文学》中,他谈到了^①一种“非实物的”(species immateriata)东西。这种东西类似于光,从太阳发出,依平方反比的规律衰减。开普勒认为行星由此被驱动绕日环行。同样,地球也有这一species immateriata,该物事以同样的方式使月亮绕地运行^②。至于天体的更复杂的运动,开普勒进一步诉诸磁力。早在吉尔伯特工作发表之前,开普勒就对磁现象深感兴趣,在得到更多的数据以后,他完成了基于磁作用的对行星椭圆轨道的解释^③。

开普勒恐怕是第一个企图分析天体“为什么”能运行不息的天文学家。与他同时的笛卡尔,作为代表一个时代的哲学家,则力图在更大的尺度上对整个宇宙的运动作统一的说明和解释。他的基本图景是精妙物质(matiere subtile)的涡漩,与开普勒的说法颇有类似之处,但笛卡尔在他的主要著作如《论世界》(*Le monde*)和《哲学原理》中从未直接引述过开普勒。除了其他种种可能的原因如开普勒的工作过于数学化,重要的一点在于笛卡尔断然拒绝任何神秘的东西。笛卡尔机械论的精髓在于,力的作用一定涉及作用者和被作用者的机械接触。对于笛卡尔来说,运动的改变是通过碰撞实现的,谈论抽象的力是没有意义的。开普勒之诉诸磁力没有达到机械论解释的基本要求。

要用机械论认可的机制解释天体运动,笛卡尔学说中的无所不在的精妙物质就成了一种必不可少的东西。整个宇宙必须为之充满,任

① J. Kepler, *Neue Astronomie*, 1609, Eng. tr. M. Caspar, Munchen, 1929, p. 34.

② *Ibid.*, p. 234.

③ 见氏著 *Epitome Astronomiae Copernicanae*, 1618, 1620 以及 1621 年分三次刊出。参见 J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, New York: Dover, 1953, pp. 394 - 398.

何运动或冲动由此可以到处传播。因为精妙物质的微粒连成一片，构成一个整体，其中一个部分的位移必然引起另一个一部分的位移，于是整个宇宙的运动即呈首尾相连的环形，即笛卡尔所谓的“涡漩”。

牛顿从大学时代起^①即通过这一图景来理解力和运动。在三一学院笔记本里，他最初讨论的就是笛卡尔的“第一物质”^②。他大段摘录了笛卡尔《哲学原理》^③对这一神秘介质的讨论，但同时他对太阳推动涡漩和涡漩带着彗星的运动^④提出了问题，表现了牛顿对机械论解释的最初的困惑。

把这种精妙物质的图景运用到重力上，牛顿设想了一种穿行于物体的孔穴之间的粒子流^⑤。这种粒子流在射向地球的方向上运动得快一些，在离开地球的方向上则慢一些；射向地球时它们穿入物体的孔穴，离开时则不。这种粒子流不断地把物体推向地面，于是物体表现出重量。这种在今天看来颇为怪诞的说法在牛顿当时并不见得很离奇，笛卡尔、波义耳^⑥和第格拜都有类似的理论。

但是，牛顿比机械论哲学家更前进进一步的地方在于他和实验或实践的联系。我们还记得，对于笛卡尔说来，逻辑上严整、图景上直观、表达上“清晰确定”是真理的最重要的标准。但是，牛顿好像马上就要把他的想法付诸实用。他设计了一只飞轮^⑦，飞轮上方一半被一物件遮蔽。牛顿希望造成重性的粒子流由此被屏蔽，飞轮因此仅仅是暴露在粒子流中的一半有重量，未受粒子流轰击的另一半则没有重量。飞轮因此一侧重一侧轻，自然能转动不息。

① Add MS 3996, f. 12 93v (357)记录了1664年12月10日和17日的彗星。

② Add MS 3996, f. 1 88r (337 - 339).

③ Add MS 3996, f. 11 93r (354 - 355)。牛顿所引的是 *Principia philosophie*, Pt. 3, Ats. 54, 55, 64 - 78, 82, 84, 85, 86 - 92。

④ Add MS 3996, f. 12 93v (357)。牛顿在这儿谈论的运动见于 *Principia philosophie*, Pt. 3, Ats. 21, 126, 127, 72, 133 - 139。

⑤ Of Gravity and Levity, Add MS 3996, f. 19 97r (363 - 365)。这儿的 Gravity 与 Levity 对称，似不宜作“万有引力”解。案两字实出自 *gravitās* 和 *levitās*，所谓 *gravis* 和 *levis* 本性之谓也。或可译作“重性”和“轻性”。

⑥ R. Boyle, *Spring of the Air*, pp. 217 - 229.

⑦ Add MS 3996, f. 68 121v (430 - 431).

这台永动机当然没有做成。但是,要跳出笛卡尔的思路,要完全抛弃媒介概念,要一蹴而就地创造出一种新的世界图景以及与之相联的力的作用机制,并非如我们在三百年以后想象的那么容易。笛卡尔关于精细物质充满宇宙的假说实在不是完全没有理由的狂想曲;恰恰相反,这是他的哲学和世界图景所必不可少的一环。没有这一无所不在的媒介,力即无从传递,要说明天体运动的机制,要讨论磁力和重力,好像非它不可。

这样看来,为了把任何神秘的东西排斥在世界图景之外,必须引进神秘的精细物质。笛卡尔坚持说这不是神秘的;但是这一物事,既无处不在,又无从探测;既极其稀薄从而行星可以穿行其中而不稍感滞碍,又极其致密所以光和其他各种力的“冲动”可以由此传递而不略受损失,实在不能说不玄奥费解。看来,机械论哲学并不能将其基本信念贯彻到底而不稍涉及为其不屑的隐秘幻术所津津乐道的观念。但是,如果抛弃笛卡尔的精细物质重新构造世界图景,首先面临的是物体和物体间的相互作用的机制问题,简单地说,就是一物如何作用于另一物。既然没有媒介,那么,力是怎么施与承受的呢?或者说,在排除了有生命的作用体以后,在排除了无生命的被动传递以后,力到底是一种什么东西呢?

对于力的本质的探讨就这样和对于整个世界本质的探讨联系在一起。牛顿关于力的概念形成于1670年代,而在这一阶段,牛顿对自然的精深微妙的本质的探寻很突出地表现在他对“金属嬗变”的研究上。写于这时的“锁匙”(Clavis)^①记录了如何利用通常的汞、锑和金最后炼成“哲人汞”的。牛顿这样描述他的实验:

我把这样一个盛有金液的容器放在火上,可以看出,其中的金

① Clavis 即 Keynes MS 18,拉丁原文和英译发表于 B. J. T. Dobbs, *op. cit.*, pp. 251 - 255(以后引用时常在括弧中加注 Dobbs 页码,以利考究)。研究者倾向于认为牛顿是这一篇手稿的原作者,但似乎还未可百分之百地断言如此,细致的考证见上引 Dobbs, pp. 176 - 178,以及同作者七年以后对 Keynes MS 34 和商榷意见的检讨, *Ambix*, 29 (1982) 198 - 202。就本节的讨论主题而言,即便这份手稿是牛顿的摘录或转录,其中所反映的是牛顿 1670 年代中期的研究兴趣则是毋庸置疑的。

子不是因腐蚀成原子而化解，而定靠着内外夹击的力量化成了水银，活泼流动，就像在这个世界上任何地方发现的水银一样……金液起泡翻滚，然后腐朽败坏，液滴冲腾四溅，颜色逐日变化，种种现象常使我欣喜惊讶。^①

这个试验所依据的是一种金属变化成长的理论。牛顿很早^②就认为金、银、铁、铜等各种金属均属“同根”，宇宙间万物均受同一“精气”^③所鼓舞制约，“在金为金，在人为人”^④。

在 1672 年前后，牛顿明白提出，“自然作用可以分为两种，一种是能动的，一种是纯粹机械的……”^⑤所谓机械的化学，牛顿称之为“俗化学”，研究的是“物质的粗重粒子的连接与分离而不涉及任何能动作用”。但是，

除了这些粗重物质质地中可感知的变化外，还有一种更玄妙、隐秘和高贵的方式在精气中起作用，产生出与众不同的成果。这种作用真正发生之处，并不在于整块物质，而在散见于整块物质中的极其玄妙和小到无法想象的一小部分，如果把这一部分分离出

-
- ① *Op. cit.*, 1r (253)。本段译文相当随意，实因译者学力不逮。案牛顿原文，有些词汇似另有特殊含义，有时章句不甚可解；或当时炼金术士另有惯用意义，或因隐秘幻术的传统而有意写得含混晦涩，诚不易骤加判断。信已不能，遑论达雅。
- ② Keynes MS 12 A, 本手稿断代为“1669 年下半年”，见 B. J. T. Dobbs, *op. cit.*, p. 133。
- ③ 在 Keynes MS 18 即“锁匙”中，牛顿称这一物事为 *fermental virtue*，在 Dibner MS 1031 B 即“自然长成”（详下）中，为 *veretable spirit*，在别处如上引 MS 12 A, *magnesia* 似乎也有类似的意思，盖指一种能动的，引发并规定变化方向和方式的东西。
- ④ Keynes MS 12 A, ff. 1v - 2r, 原文见 B. J. T. Dobbs, *The Janus Faces of Genius*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1991, p. 25。
- ⑤ Dibner MS 1031 B, f. 5r (267)，这儿“能动的”一词原文是 *vegetable*。案本词从拉丁文 *vegere*，从 14 世纪进入英文至 18 世纪，用法同现代拉丁文 *vegetus*，意为“能动”（*active*），或“*lively, animated, vigorous*”（Sir William Smith and Sir John Lockwood, *Chamber Murray Dictionary*, London, 1933），其相关的晚期拉丁派生词 *vegetabilis* 意为“获生的”，“可长成的”（英文 *enlivening*）。因为本词在理解牛顿哲学上颇关紧要，故稍费篇幅讨论。至于 *vegetable* 今义“蔬菜”要晚至 18 世纪才出现。彼时世风不古，沙拉竟取代了哲学。

去,剩下的就是死寂的无活力的土块……^①

从稍后写成的“锁匙”^②可知,牛顿确实在实践他对自然的这一理解方面大有斩获,这必然大大增强了他对“精气”的信心。但是,对自然的另一方向的探索,即对笛卡尔的精细物质的研究却颇令人失望:不要说实践上利用产生重力的粒子流推动的永动机永远没有动过,在理论上说也有不通的地方。最明显的问题是,谁来推动这些“精妙粒子”形成粒子流呢?

1670年代中,牛顿注意到波义耳的一个实验:金属在与空气隔绝的容器里加热后变重^③。牛顿认为,“很明显,‘重量的’增加来自一种最最精细的盐精,透过玻璃(壁)上的孔穴,在煅烧中把金属变成了灰烬”^④。这种精细的东西非我们的感官所能感知,但这实验似乎证明了它的存在。同样,牛顿进一步推理说,人们通常期望在抽尽空气的容器中单摆会比在空气中持续更长的时间的摆动,但实验表明事实并非如此。这正是因为阻碍单摆摆动的并非空气,而是比空气更精细的以太。牛顿接着说磁现象也可以这么解释。

可是,他不久就发现比较复杂的实验提出了完全相反的证据。他用空心的摆锤和实心的摆锤分别试验^⑤,发现实心摆锤并没有受到更

① *Op. cit.*, ff. 5v - 6r(269).

② Keynes MS 18 应写于 1675—1680 年,考证见 B. J. T. Dobbs, *Foundations*, *op. cit.*, p. 134.

③ *New Experiments to Make Fire and Flame Stable and Ponderable*, in *the Works of the Honourable Robert Boyle*, ed. by Birch, v. 3, pp. 340 et squ. 波义耳 1673 年的这个实验在科学史上非常有名,不仅对牛顿,而且对以后的燃素说都有直接的关系。简单的介绍见于 J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, New York: Harper, 1960 (3rd ed), pp. 74 - 75。本书有胡作玄中译本,北京:商务印书馆,1976 年。Boyle 报道说他把 2 盎司的锡放在封口的曲颈甌里焙烧后重量增加了 12 谷(英衡 grain, 1 谷约为 64.8 毫克)。其实这一重量来自空气,是因为他先打开了曲颈甌的封口再进行称量所致。

④ *De aere et aethere*, Add MS 3970, f. 653, 发表于 HH. pp. 214 - 228。牛顿谈到的实验在 p. 227。Hall 夫妇认为这份手稿写于 1673—1675 年(*op. cit.*, p. 214),但 R. S. Westfall 认为应当在 1672 年以前(*Force in Newton's Physics*, pp. 409 - 410)。

⑤ 牛顿在 *Principia*, Bk. 2, General Scholium, pp. 325 - 326 描述过这个实验。他说他是若干时日以前做的,Westfall 推测是 1679 年(*op. cit.*, p. 376)。

大的阻力。换言之，可以观察到的，只是空气对锤体的阻碍，而想象中的贯穿锤体的精细粒子或以太似乎对摆的运动没有贡献。这无疑是对笛卡尔的无处不在的精细物质或以太的一大否定。有了对他在炼金术研究中如此明白看见的“精气”的作用，牛顿现在不必顾虑排除以太所造成的问题：自然中的吸引和排斥是可以谈论的——至少绝不比机械论哲学所谈论的“精细物质”更为离奇。真正离奇的是，现代力学中力的概念，实在是诞生于机械论哲学和隐秘幻术的联姻。

但是这是怎样曲折的故事啊！对于古人说来，力是身体的一种感受，不必穷究；对于亚里士多德说来，天体运行重物下坠自有其一定之规，也不必穷究。科学革命兴起，人的理性成了最高和最终的批判原则，于是有笛卡尔辈，竭精尽智，力图构造完全理性的世界图景，但每每不能自圆其说。牛顿在炼金术研究中完成了这一“获生”的飞跃，摒弃以太，从一种非常非力学化的环境中构造出了新的力学的世界图景。

牛顿后来写道：

在这样一种媒质中（案指水之类的媒质），一个固体圆球只要走过三倍于它直径的长度，就会损失它运动的一半……要为行星和彗星的有规则而持久的运动铺平道路……就必须从天空中扫清一切物质。^①

这似乎是自然的和必然的选择。但是，力的作用究竟是什么意思，即使在 1670 年代的最后一两年，仍旧是晦晦不明。

^① *Opticks*, Queries, Q. 28, New York: Dover, 1952, p. 368; 中译见前引《著作选》第 184 页。这一段文字最初出现于 1706 年的第二版。



第五章 《原理》

毫无疑问,《原理》是牛顿对人类理解自然的最伟大的贡献。在这本 511 页的书里^①,牛顿系统地处理了当时学界所关心的天体运动的问题:通过引进关于时间、空间和运动的定义和公理,并利用他所发明的数学方法,牛顿建立了完整的力学体系,这一体系最终给出了天体运动的图景,这一图景可以由天文观测验证。在这里,牛顿给出了科学理论结构的模式:从归纳现象出发,通过严格的演绎推理,建立逻辑上自洽的理论体系;作为这一体系的推理结果,理论必须给出可供经验验证的预期。牛顿所展示的归纳和演绎相结合、数学推理和物理图景相结合的研究方式,连同理论本身一起,构成了所谓科学思维的规范。这一规范不仅为牛顿以后所有关于自然的研究所尊崇,而且深入到人类文化的各个方面,从此以后,准确的观测、严密的推理、精密的验证作为一种全新的思维模式,进入了人类的理性生活。

^① 这是指 1687 年的初版,1713 年和 1726 年的再版和三版分别为第 492 页和第 536 页。

一、引言：1679 年动力学研究状况

牛顿对运动及其规律的研究，如我们在前几章里力图说明的，起于 1660 年代中期，而在 1670 年代，差不多整整十年，似乎全无进展。从表面上看，这一中断似乎颇为偶然。先是关于光学的研究、反射望远镜的制作，以及由此而来的关于光的本性和关于优先权的争论；再是数学研究尤其是流数运算方法的创立；再是化学和炼金术的实验。的确，任何一项都足以完全吸收任何一个研究者的全部精力。

但是，力学问题显然从来没有从牛顿的探究中完全消失过。对于科学革命时代的学者来说，几乎没有什么比完整地说明天体运动更吸引人的课题了。哥白尼、开普勒、伽利略所开创的事业，足以使他们的继承者献出全部天才而不稍后悔。牛顿在“神奇年代”里所做的“月地检验”正是他对这一问题的最初回应。

前两章里讨论的四篇手稿提示了牛顿在 1666—1669/1670 年间在这一方向上研究的线索。手稿 Add 3958. 81 和 Add 4003 讨论了动力学的基本概念和定律，手稿 Add 3958. 87 讨论了圆周运动，而手稿 Add 3958. 45 记录了所谓的“月地检验”。这些研究形成了一个完整的论证格局。牛顿何以不继续这一问题的研究而突然改换方向，形成 1670 年代的“中断”，最初确实引起了不少的困惑^①。

但是，科学史的细致考察表明，除了上面列举的光学、数学、化学的研究之外，这一中断其实还有其内在的原因。尽管牛顿后来说“月地检验”的结果是“差不多密合”，其实当时可能得到的最佳结果与实验测量值当还有大至 1/6 的相对误差，这必然是令人失望的。从动力学自身的发展来考察，牛顿在 1669—1670 年间放弃对于力图解释天体运动的“开普勒问题”的研究，实在是必然的。首先，在 1669 年，

^① 费·卡约里(F. Cajori)作过简单回顾，见氏著《物理学史》，戴念祖译，呼和浩特：内蒙古人民出版社，1981 年，第 64—66 页。

他没有有力的数学工具来处理椭圆,而这一曲线正是所有行星运行的轨道。其次,一系列动力学概念需要定义;质量、运动、空间,缺一不可。而更重要的是展示这一运动以及相关观念的图景在1669年仍付阙如。如果要保留笛卡尔的世界图景,必然要遭遇介质以及由此而来的阻力之类的问题;如果要放弃精细物质,则立即面对天体相互作用的机制问题。

在牛顿时代,放弃充满介质的空间而诉诸超距作用的力意味着放弃能够清晰解释自然过程的机械论哲学而转向超自然的隐秘幻术,这在科学革命已经深入的17世纪中期是不可想象的。面对这么多重大问题,牛顿当然需要时间作全面的考察。

牛顿在讨论圆周运动时^①用趋向(*conatus*)来描述物体飞离运动中心的倾向,这是一个典型的笛卡尔术语。在《哲学原理》第二篇里,笛卡尔举了一个日常习见的例子^②:用细线系住石块用力挥舞,则石块作圆周运动。笛卡尔力图用这个例子说明石块时时有飞离中心的倾向,这一倾向的存在可以由细线所表现出来的张力证明。所谓“倾向”,就是一种“被压制的力”或者“隐藏的力”。笛卡尔要说的,是物体的惯性,换言之,如果没有起约束作用的细线,石块当沿着切线方向飞离圆周中心。但是,因为事实上有此约束存在,石块的惯性所要求的直线运动就不能变成现实而只能表现为一种倾向。牛顿所接受的,正是笛卡尔的这一诠释。在稍后的《论引力和液体的平衡》中,我们还记得^③,牛顿正是这样定义“倾向”的。在别的一些手稿中^④,牛顿通常并用“离心的倾向”(*conatus a centro*)和“离心力”(*vis a centro*)之类的概念。

区分“倾向”和“力”的概念对以后动力学的发展有重要意义。对于

① 见前第三章第四节对 Add MS 3958, f. 87 的讨论。

② Pt. 2, Art 39.

③ 见前第三章第五节对 Add MS 4003 的讨论。下文牛顿对“倾向”的定义见该手稿“定义6”。

④ 例如, Add MS 3958, f. 45, f. 87 和 f. 90。

“倾向”而言，着眼点常在作圆周运动的石块所表现出来的惯性，是一种“如果没有‘细线的约束’，那么‘石块’就会……”的假想性的陈述；而引进“力”，尤其是离心力的概念，则是对圆周运动的一种正面描述。因为离心力直接引向向心力的概念，而我们行将看到，向心力将作为一种物理实在出现在理论之中。

1673年夏初，惠更斯(Christiaan Huygens)把他的新著《摆钟》(*Horologium oscillatorium*)^①寄送牛顿。牛顿说他以“极满意的心情”读完了这本书^②。在书的最后，惠更斯附上了关于“圆周运动所产生的离心力”的十三条定律^③，引起了牛顿的很大兴趣。在1673年6月23日给皇家学会秘书奥登伯格的信里^④，牛顿还提到离心力的概念应该对“自然哲学和天文学，同样也对力学”的研究会很有用。

离心力的概念和笛卡尔的“倾向”概念其实是同一物事的两个方面。但是，采用离心力来分析圆周运动自然导致了与之平衡的向心力概念。这是力学发展的真正重要的一步。在细线和石块的例子中，向心力是通过细线施加在石块上的。但是，一旦要把这一观念应用到天体运动的分析上去，由谁来充当细线的角色，或者向心力通过什么来作用，这就成了一个不容回避的困难的问题。说到底，牛顿当时面临的，仍旧是“什么是力”这一老问题。

① 即 *Horologium oscillatorium sive de motu pendulorum ad horologia aptato demonstrationes geometricae*，是书在1673年4月在巴黎由F. Muguet出版。该书有法译本，常见的版本是1934年的 *Oeuvres completes* 本(La Haye: Martinus Nijhoff)，在第十八卷；有英译本，是为 *The Pendulum Clock*，trans. by Richard J. Blackwell, Ames: the Iowa Univ. Press, 1986。

② C, v. 1, p. 290.

③ 其实，惠更斯关于离心力的工作可追溯到1659年的 *De vi centrifuga*，但该文直至1703年才发表。牛顿看见的 *Horologium oscillatorium* 通常被认为是关于离心力的最早的公开陈述。

④ 但这封信由奥登伯格转给惠更斯时(当时欧洲学者通信常由奥登伯格转呈并抄写附件，这种附件常不同于单件)，牛顿关于离心力的概念和天文学研究的关系一段被删去了。现代研究者认为这可能是由于牛顿怕他的研究进展被大陆学者“窃取”而采取的防御性措施。如果真是这样，牛顿在1673年前后当有相当的力学、天文学研究，对所谓的开普勒问题也有考察。

17 世纪的物理学一直在谈论的,是一种作为“物体运动的力”^①,这种力只是在碰撞过程中表现出来。为解决天体运动而引进的力,即这儿谈论的“离心力”和与之平衡的“向心力”,实在是一种新的力的作用。这种新的作用出现在圆周运动而不是在直线运动之中,其作用方式是超距的而不是依靠碰撞和接触来实现的。

这就更加明确地提出了力的本质问题。在牛顿留下的几百万字的手稿中,奇怪的是,而且也令人失望的是,几乎没有对此的专门探讨。科学史家倾向于相信,后来在 1706 年《光学》第二版所附的“疑问”,大概为我们提供了一个或可追寻的线索^②,在这一研究中,光学和炼金术化学的影响凿凿可见。

问题 25 先引述了冰洲晶石的折射现象,接着讨论了当时流行的笛卡尔-惠更斯光学理论。该理论认为光是媒介的一种“激动”,而这种媒介就是充斥宇宙的“精细物质”。但是,牛顿在冰洲晶石的光学实验中所看见的,是一种“光本身的特性”,他从而猜想波动说可能并不见得是不容探讨的。牛顿特别引用了波动说的主要倡导者惠更斯的话,称已有的(关于光学的)工作还没有一样是令人满意的^③。如果波动说不成立,那么它所要求的媒介即“精细物质”也就没有一定要存在的必要。问题 28 接着指出,如果行星和大小天体都是在以太充斥的空间里被拖曳着运行,那么任何一个天体只要移动过“三倍于它的直径的长度,就会损失它的运动的一半”^④。从行星运动来看,媒介并不能帮助运动;相反,它只能妨碍和干扰,阻滞了“巨大天体的运动”,使“自然衰退下去”。所以,媒介不仅不必保留而且必须被扫荡。

① 本文自然不可能细致讨论 17 世纪物理学的发展。关于“运动的力”的发展背景参见例如 R. S. Westfall, *Force in Newton's Physics*, pp. 529 - 534。

② 下文要讨论的问题 25 和问题 31 同见于第二版,当时编号为 17 和 23,现在用的问题号从 1718 年的第三版,彼时在问题 16 和 17 之间插入八个问题,而原来的问题 17 遂变成问题 25。

③ 惠更斯原话见 *De la lumiere*, c. 5, p. 91, 牛顿的引文见 *Opticks*, p. 365。

④ 前引《著作选》,第 184 页。

问题 31^①接着探讨没有媒介情形时的力的作用。这是牛顿力学中最困难,也是意义最为复杂的一环,问题 31 的篇幅几乎等于其他三十个问题的总和。牛顿从化学问题入手,开始讨论一种独立于碰撞,作为物体自身性质的,而不是仅仅存在于过程之中的力。牛顿写道:“物体的微粒是否具有某种能力、效能或力量呢?”不然的话,为什么酒石酸盐会潮解,而食盐、硝石或矾就不会呢?是不是后者缺少一种吸引力呢?为什么所有金属中铁是最容易溶解,又是最容易生锈的呢?为什么盐溶于水而不溶于油呢?牛顿注意到两块磨光的大理石在真空中压紧后可以黏聚在一起,两块平摆在一起的玻璃彼此距离很小时,只要底边浸入水中,水就会在玻璃板之间慢慢上升到很高,细玻璃管在一端没入水中时也有相同的现象。

牛顿还特别引用了一个实验:将两块 20—25 英寸长的平板玻璃平行地放置,然后慢慢抬起一端,相对于另一端张一个 10'—15' 的角。这时,如果在角的内部滴上橘子油或松节油的话,油滴会向两块玻璃的接合处移动。牛顿写道:“这是因为两块玻璃板吸引了油滴,使之沿着吸引的方向驰跑的缘故。”^②这个所谓的豪克斯比(F. Hauksbee)实验在牛顿当时颇为流行,而且常被作为幻术的例证当众表演。牛顿所要说明的,却是一种“吸引力”,一种被文艺复兴以来的理性主义所断然拒绝的,为大陆机械论哲学所不屑谈论的东西。现在,牛顿要认真地把这种神秘概念引入最庄严的自然哲学了。

二、注意力重新转向力学

在 1673 年 6 月 23 日给奥登伯格的信里,牛顿的确提及了离心力

① 把问题 31 作为牛顿早期思想史料分析的合理性,见 R. S. Westfall, *Force in Newton's Physics*, pp. 377—378 的讨论。事实上,如果把“问题 31”和牛顿在 1687 年春为《原理》写的,后来废弃未用的 *Conclusio* (Add MS 4005, ff. 25—28, 30—37, 即 HH IV, 7)作一比较,即可发现十四五处类似的论述,另外,还有五六处出于《光学》的其他问题,如问题 9、10 和 12。

② 同上中译本,第 203 页。

概念对于天文学和力学研究的重要性,事后又汲汲然把这一段议论删去,似乎生怕对别人有所启发。这很让人相信他当时一定也在进行类似的研究。但是现存的史料表明他直至1679年年底,主要的注意力还不在于力学天文学方面^①。他可能在炼金术方面花了不少时间,另外1678年宿舍里的火灾^②、卢卡斯(A. Lucas)关于光学方面的诘问责难^③,以及1679年春天母亲汉娜生病去世^④,都使得他不能心无旁骛地研究“哲学”^⑤。

1679年11月24日,新任皇家学会秘书胡克写信给牛顿,呼吁抛弃前嫌,言归于好,解释说当年关于光学的争论是因为“有些人在你的面前说了我的坏话”^⑥。胡克要求牛顿保持和皇家学会的通信,并承诺及时向牛顿通报别人的研究成果。为了证明他的诚意,胡克在信的后半部向牛顿报告了他“最近的”一些想法,特别是把行星的运动分解为一个切向的运动和一个指向其运动中心的运动的做法。对于绕地球运行的月亮而言,后一运动指向地心。牛顿在四天以后复信^⑦,但没有正

① C所收牛顿在1676—1679年间的信共十封,其中很大一部分是被“逼迫”(C, v. 2, p. 263)与卢卡斯(A. Lucas)关于光学的讨论。

② 汉弗瑞(Humphrey Newton)提到过这场火灾,说是“早于《原理》的写作”,并提到烧毁了光学方面的论文,见L. T. More, *Isaac Newton*, p. 247。卢卡斯1678年3月4日给牛顿的信(C, v. 2, p. 251)里提及“你的损失”,滕布尔(H. W. Turnbull)据此猜想是指一次“相当严重的意外事故”。

③ 卢卡斯(1633—1693)是English College at Leige的神学教授,与Franciscus Linus同事。Linus曾报道说未能成功地重复出牛顿1672年的光学实验。1675年Linus去世,卢卡斯则继续提出对白光分解的责难,牛顿和他在1677—1678年间有过一系列通信,牛顿显然对于这一类责难很恼火,至于在回信中责问:“难道我非要让你满意不可吗?”(C, v. 2, p. 263)但是,卢卡斯似乎全然不以为忤,仍然继续写信给牛顿。牛顿最后写信给为卢卡斯转信的John Aubrey,要求后者不要再为卢卡斯转信了(C, v. 2, p. 269)。

④ 汉娜在1679年6月4日下葬。在她生病时,至少是最后阶段,牛顿一直在她身边,“通夜不眠,竭尽孝心”。事在Conduitt收集的回忆录中(Keynes MS 130. 8)。汉娜下葬以后,牛顿还在家乡逗留了相当长的一段时间,直至11月27日才回到剑桥(C, v. 2, p. 300)。

⑤ 在这期间,牛顿唯一比较重要的哲学论著是他1679年2月28日给波义耳信。写这封信的直接动因是牛顿的同学Thomas Mauliverer恰因事往伦敦,牛顿遂托他转信给波义耳,但后者似乎没有回信,信见C, v. 2, pp. 288—295。

⑥ C, v. 2, p. 297。《通信集》的编者认为“有些人”是指奥登伯格。

⑦ C, v. 2, p. 300。

面回答胡克所作的对于日后行星运动理论有极为重要意义的分析，而转向讨论物体从很高的高处自由下落的轨迹问题。牛顿设想了一高悬于地面上方的物体，一旦失去支持而开始自由下落。由于这一物体距地心的距离远远大于地球半径，而又以相同的角速度随地表物体一同绕地心旋转，所以在下落开始的一刹那，这一物体的切向速度将大于地球表面由于地球自转引起的切向速度。在下落过程中，这一速度将保持，从而使得这一物体不会落在它自己的正下方，而落在其竖直投影点的偏东一点的地方。如果它穿过地表，奔向地心，它将划出一条螺线。

牛顿在这儿所提出的是 17 世纪的自然哲学家所普遍关心的问题^①。尽管有人提出开普勒曾经有过类似想法^②，但伽利略的论述更可能是牛顿的直接来源。在《对话》的第二天^③，彼时萨尔维蒂(Salviati)和沙格瑞陀(Sagredo)讨论“重物从塔顶向塔底降落时所划出的线”。我们现在知道，萨尔维蒂在讨论中所给出的解答基本上是错误的，但在当时，直至牛顿，除了个别例外如玻瑞利(Borelli, 1608—1679)，学者一般都认为，如果地球的周日运动和重物下落都是匀速的，那么“这两种运动就会合成一种螺线”，一如阿基米德在他的《论螺线》(*De spiralibus*)中讨论过的一样。伽利略的分析还涉及两个对以后研究者颇有误导的做法，一是把落体的终点定在地心，一是假定落体从静止到开始下落之初的运动^④与整个运动分开讨论，这些都明显地带有 17 世纪初物理学的色彩。

牛顿提出这一题目来讨论，是想表明他同意胡克的分析并再举一例进一步说明可以把一个运动分解为两个，特别是切向和径向的两个运动来分析，还是完全没有看懂胡克提出的方法，自己另搞一套，现在似乎难以骤然判定。11月9日，胡克回信，对牛顿的分析表示赞赏，并

① 细致的讨论见 A. Koyre, *Transactions of the American Philosophical Society*, N. S., 45 (1955) 329 - 395。

② J. H. Hagen, *La rotation de la terre*, t. 2, Rome, 1911.

③ *Dialogue*, *op. cit.*, pp. 165 et squ. 中译本第 215 页起。

④ 即速度等于零而加速度不等于零的情形。

作进一步修正。他说,他的圆周运动理论表明下落的轨迹应该不是螺线,而似乎有点像椭圆,重物绕着中心转若干圈以后再落入中心。12月13日牛顿回信,表示同意胡克的分析,并且进一步得出结论说,依照这样的分析,重物“将在其离心力和重力的轮流作用之下,交替地上升和下落,绕(地心而)行”^①。次年元月6日,胡克复信,同意牛顿对于离心力和重力交替作用的分析,但他同时指出牛顿把重力当作一种恒定的力是不对的,“而我的假定是吸引作用常与距中心的距离成平方反比,因此速度也将与此吸引作用成类似比例,即与距离成反比,一如开普勒所假定的那样”^②。

对于胡克的上述通信在牛顿日后的工作中所起的作用,各家说法不一^③。牛顿没有答复这一封信^④。元月17日,胡克再次致函牛顿,正面提出了问题:“现在仍旧未知的是那一由中心吸引作用产生的曲线的性质,这种中心吸引作用使物体从切线上,即运动的直线方向上,不断地以平方反比于距离的比例下落……”胡克接着说,“我决不怀疑你能用那绝妙的方法(案盖指流数法)发现这曲线为何,其性质为何,并提出这一比例的物理原因……”^⑤

问题已经再明白不过地提出了。牛顿仍旧没有回信,原因不明。1680年11月下半月,一颗彗星出现在黎明前的天际,移动方向指向太阳,随后消失在晨曦之中。12月中旬,又有一颗彗星出现在傍晚,背向太阳。这颗彗星变得越来越大,彗尾有四个月亮直径宽,直扫过广达五十度的天区^⑥。“我相信我恐怕从来没见过更大的了……”^⑦皇家天文学家弗拉姆斯蒂德如是说。

① C, v. 2, p. 307.

② C, v. 2, p. 309.

③ J. Lohne, *Centaurs*, 7 (1960) 5 作很大程度的肯定;L. D. Patterson, *Isis*, 40 (1949) 327-341, *ibid*, 41 (1950) 32-45 曾专门讨论这一影响;但 R. S. Westfall, *Brit. J. for Hist. Scie.*, 3 (1967) 246-261 则主要强调牛顿自己的工作。

④ C, v. 2, p. 436.

⑤ C, v. 2, p. 313.

⑥ 见 J. Flamsteed 的观测报告, C, v. 2, p. 315.

⑦ C, v. 2, p. 315.

弗拉姆斯蒂德(John Flamsteed, 1646—1719)生于英格兰中部偏南的登拜(Denby),离德拜(Derby)市不远,童年少年时代一直为风湿热所苦,为之辍学,在家自修数学和天文学,竟颇有所成。稍后为皇家学会会员莫尔(Jonas Moore)爵士所赏识,1675年被查理二世选为首任皇家天文学家,受命组建格林尼治天文台,年俸一百英镑。在建台过程中,预算窘迫,弗拉姆斯蒂德遂慷慨解囊,为了天文台的拱顶花了一百二十英镑。他因此常以天文台为私产,1690年以后更为此与牛顿大起争论^①,和胡克一起成了牛顿的两大私敌。

弗拉姆斯蒂德是1674年在剑桥结识牛顿的。在1680年彗星出现时,他对牛顿还颇有仰慕之心。12月15日他通过克朗姆顿(James Crompton, 1648—1694)写信给牛顿,报告他对彗星的观测。1680年12月到1681年3月间,他与牛顿频繁通信讨论彗星。弗拉姆斯蒂德提出,从11月到12月他们所观测的天象属于同一颗彗星。这颗彗星在“某种磁力”的作用下,在太阳附近来回经过了两次。牛顿断然否定了他的猜想。在1681年2月28日给弗拉姆斯蒂德的信里,牛顿写道,“红热的磁石不会吸引铁片,红热的铁片也不为磁石所吸引……太阳比红热犹有过之,一定更不能(吸引彗星)”^②。

彗星的出现无疑唤起牛顿关于天文学和力学的极大的兴趣。的确,这种壮丽的天象曾经激发过第谷、开普勒和伽利略的研究灵感^③;科学革命时代中叩问自然的学者没有一个会忽略它所传递的消息。问题是,它想告诉我们什么,人世的变异,还是上帝的无所不在和无所不能?牛顿自不例外。我们还记得他在1664—1665年间所作的彗星观测记录^④。牛顿当时所取的是传统的对彗星的想法,认为彗星的轨迹是直线,彗星本身不过是太阳系中的过客而已。因此,同一颗彗星在太

① 参见下文第六章第三节。

② C, v. 2, pp. 341 - 342.

③ 对1577年彗星的研究,见 Doris Hellmen, *The Comet of 1577, Its Place in the History of Astronomy*, New York: Columbia Univ. Press, 1944,特别是其中第三章。

④ J. E. McGuire and M. Tamny, *op. cit.*, pp. 410 - 418。参见本书第二章第四节。

阳附近经过两次是不可想象的。但是,接连两个星期出现的彗星,各自带有指向相反方向的彗尾,好像又的确提示了一种“一来一去”的运动。这就使牛顿真正大感困惑。他一方面拒绝了弗拉姆斯蒂德,另一方面又力图利用已有的四次观测记录计算此一彗星的轨道根数^①。牛顿一定在这一问题上进行了非常艰苦的努力,直到1685年9月,他才最后向弗拉姆斯蒂德承认,五年以来他们两人关于彗星的争论实在是一人说对了一半:弗拉姆斯蒂德所谓磁力驱动彗星的假说完全不能成立,但他最初关于1680—1681年间出现的天象其实是同一颗彗星造成的说法是对的^②。

1682年,又一颗彗星出现。我们稍后会看到,彗星,尤其是这颗后来以哈雷(Edmond Halley)命名的彗星在牛顿关于力学天文学的工作中具有特殊重要的意义。但是在现在,牛顿只是很仔细地观测了它的出没^③,讨论了彗星可能的组成。在此以后不久,牛顿似乎改变了对彗星的轨迹是直线的传统看法,认真考虑彗星也是沿椭圆轨道运行的可能性。

三、“论运动”(De motu)

天体的运行问题在1680年代初成了热门的话题。这实在也是自然的。从哥白尼的《天体运行论》算起,已经差不多又是140年了,无论是天文学、力学,还是数学和自然哲学,都有了长足的进展。人类的知识无论在深度还是广度上,和哥白尼时代都已是不可同日而语了。对于行星运动,有开普勒的三大定律,提供了行星是“怎么”运动的运动学描述;对于行星“为什么”运动或者行星运动的物理原因,开普勒的磁力理论、笛卡尔的涡漩理论,都做了有意思的探索。对于力的作用,有了伽利略对抛射体和重物下落的研究,还有了惠更斯的离心

① *MP*, v. 5, pp. 524 - 531.

② *C*, v. 2, pp. 419 - 420.

③ *Add MS* 3965, f. 14.

力概念,在他们的研究中数学成了描述运动的不可或缺的工具。当1679—1680年间的彗星照临的时候,欧洲学者们已非哥白尼时代的教士可比了。

好像不言而喻的约定,大家都认为支配行星运动的力应该是与距离成平方反比的。前已提及,这个重要的,但又是毫无根据的论断出自一个叫做布里阿的人。至少牛顿说是从他的书里得到这一想法的^①。布里阿(Ismael Boulliau, 1605—1694)^②以他在天文学和数学方面的研究著名,他用类似于现在的变分法改进了瓦德(Ward)计算行星位置的方法,他对开普勒的工作很有心得,欧洲很多学者都是通过他了解后者的工作的。1645年,他的《天文研究》在巴黎出版^③,声称要用新的假说来探讨行星运动问题。他不同意笛卡尔,认为行星是太阳驱动的;他又不同意开普勒,认为磁力不应当有这么大的力量。他于是假定有一种力从太阳发出。因为太阳所发出的光是唯一可以想象的携带这种驱动力的媒介,而根据当时已有的知识,光的强度随到光源的距离的平方而递减。所以布里阿认为,假定这种力是一种“平方反比”力,和光的传播情形差不多,当无大错。这个推理的基础是类比,而这个连接引力和光传播这两类毫不相关的现象之间的类比看起来又是如此地清晰明白,以至于很难骤然斥为荒唐。但是,17世纪大部分学者都不喜欢它,因为它与当时已经掌握的、非常精密的行星运动规律如开普勒定律无明显联系,又不能纳入笛卡尔的涡漩图景,所以很难为实证科学所接纳。

1684年1月,哈雷、瑞恩(Christopher Wren)和胡克三人在皇家学会碰面。席间天体运行的问题又被提出:或是从平方反比的作用推出运动轨道是椭圆,或者从椭圆轨道推出作用力是平方反比的,都可以把

① C, v. 2, p. 438.

② I. Boulliau 在学问界中用的是他的拉丁化的名字 Ismael Bullialdus, 他的工作和贡献见 C. B. Boyer 撰 DSB 本传, 在 v. 2.

③ *Astronomia philolaica, opus novum, in quo motus planetarum per novam ac veram hypothesim demonstrantur*, Paris, 1645; 1657年修订, 是为 *Astronomia philolaica clarius asserta*。下文谈论的他的“平方反比律”是在书第一版, p. 23.

研究大大地推进一步。哈雷说他曾致力于此,但发现力不能及。他说,他的努力因“数学上的困难”而失败。胡克则说他已经得到了这一证明,可是他还不想马上说出来,因为他要等到别人尝试全部失败,从而知道这个问题的困难程度以后再公开他的结果。哈雷和瑞恩对胡克的说法都表示怀疑。瑞恩说他愿意拿出一本价值四十先令的书作为奖赏,送给一个月里提出证明的人^①。

七个月以后,仍然没有人能够拿到那本书。1684年8月,哈雷在剑桥和牛顿谈起这事^②,同时问牛顿,一个受平方反比力作用的行星应当划出什么样的轨道。牛顿脱口回答说“是椭圆”。哈雷大喜过望,立即要求牛顿把证明交给他。牛顿在书桌上找了一会,没有找到,他于是说他可以尽快把证明补给哈雷。1684年11月,牛顿委托帕格(E. Paget)带给哈雷一份题为“论运动”(De motu)的手稿,12月10日,哈雷正式向皇家学会报告,把牛顿的手稿登记在案^③。这一手稿常被认为是《原理》的见诸笔墨的最早记录。

“论运动”有五个抄本传世,其中三个约略近似,常被含混地称为De motu^④,另一个内容较此三个稍完整,写作时间据信也较前三个晚一点,大概成于1685年3月之前,是牛顿后来交给皇家学会的本子,常被称作“运动定律”(Propositiones de motu)^⑤。第五个抄本是一份未被科学史家研究过的手稿,藏在雪伯恩(Shirburn)城堡的麦克克莱费尔德(MacClesfield)档案中。另外,还有一份题为“论物体的运动”(De motu corporum)的手稿,残存三页多,似为“论运动”开头部分的草

① 这是哈雷事后写信告诉牛顿的,见C, v. 2, p. 442。

② 这是John Conduitt的说法,见芝加哥大学图书馆馆藏手稿MS 1075-1077。

③ 牛顿的文章由当时的皇家学会秘书Francis Aston(1645—1715)登录,在Register Book of the Royal Society, v. 6, p. 218。

④ 即Add MS 3965, ff. 40-54,全名为De motu sphaericum corporum in fluidis,汉弗瑞(牛顿的抄写员)的笔迹,即HH IV, 1, MS B; ff. 55-62,全名为De motu corporum in gyrum,牛顿的笔迹,即H IX; ff. 63-70,哈雷的笔迹,基本上是上一文件的抄件。

⑤ 发表于S. P. Rigaud, Historical Essay on the First Publication of Sir I. Newton's Principia, Oxford: 1838;这本书因为1972年被纽约Johnson Reprint Corp. 重印所以很容易找到。

稿^①。细致地比较这些抄本的异同，判定它们传抄时间的先后，辨认字迹和修改的文字，自不是本书所能承担。大部分读者感兴趣的，恐怕还是物理观念的发展，牛顿在 1684—1685 年间的思索，以及这一思索最终如何导向《原理》的产生。

“论物体的运动”包含五条定义。开头是“物质的量”和“运动的量”：“物质的量产生于其比重和大小之联合……此一量我常以物质或质量之名称之。”牛顿这儿所处理的是 17 世纪力学家所遭遇的最困难的概念之一。奇怪的是，牛顿的这一陈述在他本人以前的文字中未见先例。他后来在《原理》中提及^②，他是根据法国人瑞歇 (J. Richer) 1672 年在法属圭亚那的卡纳 (Cayenne) 岛上的测量分析得出这一概念的。

“论物体的运动”所列的五条定义有三条是关于“力”的，分别处理“物质的惯性力”、“冲力”和“向心力”。牛顿首先详细定义了 *materiae vis insita* 即物质的惰性力，他说这就是所谓的惯性，是物体抗拒外来影响，保持其“或者静止或者匀速直线运动状态的能力”。要改变这种状态，牛顿说，用得着 *impetus* 即冲力，虽然他强调说静止和运动只不过是相对的。最后一个，即第五个定义，是关于向心力的，这是牛顿独创的一个重要概念：“向心力是一种作用或潜在的作用，这一作用拖曳，逼使，或以任何其他方式使一物理趋于一个作为中心的点。”这当然是太抽象了，牛顿于是列举了使物体落向地面的重力、使铁片奔趋磁铁的磁力等。牛顿在这个力学的核心概念上显然遇到了极大的困难，他花了冗长的篇幅反复说明什么是力，但在最后还不得不写道：“我不加区分地使用诸如吸引，冲力或内在倾向^③之类的字，并非出自物理的，而是出自数学的考虑。”我们还记得关于哥白尼天体运行论是“物理的”还是“数学的”的争论。当科学从现象开始时，数学的描述似乎常常是科学

① Add MS 3965, ff. 21 - 24, 即 HH IV, 1, MS A.

② *Principia*, Bk. 3, Prop. 20, pp. 430 - 432.

③ 原文是 *propensionis*, 牛顿原稿上也系斜体。是牛顿想避免使用笛卡尔的 *conatus*, 还是另有更深的考虑已不可知, 手稿也在下一句中间突然中断。

家首先获得的牢固的立足点。

在“论运动”中,力的定义变得简洁明白多了。牛顿举出了物体的力(vim corporis)或物体内(所含的)惰性力(vim corpori insitam)、向心力和“阻力”。最后一条的意义将要到《原理》的第二篇写成以后才最后明了。与“论物体的运动”相比,没有“物质”和“运动”的定义。接下来是五条“假说”,牛顿又称之为“定律”(Lex)。定律1即日后所谓的惯性定律,“如无阻碍,物体将由其惰性力^①维持匀速直线运动”。回看上文关于惰性力的定义,可知这两条在逻辑上是循环的。但从哲学角度考察,这一陈述实际上是奠定了物理学的因果基础。我们很可以把这一定律改写为“如无原因,事物的状态不会改变”。如果留意笛卡尔对惯性定律的最初讨论,则更可以理解牛顿为什么要把惯性单独提出作为理论的起点。

定律2即今日为人所熟知的牛顿第二定律:“运动和静止状态的变化正比于所施的压力并发生在此力的作用方向上。”后面三条定律谈论诸如力的作用空间、力的共同中心之类,远非可以当作“公理”一般直接接受。牛顿大概也有此感,在以后的文字中,它们都作为“命题”被移到别处去了。

再下是几条辅助命题(Lemmas),后来被称为“平行四边形法则”的陈述即其第一条。除了从数学上作了解说之外,牛顿未对这一命题多作物理上的发挥,这可能是由于当时这一结论已为研究者所熟知,也可能是他决心建立一种数学理论而避免任何形而上学的讨论。第二条实际上是伽利略定律的延伸,指出向心力造成的落体运动即使是在开始时也正比于时间的平方。我们还记得伽利略在这一点上的困惑^②。

“论运动”的引人注目之处除了上述“定义-公理”的结构之外,是一套冠有“论物体在无阻力介质中的运动”的定理,它们所处理的实际上就是所谓的“开普勒问题”。

① 牛顿此时已不再将“惯性”与“vi insita”(惰性力)混用。

② 见《对话》,前引中译本第215页,他说,“这种距离开始时一定很小,极其微小,几乎微乎其微……”

有的研究者认为^①，牛顿早在应哈雷之邀撰写“论运动”之前，甚至早至 1679—1680 年间，就曾研究过开普勒问题并得到了相当完全的结果。如果这一猜想为真，牛顿关于天体运行的研究实际上跨越了 1679—1685 年的五六年时间，从常识上看似乎比 1684 年 8 月哈雷第一次提起这个问题到 11 月交出“论运动”一蹴而就地完成这样一个大题目来得可信些，但是为什么牛顿在 1679—1680 年间绝口不提这方面的研究，又成了很难理解的问题，当时他多次表示对“哲学”深感厌倦^②。从本书考察的要求看，我们可以粗略地说，不论哪一种情形，在 1684 年前后，牛顿已完整严密地完成了开普勒问题的解。

牛顿首先证明开普勒面积定律，即行星的向径在单位时间内扫过的面积相等。牛顿讨论了物体由其惰性力作直线运动，而向心力 SB 在 B 点以一种瞬时作用的方式作用于它，使此一物体移到了 C 点而不是沿直线方向的下一个 c 点。利用这一张图，牛顿于是很容易地证明了三角形 ABS 和三角形 BCS 面积相等。这正是开普勒利用观测数据总结出来的经验公式。

开普勒的面积定律曾经是 17 世纪天文学家最感困惑的一个问题。现在牛顿给出的这一证明是如此简单明了，难怪后来有人调侃说牛顿证完时写下的“此即所求”(Q. E. I.) 的原意是“颇易想象”^③。不管怎么说，这个后来作为《原理》第一篇第一题的证明是优美的，一直被后世物理学家所激赏^④。

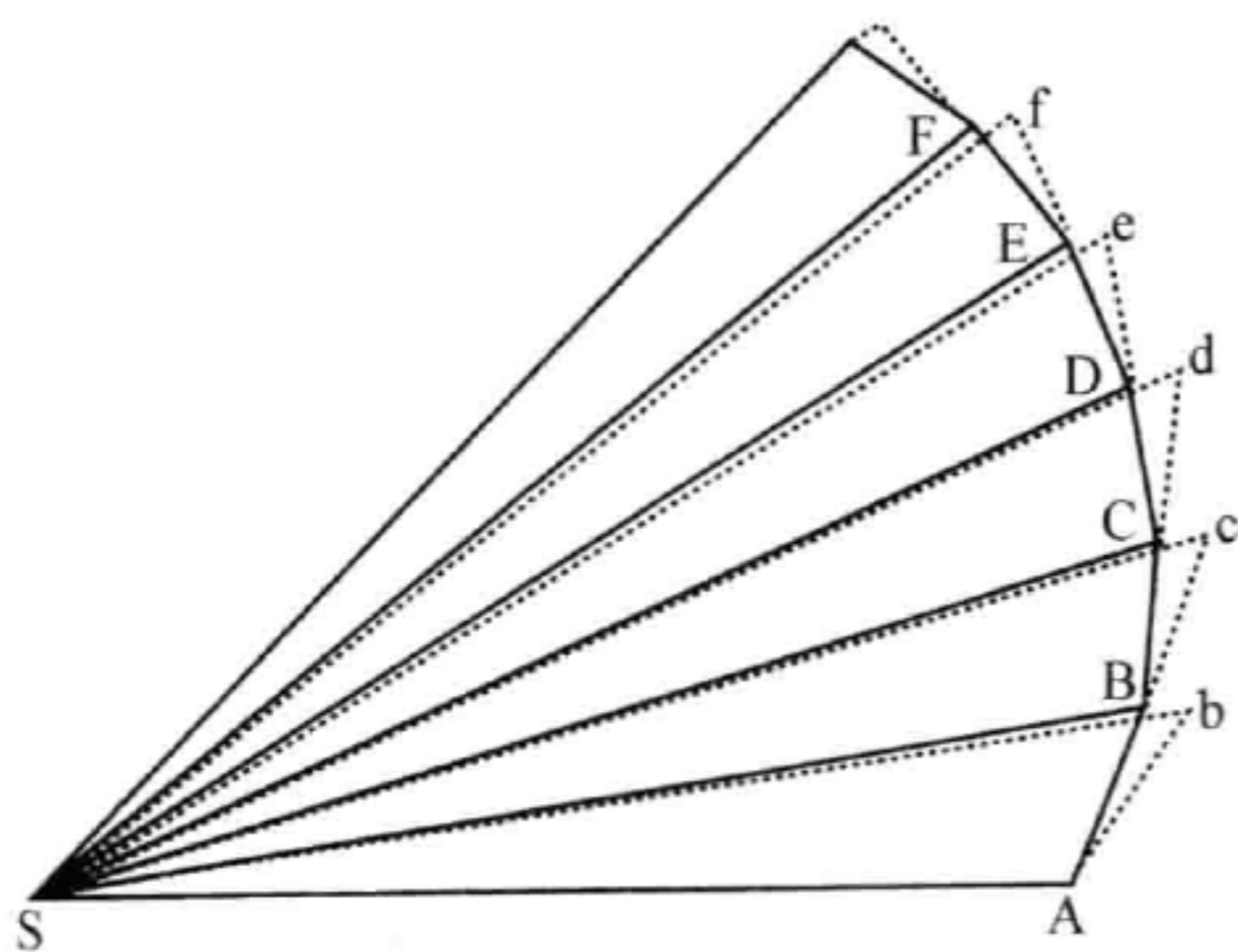
早在 1610 年代，开普勒从第谷留下的大量的精密观测记录中归纳出，如果采用适当的计量单位，行星轨道半径的立方与其运行周期的平方在数值上相等，世称 $3/2$ 次幂定律。因为半径和周期在天文上看来

① 这是 J. Herivel 研究了 Add MS 3965, ff. 1 et squ. 即 H VIII 后的看法，见氏著 *Background*, Sec. 6. 6, 以及 p. 247。

② C, v. 2, p. 302, 不过这也可能是牛顿发牢骚的话。

③ 这是一个玩弄缩写的玩笑，Q. E. I. 原文是拉丁文 *Quod erat inveniendum*，但被读成英文 *Quite easy to imagine*。

④ 例如，R. Feynman 称之为“真正的物理学的”证明，见氏著《物理定律的特征》，林多梁译，台北：中华书局，1968，第 26—30 页。



附图①

因为三角形 ABS 和三角形 BcS 有相等的底(作匀速运动的物体在相同的的时间里移过相同的距离 $AB=Bc$)和共同的(AB 边上的)高,所以它们的面积相等;而三角形 BcS 和三角形 BCS 又因为有共同的底 SB 和相等的(SB 边上的)高所以有相等的面积,于是三角形 ABS 和三角形 BCS 面积相等。

是风马牛不相及的,但是开氏的定律又确实在极高的精确度上成立,这就令人大惑不解。牛顿在“论运动”的定理 2 里研究向心力,其推论 5 证出,如果运行周期的平方等于半径的立方,向心力与半径的平方成反比。这是科学史上第一次从理论上推算出行星运动所涉及的力,后来牛顿把它写入《原理》,是为第一篇命题 4 的推论 6。至于本命题的出发点,即 $3/2$ 次幂定律,牛顿接着在“评论”中指出,是建立在行星绕日和木卫绕木星的观察结果之上的,而这些经验事实已被天文学界广泛接受。

定理 3 是一条预备定理,从物理上看其意义颇不易解,但为后面的证明所必需。正是由这一条定理,牛顿断言,任何作曲线运动的物体,只要已知其运动轨迹,其所受的向心力即可解出。定理 3 由此显然可以被看作定理 2 在非圆曲线轨道情形下的推广。作为例证,牛顿在本定理下解出了物体在作椭圆运动时指向椭圆中心或一个焦点的力。这

① 下面的叙述采用牛顿在 Add MS 3965, ff. 1 - 2 中证明此一定理时所用的图,见 HH IV, 1, MS B, p. 247, 同见于 H I X, pp. 257 - 303。

些工作在日后的《原理》中均占重要地位^①。特别是其中的问题 3，其陈述实际上已经给出了行星运动的图景。

定理 4 几乎是定理 2 推论 5 的逆定理：如果力是平方反比的，那么运行周期正比于椭圆的轴的 $3/2$ 次幂。这一定理后来作为命题 15 出现在《原理》之中。牛顿在这一部分的最后加上了两个比较复杂的问题^②以后即转而讨论有阻力的运动情形，但未作全面展开，详细程度也远远不及对无阻力情形的讨论。

“论运动”之所以备受史家重视，并且被一再分析，是因为这份手稿显然反映了《原理》一书的最早构想，或者可以说是《原理》的一个纲要。“论运动”已经包含了《原理》的最重要的定义、公理和定理，而且两年以后完成的《原理》前两篇表明，从整个结构和论述线索来看，“论运动”也确乎是《原理》的原型。

四、《自然哲学的数学原理》：第一篇和第二篇

应哈雷的要求，牛顿决定把“论运动”发展成为一本完整的书，写作时间应当在 1685 年初到 1686 年 4 月。牛顿撰写《原理》的情形在史料中鲜有记录，唯一可见的，是汉弗瑞(Humphrey)的简单回忆：“他(牛顿)对于研究非常认真，严肃，他吃得很少……噢，常常完全忘了吃饭。我走进他的房间，发现他的饭菜全未动过。我提醒他时，他会说，‘没有吃过?’……”^③在此期间，牛顿除了同哈雷和弗拉姆斯蒂德通信讨论和《原理》有关的问题以外，几乎中断了所有对外联系。1686 年 4 月 21 日，哈雷通知皇家学会牛顿的书已经准备就绪。4 月 28 日，皇家学会收到了牛顿的手稿，即今天我们看见的《原理》的第一篇，该书的第二篇

① *Principia*, Bk. 1, Props. 4, 7, 10, 11.

② *Ibid.*, Bk. 1, Props. 17, 32.

③ 汉弗瑞的回忆见于 Conduitt 档，这儿一段转引自 E. N. da C. Andrade, *Isaac Newton*, New York: Chaticleer, 1950, p. 77。这段话未必就是写作《原理》时的情形，但对牛顿的工作风格或可见一斑。

和第三篇稍后在 1687 年 3 月 1 日和 4 月 4 日送交皇家学会。

《原理》^①一书分为三篇；在这三篇正文之前冠有两段说明性的文字，是为“定义”和“公理，或运动定律”。第一篇和第二篇都题为“论物体的运动”^②，第三篇叫做“论世界体系”。全书手稿 460 页，是汉弗瑞的笔迹，但牛顿和哈雷的修改也处处可见^③。

冠于篇首的八条“定义”首先以密度和体积定义了“物质的量”，从而第一次明确区分了质量和重量两大概念，为全书找到了一个独立于地球引力场的立足点。“运动的量”被定义为“对运动的度量，此一度量由速度与物质的量相联合而产生出来”。与上节“论运动”比，明显地强调了物理量的操作意义^④。自亚里士多德起，物体的运动常被定义为“位移”，而牛顿此一定义引进了我们今日所谓的“动量”，为物理学打开了通往动力学的大门。

接下来六条定义全部讨论力的概念，篇幅占“定义”部分的 3/4。牛顿列出了惰性力、冲力和向心力以及它们的度量。把惰性力和冲力分开讨论是 17 世纪物理学的传统，但牛顿确乎指出，“这种力的作用既可作为阻抗，又可作为冲力……”^⑤牛顿花费了很长的篇幅讨论向心力，一如我们上文已提及的，这实在是当时力学所面对的最困难的问题。在这些定义之后牛顿加了一段很长的注释，研究时间和空间，我们今日所谓的绝对时空观念即见于此。

① 下文所用的《原理》常从 F. Cajori 本, Berkeley: California Univ. Press, 1962, 以其易见易查, 或可为读者提供一种方便。Cajori 本是 1729 年 Motte 本的一个修订版, 而 Motte 所依据的是 1726 年《原理》第三版。如无十分的必要, 下文也不再做细致的版本考究, 只是在稍后(第六节)再对版本源流作简单回顾。

② 在 F. Cajori 的英译本里第二篇题名为“论在有阻力介质中的物体运动”, 意义当较为明白。

③ 今藏皇家学会。在专业牛顿研究中, 这份手稿常被称为 M。很多研究者认为似应还有一份“草稿”, 因为一则 M 显然像是一份誊清过的稿子, 与牛顿常常反复修改的作风不合, 二则以文字的艰深程度, 汉弗瑞似无力直接从牛顿的口述作笔录。但遍查史料, 全无“草稿”踪迹。

④ “度量”原文作 *mensura ejusdem*, “产生出来”原文作 *orta*; 中译郑太朴本作“联合度之”, 见郑本第 9 页; 新译本作“一起来度量的”, 见前引《著作选》第 13—14 页, 两译均留意“度量”一词。

⑤ *Principia*, Bk. 1, p. 2.

与定义并列的是三条“运动公理”，即后世所称的牛顿定律。细看这三条定律，第一条早已被笛卡尔表述过^①，但牛顿说来自伽利略的重物下落的公式。若从牛顿早年的手稿看^②，他则把这一则定律归功于阿那克萨戈拉(Anaxagoras)、亚里士多德和路克莱修(Lucretius)。第二定律最早见于“废书”、定理 120^③，另一则有关的笔记说“(物体)运动的变更与引起这一变更的力成正比”^④。

第二定律中最值得注意的是，牛顿明显地引进了力的概念。从上文可知，力作为一种无法捉摸又无处不在的作用，实在是很难进入精密科学。伽利略谈论落体时，常论其下落过程，不问原因，其实是伽利略对科学解释性要求的一个隐约反映^⑤。正是在这一意义上，伽利略倾向于一种描述性的科学，而后来马赫(Mach)所说的伽利略一改中世纪以来一直追问“为什么”，即自然过程的原因，而转向追求“怎么”即自然过程的描述，是颇有见地的归纳。从这一角度考察第一和第二定律，可以看出后者是前者的一个必要的补充：既然物体永远保持原来的状态，其状态如何改变呢？第二定律就是要回答这一问题。没有第二定律，力学就没有因果解释。但是，公然引进一个无法测量的量，和上文中强调的定义的“操作性”在本质上自然全不相容。牛顿很可能见到了这一点，所以不顾第一定律其实是第二定律在外力为零时的特例，仍旧把这两种情形分开表述，以求在哲学上更加稳妥一些。因为第一定律没有明显地涉及力的作用，并且至少在理论上是可以验证的。

定律 3 即作用与反作用定律，早期研究也见于“废书”、定义 5 及其边注，以及公理 119 和 122^⑥。大部分研究者认为，定律 3 中牛顿的独

① *Principia philosophiae*, Pt. 2, Art. 37.

② Add MS 3970, f. 652。牛顿在手稿中引述了 Lucretius, *De return natura*, II, 150 - 151, 157 - 162; Aristotle, *Physics*, IV, Ch. 8, 215^a19。

③ Add MS 4004, f. 13, 即 H II e。

④ Add MS 3965, f. 1.

⑤ 参见例如 Galileo Galilei, *Two New Sciences*, trans. by S. Drake, Madison: The Univ. of Wisconsin Press, 1974, 第三天, esp. pp. 165 - 171。

⑥ J. Herivel, *op. cit.*, H II c, pp. 137 - 138, p. 139 n. f; II d, p. 142, Props. 7 & 8; II e, p. 159.

创部分最多。本定律后附六条推论,包括平行四边形法则,动量守恒定律。牛顿花了很多篇幅讨论第三定律,他还设计了一个实验,这一实验曾由瑞恩(Christopher Wren)和马瑞奥特(E. Mariotte)等人做过,但牛顿设计得更精巧,并计入了空气的阻力等因素^①。

《原理》的第一篇分为十四章,除第一章数学准备之外,其余十三章讨论物理内容,篇幅占全书 1/3,而以第二和第三章关于向心力和在圆锥曲线上的运动最为重要。牛顿自己曾说,阅读了这前三章以后,阅读第三篇“论世界体系”当无困难。

第二章定理 1 是一个预备定理,内容同于我们上一节中讨论过的面积定理。开普勒当年在杂乱无章的观测数据中苦干了十数年发现的这条规律,从来无法证明,学者只能以“发现了造物主的和谐的惊喜心情‘去接受的’这份礼物”,现在成了几何学的一个明白严密的推理结果。第二章的定理 4 论向心力。在所附的推论 6 中,牛顿以一种漫不经心的方式提到,把离心力公式和开普勒的 $3/2$ 次幂定律合用,可以推出作用力是平方反比的,而且“反之亦然”。换言之,开普勒的 $3/2$ 次幂定律与平方反比的力的作用是一回事,一者成立必然导致另一者成立。牛顿用了一行半证完此题,潇洒地写下了“Q. E. I.”。

但是,问题毕竟没有这么简单。易于想象的东西毕竟不总是永远易于证明的。上面的推理用的都是圆轨道,但行星的实际运行路线是椭圆。所以,从第二章定理 5 起,牛顿开始为引进椭圆做准备。第三章全部用于这一证明,而命题 11 的证明最为关键。这一命题断言,在椭圆轨道上运行的物体所受的力与它到焦点的距离平方成反比,这就是哈雷 1684 年秋天最初访问剑桥时提出的问题的逆命题。在证明中,牛顿大量地运用了古代阿波罗尼的圆锥曲线理论,并采用了运动的点在相互趋近时比例的变化。这一方法牛顿称为首末比法,在本质上同于我们现今所熟知的无穷小技术。

细心的读者会注意到,牛顿这儿给出的,并不是哈雷问题的答案,

^① *Principia*, Bk. 1, pp. 22 - 24.

而是它的“逆命题”。换言之，牛顿并没有证明在平方反比的力作用下天体的运动轨迹是椭圆，而是证明了如果一物体以椭圆为运行轨道，作用于它的中心力应是平方反比的。事实上，整本《原理》没有提供平方反比的力必然导向椭圆的证明^①，最接近的论述是命题 13 的系 1，牛顿声称平方反比的力导致的轨道必是一种“圆锥曲线”，但也没有提供完整的证明^②，也没有说明他为什么这样安排论述^③。如果考虑到平方反比的作用力是不可测量的、先验的，而椭圆轨道则是通过观测和计算得出的可以验证的“现象”，牛顿的做法似乎提示了他为把整个理论的基础置于经验事实之上，从而避免形而上学的幻想所作的努力。

命题 11 以下的几个定理把平方反比的结论推广到其他圆锥曲线上去，定理 6 和 7 在严格的开普勒条件下推出了面积定律和 $3/2$ 次幂定律。至此，牛顿关于天体运行的工作达到了高潮。他这时已经证明，开普勒提出的行星的三大运动规律，即轨道为椭圆、向径扫过等面积，以及 $3/2$ 次幂关系和向心力的平方反比作用规律相互包容，一者成立必然导致另外两者成立。

以下第四章到第十一章分别发展和完善上述论述。第四、五两章讲如何算出行星的运行轨道。第六章处理“开普勒问题”，回答了“在任一指定时刻如何算出在一给定椭圆上运动的物体的位置”。第七章好像是独立于整个线索之外的一个插曲，讨论直线运动。第八章把向心力的作用一般化，讨论“任何一种向心力”。第九章讨论轨道也在绕引力中心转动的物体。第十章把讨论扩展到非共面情形。第十一章进一

① 此点最近的讨论是 R. Weinstock, *American Journal of Physics*, 50 (1982) 610 - 617。

② 这一证明后来由 Johann Bernoulli 和 Jakob Hermann 在 1710 年完成并提交法国科学院，发表在 *Acta*, 1713, p. 121, 细致的讨论见 I. B. Cohen, *Introduction*, *op. cit.*, p. 255, 以及 E. J. Aiton, *Annals of Science*, 20 (1964) 81 - 99。他们的证明是从 *Principia*, Bk. 1, Prop. 41 引出的。在预备第二版的出版修订本书时，牛顿曾提及这一证明，见 C, v. 5, pp. 5 - 6。

③ I. B. Cohen 有一些讨论，见 *The Birth of a New Physics*, New York: W. W. Norton, rev. ed., 1985, p. 226。

步把讨论精确化。鉴于以前总是把重力中心作为不动点的做法可能导致不精确的结果,命题 57 处理环绕共同质量中心的两物体的运动,而命题 56 及其所附的二十二条推理构成了牛顿解决三体问题的最初试尝。

最后留下来的,是一个小而重要的细节。我们谈论的“距离”是什么意思呢?是从地球的表面到月球的表面呢,还是从地球的质心到月球的质心呢?对月地距离即 59.5 个地球半径而言这似乎可以忽略不计,但对地球表面的物体而言,这是重要的。牛顿后来在第十二章命题 75 中解决了这个本质上是一个积分的问题^①,从而完美地完成了对行星和其他太阳系天体运动的描述。

第二篇分九章,占全书篇幅 1/3 弱。从内容上看,似乎只是第一篇的继续,或者竟是第一篇的若干结论在阻力不为零的介质中的应用,例如其第一章论阻力与速度成正比时的情形,第二章则是阻力与速度的平方成正比的情形等。要理解诸如此类的应用,何以要独占一篇,则必须考察 17 世纪物理学的状况^②。当时,笛卡尔的世界图景仍占相当的主导地位,因此牛顿必须对充满介质的空间作一充分的讨论,以明其谬。另外,本篇还涉及不少流体运动问题,也是当时物理学界所关注的,如命题 36 论流体从一水桶底部的小孔流出的量,即是伽利略 1630 年代就研究过,但未能得出成果的一个著名问题。

《原理》第一篇通过 98 个命题完整地建立了一套力学系统,从理论上解决了如何计算天体运动的问题。可以想见,这样复杂的一个系统,一定涉及和提出了重要的哲学问题。这包括理论的结构和合理性问题,也包括这理论所处理的世界体系问题。有些是认识论的,但更有涉及最后因和上帝的本体论的。牛顿在《原理》的第三篇里全面展开了这一方向的讨论。

① 前引 R·瑞斯尼克和 D·哈理德合著《物理学》第一卷第二册 16-6 节给出一个本质上与牛顿处理方式一样的现代解法,见该书第 503—506 页。

② 例如,R. Cotes 1713 年为《原理》写的序竟花了一半的篇幅谈论此一问题,由此可见一斑。

五、《原理》第三篇：科学方法和理论的结构

1686年4月28日《原理》第一篇的书稿由文森特(Nathaniel Vincent, 1639?—1697)送交皇家学会^①,5月19日皇家学会决定将此书印出,6月2日进一步委派哈雷负责出版^②。

皇家学会选定哈雷,一则是因为《原理》起于他的种种努力,二则也是希望他能在金钱上赞助此书出版。哈雷^③是伦敦一个肥皂制造商的长子,颇有多金之名。十六岁时以利用三组观测数据解出行星轨道而见重于学界,二十岁即率考察队去圣海仑那(St. Helena)观测南天诸星,而同时在研究古代学问上又有建树。1686年1月当选皇家学会专任职员,年薪五十英镑。这份薪水实际上他从来没有拿到过,因为皇家学会当时濒临破产,只好送了他五十本威鲁比(Francis Willoughby)写的《鱼类史》(*Historia piscium*)充数。

哈雷没有想到,除了金钱之外还有一个更让他头痛的事。牛顿的书稿送到皇家学会不久,胡克,时任秘书,就提出异议,说平方反比的想法是他最初提出的,所以他有理由要求牛顿在书的前言里申明这一点。5月22日哈雷致函牛顿,极其委婉地提出,“胡克先生似乎希望你能在前言里多少提一下这事,如果可能的话……”^④

牛顿的回答又快又干脆:“在我寄给你的文字里没有一个命题他可以说是他的,我因此也没有合适的地方可以提一提他的名字。”^⑤显然,从“有些别的人”^⑥那里了解到更多的胡克关于优先权的申述,牛顿的不愉快发展到了极点。在6月20日给哈雷的信里,牛顿花了很长的篇幅证明他关于平方反比定律的独创性,但同时又通知哈雷说,有鉴于哲

① C, v. 2, p. 431.

② Birch, *op. cit.*, v. 4, pp. 479 - 480, p. 484, 491.

③ 哈雷的传记有 MacPike, *Notes & Queries*, 14 (1935) 434 - 437.

④ C, v. 2, p. 431.

⑤ C, v. 2, p. 433.

⑥ C, v. 2, p. 437.

学是这么一个“不讲道理，爱纠缠诉讼的女人”，他决定不写了。

《原理》原定分为三篇，第一篇的书稿当时正由哈雷主持，刚刚印出了第一个印张^①，第二篇已在1685年夏天完成草稿，此时正在誊清制图。如果牛顿就此停笔，《原理》就成了一部不完全的著作了。在回信中，哈雷表现了高度的调停技术：一方面对牛顿表示了很诚挚的支持，回忆了他最初提出天体运行问题时的情形；另一方面又解释说其实很多人并未被胡克说服，因此牛顿如果因为别人的嫉妒而放弃写作，那就太可惜了^②。这些恳切的言词确实具有强大的说服力，后世研究者戏称哈雷对《原理》的最大贡献就是写了这封信^③。牛顿似乎被说服了，7月14日，他恢复了第三篇的写作。

第三篇“论世界体系”的结构不同于前两篇。首先，在正文之前有两段独立的说明性文字，即“哲学中的推理法则”和“现象”^④，接着是“命题”以及一篇题为“论月球节点的运动”的文字^⑤，最后是“总释”。因为“总释”实际上出现于1713年，所以我们也把它放到稍后的章节中讨论^⑥。

“推理法则”共四条。第一条常被称为简单性原则，起源于奥卡姆(Ockham)和格罗斯泰特(Robert Grosseteste)的时代，是一条从哥白尼时代起就被学者所信奉推崇的方法论原理^⑦。牛顿的表述是“除那些真实而已足够说明其现象者外，不必去寻求自然界事物的其他原

① 见哈雷1686年6月7日给牛顿的信，C, v. 2, pp. 434 - 435。

② C, v. 2, pp. 441 - 443。

③ I. B. Cohen, *The Introduction to Newton's Principia*, M. A.: Cambridge Univ. Press, 1971, p. 134。

④ 在1687年第一版中，推理法则和现象统称“Hypothesis”(假说)，共九条；在1713年版中原来的假说1和2改称“推理法则”，删去了原来的“假说3”，但另外又新加一条法则，共得三条。原来的假说4改称假说1，但假说5至9，以及另外一条新增添的文字，统称“现象”。至1726年版，始成四条推理法则、一条假说、六条现象的编排。

⑤ 牛顿在《原理》的前言里说，他把关于月球的讨论都放在(第一篇)命题66后面，但“后来发现的一些东西，我宁愿把它们插在不大适当的地方……”可能包括这一段的安排。

⑥ 参见第六章第四节。

⑦ 例如，伽利略曾把这一原则归为“自然界能通过少数东西起作用时，就不会通过许多东西来起作用”，参见 *Dialogue*, p. 117, 中译从前引译本第153页。

因”^①。牛顿说这是因为“自然界喜欢简单化”。第二条是关于原因和结果的哲学前提，要求把相同的结果诉诸相同的原因。我们记得伽利略在《对话》里曾谈论过不少的“力”，如神力、助力、引力和内在力；牛顿在第一篇里也定义过各种力如物质的力、惰性力、向心力。要说明它们是同一的别无办法，只有以它们所引起的效果同一反推出原因的同一性^②。第三条谈物质的属性。第四条^③则为归纳方法的合理性作出申辩：“我们必须把那些从各种现象中运用一般归纳而导出的命题看作是完全正确的……（在）出现例外以前，仍然应当给予如此对待。”这条法则的意义在于，它打开了经验进入精密科学的大门，为下文引进“现象”的合法性提供了一个理论上的支撑点。

“现象”共六条，可以分为两大类。一是开普勒的 $3/2$ 次幂定律，包括第一、第二和第四项陈述；一是哥白尼所提出的日心图景，是为第三和第五、六项陈述。

有了这些准备，牛顿即着手构造他的世界体系。

命题 1—3 证明木星卫星、行星和月亮都遵从平方反比律，命题 4 把月球特别提出，利用类似月地检验的方法重新讨论了地球对月球的引力作用，然后直至命题 12 全部讨论万有引力，至此牛顿完成了对太阳系诸天体运动的物理原因的说明。命题 13 至 19 讨论行星运动的轨道，命题 20 和 21 讨论地球的重力。命题 22 至 35 一大段研究月球在多种引力的作用下的运动，命题 36 和 37 论潮汐，这也是 17 世纪学者所关心的一个大问题。跳过两个比较专门的命题以后，牛顿集中精力处理彗星的运动。

有趣的是，作为《原理》写作的契机的彗星运动现在作为全书论述的归宿，出现在对“世界体系”的最终描述之中，足足占了五十页的篇

① *Principia*, pp. 398 - 400; 译文用前引《著作选》，下同。此处译文在第 3 页。

② 伽利略曾有类似的论述：“果有变化意味着因也有变化。”参见 *Dialogue*, p. 445, 中译从前引译本第 576 页。

③ 这一条推理法则最初出现于 1726 年第三版，但在第二版排印时已经完成，只是由于技术原因未能印入第二版，见 I. B. Cohen, *The Introduction to Newton's Principia*, p. 260。

幅。牛顿首先肯定了第谷的结论，彗星是比月球远得多的星体^①，然后在命题 40 中指出彗星也遵从开普勒面积定律。在命题 41 之后，牛顿以“例子”为题，具体讨论了 1680 年彗星。

牛顿引用了“弗拉姆斯蒂德先生”和“哈雷先生在他们的观象台”所得的从 1680 年 12 月 12 日到 1681 年 3 月 9 日的观测资料^②，并以 1682 年的彗星做了验证。论述是令人信服的。在《原理》后来印完出版时，哈雷写了一首“赞歌”冠于卷首，诗云，“曾为恐怖的渊藪，彗星的行径幽折；而今我们懂得，不再惧怕这须毛毳毳的星星”^③。

的确，第三篇是第一、第二两篇的结论对于太阳系的应用，其证明常常是引述前文已经证完了的结论。值得注意的是理论的结构。我们曾提及，在第一篇里， $3/2$ 次幂定律、椭圆轨道和力的平方反比作用在逻辑上等价，可以互相导出。现在，在第三篇里， $3/2$ 次幂定律被置于另外一个层次，牛顿名之以“现象”。天体运动问题的线索于是变得清晰：行星的椭圆轨道可以由平方反比的作用力推出，而平方反比的作用又可以从 $3/2$ 次幂推出；那么 $3/2$ 次幂呢？当然我们可以说它能由椭圆轨道推出，但这样就构成了一种逻辑上的循环，这样构造的理论没有明显的物理意义。现在，在《原理》的第三篇里， $3/2$ 次幂定律不再是一个理论的导出结果，而是一个“现象”，它的基础不再是逻辑的自治性，而是经验。它是从无数的观察事例中归纳出来的，这种归纳虽然未必完全，但是，一如“推理法则 4”所言，如无例外，就是普适的。

科学理论常由三个层次构成。最基本的概念和公理是第一个层次的内容，建立在这一层次之上的是由数学和别种推理所构成的演绎体系，这一体系给出的理论结论。最高的一个层次是由这些理论结论导

① *Principia*, Bk. 3, p. 491. 牛顿将这一段论述编为“Lemma 定律 4”，与第一篇第一章、第二篇第一章(p. 235)体例相同。牛顿常用 Lemma 来引述一些本质上是数学定律的文字，何以此处运用于第谷，尚待考求。

② *Principia*, pp. 507 - 515. 其中, p. 508 所载数据即弗拉姆斯蒂德 1681 年 3 月 7 日给牛顿的信中所列, 见 C, v. 2, p. 354; 而 p. 513 所载显系来自弗拉姆斯蒂德 1685 年 9 月 26 日的信, *ibid.*, p. 425.

③ Halley, Ode, ll. 14 - 17, *Principia*, p. xiv.

出的、可以与经验事实比较的结果。理论与物理世界的联系在此,而其本质意义也在于此。当导出结果被经验肯定时,理论的真理性的成立。《原理》的结果严整地反映了科学理论的这种形式上的要求。由定义、力的概念和运动定律所构成的第一个层次,是理论的实质部分,理论的精华亦在于此。然后是占据了绝大部分篇幅的演绎部分,体系由此建立。整个体系,包括基本概念、公理和演绎推理的真理性的,则由第三篇的经验事实所肯定。

彗星就是牛顿所选择的用以检验理论的经验事实。哈雷把 1682 年的彗星和 1531 年及 1607 年出现的两颗彗星的观测数据做了细致的比较,重算了 1682 年彗星的轨道根数,预言这颗彗星将在 1758 年圣诞节前后重新出现。稍后,法国天文学家克莱罗 (Alexis-Claude Clairaut, 1713—1765) 在勒颇特 (Nicole-Reine Lepaute) 的帮助下利用相同方法并计入土星和木星的摄动,推算出该彗星将于 1759 年 4 月 4 日经过近日点^①。

1758 年圣诞节夜,易北河畔德瑞斯顿 (Dresden) 的业余天文观察者帕利希 (G. Palitsch) 首先在预测天区观测到彗星。人类的理性力量第一次直达天穹。如果说有什么可以称作壮丽的话,那么这就是壮丽。1759 年 3 月 13 日,彗星通过近日点,与预测日期相差不到三十天。

《原理》的其他一些结论如土星、木星运动的不均衡^②,地球的形状^③和月球轨道的极点^④在稍后也陆续得到验证。牛顿力学的真理性的在 18 世纪下半叶最终得以完全确立。

① 他们是 1758 年 11 月在法国科学院宣布他们的计算结果的,当时他们的结果是 4 月 15 日。在改进了近似方法以后,他们进一步得出这一时刻当在 4 月 4 日。Rene Dugas, *Histoire de la mecanique*, Paris: Dunod, 1950, pp. 268 - 273, 354 - 357 对克莱罗的工作有简单的介绍,并见 Jeans Itard 为 DSB 作的本传。

② 1748—1752 年法国科学院悬赏征求利用平方反比定律对土星和木星运动的分析,但直到 1784 年才由拉普拉斯 (Laplace) 完全解决,参见例如 A. Pannekoek, *History of Astronomy*, London: Allen & Unwin, 1961, pp. 302 et squ.

③ 这是 Bk. 3, Prop. 19 提出的问题。1735 年 Pierre Bouguer 和 La Condamine 率两支考察队去秘鲁得出符合理论的结果。

④ 这是 Bk. 1, Prop. 45 提出的问题。

六、《原理》的出版

1687年4月4日,哈雷收到牛顿寄来的《原理》第三篇的书稿^①,7月5日,《原理》全书印完^②。在公开发行之前,哈雷首先向英皇詹姆士二世(James II)呈上一册,并附上一封致敬信^③。考虑到皇上忙于照顾他的臣民而无暇仔细研究这部著作,他还撰写了一个摘要^④,以便皇上能于万几之余多少看一看。按照当时的习惯,哈雷还匿名写了一个书评^⑤,对这部书很是作了一番称颂。

《原理》第一版实际上有两种印本,即史密斯(Sam Smith)印本和斯粹特(J. Streater)印本^⑥,总共大约印了三百至四百本,其中一小部分是皮面烫金的^⑦,封面上除了书名作者之类,还载明皇家学会会长佩皮斯(S. Pepys)的出版许可。因为在牛顿的时代,英国出版由国家控制,只有坎特伯雷大主教、牛津和剑桥,以及皇家学会有出版权。据1953年的统计,《原理》第一版尚存一百八十九本,藏于世界各地的图书馆或为私人收藏。

在《原理》发表的一两年里,共得到三个法国学者撰写的书评^⑧:一个只是把各篇各章的题目罗列了一番;一个详细地介绍了牛顿理论的内容,使一般人即使不读原著也能多少知道一些牛顿的工作;还有一篇一方面说《原理》是“可以想象到的最完美的力学”,另一方面又说牛顿

① C, v. 2, p. 473.

② *Ibid.*, p. 481.

③ *Ibid.*, p. 483.

④ 后来发表在 *Phil. Trans.*, 226 (1695 - 1697) 445 - 457。

⑤ *Phil. Trans.*, 186 (1687) 291 - 297.

⑥ 这两个印本的差别仅在于封面等细节,所以除了收藏家以外,一般研究者并不十分注意区分。

⑦ A. N. L. Munby, *Notes and Records of the Royal Society*, 10 (1952) 28 - 39.

⑧ *Bibliothèque universelle*, 8 (1688) 436 - 450, *Acta eruditorum*, 1688, pp. 303 - 315 和 *Journal des savans*, 1688, p. 128, 其中一个有人怀疑是洛克(J. Locke)所作,但匿名发表在法国刊物上,考证见 J. L. Axtell, in *John Locke: Problems and Perspectives*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1969, pp. 165 - 182.

实际上作了相当任意的假说，而没有给出天体的真实运动。

《原理》后来有两次再版，是为 1713 年的剑桥版和 1726 年伦敦版，其中第二版又两次重印，共印大约 2 000 册，第三版则印了 1 250 册。这两个版本，尤其是第二版，在出版时有颇大的修订。

第二版先由本特利(R. Bentley)，稍后改由科茨(R. Cotes)负责修订，494 页的书有 397 页作了改动，特别是加了对于后世研究牛顿哲学神学观念极有意义的“总注”(scholium generale)。在下一章里^①我们将有机会简单讨论其内容。另外，第一版的“假说”除一条外都已改称“推理法则”及“现象”，这在上文中已有讨论。除此以外，牛顿只是把当时已由伯努利(Johann Bernoulli, 1667—1748)指出错误的第二篇命题 10 重做了一遍，交给了科茨^②，但未在书里对任何一位伯努利氏表示谢意。

第三版的修订由潘伯顿(H. Pemberton)负责，改动较第二版少且多属无甚重要的细节。

鉴于即使在 18 世纪初，拉丁文已不再是一般学者通晓的语言了，英译《原理》的需要就显得很迫切。1729 年的英译本事实上是以后所有英文版《原理》的基础。这一工作由莫特(Andrew Motte)完成，由他的兄弟本杰明(Benjamin)出版。在莫特的译本后附有牛顿的“论世界体系”，这一篇文字最初见于牛顿身后未发表的手稿之中，并未被莫特所依据的第三版采用。但是，因为牛顿早先确实提到过他“用通俗的方式”写过一篇供“很多人阅读的”对世界体系的说明^③，所以以后所有的英译本均采录如仪。莫特的英译本翻译质量很高，以致在它刊出以后的两个世纪中竟无人再尝试重译，只是迭有修订而已。最重要的一个

① 第六章第四节。

② 伯努利在 1710 年 8 月间注意到牛顿在此一证明中的错误并告诉了莱布尼茨，但没有直接通知牛顿。伯努利认为这一错误表明牛顿对分析学的理解还未臻完善。1712 年 9 月，伯努利的侄子 Nicolas(1687—1759)在伦敦脱口告诉了牛顿他叔叔的发现，牛顿在 1713 年元月 6 日给了科茨一个新的证明，并稍后在一封信里对 Nicolas 表示了谢意(C, v. 5, p. 348)。

③ *Principia*, p. 397.

修订版是所谓的卡约里 1934 年版。卡约里 (Florian Cajori, 1859—1930)^① 出生于瑞士, 在美国受教育, 1894 年在土伦 (Tulane) 大学获哲学博士学位, 以后在科罗拉多学院 (Colorado College) 和加州大学任教, 1924—1925 年曾任美国科学史学会副会长, 1929 年任国际科学史学会副会长, 著作甚丰。尽管现代有些研究者对他的修订本颇有微词^②, “卡约里本” 仍旧是目前最广泛使用的《原理》英译本。

自 1756 年伏尔泰的朋友查斯泰累 (Du Chastellet) 侯爵把《原理》译成法文以后, 其他译本陆续完成。先是 1872 年渥尔弗斯 (J. P. Wolfers) 的德译本, 后有 1915 年克里洛夫 (A. N. Kriloff) 的俄译本、1927 年的瑞典文译本和 1930 年冈邦雄的日译本。

《原理》的中文本由郑太朴先生译出, 1931 年上海商务印书馆印行, 以后大约至少在 1935 年和 1958 年重印过两次^③。郑太朴 (1901—1949)^④ 早年在商务印书馆做学徒, 为蔡元培先生所识, 资助往德国哥廷根大学深造。在欧洲颇留意时务, 1926 年回国参加北伐, 稍后厌于政治而转向学术, 先后在中山大学、同济大学和交通大学任教, 专心著述。著有《微积学发凡》、《科学概论》, 译有包姆加特纳 (Ludwig Baumgartner) 著《类论梗概》、麦克凯布 (Joseph McCabe) 著《进化》凡二十余册。1949 年卒于香港北上上海途中。

可能出于典雅传神的考虑, 郑译《原理》用的是浅近文言。这对于大部分现代读者说来不见得比英文易懂多少。上海自然哲学编译组译《牛顿自然哲学著作选》^⑤, 蔡宾牟译《物理学原著选读》^⑥ 对《原理》中的

① D. Gjertsen, *op. cit.*, p. 96.

② I. B. Cohen, 见氏注《原理》“前言”, London: Dawsons, 1968, p. xii.

③ 牛顿学说早期在中国的传播, 有郭永芳的文章, 刊北京自然科学史研究所编《科技史文集》第 12 辑。

④ 张帆: 《郑太朴》, 《政协报》1986 年 1 月 14 日; 《中国民主党派辞典》, 北京: 中国政法大学出版社, 1989 年, 第 689—690 页略同。匹兹堡 (Pittsburgh) 大学图书馆张海惠小姐帮助查找资料, 谨此致谢。

⑤ 原著是 Horace S. Thayer, *Newton's Philosophy of Nature*, New York: Hafner, 1953, 译文在 1974 年由上海人民出版社出版。

⑥ 原著是 W. F. Magie, *A Source Book in Physics*, New York: McGraw-Hill, 1935, 译文在 1985 年由北京商务印书馆出版。

若干重要章节有语体翻译，颇利应用。

七、伟大的综合

的确，《原理》以几乎无懈可击的完美解决了当时知识界所关心的天体运行问题，同时也建立起了经典力学的大厦。对于它以前一个半世纪的物理学，《原理》是一次综合，一个总结；对于它以后三个世纪的物理学，《原理》则提供了一个不可或缺的基础，一种解决问题的范式。我们这些在三个世纪以后受教育的人，现在仍然很难想象，建立一种运动规律，统帅大到星系小到尘埃，质量跨越五十个数量级的世界，需要的是一种怎样的综合^①啊！

《原理》所标志的是人类文化史上一次规模空前的综合，这一综合有若干的方面。

就科学本身来说，这是物理学和数学的综合。这一做法起于伽利略，至于牛顿而臻完善。对于天地万物的讨论，现在得以用数学的语言准确地进行，而数学所具有的独特的推理能力又帮助人在时间和空间上突破了感官的限制，现在，人是真正地面对上下四方往古来今的宇宙了。

从亚里士多德时代起，天和地就是两回事。第谷发现的新星和彗星打破了这一界限，而牛顿则更以一种严整的理论完成了这一统一。“天”的庄严观念随之被破坏殆尽，宇宙原来不像中世纪哲学教导的那样狭小，尘世较之天国也并非那么黯淡。牛顿把关于天的学问和关于地的学问会聚在一起的时候，展示了上帝和自然会聚在一起形成的权威。于是有一群人想去试图揭示上帝的智慧，而他们所显示的却是不折不扣的人的智慧。

^① “综合”一说见 W. C. Dampier, *History of Science*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 4th ed., p. 175。本书有李珩中译本，北京：商务印书馆，1979年，引文在第253页；稍后 Alexandre Koyre 做了更细致的研究，见氏著 *Newtonian Studies*, Cambridge: Harvard Univ. Press, 1965, pp. 3-24。

这种人后来被称为科学家。文艺复兴以来，一种对自然的兴趣一直在发展，而在这一发展中活跃积极的，除了学者之外，还有工匠和贵族。前者希望关于自然的知识能给他们带来生意上的兴隆和利益，而他们本身对具体的、需要手艺的制作比较在行，也比较感兴趣。他们为学术的发展带来了技艺。钟表、望远镜和显微镜，以及许许多多的科学实验装置就是显例。富有的贵族则不同。他们有足够的闲暇，又有足够的资金，科学对于他们说来是一种消遣，也是一种享受。探索自然对于他们说来在很大程度上是一种乐趣，或者是为了理解自然本身。他们的探索方式和他们的生活方式相适应，常常是一种纯粹的理性活动。他们受过系统良好的教育，注重推理的严密和逻辑的完整，他们不仅为科学的发展带来了资金，而且也助长了科学的理论化系统化趋势。当科学革命的潮流把这两种人推到一起，汇成目标一致的洪流时，其势何止倍增！这种历史上的综合，在学术上的反映是理论和实验的联姻。牛顿恰恰生在这一综合的时代。

在学术思想上，则是隐秘幻术所代表的神秘主义和诉诸理性的机械论的对抗。如我们在前文所力图说明的，这种对抗在牛顿那儿得到了综合。从某种意义上说，牛顿的工作就是在机械论构造的世界图景里引进了力的概念，而这个概念本身在本质上与上述图景并不相容。当牛顿把这两种相互排斥的东西糅合在一起时，他时时遭遇困难；我们行将看到，他还将为此苦恼很多年，直至他生命最后的年代。

既然有这样的问题，牛顿理论的真理性的如何保证的呢？我们已经看到，牛顿的出发点是公理和定义，以及从现象即经验事实中归纳出来的规律，由此而展开的是一套逻辑上自洽的演绎体系，这一体系最后给出可供经验检验的结果。牛顿的方法是归纳和演绎的综合，而理论的真理性并不由逻辑，而是由经验最终判定的。观测、归纳、抽象、推理，最后得出结论，再将此一结论和经验比较，这就是牛顿为哲学提供的“科学方法”。而力的概念的引进，至少在形式上满足了人对“原因”的追求，提供了一种因果描述。这种描述的真理性的，同样不在于先验地假定的原因，而在于为经验所肯定的结果。



第六章 在伦敦

1696年牛顿从剑桥移居伦敦，先住伦敦塔，8月间又搬到了离圣詹姆斯(St. James)教堂不远的杰明(Jermyn)街^①，他在这一住所一直住到1709年下半年。在切尔西(Chelsea)住了几个月以后，牛顿又搬到圣马丁(St. Martin's)街^②，一直到1725年，才在医生的建议下移住坎西顿(Kensington)。据医生的意见，坎西顿的空气对当时八十二岁的牛顿说来更合适。从1696年起，牛顿的主要精力和注意力都转到了非学术方面。在以后的二十多年中，牛顿主要是作为皇家学会的会长、皇家造币厂的监督和总监、安妮(Anne)女王御封的爵士^③，以及一个有着辉煌成就的科学泰斗出现在伦敦社交界的。他也和人讨论他关于宇宙和万有引力的观点，但重点在这些概念所提示的形而上学问题；除此以外，他在皇家学会和造币厂事必躬亲，结果是赞誉和怨谤齐至。从剑桥移居伦敦在很大程度上提示了一个戏剧性的变化：牛顿离开了学术中心剑桥，进入了真正的英格兰社会。

① L. T. More, *Isaac Newton*, New York: Dover, 1962, p. 456, 说(在1960年代初)就是 Jules 旅社。

② 牛顿故居在1920年代初被拆除。在 RSW, p. 670 有这一处住宅的图。

③ 事在1705年4月6日，见 *London Gazette*, 4116; 并见 C, v. 4, p. 444。

一、《原理》中隐含的形而上学问题

在《原理》写作的最后阶段，牛顿把他在第一、第二篇里发展起来的力学理论用于说明太阳系行星和彗星的运动，并令人信服地展示了理论预期和观测的一致。但是这力是怎么作用的呢？什么是科学——在牛顿时代的欧洲就是以笛卡尔学说为代表的对天地万物的解释——所可以接受的机制呢？这些问题一定让牛顿颇感困难。他最初显然打算绕开对此的正面回答，所以在第一版序言里开宗明义地声称：

由于古人认为在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秘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。^①

他接着又说：

哲学的全部任务看来就在于从各种运动现象来研究各种自然之力，并用这些力去阐释其他的现象。

牛顿的确成功地利用这一方法描绘了一幅秩序井然的世界图景。但是，几乎是无可回避的，形而上学的问题产生了。这就是，吸引到底是什么样的作用？这幅世界图景是怎么形成的？而它所表现出来的理性又是哪里来的？

1692年，一个叫做本特利的牧师写信给牛顿正面提出了这些问题。本特利(Richard Bentley, 1662—1742)和牛顿一样在剑桥受教育，早年颇得伍尔赛斯特(Worcester)主教斯蒂林弗利特(Stillingfleet)的

^① *Principia*, p. xvii, 中译见前引《著作选》第10页，唯 occult qualities 原译作“隐蔽”。下一段引文在 pp. xvii - xviii, 中译在第11页，“阐释”原文是 demonstrate, 原译作“论证”。

奖掖,1700年出任三一学院院长,1717年获神学讲席(Regius Chair of Divinity)。本特利对学问钻研颇勤,在古代经典研究上也有独到之处;但他对个人利益地位同样汲汲然,所以后来颇为同事和朋友所不齿。1692年他在伦敦的马丁广场(Martin-in-the-Fields)开讲“驳无神论”^①,曾利用牛顿的最新研究成果来加强论说效果。1692年底,他在出版这一套演讲前又对文稿再作修改订正。尽管他一年多以前就注意钻研牛顿理论^②,但仍恐怕自己的理解有错,所以写信就几个他认为是最重要的问题再询问牛顿的意见^③。

本特利在第一封信里提出的最主要的问题是太阳系何以如此井然有序,在天地被创造出来时为什么只有太阳成为一个发光体而行星都变成不透明的,为什么六个主要行星如此安排等。牛顿回答说,“我认为这不是靠纯粹的自然原因所能解释的;我不得不认为它出自一个有自由意志的主宰的意图和设计”,“除了我们的系统的创造者认为这样是合适的而外,我不知道还有任何别的什么理由”,“行星现有的运动不能单单出自某一个自然原因,而是由一个全智的主宰的推动……”^④牛顿的这一看法显然不是随口应付本特利的提问。当本特利提及地轴的倾斜是不是也有类似的超自然的原因时,牛顿就明白表示“看不出有什么特别的东西可以证明上帝的存在”^⑤。

在第二封信里,牛顿除了纠正了本特利在理解无限概念时的一个

① 这是所谓的波义耳(Boyle)讲座。波义耳1691年去世时指定留出五十英镑建立一个讲座,宣传基督教义。这个讲座后来成为向公众介绍宣传牛顿学说的主要场所之一。继本特利之后,克拉克(Samuel Clarke)在1704—1705年,惠斯顿(William Whiston)在1707年,以及德汉(William Derham)在1711—1712年均参与其事,且有著作行市。参见M. C. Jacob, *The Newtonians and the English Revolution 1687 - 1720*, Ithaca: Cornell Univ. Press, 1976, esp. p. 177。

② C, v. 3, p. 155。1691年7月本特利问及阅读《原理》大约要求什么样的知识基础,牛顿写了这个回答给他。

③ 现在可以看见的版本是 *Four Letters from Sir Isaac Newton to Dr. Bentley containing Arguments in Proof of a Deity*, London: R. & J. Dodsley, 1756。牛顿的四封信以及本特利的一封信也见于C, v. 3, 详下文所引。

④ C, v. 3, p. 234; 中译从前引《著作选》第55页。

⑤ C, v. 3, p. 236; 中译第58页。

错误之外,回答了行星如何开始运动的问题^①。牛顿认为,使得行星能适当地在轨道上运动需要一个“大小恰当”的“横向推动”,“因为如果(这个力)太大或太小,就会使地球沿着别的路线运动”,“没有神力之助,我不知道自然界中还有什么力量竟能促成这种横向运动”。这个问题后来常被称作“第一次推动”。

一个月以后发出的第三封信继续上述讨论。本特利在回信^②中又问及引力的本质的问题。据他的理解,吸引是“一种能使相距很远的物体,无须机械推动,力图相互靠近的力”,牛顿很表赞成,并进一步提出,“没有某种非物质的东西从中参与,那种纯是无生命的物质竟能在不发生接触的情况下作用于其他物质,并且给予影响……那简直是不可想象的”^③。

把宇宙的理性秩序和太阳系形成时的第一次推动都归为上帝,对于理论本身并没有不可接受的地方。但是,现在本特利提出的引力的本质,却是一个困扰牛顿多时难于回答的问题。在前一封信里,本特利说重力是物质的根本而固有的属性,牛顿未敢骤然表示同意:“因为重力的原因是什么,我不能不懂装懂,我还需要更多的时间对它进行考虑。”^④在最后一封信里,牛顿对重力作了如下的解释:

至于重力对于物质来说是内在的、固有的和根本的,因而一物体可以穿过真空超距地作用于另一物体,毋须有任何一种东西在中间参与,使其作用和力得以传递,这种说法在我看来尤其荒谬……重力必然是由一个按一定规律行事的主宰造成的,但是这个主宰是物质的还是非物质的,我直到现在仍想留给读者自己考虑。^⑤

① C, v. 3, pp. 239 - 240; 中译第 62 页。这儿的“横向运动”是指行星绕日运行时的切向运动,在他们的通信里,牛顿和本特利称行星被太阳吸引为“下落”。下两则引文同。

② C, v. 3, p. 246, 这封信写于 1693 年 2 月 18 日,没有中译。

③ C, v. 3, pp. 253 - 254, 中译在第 64 页。

④ C, v. 3, p. 240.

⑤ C, v. 3, p. 254, 中译第 64—65 页,译文稍许改动。

其实，牛顿自己也在紧张地考虑这一问题。他似乎认为力的本质应该能从对物质本性的研究中显现出来，而化学和炼金术所探讨的，正是这一问题。我们在讨论牛顿 1670 年代的工作时曾有机会看到他早期在这一方面的努力。事实上，如果把牛顿所有的“化学手稿”按写作先后分类，我们会看到其中写于 1687—1696 年间的约占总数的一半^①。从内容上说，早期手稿多为读书笔记，而在 1680 年前后，牛顿在炼金术的研究方面出现了“新的研究动向”^②，即开始了自己独立的创造，研究范围也似较以前稍大，化学索引(*Index chemicus*)当作于这段时间^③。这份两万多英文字，长达 113 页的手稿始于 1680 年代初的阅读，包含 251 条化学和炼金术术语的解释和引证，牛顿在 1690—1693 年间又把它增补到 879 条，征引了 150 部炼金术著作，对其中的 5 000 多页论述做了摘录。其中牛顿最心爱的 46 条，占 42 页，涉及 100 多位炼金术士和学者。

1692 年 3 月 2 日和 3 日，皮特凯恩(Archibald Pitcairne, 1652—1713)^④从爱丁堡(Edinburgh)到剑桥来看望牛顿。牛顿交给他一份手稿，题为“论酸的本质”，并与他两次长谈。从这份手稿和皮特凯恩的笔记^⑤看，牛顿当时对酸的作用以及利用这一作用去说明“吸引”确实做了仔细的考虑。在这篇短文的第一段，牛顿提出了一种说明酸如何溶解物质的机制。他说酸的粒子比“土质”的粒子精细得多。“它们被赋予一种巨大的吸引力，而酸溶解物体刺激感官的活动‘能力’正是这种吸引力造成的。”这种细微的酸粒子在溶液中包围金属或矿物类物体，

① RSW, pp. 290 - 291, 530 - 531.

② R. S. Westfall, "The Role of Alchemy in Newton's Career", in M. L. Righini Bonelli & W. Shea ed., *Reason, Experiment and Mysticism in the Scientific Revolution*, New York: Science History Publication, 1975, p. 200.

③ 即 Keynes MS 30。另有一份相关的手稿，苏富比拍卖时编号 34，仅收从 Ablutio 到 Aqua Foetida 诸条，五页，二千字，介绍在当时苏富比拍卖目录上，未闻有专门研究。

④ 皮特凯恩是格里高利(David Gregory)的学生，后往巴黎等地学医并在爱丁堡教书行医。和大部分 17 世纪的学者一样，他对数学和其他自然科学也很有兴趣。

⑤ 即皇家学会藏 Greg. MS fos 17 及 65，刊 C, v. 3, pp. 205 - 212。下文引文在 pp. 209, 211。

利用其特有的吸引力把组成物体的粒子“分离”开来。牛顿还认为,酸在进行化学反应时表现出来的种种现象,如发热、发生气泡,甚至水珠四溅,都是这种吸引力存在并激励物质粒子的明证。大概皮特凯恩问起笛卡尔对酸及其化学作用的“孔-穴”解释,牛顿回答说,粒子上的“孔”的形状无关紧要,因为这些孔较之液体的粒子而言要“大很多”。

1693年春夏之交,恰是本特利和牛顿讨论引力和太阳系等形而上学问题的同时,牛顿写了一篇被认为是他“关于炼金术的最重要的”^①论文精气(Praxis)^②,这个题目原来似乎是指一种“精气”(quintessentia),而牛顿开头似乎意属锑或锑矿石,稍后似乎转而认为可能是铋或铋矿石,但他最后又很明白地表示真正的精气应该是一种“形体之精”(spiritus corporalis)或“精之形体”(corpus spirituale)。研究者注意到“精气”手稿上尽是添补删改,因此杂乱难读。尽管这份手稿的含义至今尚未全部阐明,但是哪怕是最粗心的研究者,也可以从中看到牛顿在1690年代初对于力和自然本质的艰苦探索了。

在这一阶段,牛顿还和不少学者通信联络探讨这些关于物质本性的形而上学问题。法西欧·杜伊勒(Nicolas Fatio de Duillier, 1664—1753)^③是他这一时期最好的朋友,1690年刚在皇家学会宣读了他的新作《论重力的本质》^④。在1689—1693年的四年里,牛顿和他至少九度会面并频繁通信。法西欧很受惠更斯做法的影响,用的仍是以太图景,牛顿对他的理论似乎不十分当真,据格里高利(David Gregory, 1661—1708)的笔记,牛顿和哈雷曾经为法西欧对万有引力

① RSW, p. 529.

② 即 Babson MS 420,原文并细致的研究见 B. J. T. Dobbs, *The Janus Faces, op. cit.*, pp. 300 - 305.

③ 法西欧是瑞士人,家道殷实,颇好学,尝游欧洲,遍访名师,与卡西尼(Cassinis)、惠更斯以及伯努利(Bernoulli)辈均有交游。和牛顿在1689年夏天第一次见面,几乎立即成了好朋友,这是牛顿在待人接物上很少有的事。他和牛顿的通信均收于 C, v. 3, 颇利应用。1693年两人友谊突然中止,原因似仍为悬案。

④ *De la cause de la pesanteur*。这一著作直至1949年才刊出,见 B. Gagnebin, *Notes and Records of the Royal Society*, 6 (1949) 106 - 160。

的解释而“笑他”^①。

牛顿另一个最近结交的好朋友是洛克(John Locke, 1632—1704),他 1689 年刚从荷兰回到英国。在 1690 年出版的《人类理智论》一书中,洛克明白地援引牛顿,称他扫清了挡住通往知识道路的垃圾。留意洛克对“经验”的推崇,不难想象,他对牛顿把整个理论体系至于“现象”的做法一定有“深得我心”之感。除此以外,这两位英国最伟大的学者在古籍研究和化学炼金术方面还有很多共同的题目可以讨论。在和牛顿的十八封通信中,他们谈了空气的本质、神学^②,特别是“汞”和波义耳的“红土”,以及炼金术和化学的秘方。从现存的通信我们知道,参加这一讨论和神秘研究的,还有波义耳、迪卡森(Dickison)博士和考克斯(Cox)博士^③,后两位在当时都以炼金术知名。牛顿、洛克和波义耳还约定三人共守秘密,互通研究消息^④。

牛顿在写完《原理》前后的这几年里一定常常沉浸在“力到底是什么”这一非常困难的问题里。在机械论哲学盛行了将近五十年的时代,吸引力之类的概念实在是非常可疑^⑤。但是,重力和电力的吸引作用又是如此明白可见,牛顿觉得这应当是“自然界的一种意向和趋势”^⑥,而这种趋势是和自然的本性联系在一起的。牛顿多次提到要对自然的各种不同的“表现”加以结合的考察,“因为自然本身必是极其简单并且极其和谐的”^⑦。

这些讨论,在后来 1710 年代进一步展开,形成了牛顿的物质理论。1718 年版的《光学》最后加入了八个问题^⑧,其中六个讨论以太问题,另

① 格里高利是牛顿的崇拜者,在和牛顿相处中,时时记下牛顿的谈话或评论,这儿引用的,见 C, v. 3, p. 191。

② C, v. 3, p. 216 以及 p. 79, pp. 147 - 148。

③ 见洛克给牛顿的信,1692 年 7 月 26 日,在 C, v. 3, p. 216。

④ C, v. 3, p. 215 以及 pp. 217 - 218。

⑤ 例如大家如莱布尼茨直至 1715 年仍认为吸引的概念是“神秘作用”,见 C, v. 6, p. 251。

⑥ 疑问 31,前引《著作选》第 190 页。

⑦ 参见例如 *Opticks*, Query 31, p. 376, 397; 中译见前引《著作选》第 190 页,又见 Add MS 4005, f. 25。

⑧ 即疑问 17—24。

外两个论人体或动物体内的“媒介”。“疑问 21”特别研究了引力、吸引力和以太的弹性。牛顿好像自然而然地把万有引力和磁力看作是一回事，他注意到小磁铁按体积大小比例来说吸引力比大磁铁强，那么，小行星的重力也要比大行星表面强，“如同小的物体远比大的物体更容易受到电吸引的激动一样”^①。所有这些，好像是在为以前牛顿关于物质结构和本性的文字所作的注释。

早在大学时代的札记里，牛顿就谈论了原子的概念。牛顿写道，“因此，元物质必然是原子”^②，而且这种原子也不是“数学的点”。在《光学》里，他写道：“上帝在开创之初把物质造成坚硬、结实、有形、不可入而可移动的粒子……甚至坚硬得永远也不会磨损或破裂……”^③在《原理》中，他甚至把这一假设称为“整个哲学的基础”^④。

牛顿在这儿所遭遇的，是自然界所表现出来的理性、太阳系的起源，以及支配天地万物的力的本质问题。它们的确是太难了。在牛顿时代如此，在三百年后的今天，虽然未敢说是毫无进展，至少比牛顿当时未见得有什么实质上的改变。爱因斯坦曾经不无感慨地说，“世界的永久秘密就在于它的可理解性”^⑤。诚然斯言也。

在探索原子和上帝的奥秘的同时，牛顿也没有忘记他所厕身其间的尘世。1691年6月30日牛顿写信给洛克，请他帮忙谋求造币厂的一个职位^⑥——“如果不太麻烦的话”。洛克因为参与光荣革命，对政治介入很深，而这时正是他在政界最有影响的时候。可是运气不佳，尽管洛克有所努力，牛顿似乎注定还要再等五年才能得到这份收入颇丰的差事。

① *Opticks*, pp. 351 - 352, 中译见前引《著作选》第 172 页。

② Add MS 3996, f. 3 89r (340 - 341)。下文引文见 f. 1, 88r (337)。

③ *Opticks*, p. 400, 中译见前引《著作选》第 209 页。

④ *Principia*, p. 399, 中译见前引《著作选》第 4 页。

⑤ A. Einstein, *The Journal of the Franklin Institute*, 221 (1936) 313 - 347, 本句中译在许良英等译《爱因斯坦文集》第一卷，北京：商务印书馆，1977 年，第 343 页。

⑥ C, v. 3, p. 152.

二、造币厂：生活在尘世里的牛顿

1693年9月中，佩皮斯忽然收到一封牛顿写给他的信^①。信不长，牛顿先是抱怨说十二个月来“既不能好好地吃，又不能好好地睡”^②，然后在几句意义颇不可解的胡话以后，牛顿声称他决心退出社交圈，“如果我能静静地离开他们（指他在伦敦的朋友们）的话”。

这着实让佩皮斯吃了一惊，因为说实在的，他与牛顿的交往并不深。佩皮斯（Samuel Pepys, 1633—1703）早年在剑桥玛格丹林（Magdalene）学院受教育，毕业后一直在军政界工作，迭有起落，后来在海军大臣手下当秘书直至1688年，因不见容于光荣革命，1689年退休。他和牛顿的交往，是他在1684年至1686年任皇家学会会长时恰巧为牛顿的《原理》签发过出版许可，仅此而已。

几天以后，洛克接到牛顿9月16日从伦敦发出的信。牛顿在信中指責洛克“力图用女人和别的手段”来和他捣乱，并说他觉得洛克“还是死了好”^③。

这一次严重的精神失常好像很快就过去了。应佩皮斯的要求，米林顿（John Millington）在9月28日找到了牛顿，牛顿看上去相当正常，主动提起给佩皮斯的信并深有悔意。稍后，11月26日，牛顿在给佩皮斯的信中正确地回答了后者提出的一个概率论问题^④。至此，这一场大乱总算完全过去。

① C, v. 3, p. 279.

② 这一抱怨显然不真，因为牛顿至少在1693年2月25日还给本特利写过很长的信讨论引力、上帝和太阳系。从这封信看，牛顿的理智至少在2月底还没有任何问题。3月14日牛顿还有一封短信致法西欧，似乎也未见异常。参见 C, v. 3, pp. 253 - 256, 以及 p. 263.

③ C, v. 3, p. 280.

④ C, v. 3, pp. 294 - 296.

牛顿研究者对发病的原因颇有一些猜测。一说是汞中毒^①，一说是“极度疲劳”^②，牛顿自己则说是“在火炉边上睡得太多”^③。这些想来都有关系。另外，我们注意到，牛顿发病前两个星期收到的他妹妹汉娜(Hannah)的信，当时他的妹婿病危，医疗开支不菲，汉娜在百般无奈中向她这个唯一比较显赫的哥哥求援^④。这恐怕也是够牛顿烦心的。

牛顿既然自顾不暇，大概也未能给汉娜什么特别有力的帮助。倒是几年以后，当一切又都重上轨道了，牛顿把汉娜的女儿凯瑟琳·巴顿接到伦敦，让她帮助管理家务。

在牛顿的后半生里，凯瑟琳(Catherine Barton, 1679—1740)是很重要的一个人物。牛顿在伦敦的生活全由她照顾，而牛顿的一批最重要的手稿也是通过她保存下来的。凯瑟琳后来嫁给康杜伊特(John Conduitt, 1688—1737)，他们的女儿也叫凯瑟琳，后来嫁给约翰·瓦龙(John Wallop)，乃父1743年受封为朴茨茅斯伯爵，而牛顿的这些手稿即转入朴茨茅斯家族，1872年五世伯爵把这些对牛顿研究有独特意义的档案送给了剑桥大学，大学图书馆在1888年完成分类编目^⑤，世称朴茨茅斯档。

据说凯瑟琳非常美丽迷人，为牛顿主持家务，小姑独处，一时在伦

① L. W. Johnson and M. L. Wolbarsht, *Notes and Records of the Royal Society*, 34 (1979) 1, P. E. Spargo and C. A. Pounds 并以对牛顿的头发的分析支持此说，见 *Ibid.*, pp. 11—32，但大部分研究者对这一说法有保留，因为细看牛顿晚年的身体情形，未发现汞中毒的其他典型症状如脱齿等，且所谓牛顿的头发即使为真，也属牛顿晚年，似不足以用来说明二十年前牛顿的身体状况。

② RSW, p. 538.

③ C, v. 3, p. 284.

④ C, v. 3, p. 278。汉娜(Hannah Barton, 1652—?)是汉娜和史密斯(Barnabas Smith)的女儿，牛顿的异父妹妹，适罗伯特(Robert Barton)。他们有四个孩子，长女也叫汉娜，早夭，次女凯瑟琳，详下文，另外两人，玛格丽特(Margaret)生于1687年，我们只知道她在牛顿去世时作为继承人之一出现过；罗伯特(Robert, 1677?—1711)曾在军中服务，1711年在加拿大魁北克附近死于海难，牛顿曾有信致其母汉娜(C, v. 5, p. 199)慰问。

⑤ 即 J. C. Adams, G. D. Liveing, H. R. Luard and G. C. Stokes, *A Catalogue of the Portsmouth Collection*, Cambridge: Cambridge, 1888。科恩(I. B. Cohen)对此一著录颇为不满，见氏著 *Introduction, op. cit.*, p. 12。

敦社交界传闻蜂起^①。主要的说法是，她和一个当时正炙手可热的权贵哈里发克斯(Halifax)伯爵关系暧昧^②。有人^③甚至说牛顿之得到他长年渴望的造币厂的职位，也是得益于此。

其实并非如此。牛顿受命任造币厂监督前住在剑桥，随此一任命移住伦敦塔，三个月以后以其“烟雾嘈杂”移居圣詹姆斯教堂附近的杰明街直至1709年。而凯瑟琳来为牛顿管家时牛顿已是在杰明街了。牛顿和伯爵的关系事实上可以追溯到剑桥时代。蒙塔格(Charles Montague, 1661—1715)即后来的哈里发克斯伯爵在三一学院受教育，以后在政界颇为得意，1689年与牛顿一同出任光荣革命后第一届国会的议员，1694年被任命为财政部主管。早在1687年牛顿就称他为“亲密朋友”^④。现在，蒙塔格既然大权在握，自然是好朋友先得实惠。

1696年3月，蒙塔格写信告诉牛顿，“作为我们友谊的一个明证”，他给牛顿找了这份清闲而收入极丰的差事^⑤。他事后对人说，他之所以选牛顿，是因为他不能忍受那种“很亮但是费油的灯”。

事实证明，牛顿并不省油。1696年5月牛顿走马上任时，造币厂正忙于重铸钱币。先是，英格兰通行的是一种光边的辅币，用手工在模子上做成；到了英王查理二世时(1660—1685)，引进机器，全部动力由五十匹马提供，而所造的钱币样式也有改动，不仅成色较以前好，最明显的是每个钱币都加了锯齿边。这种新钱和旧钱同时在市场上流通。对于一般公众而言，大家当然喜欢新钱，于是在流通中，面值一样的新旧两种钱币就有了不同的价值。1695年年底，国会通过重铸钱币的提

① 绯闻当时当喧播人口，以至于 Mary de la Riviere Manley (1663—1724) 后来写的一本书，*Memoirs of Europe* (1710)，其中她花了一章来描写一个叫做 La Bartica 的荡妇如何利用权贵为自己的父母谋求好处。

② 从现代研究看，“事出有因，查无实据”。但是伯爵去世时的确在遗嘱里指定给凯瑟琳五千英镑现金和一处价值两万英镑的产业以答谢她给他的“愉快的交谈”。

③ 伏尔泰传播此说最力，见氏著 *Dictionnaire philosophique*，在 *Oeuvres*，v. 42, p. 165。

④ C, v. 2, p. 464.

⑤ C, v. 4, p. 195.

案,牛顿上任时正好赶上这样一场大忙。他先是被派去劳威奇(Norwich)、约克(York)、布瑞斯托尔(Bristol)等地帮助建立应急的造币厂,直至1698年年中。这些厂在这几年中共铸钱九百六十万英镑,牛顿的工作很得他的上司和同事的好评^①。

牛顿尽心努力的另一件事是打击伪币。以前追查审讯伪币制造者都由下级官吏去做,但这不符合牛顿时必躬亲的作风。他先向财政部申请得到人手,然后全力以赴。他出入伦敦下区的小酒店,搜取证据,到新门监狱调取在押人犯^②。1698年到1699年的一年半时间里,他讯问了二百多个人证,收到了数量极大的检举信,在1697年到1698年间,有二十七人在他手里被判处死刑。一时颇有严苛之名^③。他后来说:“我宁愿让他们(案指嫌犯)受苦遭难,也不愿冒险把他们放出去,让他们再去造假钱……这种人很少会洗手不干。”^④

1699年12月,造币厂总监尼尔(Thomas Neale)去世,牛顿升任总监^⑤。1707年,苏格兰和英格兰合并为联合王国,决定钱币采用英格兰样式。牛顿在当年春天开始计划^⑥,并把自己最亲密的追随者格里高利派去爱丁堡总理其事,11月开铸,到次年年底,共完成三十二万英镑的铸制。

这份本来是“清闲”的差事其实不清闲,而本来大家认为会相当不错的收入事实上比想象的更丰富。除了六百英镑的年俸之外,单是铸币的红利一项,就超过每年一千英镑。除此以外还有红包。这在当时的英格兰不见得可以公然说是合法,但也常有所闻。1701年原来承包铸造铜钱的合同到期,传闻中有承包商愿出六千英镑打点上下,以求合同得以续签。世上很少有人能真正摆脱金钱的压力,牛顿现在可以骄傲地说他是不愁钱用了。

① RSW, p. 557, 561.

② C, v. 4, p. 317.

③ J. Craig, *Notes and Records of the Royal Society*, 18 (1963) 136 - 145.

④ C, v. 7, p. 289.

⑤ C, v. 4, pp. 320 - 321.

⑥ C, v. 4, pp. 485 - 487.

三、皇家学会

造币厂的工作并没有把牛顿一天的时间占满，他还在关心皇家学会会长的职位。自从佩皮斯 1688 年辞职以后，这份声名卓著的差事一直由显贵担当。可是很多人认为，最好能选一位有学术背景的人出任——而且这也是学会的传统：创立之初有办事热心的胡克，后来有勤恳谨慎的奥登伯格，在他们的努力下，在 1660—1680 年期间，学会确实担当了领一代风气，引导学术方向的任务^①。

皇家学会创建于 1662 年。和法国科学院一样是在国王的赞助支持下成立的。和路易十四不同，英皇查理二世只是在精神上支持科学事业，并不在金钱上赞助。所以，皇家学会一开始就带有强烈的业余特色。任何人只要是对科学有兴趣，或声称对此有兴趣，都可以入会，会费每周一先令。学会同人每周聚会一次。据瓦利斯(John Wallis, 1616—1703)的回忆，在皇家学会的早期，

我们讨论血液循环，血管瓣膜……淋巴管，哥白尼假说，彗星和新星的性质，木星的卫星，土星的卵形形状，太阳黑子及其旋转，月亮的不对称性，金星和水星的盈亏，望远镜的改进，镜片的磨制，空气的重量，真空的可能性或不可能性以及自然与此相反的趋势，托里切里(Torricelli)的实验，重物下落时的加速度以及诸如此类的问题。^②

① 在科学革命时代，和很多人的猜想相反，大学常常不是学术的中心，学术的独立和自由的地位也并非从大学中产生。参见例如 R. S. Westfall, *The Construction of Modern Science*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1971, pp. 105 - 119, esp. pp. 106 - 107。

② 这段话出自 J. Wallis, *Defence of the Royal Society*, London, 1678, 转引自 Dorothy Stimson, *A History of the Royal Society*, New York: Henry Schuman, 1948, pp. 37 - 38。

皇家学会发行定期刊物,即《哲学汇报》^①,一则会员们的研究进展可以得到及时的交流,二则皇家学会通信秘书的薪水也有了来源。1677年奥登伯格去世,这对皇家学会是很大的一个损失,学会不仅失去了一个勤谨的秘书,而且失去了一个各方面都能接受的协调人。

牛顿和皇家学会的关系一直不怎么和谐。最初是光学论文^②引起的麻烦,大约一年以后,牛顿似乎忍无可忍,写信给奥登伯格说要退出学会^③,经后者劝说才没有坚决离开这一英国唯一的学术团体。自从为了平方反比和胡克再次闹翻以后,牛顿和这位仅次于他的学者形同水火。这时奥登伯格已经去世,再也没有人能充当调停人。1699年牛顿把一个他新近发明的六分仪拿到学会时,胡克又及时地表示他几年前就做过类似的东西^④。好在他最近几年身体越来越坏,虽然仍领皇家学会实验部主任之名,但几乎不能正常参加学会活动,所以牛顿对皇家学会的兴趣也日渐增长。

1703年3月,会长索莫(Somer)勋爵退休;胡克又很知趣地及时去世。这时,《原理》正在被广泛地理解接受,大陆和英伦的学者正在以惊讶的欣喜研究这崭新的科学,牛顿的声名正如日中天,在一般人看来,会长一职,舍牛顿而其谁。11月选举,牛顿在大约三十票中得二十四票,当选为会长。

如同在造币厂的工作一样,牛顿一上任就表现出雷厉风行的改革作风。他认为:

自然哲学的目的在于发现自然界的结构和作用,并且尽可能地把它归结为一些普遍的法则和一般的规律——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。

① *Philosophical Transactions*, 1665年3月27日创刊,虽然创刊比意大利和法国的科学杂志晚,但一直连续出版至今。

② 即前文第4章第2节引1672年2月《关于光 and 色的新理论》,这是牛顿发表的第一篇科学论文。

③ C, v. 1, p. 262.

④ RSW, p. 629.

要贯彻这样的一个研究原则，实验是第一要强调的。从皇家学会建立起，学会一直是在培根的实验和归纳的研究方向上，只是1680年代后半才有衰落。牛顿计划^①把学会分成五个学部，即数学力学部、天文学光学部、生物学部、植物学部和化学部。为了要振兴实验，牛顿要在各个部设置有薪水的专业实验员，掌管科学各个门类的发展，向会员展示科学的最新成就。

1704年中，波义耳的学生^②豪克斯比(Francis Hauksbee, 1670—1713)最先由自荐受聘为数学力学部实验员。豪克斯比其人先前颇不为人知^③，1704年以研究暴风雨中的气压变化知名^④，1705年成为皇家学会会员。在研究方法上，豪克斯比崇信实验。他在1710年出版的《物理和力学实验》^⑤一开头就明白指出：“学术界现在已经差不多普遍认为，除了基于合理和精密设置的实验所展示出的结论，没有别的途径可以改进自然哲学，而那些无用的假说，看起来实在和罗曼史差不多……”^⑥他之所以受到牛顿的注意很可能还在于他的很大一部分实验是关于吸引力的^⑦。1706年，他进行了一系列关于电、磁和万有引力的实验^⑧，牛顿看了这些实验以后曾猜想，“所有物体里都藏有一种精气，正是通过这种精气，光和物体发生相互作用”^⑨。牛顿后来在著名

① 牛顿的改革计划见 Add MS 4005. 2, 发表在 David Brewster, *Memoirs of the Life, Writings and Discoveries of Sir Isaac Newton*, Edinburgh: Thomas Constable, 1855, v. 1, pp. 102 - 104; 本书有 New York: Johnson Reprint 1965 年的影印本, 颇便利用。上面引文也见同书, p. 102, 译文参见前引《著作选》扉页。

② 这是根据豪克斯比曾改造过波义耳的抽气机而作的推论。见 Duane H. D. Roller 为重印豪克斯比的《物理和力学实验》写的前言, New York: Johnson Reprint, 1970, p. xiii。

③ 现代研究者对皇家学会的档案研究表明他自 1704 年起颇为活跃, 并由学会支付薪金直至去世(事实上去世以后他的遗孀还领过一次薪水), 见 H. Guerlac 为 A. Koyre 的祝寿文章, 在 *Melanges Alexandre Koyre*, Paris, 1964, pp. 228 - 253。

④ 这篇论文后刊在 *Phil. Trans.*, 292 (1704 - 1705) 1629 - 1630。

⑤ *Physico-mechanical Experiments on Various Subjects*, London: J. Senex, 1710; 这本书有 1970 年影印本。

⑥ *Ibid.*, p. A2。

⑦ H. Guerlac, *Arch. intern. d'histoire des scien.*, 6 (1963) 113 - 128。

⑧ *Phil. Trans.*, 308 (1706) 2335。

⑨ C, v. 5, p. 365。

的“疑问 31”中还引述过豪克斯比关于橘子油的实验^①。

1707年，道格拉斯(James Douglas)受聘在皇家学会担任解剖演示，直至1714年，德萨居利耶(J. T. Desaguliers, 1683—1744)和切斯尔登(William Cheselden, 1688—1752)分别取代了豪克斯比去世留下的空缺和道格拉斯的职位。

德萨居利耶最初可能是因为一组光学实验受到牛顿的重视。但就独创性来说，德萨居利耶的工作较豪克斯比所做的一系列实验要小得多。一般而言，他是在验证牛顿已经作出的结论。他最著名的实验是从高272英尺的教堂顶上让充足气的猪尿泡和一小块铅砝码同时下落，并测得下落时间，为牛顿关于物体在有阻力介质中的运动理论取得了实验支持^②。在他以后的生涯中，德萨居利耶是一个热心讲解宣传牛顿理论的“牛顿派”中坚分子。

切斯尔登和德萨居利耶不同，他被牛顿罗致麾下时已是一个颇有名气的外科医生了。他1713年出版的《解剖学》在当时极为畅销，在出版以后的九十年中，再版十三次。他虽然名列生物学部实验员，其实只是间或到皇家学会去做做演示而已。在以后直到牛顿去世的十几年中，他和牛顿的关系很近——倒不是为了做演示实验，而是为牛顿看病。因为随着渐入老境，从来不生病的牛顿也免不了时常有些病痛了。

和大部分一生成功的老年人一样，牛顿也越来越不能容忍批评，管理学会的做法近于专横；他个性本来就孤僻多疑，现在变得几乎无法和别人共事了。弗拉姆斯蒂德(John Flamsteed)原来在牛顿对彗星的研究中出力颇多，不少他的观测资料为《原理》所引。1694年牛顿去格林威治，和弗拉姆斯蒂德讨论了月球运动理论。在向牛顿提供观测资料时，弗拉姆斯蒂德颇为不智地提出了一些附带条件，引起了牛顿的不快。1695年初牛顿在收到资料时竟拿出两块金币作为抄写的报酬，这在弗拉姆斯蒂德看来简直是一种侮辱。作为格林威治天文台首任台

① *Opticks, op. cit.*, p. 368.

② 牛顿后来在修订《原理》时引用了这一实验，见 *Principia*, pp. 363 - 364.

长,他回信说,这种钱甚至对他的仆人都都是有害的^①。两人这样断断续续地争吵,到了1704年,牛顿当选为会长,他决定运用会长的权威来解决一些长期不能解决的问题。首先是弗拉姆斯蒂德长年积累下来的月球观测数据和一个星表,这个不肯合作的天文台台长始终假托种种借口拒不交出。弗拉姆斯蒂德后来私下里说牛顿“有事需帮忙,眼中才有人”^②,仍旧一味拖延。牛顿一气之下找到女王陛下的丈夫帮忙,说是要赞助弗拉姆斯蒂德出版他的书。这份好意弗拉姆斯蒂德不敢拒绝,于是长达1450页的书稿在牛顿组织的一个编辑委员会的帮助下很快地出版了^③。牛顿的这种“铁腕作风”可不是仅仅针对弗拉姆斯蒂德一个人的。格雷(Stephen Gray)和弗拉姆斯蒂德过从稍密,牛顿就断然否决了他在《哲学汇报》上发表文章的申请^④。惠斯顿(William Whiston)因为曾经发表过反对牛顿的意见^⑤,1720年申请入会就被断然拒绝。

与此同时,皇家学会里出现了一个以哈雷为首的“牛顿派”。一批英国学者,老一代的诸如阿斯顿(Francis Aston, 1645—1715),年轻一些的如格里高利,出于种种原因,无条件地支持牛顿的一切。由他们组成的委员会常常对种种争议作最周密的调查,包括牛顿和莱布尼茨关于微积分的发明权问题^⑥,而其结果则无例外地证明牛顿的说法是最符合事实的。

四、《光学》和所附“疑问”

1703年对牛顿的传记作者来说有三件有意思的事,一是3月3日

① C, v. 4, p. 157.

② 弗拉姆斯蒂德对他和牛顿的争吵有一个很长的说词,1835年由 Francis Baily 刊出,是为 *An Account of the Revd. John Flamsteed*, ... 其叙述部分有 1966 年影印本, London: Dawsons。上述引文在 p. 66。

③ C, v. 4, pp. 420 - 423.

④ R. A. Chipman, *Isis*, 45 (1954) 40.

⑤ 参见 John Nichols, *Literary Anecdotes of the Eighteenth Century*, London, 1812, pp. 500 - 501.

⑥ 见下文第七章第一节。

胡克去世,一是11月30日牛顿当选为皇家学会会长,一是牛顿决定出版他长年来关于光学的研究成果。经过不长时间的准备,《光学》^①在1704年2月问世。

细看《光学》的内容,很容易发现大部分定理和相关的实验都是在过去的二三十年里陆续完成的,很多叙述也曾见于别处,出版商也是熟悉的史密斯氏。这部没有什么十分新的内容的书何以迟至1704年才最终出版,常使后世史家困惑^②。

同《原理》一样,《光学》分为三篇^③。第一篇也是由八个定义和八个公理开头,下文又分上下两部分。第一部分一共八个命题,谈不同颜色的光有不同的折射率和反射率,以及一般的折射规律即后世所称的斯奈尔(Snell)定律;如果不计关于改善(折射)望远镜的讨论即命题7,这一部分有点像我们现在的几何光学。第二部分讨论颜色的本质。一开头先批评颜色产生于光的“修正”说^④,再是用很长的篇幅谈论了白光的分解、棱镜和彩虹。这是牛顿的得意之笔,现在再用更精致的实验加以说明,本来也在情理之中。任何一个略微读过一些牛顿的人都会马上发现,牛顿在“出版说明”里说的^⑤,这本关于光的论述的第一部分是“1675年应皇家学会同人之邀”而写,并在皇家学会的会议上宣读之类,当确乎是事实。

第二篇论干涉,按牛顿说完成于“十二年前”^⑥,也就是1691—1692

① *Opticks, or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light*, London: Sam Smith & Benj. Walford, 1704。现在通行的版本是所谓的爱因斯坦1952年序本,详下。

② 一个通行的说法是牛顿的主要论敌胡克在1703年去世,所以牛顿不再担心发表这些文字或会引起麻烦。最初关于光学的文章发表引出胡克的批评以后,牛顿就曾表示他已下决心不让这些争论来破坏他“一直享有的宁静的自由自在”(C, v. 1, p. 161)。但在1690年代后半期,胡克已为其自身的病痛和经济上的窘迫所困,而牛顿的声望恰在中天,似乎不应顾忌胡克的批评。

③ 《光学》1952年本前有Duane H. D. Roller编写的“导读”,罗列各章内容颇详,很是便于查检阅读。

④ 牛顿用四个实验来讨论,见pp. 113-119,胡克尝力主此说,牛顿自然要详加追究,以彰其谬。

⑤ *Ibid.*, p. cxxi.

⑥ 同前引“前言”。

年间，当时牛顿完成《原理》的写作不久。格里高利 1694 年 5 月 5 日、6 日、7 日的笔记^①曾提到他看见过“光学三卷”，“倘或印出，当可与《原理》匹敌”。格里高利接下来还简单地叙述了他所见到的“光学”的内容，与现在我们看见的颇为相合。可能他在皇家学会也提到过这一文稿，在同年 7 月 4 日皇家学会的日志上有记载说“请他(牛顿)与学会联络以便出版关于光和颜色的论文……”^②但是牛顿迟迟未作反应。1695 年 4 月 10 日，瓦利斯(John Wallis)写信给牛顿^③，直截了当地问他为什么还不把光学手稿尽快发表，并告诉他手稿的某些内容已经在“外国”流传，瓦利斯写道，“你未能对你的学术名声以及你的国家的名声尽力……”这在民族主义科学观念盛行的时代是一个很严重的指责。

牛顿对这封信的回答史籍失考，但是他显然还是再等了十年才把这本书印出来。细看第二篇，四个部分全部都是关于光的干涉的，颇有一些“物理光学”的味道。其中至今仍旧著名的部分有，例如，第一部分的透明薄膜的光学性质和后世所谓的牛顿环^④，第三部分命题 11 关于光的传播不是瞬时的论断，牛顿进一步从罗埃姆(Roemer)对木星卫星掩食的观测推出从太阳到地球需要七八分钟^⑤；还有今天已很少为人所知的光的“猝发理论”^⑥。现代研究者认为，牛顿的“猝发理论”颇类似于胡克在《显微术》里的讨论^⑦。

《光学》第三篇包含十一个“观测”，诸如小孔成像。在原稿上标有“第一部分”字样，但并没有与之相应的“第二部分”。接下来是三十一

① C, v. 3, p. 338.

② C, v. 3, p. 340 引。

③ 瓦利斯(1616—1703)是英格兰科学界德高望重的老前辈，也在剑桥受教育，一生在牛津任 Savilian 数学教授，牛顿早年就是从他的书开始学习高等数学的。这封信在 C, v. 4, p. 101。

④ *Opticks*, Bk. 2, Pt. 1, Obs's. 1, 13, 15.

⑤ *Ibid.*, Pt. 3, Prop. 11, p. 277.

⑥ *Opticks*, Bk. 2, Pt. 3, Props. 12—20。猝发理论是牛顿为说明光通过“任何折射面”时产生明暗相间的现象而提出的一种解释性假说。他后来又在“疑问 17、28、29”中反复讨论了这一说法。

⑦ *PLNP*, p. 111, 胡克认为“光不过是一种在均匀一致的透明媒介中传播的冲动或运动而已……”

个问题,即著名的“光学:疑问”。

牛顿的“疑问”从来为史家重视,因为这是牛顿对自然界的最根本的一些问题的思考。牛顿以“疑问”形式写出,意在此类物事尚无深入考究,尤其缺乏实验依据,所以只能作幻想式的揣测而已。

1704年的《光学》第一版附十六个问题,1706年第一个拉丁文译本^①又加了七个,是为“疑问”17至23。至1717年出英文第二版时,牛顿在原来的“疑问17”之前又加了八个问题,多是关于以太和宇宙媒介的讨论,而原来的“疑问”17至24也顺延为“疑问”25至31。现在通行版本的三十一个问题,也很明显地按此顺序分成三段。

疑问1至16,着重于对光本性的探讨。牛顿在最初几个疑问中反复问道,光是如何与一般物体发生作用的呢?物体对光是不是有超距作用呢?从第6问起,牛顿力图把光和热联系在一起考察。在疑问9中牛顿写道:“火是否就是一种热到足以大量发光的物体?热到发红的铁不是火又是什么?”^②现代读者恐怕很难相信这样的问题会出自大家如牛顿之口,但是正是这种孜孜不倦的追求,构成了人对自然的最基本的理解。疑问12至16列出了牛顿对人如何感受自然现象的五个问题,诸如光是如何在视网膜上“激起振动”的,颜色的失调是不是视神经传递到脑子里去的振动比例不当而引起的。最后牛顿问道,如果用手按住眼睛的一角再移动眼珠,人会看到“像孔雀尾的羽毛那样的颜色”,这又是怎么一回事呢?

1707年的拉丁文版加的七个问题意义最为深远。在疑问27里,牛顿写道:“到现在为止所提出的用光的新变化来说明光现象的一切假说,是否都错了呢?”紧接着,疑问28,他继续问道:“把光设想为一种在流体中传播的挤压或运动的一切假说是否都是错的呢?”说实在的,这些问题对于今天的科学来说,也仍旧还是问题。疑问30牛顿问道,光

① Samuel Clarke 译,本书有两个印本,差别只是在第315页上,牛顿最初说无限的空间“正是”上帝的感官,旋觉不妥,改作“就好像是”上帝的感官。因为有些印本已经发出,所以后来莱布尼茨用前一印本批评牛顿把空间当作上帝的感官。

② *Opticks*, p. 341, 中译见前引《著作选》第164页。

和粗重物体是否可以相互转化呢？当物理学家在 20 世纪中最终看到正负电子的产生和湮灭时，他们可能有机会以充满自豪的心情重读这一疑问；为了回答牛顿的问题，物理学进行了几乎整整三百年的努力。

牛顿的疑问所展示的，不是困惑，而是执著的追寻。在 1710 年代最使牛顿倾注全部精力而不能稍有松懈的，是吸引力概念。疑问 31 则全面展开了这一讨论。

五、讯问自然

“疑问 31”是牛顿对自然作的一次全面的讯问，问题的核心是，什么是物质的基本形态，什么是物质的作用，什么是自然界的终极原因，最后，什么是讯问自然的最好的办法。

牛顿一开始就提出物体微粒之间的超距作用，也就是“它们能对远离它们的东西发生作用”的某种能力或力量。在自然中普遍存在的吸引力显然向牛顿提示了“自然界的一种意向和趋势”，重力、磁力和电力就是明证。可是，什么是“吸引”呢^①？牛顿说，他用这个字只不过是“表示任何一种能使物体彼此趋近的力，而不管其原因何在”。

除了上述人人都能感觉到、观察到的吸引力之外，牛顿还举了大量的，在我们今天看来是关于化学反应和溶解过程的例子，说明“还有尚未被我们观察到的”吸引力。酒石酸盐的潮解、矾油和水混合、硝酸溶解铁屑，在牛顿看来都提示了水粒子和盐粒子、酸和金属粒子之间的吸引作用。牛顿重复了他早先在“论酸的本质”^②一文中的说法，认为溶解是酸粒子猛烈地冲击造成的变化。他进一步发挥说，这种作用可以是如此地猛烈，山峦崩摧，暴雨骤至，水气升入空中，“激起雷电和火球

① 牛顿在本“疑问”稍后也简略地谈到排斥力，见 pp. 395 - 396，中译见前引《著作选》第 205—206 页。

② 即 *De natura acidorum*, Greg. MS fos 17 & 65, 参见本章第一节的讨论。

样的流星”^①，都是显例。所有这些，“足以表明在扰动的过程中，本来几乎是静止的那些物体粒子，投入了一种受强有力的原因所支配的新的运动。这种原因只有在它们彼此接近的时候才起作用……”

在尽数枚举了化学反应的例子以后，牛顿转向我们今天所说的某些物理作用：结晶，毛细作用，两块磨光的大理石在真空中会黏合在一起，海绵会吸水，还有所谓的豪克斯比实验^②，即把两块玻璃一端接触一端稍稍抬起，张成10或15分的角，滴在这两块玻璃之间的橘子油会向玻璃接合处移动，而且，牛顿注意到，“玻璃的吸引力几乎和油滴中心到接合端的距离的平方成反比”。根据所有这些，牛顿断言，“因此，在大自然中必然有某种原因，能使物体的粒子以很强的吸引力互相黏聚在一起”。从最小的粒子开始，渐渐由相互吸引变成比较大的粒子，渐次累积，最后组成了“其大小可以感觉到的那些物体”。牛顿就这样构造了他所面对的宇宙。他于是宣称：

这样看来，大自然本身是很一致的，并且是很简单的，所有那些天体的巨大运动都是由作用于那些物体之间的重力吸引来进行的……^③

物体是由“结实，沉重，坚硬，不可入而易于运动的”，“其大小，形状和其他一些性质以及空间上的比例都恰恰合适”的粒子组成。这些粒子不仅有惯性力，而且还有“积极的本原”即吸引力。这种吸引力是重要的，因为如果只有惯性力和阻力，运动就会渐渐衰减，世界就会衰落下去，最后世界上就不再有任何运动了。而吸引力是抗拒这种衰退的积极的本原，他接着写道：

这些本原，我认为都不是一些隐蔽的、由事物的特殊形式而产

① *Opticks*, pp. 379 - 380, 中译见前引《著作选》第193页。

② *Ibid.*, p. 393, 中译见前引《著作选》第203页。

③ *Ibid.*, p. 394, 中译见第204页。

生的性质的结果,而是自然界的普遍的规律,并且由于它们,事物本身才得以形成;虽然这些规律的原因还没有找到,但是它们的真实性却以种种现象出现在我们面前。因为这些现象才是明显的性质,而它们的原因只是隐蔽着的。^①

这个次序井然的图景,当然不可能是偶然形成的,应该是一个智慧者在一次创造时安排好的,所以,

认为世界只是按照自然规律由混沌中产生出来的,就不符合哲学了;虽然它一旦被创造了以后,就将由于这些自然规律的作用而可以持续许多年代。^②

这个智慧者就是上帝。“上帝是一个统一的整体,没有器官,没有四肢或部分”,虽然世界是他的造物,但他不是这些造物的“心灵”。

从论证的组织 and 论据的详尽来说,疑问 31 无疑是牛顿关于宇宙图景和起源的最完整的解说。大概在《光学》第二版准备期间或稍后^③,在本特利的极力鼓动下,牛顿决定把《原理》再版,并同意让本特利总理其事。本特利本人不通数学,为人也不足道,何以被选中负此重任,颇不为人所解^④。好在不久他就找了一个好帮手,剑桥的天文学普鲁米安(Plumian)讲座教授科茨。

科茨(Roger Cotes, 1682—1716)在三一学院受教育,好像颇是受过本特利的奖掖。科茨既精通天文学,数学造诣也深,担任重版《原理》的编辑,可谓正当其选。他很快就表明,除了文字整理之外,他还要对内容作相当的考究。他第一次对牛顿第一篇命题 91 之推论 2 的证明

① *Opticks.*, p. 401, 中译见第 209 页。

② *Ibid.*, p. 403, 中译见前引《著作选》第 210—211 页。

③ 牛顿第一次提及让本特利准备《原理》第二版,据现有史料,是在 1708 年(C, v. 4, p. 518),当时他已完成了至少一个印张。所以推想此一工作开始于一年前似不至于大错。

④ 据说有人问及这一人选时牛顿回答说,“他想要钱,就让他弄点钱吧”。

提出异议时^①,牛顿颇不以为然,但科茨自有其耐心和韧性,既不触怒牛顿,又决不苟且,竟最终得到牛顿的赞赏^②。在以后的四年中,他和牛顿频繁通信,对第二篇命题 7、33、36、48 等均有贡献。应牛顿之邀,科茨还为《原理》写了一篇很长的序言^③,除了简单归纳了牛顿的主要论述之外,他还花了不少篇幅批评了笛卡尔的涡漩说。1713 年修订完成,7 月 27 日,牛顿把新版《原理》亲手呈送女王。

好像觉得在《光学》疑问 31 里对上帝、自然规律和研究方法的发挥意犹未尽,牛顿在新版《原理》里加了一个“总注”^④。我们还记得他曾考虑过在第一版最后加一个“结论”(Conclusio)^⑤,现在好像是紧接着“疑问 31”,牛顿想对他心目中的上帝再作一次阐发。论述仍从世界所展示出来的理性开始。“这个由太阳、行星和彗星构成的最完美的体系,只能来自一个全智全能的主宰者的督促和统治”^⑥。至高无上的上帝是一个永恒的、无限的、绝对完善的主宰者,拥有对万物的真正的统治权。“他不是永恒或无限本身,但他是永恒的和无限的;他不是时间和空间本身,但他是持续的并且总是在空间中显现自己。”在牛顿看来,上帝应该是非人形的,而且,

正如瞎子没有颜色的观念那样,我们对于全智的上帝怎样感觉和理解所有的事物,也完全没有观念。上帝既无身心,也无形体,所以我们既不能看到,也不能听到或者触摸到他……我们知道

① 这是科茨第一次见诸《原理》再版事宜,见他 1709 年 8 月 18 日给牛顿的信,C, v. 5, pp. 3 - 4。科茨其人见 J. M. Dubbey 撰 DSB 本传,原始资料散见于早期通信集中,DSB 所列甚全。

② C, v. 5, p. 70。牛顿说,“你所做的改正非常好,我很是感激……”这在 1710 年代牛顿和别的学者的交往中当颇为少见。

③ 中译见前引《著作选》第 139—161 页。

④ *Principia*, pp. 542 - 547, 中译见前引《著作选》第 47—53 页。Scholium generale 手稿共有五个版本,即 Add MS 3965, ff. 357 - 358(A), 359 - 360, 361 - 362 (C), 363 - 364, 以及 365, 其中 A 和 C 见于 HH IV, 8, pp. 348 - 366。据牛顿 1713 年 3 月 2 日给科茨的信看,这些手稿的写作当在 1713 年 1 月间。

⑤ 即 Add MS 4005, ff. 25 - 28, 30 - 37, 即 HH IV, 7, pp. 320 - 347。

⑥ *Principia*, p. 544, 中译见前引《著作选》第 48 页。

他的属性,但任何事物的真正实质是什么我们却不知道。^①

牛顿从这一基本认识出发,最后定义了自然哲学:

我们只是通过上帝对万物的最聪明和最巧妙的安排,以及最终的原因,才对上帝有所认识……而从事物的表象来论说上帝,无疑是自然哲学分内的事。^②

自然哲学既被赋予如此重任,它怎样才能保证它的论说是正确的和无歧义的呢?我们还记得《原理》的结构。整个复杂的理论建立在严谨的数学和物理假定之上,这就是第一篇第一章以及“定义和公理”,这种物理假定的真实性又由第三篇开头的“推理法则”保证,这些“法则”实际上既充当了理论内部推理的方法论规范,又提供了理论和现实世界的正常联系。在论说世界体系的第三篇,理论对“现象”的运用和现象对理论的证实使全书论说达到高潮。对于这样的方法,牛顿总结说:

在这种哲学中,特殊的命题是从现象中推论出来的,然后用归纳法加以概括而使之带有普遍性。^③

他在差不多同时对这段话还作了进一步的诠释:

这些原理从现象推出,通过归纳而使之成为一般,这是实验哲学中一个命题所能有的最有说服力的证明。^④

这样,整个实验哲学就通过推理法则建立在“现象”之上了。哲学

① *Principia*, pp. 545 - 546, 中译在第 50 页。

② *Ibid.*, p. 546, 中译在第 52 页。

③ *Ibid.*, p. 547, 中译在第 53 页。

④ *C.*, v. 5, p. 397, 中译在第 7 页。

找到了它的源头,那就是经验,任何意义含混的“假说”不再被允许进入这种哲学。所谓“假说”,牛顿说,就是“不是从现象中推导出来的任何说法”^①,但并不含有足以把公理和公设,或者运动定律都包括在内的广泛意义。牛顿强调说:

我这里所用的“假说”一词,仅仅是指这样一种命题,它既不是一个现象,也不能从任何现象中推论出来,而是一个没有任何实验证明的臆断或猜测。^②

在这个意义上,牛顿骄傲地宣称,“我不杜撰假说”^③。约略同时,牛顿在“疑问 28”里明白表明他不同意笛卡尔“用力学来解释一切”的做法,因为这必然导致凭空构造一些假说,但是“自然哲学的主要任务是不杜撰假说而从现象来讨论问题,并从结果中导出原因……”^④

我们在这儿所看见的,是一种伟大深刻的变化。和中世纪相比,探索自然的火炬从沉溺于冥思玄想的宗教术士的地窖传到了受过系统训练的学者手中,神秘狂热的气氛也渐渐被冷静的观测和细致的推理所代替,建立囊括一切的体系的无边际的野心逐步转化为以发现现象之间的具体联系的小心翼翼的推求。哲学的目的和方法的改变,造成了新的气氛,近代意义的科学以及以此为哲学的哲学就在这种气氛中产生出来。

① *Principia*, p. 546, 中译在第 52 页。

② 同上,1713 年 3 月给科茨的信。

③ 牛顿的原文是 *Hypotheses non fingo*。这段话后来在哲学、科学方法论和科学哲学上屡有讨论。问题开始于 1729 年的英译本,当时本句被译为 ... and I do not frame hypotheses。案 frame 一词常有两方面的意义,或是“构造”,或是“生造”,而原文 fingo 其实并无前一意义。1756 年的法译本作 *et Je n'imagine pas d'hypothese*, 意义当颇为明白:在法文中,imaginer 仅有“生造”之意。本书先前提及的两个中译本均作“我也不作任何假说”,可谓深得 Motte 英译之妙。为避免上述歧义,研究者现在通常把本句译作 and I do not feign hypotheses, 即“我不杜撰假说”。细致的讨论见 A. Koyre, *Newtonian Studies*, London: Chapman & Hall, 1965, pp. 35 - 36。

④ *Opticks*, p. 369, 中译见前引《著作选》第 185 页,译文有稍许改动。牛顿的这一段话在两方面澄清了上面的问题:一是“假说”云云在牛顿心目中盖指笛卡尔理论之类;二是把 fingo 译成 feign 当比较符合牛顿原意,因为“疑问 28”是用英文写的,当无翻译问题。



第七章 晚年

习惯上把 1700 年或稍后一点定为牛顿的晚年,其实当时他还只不过五十八岁。对于一个事实上活了八十五岁的人来说,这似乎说不过去。但是,如果从牛顿的生活形态和思想发展来看,1700 年或稍后却的确是个转折点。在这以后,除了处理日常的行政事务以外,牛顿回忆往事,编辑旧作,但在学问上鲜有创获;他还花了不少精力来维护他的光荣,从追寻显贵的祖先^①到证明他对于各种发明的优先权,颇是乐此不疲。

本章先介绍优先权问题,再论牛顿在科学和神学中的上帝观念。把上帝观念放在“晚年”考察,其实颇有不妥。因为牛顿对于基督教教义的研究事实上起于 1670 年代或甚至 1668—1669 年,而在 1700 年以后倒不见得有什么特别的发展。但是牛顿在 1700 年以后的确花了很多时间精力整理他以前零散的笔记札记,并比较公开地谈论神学问题。我把“神学”多少作为一个专题写成一节,附于本章,并不刻意追求严格

① 牛顿在封爵以后不久,1705 年 11 月 22 日正式提交了他的族谱。这份族谱的草稿见于 Babson、Keynes 和 Yahuda 诸档,并为 Stukeley、More 和 Westfall 所引用。并见 C, v. 7。但在 1725 年牛顿又说他的远祖其实还不是威茨化(Wetsby)的约翰(John Newton, ?—1544?),而是随英王詹姆士一世(James I)一起来伦敦的,见 Brewster 的牛顿传,附录 1。

的编年,意在使得叙述连贯并避免分析过于琐碎耳。其间所论,不过是牛顿的神学研究,至多至于他的神学观念和科学观念的联系,而对牛顿的宗教信仰则未稍涉及。

一、优先权

1700年,特别是1710年以后,牛顿在维护他关于微积分发明的优先权上花费了很多的时间和精力。从科学思想的发展上说,这一问题只有很有限的意义。因为随着科学逐步走出学者的书斋,研究者渐渐形成一个特别的社会群体,研究本身越来越依赖于技术条件,同时或约略同时的发现发明就成了一种颇为常见的现象。但是对牛顿来说,这是关于他的名誉,甚至是关于英国的名誉的大事,自然不能,也不该掉以轻心。

我们还记得牛顿在1669年撰写的《论分析》(*De analysi*)^①,他当时事实上得出了求曲线和坐标所围区域面积的方法。尽管未必严密,但求解的大概线索的确已经明了,而且巴罗(Barrow)在当年6月20日又把这一结果通知了科林斯(Collins),这在当时看来就已是登记在案。1671年7月20日,《论方法》(*De methodis*)又送达科林斯,其内容也颇为数学界同人所了解。这样看来,这段历史应当不致再有可讨论的余地。但是在1700年或稍后,牛顿并不这么认为,他总觉得有人想要窃取他的优先权。

事情开始于二十七八年前。1673年1月到3月,当时在候选侯梅茨(Mainz)幕下服务的莱布尼茨(G. W. Leibniz, 1646—1716)^②到英

① 参见前文第四章第一节。

② 关于莱布尼茨及其学问的文字很多,但大部分是法文或德文的,英文的有 Herbert W. Carr, *Leibniz*, London: Constable, 1929, rpr. New York: Dover, 1960, 书分“生平”、“学问著作”和“影响”三部分。E. J. Aiton, *Leibniz*, Bristol: A. Hilgner, 1985, 是最近出版的综合传记,全书十章,按年代顺序完整地描述了莱布尼茨的一生,包括和中国皇帝的联络(pp. 245 - 246)。莱布尼茨在分析学方面的工作见 M. Kline, 前引数学史,中译第二卷,第十七章;并见 C. B. Boyer, *op. cit.*, Ch. 5。

格兰访问。皇家学会的秘书奥登伯格在4月6日给了他一份介绍英伦数学家工作情形的报告。这份报告最初由科林斯执笔写出，包含有牛顿关于无穷级数的若干工作成果，但并未述及细节。这可能是莱布尼茨第一次听说牛顿在这一方向上的工作。

莱布尼茨生于一个哲学教授的家庭，信奉新教。1672—1676年间，他正在巴黎和法国学者一起孜孜然于新哲学。后世评论家都同意说他是17世纪最重要的学者之一，或者可以说是仅次于牛顿的最重要的学者之一，而颖慧深刻甚至不在牛顿之下，但是命运远非和牛顿可比。事实上，1672—1676年间是他一生最好的时期，以后他就要离别学术中心，回到德意志的布朗斯维克(Brunswick)公爵那儿，在偏僻的汉诺瓦(Hanover)度过余生。他在几乎与知识界隔绝的情况下研究了很多课题，创立了一套哲学——当然，这是后话。在1666年的博士论文《论联合的艺术》(*De arte combinatoria*)^①中，他注意到自然数列的第二阶差和平方序列的第三阶差的消失。在1675年10月间，他发展出一套相当于我们今天所谓的微积分方法^②。在10月29日的笔记中，他得到了某些函数的积分表达式，采用了我们今天通用的符号d和积分符号。同牛顿一样，他显然深受巴罗的影响，所以很早就认识到微分和积分是相反的运算，并在11月11日的笔记中作了相当清楚的表达。在1676年6月到11月，他给出了幂函数微分和积分运算的一般公式。

1676年5、6月间，德国学者考尼格(Samuel Konig)访问英伦，牛顿托他带了一封信^③给莱布尼茨。信上标明的日期是6月13日，莱布尼茨在8月16日收到。在信中，牛顿向莱布尼茨介绍了他关于二项式定理的工作，以及关于级数的研究。这封信还包含了相当数量的《论分

① *Die philosophische Schriften*, 4 (1690) 27 - 102.

② J. E. Hofmann, *Leibniz in Paris 1672 - 1676*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1974, pp. 187 - 201. 又参见, M. Klein, *op. cit.*, 前引中译本, 第十七章第四节, II, 第82—92页。

③ 即 *Epistola prior*, 史称“牛顿致莱布尼茨第一书”, 见 C, v. 2, pp. 20 - 47.

析》(*De analysi*)和《论方法》(*De methodis*)的结果。另一封注为10月24日的长信^①实际上到次年5月才发出,6月11日为莱布尼茨收悉。在这一封信里,牛顿进一步讨论了无穷级数,并告诉莱布尼茨说他已得到了求切线、求极值的普遍性方法。至于这一方法的具体内容,牛顿选用了一个字谜让莱布尼茨去猜。所谓字谜,是把词解析成字母,然后按字母顺序重新排列。例如,想说“我是一个老师”,不写 I am a teacher,而写 3ac2ehimrt,其中3指有三个字母a,2指有两个e,诸如此类。这种字谜非常难解,读者不妨试试下面这个类似的,由相当简单的话编成的字谜: 2ad2ehinor2stw^②。至于更复杂的字谜,而所用文字又可能是英文、拉丁文或任何一种拼音语言,我们可以看出,解出其内容事实上是不可能的。17世纪的学者常喜欢用这样的字谜来发表他们尚未成熟的研究成果,因为这样既可以争取发明在先的优先权,又获得了充裕的时间来补充细节。在10月24日致莱布尼茨的信里牛顿所用的字谜多达273个字母,即使在现代电脑上求解恐怕也非易易。

莱布尼茨显然没有把时间浪费在猜字谜上;即使在偏僻的布朗斯维克,他仍致力于分析学的一般理论研究。1684年他发表了《求极值的新方法》(*Nova methodus pro maximis et minimis*)^③,这是分析学的第一篇正式发表的学术论文。但是,这篇不长的文章刻意模仿笛卡尔,采用了一种“干瘪的过于简约的写法”^④,因此变得非常难懂。但是不管怎样,莱布尼茨在这儿给出了微分的定义,和、积、商、幂的微分法则,还有极值的求法。1686年,他又给出了积分的一般意义^⑤。稍后,在一系列论文中,莱布尼茨把分析学发展成为数学的一种独立的分支。

① 即 *Epistola posterior*, 史称“第二书”,在 C, v. 2, pp. 110-161。

② She was an editor.

③ *Acta Eruditorum*, 1684, pp. 467-473.

④ C. B. Boyer, *The History of the Calculus*, *op. cit.*, p. 209, 中译在第220页。

⑤ *Acta Eruditorum*, 1686, pp. 292-300.

牛顿关于分析学的工作最初出现在《原理》中。1693年，瓦利斯(J. Wallis)在他的新版《代数学》第二卷中对牛顿的流数理论作了简略的介绍。鉴于莱布尼茨已经发表了关于分析学的大部分结论，牛顿在1693年10月16日写信向他公开了一个字谜的谜底^①。事情至此似乎已经完结，分析学在17世纪的两位最重要的数学家手里似乎已经初具规模，问题似乎应该是如何在理论上，尤其是理论的基础上再作发展，使得新方法更臻完美严整。

1699年，两位最接近牛顿的英伦学者分别发表了他们的两部著作，把问题引向了一个新的方向。先是瓦利斯的《代数学》第三卷，全文刊布了牛顿1676年的“致莱布尼茨第一书”和“第二书”；再是法西欧的*Lineae brevissimi*^②，明白提出了莱布尼茨是不是受过牛顿的启发。法西欧的问题带有颇大的煽动性，他问道，“莱布尼茨，微积分的第二发明者，是不是从他(牛顿)那儿借去了什么，我想还是留给那些看过牛顿的信件手稿的人去判断……”次年，1700年，莱布尼茨在《学术通报》(*Acta Eruditorum*)上对法西欧的书作了答辩^③，论战开始了。

在论战的最初阶段，1700—1710年，莱布尼茨强调了他和牛顿对于微积分方法的研究是各自独立的，“据我所知，在牛顿和我之前，没有一个几何学家拥有这一方法……”在充分肯定牛顿的贡献的同时，他坚持了他1684年《极值问题》一文的优先权。1704年，牛顿把《论曲线》(*De quadratura*)和《高次曲线》(*Enumeration*)作为《光学》的附录出版，并在“前言”中写道，“在1679年……给莱布尼茨的一封信里，我提到过这一方法……”^④

《论曲线》写于1691年^⑤，内容是关于流数法的“基本的阐述”。牛顿在文章开头第一段说他最初是在研究运动时发展出流数法的，而时

① C, v. 3, p. 286.

② 即“最速降物线的几何学研究”，*Lineae brevissimi descensus investigatio geometrica duplex*, London, 1699。下文所引在该书 p. 18, 英译在 C, v. 5, p. 98。

③ *Acta Eruditorum*, May 1700, pp. 198–208。下文的引文在 p. 203。

④ *Opticks, op. cit.*, p. cxxii.

⑤ *MP*, v. 7, pp. 24–129; v. 8, pp. 92–159.

间是在 1665—1666 年。但是到 1704—1705 年间它最终被刊出时,其内容已多为人所熟知。《高次曲线》^①谈的是高次曲线,这是牛顿多年来用力甚勤的一个题目^②。莱布尼茨匿名在 *Acta* 上评述了这两篇文章^③,他说《高次曲线》没什么错,可是对几何学(当时对数学的一个习惯叫法)也没有什么贡献;至于《论曲线》,没有处理什么困难的问题而且了无新意,其中涉及的微分方法,正是“其发明人莱布尼茨在本杂志上讨论过的……但牛顿先生未用这一方法而用了流数法,一如他以前惯常所用的那样……”

牛顿可能没有注意到莱布尼茨的书评,因为直到 1710 年,牛顿对莱布尼茨的说法未作任何表示。1710 年,一个年轻人凯尔参加了这一讨论,使得优先权问题变成了一场真正的战争。凯尔(John Keill, 1671—1721)是格里高利(David Gregory)的学生。同他的老师一样,他也是牛顿的忠实支持者。他在 1701 年出版的《物理学初步》(*Introductio ad veram physicam*)可能是第一本系统介绍牛顿物理学的教科书。但是此君后来好像并不十分得意,1708 年争取格里高利在牛津的教席也未能如愿以偿。他大概是通过格里高利认识牛顿的,但在他指责莱布尼茨的文章发表以前,牛顿对他似乎并没有什么十分特殊的印象。

1710 年凯尔在皇家学会的《哲学通报》上发表了一篇文章^④,题目是论向心力。在谈完了向心力之类,凯尔突然笔锋一转,写道:“所有这些定律都是由那一非常著名的流数算法推出的,这一方法毫无疑问是牛顿博士首先发明的……虽然完全相同的算法在改换名字以后又由莱布尼茨博士在《学术通报》上发表。”

① *MP*, v. 7, pp. 588 - 645.

② 牛顿与此相关的早期手稿有 1667—1668 年的 Add MS 3961. 1, 在 *MP*, v. 2, pp. 10 - 18; 1678—1679 年的 Add MS 3961. 4, 在 *MP*, v. 4, pp. 354 - 381; 1690 年代初的 Add MS 3961. 4, 在 *MP*, v. 7, pp. 579 - 587 和 Add MS 3961. 2, 在 *MP*, v. 7, pp. 588 - 645。

③ *Acta Eruditorum*, Jan. 1705, pp. 30 - 36.

④ *Phil. Trans.*, 26 (1708) 185, 这一期通报晚至 1710 年才印出。

莱布尼茨的反应是要求凯尔公开说明他“原来不是这个(暗示莱布尼茨剽窃的)意思”。在1711年3月4日给皇家学会秘书斯娄(Hans Sloane)的信中,莱布尼茨^①提到若干年前法西欧的指责,并说“我教训了他,让他多懂了些事”。皇家学会把莱布尼茨的信转给了凯尔,并写了一封颇为官样文章的回信,附上了凯尔自己的解说^②。凯尔的说辞虽然稍有缓和,但他坚持说牛顿拥有发明的优先权,而且,牛顿工作的内容在1676年通过奥登伯格为莱布尼茨所知。与此同时,凯尔又写信给牛顿^③,报告了莱布尼茨在1705年书评中的说法和他的反应。莱布尼茨当然不能接受他在1676年就知道牛顿的工作细节的说法,于是再度写信给皇家学会^④。1712年3月,皇家学会组成专门委员会调查Keill和莱布尼茨的争论。

这个调查委员会由六个成员组成,清一色的牛顿派。牛顿的挚友哈雷领军,以下是希尔(Abraham Hill, 1635—1721),他是皇家学会最老的会员之一,曾任学会秘书;再是本纳特(Thomas Burnet, 1635—1715),他主要的研究是“洪水之前地球”,著有 *Telluris theoria sacra*^⑤,曾与牛顿通信讨论地球早期历史及其与《圣经》和上帝的关系。这两位成员在当时都已届耄耋,真正活跃的当是另外三位年轻人。

阿布斯诺(John Arbuthnot, 1667—1735)^⑥博士,在牛顿十年前和弗拉姆斯蒂德的争论中受乔治亲王委派主持出版了弗拉姆斯蒂德的观察记录,并在稍后被选入皇家学会;其次是琼斯(William Jones, 1675—1749),他在1708年得到一宗科林斯的

① C, v. 5, pp. 96—98。据英国当时用的日历,信的日期是2月21日。

② C, v. 5, pp. 132—152。

③ C, v. 5, p. 115。

④ C, v. 5, pp. 207—208。

⑤ 《地球圣史》,1681—1689年,后来的评论家称之为当时“最臭名昭著的著作之一”。

⑥ 阿布斯诺在文学和医学上也有造诣,1705年任安妮(Anne)女王的私人医生,撰写过不少政治讽刺散文,其中若干篇颇称脍炙。事在 G. A. Aitken, *The Life and Works of John Arbuthnot*, Oxford: Clarendon, 1892。

通信手稿^①，其中有牛顿早年撰写的《论分析》(*De analysi*)，他于是与牛顿联络，并在1711年出版了这些和优先权争论有直接关系的文件；再次是马琼(John Machin, 1680—1751)。这个年轻人颇得牛顿的赏识，尝称他比任何人都更理解《原理》的精髓，在1713年5月推荐他去格兰瑟姆学院担任天文学教授时，牛顿又称赞他说他在数学上已取得了“非常大的进展”^②。与牛顿同时，凯尔也为他写了推荐信。

这样组成的委员会当然很难作出无偏颇的结论^③。现代研究者注意到，要在这么短的时间里审查这么多手稿和通信，特别是一些数学内容深奥，当时委员会中只有个别人有能力阅读的文字，实际上是不可能的^④。1712年4月24日皇家学会发表了调查委员会的报告。报告共作了四方面的结论，说莱布尼茨的发明是在见到了牛顿给科林斯的信以后才作出的，并且认为凯尔并无大错。报告最后肯定“牛顿早在莱布尼茨开始发表(关于微积分的文字)十五年之前就已拥有此一方法了”^⑤。

事实上，这份报告是牛顿自己写的^⑥，委员会，或者还有凯尔，只是在很次要的地方做了零星的补充和修改。

但是事情并没有完。报告发表的第二年，1713年，先是伯努利(Johann Bernoulli)指出牛顿《原理》第二篇命题10有错^⑦，并称由此可见牛顿对微分运算认识尚有不足，而后凯尔又匿名发表了《伦敦来信》

① 这一部分手稿现由 Macclesfield 家族收藏，除下文所提及的《论分析》和若干数学札记外至今没有出版，牛顿学者中仅 S. P. Rigaud 在 19 世纪上半叶有幸检阅过，部分内容见于氏著 *Correspondence of Scientific Men of the Seventeenth Century*，上下两册，Oxford: Clarendon, 1841。

② C, v. 5, p. 408.

③ 稍后又加入五人，包括普鲁士国王的代表 Robartes，但他们显然没有什么机会参加实质性的工作，因为他们被任命以后不久，最短的只有六天，调查报告就发表了。

④ 参见例如 C, v. 5, p. xxv 和 p. xxvii，并见 A. R. Hall, *Philosophers at War*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1980, p. 178。

⑤ 原文在 *Journal Book of the Royal Society*, v. 11, pp. 287 - 289，这儿采用的见 C, v. 5, p. xxvi。

⑥ 牛顿的手稿至今仍在某私人收藏中，参见上引 C, p. xxv 和 A. R. Hall 的书。

⑦ *Acta Eruditorum*, Feb-Mar., 1713, pp. 77 - 95, 115 - 132.

(*Lettre de Londres*), 重提旧事。7月29日, 莱布尼茨本人匿名在 *Acta* 上撰文^①, 答复皇家学会的报告, 称“牛顿直到别人都熟知以后才知道差分微分的真正做法”。是年年底, 他又匿名回答了凯尔的《伦敦来信》^②, 态度转趋强硬, 称瓦利斯《代数学》第二第三卷所附的有关分析学的论述根本就是他的发明的改写。1714年, 凯尔在牛顿的授意和帮助下^③写出《回应》(*Response*), 回答莱布尼茨的批评。至此争论已经和科学思想的发展全无关系, 和客观地评估历史事实也全无关系了。

张伯雷恩(John Chamberlayne, 1666—1723), 皇家学会的会员, 丹麦乔治(George)亲王、安妮(Anne)女王和英王乔治一世(George I)的宠臣, 在1714年2月写信给莱布尼茨^④, 提出为争论双方调解。莱布尼茨回信说皇家学会的报告是一面之词, 对牛顿本人也有微词。张伯雷恩把这封信给牛顿看了, 希望了解他的意见。牛顿未经前者的同意, 在5月间把信在皇家学会的会议上公布。张伯雷恩对此颇感不快, 他一方面向莱布尼茨道歉^⑤, 一方面退出了这场纠纷。1715年4月孔蒂(Antonio-Schinella Conti, 1677—1748)神父, 可能是受了威尔士王妃的委托, 再次出面调停这场旷日持久而且越来越丑陋的争论。在他的安排下, 牛顿和莱布尼茨直接通了几封信^⑥, 但似乎无济于事。

当时的气氛也不利于和解。1715年2月, 牛顿匿名在皇家学会的《哲学通报》上发表了“说明”, 这是牛顿对他关于分析学的工作的最详尽的叙述^⑦。1716年初, 皇家学会又把一大批显要, 如外国大使, 男爵, 以及英王情妇的丈夫之类, 请来检阅各种支持牛顿的优先权的文件。这些显贵显然无力判断孰先孰后, 于是很得体地建议双方好好沟通。是年11月, 孔蒂随乔治一世访问汉诺威, 他原想和莱布尼茨见面并作

① 即 *Charta volans*, 见 *C*, v. 6, pp. 15 - 19。

② 即 *Remarques*, 见 *C*, v. 6, pp. 30 - 32。

③ 参见 *C*, v. 6, pp. 113 - 114, 128 - 130, 135 - 139, p. 142。

④ *C*, v. 6, pp. 71 - 72。

⑤ *C*, v. 6, pp. 152 - 153。

⑥ *C*, v. 6, p. 215, pp. 250 - 253, 285 - 288, 304 - 312。

⑦ 影印本在 A. R. Hall, *op. cit.*, pp. 263 - 314。

进一步调停,但是后者已于两个多星期前去世。他于是写信告诉牛顿,“莱布尼茨去世了,争论也终结了”^①。

他说对了一半:莱布尼茨是死了,争论却没有终结。1717年,牛顿为拉弗森(Joseph Raphson)的《流数法史》第二版写了一篇相当长的“补充说明”(Observation)^②,并附上了莱布尼茨1716年3月给孔蒂的信。在该书的第一版里,拉弗森说牛顿曾向莱布尼茨描述过流数法,牛顿在他的“补充说明”中不仅没有澄清这一误传,而且进一步否认了莱布尼茨作为第二个,但是是独立的发明者的资格。与此同时,凯尔仍不断地向牛顿提供伯努利为莱布尼茨辩护的情形,并写了一篇很长的答复反驳伯努利。1718年,梅泽(des Maizeaux)为编辑学人通信集致函牛顿,牛顿又写了一篇相当长的说明,再次强调他的优先权^③。

梅泽的《通信集》使得本来已渐渐平静的争论转趋激烈。先是,凯尔告诉牛顿,伯努利是莱布尼茨去世后反牛顿的欧洲数学界的主要代表,是指出牛顿第二篇命题10错误的人,又是为莱布尼茨辩护和批评牛顿的《数学通信》(Epistola pro eminente mathematico)的作者^④。但伯努利随即否认自己曾经撰写该文,并向牛顿发誓说他没有匿名攻击过牛顿^⑤,牛顿也接受了他的解释。可是到了1720年,随着《通信集》的刊出,伯努利当时所持的反对态度似乎成了不争的事实,而牛顿当年对伯努利的种种蔑视的说法也由此公开,后者又要求牛顿道歉。好在对争论最热心的凯尔在1721年8月去世,争论遂转为牛顿和伯努利关于《通信集》的种种讨论,1723年1月伯努利写信给牛顿^⑥,牛顿没有回信,至此,这场大乱终于平息。

① C, v. 6, p. 376.

② C, v. 6, pp. 341 - 349.

③ 参见前文第三章第一节。

④ Epistola 刊于 *Acta Eruditorum*, July 1716, pp. 296 - 314。文章作者原是匿名的伯努利的辩护者,可是在某一处谈到伯努利的一个定理时,行文作“我的”(meam)定理,从而让凯尔猜想作者根本就是伯努利本人,见 C, v. 6, pp. 385 - 386;但伯努利随即否认自己是作者,并解释说“我的”(meam)一词实系“那个”(eam)一词的误印。

⑤ C, v. 7, pp. 42 - 46.

⑥ C, v. 7, pp. 218 - 221.

现代历史学家是以一种惋惜的心情来看这一场对科学、对人类理解自然毫无贡献的论战的。历史学家很早就能说明^①，牛顿确实是分析学的第一个发明者，但是没有证据表明莱布尼茨是在牛顿工作的启发之下，或是在牛顿的基础之上发展出他的分析学的。换言之，莱布尼茨是第二个，但是确实是独立的微积分的发明者。

二、科学和神学中的上帝

牛顿在 1690 年代以前几乎没有公开和人讨论过他的宗教观念。自 1692 年和本特利(Richard Bentley)通信起，他对上帝的理解才陆续为人所知，这在很大程度上造成了牛顿只是在晚年才热心于宗教问题的误解。

我们还记得^②，本特利的问题主要集中在太阳系的起源和构造上，在他那个时代，这就是整个宇宙的最后因：为什么太阳居中普照四方，而所有不发光的天体拱卫环绕；为什么行星轨道大致都在一个平面上，而所有行星都有相同的运行方向……或者简而言之，为什么一切的一切都如此井然。如果本特利再晚生五十年，他还有机会看到 1766 年的提丢斯-波德(Titus-Bode)定则^③，他会更感吃惊或更受鼓舞。问题的本质是，人的理性无法理解太阳系所表现出来的理性：对于人的理性说来，理性只能来自一个理性实体。太阳系所表现出来的理性于是提示了这样一个理性实体的存在，牛顿说，“我不得不认为它出自一个有

① 这个结论最早见于 Brewster, *The Life of Sir Isaac Newton*, London, 1831, p. 216; 数学史研究者 C. B. Boyer 和 M. Kline, 晚近的牛顿研究者如 R. S. Westfall, A. R. Hall 和 D. T. Whiteside 均持类似意见。

② 第六章第一节。

③ 1766 年，德国物理教师提丢斯注意到行星到太阳的平均距离形成一个简单的数列，从水星起，依次为 4, 4+3, 4+3×2, 4+3×2×2, 4+3×2×2×2, …通式为 $(4+3 \times 2^n)$, $n=0, 1, 2, 3, \dots$ 以当时已发现的金、木、水、火、土五大行星和地球而言，理论值和观测数据误差不超过 5%。1772 年柏林天文台台长 Bode 向天文学界介绍了提丢斯的工作并大加宣传。1781 年发现的天王星、1801 年起陆续发现的小行星，都证实了这一“定则”，误差仅在 2% 左右。参见例如戴文赛：《太阳系演化学》，上海：上海科技出版社，1979 年，第一章第五节。

自由意志的主宰……”^①

这种理性,在牛顿看来,不仅见于宇宙的结构和天体的运行,而且到处存在。所有的鸟、兽和人类,都不多不少有两只眼睛、两个耳朵,中间长着一个鼻子……“难道这些都是偶然的巧合吗?”至于眼睛,“为了视觉而造得如此精巧,配合得如此巧妙……难道盲目的偶然性能知道……光及其折射性质,并利用它以最奇妙的方式给动物配上眼睛吗?”^②

在1706年拉丁文版《光学》再版时,牛顿又两次谈到^③,“我们在宇宙中看到的一切秩序和美丽又是从何而来的?……动物的本能又是从何而来的?”牛顿认为,“这些事情是这样地井井有条,所以从现象看,难道不是有一位无形的、活的、拥有最高智慧和无所不在的上帝……”

值得注意的是,上帝是作为最后因,从现象利用理性追溯因果关系时出现的。牛顿这样写道:

……然而自然哲学的主要任务是不虚构假说而从现象来讨论问题,并从结果中导出原因,直到第一个原因为止,而这个原因一定不是机械的……

换言之,牛顿并没有在自然中发现上帝,恰恰相反,他发现对自然的解释需要加上上帝才能完满^④:自然所表现出来的理性必须诉诸上帝,而上帝正是通过这种理性展示他的存在。这种把理性注入神学研究的做

① C, v. 3, p. 234。“主宰”原文作 Agent,似未必有中文“主宰”一词那么强烈的意义。这儿的译文从前引《著作选》第55页。

② A Short Scheme Of the True Religion,即 Keynes MS 7,刊于 H. Mc-Lachlan, *Sir Isaac Newton: Theological Manuscripts*, Liverpool: Liverpool Univ. Press, 1950。引文在 pp. 48-49。I. B. Cohen and R. S. Westfall, *Newton, op. cit.*, 对本文有摘要,在 pp. 344-348。中译见前引《著作选》第78-79页,译文稍有改动。

③ *Opticks, op. cit.*, pp. 369-370, 402-404, 中译在前引《著作选》第185-186、210-211页。下面的引文在第185页。

④ 参见 R. S. Westfall, “Newton and Christianity”,载 Frank T. Birtel ed., *Religion, Science, and Public Policy*, New York: Crossroad, 1987, pp. 79-95,特别是 pp. 81-82。

法并非牛顿首创，在托马斯·阿奎那那儿，我们看见过理性被用来证明上帝的存在；而其更本原的发生，可以一直追溯到十四个世纪以前阿利乌斯和他的学说。

阿利乌斯(Arius, 260—336)是利比亚人，从安提渥克的卢西安(Lucian of Antioch)学，后在亚历山大利亚任教职。319年，他提出了一种后来一直被看作异端的教义。他认为耶稣作为神在人世的化身和代言人于理不通，称耶稣不能和神或上帝并称，并且拒绝奇迹。不同于通常一味强调信仰的教义，在他的学说中，理性占有相当的地位。320年，他被革出教门。325年尼西亚(Nicene)会议正式肯定了“三位一体”为基督教教义正宗，可是阿利乌斯崇尚理性的学说却并未因此消灭。337年起，东罗马皇帝康斯坦丁(Constantius, 317—361)以及以后的几位罗马皇帝都对所谓的阿利乌斯异端持宽容态度，直至381年的康斯坦丁那布尔(Constantinople)会议重申尼西亚关于三位一体的教义，阿利乌斯派才渐次消沉下去。

大约在1550年前后，意大利比埃德蒙(Piedmont)地方的一个医生布兰德瑞塔(G. Blandrata)从阿利乌斯异端发展出来一套所谓一位论教义，重新提出三位一体的问题。西安那(Sienna)人索兹尼(Fausto Paulo Sozzini, 1539—1604)的学生又从这一派发展出所谓的问答派，但颇不为波兰当局所容，17世纪中遂移往英格兰和荷兰发展，彼德尔(John Biddle, 1615—1662)是这一派在英国的最早的代表。

牛顿的神学研究起于1660年代末而贯穿其一生^①。可能是因为三一学院规定要教员在受聘七年之内要皈依国教，牛顿在任鲁卡斯教

① R. S. Westfall 在1982年对 Yahuda、Keynes、New College、Babson、Clark Lib. 收藏以及其他几份零星的牛顿神学手稿共六十六档作了一个系统的介绍(Newton's Theological Manuscripts, in Zev Bechler, ed., *Contemporary Newtonian Research*, London: D. Reidel, 1982, pp. 129 - 143)。以手稿的篇目而言，写于1670年代和1680年的大约占1/3(22/66)，写于1680年代的约占1/4(16/66)，1690年代仅三篇，而写于17世纪的约占1/4强(另有若干手稿的写作时间尚难判断)，因此似乎说不上1670年代、1680年代，还是晚年即1700年以后中的任何一个阶段。若以内容而言，比较完整的论述如关于“启示录”的研究，被称为“起源”的关于教会史的研究和蔚为大宗的年代学研究恰恰分属1670年代、1681—1684年间以及1700年以后这三个阶段。

授后不久就开始了对教义的认真研究。1670年代的最初几年,他似乎很是读了一些经典。1675年关于该教职不必完成宗教方面的要求的皇家赦令显然使牛顿对经典的研究转向更加从容的考证和学术性的探讨,在以后的几年里,牛顿的注意力更多地集中在更深层次的教会史和预言学的研究。1680年代中期,《原理》的撰写恐怕使他无心旁骛,但是,在《原理》接近完成,对于天体运动的规律提出了完美的说明以后,最后因的问题又重新浮现。1690年前后,牛顿又重新提起了他十多年前注意研究过的问题。1700年以后,他的研究兴趣更多地转向年代学,并撰写论文,明显地不同于他早年进行的主要是为阅读和理解的研究。

出于我们尚未了解的原因,牛顿一开始就对阿利乌斯派表现出强烈的兴趣。在一份大约写于1672—1675年间的手稿中^①,牛顿强调了“儿子”不同于“父亲”;在1680年代初的另一份手稿中^②,牛顿用了对他来说不寻常的激烈态度,为阿利乌斯作了辩护。牛顿在这篇长达三万字、一百二十页的手稿一开头,就指责安修那西斯及其信徒编造诬蔑阿利乌斯的故事。安修那西斯(Athanasius, 296—373)曾出席325年的尼西亚会议,328年起任亚历山大利亚的主教。他以后生涯的一大中心就是同阿利乌斯的学说和信徒斗争。他曾报道说阿利乌斯在被革出教门以后死得如何如何悲惨。牛顿列举七条反证,说明这种故事不可信。除了宗教的理由之外,牛顿的反驳听起来颇似今日法庭上律师对证人的诘问。牛顿问道,如果阿利乌斯真的是这么死在康斯坦丁那布尔的,那么,为什么安修那西斯关于此事的报道最初出现在埃及而不是康斯坦丁那布尔呢?为什么在阿利乌斯死了二十四年以后才听说这样的故事,为什么这些报道全都出于阿利乌斯的敌对派,为什么这个故

① Yahuda MS 14, f. 9, 见 RSW, pp. 315 - 316, Article 11, 牛顿写道,“把他(耶稣)等同于圣父于理不通”。

② Paradoxical Questions concerning the Morals and Actions of Athanasius and his Followers, 该文有两个版本,即 Keynes MS 10 和 Clark Lib (L. A.) MS, 刊 H. McLachlan, *op. cit.*, pp. 60 - 118。下引文在 pp. 65 - 66。

事最初只在安修那西斯自己一派人中流传，直到阿利乌斯死后九十年才被基督教史学家记录下来呢？

沿着阿利乌斯学派的基本方向，牛顿发现三位一体是不可理解的。在作于 1670 年代早期的“神学笔记”里，牛顿如他习惯的那样，先在笔记本的天眉上写下他预备讨论的题目，如“耶稣奇迹”、“三位一体”等。值得注意的是，在“奇迹”条目下，牛顿的笔记本完全空白^①。正如他后来常说的，上帝是无形的和无限的，从而才能成为整个宇宙的主宰；而把上帝人形化，说耶稣就是上帝，在理论上不通。在一篇题为《道理》(*Rationes*)的手稿中^②，牛顿列举了七条理由说明为什么他不能接受三位一体的说法。

牛顿从 1670 年代起到 1680 年代初神学研究的另一方向是所谓的预言学^③，而他在这一方面的兴趣，虽然时断时续，竟一直延续到他的晚年。牛顿去世以后不久刊布的一份题为《评预言学和启示录》^④的文字是这一研究的主要产物。1733 年刊本实际上是由两份手稿和另外一些散页编辑而成的，估计是牛顿晚年重新编写或改写的早年的笔记。现代学者对于这部长达 323 页的著作估价不高，虽然未见得一定是“衰朽之年”的“散漫之作”，至少是“惊人的乏味”^⑤。全书分上下两篇，上篇十四章，论《旦以理书》；下篇论《约翰启示录》。

《旦以理书》从开头到第六章说的是旦以理为穆斯林王详梦，梦中

① Keynes MS 2, 参见前引 Westfall 的文章, p. 84。

② 这篇手稿没有全文发表过, L. T. More, *op. cit.*, pp. 642 - 643 摘录过其中的三条。

③ 对“预言学”的断代用前引 R. S. Westfall 的文章, pp. 86 - 87。

④ *Observations upon the Prophecies*, 1733, London and Dublin。开始时似乎没有合适的出版商愿买下这份手稿并整理出版, 但牛顿遗稿的清点人 Thomas Pellet 最终找到了 Benjamin Smith。彼以前颇得牛顿的惠顾, 只得勉为其难。本文在 18 世纪又重印或出版过六次, 19 世纪又三次。1922 年 William Whitla “为了保存圣经学者牛顿关于巴比伦预言家的珍贵研究”, 又予重印并加了一个介绍性的引言, 即 William Whitla, *Sir Isaac Newton's Daniel and the Apocalypse with an Introductory Study ... of Unbelief, of miracles, and Prophecy*, London: John Murray, 1922。参见前引阎康年《牛顿》, 第 448—450 页。

⑤ R. S. Westfall 语, 前者见于 RSW, p. 817, 819, 后者见该氏前引文章, p. 86。

有各种怪兽。从上篇第三章起,牛顿根据新教徒对《圣经》所描述的怪兽^①的传统解释把怪兽的角、胸、足等诠释为古代的巴比伦、希腊和罗马。在第八章里,他特别讨论了罗马主教,这是怪兽的第十一只角^②。《但以理书》用来描述时间的“weeks”在实际上代表多长的日子一直是教义研究者的一个困难的问题。牛顿采用了传统的说法,即一个“week”实际上是七年。于是《圣经》^③所说的七十个“weeks”就是四百九十年。牛顿通过这一推算,认定《但以理书》所说的是从公元前 457 年龙吉马纳斯(Artaxerxes Longimanus)的时候到公元后 33 年耶稣殉难的一段历史。

《启示录》是圣徒约翰在公元 81—96 年的多米西(Domitian)王时代写的,当时他被流放在派特莫斯(Patmos)岛上,但对上帝和基督教教义的信心未尝稍减。在以后的若干世纪中,这一篇文字鼓舞了无数基督徒为理想和上帝前仆后继。牛顿认为这是《圣经》中最重要的一部分^④。牛顿对《启示录》的研究分三段。首先考察了《启示录》撰写的时代,再论《启示录》和摩西诸书的关系,再是和《但以理书》的关系。他不同意传统的说法,认为《启示录》应作于稍早的 54—68 年即尼禄(Nero)时代。对于《启示录》整篇所充满的关于“七”的神秘说法牛顿那儿似乎没有给予特别的重视。七个天使吹起七通号角,打开七重封箴^⑤,天上的争斗,摧毁巴比伦,一直到上帝的最后胜利^⑥,在牛顿看来,不仅如新教徒所说是一种关于教会早期历史的晦涩记录,而且更是关于罗马天主教篡改《圣经》关于三位一体论述的明证。和论《但以理书》的第一篇相仿佛,他研究了《启示录》所暗示的年代并认为,这儿的记录起于公元 381 年的康斯坦丁那布尔会议的传统解释是错的,正确的说法应是起于 607 年,其时所谓的三位一体的教义正被最广泛地接受。

① Daneil 2: 32 - 3.

② Daneil 7: 25.

③ Daneil 9: 24 - 7.

④ RSW, p. 319.

⑤ Rev 5: 1 - 8: 1.

⑥ Rev 19 - 22: 5.

牛顿的这些结论绝非出于冥想。这是他比较了二十五个希腊文版的《启示录》经文，考证了十八九个古代学者的著作以后得出的结果。在这儿我们看见在科学和神学中的同一个牛顿，一个以理性为最高原则、最终追求的牛顿。牛顿从来没有怀疑过基督教的基本原理^①，从来没有怀疑过上帝的无所不在和无所不能。他要做的，是用理性清洗被天主教神父所歪曲篡改了的假教义，从而能发现真正的唯一的神的启示和精神。他认为预言和历史相印证，正是揭示上帝的启示的唯一可以接受的方法。

为了把这种研究贯彻到底，牛顿在 1680 年代初花了相当的时间精力研究古代犹太人的信仰，由此进而研究了犹太人的庙宇结构，进而罗马时代的度量系统^②。他发现，《圣经》中对犹太庙宇的描述正是宇宙（案在牛顿时代即太阳系）的一个缩影：永不熄灭的火在一切的中心，支配着一切。

在 1680 年代初，随着对经典的研究渐渐深入，问题也越来越远离教义本身。除了上述庙宇和度量的问题外，牛顿明显地感到，编年史和年代学也对考证有重大的意义。写于这一时代的一篇手稿——《起源》（*Theologiae gentilis origines philosophicae*）^③，尽管支离杂乱，英文和拉丁文混杂，“一半是牛顿的笔迹，一半是汉弗瑞的抄录”，仍被研究者认为“当然是牛顿所写的最重要的神学论文”^④。

《起源》所考察的，是古人的信仰。牛顿希望通过这一考察发现信仰的真谛，剔除后来被篡改的，不合于理性的伪经。牛顿认为，古人所

① 在 1670 年代牛顿一直持续对《启示录》的研究，这在 Yahuda MS 10. 3, 14, 28, 39 以及 Keynes MS 1 都有明白记录。

② Babson MS 434, Yahuda MS 2. 4, f. 40。牛顿关于度量的研究 A Dissertation upon the Sacred Cubit of the Jews and the Cubits of the Several Nations;... 曾发表在 Thomas Birch ed., *Miscellaneous Works of John Greaves*, London, 1737, v. 2, pp. 405 - 433, 有英译。

③ 即 Yahuda MS 16. 2, 下文常称之为《起源》。多宗异文和散页同见于 Yahuda 手稿和其他一些原属 Portsmouth 手稿的收藏，表明牛顿对这一主题的研究持续了相当的一段时间。

④ R. S. Westfall, *op. cit.*, p. 90.

崇拜信奉的有十二位神,这些神实际上是他们被神化了的祖先。但牛顿马上指出,这一信仰系统并非最古老原始,诺亚所崇信的是单一的唯一的神,即宇宙的创造者,即上帝。上帝派基督耶稣来到世界上,为的是帮助世人重返真正的神的教义,这一教义的精髓不过两条,一是敬爱上帝,一是亲爱邻人,如此而已。对于教义本身,牛顿坚持说,耶稣其实并没有添加实质性的东西^①,而把一个人(案耶稣)当作神是三位一体观念所篡创的偶像崇拜。牛顿还认为,埃及而不是以色列,在基督教的起源上有更重要的地位。牛顿在《起源》里着力说明,真正的宗教教义蕴藏在对自然的研究之中。他举出被称作普里塔尼(prytanea)的先民庙宇^②,

这一真正的上帝的殿堂……用最合适的安排展示了宇宙的整个系统。对于宗教来说,没有什么比这一点更合于理性……

在罗马庙宇中,牛顿说,凡斯塔(Vesta)正是普里塔尼的代表。有趣的是,凡斯塔庙的布局正是以长明火为中心的。《起源》所力图说明的,正是通过研究和赞美造物主的工作进而认识造物主本身以及人对造物主的义务的宗教。

《原理》写作完成不久,牛顿似乎又回到他在1680年代初所潜心探求的三位一体问题。

作为基督教基本教义之一的三位一体观念,在《圣经》中两次被提及^③。特别是在《约翰一书》第五章^④:神、圣经、圣灵三位一体被说得再明白不过了。但是牛顿指出,这不是《圣经》的原文。

① 牛顿在 Keynes MS 3, f. 35 也再次强调了这一观念。

② Yahuda MS 41, pp. 6-7.

③ 即 I John 5: 7 和 I Timothy 3: 16。

④ I John, 5: 7 (King James version)。在以后的各版中,本段迭有改动。King James 版本段作 For there are three that bear record in heaven, the Father, the Word, and the Holy Ghost; and these three are one。Berkeley 版作 So there are three witnesses, ... 近代圣经学者则认为 5: 7 整句都是早期拉丁文译本的注而后来混入正文的,见 M. Jack Suggs et al. ed., *The Oxford Study of Bible*, New York: Oxford Univ. Press, 1992, pp. 1550-1551。

牛顿是通过细致的版本对勘发现问题的。在牛顿的藏书中共有十六本《圣经》，六本英文的，五本拉丁文的，三本希腊文的，另外法文和希伯来文各一。除了这十六本以外，发生问题的《约翰一书》和《提摩太前书》所在的《新约》，牛顿还另有十二个版本，包括一本拉丁-古叙利亚文对照本。我们不知道牛顿阅读叙利亚文的程度，但他在拉丁文和希腊文方面都有很深的造诣，则是没有疑问的。牛顿发现，发生问题的两段都不见于4世纪以前的版本。他于是断言说，这些文字是4世纪时神父们擅自修改纂撰的。牛顿愤怒地写道^①：“在这儿我们可以看到，教士们比异端分子(对《圣经》造成的)破坏更大得多。”

牛顿把他的考释和分析详加铺陈，写成一篇文章^②，并在1690年11月14日寄给了洛克，他当时志同道合的好朋友。稍后又寄上另一篇主题类似的文章^③。在寄出这两篇文字时牛顿曾考虑通过某一途径在欧洲大陆发表他的看法。应他的要求，洛克即与他的朋友、荷兰瑞蒙斯特兰茨(Remonstrants)神学院的教授克勒克(Jean le Clerc, 1657—1736)联络，着手准备将文章译成法文。但不久牛顿又觉得还是不出版的好，所以翻译之类的事也就不了了之了。

为了彻底理清“真正的”宗教最初的情形，牛顿觉得必须对古代史，特别是古代史的系年作细致的研究。年代学的研究起于陶若米尼门(Tauromenium)的蒂迈欧(Timaeus, 前356—前260)，屡经发展，至于公元4世纪，尤西比斯(Eusebius, 260—340)写出了从开创到300年的《编年史》。牛顿在年代学的研究中引进了先前学者没有注意到的两个原则，一是口述历史资料的可靠性必须被置于严格的论证之上^④，二是从整个历史平均来看国王在位的时间为二十年^⑤。利用他的天文学知识，牛顿进一步提出，日食和月食，尤其是黄道二分点进动，可以用来帮

① C, v. 3, p. 138.

② C, v. 3, pp. 83 - 129.

③ C, v. 3, pp. 129 - 144.

④ F. Manuel, *Isaac Newton, Historian*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1963, p. 53.

⑤ *Ibid.*, p. 212.

助判定远古事件的年代^①。他认为在契龙(Chiron)为阿贡拿茨(Argonauts)建造的天球仪上二分点落在白羊座、巨蟹座、摩羯座之中心。和他当时的天文观测数据比较可知二分点移动了 $36^{\circ}44'$,若以每年 $50''$ 的速率推算,易知从契龙时代到1700年前后为2646年,从而进一步推出阿贡拿茨之旅当在西元前957年^②。

用这样的方法,牛顿对古代史作了系统的研究,其结果是两大宗手稿^③,另有448页、大约18万字的手稿在1936年拍卖时为威尔斯(G. Wells)购去。在牛顿去世以后,相当一部分的文字被整理出版,但对现代牛顿研究者说来,这一方向还是“极其枯燥乏味的”^④。

但是,牛顿把年代学的研究进行到了他生命的最后一刻。我们不知道牛顿是否由此对“真正的”宗教有了新的心得。从现有的资料看,牛顿的神学研究似乎未在他的科学研究上留下可以明确指证的痕迹;恰恰相反,在牛顿的神学里,科学的影响却时时可见。理性作为唯一可以信赖的武器,终于确立了自己至高无上的地位。

三、晚 年

一直到1722年,也就是八十岁的时候,牛顿几乎一直享有无病无痛的幸福。他生活一向规律刻板,除了完全不做运动之外,很符合今日的健康准则。他不吸烟,据汉弗瑞说,饮食也很有节制,“冬天爱吃苹果……有时晚间也吃一个烤过的浆果,喝一点甜酒或啤酒”。他很少吃肉,主食是蔬菜和水果^⑤。他似乎一生对橘皮的医疗保健功能笃信不

① F. Manuel, *Isaac Newton, Historian*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1963, p. 66.

② 牛顿的结论后来被证明不真。他推算的原则并没有错,但他所采用的基本数据误差太大。

③ 即 Add MS 3987 和 Add MS 3988。

④ RSW, p. 815. Westfall 说只有几个学者命里注定要下这一“炼狱”(即耗费时间精力去读这些手稿)。

⑤ Edmund Turnor, *Collections for the History of the Town and Soke of Grantham, ...*, London: William Miller, 1806, p. 165.

疑，早上常在早餐前先享用一杯橘皮煮的水，据说可以化痰。他有时也用一些叫做 Leucatello 的补膏，他说能治风痛、瘟疫、肚子痛，或者万一被狂犬咬伤，也能得以避邪保泰。

就好像对别的很多事情一样，牛顿对照顾自己的健康颇为自信，还常把保健心得介绍给亲朋友好。他的弟媳怀孕时身体不适，牛顿曾很认真地建议过一种药粥，本杰明后来很客气地写信致谢，并说他太太当然“决心试一试”^①。外甥女凯瑟琳出天花，牛顿的药方是“温牛奶”^②。皇家天文学家弗拉姆斯蒂德在还没有和牛顿吵翻之前也很得牛顿的关心，牛顿向他介绍了一种特别的梳头的办法^③，据信可以治愈他长期的头痛病。

1724年8月，牛顿忽然呕吐，并吐出豌豆大小的“石块”，但人并无十分不适。继而发生一种结石的症状，继而是肺部的感染^④。但是他的生活似乎仍旧和以前一样：他继续《编年史》的写作，照常参加皇家学会的例会，直到1727年3月2日的会议。回家以后，牛顿觉得颇为不适，于是马上把他的两位医生米德博士和查赛尔登博士找来诊治。

米德(Richard Mead, 1673—1754)早年在意大利普多阿(Padua)学医，1695年学成回国。虽然他对牛顿的病有什么特别的帮助未见于史料，牛顿学说对他似乎是颇有影响。在1712年出版的书里，他提出太阳和月亮对地球的吸引力不仅表现在潮汐上，而且对人体疾病也有关系。查赛尔登(William Cheselden)和牛顿相识得更早一些。我们还

① C, v. 4, p. 187.

② C, v. 4, p. 349.

③ C, v. 4, p. 152.

④ 这是 John Conduitt 的回忆，见他在牛顿去世时为 Fontenelle 写的牛顿生平，载上引 E. Turnor 的书，pp. 158 - 167，引文在 p. 165，并见 MP, v. 1, pp. 15 - 19。但对后来病情的发展，William Stukeley, *Memoirs of Sir Isaac Newton's Life*, London: Taylor and Francis, 1936, p. 82, 提到有小便失禁(前引阎康年书第 48 页作“小便不方便”，似不确；或阎先生一时误将 incontinence“失禁”读作 inconvenience“不方便”也未可知)，并认为不是结石，而是一种血块或发炎引起的肿块。因为 Stukeley 本人也是医生，与牛顿也很接近，他的意见恐怕也不能忽视。

记得牛顿出任皇家学会会长时^①，一大改革就是聘用专职的实验员。可是从私人关系来说，他之于牛顿恐怕更是一位医名颇籍的外科医生。1723年牛顿第一次病倒时他就被聘为主治医生，并确诊牛顿的病为结石。

1727年3月初他们来看望牛顿时，情形已经相当明白：对这位八十五岁的病人来说，他们所能做的事并不多。据当时在场的杜伊康特(John Conduitt)报道，“剧烈的阵痛频繁发作，他(牛顿)满脸是汗，看上去极为痛苦……”^②3月18日星期六，牛顿似乎觉得好了一点，看了一会儿报，还同米德博士很是谈了一会儿^③，但当天晚上六点前后，牛顿陷入昏迷，最后在3月20日凌晨两点前后在他肯辛顿(Kensington)的住宅去世。

3月28日牛顿的遗体移至西敏寺，4月4日安葬。为他扶棺执绋的有议院议长^④以下多位显贵。1731年所立的墓碑概括了牛顿一生的业绩。这座由坎特(William Kent)设计的纪念碑，牛顿居中，前面是棱镜、反射望远镜、天平、焙烧炉和新铸的钱币；牛顿肘下是四本书，书脊上分别标有“神”、“编年史”、“光学”和“原理”；他身后是黑色的金字塔形的碑体，上面刻着1680年彗星行经的天区和星座。法西欧所撰写的碑文颇长^⑤，其中最著名的一段是：

他以几乎神一般的思维力，最先说明了行星的运动和图像，
彗星的轨道和大海的潮汐。^⑥

① 见前第六章第三节。


② 前引 Turnor, p. 166。

③ 前引 Stukeley, p. 83。

④ 前引 Turnor, p. 167。前引阎康年第49页将 Chancellor 作人名，而将 The Lord Chancellor 译作“钱塞洛尔勋爵”，误。

⑤ 载 Brewster, v. 2, p. 291, 并见 W. J. Greenstreet, *Isaac Newton*, London: G. Bell & Sons, 1927, p. 181, 原文是拉丁文。

⑥ 译文采自前引《古今数学思想》第二册，第49页。



参考文献以及 本书注释中引用时所用缩写

在本书的写作中,下列资料被频繁使用。它们在正文注释中常以一些简称和缩写出现,其意义如下(第一次出现时,仍作全称注释):

- Add MS 3996 或 *Certain Philosophical Questions, Newton's Trinity*
Add MS 3975 *Notebook*, ed. by J. E. McGuire and Martin Tamny, Cambridge: Cambridge University Press, 1983。本书引用这两份手稿时并在括弧中注出上引刊本的页次,如 Add MS 3996, f.83 129r (447)即指刊本第 447 页。
- C *The Correspondence of Isaac Newton*, ed. by H. W. Turnbull (vols. 1-3), J. F. Scott (vol 4), A. R. Hall (vols. 5-7), Cambridge: Cambridge University Press, 1959-1977.
- Dialogue* Galileo Galilei, *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems — Ptolemaic & Copernican*, trans. by Stillman Drake, Berkeley: University

- of California Press, 1953.
- DSB *Dictionary of Scientific Biography*, ed. by C. C. Gillispie, New York: Scribner & Sons, 1970-.
- H John Herivel, *The Background to Newton's Principia: A Study of Newton's Dynamical Researches in the Years 1664 - 1684*. Oxford: Clarendon Press, 1965。Herivel 将牛顿的手稿按其理解分成章节,本书在引用时,常注出章名和手稿号,例如,H II a,即 Herivel 上引书,史料部分第二章,手稿 a。如系 Herivel 氏论述,则注页次。
- HH *The Unpublished Scientific Papers of Isaac Newton. A Selection from the Portsmouth Collection in the University Library, Cambridge*, ed. by A. R. Hall and M. B. Hall, Cambridge: Cambridge University Press, 1962.
- MP *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, ed. by D. T. Whiteside, Cambridge: Cambridge University Press, 1967 - 1981.
- Opticks* Isaac Newton, *Opticks*, with a foreword by A. Einstein, New York: Dover, 1952.
- PLNP *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*, ed. by I. B. Cohen, Cambridge: Harvard University Press, 1978.
- Principia* Isaac Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World*, with an historical and explanatory appendix by F. Cajori, Berkeley: University of California Press, 1934.

- RSW R. S. Westfall, *Never at Rest*, Cambridge: Cambridge University Press, 1980.
- 著作选 上海外国自然科学哲学著作编辑组译《牛顿自然哲学著作选》，上海：上海人民出版社，1974年；这一选本译自 H. S. Thayer, *Newton's Philosophy of Nature*, New York: Hafner, 1953。

牛顿研究论文专著汗牛充栋，除了上述原始文献和研究工作之外，正文叙述中涉及的，随时注出。完整的目录学著作止于1975年：Peter and Ruth Wallis, *Newton and Newtoniana 1672 - 1975*, London: Dawsons, 1977；此外 *Newton, Texts, Backgrounds, Commentaries*, ed. by I. B. Cohen and R. S. Westfall, New York: Norton, 1995, pp. 435 - 436, 提供了晚近的最主要的研究进展。



牛顿年表及著作系年^①

1642 年

10 月上旬 牛顿的父亲艾萨克·牛顿(Isaac Newton)在伍尔索普(Woolsthorpe)家中去世,上距他和汉娜·阿斯科夫(Hannah Ayscough)结婚才六个月。

1642 年

12 月 25 日 牛顿生于伍尔索普,这是林肯郡(Lincolnshire)的一个小镇。为纪念死去的父亲,也取名艾萨克(Isaac)。

1646 年

1 月 27 日 母亲汉娜改适巴纳巴斯·史密斯(Barnabas Smith)牧师,牛顿则留在伍尔索普由外祖母玛格丽特(Margaret)照看。

1653 年

8 月 史密斯牧师去世,汉娜重回伍尔索普家。

① 参见 I. Bernard Cohen and Richard S. Westfall, "A Chronology", in *Newton*, New York: Norton, 1995, pp. 431 - 434; Derek Gjertsen, "Life, Career, and Works", in *The Newton Handbook*, London: Routledge & Kegan Paul, 1986, pp. 314 - 319; and J. Edleston, "A Synoptical View ...", in *Correspondence of Sir Isaac Newton & Professor Cotes...*, pp. xxi - lxxxii.

1655 年

在格兰瑟姆(Grantham)镇英王爱德华四世初等小学(Free Grammer School of King Edward VI),住在药剂师克拉克(Clark)家。笔记本 Latin Exercise Book 据信开始写于本时期。

1659 年

12 月至次年 9 月 辍学在家务农,稍后返校,住在校长斯多克斯(Stokes)先生家。开始用所谓的“摩根笔记本”(Morgan Book)。

1661 年

6 月 5 日 被剑桥三一学院录取。牛顿的笔记本“哲学笔记本”(Philosophical Notebook)起于本年,先是一些读书笔记和摘录。本笔记的主要部分 *Quaestiones quaedam philosophicam* (QQP,即“若干哲学问题”)起于 1664 年前后,是研究牛顿早期思想的最主要的资料。

7 月 8 日 在三一学院办理入学手续^①。

1663 年

据信在斯图尔桥书肆(Stourbridge Fair)购欧几里得《几何学》。

鲁卡斯(Lucas)讲席设于本年。

1664 年

4 月 28 日 获得研究生职位。

12 月 10 日 观察彗星,记录在 Add MS 3996, f. 12 93v (357)。这似及以后若干天 乎是牛顿最早的彗星观察记录。《论强迫运动》(*Of Violent Motion*), Add MS 3996, ff. 21 98r - 22 98v

① 案 17 世纪剑桥制度,学生先由各学院录取,并由辅导老师(tutor)负责教育,若干年后得选为 Scholar,或译研究生,如李珩译丹皮尔(W. C. Dampier)《科学史》,北京:商务印书馆,1979 年,第 222 页,以其意约略相近也。再若干年得为学院所用,是为 Fellow,尝见有汉译为“院士”者,误。及学成,始得为剑桥大学本部聘为教授,如若干年后牛顿受聘为鲁卡斯教授然。

(366-371), 即 H I, 据信作于本年。

“废书”(Waste Book)据信始于本年。

冬至

开始对数学、力学和自然哲学认真研究。

次年 1 月

所谓的费茨威廉(FitzWilliam)笔记本中的最早记录起于 1665 年。本笔记有牛顿的五十一条忏悔, 因此备受牛顿研究的心理学派的重视。

1665 年

1 月

获学士学位。

“废书”中的《论反射》写于本年初, 两篇重要的数学笔记《1665 年 5 月稿》(May 1665 Tract) (*MP*, v. 1, pp. 272-280) 和 1665 年 11 月稿(November 1665 Tract) (*Ibid.*, pp. 382-390) 亦写于本年。

《论反射》(Of Reflection), 即 H II b, 《定义》(Definitions), 即 H II c, 《公理和命题》(Axioms, and Propositions), 即 H II d, 据信作于本年。

《论颜色》(Of Colours), 即 Add MS 3996, ff. 69 122r-74 124v (430-443), ff. 91 133v-95 135v(452-463), f. 83v (462-465), 据信作于本年。

8 月初^①

因瘟疫离开剑桥回到家乡伍尔索普。

1666 年

《论颜色》(Of Colours), 即 Add MS 3975, ff. 1-22 (466-489), 《论虹》(On Rainbow) (*MP*, v. 3, pp. 543-549), 写于本年。

3 月 20 日

回剑桥。

6 月

再次离开剑桥回家乡。

10 月

撰写关于流数的论文(后来常被称作 Resolving Problems by Motion, 又称为《1666 年 10 月稿》(October 1666

^① 应早于 8 月 7 日, 见 *RSW*, p. 142。

Tract), 即 Add MS 3958, ff. 49 - 63, *MP*, v. 1, pp. 400 - 448)。

《运动定律》(The Lawes of Motion), 即 Add MS 3958, ff. 81 - 83(C, v. 3, pp. 60 - 66, 同见于 HH II 2);《凡楞》(Vellem)手稿, 即 Add MS 3958, f. 45 (C, v. 3, pp. 46 - 54; 同见于 H III, pp. 183 - 191), 均被定为这一阶段的工作; 作“月地检验”, 发现“其结果甚佳”。《光在球面上的散射》(The Refraction of Light at a Spherical Surface) (*MP*, v. 1, pp. 577 - 585) 作于本年。

牛顿把他的很多发现发明归于 1665—1666 年他在家乡的研究, 这一时期常被称为“神奇年代”(Anni Mirabiles)。

1667 年

- 4 月 回剑桥。研究圆锥曲线, *Enumeratio curvarum* 写于本年。
- 10 月 2 日 当选为三一学院副研究员 (minor fellow)。“化学辞典”即 MS Don. b. 15 起于本年。

1668 年

- 3 月 16 日 当选为三一学院正研究员 (major fellow)。《论圆周运动》(On Circular Motion), 即 Add MS 3958, ff. 87, 89(A. R. Hall, *Ann. of Science*, 13 [1957] 62 - 71, 同见于 C, v. 1, pp. 297 - 303) 写于本年前后, 第一次提出平方反比定律。
- 7 月 7 日 获硕士学位。
- 8 月 5 日 去伦敦, 9 月 29 日返回剑桥。

1660 年

- 代末 《论重力和液体的平衡》(*De gravitatione et equipondio fluidorum*, 即 On the Gravity and Equilibrium of Fluids, HH II 1), *Tractatus de quadratura curvarum* (A treatise of the Quadrature of Curves, *MP*, v. 7,

pp. 24 - 129; v. 8, pp. 92 - 159) 作于此时。

1669 年

- 2 月 23 日 在给皇家学会秘书奥登伯格(H. Oldenburg)的信中详细介绍了反射望远镜。
- 7 月 31 日 《论分析》(*De analysi*) (MP, v. 2, pp. 206 - 247)^①完成, 由巴罗(I. Barrow)寄给科林斯(John Collins)。
- 8 月 购置化学设备, 并购《化学集》(*Theatrum chemicum*), 这是一本有关炼金术的文集。牛顿关于化学和炼金术的笔记本 Add MS 3975 中最早的实验记录见于本年。摘录费拉苔瑟斯(Eirenaeus Philalthes)甚多的 Keynes MS 19 估计写于本年。
- 10 月 29 日 任鲁卡斯教授。
- 11 月 第二次去伦敦, 见科林斯。
讨论物质的统一性的 Keynes MS 12A 被断为本年^②。

1670 年

- 1 月 作光学论文《光学讲义》(*Lectiones opticae*) (A. Shapiro ed., *The Optical Papers of Isaac Newton*, v. 1), 同时为肯克惠森(G. Kinckhuysen)的《代数学》作注释(MP, v. 2)。开始被炼金术吸引。
《论无穷级数》(*De methodis fluxionum et serierum infinitorum*) (On the Methods of Fluxions and Infinite Series, MP, v. 3, pp. 32 - 353) 估计作于 1670—1671 年间。

1671 年

《光学定理》(*Theoremata optica*), MP, v. 3, pp. 514 - 520, 《两重折射问题》(*Problem of Twofold Refraction*)

① 最早的拉丁文本由 Jones 在 1711 年出版, 第一个英译本由 Stewart 在 1745 年完成。

② Betty J. T. Dobbs, *The Foundations of Newton's Alchemy*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1975, p. 133.

Resolved), *MP*, v. 3, pp. 528 - 530, 均见于“废书”, 作于本年。

12月 把反射望远镜送到皇家学会。

12月21日 由瓦德(Seth Ward)提名牛顿为皇家学会会员。

1672年

1月11日 当选为皇家学会会员。

2月8日 在皇家学会宣读关于颜色的论文《关于光和颜色的两套理论》(*New Theory about Light and Colours*), 2月19日刊于《哲学通报》(*Phil. Trans.*), 80, pp. 3075 - 3087(又见于 *PLNP*, pp. 47 - 59 以及 *C*, v. 1, pp. 92 - 102)。稍后自3月25日起连续在本刊发表了七篇光学论文。与胡克(Robert Hooke)进行关于光本性的论战(参见下文“1676年1月”)。

12月10日 致科林斯(J. Collins)论切线。

《论观察》(*Discourse of Observation*) (*PLNP*, pp. 202 - 235)写于本年(参见下文“1676年1月”);《论颜色环》(*Of Coloured Circles Twixt Two Contiguous Glasses*)据信写于本年^①。

1672年前后

开始神学研究,直至1684年。大部分研究者认为笔记本“神学笔记”(即 Keynes MS 2)作于本阶段。《论说》(*Argumenta*)即 Yahuda MS 14 (*RSW*, pp. 315 - 316), 作于本年至1675年间。

1673年

10月 开始在剑桥讲授数学。

《重物下落》(*Gravia in trochoide descendencia*) (*Add*

^① 据 R. S. Westfall, *Archive for History of Exact Sciences*, 2 (1965) 181 - 196。

MS 4003)即 HH II 4 作于本年^①。

1674 年

再访伦敦。

1675 年

- 2月18日 参见皇家学会会议。
- 3月 在伦敦会见波义耳(R. Boyle)。
- 4月27日 三一学院鲁卡斯教授由皇家豁免,不再必须在一定时间里取得宗教教职。
- 12月7日 关于“牛顿环”的工作送达皇家学会,稍后于12月9至16日在皇家学会宣读《关于光的性质的假说》(Hypothesis Explaining the Properties of Light) (C. v. 1, pp. 362 - 386, 同见于 *PLNP*, pp. 177 - 190), *De aere et aethere* 即 Add MS 3960, f. 653 (HH III) 被认为最迟不会晚于本年^②。

1676 年

- 1月20日 在皇家学会宣读《论观察》(Discourse of Observations)。
- 至2月10日
- 夏秋 与莱布尼茨通信讨论数学问题。《“内插”法》^③(*Regula differentiarum*) (Rules of Interpolation, *MP*, v. 4, pp. 36 - 50) 和 *Methodus differentialis* (参见1711年条) 作于本年。
- 6月13日和 《第一书和第二书》(*Epistola prior et Epistola posterior*)
- 11月24日 (First Letter and Second Letter, C, v. 2, pp. 20 - 47; pp. 110 - 161) 送交奥登伯格。
- 12月起 独自在剑桥进行研究。总结制造“哲人汞”的锁匙 (*Clavis*)^④, 即 Keynes MS 18, 可能写于1675—1679

① 纪年用 Hall 的考证, 见 HH, p. 90。

② 参见第四章第五节的讨论。

③ 牛顿并不在现今意义上使用 Interpolation, 故作此译。

④ 原文及英译作为附录刊 B. J. T. Dobbs, *The Foundations of Newton's Alchemy, op. cit.*, pp. 251 - 255。

年间。

《诘阿修那西乌斯》(Paradoxical Questions Concerning the Morals and Actions of Athanasius and His Followers) (H. McLachlan, *op. cit.*, pp. 60 - 118) 写于本年至 1679 年间,文中牛顿明显地偏袒阿利乌斯(Arius)派。

1679 年

- 2 月 28 日 致波义耳函讨论自然哲学问题(C, v. 2, pp. 288 - 295, 同见于 *PLNP*, pp. 249 - 254)。
- 6 月初 母亲汉娜去世。葬礼在 6 月 4 日举行。牛顿在家乡逗留了相当一段时间以后才回到剑桥。
- 11 月 24 日 与胡克通信讨论地球自转对于地上的自由落体下落轨迹至次年 1 月 17 日 的影响(信刊 C, v. 2)。判断以太存在与否的重锤实验据信做于本年^①。

1680 年

- 12 月 12 日 观察彗星的记录。
- 12 月 15 日 继续观察彗星,同时与弗拉姆斯蒂德(J. Flamsteed)通信至次年 4 月 16 日 讨论。
- 16 日 撰写《曲线的几何学》(*Geometria curvilinea*) (The Geometry of Curves, *MP*, v. 4, pp. 420 - 484), 《以指向太阳的重力和可能的椭圆轨道对行星的说明》(A Demonstration that the Planets, by their Gravity towards the Sun, May Move in Ellipses) (HH IV 2; C, v. 3, pp. 71 - 77) 据信作于 1680 年代初。

1682 年

观察哈雷彗星。

1684 年

开始与格里高利(David Gregory)通信。格里高利是一个

^① RSW, p. 376, 这一实验后来见于 *Principia*, pp. 325 - 326。

数学家,从此以后和牛顿过从甚密,1691年牛顿曾推他申请牛津的 Savilian 教授讲席。

8月 哈雷来访,问及与距离成平方反比的吸引力该造成什么样的轨道运动。

10月至11月 撰写《论运动》(*De motu*),即 Add MS 3965 诸篇论文^①。稍后其中一篇在12月10日送到皇家学会,次年2月23日登录。哈雷再次来访。

撰写《宇宙体系》(*Mathesos universalis specimina*) (Specimens of a Universal System, *MP*, v. 4, pp. 526 - 590) 和《论级数》(*De computo serierum*) (On the Computation of Series, *ibid.*, pp. 590 - 616)。

1685—1686年

撰写《论物体的运动》(*De motu corporum, liber primus et liber secundus*) (On the Motion of Bodies, Bk. 1 & Bk. 2, Bk. 1)未闻刊出,*MP*, v. 4 和 *H*, pp. 321 - 326 有讨论, Bk. 2 即《宇宙体系》(The System of the World),见于《原理》(*Principia*), pp. 549 - 626)。

秋至1687年 撰写《原理》。

1686年

4月21日至 作为剑桥大学的代表参加宗教委员会会议。

5月12日

4月28日 《原理》第一篇送交皇家学会,5月19日皇家学会决定出版该书,5月22日起哈雷与牛顿通信商讨《原理》出版事项。6月2日皇家学会指定哈雷全权策划其事。6月30日获佩皮斯(S. Pepys)的出版许可。

^① 即 *De motu corporum in gyrum*, *De motu sphaericorum corporum in fluidis*, *De motu corporum, definitiones*, 以及 *De motu corporum in mediis regulariter cedentibus*, 分别见于 *H IX*, *HH IV 1 MS B*, *HH IV MS A* 或 *H X b*, 以及 *H X a*。

1687 年

- 3月1日 《原理》第二篇书稿送交佩皮斯。稍后4月4日第三篇书稿也完成送出。
- 4月11日 作为剑桥的八个代表之一参加处理 Francis 问题^①。
- 7月5日 《原理》出版。先是，牛顿撰有《总论》(*Conclusio*)，但未与《原理》一同刊出(HH IV 7)。
- 9月28日 讲授《论世界体系》(*De mundi systemate*)。

1688 年

撰《力学原理》(*Elements of Mechanics*)，见 HH II 3。

1689 年

- 1月22日 作为剑桥大学的代表参加国会为威廉三世(William III)至次年1月17日 王位继承问题的会议。牛顿是在1689年1月15日当选为大学代表的^②。
- 结识洛克(John. Locke)和法西欧(Nicolas Fatio de Duillier)^③。

1690 年

《对圣经两处的历史考证》(*An Historical Account of Two Notable Corruptions of Scripture*) (C, v. 3, pp. 83 - 144)作于本年，《几何学》(*Geometria libri tres*) (Geometry in Three Books, MP, v. 7, pp. 248 - 400)估计作于1690年代中。

1691 年

- 1月 在欧茨(Oates)见洛克。

① Alban Francis 是一个教士。1687年2月，英王詹姆二世(James II)下令剑桥授予他硕士学位，但他并未先宣誓认同英国教会。当时剑桥认为这是天主教的又一轮进攻，3月11日校董会议提出詹姆士二世的这一要求是“非法”的。4月21日牛顿和剑桥的其他代表一同参加了和伦敦宗教事务法庭的会议。争论一直延续到5月中旬，后来好像也不了了之，因为詹姆士二世的王位在次年即被剥夺了。

② 剑桥在三名候选人中选出两人，Robert Sawyer 爵士(125票)和牛顿(122票)。据说牛顿在会上只发过一次言，内容是要服务人员把窗关上。

③ 法西欧(1664—1753)，出生于一个瑞士贵族家庭，对科学研究很有兴趣。牛顿以后的很多工作都和法西欧有关。稍后在1690年3、4月间面晤法西欧。

1692 年

- 1 月 往伦敦参加波义耳的葬礼。
- 3 月 2 日 在剑桥见皮凯恩(A. Pitcairne),并将手稿《论酸的本质》(*De natura acidorum*) (On the Nature of Acids, C, v. 3, pp. 205 - 214)交他出版。
- 12 月 10 日 致本特利(Bentley)第一书,次年 1 月 17 日、2 月 11 日和 3 月 14 日复致三书讨论上帝和创造(C, v. 3, pp. 233 - 241, 244 - 245, 253 - 256)。

1693 年

- 1 月至 2 月 法西欧往剑桥见牛顿。
- 5 月至 6 月 牛顿往伦敦见法西欧。
- 春夏 作《普里西斯》(*Praxis*),这是牛顿最重要的一篇炼金术论文^①,作《论曲线》(*De quadratura curvarum*), MP, v. 7, pp. 24 - 129; v. 8, pp. 92 - 159。
- 9 月 13 日 致函佩皮斯和洛克(C, v. 3, pp. 279, 280)。这是发生严重的精神崩溃的最早表现,但至 9 月 28 日即近乎恢复常态。

1694 年

- 5 月 在剑桥见格里高利,后者关于牛顿工作的笔记始于此时。
- 9 月 1 日 往格林威治见弗拉姆斯蒂德。

1695 年

作《星光折射》(*Tabula refractionum siderum ad altitudines apparentes*) (Table of Stellar Refractions at Different Apparent Altitudes, C, v. 4, p. 95); 修改 *Enumeratio curvarum*, 见 1704 年 2 月条。

^① 英译及现代重印本见 Betty Jo Teeter Dobbs, *The Janus Faces of Genius*, *op. cit.*, 附录, 系年从 I. B. Cohen and R. S. Westfall, *Newton*, *op. cit.*, p. 308。

1696 年

- 英国货币改铸。先是，牛顿撰《论英格兰钱币》(Concerning the Amendment of English Coins)，未刊，藏伦敦大学金史密斯图书馆(Goldsmith's Library, Univ. of London)。
- 3月19日 被任命为造币厂主事，稍后4月20日到任，8月移居伦敦杰明(Jermyn)街。
- 4月13日 被任命为造币厂总监(Warden of Mint)(C, v. 4, p. 200)。
- 6月 撰《造币厂现状》(The State of the Mint) (C, v. 4, pp. 207 - 208)。

1697 年

- 1月29日 解出伯努利(Bernoulli)提出的数学难题^①，2月24日在皇家学会匿名宣读(C, v. 4, pp. 220 - 229)。
- 《伦敦塔造币厂》(An Account of the Mint in the Tower of London) (C, v. 4, pp. 233 - 235)、《造币厂情形》(Observations Concerning the Mint) (C, v. 4, pp. 255 - 258)，作于本年。

1698 年

《答夏洛那先生》(An Answer to Mr. Chaloner's Petition)(C, v. 4, pp. 261 - 262)，作于本年。

1699 年

- 2月21日 当选为法国科学院外籍院士。
- 11月30日 被选入皇家学会理事会。
- 《一种从海上观察月亮与诸星距离的仪器》(An Instrument for Observing the Moon's Distance from the Fixt Stars at Sea)(PLNP, pp. 236 - 238)作于是年^②。

① 1696年6月伯努利在 *Acta Eruditorum* 征求对“最速降落”的解，牛顿于收到问题的当天即着手求解，至次日早晨四点完成，参见 RSW, pp. 582 - 583；并在1月30日通知 Montague, *MP*, v. 8, pp. 72 - 79。

② 但迟至1742年10月28日才在皇家学会宣读。

发生与莱布尼茨关于发明微积分优先权的争论。

1700 年

- 2月3日 被任命为造币厂总监,参见 C, v. 4, pp. 320 - 321。
把《对从海上观察月亮与诸星距离的仪器的描述》(A Description of an Instrument for Observing the Moon's Distance from the Fixt Stars at Sea) (PLNP, pp. 236 - 238)交给哈雷。

1701 年

- 1月27日 牛顿在剑桥的课转由威斯顿(William Whiston)代。
5月28日 在皇家学会匿名宣读 *Scala graduum caloris*。
7月 《论金银币》(Directions about the Trial of the Monies of Gold and Silver in the Pix)(C, v. 4, pp. 371 - 373)。
11月26日 由三一学院选入国会^①。
12月10日 辞去鲁卡斯教职,辞去三一学院教职。
12月20日 任国会议员。
至次年7月

1702 年

- 秋 往奥茨造访洛克。《论月亮》(*Lunae theoria*)出版。作《若干外币的价值》(The Values of Several Foreign Coins...)(C, v. 4, pp. 388 - 390);《证券》(Securities)(C, v. 4, p. 392);设计安妮(Arne)女王加冕纪念章。

1703 年

- 3月3日 胡克去世。
11月30日 当选为皇家学会会长。

① 本届议会从1701年12月到1702年7月行使权力。牛顿在三一学院竞选时得161票,第三名候选人 Hommond 以64票落选。他后来散发了一本题为 *Considerations upon Corrupt Elections of Members to Serve Parliament* 的小册子,说牛顿等人得到东印度公司的赞助贿选,牛顿没有回答这一指责。

1704 年

- 2 月 《光学》出版,《三次曲线》(*Enumeratio linearum tertii ordinis*) (An Enumeration of Cubic Curves, *MP*, v. 7, pp. 588 - 645)附此。
- 4 月 到格林威治访弗拉姆斯蒂德。

1705 年

- 1 月 23 日 向女王的丈夫乔治(George)建议出版弗拉姆斯蒂德的著作。
- 4 月 16 日 安妮(Anne)女王在三一学院马斯特堂(Marster's Lodge)授予牛顿贵族称号。这是英国给予有功于国家的平民的最高荣誉。从此牛顿姓名前加“Sir”。
- 5 月 17 日 在国会选举中落选。

1706 年

拉丁文版《光学》出版,“疑问”部分增加的七个问题(*MP*, v. 8, pp. 200 - 219)作于本年。

1707 年

- 《通用数学》(*Arithmetica universalis*)^①(*MP*, v. 5, pp. 54 - 491)出版。
- 4 月 15 日 同格里高利一同去格林威治。
- 11 月 负责铸造英格兰和苏格兰统一的钱币,事见 *C*, v. 4, pp. 508 - 509。
- 估计本年早些时候本特利说服牛顿再版《原理》。

1709 年

- 10 月 11 日 开始与科茨(Cotes)通信讨论《原理》第二版出版问题。

1711 年

- 3 月 《分析学》(*Analysis per quantitatum*)出版,继续与莱布尼茨为优先权的争论。

① 由 W. Whiston 编辑,英译本在 1720 年由 J. Faphson 完成。

《论电力》(*De vi electrica*) (On the Electric Force, C, v. 5, pp. 362 - 369)估计作于本年或稍晚。

《微分方法》(*Methodis differentialis*) (MP, v. 8, pp. 244 - 255)由 Jones 出版。

撰《论金银》(Of the Assaying of Gold and Silver, the Making of Indented Trial-pieces,...)(C, v. 5, pp. 84 - 88),这是牛顿对所谓的 Pyx Trail 的申辩。

1712 年

3 月 6 日 皇家学会成立专门委员会调查优先权问题。

4 月 24 日 该委员会写出报告支持牛顿。

1713 年

1 月 发表《科林斯通信集》(*Commercium epistolicum D. Johannis Collins et aliorum*) (The Correspondence of John Collins and Others),公开指责莱布尼茨剽窃。

6 月 30 日 《原理》第二版出版,其中加入了“总注”(Scholium generale),见 HH IV 8。

8 月 1 日 与哈雷一同访问格林威治。

《铜币》(Memorandum Concerning a Copper Coinage) (C, v. 5, pp. 415 - 416),写于本年,这是牛顿为铸造铜辅币作的计划,次年又作《再论铜币》(Observations on the Copper Coinage)(C, v. 6, pp. 99 - 100)。

1715 年

2 月 匿名出版《说明》(*Account*) (参见 1722 年),撰《论光媒体》(Observations Concerning the Medium through Which Light Passes,...),刊于《皇家学会会刊》(H. Guerlac, *Notes and Records of the Royal Society*, 22 [1967] 45 - 57)。这是牛顿晚年对以太或媒介的考察,或以为他曾考虑对《光学》作一补充。

11 月 所谓莱布尼茨-克拉克(Leibniz-Clarke)通信起于本月。

莱布尼茨写信给牛顿指出牛顿工作中的五个问题，同时把抄件寄给了他以前的学生、威尔斯(Wales)王妃夏洛琳(Caroline)，后者又把信转给了克拉克(Samuel Clarke)。克拉克和莱布尼茨共有五次信件往来，讨论上帝和其他自然神学问题。

1716 年

为夏洛琳(Caroline)公主撰写关于年代学的“提要”；《“类似”一词辨析》(Queries Regarding the Word Homousios)，即 Keynes MS 2 或 Yahuda MS 15. 3 - 15. 5, 15. 7 据信写于本年或稍后^①；解出所谓的伯努利第二题(MP, v. 8, pp. 424 - 434)。

11 月 14 日 莱布尼茨去世。

1717 年

《光学》英文版第二版出版，又增添了八个问题。

9 月 21 日 发表《论金银币》(State of Gold and Silver Coins) (C, v. 6, pp. 415 - 418)。

1719 年

《光学》拉丁文版第二版出版，次年法文版出版。

1721 年

《光学》英文版第三版出版。

1722 年

An Account of the Book Entituled Commercium Epistolicum 匿名在 PT, 342, pp. 173 - 224 出版^②。

出现结石症状。

1725 年

3 月 27 日 表示不希望《编年史简编》(*Short Chronology*) 出版。

① 现代重印本：H. McLachlan, *Sir Isaac Newton: Theological Manuscripts, op. cit.*, pp. 44 - 47。

② 现代重印本：A. R. Hall, *Philosophers at War, op. cit.*, pp. 263 - 314。

是年肺部发生感染。

1726 年

3 月 31 日 《原理》第三版出版。

1727 年

3 月 2 日 最后一次出现在皇家学会会议。

3 月 20 日 逝世。4 月 4 日葬于伦敦西敏寺(Westminster Abbey)。

1728 年

《古代王国编年史修订本, 编年史简编, 论世界体系》(*Chronology of Ancient Kingdoms Amended, Short Chronicle, De mundi systemate, The System of the World*)出版。本书由康杜伊特(John Conduitt)负责编辑, 长达 346 页^①。

1729 年

《光学讲义》(*Lectiones opticae, Optical Lectures*)和《原理》英文版出版。

1733 年

《论丹尼尔和圣约翰启示录预言》(*Observations upon the Prophecies of Daniel and the Apocalypse of St. John*)由本杰明·史密斯(Benjamin Smith)出版^②。

① 现代重印本: Stuttgart — Bad Cannstatt facsimile reprint, 1964。这是据 1785 年的一个版本影印的。

② 现代重印本: William Whitla, *Sir Isaac Newton's Daniel and the Apocalypse with an Introductory Study . . .*, London: Hohn Murray, 1922。