

格致人文读本

A Short History  
of Science to the Nineteenth Century



科学简史

[英] 查尔斯·辛格 (Charles Singer) / 著 孔庆典 马百亮 / 译

格致出版社 上海人民出版社



辛格在本书中试图简要地向读者展现物质世界的观念是如何发展的,时间从公元前 600 年至 19 世纪,19 世纪对科学理论经典主体的确定,奠定了现代科学的学科基础。

辛格以实验科学为主线,向读者介绍了科学体系的兴起、发展、阻滞、没落、变革、复兴以及新的尝试。如辛格所言,科学并不是一个固定不变的知识体,科学也是不断发展和自我修正的。

*A Short History  
of Science to the Nineteenth Century*

您可以通过如下方式联系到我们:  
邮箱: [hibooks@hibooks.cn](mailto:hibooks@hibooks.cn)



微信



微博

上架建议: 世界历史

ISBN 978-7-5432-2585-5



9 787543 225855 >

定价: 58.00 元

易文网: [www.ewen.co](http://www.ewen.co)

格致网: [www.hibooks.cn](http://www.hibooks.cn)



# 科学简史

[英] 查尔斯·辛格 (Charles Singer) 著 孔庆典 马百亮 译

格致出版社  上海人民出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

科学简史/(英)辛格(Singer, C.)著;孔庆典,  
马百亮译.—上海:格致出版社:上海人民出版社,  
2015

(格致人文读本)

ISBN 978-7-5432-2585-5

I. ①科… II. ①辛… ②孔… ③马… III. ①自然科  
学史-世界-普及读物 IV. ①N091-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 272165 号

责任编辑 顾悦  
装帧设计 路静

格致人文读本

## 科学简史

[英] 查尔斯·辛格 著  
孔庆典 马百亮 译

出版 世纪出版股份有限公司 格致出版社  
世纪出版集团 上海人民出版社  
(200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co)



编辑部热线 021-63914988  
市场部热线 021-63914081  
www.hibooks.cn

发行 上海世纪出版股份有限公司发行中心

印刷 苏州望电印刷有限公司  
开本 787×1092 1/16  
印张 22  
插页 2  
字数 341,000  
版次 2015 年 12 月第 1 版  
印次 2015 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5432-2585-5/K·196

定价:58.00 元



## 编辑的话

《易》曰：“观乎天文，以察时变；观乎人文，以化成天下。解天之文，则时变可知也；解人之文，则化成可为也。”对“人文”的关注和反思，无论中外和古今，是人类文明史上“永恒”的话题。然而 20 世纪以来，人类往往因掌握了引领时代发展的科学技术而沾沾自喜，物质生活日趋丰富的同时，精神活动空间却日趋褊狭。反映在学科教育上，即教育趋向职业化、工具化，无法传递人文关怀、人性之美。耶鲁大学教授安东尼·T.科隆曼(Anthony T.Kronman)认为，人文教育的本质就是通过阅读伟大的文学和哲学作品而去“探究生命的意义”。今天，我们重提人文学科，再次发掘人文学科的魅力和价值，目的也就在于为久浸于科技文明喧嚣的读者，营造一方“解人文，思自我，通古今，知天下”的精神家园。

当今的人文学科，超出了传统意义上文史哲的范畴，涵盖了艺术学、教育学、语言学、社会学、考古学等各个专业。学者对人文学科旨趣、致思方向和思维方式的探讨，使得人文科学的知识体系更加宏大，研究对象愈发复杂，研究方法日趋多样。近年来人文科学的发展，更是取得了举世瞩目的成就。为方便读者便捷、有效地了解古今中外杰出的研究成果，我们遴选了 20 世纪以来人文研究领域兼具学术性和普及性的经典著作，汇集为“格致人文读本”，其内容涵盖了人文及社会科学理论的探讨和各领域的具体研究，且每一种都有相对独立的研究

范围和专业性,但又不同于普通的专业教科书,兼具可读性和学术性。

“心理东西本自同,文明新旧总相宜。”我们希望以这套丛书的出版为契机,为广大高等院校师生和爱好中西文化的社会大众,提供开拓视野的路径、思考与批判的平台、点染启迪心灵的气韵,进而在整个社会,尤其在高校中培育深厚的人文精神滋养。



## 译者序

20 世纪上半叶是现代科学史研究的兴起和繁荣时代。彼时的科学史先驱们满怀学科创立之初的激情和使命，皆不惮单枪匹马地为宏大浩瀚的科学历史“树碑立传”，其间出现了一批科学“通史”著作，其中包括“科学史之父”萨顿未完成的三卷本巨著《科学史导论》、丹皮尔的《科学史》(1929 年)、梅森的《自然科学史》(1956 年)，以及辛格的这本《科学简史》(1959 年)。

中国读者最早接触到辛格大概是因为《技术史》的出版。这部皇皇巨著多达七卷，当年从组织翻译到正式出版都堪称中国科技史界的一件盛事。作为该书的主要编者，亦是国际科学史研究界的先驱和元老之一，辛格对于中国读者来说可谓姗姗来迟。

查尔斯·辛格 1876 年出生于伦敦的康伯维尔，父亲是一位著名的希伯来学者。辛格早年在伦敦城市学校和伦敦大学学院(UCL)学习，其后从医，曾辗转埃塞俄比亚、新加坡、埃及、希腊和意大利等地，定居伦敦后从事病理学研究。不久兴趣转到了科学史、特别是医学史的研究，这也为他带来了世界性的学术声誉。值得一提的是，辛格的夫人多罗西娅·韦利·科恩(Dorothea Waley Cohen)也是一位著名的学者，两人于 1910 年结为伉俪，辛格的研究生涯也随之掀开了新的一页。婚后，这对夫妇先是去了海德堡扩展自己的学识，随后受邀来到牛津，很

快便成为一个科学史研究团队的核心,他们的办公室便在牛津大学标志性的拉德克利夫圆楼(Radcliffe Camera)里。然而第一次世界大战的爆发使辛格回归了传统的医学研究,借此为英国的皇家陆军服务。在这期间,他在萨洛尼卡学习了希腊语,在马耳他开展过考古学和人类学的研究,而辛格夫人则编撰了《不列颠诸岛炼金术手稿目录》。1917年,辛格出版了《科学的历史与方法》第一卷,三年后第二卷面世。战后辛格返回牛津,获得了一个生物学史讲席,但不久之后便转回母校伦敦大学学院从事医学史的研究。在那里他工作到退休,于1931年获得教授职位。退休后,辛格出于健康原因迁居英格兰西部的康沃尔郡,依然精力充沛地从事科学史的研究,先后完成了《最早的化学工业》(1948年)、《维萨留斯关于人脑的研究》(1952年),以及这本《科学简史》(1959年)。正是借着《最早的化学工业》的完成,辛格进入了技术史这个于他来说的崭新领域,不久之后更成为《技术史》的主编,主持完成了前五卷。尽管该书的最终完成倚仗的是更年轻的同行,但辛格始终密切地关注着这部巨著的进展,并将其视为一生中最大的成就。

退休之后,辛格还担任过英国科学史协会的主席(1946—1949年)、国际科学史协会的主席(1947—1950年),1960年6月10日遽归道山,享年84岁。他的一生被认为见证了现代科学史研究的发端与繁荣,并为之贡献良多。读者所见到的这本《科学简史》,正是辛格转到技术史研究之前完成的最后一本科学史著作,亦是他一生科学史研究的总结。本书的翻译和出版,或可进一步增进中国读者对辛格其人以及20世纪上半叶那个现代科学史研究的兴起和繁荣时代的了解。

本书的翻译被列入“格致人文读本”项目。感谢主持此项目的陈恒教授,他的信任和宽容使得本书的翻译能够始终得以从容地进行;感谢王幼军教授的举荐,对经典的翻译和研读总能使人获益良多;感谢格致出版社的顾悦女士,没有她尽责的温柔相催,恐怕本书的完成还要遥遥无期。此外,还要一并感谢在翻译过程中给予过各种帮助的涂毛毛、胡小波、张朦、王嫣、朱双双、高飞、黄敏华、姬瑞艺和梁峰。译事维艰,再精彩的原著,再充满干劲的开端,也敌不过翻译期间各种琐事的干扰以及翻译后期的疲惫,对经典的敬意和期待是译者坚持下去的动力源泉。

本书的导论、前言以及前七章由孔庆典翻译,第八章和后记由马百亮翻译,



## 译者序

后期的统稿及校对由孔庆典完成。本书既可补已有各种科学史中译本之遗阙，供科学史研究者或其他专业之学者参考，又可供一般读者做日常的闲读。对于书中出现的大量人名，本书并未依据诸如拉丁文或希腊文的统一译名规范，而是尽可能取用约定俗成或者使用较广泛的译法——然而到底常用到何种程度才算得上是“约定俗成”或者“通译”，恐怕某些时候仍然是一种见仁见智的个性选择。囿于译者的水平，在这种选择乃至其他方面的翻译中难免会出现各式的错误，还请宽容的读者诸君指正并且谅解。

孔庆典

2015年12月

古代的世界就是古代的世界，一草一木都是古代的；这不是我们揣想臆测的古代，不是从我们现在出发倒推出来的、整理规范出来的古代。<sup>①</sup>

——弗朗西斯·培根

所有世代的所有人都应当看作一个人，生生不息，学习不止。

——帕斯卡

---

<sup>①</sup> 此句引自 *Advancement of Learning*, 1605, Book I, v, 8。感谢吴以义先生的高译。——译者注



## 前 言

这本书试图简要地展现一个关于理性的、相互联系的物质世界的观念是如何发展的。因此，它主要涉及的是物理学和生物学这样的学科，而不包括心理学、社会学或是抽象的数学问题。19世纪对科学理论经典主体的承认是一个自然的休止符，它奠定了现代科学的学科基础。

这样一本简单的小书只能涉及众多思想发展主线中的很少一部分，对于学术复兴以降的时代尤其如此。为了应付这些晚近的世纪，我不得不诉诸一种“类型体系”，根据范型来挑选人物、运动、进展以及发明。没有任何两个作者的选择会相同，而我的选择很大程度上着眼于叙述的连贯性，并集中在诸如能量定律、原子论和进化论这样的理论进展上。

即便是最简单的概述也无法让人满意地囊括2500多年来人类的任何一项活动，对于科学来说尤其如此。对于如何写作本书，我深感乏例可循。目前的情况，比较全面的通史作品数量寥寥，满目皆是时间上相对晚近的断代著作，而对于这样一本书该如何写作，还没有形成共识。我个人的构想是——当然我也意识到应当——以实验科学为主线来贯穿本书。

在本书初现雏形之前，我投身此项工作业已经年。在整个过程中，我的妻子和我始终汲汲于一些辅助性的事务，回头看来，每一件事务都显得那么不可或

缺。道格拉斯·麦基(Douglas McKie)博士在很多方面给予了我特殊的帮助,并至少使我避免了一些错误。此外,他还撰写了第八章第四节的大部分内容,以及第五节的部分内容。假使没有他的参与,本书的完成将无可避免地拖得更迟。我要向他致以深深的感谢。

我还要将此书献给两位身处大西洋彼岸的同事:乔治·萨顿<sup>①</sup>和亨利·西格里斯特<sup>②</sup>。我与前者相知已逾半生,与后者尽管相识较短,但那也仅仅是因为其生也晚。我深深感谢他们的工作以及他们的人格力量。

最后给亲爱的读者们一个建议。本书的论点有时难免有些错综难解,并且随着内容的展开,此种情况还会加剧。但我以为只要在叙述时保持观点明晰,便能够使人比较容易地加以把握。本书的目录正可以帮助到读者。

查尔斯·辛格

1941年4月

## 附 注

在这新的一版中,我修订了一些错误。感谢指出这些错误的 E.N.安德雷德教授、朱利安·赫胥黎博士、D.麦基博士,以及 F.J.诺思博士。

查尔斯·辛格

1943年3月

---

① 乔治·萨顿(George Sarton, 1884—1956年),比利时人,现代科学史学科的奠基人。——译者注

② 亨利·西格里斯特(Henry Sigerist, 1891—1957年),瑞士人,现当代最重要的医学史家之一。——译者注

# 目 录

前言 / 1

导 论 科学进程的本质 / 1

第一章 体系的兴起——奠基：爱奥尼亚，大希腊，雅典(约公元前 600—前 400 年) / 7

第二章 伟大的探索——完整的思想体系：雅典(公元前 400—前 300 年) / 28

第三章 勇气的挫败——科学和哲学的分离：亚历山大里亚(公元前 300—公元 200 年) / 49

第四章 灵感的阻滞——科学，实践的婢女：罗马帝国(公元前 50—公元 400 年) / 80

第五章 知识的没落——中世纪：神学，科学的女王(约 400—1400 年) / 107

第六章 学术的复兴——人文主义的兴起：重返古代(1250—1600 年) / 139

第七章 造反的世纪——推翻亚里士多德，尝试新的综合(1600—1700 年) / 159

第八章 机械的世界——决定论的登台 / 209

后记 / 318

人名索引 / 322

## 插图目录

- 图 D.1 马格达林时期的欧洲野牛画(牛的心脏部位嵌着箭,来自法国) / 3
- 图 D.2 小亚细亚半岛的西部 / 5
- 图 1.1 直角三角形之各边平方关系的一个特例 / 9
- 图 1.2 泰勒斯测算海船的距离 / 10
- 图 1.3 埃及的金矿地图(绘制于新王国时期) / 11
- 图 1.4 赫克泰阿斯眼中的世界(约绘制于公元前 500 年) / 12
- 图 1.5 希罗多德所知道的世界 / 15
- 图 1.6 西部希腊殖民地 / 16
- 图 1.7 三角形数和正方形数 / 19
- 图 1.8 毕达哥拉斯学派对方程  $(x + y)^2 = x^2 + 2xy + y^2$  的表示方法 / 20
- 图 1.9 五种柏拉图立体 / 21
- 图 1.10 “魔法五角星” / 21
- 图 1.11 绘于盘碟上的鱼(大希腊,公元前 4 世纪) / 22
- 图 1.12 公元前 4 世纪左右第欧根尼所描述的血管系统 / 22
- 图 1.13 恩培多克勒的四元素和四种性质 / 23
- 图 1.14 希俄斯岛的希波克拉底的弓形 / 26
- 图 2.1 以平面截取圆锥体所得到的不同的曲线类型(可对比图 3.6 和图 7.2) / 33
- 图 2.2 亚里士多德的“自然的阶梯” / 36
- 图 2.3 亚里士多德所描述的哺乳动物的生殖系统和排泄系统 / 39
- 图 2.4 一名中世纪作者所构想的亚里士多德的宇宙 / 41
- 图 3.1 亚历山大帝国的分裂 / 49
- 图 3.2 阿利斯塔克测量日地与月地之间的相对距离 / 52
- 图 3.3 阿基米德螺旋 / 56
- 图 3.4 杠杆的三种类型 / 57

- 图 3.5 极限法则 / 59
- 图 3.6 从图中圆柱体的一系列截面可以看出,圆是椭圆的一个特例 / 61
- 图 3.7 埃拉托色尼测量地球 / 62
- 图 3.8 埃拉托色尼的世界 / 64
- 图 3.9 埃拉托色尼的素数“筛子” / 65
- 图 3.10 天文要素 / 66
- 图 3.11 本轮运动的示意图 / 67
- 图 3.12 克拉居阿斯描绘的夏侧金盏花(“雉之眼”,保存于某牧师的复制本,约公元 500 年) / 68
- 图 3.13 希罗的魔法壶 / 69
- 图 3.14 希罗的“蒸汽机”(汽转球) / 69
- 图 3.15 希罗掌握的机械装置 / 70
- 图 3.16 希罗的“照准仪” / 70
- 图 3.17 由于光线在大气中的折射,一颗星看上去的位置比实际更接近天顶 / 72
- 图 3.18 一个结构简单的星盘 / 73
- 图 3.19 测量月亮视差 / 73
- 图 3.20 托勒密的宇宙体系 / 74
- 图 3.21 用托勒密投影法绘制的托勒密世界地图 / 75
- 图 3.22 根据托勒密著作所绘的不列颠诸岛 / 76
- 图 3.23 盖伦的生理学 / 78
- 图 4.1 庞波尼乌斯·梅拉的世界地图 / 87
- 图 4.2 圣伊西多尔著作中的传统中世纪 OT 地图 / 87
- 图 4.3 塔西佗所描述的西欧地图 / 88
- 图 4.4 罗马双动水泵的结构 / 93
- 图 4.5 罗马算盘示意图 / 95
- 图 4.6 “格罗马” / 95
- 图 4.7 一块巴比伦界碑 / 100
- 图 5.1 伊斯兰在西班牙的撤退 / 123
- 图 5.2 13 世纪前半叶的意大利 / 124

- 图 5.3 罗吉尔·培根的示意图:光通过球状玻璃和平凸透镜的线路 / 135
- 图 6.1 哥白尼的世界体系 / 155
- 图 6.2 第谷的世界体系 / 157
- 图 7.1 斯台文关于斜面物体平衡条件的证明 / 163
- 图 7.2 圆形是椭圆形的一个特例 / 164
- 图 7.3 斯涅耳定律 / 167
- 图 7.4 伽利略追踪投射物运动轨迹的方法 / 170
- 图 7.5 开普勒在《宇宙的奥秘》(图宾根,1596 年)一书中通过图示说明了五种“柏拉图几何体”与行星轨道球面之间的假想关系 / 173
- 图 7.6 行星在相等的时间内扫过的面积相等 / 175
- 图 7.7 伽利略在 1609 年看到的月球 / 177
- 图 7.8 伽利略的温度计 / 197
- 图 7.9 哈维“血液循环理论”的图示 / 201
- 图 7.10 波雷里对人体活动的机械论说明 / 203
- 图 7.11 人们在 17 世纪看到的人类精子 / 206
- 图 8.1 复合了切线运动和向心运动的月球轨道示意图 / 213
- 图 8.2 抛物线和拉长的椭圆,在靠近共有的焦点时,两者之间的区别变得微乎其微 / 220
- 图 8.3 哈雷彗星的轨道 / 220
- 图 8.4 进动与章动 / 221
- 图 8.5 依据赫歇尔“透镜理论”的宇宙截面 / 222
- 图 8.6 一个在变动椭圆上运动的点所形成的轨迹 / 223
- 图 8.7 1765 年瓦特蒸汽机冷凝原理的模拟图示 / 251
- 图 8.8 库仑的扭秤 / 254
- 图 8.9 1791 年伽伐尼用金属连接蛙腿肌肉和神经的实验 / 254
- 图 8.10 图的上半部分为伏特的“杯冠”,下半部分为伏特的电堆 / 255
- 图 8.11 奥斯特揭示电流对磁针会产生影响的实验 / 256
- 图 8.12 阿拉果在磁针下旋转铜盘的实验 / 257
- 图 8.13 一个最简单的检流计(或测量电流的仪器) / 257



- 图 8.14 法拉第用于展示电流能够产生持续旋转运动的装置 / 258
- 图 8.15 法拉第线圈 / 259
- 图 8.16 磁体的“张”、“合”产生瞬间电流 / 259
- 图 8.17 电流产生的力线取决于电流的方向 / 261
- 图 8.18 两条同向电流所产生的磁场 / 261
- 图 8.19 两条反向电流所产生的磁场 / 261
- 图 8.20 惠更斯的“波前”理论 / 263
- 图 8.21 “波动说”对折射现象的解释 / 264
- 图 8.22 干涉定律的图示 / 265
- 图 8.23 光的弯曲 / 266
- 图 8.24 光的偏振 / 267
- 图 8.25 菲涅尔的光干涉实验 / 267
- 图 8.26 光波间的干涉 / 268
- 图 8.27 主要的动物地理区划图 / 285

## 导论 科学进程的本质

### 科学是什么？

“科学是什么？”人们在打开这本书时，自然会问到这样的问题。但这个问题 1  
很难一下子便给出答案。从某种意义上来说，这本书本身就是一个回答。

科学通常被认为是一种知识体。但深入思索便会发现，这并不能反映科学的真正本质。历史已然反复证明，某种科学知识一旦停止发展就不再成其为科学。一个时代的科学常常与下一个时代的科学毫不相干。譬如试想一下占星术，或是认为某些数字是幸运的或是不幸的观念，如果不了解它们的历史，谁又能够从这些迷信中窥得那些有着深远影响的科学假说的遗痕？这些学说曾经吸引过一些清明的头脑，试图为这个世界的运作寻找合理的解释。是的，它们就是那些合理解释的源头。同样，当有人将化石解释为全能的造物者在创造出人类这种更完美物种之前的失败尝试时，我们会为之嗤笑，但这种观念却是现代地质学理论发展之路上的合理阶段，正如我们这个时代的科学观念也将是一个更长时段之中对世界本质所持看法的一个阶段性认识，而后者必将更为全面和深入。后之视今，亦犹今之视昔。

因此，一位科学史家在陈述和评价前情往事时，理应秉持一种极其仁慈、宽容和谦逊的态度。他需要记住的是，他所面对的工作是由并不完美的、难免出错的“人”所做出的，他同这些人中的每一位都一样，充其量不过是发现了部分的真

理,更何况,后者中的很多人都还有着远超出他的天才。

- 2 人的灵魂有一种难以遏制的渴望,希冀对自身所在的世界有一个解释。各种宗教体系即这种永恒追求的一种表现。类似的还有历史学家们,他们在历史的时空中不懈地寻找着法则和秩序,于是历史学也像科学和宗教一样,成为一种对规律的不断追求。然而规律却总是躲避着人们的控制。倘若历史学家们意欲将发现留待后人评说,那么其结果也只能重复着那段墓志铭:

路过的阅读者啊,  
你便是我的曾经,  
我亦是你的未来,  
因此呵,请为我祈祷。

只有时间依然故我。它就像滚滚流淌的溪流,裹挟走它所有的产物。或许,只有这时间之流本身,以及居于其中的那个幽灵,才是需要我们孜孜以求的。

因此,科学绝非一个静态的知识体,而是一个能够通过时间之流追溯的动态过程。在我们自己的时代里,绝对的正确性以及过程的成功已经造成了对其本质的大量误解,而不仅仅是某些关于“科学”(science)以及“科学的”(scientific)这样的术语滥用。我们都听说过一些职业拳击手的“科学方法”,并且还见识过某本关于“圣礼的科学”的公开出版物。尽管在所有的国度里,都没有一条法律条文禁止公民自由地赋予其所用词汇以想要的含义,但在这些情形中所使用的“科学”和“科学的”,却与本书将要谈论的那种伟大的、不断进步的知识没有一丁点儿关系。“科学的”作为一个形容词,其恰当的含义应当排除那些诸如拳击手的技能,或是关于圣礼的理论和实践等类型的内容。通过追溯词源,“科学的”意味着知识的发展,没有一个理论不是不断发展的,没有一个理论不是正在被塑造的,一旦停止发展,理论便将不再具有科学的属性。

## 科学传统的起源

所以科学是一种进程。但是这个进程是从哪儿开始的呢?这个问题同“一

个人从什么时候开始变老”一样难以回答,或者在没有回答之前便注定回答不了。“遇之匪深,即之愈希。脱有形似,握手已违。”人类学家意识到微生物在科学的进程中是人类的起点;当一个孩子开始观察周围的环境时,他会注意到那些穿着和行为上的差异;野蛮人从树木的摇摆和水体的搅动中看待生物的行为——这些都是来自一些不完善的经验。婴儿称呼每个女人“妈妈”,称呼每个男人“爸爸”,这也是为取得一般的规律或法则所做出的不完善的尝试。而所有的这些尝试,无论是从性质还是从程度来看,都带有科学的属性。 3

旧石器时代的人们依靠猎杀动物为生。在追逐猎物的过程中,他们观察到目标动物的形态和习性。所信仰的巫术使得他们认为,仅仅通过绘制这些动物的图形,便能够产生猎杀的效果,让动物们尽入其彀中(图 D.1)。这些绘画精确而富于美感,让每一位有缘目睹它们的洞穴探索者都会为之惊奇和赞叹。旧石器时代艺术家的这种观察上的精确性,以及对表现形式、运动乃至动物解剖结构的关注,无疑都暗合了科学方法的某些要素。

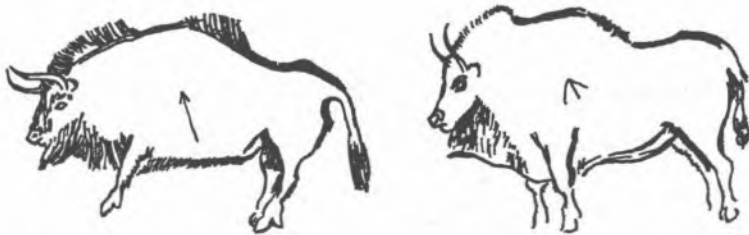


图 D.1 马格达林时期的欧洲野牛画(牛的心脏部位嵌着箭,来自法国)

当进入农耕时代后,人们便感到了采取某些手段确立季节肇始的必要性。在人类起源的热带地区,昼夜并不会随着日地之间的位置变化而盈缩,于是,根据月亮的变化来计时便成为最自然亦最显然的方法。今天,这种周期性的变化依然体现在我们的历法中:“月”便是这种计时方法的反映;而“星期”则是一个月亮周期 28 天的  $1/4$ ,提示着我们月亮的变化(“week”这个词可对照德语中的“Wechsel”,后者意为“变化”)。

在人类的活动范围延伸出没有季节变化的热带雨林后,农业在人们的定居地产生了。这时人们需要日历来告诉他们何时播种、何时收获。人们发现,恒星的运动与太阳的运动有着固定的关系,也因此能够预示季节的更替。相关的观 4

察资料在很早的两河流域文明时代便已经出现了，一直流传到我们今天。作为人类继狩猎之后的第二职业，农业使人们组织起来，其需求导致了知识的积累和概括。在那时看来，这些无疑都是科学的。

一个定居的农业文明还需要工具，技术因此发展起来。当人类从石器时代进入金属时代时，矿石的处理和金属的加工作为一种特殊的知识而产生出一个阶层。土地权利的发展则需要一定的测量知识。希腊人传说，尼罗河定期泛滥的洪水会冲走所有的地标，迫使埃及人每年都要重新测量他们的土地——几何学(geometry，字面意思即“土地测量”)因此诞生。而屠夫的手艺、献祭的经验，以及为了占卜而对牺牲内脏进行的检查，又增长了人体结构方面的知识。从这些过程中，我们可以看到一些学科的实践源头，这些学科在今天被称为冶金术、数学和解剖学。

当人类社会变得愈加复杂时，商业发展起来了。一套数学符号体系在此时逐步形成。古代世界还将无数次地向我们提供这样的例子，告诉我们需求和经验乃是发明最重要的两个因素。所有这些都将被融进科学发展的历史，并最终被载入一部囊括所有的伟大史册。

那些曾经极大地推进科学发展的古老文明，无一例外地都发展出钳制过科学的文化和宗教，而正是这些文化和宗教使人们集结成部落，最终形成一个个帝制国家。回顾过去并审视我们自身文明的长处，我们总会惊讶于这些文明对于人的个体性的忽视。早期的《圣经》记载从不关注个体的人因其善恶而受到的奖惩。那些缔造了社会生活的伟大的原始发现，没有任何一项的发现者青史留名。取火的方法、陶器、轮子、刀刃、弓、各种金属及其制备……这些技术的发明人以及后续的技术改进者们，尽管名字已经湮没，时代亦不可考，甚至连种族关系也完全亡佚，却无不推动着人类在通向科学的道路上不断前行。早期的思想家们亦复如是。我们有着关于古代世界人们的宗教观和伦理观的丰富记录，但对于后来发展为我们所谓的“哲学”，并成为科学母体的人类智力活动，却没有任何具体个体的贡献记载。我们不知道是何人首次为哲学家设定了试图去理解并解释自己和世界的基本任务。甚至当先知或牧师试图去传递信息时，他们也总是坚持那不是自己的想法而是来自“他者”；这个他者常常居于苍穹之上，超出了我们的认知，非我们所能揣度。



图 D.2 小亚细亚半岛的西部



因此,也许我们能够在这些古老的文明中辨识科学,却无人能够对其中的科学观念的发展给出一个连续的解释,更无法说明科学是怎样影响了古人的思维方式。为了得到一个更清晰的观点,我们必须转向其他的文明和后续的文明。也因此,在对科学历史的考察中,我们不介意改变视角,用那曾经灿烂辉煌的古代东方帝国的文明来识别科学的要素。我们将从古希腊人开始。尽管他们并不是最早研究科学的人,但我们确实地知道,是那些说着希腊方言并认为自己是古希腊人一员的人,在我们已知的文献中最早开始研究科学,最早意识到科学是一项有别于其他的活动,也最早意识到科学能够无限地扩展。

# 第一章 体系的兴起——奠基：爱奥尼亚，大希腊， 雅典(约公元前 600—前 400 年)

## 爱奥尼亚科学和东方学派的出现

历史的写作通常要依赖书面文献。倘若没有这些记载，那么作品就不会完美，并且往往不够连贯。不论从何种意义上来说，我们所拥有的最早的科学文献都是用希腊语写就的。它们约略完成于公元前 500 年。而我们的故事大约开端于此前的一个世纪。

可以确定的是，希腊科学的起源得益于众多古老的文明，特别是古埃及和美索不达米亚。希腊人自己也承认这一点。现代的一些发现则证实了他们的说法。某些源自古埃及和美索不达米亚的文献，将最早的研究医学和数学的希腊文字记载至少提前了 1 000 年。

希腊人本是外来的移民。大约在公元前 1400 年，他们作为一支混成军首先侵入地中海东岸，希腊大陆成为其影响的主要地区。与此同时，一波波的部族也随之而动，向东迁徙至小亚细亚的海岸和诸岛，向西抵达西西里和意大利半岛的南部。爱奥尼亚人是主要的“亚洲希腊人”(Asiatic Greeks)，其殖民地位于爱琴海沿岸，北至以弗所，南达哈利卡纳苏斯——此地再向南则居住着多里安人(图 D.2)。在从希腊本土到小亚细亚的这个区域之外，意大利半岛的南部和西西里是希腊人的第二块殖民地(图 1.7)。伟大的第一次科学运动就是在爱奥尼亚

地区兴起的,当然,在其早期也曾渗入一些多里安的元素。

爱奥尼亚人非常乐于接受外来的思想。他们向东衔接着古老的美索不达米亚文明。那里在公元前6世纪被另一支来自更东方的民族——波斯——所入侵,后者在所有同时代的文明身上都打下了持久的印记。我们在《新约》中读到的“麦琪”(Magi,钦定本作“贤人”,见《马太福音》第二章第一节)<sup>①</sup>就是一个波斯语词汇,今天语言中的“magic”即来源于此。在那个时代,波斯堪称最富活力的一支力量,自然也与爱奥尼亚建立起联系。此外,爱奥尼亚人既是航海民族亦是商业民族,通过长期的海上交通,他们获得了来自埃及的启迪,而后者是当时最古老而持久的文明。爱奥尼亚人还与腓尼基人有着贸易往来,并且最远到达过印度——他们的一些思想就源自那里。

总体来看,这是一个旅行、迁徙的时代,亦是打破旧文明、兴起新文明的时期。在这样一个时期,在这样一种变革的氛围中,科学的轮廓开始前所未有地清晰起来。标志着科学正式登上历史舞台的,是爱奥尼亚的希腊人泰勒斯。

泰勒斯的母亲是腓尼基人,本人则是爱奥尼亚米利都城的公民。人们通常认为他是一个非常精明的人,不仅关注科学,还关心政治和商业。他提议爱奥尼亚的诸城市组成联邦,并像商人一样追求财富。

他曾因商业活动拜访美索不达米亚和埃及。在美索不达米亚,他知晓了“沙罗周期”。这是一段长度为18年又11天的时间间隔,观星僧侣们在经年观测的基础上认为,日食经过这个间隔就能够重复出现。<sup>②</sup>利用该知识,这个精明的旅行者幸运地预测到了公元前585年发生在米利都的可见日食,他也因这次预言而备受推崇。这次事件很可能还使得当时的希腊人开始直接关注到通过对自然的系统观察可能累积起来的好处。无论从何种意义上来讲,泰勒斯都应被人们视为科学之父。

泰勒斯的其他主要成就还包括对几何性质的研究。这里需要郑重声明的是,几何学并非希腊人的发明。在那时,希腊人能够并且确实从生活在尼罗河谷

① 单数为 Magus,指基督出生时来自东方的三个贤人。——译者注

② 希腊语“沙罗”(saros)来自巴比伦语“saru”,意为数字“3 600”,即60的平方,因此也指长度为3 600年的时间。将这个词解释为223个朔望月(18年又11天)的周期循环是一个现代人的误解。当然,这个词在今天已经成为一个固定的科学术语。

的邻居那里搜集到了一些几何知识。但是，彼时埃及人的几何仅限于对某些特殊数字关系的经验性应用，尤其是三角形、矩形、棱锥以及圆形的一些特殊情形。<sup>9</sup> 举例来说，埃及人所知道的直角三角形最长边的平方等于另两条边的平方和，仅限于三条边长度之比为 3 : 4 : 5 的特例，比如  $5 \times 5 = 3 \times 3 + 4 \times 4$  (图 1.1)。同样，他们能够估算出棱锥的体积，但也仅限于某些特定的类型，比如拥有特定的斜边和倾角。<sup>①</sup>泰勒斯很好地归纳了这些特例，并因此发现：等腰三角形的两个底角相等；若两条直线交叉，则两个对角相等；一个三角形内接于圆，如果一条边是该圆的直径，那么此三角形是直角三角形；三角形的内角和等于两个直角；相似三角形的三边对应成比例。

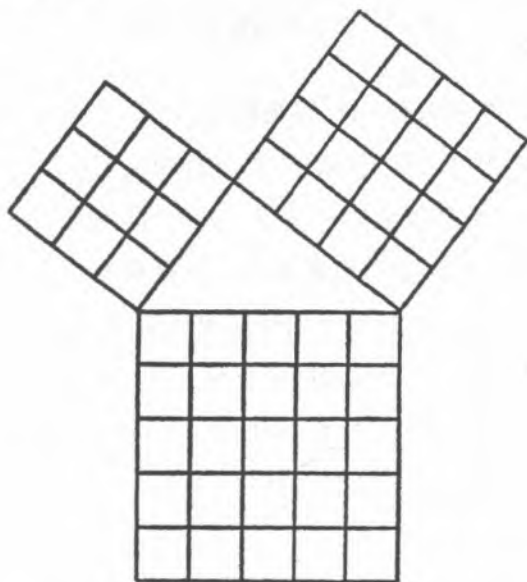
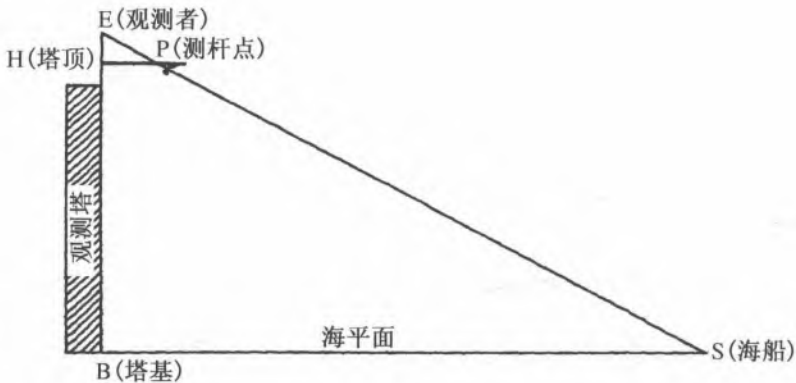


图 1.1 直角三角形之各边平方关系的一个特例

此外，泰勒斯还成功地应用了这些知识。比如，他能够简单地使用相似三角形原理去测算海面上一艘船距离海岸的距离(图 1.2)，还能够通过对比已知高度的物体的投影与金字塔的影长，来测算金字塔的高度。尽管这些问题在他之前就已经被解决过，但是泰勒斯不仅力求清楚地表达并明确地解决它们，还希图将其扩展并且一般化，以便揭示其普遍性的规律。<sup>10</sup>

<sup>①</sup> 埃及人对数学概念的一般化程度到底如何，目前仍然是一个有待讨论的问题。



三角形 EHP 与 EBS 是相似三角形,因此线段  $EH : HP = EB : BS$ 。在测量出 EH、HP、EB 的长度后,就可以计算出 BS 的长度。

图 1.2 泰勒斯测算海船的距离

像所有的爱奥尼亚思想家一样,泰勒斯也思考万物本原的问题,并希冀从中发现终极的法则。他为自己设定的目标是寻找变化多样的世界中的永恒不变。因此毋宁说,他的科学是其哲学的一部分。对于“世界的本原是什么”这个普遍性的问题,他的回答将会是“水”,借此来意指某种易变的本质,它变化、流动,没有特定的形状和颜色,但却通过一个循环显现出来:经过天空和大气来到地面,之后进入植物和动物的体内,复又回归天空和大气。当然,真正奠定并提升泰勒斯在科学史上地位的还是其数学工作,不同于以往对自然法则的模糊接受,他对自然法则的陈述与说明更加具体清晰,具有开创性。

- 11 在泰勒斯之后,陆续有“亚洲希腊人”为拓展对自然法则的认识而做出贡献,这样的名字我们可以列出一长串,其中大部分都生活在米利都。泰勒斯的学生阿那克西曼德(Anaximander,公元前 611—前 547 年)便是其一,他对于地理学有着浓厚的兴趣。制作地图的想法古已有之,早在公元前 1400 年,埃及人在筹划建造某些诸如矿山、房屋和寺庙等区域或物体时就已经绘制地图(图 1.3)。但阿那克西曼德的目标是把整个地球的表面都绘制在一张地图上。这个想法无疑来自美索不达米亚,其时其地就已经出现了一些这样的简单图表。他还从巴比伦引进了日晷,它实质上就是一根一端固定的竖直小棍,其影子的指向和长度能够
- 12 按小时来测定。这些数据能够测算太阳的运行情况,以及二分(一年中昼夜等长

的两天)和二至(一年中白昼最短的一天和最长的一天)。阿那克西曼德借此发展出了自己的天文学概念。他还是第一个推测天体大小和距离的人。在他看来,地球是一个位于万物中心的扁平圆盘,日月星辰被禁闭在一些不透明的圆环内,以地球为中心旋转,我们只能通过圆环上的孔洞看到它们。

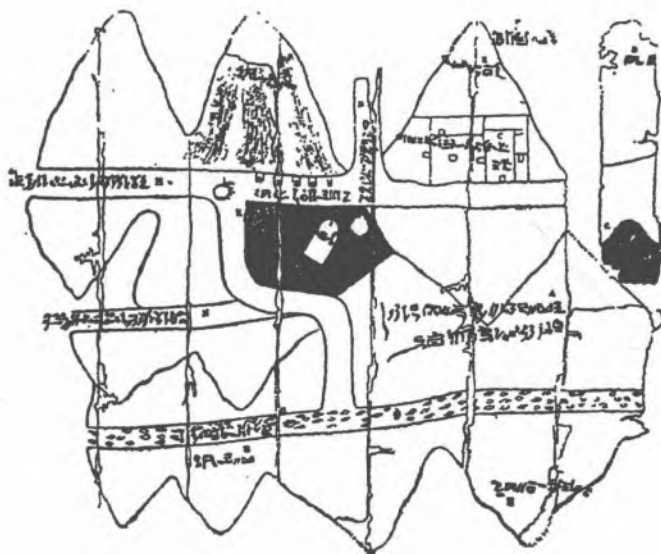


图 1.3 埃及的金矿地图(绘制于新王国时期)

另一位米利都人阿那克西米尼(Anaximenes,大约出生于公元前 570 年)发展了阿那克西曼德的思想,其贡献于天文学尤为突出。

他认为,万物的本原是“气”而非泰勒斯的“水”。这种气也联系着生命的本原,阿那克西米尼将其称作“普纽马”(pneuma)<sup>①</sup>——字面的意思为呼吸。他深信整个宇宙本身从某种意义上来说亦是有生命的:“既然我们的灵魂也是气,并维持着我们,因而普纽马和气弥散于整个世界。”

大约在同一时期,生活于爱奥尼亚地区之外的克雷斯特拉杜斯(Cleostratus of Tenedos)做出了两项重要的天文学贡献。一项是改进了历法,其中包含了一个更为准确的回归年长度。另一项是从美索不达米亚引入了黄道十二宫的知识。黄道十二宫的标记在美索不达米亚的界石上经常可见,它表明了树立这些石头的年份(图 4.7)。

<sup>①</sup> 通常也译为“元气”。——译者注

当公元前6世纪接近尾声时,生活在小亚细亚的希腊人不仅在思辨上有着相当的活力,拥有的知识在总体上也得到了提升,变得更加系统。“亚洲希腊人”的流动性推进了这一过程。那些充满活力和胆识的水手把他们在陆地和海洋上的诸多冒险经历带回了家乡。

在这些早期的探险家中,最有名的是赫克泰阿斯(Hecataeus of Miletus,约生于公元前540年)。他也是米利都人,走访过埃及、波斯帝国的各个省份,色雷斯和吕底亚,还越过达达尼尔海峡,探索了黑海沿岸。公元前500年前后,他向西方历险,到达热那亚海湾和更远的西班牙,直至直布罗陀海峡。腓尼基人早已捷足先登,并在海峡的两边为他们的麦尔卡特神(Melkarth)树立起巨大的柱子。后世的作家弄混了麦尔卡特和赫拉克勒斯(又译海格力斯),地中海的大门从此被称为“海格力斯之柱”。赫克泰阿斯将其经历收入了一本地理学手册(图1.4)。他拥有令人难忘的怀疑精神,这是一名科学人的标志,亦是科学进步的沃壤。他还厌恶神话,“在我看来,”他说,“没有比希腊神话更加荒谬的了。”

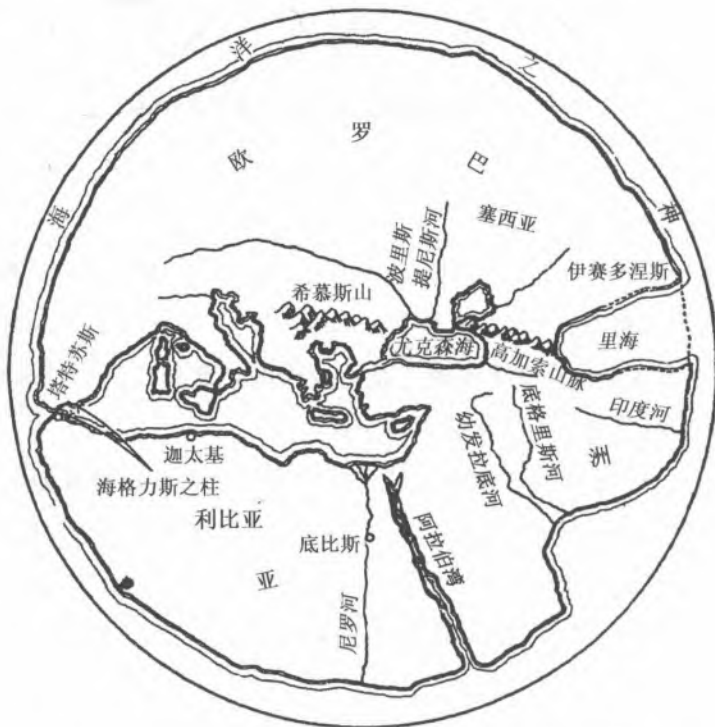


图 1.4 赫克泰阿斯眼中的世界(约绘制于公元前500年)



大约在公元前 6 世纪和公元前 5 世纪之交，爱奥尼亚人的思想因与波斯的进一步交流而有了变化。此时的波斯正处于伟大君主大流士一世(公元前 522—前 486)的统治之下，疆域不断地向西扩张。位于亚细亚的那些弱小却好战的希腊城邦开始笼罩在它的阴影之下。波斯的强大吸引了这些城邦中的许多居民为其服务，当他们回到自己的家乡时，也带回了更多的关于这个世界的知识。在这些冒险者中，比较有代表性的是内科医生克尼多斯的迪莫塞迪斯(Democedes of Cnidus, 约生于公元前 540 年)。在我们的所有记录中，克尼多斯半岛是最古老的医学院所在地。

在漫游了希腊大陆后，迪莫塞迪斯成为波斯国王的医学顾问，其后又被雇为间谍，负责勘探希腊的海岸。但他逃脱了这项任务，定居在克罗顿的希腊殖民地——在靴子形的意大利版图上，该地位于脚心的位置。在这里，他潜心创作了一篇医学论文。这是我们所知的第一部医学作品，克罗顿也因此成为那时的一个重要科学中心。

随着时间的推移，爱奥尼亚的思想家们逐渐更深入地与其他文明接触，其学说也变得越来越庞杂。哲学不再是商人、水手或医生们在闲暇时的产物。思考已经成为一种职业。

以弗所的赫拉克利特(Heracleitus of Ephesus, 约公元前 540—前 475)是专注于哲学的爱奥尼亚人之一。他因“万物皆流”的观点而闻名于世。变化是唯一的真实，“万物无时无刻不在变化”。而作为最富于变化的元素，火乃是万物的起源和形态。所有的生命体皆由火和气这类富于变化的元素组合而成。没有新生，亦没有死亡，我们所谓的生与死，只是这些永不停息的元素重新组合的幻象而已。<sup>①</sup>

与赫拉克利特同时代却年轻许多的米利都人留基伯(Leucippus, 约活跃于公元前 475 年)却有着截然相反的观点。留基伯是古代原子学说的创始人，这一学说在古代和现代都拥有广泛的影响，时常把它与唯物主义哲学联系在一起。

关于留基伯我们所知甚少，他被其或许也来自米利都的学生德谟克利特(Democritus, 约公元前 470—约前 400 年)遮掩了光辉。后者和苏格拉底(Socrates,

<sup>①</sup> 赫拉克利特的思想与其同时代的佛教创始人有一定的相似之处。是否其中一人借鉴了另一人的思想，抑或两人都有着共同的思想源头？或许以后的研究能够给出答案。

公元前 470—前 399 年；见第 31 页<sup>①</sup>)是同时代人,但两人的观点却有着天壤之别。与赫拉克利特不同,在德谟克利特看来,万物皆由有形的固体原子所组成,原子之间则是空间或者虚空。需要我们注意的是,这虚空应尽可能地被视为一个与原子本身相同的根本实在。原子是永恒的,小得不可见,亦不可分。“原子”这个词的本意即“不可分割的”。)它们还是均匀且不可压缩的,彼此的不同仅在于形态、排列和大小,亦即只有量的不同而无质的区别。事物的本质由组成它们的原子的运动和排列所决定,我们也因此能够区分它们。由于原子的永在和自在,因而运动也是如此,本质上必是由之前的运动所产生。正因为一切都是由这些永恒不变的原子所组成的,所以生灭变化只是表面上的,其实质仅仅是原子的重排。因此,你我眼中的自身存在,只是原子的临时聚合,它们很快就将解散,成为其他存在的组成物质。然而,或许在某个时间,当组成我们的原子再次聚集到一起时,我们会重生。历史也因此会不断地重复。

乍看上去,德谟克利特学说的确定性及其原子的具体性代表了一种“常识”哲学,可以用来对抗赫拉克利特那含糊不清的学说。但必须牢记的是,德谟克利特的原子并非实验研究的产物。他的原子如同它们的运动及其所处的虚空一样,都是假设,没有确切的知识或经验的根据。他的学说看上去很像现代科学理论中的“物质不灭”和“能量守恒”,但这种相似也更多的是表面上的而非实质性的。尽管德谟克利特的思想有着积极的趋向,但他的追随者们——由其最著名的信徒伊壁鸠鲁(Epicurus of Samos,公元前 342—前 270 年)所开创的“伊壁鸠鲁学派”——却对科学思想的拓展贡献甚微。

- 16 希罗多德(Herodotus of Halicarnassus,约公元前 484—前 425 年)的一生及作品浓缩了大部分的爱奥尼亚精神。在这位非凡的人物出生时,其故乡还处在波斯帝国的疆域内,他就这样保持着波斯国籍直到 30 岁。在探究精神的驱使下,希罗多德的早年行迹遍及希腊大陆和小亚细亚,以及许多爱琴海中的希腊岛屿。他还从吕底亚的萨第斯(位于近代的士麦那<sup>②</sup>附近)出发,经过一段漫长而艰难的旅程后,抵达波斯首都苏萨(图 1.5)。接着他去了巴比伦,游历了黑海沿岸,

① 此处页码指原书页码,即本书的边码。全书同。——译者注

② 今称“伊兹密尔”(Izmir),土耳其西部港口城市。——译者注

并穿过斯基泰和色雷斯。他的足迹还向西扩展至意大利和西西里,向南经过叙利亚,于提尔短暂逗留后,途经巴勒斯坦,最后在埃及盘桓良久。无论在何地,只要他听到了什么奇怪或有趣的事情,他都会为此停留下来并记录下亲眼所见。最后,他加入了驻扎在意大利的一支希腊殖民军队,并将余生都用于撰写那部令人着迷的《历史》。

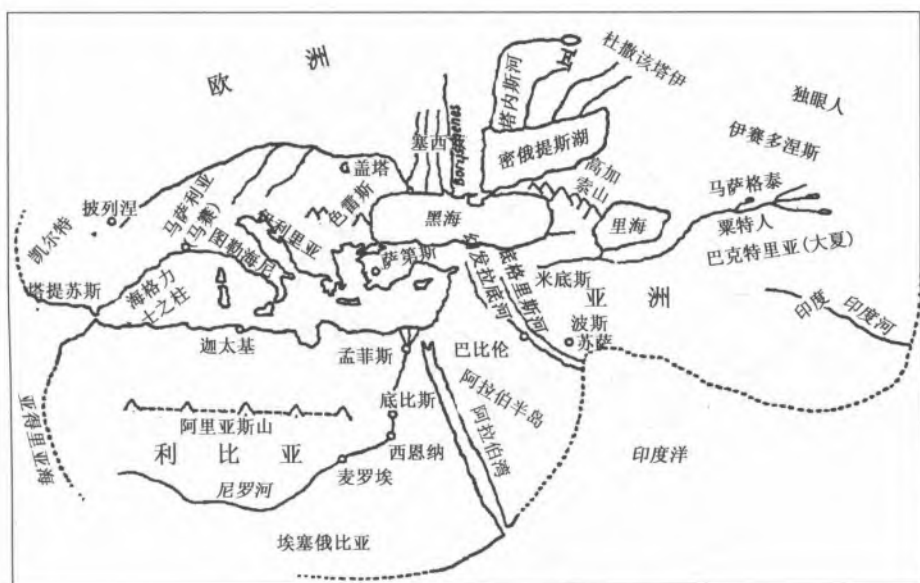


图 1.5 希罗多德所知道的世界

希罗多德并不关心整个世界,但他的作品很好地反映了那个时代的地理知识。他对自然以及不同民族的生活习性观察入微,这使得他的作品被视为关于人的第一部科学专著。他也因此被称为人类学之父和历史学之父。他所提及的许多典故都反映了当时的信仰和习俗,帮助我们核实早期的科学史记载。<sup>①</sup>

## 毕达哥拉斯学派和西方学派

从很早的时候起,希腊人就开始向西扩张,在意大利南部和西西里建立起殖

① 希罗多德是希腊制度源于埃及说的主要倡导者。

民地，“大希腊”的说法逐渐流行开来(图 1.6)。这些西部殖民地的智力活动在希腊科学的发展过程中扮演了重要的角色。其中，最具影响力的是“毕达哥拉斯学派”。



图 1.6 西部希腊殖民地

这个学派或教派的创始人是毕达哥拉斯(约出生于公元前 582 年)——一个出生于萨摩斯岛的爱奥尼亚人。他到过很多地方,大约在公元前 530 年定居于克罗顿,那里是多里安人的殖民地。他在那里建立起自己的兄弟会或是教派,该组织直到他死后仍然持续了很长时间。他述而不作,没有留下只言片语,加之其追随者所刻意编织的神秘面纱,常常使我们无法将其所取得的科学成就归功于实际的创造者。

尽管毕达哥拉斯学派的哲学思想朦胧而模糊,但从中仍然能够浮现出一些影响深远的观念。首先要提及的便是关于数的奇特教义。在他们看来,数是一种不以人的意志而转移的独立存在。由于希腊人同希伯来人一样用字母表示数字,这种思想因此得到了特别的流行,也使得其种种神秘的和神奇的应用成为可能,并能够被人们所接受。比如,我们很容易便可以想到,“666”在《启示录》(第 8

章第 18 节)中表示“恶魔的数字”。类似的倾向还表现在对时间的划分上,用数字表示的时间同样具有一种客观的独立性。这在《圣经》中就有体现:

约伯诅咒自己的生日,  
他恨不得那日并不存在,  
免得他面对今天的苦楚。

——《约伯记》第 3 章第 1 节第 6 行

“数学”(mathematics)这个词原本的意思只是“知识”(learning),正是毕达哥拉斯学派赋予其新的含义,代表了数的特殊关系。<sup>①</sup>亚里士多德在《形而上学》中告诉我们:

毕达哥拉斯学派致力于数学研究。他们认为“数”乃万物之原。在自然诸原理中第一是“数”理,他们见到许多事物的生成与存在,与其归之于火,或土或水,毋宁归之于数。数值之变可以成“道义”,可以成“魂魄”,可以成“理性”,可以成“机会”——相似地,万物皆可以数来说明。他们又见到了音律的变化与比例可由数来计算,因此,他们想到自然间万物似乎莫不可由数范成,数遂为自然间的第一义;他们认为数的要素即万物的要素,而全宇宙也是一数,并应是一个乐调。他们将事物之可以数与音律为表征者收集起来,加以编排,使宇宙的各部分符合于一个完整秩序;在那里发现有罅隙,他们就为之补缀,俾能自圆其说。例如 10 被认为是数之全终,宇宙的全数亦应为 10,天体之总数亦应为 10,但可见的天体却只有 9 个,于是他们造为“对地”——第十个天体——来凑足成数。(见第 21 页)<sup>②</sup>

我们今天对于这种观念会感到很奇怪。然而,这种类型的猜想已经多次在科学史上体现出了价值。必须假定,人的思维在某种程度上符合自然的进程。我们生活在一个可用数学表达的世界中。因此,数学家的理论研究在一定程度上

① 在希腊语中,mathesis 意为“learning”,mathetes 意为“disciple”。因此,在《新约》中,mathematikos 表示“爱知识”(fond of learning),柏拉图和亚里士多德也是在这个意义上使用这个词的。“mathematics”这个词直到 16 世纪晚期才进入英语,其奇怪的复数形式是对“数学科学”的省略表达,并非源自希腊语。

② 此处翻译引自吴寿彭译《形而上学》(商务印书馆 1959 年版),略有改动。——译者注

对应着物理学家和天文学家的发现。万物的本质便是如此，但为何如此却仍然还是一个谜。或许对这个谜的讨论不该仅囿于科学的范围，但无论如何，毕达哥拉斯学派已经意识到我们的思维运作能够反映大自然的运作，并用他们的这条教义揭示了出来。他们关于“天体和谐”的观念——亚里士多德也有这样的想法——则产生于他们对音乐的兴趣。他们观察到，音符的音高取决于弦长的一个简单的数值比例。在他们看来，这个数值比例还对应于天体到宇宙中心的距离。

这种宇宙和谐的迷人观念，在每一个时代都让诗人们浮想联翩。例如：

在那样一个时间，  
晨星一同歌唱，  
所有神的儿女一起欢呼。

——《约伯记》第38章第7节

中世纪让我们相信，是因为耳朵的迟钝让我们无法聆听这些辉煌的音符。而基督教则常常号召人们将灵肉分离，去捕捉这天上的声音：

软而寂静的夜  
变成温馨和谐的触动。

.....

你注视着不是最小的天体，  
他的运动像天使的歌声，  
还天使般地眨眼睛。  
这种和谐是不朽的灵魂，  
但是，同时又有东西盖住了腐朽，  
已经非常接近了，因为我们听不到它。

——《威尼斯商人》第五幕第一场

如果念及希腊人的数学实际上就是几何学，我们就更能够理解毕达哥拉斯学派赋予数字以字符和属性的习惯。作为一个突出的例子，毕达哥拉斯学派是用三角形数来区分以下数列的：

~ 1, 1+2, 1+2+3, 1+2+3+4, 1+2+3+4+5...

他们还用几何的方式展示了一个有趣的事实：两个连续的三角形数之和，是一个正方形数(图 1.7)。

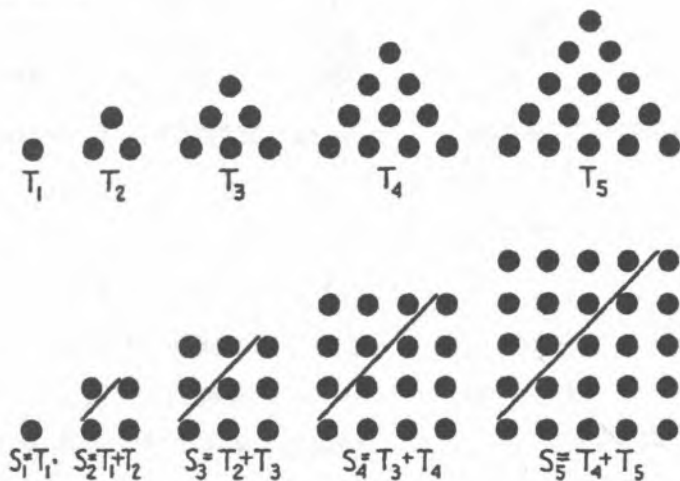


图 1.7 三角形数和正方形数

所谓的“毕达哥拉斯定理”被古代的人们认为是毕达哥拉斯本人的发现。这个定理揭示了在直角三角形中，斜边长度的平方等于另外两边长度的平方和(图 1.1)。毕达哥拉斯学派建立的是一个平面几何体系，关注的是用公式表达诸如平行线、三角形、四边形以及规则多边形的形状和角度的法则和定理。他们了解许多质数和级数的重要性质，还特别发展出一套包括了比例数和非比例数的比例理论，对于打通算术和几何非常重要。他们认为，至少存在四种类型的比例，分别是：

$$\text{算术比: } a - b = c - d$$

$$\text{几何比: } a : b = b : c$$

$$\text{调和比: } a - b : b - c = a : c$$

$$\text{音乐比: } a : \frac{1}{1}(a + b) = \frac{2ab}{a + b} : b$$

毕达哥拉斯学派的思想家们最引人注目的数学成就或许是发现了无理量的概念，亦即无法用自然数表达的数。然而，由于那个时代的数学符号还不完善，算术并未因这个发现而取得大的发展，无理数也无法用代数表达(可比较第 189 页)。希腊数学因此被迫与几何保持着距离。事实上，当我们需要用到代



数方法时,希腊人却始终沿袭着几何方法的老路。这可以用一个很简单的例子来说明:方程  $(x+y)^2 = x^2 + 2xy + y^2$  就是参照附图中的几何方法来证明的(图 1.8)。

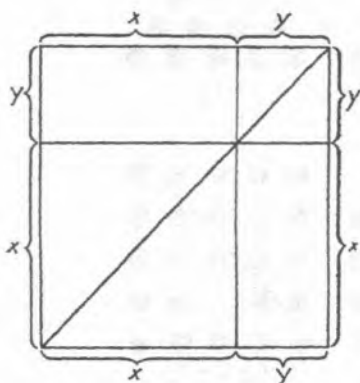


图 1.8 毕达哥拉斯学派对方程  $(x+y)^2 = x^2 + 2xy + y^2$  的表示方法

在毕达哥拉斯学派神秘思想的引导下,球体成为完美的图形,如同 10 是完美的数字。他们还由此推论出地球和天体都是球体。这在科学史上是一项重要的进展,它意味着一个普遍观念的形成建立在理论而非实际观察的基础之上。

一个有趣的天文假说来自毕达哥拉斯学派的菲洛劳斯(Philolaus of Tarentum, 约公元前 480—前 400 年)。他放弃了地球是宇宙中心的理论,猜想它像其他行星一样,围绕着中央火运行。他认为,这中央火是我们看不见的,因为我们所居住的这部分地球永远背对着它。为了使整个系统平衡,他发明了一个“对地”(counter-earth),这便使其可动天体的数目增加到了神圣的 10 个,亦即太阳、月亮、地球、五颗行星、对地,以及恒星天球。菲洛劳斯是第一个公开发表关于毕达哥拉斯学派理论著作的人,柏拉图在撰写《蒂迈欧篇》(见第 34 页)时用到了这部书。此外,菲洛劳斯关于运动地球和中央火的构想还影响到了哥白尼(见第 180 页)。

另一个毕达哥拉斯学派的产物则注定将以一种奇特的方式影响后世的思想家们。通过在三维尺度上摆弄等边三角形和正方形,毕达哥拉斯学派的成员们发现了四种“规则的立体”,亦即所有边和角都相等的多面体。这四种正多面体分别是:四面都是等边三角形的棱锥(正四面体)、立方体(正六面体)、正八面体和正二十面体。它们被用来代表物质世界的四种元素:土、气、火和水。后来又发现了构造正五边形的几何方法:一名毕达哥拉斯学派的成员发现可以用正五边形构造出第五个正多面体,即正十二面体。由于没有第五种元素,正十二面体便被用来代表宇宙。这五种正多面体后来被称为“柏拉图立体”(Platonic bodies),在其后的哲学和数学发展中扮演了十分重要的角色,这些角色有很多都非常奇特。其中,开普勒在 16 世纪关于柏拉图立体的想法暗含了第一个现代的

宇宙统一理论(见第 200—206 页)(图 1.9 和图 7.5)。



图 1.9 五种柏拉图立体

由正五边形很容易便能得到五角星，只要将前者的每个间隔的顶点连接起来，连接线就形成了后者。毕达哥拉斯学派的成员把五角星用作神秘的识别符号，五角星从此开始了它作为神秘事物的历史，并逐渐变成魔法和欺骗。对于毕达哥拉斯主义者和柏拉图主义者来说，它代表了圆满、健康和幸福。而在那些低等的灵魂中，它又堕落成最常见、最平庸的符文。它能够阻挡一切的邪恶！在浮士德的书房入口处就有一枚五芒星，它使墨菲斯特(恶魔)不得离开书房。五芒星的历史提供了一个科学不断遭遇退化的例子(图 1.10)。

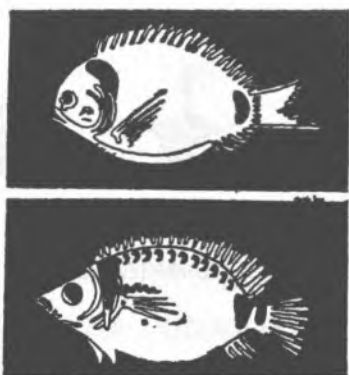


将正五边形的各边向两边延长，或将其间隔的各顶点连接起来所得到的一条连续的线或“首尾相接的结”。

图 1.10 “魔法五角星”

西部殖民地人们的智力活动并不仅仅体现于对宇宙和数学的思考。在公元前 5 世纪里，意大利和西西里的希腊人发展出了一种引人瞩目的博物学。画家近距离观察并描绘动物的部位和结构(图 1.11)。这种博物学的倾向还反映在“意大利—希腊”(Italo-Greek)科学思想家当中。毕达哥拉斯的学生阿尔克迈翁(Alcmaeon of Croton, 约公元前 500 年)将生物纳入了科学研究的领域。他首倡科学的解剖实践，发现了从大脑到眼睛的神经，描述了口耳之间的连接通道。当鼻子被捏住而脸颊鼓起时，空气便通过这个通道灌入耳部的鼓室。接着解剖学家欧斯塔基(Eustachi)也研究了这些管道，今天它们就被称作“欧氏管”——欧斯塔基在阿尔克迈翁之后又在意大利活了 22 个多世纪！阿尔克迈翁相信这些管道运送的是“普纽马”(见阿那克西米尼，第 12 页)。

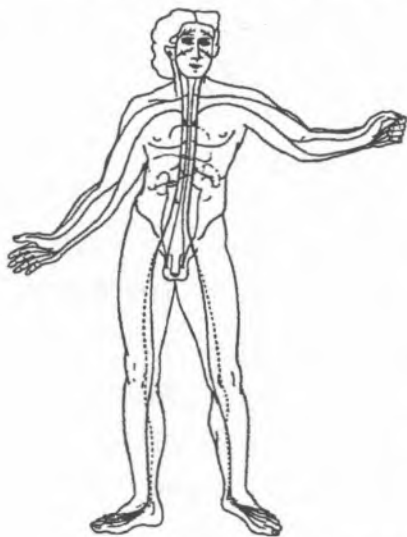
毕达哥拉斯还影响了一位重要的西方思想家，他就是生活在西西里的恩培多克勒(Empedocles of Agrigentum, 约公元前 500—约前 430 年)。恩培多克勒



这些鱼被描绘得非常准确，能够辨识出种类。

图 1.11 绘于盘碟上的鱼(大希腊,公元前 4 世纪)

认为血液是神秘的固有热(innate heat)所在,这个观念来自“血液即生命”(《申命纪》第 7 章第 23 节)的民间信仰。在他眼中,内热几近等同于灵魂。他认为心脏是血管系统的中枢,通过这血管系统,内热——抑或生命的本质要素——被分配到身体的各个部分。因此,对于恩培多克勒的追随者来说,心脏是生命的特殊部位。这种观念还传递给了亚里士多德(见第 44 页)。



第欧根尼的血管系统通过巨大的中部主干脉贯穿整个人体。他还通过形状、功能和分布,区分了动脉与静脉。

图 1.12 公元前 4 世纪左右第欧根尼所描述的血管系统

恩培多克勒的学说激起了对血管分布的求知欲。在这方面,我们所知的第一个融贯的体系是克里特的第欧根尼(Diogenes of Apollonia, 约公元前 430 年)所提出的。恩培多克勒及其学派的思想对其影响至深(图 1.12)。

恩培多克勒假定“友爱”和“争斗”轮番地支配着所有的事物。到处都有“对立”与“亲和”。当在物质本体中显示这些关系时,就能够从中分辨出所谓的“四元素”。他认为,所有的物质都是由土、气、火、水这四种基本元素构成的,这些元素相互间对立或联合,例如,水与火对立,但与土联合。此外,每一种元素还依序合成一对“基本性

质”，这所谓的基本性质有四种，分别是：热和冷，湿和干（图 1.13）。这些性质就像四种元素一样，也表现出亲和与对立。

我们不应臆测恩培多克勒这样的哲学家是将“元素”等同于这个地球上所存在的我们称之为土、水、气、火的物质。根据其理论，我们所知的那种名为“水”的物质，只是水元素在其中占据了优势，但仍然包含了少量的其他三种元素。水元素只是形成了水的本质，而这种本质是我们人类无法掌握的。

这一学说还在我们的语言中留下了痕迹。我们今天仍然称暴风雪为“元素的狂怒”。我们穿衣服是“为了免受元素的伤害”。我们还认为存在“自然力”（elemental forces）。我们仍然会读到《加拉太书》中圣保罗告诫我们不要“变回懦弱无用的元素”（《加拉太书》第 4 章第 9 节），并且不难理解“火热的性格”（fiery nature）或是“空灵的精神”（aerial spirit）这样的说法。这些都源于恩培多克勒，并通过亚里士多德（见第 48 页）和雅典学园传给了我们。

## 雅典科学之父

到了公元前 5 世纪中叶，雅典一跃成为希腊世界的智力中心，使得东部和西部的希腊思想学派们同时黯然失色。其中，来自克拉佐美尼的爱奥尼亚人阿那克萨戈拉（Anaxagoras of Clazomenae，公元前 488—前 428 年）是一位值得关注的重要人物。公元前 464 年，他怀着对科学的无比热忱来到雅典，获得了政治家伯里克利（公元前 490—前 429 年）和诗人欧里庇得斯（公元前 480—前 406 年）的青睐和友谊，他也借着对科学的热爱，激发了后两者对科学的热情。他的思想与苏格拉底（见第 31 页）分歧颇大，由于柏拉图是苏格拉底哲学的继承者，而亚里士多德则更多地承继了阿那克萨戈拉，因此后世一系列思想的展开，都可以追溯到这种分歧。

阿那克萨戈拉发展出了一套晦涩难懂的哲学体系，其中包括了若干关于众

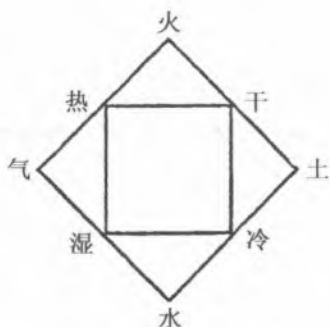


图 1.13 恩培多克勒的四元素和四种性质

多天体现象的学说,富于理性。他给予日食、流星、彩虹等现象以科学的解释;在他看来,太阳是一块巨大且白热的金属,月亮反射它的光芒,其他天体则是因旋转而呈现出白热状态的石头。这样的解释违背了当时的宗教观点,他因此被起  
27 诉以不敬神的罪名。在伯里克利的庇护下,他被宣判无罪,但还是谨慎地躲避到小亚细亚的家乡。这是宗教对科学的早期迫害。

雅典城邦的智力环境与爱奥尼亚和大希腊的殖民地有很大的不同。在雅典,人们能够感受到生命具有更大的复杂性。知识的系统积累开始形成一个“让知识回归其职责”的传统。被称为“智者”的教育者们受到欢迎,他们的“雄辩术”使人兴趣倍增,比其他任何事物都更加吸引易变的希腊人。然而大多数智者仅仅娴于言说,对科学问题所知甚少或者一无所知,而这后一项研究尚要留待另一个群体去进行。紧接着,科学专门化的某些特征开始出现。这场运动对医学和数学的影响尤大。十分巧合的是,这两门学科的两位代表人物不仅同名,还来自两个相邻且名字亦相近的岛屿——他们便是来自科斯岛的医生希波克拉底,以及来自希俄斯岛的数学家希波克拉底。

大约公元前 460 年,医生希波克拉底出生于多里安地区科斯岛的一个医生世家。在其故乡科斯岛以及对面的克尼多斯半岛上(见第 7 页)都建有历史悠久的医学院,这些医学院注定要变革传统并跻身于科学发展的进程中。这种变革此后便习惯上与希波克拉底的名字联系在了一起。

希波克拉底因其职业过着漂泊的生活,足迹遍及色雷斯、马尔莫拉海的周边地区、萨索斯岛、雅典,以及其他地方。他有很多学生,其中包括他的儿子和女婿。据说他活到了 100 岁,对于一名伟大的医生而言,这真是一个适宜的年龄!以上几乎就是我们所知道的关于他的全部。然而,对于由其缔造的早期医学图景而言,如何夸大他的影响都不为过。他博学、明察、慈悲,对病人的需求满怀敬意,极度地渴望用自己的经验去帮助别人;他做事有序而冷静,然而却急于记录  
28 下自己的知识,以求与医生弟兄们分享,并减轻病人的苦痛;他庄重、精思、静默;他心思单纯却满怀热情。这些便是医学之父留给后人的印象。

在哲学家们发展出理性世界观的同时,以希波克拉底为代表的医生们则首开理性地检验经验之先河。正是他们第一次有意识地将科学的方法引入医学,这个方法有时也被称为“希波克拉底方法”。

“希波克拉底方法”即今天我们所知的“归纳法”。彼时没有我们今天这般大量的科学积累，仅有一些少量的观察记录和一小部分零散而琐碎的经验，周遭还满是各种崇尚贫乏因果关系的奇异宗教派别，然而最重要的是，受到那个非凡天才的持续激励并怀着探索人类的知识渴求，希波克拉底派的医生们仍然坚持对事实的耐心观察，对奇思妙想和无法核实的事物保持怀疑的态度，不愿将理论建立在超越事实的基础之上，渴望从实际的经验来概括总结。在希腊人的著作中，我们几乎能够找到所有已知的精神活动类型，那种用经验仔细并反复地进行验证、用真实的观察记录进行表达的方式，在历史上的任何时期都极其稀有，然而令人惊奇的是，却有如此众多的希腊作品采用了这种方式——其中，有很大的一部分就来自希波科拉底派的作者们。

的确，希腊人有科学的传统（见第 7 页）。尽管他们很可能从其他文明汲取了知识，并且这种汲取或许比我们所知道的还要更多，但这些早期医生的“科学宗教”——对物质世界因果联系之永恒性和普遍性的信仰，却先于其他文明的人们。这个宗教的第一位先知是泰勒斯，第一部作品出自希波克拉底之手，第一位伟大的阐释者是亚里士多德——其作品至今仍然完整无缺（见第 39 页）。

希波克拉底派的著作固然于医学史非常重要，但就其包含了关涉科学自身性质之观念而言，则意义更为重大。这种观念完美地体现在论著《癫痫》(*Falling Sickness* 或 *epilepsy*)中。那时这种病被视为天罚，是一种“神圣的病”。一位希波克拉底派的学者写了一部关于它的书，其中展现了一个具有科学精神的人对其所应当具有的正确态度。它是理性精神的丰碑，或许也是第一本体现出科学与宗教传统之间鲜明对立的书。 29

在我们的这个时代，即便是受过教育的人们也并非总能以希波克拉底派学者们的精神来对待自然事件。租赁和保险凭证有时仍然会开列一个律师称为“天灾”(act of God)的事故类型条款。这些“天灾”的类型已然随着时代发生了变化，例如它们通常还包括传染性疾病。我们的“瘟疫”(plague)一词就源自拉丁语中意为“打击”或“击打”的词汇，该词汇在被认为是上帝亲自带来的瘟疫肆虐的时期进入我们的语言。此外，法律术语“天灾”还包括暴风雨和雷电所造成的结果。然而，在基督诞生前 400 多年时所著的一部名为《神圣之病》(*Sacred Disease*)的希波克拉底派作品中，对此却表现出非常不同的态度：



至于此种被称为“神的”疾病,当然有它的特性和原因,正如其他疾病一样。它的产生也和其他疾病一样,是由那些进出身体的事物所造成的,譬如冷、太阳和风,它们总在变化,无止无休。这些事物是否神圣如你所想,因为这样的分别无关紧要——在自然界中的任何地方都没有必要做出这样的划分,因为一切都似神,抑或一切都类人。一切都有前因,若去探究便都可以发现。(略有改动)

在前文中,我们把对稳定因果联系的信仰称为“宗教”,因为它本质上是一个信念问题,并且今天或许仍然如此。在希波克拉底的时代,还没有大量的精确观测数据用于准确地预测自然的运作——除了天文纪录。因此,天文现象的规律性便借由人们的信念被规定为一切自然现象所必须遵守的法则。天体预示了那些经常性的季节变化,决定着人们的生活。这些天体先是被当作变化的原因,其后再被奉为神明。这样的过程经常上演,于是行星们至今仍保留着诸神的名字。

30 数学家希波克拉底(约公元前 430 年)是历史上编撰《几何原本》的第一人。这个书名在后世因其继承者欧几里得而变得家喻户晓。他是我们所知的第一位数学“专家”,起初却是一名商人,因偶然的的机会踏进了数学的领地:他因为一起法律诉讼来到雅典,彼时这座城市正迅速地成为知识的中心,于是“乡下人”希波克拉底得以有机会结交到“城市中”的哲学家们,并很快地向世人证明了自己的真正才能,从此将热情投注到了对数学的追求中。

数学家希波克拉底的成就或许可由他的一项最为敏锐的研究来管窥,这项研究标示出在公元前 400 年时希腊的数学家们所能达到的水准。希波克拉底发现,若在一个圆上截取一个 90 度的弧,再以该弧所对应的弦为直径作一个半圆,

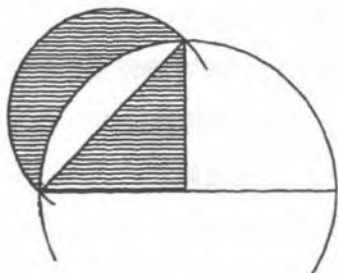


图 1.14 希俄斯岛的希波克拉底的弓形

则该弧与半圆所组成的弓形面积,等于该弧所对应的弦与圆心所构成的三角形面积(图 1.14)。于是,全部由曲线所界定的弓形便等同于了一个全部由直线所界定的图形,其面积也因此能够算得。此外,他还发现了另外两种面积能够进行类似计算的弓形,并且最终发现了某种特殊的弓形,在添加一个圆后,其整体的面积相当于一个正方形。当然,这个弓形本身是无法化为正方形

的，因此该方法也不能用于化圆为方。然而这些非凡的研究却遭到了误传：历史记载告诉我们，希波克拉底成功地完成了化圆为方这个不可能完成的几何任务！他的证明实际上意味着对一些高级几何方法的娴熟掌握，这些方法基于他已经证明过的定理，即圆的面积之比等于其直径的平方之比。

因此在公元前 5 世纪的末叶，不仅哲学思想发生了科学的转向，科学本身也开始凸显出来，成为某些另类眼中的当务之急。医学和数学是已经分离出来的两个学科，天文学业已成为毕达哥拉斯、菲洛劳斯、恩培多克勒和阿那克萨戈拉等哲学家的特殊兴趣。然而随后，一位极具个性的思想家在公元前 5 世纪终结了这个希腊思想的早期阶段。 31

苏格拉底的名字与一场伟大的——或许也可以说是史上最伟大的——知识革命联系在一起。他的首要职责是引导他人，对他来说，知识就是美德。对于其所处时代的科学，苏格拉底的想法被其学生色诺芬（Xenophon，公元前 430—前 350 年）记录了下来：

关于天文学，苏格拉底在某种程度上将其视为一种能够知道节令、月份和夜间时辰的知识。然而，若是一味钻研恒星或行星，探究它们与大地的距离，以及它们运行的轨道或原因，他都一概视为浪费时间而加以强烈反对。他总是不厌其烦地指出自然哲学家们主张中存在的矛盾和冲突……总之，他认为，思考宇宙和天体法则的人无异于疯子。

苏格拉底革命的胜利在一段时期内使科学和自然哲学变得萧条。但从苏格拉底和自然哲学家们的冲突中，却诞生出后来希腊思想的主流。这两条思想潮流的名称和方向都源自两个占据了公元前 4 世纪舞台的思想巨人，他们是柏拉图和亚里士多德，公元前 4 世纪是属于这两个人的时代。



## 第二章 伟大的探索——完整的思想体系：雅典 (公元前 400—前 300 年)

### 柏拉图和雅典学园

32 柏拉图与其师苏格拉底一样，思想也受到了伦理学动机的支配，确信真和善的存在以及两者之不可分，开始有目的地探寻从一个综合理论中揭示、说明和解析出一般性思维中的矛盾。在这个过程中，他发展出一个学说，最终使得科学思想与哲学和宗教在后世产生了伟大的关联。这就是所谓的“理念论”。柏拉图的学生亚里士多德精当地阐释了这个学说的要旨，他说：

从青年时代起，柏拉图就娴习了某些哲学家的教义，该教义认为一切可感觉的事物都永在流变之中，对于事物的认识是不可能的（见第 14 页）。柏拉图甚至将这些观点保持到了晚年。苏格拉底沉湎于谈论伦理问题，他忽视作为一个整体的自然世界，却想在伦理问题中求得普遍真理；他开始用心于为事物觅取定义。柏拉图接受了他的教诲，但却主张将问题从可感觉事物转移到另一类“实是”上去——因为感性事物既然变动不居，那就无可捉摸，亦无法为之定义，一切通则也不会从这里制出。这另一类事物，他名之曰“理念”，凡是可感觉的事物皆有别于理念，亦复系于理念；许多事物凡同参于一个理念者，其名亦同。（亚里士多

德：《形而上学》）<sup>①</sup>

就这样，概念（人们头脑中的事物）对于柏拉图来说变得更加具象，而我们对于物质界的印象（知觉的对象）却变得愈加模糊。譬如“马”这个词，其所指就已经不是某匹具体的良马或驽马、拉货的马或载人的马，而是一个抽象的存在，其含义庶几近似生物学家对马这个“物种”的定义。然而这个理念的“马”比现实中任何具体的马都要来得更加“实在”。柏拉图式的“理念”包含在形式上的观念中，而这种形式是脱离了物质内容而存在的。这个概念还被柏拉图用谚语的形式表达过，他说，“灵魂是形式之所在”<sup>②</sup>，这意味着灵魂先天拥有理念。 33

柏拉图十分推崇数学定律。他将数学视为确定性与精确性的典范，其他学科都须向其看齐。事实上，数学的研究素材确实具有某些柏拉图理念的性质，因此可以想见数学对柏拉图所具有的吸引力。很多柏拉图的思想都披着数学的外衣，他的观点经常貌似毕达哥拉斯，将数赋予道德和精神上的价值。也因此，当一门学科发展到数学化的阶段时，柏拉图就会对之致以某种程度的礼敬。在毕达哥拉斯学派的诸层天上，神圣的天体就是几何形体的完美典范，因此柏拉图特别关注天文学，特别是其理论中不同于实际观测的部分。事实上，在古希腊，柏拉图的很多追随者都将数学与天文学等同起来。今天我们将天文学看作一个应用的领域，但柏拉图主义者则将其视为数学的一个例证。

除了天文学，对于我们今天习惯使用数学的学科，柏拉图甚少称许；而对于那些不使用数学的学科，他的这种态度尤甚。他批判诸如德谟克利特式的哲学家的理论，认为后者不仅忽视了精神作为独立实体的存在，还妄想世界的形成是一种偶然的結果——这样的世界很难去精确地表述，其最终结果就是取消了哲学的合理性。另一方面，柏拉图却对希波克拉底的医学表现出了敬意，认为他是古代真正具有科学精神的人——希波克拉底的一位追随者也说过类似的话，“他是第一个将科学从哲学中分离出来的人”<sup>③</sup>。但是，尽管柏拉图推崇希波克拉底，却并没有对其亦步亦趋。究其原因并不令人意外：首先，在柏拉图的心目中，现 34

① 此处翻译参考了吴寿彭译《形而上学》（商务印书馆1959年版），略有改动。——译者注

② 这句话在现存的柏拉图著作中不见记载，但是被亚里士多德在其著作《论灵魂》（*De anima*）中所引用。

③ 见塞尔苏斯（Celsus）之著作《药学》的前言部分。

象只处于一个相对并不重要的位置；其次，囿于眼界，柏拉图排斥归纳法。

然而，最伟大的思想家都避免不了提出一些关于这个现象世界的一般性理论。受到毕达哥拉斯学派的巨大影响，柏拉图在其最晦涩难懂的《蒂迈欧篇》中提出了关于宇宙形成的一般理论。这本书的主角即毕达哥拉斯学派中的一员，内容的晦涩难懂则无形中凸显了详尽且客观的观察与记录对于理论的重要性，而这正是科学的基础。《蒂迈欧篇》展示了知识为何能够退化——即便是柏拉图，在试图赋予整个世界意义时也会如此。这部著作暴露了柏拉图哲学中最无力的状态。

一般而言，柏拉图主义通常倾向于亲近数学而排斥实际的观察，古代的柏拉图主义于此尤甚。但关于这点也有不少明显的例外，而且，相比于那种僵化守旧的亚里士多德哲学，柏拉图哲学常常有益于科学。

有人说，每一个人天生都同时是柏拉图和亚里士多德的信徒。此话颇有些道理。亚里士多德本人在阐释他与柏拉图之间的学说区别时，就曾为这句话归纳出最简单的注解——在其伟大的著作《物理学》中，亚里士多德讨论了数学公式的应用，他说，自然科学所研究的物体显然都由点、线、面所构成，而这些点、线、面也是数学所研究的对象。那么，我们又如何从经常使用数学的自然科学中识别数学过程呢？

对于这个问题，亚里士多德回答说，数学的确研究的是点、线和面，但这里的点、线和面仅仅是头脑中的抽象物，并不受“物质实体的限制”。数学的研究对象，尽管实际上来自物质的、可运动的以及可变动的实体，但在研究时还是将其从这些变动的物质事物中抽象出来。这个抽象的过程必定包含了误差。亚里士多德声称，柏拉图理念论的错误在于，他试图在思考中排除的那些实体概念包含了物质的属性，而在抽象出的数学对象中则不包含这些内容。因此，尽管那些数学家研究的对象——不论是奇偶、曲直，抑或数字、线条或图形，都可以完全脱离实物的变化或运动，然而诸如骨肉、活人、反对者，甚至非生物界，矿物和土壤、声音和色彩、冷和热等等，却不能这样来研究。对于人类来说，这些都是自然科学的研究对象。正如自然科学之父泰勒斯所看到的，以及赫拉克利特用“存在即生成”这句话所强调的那样，变化事实上乃是自然的要素、实在的基础。但事物的变化在数学研究中被忽略了。变化或是运动的法则使得自然不会不断重复自

己,而在数学概念中,一个单位却必须严格地等同于另一个。

我们可以从柏拉图和亚里士多德这两个伟大哲学家的科学著作中看到一种对比效果。我们必须知道,科学就源自两者。柏拉图在《蒂迈欧篇》中暗藏了他的观点。在书中,他将微光中的欺骗性影像上升为形式的相似物,而这种形式在现实中是不存在的。另一边,在亚里士多德的伟大生物学著作里,我们可以看到一系列宏大的实际观察和详尽研究——以后的每一个时代里,博物学家们都会为之兴奋,为之赞叹,为之膜拜。

就科学后来的发展来说,柏拉图的重要性在于追求数学上的简洁。事实上,柏拉图受过毕达哥拉斯学派的教诲,是一位合格的数学家。他在《蒂迈欧篇》中详细地研究和记述了一类从毕达哥拉斯学派那里知悉的“柏拉图多面体”,这种多面体共有五种,每一种都由边角相等的正多边形所组成。此外,在他的著作中还有许多段落记载了他的数学贡献,这些内容对于后世数学发展的影响可谓如何高估也不为过。我们可以将这种影响总结为以下四个方面。

(1) 正是从柏拉图开始,数学才在教育中获得并保持了一席之地。数学的抽象被柏拉图视为训练逻辑思维的工具,因此学习数学也就成了进入哲学的门径。在他的学园大门上方就镌刻着这样的话:不懂数学者请勿入内。 36

(2) 柏拉图影响了数学发展的实际进程。通过柏拉图的逻辑教学,数学知识开始有了系统的结构和有别于之前的符合逻辑的结果。这一点可以从他的学生和后世追随者那里得到体现。诸如欧几里得的《几何原本》等著作,事实上就是柏拉图的思想及其学园的产物。可以毫不夸张地说,通过欧几里得的传递,今天的每个学童都是柏拉图的弟子。

(3) 从天文学的发展历史中也能够清楚地看到柏拉图的灵感。他认为宇宙本质上是完美的,并很早就将行星的不规则运动视为一种不和谐的现象。在他看来,这些运动应该被解释为一些简单圆周运动的某种组合,这是一种源自其毕达哥拉斯派老师的观点(见第 21 页)。他也因此让其学生从那些能够简化为圆形或球形的天体运动中寻找法则——这正是从他那时开始一直到开普勒时代长达 2 000 年的时间里,天文学家们的主要任务! 柏拉图主导了这些世纪里的天文学,亚里士多德在其中充其量是其学生,一如柏拉图曾经是毕达哥拉斯的学生。

(4) 柏拉图还为科学做出了一项可谓头等重要的贡献。尽管这一贡献在毕

达哥拉斯学派那里也能找到根源,并不是他的原创,但正是柏拉图的著作使其公之于众。这个贡献是一种方法:先假设问题已经得到解决,再根据结果回推,直至得到一个我们已知真假的命题。由此我们便可知该问题是否真的得到了解决,并就解决问题的一般方法及其局限性得到启示。柏拉图在《美诺篇》中提出  
37 了这个方法,欧几里得经常使用它,并且它在现代初等几何学中非常流行。

在柏拉图哲学中有一个奇怪的概念,虽然或许仅仅是其思想的产物,却在之后的岁月里始终具有重要的地位,这就是“毕达哥拉斯的蒂迈欧”。柏拉图在以其命名的对话篇中,将宇宙描绘为一个肉体浸满灵魂的活物。亚里士多德对此有过很好的总结:

在《蒂迈欧篇》中,柏拉图试图通过物理的方式来解释灵魂如何运转身体。他说,灵魂是如此深密地含蕴于生物体内,乃能以自己的运动驱使身体运动。造化先引用所有的元素制作(合成)为灵魂,再依据感觉所内蕴的和谐(合乎乐律的)数比,将其精制为弦,使之能够感应于乐律,并使其运动完全符合和谐的节奏。而后造化弯转这根直弦形成一个圆圈,再分一圈为两圈,并使两圈在两个点上相交,以后又区划两圈中的一圈为七分圈,这样,他就使灵魂的运动隐括了诸天体的运动。《论灵魂》<sup>①</sup>

在这种宇宙观的影响下,新柏拉图主义发展出一种宇宙结构预示了人体结构的观点。其后又出现了大宇宙(即“大千世界”)和小宇宙(“小世界”,即人体)紧密关联的学说。这个学说深深地影响了中世纪的基督教思想。

柏拉图创办了名为“阿卡德米”(Academy)的学校,这所学校持续了许多个世纪,在大部分的时间里进行的都是哲学讨论。克尼多斯的欧多克索(Eudoxus of Cindus,公元前409—前356年)是最早与柏拉图有认识分歧的学生之一,被视为观测天文学的奠基人。他也曾学习毕达哥拉斯学派的理论,并在柏拉图的启发下,数学进境提高很快,但是仍然对天文观测情有独钟。他的一项令人瞩目的成就是准确估算出一个太阳年的长度为365天又6个小时,而他影响最大的贡

<sup>①</sup> 此处翻译参考了吴寿彭译《灵魂论及其他》(商务印书馆1999年版,第61页)。根据吴先生的注释,这里的“两圈”,实指天球赤道圈与黄道圈,交会的两点即夏至点与冬至点,而“七分圈”则指日、月与五大行星的运行轨道。——译者注

献是认为天体运行在以地球为中心的一系列同心球面上。欧多克索观察到了行星的不规则运动,为了解释这类现象,他假设每个行星都运行在各自的天球上,而这些行星天球的中心又位于另一些更大的天球之上——根据数学和观测上的需要,这样的天球可以有三级甚至四级。对于太阳和月亮,欧多克索发现每个设置三级天球便已够用;而对于日月之外的其他行星,则每个必须要安排四级天球才能解释其运行。就这样出现了 27 个天球。这些天球——恒星同样附着其上——在欧多克索看来更多的是某种数学上的建构而非实体。 38

卡利普斯,欧多克索的学生和亚里士多德的朋友,在观测天体时发现了其老师所不知道的不规则性。为了解释这些新现象,他又加上了更多的天球,这样就使得天球的总数增加到了 34 个。<sup>①</sup>亚里士多德采纳了这个经过修正的欧多克索理论。

柏拉图的弟子赫拉克利德(Heracleides of Pontus)也为天文学做出了贡献。他提出了一个不完整的日心说<sup>②</sup>:地球绕轴自转,转一周即 24 小时;水星和金星绕日转动,其他行星则仍然绕地球转动。赫拉克利德的学说启发了其后的阿利斯塔克。

与此同时,欧多克索的另一个弟子米奈克穆斯(Menaechmus)推进了数学的发展。他是第一个系统研究圆锥截面的人。他用一个平面分别垂直地去截三种称为“直角的”、“锐角的”和“钝角的”圆锥体,得到三种不同类型的圆锥截面。其后他的继承者、亚历山大里亚的阿波罗尼乌斯命名了这三种圆锥截面,这三个名称直到今天还在使用(图 2.1)。

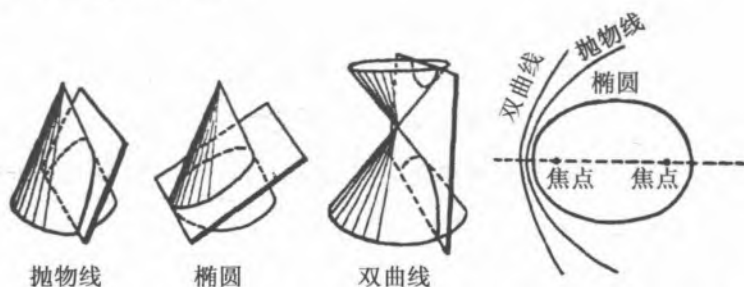


图 2.1 以平面截取圆锥体所得到的不同的曲线类型(可对比图 3.6 和图 7.2)

① 具体来说,卡利普斯给水星、金星和火星各添加了一个圆周运动,以解释逆行的不规则现象;给太阳和月亮各添加了两个圆周运动,以解释四季长度不等和月球沿黄道带的不规则运动。——译者注

② 严格来讲应该称作“地动说”。——译者注



39 还有很多柏拉图的追随者为纯数学的发展做出过贡献。其实,从某种意义上来说,后世的所有数学家都可以称为柏拉图精神的继承者。此外,植物学研究在柏拉图的学园中也有活跃的迹象,一些流行于后世的生理学理论也可能源自柏拉图本人。柏拉图主义初期主要通过圣奥古斯丁进入基督教,因此直到12世纪,中世纪的基督教哲学主要是柏拉图主义的。之后名为“新柏拉图主义”的哲学学派仍然深刻地影响着基督教。

## 亚里士多德

亚里士多德(公元前384—前322年)出生于斯塔基拉,一个距离今天阿索斯山修道院北沿仅有几英里的希腊殖民地。其父是马其顿王的御医。亚里士多德17岁时,来到雅典,成为柏拉图的学生。在公元前347年柏拉图去世之后,亚里士多德渡过爱琴海,来到小亚细亚半岛沿岸的莱斯波斯岛,并在此居住下来。公元前342年,亚里士多德成为马其顿王子亚历山大的老师,并在马其顿一直待到公元前336年——就是在这一年,亚历山大开始其改变世界面貌的征服者生涯。此后亚里士多德以一名公众教师(public teacher)的身份又返回了雅典,在那儿拥有了一座名为“吕克昂”的花园,从此“吕克昂”这个词便有了特殊的意义。在这里他建立了一个著名的学派,因为他习惯于在花园里边散步边授课,故后世称之为“逍遥学派”(Peripatetic,希腊语,意为“四处闲逛”)。

亚里士多德的著作覆盖了所有的知识领域。最早的是生物学,这部分内容写于(或至少构思于)他客居小亚细亚时期(公元前347—前342年)。其他大部分的著作则写于他第二次来到雅典之后(公元前335—前323年),历时12年,直到去世。我们必须始终牢记,亚里士多德的整个科学以及事实上他的全部思想,都深受其生物学经验的影响。

站在现代科学的立场考察,亚里士多德表现得充其量只是一位博物学家。但是,他对生物进行第一手的观察,再于此基础上进行研究并得出自己的结论,40 这完全可以视为现代意义上的科学人。在伟大的著作《论动物部分》中,他提出了“物理学”——在他看来即对宇宙的一般描述——与生物研究之间的联系,

他说：

在自然创造的实体当中，有些是非生成的、不死的和永恒的，有些则是生成的和有死的。前者最富价值，是神圣的，但我们的知识对之所知甚微。因为感官所提供的能让我们探究它们以及一切想解释的问题的明证甚少。然而对于有死的植物和动物，我们所知甚丰，因为我们就生存于它们中间。只要愿意不辞劳苦，我们就能收集有关所有物种的丰富材料。

但两种实体各自具有各自的魅力。尽管对永恒实体的认识只是一瞥，然而根据这种实体自身的价值，这一瞥所产生的快乐远远胜过获得关于我们生存于其中的那个世界的知识所带来的快乐。正像对所爱之人瞬间一瞥所产生的快乐超过对其他事物进行精细观察所产生的快乐一样，不管这些事物数有多少，量有多大。另一方面，因为我们能够获取有关地界事物更多、更完备的认识，这一方面的知识具有一定的优越性；还因为地界事物与我们更接近一些，与我们的自然或本性更加息息相通、血脉相连，因此它们能够同有关神圣实体的哲学交换位置。

但是，自然王国中的每种事物都是神奇美妙的。据说，某客人欲见赫拉克利特，当他来访时发现赫拉克利特正在厨房的火炉旁取暖，便踌躇不前。赫拉克利特叫道：“请进，请进，火炉里面也充满了神灵。”同样，我们不应迟疑和羞耻，而应大胆闯入动物世界的每一个角落进行探索和追问，因为每种动物无不展示着自然，展示着美。在自然作品中没有偶然性，只有目的因。构造和生成过程的目的因充斥于美的事物的各个领域。（对原文略做改动）<sup>①</sup>

亚里士多德认为不同种类的生物实际上有着血缘上的联系，并且完全意识到不同的物种能够被归入到一个等级分明的发展序列中去——如果说前者并不属于那种具有革命性的观念，那么后者的革命性则毫无疑问。亚里士多德的这个发展序列被后世的博物学家们称为“自然的阶梯”（图2.2）。他在《动物志》中这样写道：

<sup>①</sup> 此处翻译引自崔延强译《论动物部分》（选自《亚里士多德全集》[第五卷]，苗力田主编，中国人民大学出版社1999年版，第20—22页），略有改动。——译者注



自然由无生物进展到动物是一个积微渐进的过程,因而由于其连续性,我们难以察觉这些事物间的界限及中间物隶属于哪一边。在无生物类之后首先是植物类,在这类事物中,一者与另一者的差别看起来在于谁更多地分有生命。总的来说,植物这整个的一类较之于其他物体差不多显得像是有生命似的,但较之于动物却又像是无生命似的。事实上,根据观察,从植物变为动物的过程是连续的。<sup>①</sup>

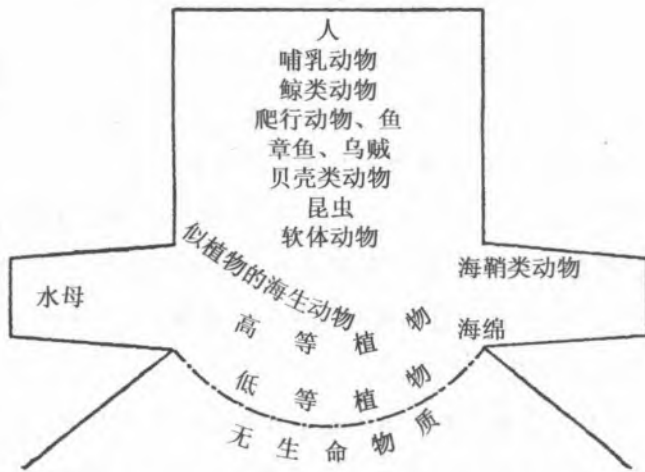


图 2.2 亚里士多德的“自然的阶梯”

我们可以把亚里士多德用来解释生命现象的特殊法则称为“灵魂”(soul),换成其原话则是“psyche”。相关的内容记载在亚里士多德的伟大著作《论灵魂》(On the Soul)中,这部书常常被人们以拉丁文名字 *De anima* 所引用。书中亚里士多德同时思考了“有灵魂”的事物和“无灵魂”的事物。他相信这种灵魂包含于质料之中,两者之间的关系是复杂难解的;但是他又告诉我们:“质料是具有同等可能性的,它是包含了实在的形式,也是赋予生命体形式或实在的灵魂存在体。”因此“灵魂”对于亚里士多德来说并非一个单独的存在。在这一点上他与其师柏拉图不同,当然也有别于通过圣奥古斯丁借用了许多柏拉图思想的早期基督教。亚里士多德也相信灵魂为了某种目的而持续运作,并且:

<sup>①</sup> 此处翻译引自颜一译《动物志》(选自《亚里士多德全集》[第四卷],苗力田主编,中国人民大学出版社 1999 年版,第 270 页),略有改动。——译者注

因为躯体的每一部分和其他器官一样,都是为了某种目的即为了某种活动而存在,显然作为整体的躯体必然为了某种复杂的活动而存在。42  
正像“锯齿”为了“锯齿的活动”,并非“锯齿的活动”为了“锯齿”。因为“锯齿的活动”是器官的使用。同样,躯体为了灵魂而存在,躯体的部分为了它们各自所适合的功能而存在。(《论动物部分》,对原文略做改动)<sup>①</sup>

因此,亚里士多德既是一个活力论者(vitalist,来自拉丁文vita,即“生命、活力”),也是一个目的论者(teleologist,来自希腊文telos,即“目的”、“目标”),亦即他相信某种特定规律的存在一方面对于认识任何生命现象是必不可少的,另一方面还能够整合所有这些现象以预示完美生命个体的出现。而那些亚里士多德所反对的德漠克利特派哲学家们则相信,所有生命体的行为都是其组成原子的相互作用的结果。因此,对于他们而言,生命体能够用机械来表现,他们是机械论者。活力论者与机械论者的分歧贯穿了整个科学史,至今仍存在于生命体的研究者中。

生命体对于亚里士多德来说不仅是一种存在的范型,还是一种充分体现造物意图的存在:

自然创造所有事物都是为了某种目的。如同人类的造物是艺术的产物,在事物本身中存在着某种本原和原因……如果天是由这种原因生成并由这种原因来维系存在的话,那么相信这个事实比相信有死的动物如此生成和存在具有更充分的理由。秩序和确定性在天体中比在我们身上显示得更为突出……因此自然的神奇体现在每一个和所有的造物之中。(《论动物部分》,对原文做了较大的删减)<sup>②</sup>

亚里士多德还曾试图分析生殖、遗传和性的本质。其内容是博物学家们日复一日所探讨的众多此类话题中最早的表述。这些在生物学方面的思考有着令人惊异的广度和深度,具备持久的价值,直到今天仍然不断被生物学家们所提及。

亚里士多德的心理学研究仅有部分被我们所关注。今天我们所关心的心理

① 此处翻译引自崔延强译《论动物部分》(选自《亚里士多德全集》[第五卷],苗力田主编,中国人民大学出版社1999年版,第22—23页),略有改动。——译者注

② 此处翻译引自崔延强译《论动物部分》(选自《亚里士多德全集》[第五卷],苗力田主编,中国人民大学出版社1999年版,第10页),有所改动。——译者注

学问题,大多包含在他对于生命本质的讨论之中。“关于自然体,”他说,“一些拥有生命,而另一些则没有。这里所谓的生命是指自我滋养以及独立生长和衰亡的能力。”<sup>43</sup>需要注意,按照亚里士多德的理解,精子或卵子起初都不算生命体,这是因为在它们的最初阶段以及受精前,它们并不拥有哪怕最基本形式的“灵魂”。

在《论灵魂》的一个著名的段落中,亚里士多德说道:

生命这个词可以在多种意义上被述说,只要以下任何条件存在,我们就可以说一事物有生命,如理智、感觉、位置上的运动和静止,或者摄取营养的运动以及生成与灭亡等等。所以,一切植物也似乎有生命;因为在它们自身之内显然具有某种能力和本原,因此植物既生长,又死亡,表现了相反方向;它们并非只是向上生长而不向下,而是在两个相反方向上,在所有方面都均等,只要它们能够得到食物,就能吸收营养继续生存。相对于有生灭的东西而言,这种摄取营养的能力可以不依赖其他能力而存在,而其他能力则不能脱离摄取营养的能力而存在。对于植物来说,这一点是十分明显的,因为它们没有灵魂的其他能力。<sup>①</sup>

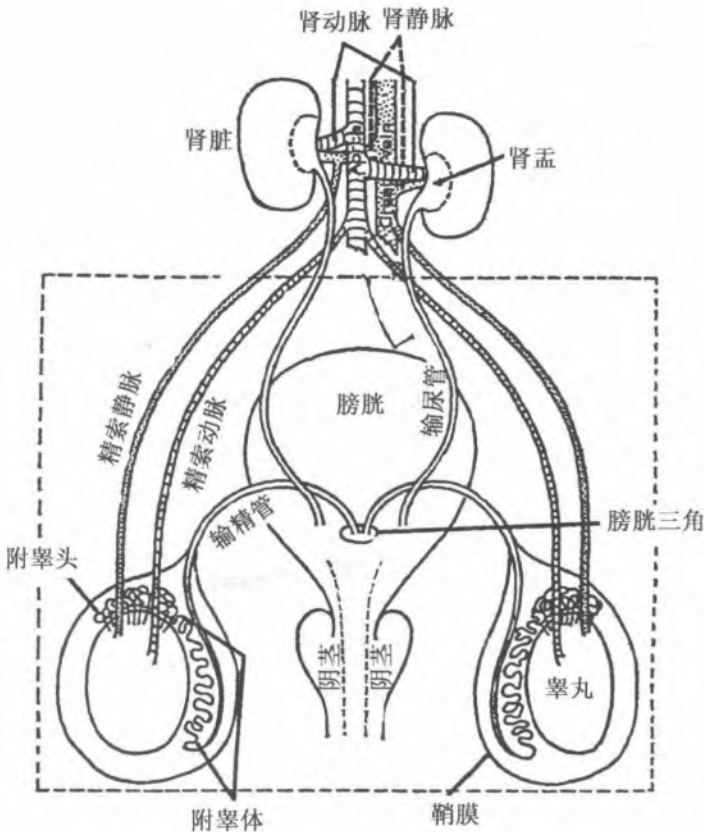
在两种低级形式——植物性的或制造营养的和可再生的以及动物性的或可运动的和敏感的灵魂之外,还存在一种理性的或有意识的和具有智力的灵魂。这第三种灵魂是人类所特有的。

这三种类型的灵魂(植物性的、动物性的和理性的),只要拥有一种或者更多,就能够具备生命体的最基本形式,从而在一个上升的生命体序列中占有一席之地。事实上,亚里士多德的“自然的阶梯”就是基于心理学的,它依据的是灵魂或思想的特质。这体现了亚里士多德的研究方法的特点:不同的研究内容应当相互交叉关联。

亚里士多德的生物学见解可能直接来源于其大量的值得钦佩的观察。其中比较令人印象深刻的有:(1)关于生物活动的一系列记录,特别是大量不同种类动物的繁殖习性。其中提到了大约 540 个物种。(2)关于禽类胚胎发育过程的研究。这已经成为此类研究中的一个经典。(3)关于章鱼和鱿鱼生活习性和成  
<sup>44</sup>长过程的考察报告。其学术水准可以说直到近代才被超越。(4)关于反刍动物

① 此处翻译引自秦典华译《论灵魂》(选自《亚里士多德全集》[第三卷],苗力田主编,中国人民大学出版社 1999 年版,第 33 页)。——译者注

的四室胃、哺乳动物生殖系统的输导管与血管之间的复杂联系、海豚和小鲸等哺乳动物特征的解剖记录。这些内容直到 16 世纪都未被改写。(5)关于一些鱼类的异常生长模式的考察报告。其中提及一种狗鱼,其幼体通过胎盘和脐带与母体的子宫相连,与哺乳动物非常相似。在亚里士多德的所有成就中,该发现对他在今天所拥有的科学声誉贡献最大。(6)作为其胚胎研究的结果,亚里士多德赋予心血管系统超乎寻常的重要地位。他认为心脏在人体的器官中“生得最早,死得最晚”。这个观点传到了中世纪,并一直流行到 18 世纪。(7)亚里士多德通过图表来解释复杂的解剖关系,这持续丰富了科学教育的方法。尽管已经佚失,但是他的一些图表依然能够从其文字描述中复原(图 2.3)。



虚线框内是根据其《动物志》的描述所复原的已经佚失的图示。括号内标出的是现代的科学技术语,其余则是亚里士多德所用术语的字译或转译。

图 2.3 亚里士多德所描述的哺乳动物的生殖系统和排泄系统

由于所用方法与我们今天的非常近似,亚里士多德的大部分生物学著作读起来仿佛出自现代博物学家之手。然而,当我们转而考察他对宇宙的看法时就会发现,无论是研究的方法还是思考的模式,都与我们今天相去甚远,若非经过一些特殊的学习,我们很难理解或认同他。对亚里士多德自然哲学的彻底摧毁导致了造反世纪的知识革命,而现代科学就是这场革命的产物,因此我们今天探究他的思想并非一件易事。

我们几乎所有的人都曾从小被灌输一种“自然同一性”的思想,亦即相同的原因无论何时何地都导致相同的结果。因此,举例来说,一想到天文学家们探索太空并得到我们所处世界以外世界的新发现,我们就会假设,而且也有理由假设,正是我们学过的那些地球上的普遍自然规律支配着这些星空。也正是通过这样的“自然同一性”原理,天文学家们得到很多归纳性的认识,比如众多恒星的确切的化学组成。然而关于这条法则,我们是否质疑过它?也许我们可以问,如果我们所知的地球上的自然法则不适用于天上的星星,那些天文学家们还能够做出这些发现吗?对于亚里士多德来说,这个我们视为理所当然的同一性法则就绝非显而易见的。在他看来,天空世界不但异于地球,其运作方式也与地球毫不相同。

亚里士多德并不知道《以赛亚书》,但是他认为天地规则不同的哲学看法,对于读过此书的基督教神父们以及他的中世纪追随者们却具有一种特殊的吸引力。他们被以下这段庄严并且常被引述的段落拉得更近:

我的意念非同你们的意念,我的道路非同你们的道路。天怎样高过地,照样,我的道路高过你们的道路,我的意念高过你们的意念。(《以赛亚书》第55章第8—9节)

像苏格拉底一样,以赛亚有着比照天地将精神分级的想法。亚里士多德也常常如此,但他还同时思考其他种类的秩序,特别是我们至今仍在不断探索的自然秩序。但我们必须记住,对于亚里士多德来说,所有的秩序都是相互联系的。

在完成生物学研究后,亚里士多德开始致力于寻找一个关于宇宙的一般性理论,这个理论必须能够将宇宙的方方面面联系起来,物质宇宙的结构就体现在这方方面面之中。亚里士多德反复修改斟酌,试图将其先前的生物学发现融入

这个普遍图景。由于涉及物质世界，我们特别关注这个图景。然而，亚里士多德的物理和天文学观念并不涉及个人的渊博学识和经验，这与其生物学观念不同，因此按照科学的方法来考察，它们要远逊于后者。但是，亚里士多德的物理和天文学观念影响了其后的很多个世纪，而他的生物学工作却被忽视乃至最终被遗忘，直到接近现代的时间里才被重新发现。

像柏拉图一样，亚里士多德也在其自然图景中显示了毕达哥拉斯学派的倾向。他特别强调圆和球体是最完美的图形，因此世界是以它们为蓝本的。这使得他进而认为天空是由一系列同心球构成的，而我们的地球就位于这些同心球的共同中心(图 2.4)。他将这些球体描绘成水晶球，并按照欧多克索的数学设计机械地运行。围绕着我们地球的是空气天球，往外则是若干纯元素性质的天球，按其密度排列由内向外分别是土(或者更确切地说是土蒸气)、水、气和火。这些纯元素球层对于我们来说如同天空本身一样无法到达。接下来，在火元素球层之外，是由一种更加神秘的“以太”(希腊语意为“闪亮的”)组成的区域，这是一种组成天体的物质。在这个区域内，紧接着火元素球层的是七个天球，每一个都负载着一个行星；再往外则是满载着恒星的第八个天球；最后，在所有的天球之外，还有一个天球，正是这个天球的神圣和谐引致了整个天体系统的恒定运转。

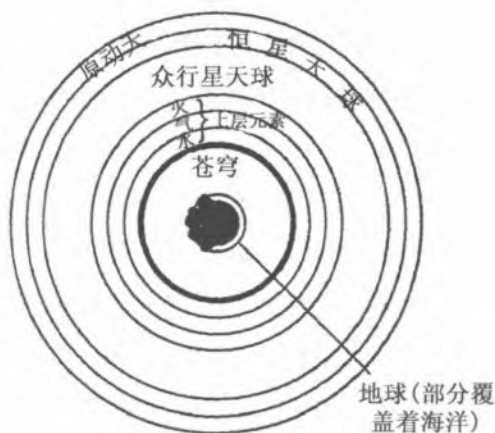


图 2.4 一名中世纪作者所构想的亚里士多德的宇宙

以上就是这个体系的基本情况。它在 2 000 多年的时间里统治着人们的自然观。我们可以将这个体系的内容以及它的历史和命运概括如下。



(1) 物质是连续的。

由于持有这样的观念，亚里士多德站在苏格拉底和柏拉图一边反对德谟克利特。德谟克利特及其信徒伊壁鸠鲁相信物质是由原子构成的，他们的追随者们则将其变成一种与早期及中世纪基督教特别格格不入的学说。这种原子论与亚里士多德的物质观无法共存，而亚里士多德对它的批判也招致了神学对它的厌弃。我们将会看到，在其后的很多个世纪里，原子论都将因此湮没无闻。

(2) 所有地上世界的物质都由“土”、“气”、“火”、“水”这四种“元素”组成，其中每种元素都代表四种基本特性(热、冷、干、湿)中两种特性的组合(图 1.13)。

这种物质观来自恩培多克勒，其起源也许还要更早。这也是毕达哥拉斯学派关于万物都处于爱或恨状态的观念的亚里士多德式表达——譬如“火”，就可以视为对“水”的“恨”和对“气”的“爱”。这个四元素的学说几乎到了 17 世纪才受人质疑，并且一直延续到了 18 世纪晚期。它与基督教和伊斯兰教的思想契合得如此之好，以至于其本身也成为了正统中世纪神学的一部分。

(3) 恒星和行星在各自的水晶球上以均匀的圆周速度围绕地球运行。每一个天球都受到其他天球的影响。

该普遍观念也源自毕达哥拉斯学派。亚里士多德将其从欧多克索那里借来，使之机械化，并适用于他的哲学体系。他的设计，或者说对原观念的修改，构成了其学说的基础，直到 17 世纪才被开普勒所颠覆。

(4) 圆周运动是完美的，因为圆是完美的图形。圆周运动表征了恒定有序的天上世界。与之形成对照的是直线运动，它是我们这个易变的、不完美的地上世界的主要运动形式。

“不完美的尽头，就是天上世界的开始。”

这里仍然是受到了毕达哥拉斯学派的影响。这种观念的依据是：天体表现为环绕我们运动，而地上的物体则趋向于下落或上升。牛顿在 17 世纪末成功用众所周知且实证的术语描述了天体的运动。但是，直到他所生活的年代，天上和地上物体之间的差别对于人们来说仍然是一个谜或一个困惑，抑或两者兼而有之。

(5) 从某种意义上讲，宇宙被包含在其最外部的天球内，因此其空间是有限的；宇宙作为一个整体不生也不灭，因此其时间是无限的。

宇宙在时空上的有限性对于中世纪所有的神学体系都是必要的,对于西方教会尤其如此。这种观念直到布鲁诺(死于 1600 年)的时代才受到有力的质疑。因此,即使是亚里士多德自己的观点也不能完全地接受。宇宙时空无限性的观念在哲学上的回归,是科学史上的一个里程碑。

亚里士多德认为天体运动遵循其自身的特殊法则,这被强烈指责为分离了天上和地上的力学,从而妨碍了天文学的发展。他还认为天上世界无法通过实验进行研究,因此阻碍了天文观测。同时,他关于“自然的”和“非自然的”运动之间存在差别的设想,又阻止了力学知识的进步。在长达 2 000 年的时间里,亚里士多德对于世界的一般看法都被奉为正统,甚至质疑它都是危险的。亚里士多德该为这样的思想暴政负多少责任呢?对于这个问题有很多答案,下面我们仅举出其中的四个。

(1) 并非亚里士多德首倡天上的物理学与地上的物理学存在不同,在他的前辈那里,这种不同就已经被视为理所当然,譬如毕达哥拉斯学派就很强调它。事实上,亚里士多德通过展示其积极而切实的计划,赋予了自然研究新的价值。

(2) 用其自身的伟大来指控亚里士多德是不公平的。我们关于物质世界的所有观念——我们称其为“科学理论”——都是根据具体需要而定的,随时有待抛弃。这也是亚里士多德本人所提出的主张。在详细说明行星的运动时,他还提醒读者们将其观点与他们自己所得到的进行比较。因此,他的体系在 2 000 年 50 里没有受到有效的批判,其错并不在他。很明显,跟“众所周知的导师”相比,他的追随者们只是一些“矮子”。

(3) 事实上,亚里士多德反对我们今天的世界观的一些理由在当时是合理的。比如他反对地球的运动,因为在他看来如果这样的运动存在,就会产生恒星的视运动。这是一个很充分的反对理由。这个问题直到 19 世纪论证星际运动时才再度被提及。先前恒星视运动之所以没有被发现,乃是因为天体与我们之间有着巨大的距离,而在这种距离上产生的恒星视运动,小到只有用非常精密的仪器才能观测到。

(4) 我们必须记住,亚里士多德体系的僵化并非存在于他本人的思想中,而是来自旁人对它的阐释。后人——特别是中世纪的人们——将亚里士多德的理



论与他们自身的宗教观念联系起来,酷烈的争论关注的只是亚里士多德体系的合理性而非其在哲学和科学上的价值。

## 逍遥学派、斯多葛学派和伊壁鸠鲁学派

亚里士多德与亚历山大的关系并没有给他本人带来帮助。<sup>①</sup>但是毫无疑问,这位伟大的征服者是学术的朋友,许多重要的研究都由其发起。他曾经试图调用一支特殊的军队来调查他的帝国。这支队伍原本的任务是对帝国的主要道路进行维护,其后则是为科学服务,比如搜集所在地的自然史资料。还有一些研究是由亚历山大的某些指挥官做出的,其中有名的是他的舰队司令尼阿克斯(Nearchus)和安德罗斯提尼斯(Androstheneis)。两人在植物学和地理学方面的著作一部分被保存了下来。

51 亚里士多德的工作被他的逍遥学派成员所延续,其中最有名的是不朽的狄奥弗拉斯特(Theophrastus of Eresus in the island of Lesbos,公元前 372—前 287 年)。作为亚里士多德的学生,他一直活到了亚历山大里亚出现了第一批科学家。他做出了重要的植物学研究,并按照亚里士多德的精神延续着他的研究。有趣的是,同其老师一样,狄奥弗拉斯特在生物学研究方面也显示出了一种对“进化”的偏爱。在一篇伟大的植物学论文中,他注意到,“哪里有增长,哪里就有生命。因此我们应当观察这些事物,不是因为它们现在是什么,而是因为它们将要成为什么。此外,除去一些特殊的种类,一般的植物在任何地方都能找到,永远不会消失”。

古代的科学受限于科学术语的缺乏。狄奥弗拉斯特试图在其所选择的植物学领域内弥补这个缺陷。他的术语没有像我们今天一样选择一种古典的语言,而是宁愿在当时的流行词中寻求特殊的含义。在这些词中有“carpos”(果实)和“pericarpion”(果皮)。现代植物学中对“果实”和“果皮”的定义就源于狄奥弗拉斯特。他的很多植物命名仍然保留在现代植物学中。

<sup>①</sup> 在古典古代晚期的著作中能够找到许多不同的观点,但其中尚无一个经得起严格的考察。

在保存至今的古代生物学论著中，狄奥弗拉斯特的植物学著作堪入最佳之列。它们包含了许多敏锐而精确的观察，其中就有他对单子叶植物和双子叶植物清晰而准确的区分。有趣的是，他还试图区别植物的性别，可惜其努力只在棕榈树上获得了成功。当然，关于这些植物，正如希罗多德所告诉我们的那样，在古巴比伦人那里已经有了同样的想法。

奥托吕科斯(Autolycus of Pitane, 公元前360—前300年)是另一个比亚里士多德年轻的同代人。他在自己的家乡以及萨第斯生活，为了研究天文学和地理学而发展了球面几何学。一个叫做狄西阿库斯(Dicaearchus, 约公元前355—约前285年)的亚里士多德的学生也致力于类似方向的研究。他投身于自然地理学，写了一部带有一幅地图的描述世界的书。他还根据亚历山大远征将士提供的信息，首次在地图上画下了一条纬线。这条线在当时仅被视为便于使用的分界线，从海格力士柱<sup>①</sup>向东经过托罗斯山脉<sup>②</sup>和“伊马乌斯山”(Imaus, 即喜马拉雅山)，一直延伸到东海。 52

这里值得一提的还有探险家皮西亚斯(Pytheas of Marseilles, 公元前360—前290年)，尽管他并不是逍遥学派的成员。今天我们已经能够比较精确地描绘出其非凡旅程的线路。他大约在公元前320年3月从家乡马赛<sup>③</sup>出发前往西班牙，沿着地中海的海岸，穿过海格力士柱，来到西班牙加的斯。其后他继续沿着大西洋海岸航行，最远到达奥塔加耳角(Cape Ortegal)。在那里他转而北上，途经韦桑岛来到英格兰西南端的康沃尔。接下来，他环绕大不列颠岛一周后，来到肯特，沿着欧洲大陆一侧的海岸穿过英吉利海峡，再沿着北海海岸来到易北河河口。在那里他再次掉头北上，沿着斯堪的纳维亚半岛的海岸，最远到达大约位于北纬63度的挪威港口特隆赫。在继续扬帆远海之后，他因故沿着原路返回，并于同年的10月回到马赛。

皮西亚斯是一名很好的天文学家，做了大量的纬度观测工作，其中包括非常精准地确定了家乡马赛的地理纬度。他还是第一个对潮汐有正确认识的希腊人，指出潮汐同月球和月相之间存在着联系。

---

① 即直布罗陀海峡。——译者注

② 位于土耳其南部的一条山脉。——译者注

③ 当时是希腊的殖民地。——译者注

色雷斯人斯特拉托(Strato of Lampsacus, 约公元前 300 年)是早期逍遥学派最知名的人物之一。他将世界的形成归结为自然力的作用,认为自然需要高于一切。由于还保留着对原子论的反对意见,他寻求将所有的灵魂功能都解释为运动的不同模式。

在第一代成员之后,逍遥学派就开始致力于保存和注释其奠基者的著作,鲜有科学上的创新。大约在公元前 300 年之后,雅典也失去了科学中心的崇高地位。但在逍遥学派的后期,仍然有两位成员在科学史上较为重要。一位是大致与基督同时代的安德罗尼柯(Andronicus of Rhodes),他起草了一篇对亚里士多德著作的评论,其观点与我们今天对亚里士多德的看法非常相似。另一位是西里西亚人亚历山大(Alexander of Aphrodisias, 约公元 200 年)——一个勤勉的亚里士多德注释者,其作品被新柏拉图主义者大量使用,是后世阿拉伯文注释以及许多以阿拉伯文注释为依据的拉丁文注释的基础。在亚历山大死后,逍遥学派很快就融入了新柏拉图主义学派。

与逍遥学派同时期创立的还有斯多葛学派(Stoic),这个学派因成员最初常在雅典集会广场的柱廊(stoa)下聚众讲学而得名。斯多葛学派提倡自然力按照逍遥学派斯特拉托所主张的那样运作,但与逍遥学派不同的是,他们更强调这个物质世界所有不同部分之间的相互作用。因此,在世间万物自身皆有因果的同时,它们还处在其他事物的因果之中。所有存在都能够主动或被动地遵守彼此间“力”的主动原则和“物质”的被动原则。在这种“普遍影响”的理论下,物质及其造物并没有真正的不同。神性的概念因此变得模糊,并与“理性”和“规律”混合在一起,呈现出泛神论的面貌。

斯多葛学派的宇宙论在科学史上也很重要。从“原始存在”(primitive being)或“普纽马”中依次分离出四元素,首先是火,最后是土,余下的“普纽马”成为“以太”。亚里士多德模型的宇宙即由这五个元素生成。在这个世界里,我们作为其中的一分子,组成我们的物质也需遵守其必然的法则。然而这个世界也会腐朽并重新分解为元素,乃至最终回到“原始存在”或“普纽马”。我们的个体灵魂起初也是宇宙普纽马的一部分,之后从中分离出来,在胚胎时期处在“植物”阶段,接着依次进入“动物”阶段和“理性”阶段,最后复归宇宙普纽马。

就人的行为和关系而言,斯多葛主义的核心是宿命。斯多葛学派的哲学家

训练自己顺从不可逃避的宿命，并且相信占星术能够检验它。他的义务就是不断地发展自己的灵魂，等待着它最终被世界灵魂所吸收。

斯多葛学派先后经历了雅典、罗得岛和亚历山大里亚三个时期，直到罗马帝国时期始有巨大的影响，成为上层社会的流行思想。其代表人物有诗人克里安塞(Cleanthes of Assus, 约公元前 250 年)、气象学家阿拉托斯(Aratus of Soli, 约公元前 260 年)和作为比提尼亚人的学者波西东尼(Posidonius of Apamea, 公元前 135—前 50 年)。后者作为斯多葛主义的代表人物，渴望揭示宇宙中各个不同部分之间的相互关系。他乐于讨论月球对于潮汐的影响，比前人更大地估算了太阳的体积。波西东尼还是西塞罗的朋友和崇拜者，成为连接希腊斯多葛主义和罗马斯多葛主义的纽带。

逍遥学派和斯多葛学派的另一个竞争对手是伊壁鸠鲁学派，它由伊壁鸠鲁(公元前 342—前 270 年)于公元前 307 年创立。伊壁鸠鲁的思想主要以德谟克利特的原子论为基础，兼有一小部分阿那克萨戈拉的影响。伊壁鸠鲁学派的哲学传统上被分为三大部分：逻辑学、物理学和伦理学，但除了热衷讨论原子学说，该学派对现象显得缺乏兴趣，伊壁鸠鲁本人甚至反对进行科学探索。

伊壁鸠鲁学派的哲学曾在亚洲和埃及得到快速和广泛的传播。大约在公元前 150 年，该学派在罗马得到了重建，其中最有才华的代表人物是卢克莱修(公元前 95—前 55 年)。

这些学派——逍遥学派、斯多葛学派、伊壁鸠鲁学派——之间的论争，对于柏拉图和亚里士多德的伟大思想建构来说看似是微不足道的。在亚里士多德之后，我们告别了古代科学思想的第一个也是最活跃的阶段。在评估他在科学史上的地位时，我们可以说：(1)他代表了“大探索”时代的最后阶段，试图将世界描绘为一个整体和一个一元体系。(2)他提供了一个哲学上的综合体系，从其所处时代直到 17 世纪的漫长时间内——尽管这个体系或多或少地受到了修正——始终能够满足人们智力上的需求。

然而，在这个看似浑然一体的哲学体系内部却存在着两个巨大的断裂。一个裂缝存在于天上和地上的物理学之间。它在从布鲁诺到牛顿的“造反世纪”里最早开始得到弥合。另一个裂缝存在于生命世界和非生命世界之间。伊壁鸠鲁学派的哲学曾试图通过引入一个“机械论”体系来弥合它。中世纪的基督教会用

元气论来批判伊壁鸠鲁学派的这种解决方案,甘于将这种断裂作为世界神圣秩序的一部分来接受。而从17世纪的范海尔蒙特、笛卡尔、波雷里和西尔维乌斯等人开始,近代的生理学家们一直在试图解决这个问题。

在即将离开希腊科学的英雄时代之际,我们还要再次强调一番这个我们称之为“大探索”的哲学探索的“普遍”特征。这个时期内的科学活动,事实上具有今天我们定义为“哲学”的性质。每一个研究的目标都是使自己的观察以及归纳出的法则符合一些普遍的宇宙图景。从那时到现在,我们的哲学都是在持续地试图攻击一些“空中楼阁”。但是,在进入到我们即将讨论的新时代之后,这种伟大的正面攻击遭到了挫败,科学因此开始逐步地脱离哲学,发展出自己所特有的有限目标的方法。这些最初的种种尝试导致了“大挫败”,其故事能够追溯到2000年以前:起初是勇气如同亚历山大里亚学派那样遭到了挫败;接着灵感在罗马帝国受到了阻滞;最后知识本身在中世纪也褪色了。然而,科学终于还是获得了新生。文艺复兴之后的科学重又开始在其有限目标的方法下发展至今。接下来我们将要讨论的,就是这种方法与导致“大挫败”的方法之间的不同之处。

### 第三章 勇气的挫败——科学和哲学的分离： 亚历山大里亚（公元前 300—公元 200 年）

#### 亚历山大里亚时代早期（公元前 300—前 200 年）

在亚历山大死后(公元前 323 年),他的帝国变得四分五裂(图 3.1)。一位名叫托勒密的将军攫取了埃及,建立起延续了 300 年的托勒密王朝。这个王朝的统治者无论男女大多富有智慧和才干。他们的第一个贡献在于奠定了学术的传统,第二个贡献则是在亚历山大里亚建立了一座图书馆和艺术宫。这座城市因



图 3.1 亚历山大帝国的分裂



之成为科学世界的中心。学者们云集此地,在王朝统治者的资助下从事学术研究。这座“世界学校”持续活跃了两个世纪,直到公元前 100 年开始衰落,并在公元 200 年之后加剧衰落,其后尽管间或出现了一些学术的复兴,但到公元 400 年时还是不可避免地走向了终点。

早期的亚历山大图书馆有许多著名的馆长,其中大部分是文学家,但也有些是自然哲学家,比如埃拉托色尼和阿波罗尼奥斯。从公元前 300 年到公元 200 年,大部分杰出的自然哲学家都是亚历山大里亚的教师。只有少数的几位,例如著名的阿基米德和盖伦,与这座埃及的大都市没有密切的关联。然而即便是他们,也都曾经是这座“学校”的学生,并与其老师们有着信件往来。因此,公元前 300 年以后的希腊科学完全可以称为“亚历山大里亚科学”。

当然,亚历山大里亚作为当时的学术之都,也并非完全没有竞争者,其中最主要的是位于小亚细亚西岸的罗得岛和帕加马城。亚历山大里亚和帕加马之间的敌意至今仍有趣地残留在我们的语言中。亚历山大里亚的书籍写在由“纸莎草”(papyrus)制成的纸卷上,这也是我们今天“纸”(paper)这个词的由来。为了防止帕加马人获得这些跟知识有关的财富,心怀猜忌的托勒密王们禁止出口纸莎草。而面对这种宝贵的进口被切断的情况,帕加马的统治者们转而改进一种皮革的制取方法,这种方法源自亚洲,制成的皮纸能够作为书写的材料。所谓的“帕加马薄膜”(membrana pergamentum)就这样发展而来,在我们今天的语言中,它被称为“羊皮纸”(parchment)。

亚历山大里亚科学的特征是循着“专业化”的道路发展。这种特征使得科学逐渐摆脱了一般哲学思想的纠缠,虽然在当时这种纠缠仍然存在。我们可以将亚历山大里亚科学简单地划分为三个历史时期:早期在大约公元前 200 年以前,包括了这所世界学校的第一代和第二代人;中期在此之后直到基督诞生;后期则从公元前后直到这所“学校”的末日。其中,阿基米德需要单独加以讨论。

在亚历山大里亚时代早期,一个显著的事实是数学具有重要和独立的地位。在这所“亚历山大里亚学院”中,首先值得一提的是杰出的数学家欧几里得(约公元前 330—前 260 年)。他在雅典接受了数学训练,老师可能是柏拉图的一名学生。其最负盛名的作品《几何原本》在后世成为教学的典范,并且也许是除了《圣经》之外,被人们研习最多的文本。在其后的 22 个世纪内,这本书的一部分,特

别是全部 13 卷中的前 6 卷，也成了几何学的“圣经”。尽管今天的学校已经不再直接使用这本书，但那些新的几何学教材仍然建基于这位亚历山大里亚先知的工作。

欧几里得的著作中到底有多少内容是其本人的原创呢？事实上，在他之前便已经有人写就了关于几何学的基础读本，希俄斯岛的希波克拉底<sup>①</sup>即是其中的代表人物。在欧氏之前，人们就已经公认直线和圆为几何学的基础，研究了直角三角形的性质、可公度与不可公度的比例原则，还发现了圆锥曲线的一些性质。当时的自然哲学家们都熟知五种“柏拉图正多面体”，诸如圆锥与圆柱、棱锥与棱柱之间在体积上的关系等立体几何问题也都已经得到了解决。欧几里得将这些数学成果在结构安排、逻辑关系、表达方式以及完整性方面都进行了整合与提高，其成果自然超越了前人，并很快确立了其历史地位。 58

欧几里得的这部伟大著作尽管名为《几何原本》，但其主题却远远超出了今天所谓“几何学”的范畴。这部书一共 13 卷，有 3 卷内容涉及数论，其中就包含了关于素数的个数有无限多的证明——这是一个重要的问题，从数学家们对素数的持续不断的关注即可看出，欧几里得之前有毕达哥拉斯和柏拉图，之后更有大名鼎鼎的埃拉托色尼、欧拉、拉格朗日和高斯。

在第十卷中，欧几里得还阐述了“无理量”这个重要概念，从而打开了一个某些事物不能进行有形表达的思想世界的大门。虽然毕达哥拉斯闯入过这个世界，柏拉图和亚里士多德也曾对其投去一瞥，但欧几里得却是第一个试图系统探索它的人，其中特别值得一提的是他与其希腊后继者“粗暴”地区分了“无理量”和“无理数”。尽管在其第五卷发展出的比例理论中就暗含了无理数理论的要素，欧几里得却由于严格避免把数与几何量等同起来而没能进一步发展它。直到笛卡尔揭示出形与数在深层次上的统一，两者之间长久以来的裂隙才得以弥合。

欧几里得是个多产的作者，但著作大部分都亡佚了，余下的部分保存在后世阿拉伯人的译本或是一些被篡改的文本里。在那些失传的著作中，特别值得一 59

<sup>①</sup> 古希腊几何学家，约活动于公元前 5 世纪中期。相传他早于欧几里得近 100 年汇编了一部关于几何原理的著作。这部著作虽然没有传下来，但欧几里得可能将其作为《几何原本》的雏形。——译者注



提的是《论谬误》，这本书讨论了几何学研究中导致错误的原因。此外他还有一些关于天文学、光学和音乐的著作。

欧几里得去世后不久，萨摩斯的阿利斯塔克(约公元前 310—前 230 年)便开始了其在亚历山大里亚的执教生涯。他是一位斯特拉托门徒的学生，对于地球在众天体中的位置有着自己独特的看法，这为他赢得了“古代哥白尼”的称号。他发展了一名早期自然哲学家关于地球围绕其轴旋转的观点，认为太阳是静止的，不仅水星和金星，包括地球在内的其他所有行星都循着圆形的轨道围绕太阳运行。有趣的是，与两个世纪前阿那克萨戈拉因其学说被控“渎神”一样，阿利斯塔克也因此观点遭受到了相同的“待遇”。

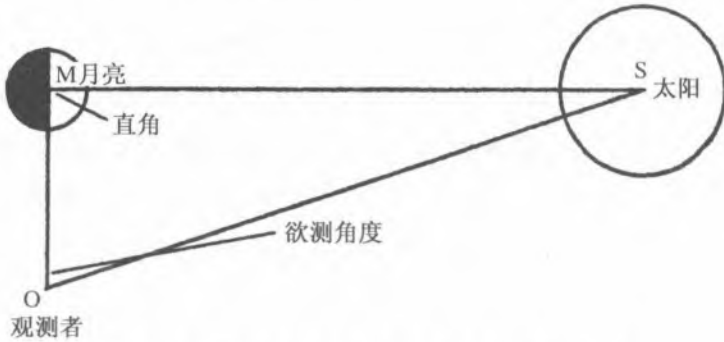


图 3.2 阿利斯塔克测量日地与月地之间的相对距离

今天，我们把阿利斯塔克视为最早试图测算日地、月地距离，以及三者相对大小(图 3.2)的人。他明了月光是月球反射的太阳光，当月亮恰好半圆时，位于地球上的观察者投向月球中心(M)的视线，必定与太阳中心(S)射向月球中心的光线相垂直。现在，观察者只需测量出日、月与观察者的眼睛(O点)所构成的角度(即 $\angle SOM$ )，便能够根据直角三角形的一些性质，计算出边长 OS 与 OM 的比值，这个比值就是日地距离与月地距离的相对长度。

然而这个方法的难点正在于如何准确地测定 O 点的角度，其测量值出现哪怕一点点错误都会造成最终结果的巨大偏差。这个角度的实际值是 89 度 52 分，阿利斯塔克将其估算为 87 度，因此其计算结果是日地距离约为月地距离的 18 倍，而非实际上的超过了 346 倍！

一旦知道了日地和月地之间的相对距离，我们便能够根据在地球上观察到

的月球光盘和太阳光盘的相对尺寸，来估算月球和太阳实际上的相对大小。阿利斯塔克正是通过这个方法，计算出太阳的大小是月球的 7 000 倍。由于前面的误差，这个比值与真实情况相距甚远。尽管如此，这个结果却也使他认识到，虽然月球确实比地球小，太阳却比地球要大得多——这种基本的关系也许又进一步促成了他的学说，因为从“天性”上来说，一个体积大得多的物体似乎是不会围绕一个体积相对较小的物体运行的。

与阿利斯塔克同时代的另一些亚历山大里亚的天文学家们则通过测量诸恒星与一些固定点的距离而标定其天空方位。他们认为黄道上的恒星尤其重要而详加标定，这些恒星位于所有行星轨道的附近，各大行星的运动也因此得到了更精确的观察和记录。这些观测资料又为后世的天文学家所用，特别是喜帕恰斯。

古希腊哲学作为科学之母，主要关注物质世界的三个方面：(1)数、形、数与形的关系，以及两者与物质实体之间的关系；(2)宇宙的构成及其运作；(3)人的本性。在科学已经从哲学中分离出去(第 57 页)的亚历山大里亚，人们自然希望在数学和天文学获得体系化的同时，剩下的医学也能延续这一进步的科学传统，在其基础研究上取得同样的发展。

解剖学和生理学在亚历山大里亚第一代学人那里成为公认的学科。卡尔舍顿的赫罗菲拉斯(Herophilus of Chalcedon, 约活跃于公元前 300 年)与欧几里得同时代，是亚历山大里亚最早的亦是重要的医学教师。他开始了公开进行人体解剖的实践，并在描述人体解剖时，将其与动物解剖进行比较。他认为大脑乃神经系统的中心，是“智慧之府”。他的名字在今天仍然与大脑中的某些部位有着关联，现代解剖学家所谓的“赫罗菲拉斯的葡萄榨汁器”即是其中之一，这是脑后四条大静脉的交汇处，其形状在赫罗菲拉斯看来酷似榨汁器的手柄。赫罗菲拉斯还首先清楚地区分了静脉和动脉。他观察到动脉的搏动，认识到它们与静脉的不同。当然，他并没有将动脉的这种搏动归结为心脏的作用，而是错误地认为是动脉自身的“天然属性”所致。

与解剖学家赫罗菲拉斯相比，希俄斯的埃拉西斯特拉塔(Erasistratus of Chios, 约公元前 280 年)略为年轻，他是一名生理学家，也在亚历山大里亚执教。他追随德谟克利特，是一名原子论者，但其生理学的基础理论却是所有的器官都是三种脉管系统——静脉、动脉和神经——的综合体，由更细小的肉眼看不见的

分支扩展而成。在那个时代以及其后很长一段时期内,神经都被认为是中空的,其假想的空腔内输送着假想的“神经流”,如同动脉和静脉中输送血液一样。

埃拉西斯特拉塔同赫罗菲拉斯一样特别关注脑部。他区分了大脑(cerebrum)和小脑(cerebellum),观察到人和动物的大脑都有脑回,并认为人拥有比动物更高的智慧与人的脑回比动物更复杂有关。他还通过动物实验,发现了脊髓神经前根与后根的分别——前者传递体表的感受,后者传递运动冲动。然而这个发现却被遗忘或忽视了,直到19世纪查尔斯·贝尔爵士(1774—1842年)才又重新发现了它。

埃拉西斯特拉塔还观察到了乳糜管。这些淋巴管负责输送一种被称为“乳糜”的白色乳状液体,这种“乳糜”源自小肠中的食物,并被运往肝脏。乳糜管在动物的机体系统中起着非常重要的作用,然而却在埃拉西斯特拉塔发现它之后几乎不再被人提及,直到17世纪意大利人加斯帕多·阿塞利(Gasparo Aselli, 1581—1626年)再次记录了它。

需要一提的还有埃拉西斯特拉塔对于动物机体一般运作的看法。他设想空气由肺吸入人体,接着被送往心脏,在那里与血液混合起来,形成一种特殊的“元气”或是“生命灵气”,然后再通过动脉被输送到身体的各个部位。当这种“生命灵气”到达脑部后,又被进一步转化为另一种名为“动物灵气”的特殊“元气”,这种“动物灵气”通过那种“所谓”的中空神经被传输到身体的不同部位。埃拉西斯特拉塔的这一套生理学体系后来得到了盖伦的进一步发展,尽管后者对这位先驱的观点也提出了大量的异议。

在第一代学者之后,对生理学的研究热情便在亚历山大里亚消退了。对此以及关于亚历山大里亚科学,我们大体上可以特别指出三点。

(1) 赫罗菲拉斯与埃拉西斯特拉塔的名字一直以来都与进行活人解剖的恐怖指控联系在一起,然而历史学家们经过研究,欣慰地发现这个指控并不成立。

(2) 埃拉西斯特拉塔认为,在人体内循环的“元气”能够无限地从空气或是大千世界的“元气”中汲取,这就为那种认为人的灵魂乃世界灵魂之一片的哲学观念提供了生理学的基础。这样的看法在后世的作品中不时地出现,比如奥勒留皇帝这样的斯多葛学派(公元2世纪)成员的著作,或是所谓的“秘文”的作品(公元3世纪)。生理学和哲学于是有了相互作用。

(3) 亚历山大里亚在公元前 3 世纪时还是一个重要的犹太中心。《旧约》中的一部分内容在公元前 250 年左右由希伯来文翻译为希腊文。通过与希腊人的接触，希伯来人的自然观变得更加理性。尽管在早期的圣经文学中还提到很多神对自然过程的干预，但到了亚历山大里亚时期的“智慧文学”中，却已经将自然法则与神谕等同起来，甚至在一些章节中，还记载了各种类型的与希伯来人原有观点相左的希腊哲学思想。其中有希腊人所提出的各种“第一性原理”：泰勒斯认为是“水”，赫拉克利特认为是“火”，毕达哥拉斯认为是“环绕的群星”，阿那克西米尼认为是“气”，还有一些哲学家隐晦地认为是“风”或“元气”。此外还有从巴比伦传入的星占学新理论，认为表征季节的天体有着复杂的数学规则，这种数学规则支配着季节的轮换，进而也支配了人们的生活。一部大约在公元前 1 世纪写于亚历山大里亚的犹太著作猛烈抨击了这些观点：

63

所有人天性都是愚蠢的，如果不能从善中感受到神的存在，那就无法了解自己——从那些所谓的大师们的作品中不能，从火（赫拉克利特）、风、漂流的空气（阿那克西米尼）、环绕的群星（毕达哥拉斯）、汹涌的水（泰勒斯）以及天上的光（星占术）中也不能——是神统治着这个世界！（《所罗门的智慧》，xiii.1—2）

从一些希伯来的生理学概念中也能够看到希腊科学的影响。例如，人的“智慧之府”在旧的希伯来观念中是肝脏（例见《旧约·诗篇》第 16 篇第 7 段），在“智慧文学”中则通常是心脏——这虽然与赫罗菲拉斯和埃拉西斯特拉塔所认为的大脑不同，却符合亚里士多德的看法。此外，在亚历山大里亚的“智慧文学”以及《新约》中还提到了希腊人的“四元素说”。

## 阿基米德：力学的兴起

西西里叙拉古的阿基米德（公元前 287—前 212 年）是古代最伟大的数学家。他将一生都献给了科学探索，其奠基性的工作影响了每一个科学领域。他是一个天文学家的儿子，与叙拉古的统治者希罗王契若金兰。他曾经造访亚历山大

里亚,在那里见到了欧几里得的继任者。他的所有工作都充满了人性的元素,在  
64 不断汲取科学知识的同时,也不忘将这些知识应用于实践,去解决实际的问题。  
他的名字因此还与用来升水的“阿基米德螺旋”(图 3.3)联系在一起。据说这是  
阿基米德游历埃及期间发明的,在那里至今仍被广泛使用。作为一种可使用的  
机械力量,螺旋的作用在阿基米德之前尚不被人所知,对其的认识很可能即发端  
于此。阿基米德还设计了一些战争器械,用以保护其出生的城市免受罗马人的  
侵略。这些器械以及其他亦出自阿基米德的机械装置在现存的文献中有大量的  
记载,但在阿基米德本人的著作中却不见一字。

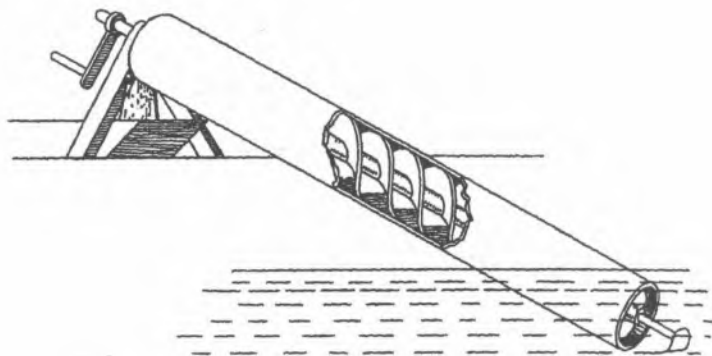


图 3.3 阿基米德螺旋

我们常常能够从阿基米德的著述中读出他对旁人数学成就的一种由衷赞赏。他与很多同时代的晚辈数学家都私交甚笃,特别是埃拉托色尼。他那非凡的才智、惊人的明晰和精炼的表达,无不给这些同行留下了深刻的印象。此外,他在机械制作方面的技能也毫不逊色,从我们今天所知道的“行星仪”便可见一斑。这是一个球状的天空模型,可通过模拟太阳、月亮、地球以及各大行星的运行,来展示包括日月食在内的各种复杂天象。

还有一个众所周知的故事,也能告诉我们阿基米德是如何将知识运用到实践中去的。一次,叙拉古的统治者希罗王想要献给诸神一顶金冠。他与制造者签订了协议,并将称重后的黄金提供给对方作为原料。然而在制造者按约将等  
65 重的金冠交给国王后,却被指控将一部分国王的黄金换成了等重的白银掺进了金冠!国王于是找来阿基米德验证这个指控。一天,阿基米德思考着这个问题

去洗浴，当他进入浴盆时，观察到随着身体的不断浸入，水也相应地不断溢出——这使他顿时想到了解决问题的方法！他狂喜地冲出房间，大喊着“尤里卡！尤里卡！”（意为“我发现了，我发现了！”）他到底发现了什么呢？其实就是比重的概念。

阿基米德首先依照金冠的重量各做了一个金块和一个银块，接着将银块放入一个注满水的容器，这时便溢出了与银块同体积的水，测出这些水的体积也就知道了银块的体积。同样的办法也可知道金块的体积。显然，由于金的质量比银大，因此，在同重量的情况下，金块的体积要小于银块，金块溢出的水也少于银块。现在，用同样的办法来测量金冠的体积，结果发现溢出的水的体积介于金块和银块之间，这就表明金冠确实是掺了银。在这里，阿基米德实际上是利用水来获得等重的金、银和金银混合物的体积，再通过比较体积来获得这三者的相对比重。阿基米德在《论浮体》一书中对此进行了科学的阐述——这是历史上对我们今天所谓“比重”的首次科学应用的记载，当然，远在阿基米德之前很久，人们就应当已经清楚地知道一些物质比另一些物质相对较重。

这是一个科学史上的重要问题，它展示了一个常识如何被科学使用并且促进了科学的发展，对其进行探讨或许能够帮助我们理解科学过程的本质。因此，尽管古代世界都将杠杆定律（图 3.4）的揭示和归纳归功于阿基米德，但这绝不意味着就是阿基米德发明了杠杆。从远古时代起人们就开始使用各种形式的杠杆，甚至一头灵猿也可能把一根棍子当作杠杆来使用。但是，使用或发明一件工

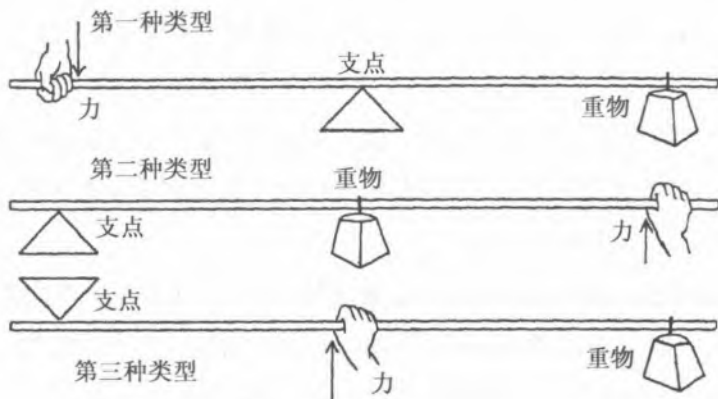


图 3.4 杠杆的三种类型



具是一回事,明白地揭示出其数学原理并在此基础上进行理论概括和应用又是  
66 另外一回事。就杠杆定律来说,其中的关键在于阿基米德概括了其理论上的应用价值——能够用很小的力移动很重的物体。人们至今还经常提到阿基米德的那句名言:“给我一个支点,我就能撬动地球。”他也曾向人们展示如何通过一个复合杠杆轻松地移动一艘满载的货船。正如科学不是希腊人创造的,杠杆也不是阿基米德发明的,但希腊人使得科学作为一门学科和一种方法获得了正规的、有意识的发展,阿基米德则首次通过精确分析,使杠杆定律得到了形式化和系统化的阐述。知识的形式化和系统化是科学的主要任务,否则知识就不能够上升到科学王国。

就目前所知,阿基米德最早的著作可能是《论平面图形的平衡》,其中将一些力学中的基本定理作为严格的几何命题提了出来。这本书以其有名的“公设”开始:“等距的等重能够平衡;不等距的等重不能平衡,杠杆将向距离较大的一侧倾斜。”这其实就是杠杆定律。这条定律最终使阿基米德发现了不同几何图形的重心。

67 在阿基米德的数学成就中,曲面图形和曲面的面积测算占有非常重要的地位。他的方法简单地来说就是“化圆为方”。尽管希俄斯岛的希波克拉底提出这种方法在先,欧多克索在估算某些立体体积时亦曾提及一种包含了这种思想的“极限”方法,欧几里得在其《几何原本》第12卷中的一个命题里也使用过,但却是阿基米德真正系统地使用了这种极限方法。这种方法奠定了现代数学发展的主要基础,因此具有最大的现实意义和深远的历史影响。它是由牛顿和莱布尼茨所发展起来的微积分的核心,而微积分又成为许多数学研究进一步发展的起点。

极限学说的原理说起来很简单。我们都知道,一个正方形能够内接一个圆形,这时显然可以得到两个命题:(1)此正方形的边长之和小于此圆的周长;(2)此正方形的面积小于此圆的面积。

我们可以很容易地将正方形的边数加倍,这样就作出了一个仍然内接于这个圆的正八边形。这时,命题(1)和命题(2)仍然为真,但两个图形的周长和面积的差距在减小。我们还可以继续加倍这个圆内接图形的边数,使之变为16边形、32边形、64边形、128边形、256边形,乃至更多的边数。边数越多,图形的周



长和面积就越接近其外接圆的周长和面积。当边数到达“极限”时，每一条边都可以视作一个点，而整个多边形也就可以看成跟外接圆完全重合。阿基米德认识到，这种“极限”是无法实现的，但却能够按照我们的意图去“逼近”它(图 3.5)。

阿基米德还证明，圆的面积等于一个底边相当于圆周长、高相当于圆半径的三角形的面积。因此要计算出圆面积，就必须找到周长和直径的比值。阿基米德同

时寻找内接和外接同一个圆的“极限多边形”，由此计算出这个比值的大小在  $3\frac{10}{71}$  和  $3\frac{10}{70}$  之间——这后一个值，从此就作为  $\pi$  的一个较好的近似值而被广泛接受。

阿基米德在《抛物线的求积》一书中谈到，他还经由对力学的研究找到了计算抛物线段所占面积的方法，并获得了这种方法的几何证明。这种方法类似于他的割圆术，即同时做目标曲线的内接和外接直线图形，然后将这两个图形不断地“压缩”，直到最后与曲线图形重合。

这种方法以及使用力学来解决问题并继而进行几何证明的模式，使我们关注阿基米德的一部极其有趣的著作，其主旨正如书名所说——《论方法》。

在这部著作中，阿基米德同其他的希腊科学先驱一样，绝大部分内容都只给出了最终的结果——尽管他还提供了证明，却没有告诉我们是如何得到的。不过书中曾提到，阿基米德某次对埃拉托色尼谈及其数学发现时，讲到他正在试图

记述获得这些发现的过程。

实质上，阿基米德的“方法”在于两个原则的应用。首先，一个平面图形可以被视作无数具有某些共同性质的平行直线的集合体。其次，在考察两个平面图形的重量时，可以将它们视为画在纸上而只需比较其各自的面积。同样，立体图形可以视为无数平面图形的集合体。这就意味着能够通过分解和力学分析等手段，来实际解决两个图形的面积或体积之间关系的问题，也使得阿基米德在找到

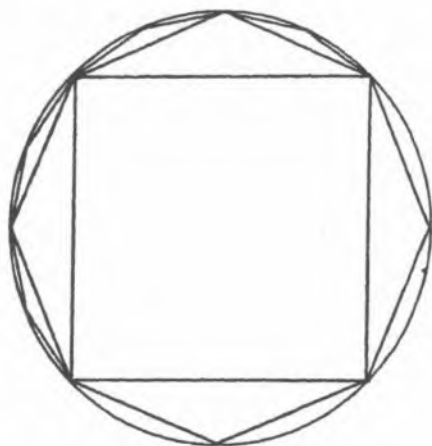


图 3.5 极限法则

68

69

数学证明之前,就能够通过实验得到一些解决问题的方案。然而不久之后,哲学家们又回到了数学综合的老路。

最后,我们还须提及阿基米德用来表达那些特别巨大的数字的非凡体系。这套体系能够有效地表达我们今天数字体系中的10的80 000 000 000 000 000方以下的任何一个数字。阿基米德认为这个数量的沙粒足以填满整个宇宙!也因此他将其相关的著作命名为《沙粒的计算》。从阿基米德对宇宙大小的计算,我们还可以探知他的宇宙概念。他了解阿利斯塔克的宇宙学说,太阳是宇宙的中心,而地球在相对并不重要的轨道上围绕太阳运转。

总之,阿基米德对知识的贡献是巨大的。他的人格,他的博爱,他广泛的兴趣,他简洁的表达,以及他对知识的专注,在他之前和在他之后都没有任何一位数学家能够因之获得如此广泛的赞赏和敬意。

## 亚历山大里亚时代中期(公元前200—前1年<sup>①</sup>)

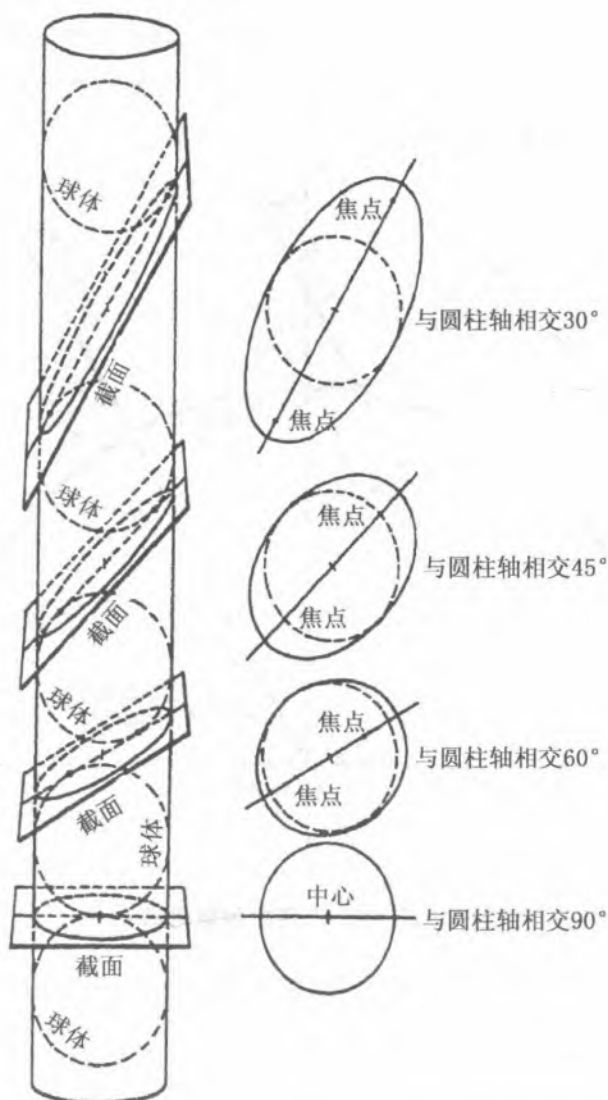
阿基米德之后,称得上继承者的是小亚细亚佩尔格(Perga,勿与帕加马[Pergamum]混淆)的阿波罗尼乌斯(活跃于公元前220年)。他曾在亚历山大里亚受教于欧几里得的继任者,也在帕加马求学过。他因著作《圆锥曲线论》而为世人所铭记,关于圆锥曲线的研究也因其有了很大的发展,建立起一个新的基础。

阿波罗尼乌斯的工作建基于米奈克穆斯。米奈克穆斯从三种正圆锥体得到三种圆锥截面,阿波罗尼乌斯却发现这三种圆锥截面能够从同一个圆锥体上得到,无论这种圆锥体是“正的”还是“不等边的”(图3.6)。他还创造了“椭圆”、“抛物线”和“双曲线”这三个词汇来表示这三种圆锥截面,而之前人们用所截圆锥的角度来指代它们。此外,如同这些术语一样,我们今天所知的关于圆锥截面性质的一般几何定律,也都来自阿波罗尼乌斯。

就这样,阿基米德和阿波罗尼乌斯分别提出了两个重要的问题,一直吸引着

<sup>①</sup> 原书此处为公元0年。——译者注

后世的几何学家们。第一个问题是如何计算曲线图形的面积，微积分因之得以适时地出现。第二个问题是关于圆锥截面的理论，它使得全角度的几何曲线理论也得以适时地建立。



图中圆柱体内部还包含了一系列球体，截面与这些球体的交点即为所截得椭圆的焦点。左图形象地展示了右图的截面图形是如何得到的。

由于圆柱本身是圆锥的一个特例（可比较图 7.2），通过截取圆锥也能够得到稍微复杂一些的类型图形。

图 3.6 从图中圆柱体的一系列截面可以看出，圆是椭圆的一个特例

热衷求知的托勒密王们也没有忘记地理学。托勒密三世欧厄尔葛忒斯(Euergetes, 公元前 247—前 222 年)通过奖掖埃拉托色尼(约公元前 276—前 194 年),为科学提供了最佳的服务。埃拉托色尼时为亚历山大里亚图书馆的馆长,堪称古代最博学的人,其最重要的工作是用简单的方法巧妙地测量了地球的周长。这个方法始于三条命题(图 3.7): (1)位于尼罗河上的西恩纳<sup>①</sup>(今天的阿斯旺)在夏至正午时立杆无影<sup>②</sup>; (2)西恩纳距离亚历山大里亚 5 000 希腊里; (3)西恩纳位于亚历山大里亚的正南方。

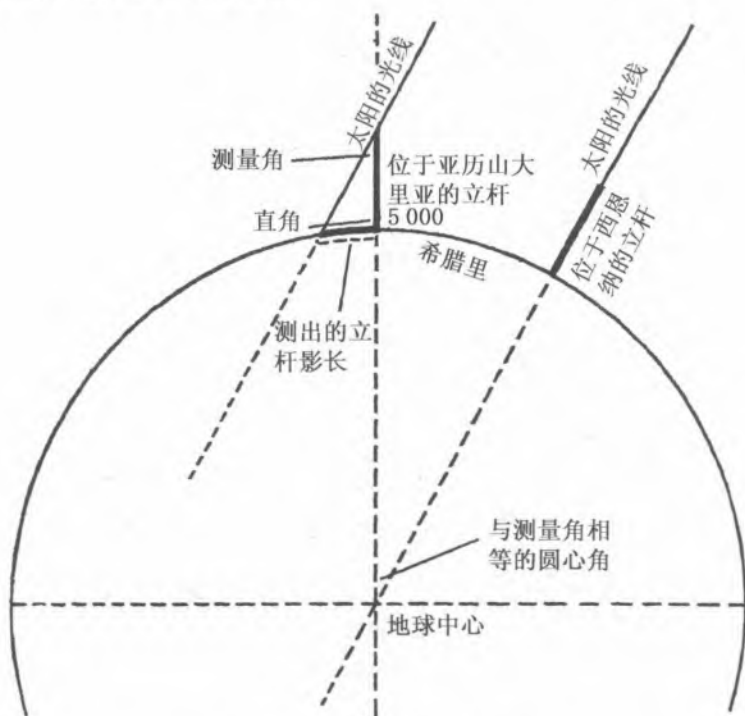


图 3.7 埃拉托色尼测量地球

在确立了以上三条命题后,如果我们将地球视为一个球体,那么很明显就能够得到以下的比例等式:

$$\frac{5\,000 \text{ 希腊里所对应的圆心角}}{\text{四个直角}} = \frac{5\,000 \text{ 希腊里}}{\text{地球周长}}$$

① 具体来说是在西恩纳一处位于尼罗河中的小岛,这里因有一口在夏至时阳光能够直射至井底的井而闻名。——译者注

② 意为此时太阳正位于天顶,阳光垂直照射此地。——译者注

于是剩下的问题就是：如何才能确定 5 000 希腊里所对应的圆心角？如果我们测出夏至日正午在亚历山大里亚立杆的影长，那么就能够估算出此时光线与立杆之间的夹角——由于太阳距离地球实在太远，于是事实上可将投射在亚历山大里亚与西恩纳的光线视为平行，因此光线与立杆之间的夹角就等于 5 000 希腊里所对应的圆心角。至此，在前面所得到的比例等式中，就只剩下一个未知的部分——地球的周长，而这个未知的部分也因此能够合理地得到。 72

在测得地球的周长之后，埃拉托色尼进而研究地球的已知部分。如同几乎所有古代的地理学家们一样，他在这儿也重蹈或是因袭了前辈们的错误。他将只占 1/3 的北半球人类可居住部分当成了整个世界，还同前辈们一样认为人类可居住的陆地是长度大于宽度。根据他的估计，这片陆地从大西洋到“东海”之间的距离是 78 000 希腊里（约合 7 800 英里），从“香料之地”（塔普拉班或锡兰<sup>①</sup>）到“图勒”<sup>②</sup>之间的纬度距离是 38 000 希腊里。埃拉托色尼知道海格力士柱<sup>③</sup>与罗得岛处于同一个纬度（北纬 36 度），在估算出地球的周长或赤道的长度为 250 000 希腊里之后，他也据此算出了这条纬线的长度（图 3.8）。 73

按照埃拉托色尼的错误想法，这条重要的纬线还经过其他一些重要的地点，比如西班牙的最西端、意大利和希腊半岛的南端，以及整个托罗斯（Taurus）山脉。埃拉托色尼估算这条纬线所环绕的地球周长为 200 000 希腊里，并且他还注意到，由于陆地的四周都是海洋，因此一个人若无惧大西洋的巨大阻隔，完全可以沿着这条纬线从西班牙航行至印度。这是历史上第一个环球航行的建议。

埃拉托色尼还在亚历山大里亚和西恩纳之间画下了一条南北方向的线，垂直于通过罗得岛的纬线。他认为，这条线向北延长会经过拜占庭和布里希尼斯河（Borysthenes，即今天的聂伯河）的入海口；向南延长则会经过麦罗埃（Meroë）<sup>④</sup>，

① 两者在古代都曾指斯里兰卡，但此处的塔普拉班根据斯特拉波的说法，应指传说中的东方大陆利莫里亚。——译者注

② 古人相信存在于世界北端的国家，极北之地。——译者注

③ 即直布罗陀海峡。——译者注

④ 非洲古代库施王国的都城，遗址位于苏丹共和国凯布希耶以北。库施王国于公元前 11 世纪初以后逐渐强盛，于公元前 730 年征服埃及，建立埃及第二十五王朝。公元前 656 年，库施王国在埃及的统治结束，后于公元前 590 年左右建都麦罗埃。麦罗埃在当时是地中海以南最大的炼铁中心和主要的黄金产地，还是尼罗河流域棉花培植的发源地。——译者注

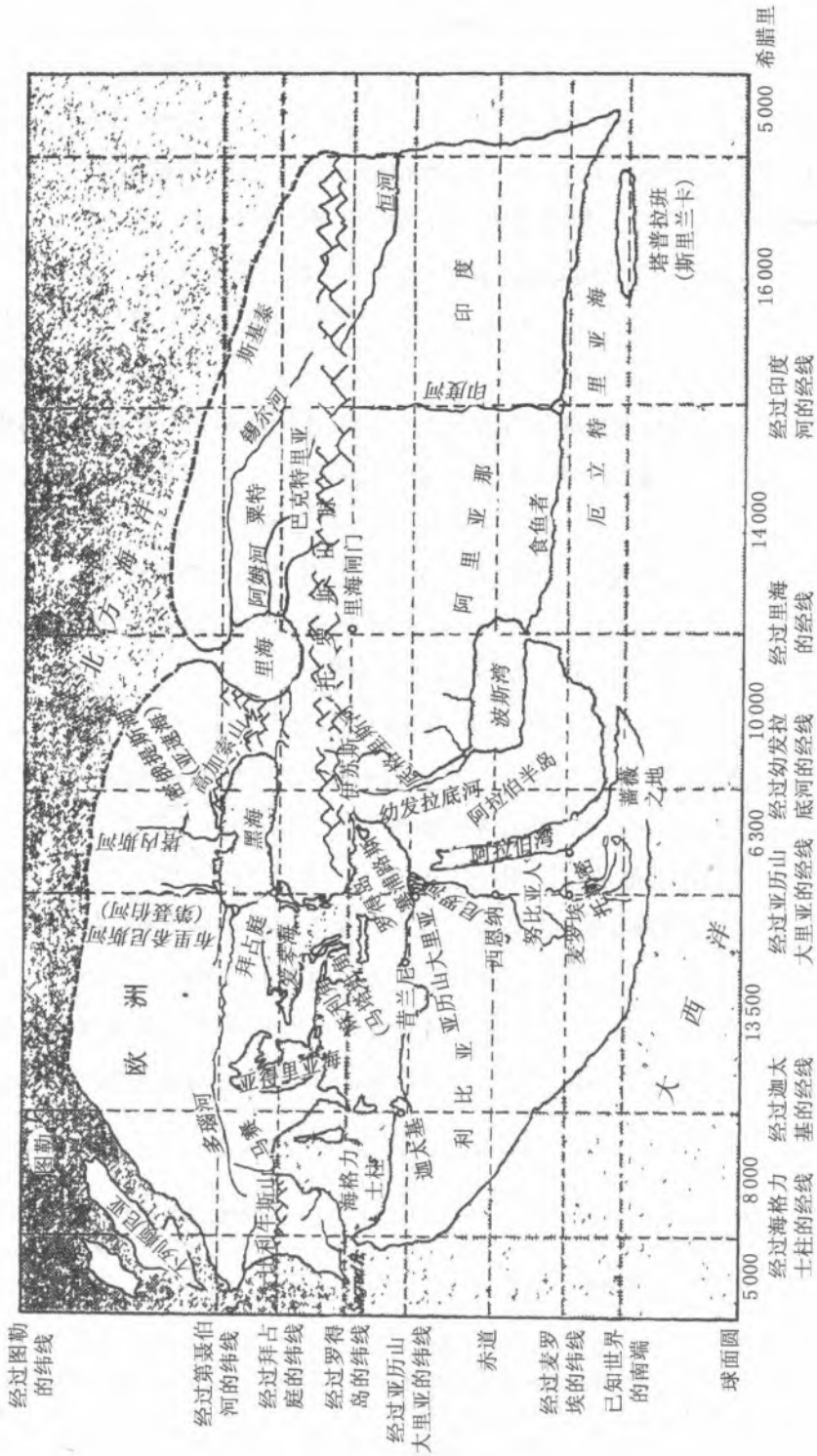


图 3.8 埃拉托色尼的世界

并沿着尼罗河直到森布莱帖(Sembritae)<sup>①</sup>。

这两条基准线都在定位上犯了一些错误。但它们以及其他经纬线的测量精度，已经足够绘制出一幅今天看来仍然很接近的地中海地区的地图(图 3.8)。

埃拉托色尼在数学方面也展现出了非凡的才能。就在阿基米德也曾非常关注的素数研究领域，他增进了对素数的认识，发明了著名的“埃拉托色尼筛子”用以寻找素数：首先按序写下所有的自然数<sup>②</sup>，然后删去所有 2 的倍数，从余下的数中删去所有 3 的倍数，再从余下的数中删去 5 的倍数……依此类推，剩下的便是素数(图 3.9)。素数的性质吸引着历代的数学家，然而让人惊奇的是，他们所关注的一些简单规则却始终没能得到合理的解释。比如下面这个在一个多世纪前 75 就被提出的著名猜想：每一个偶数都是两个素数的和<sup>③</sup>，尽管 200 000 000 以内的数都已经被验证是正确的，但至今仍未出现严格的证明。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

图 3.9 埃拉托色尼的素数“筛子”

亚历山大里亚时代的数学进步还使天文学理论获得了巨大的发展。关于假想天球的旋转以及实际天体运动的讨论形成了一套系统的术语，其中一部分保

① 意为“外国人”，大体位于今天苏丹共和国森纳尔(Sennar)。——译者注

② 原文此处为“整数”。——译者注

③ 即哥德巴赫猜想，其常见的表述为：任一大于 2 的偶数都可以写成两个素数之和。——译者注



留到了今天,另一部分则被那些研究过希腊数学著作的阿拉伯和其他地区的学者所更改。

天文观测者设定自己位于承载恒星的巨大天球的中心,地球很小,因此他到地心的距离与到天球边界的距离相比微不足道。然而他只能看到天球的一半,另一半则隐藏在不透明的地球的另一边。观察者视线所及的圆就是“地平线”(来自一个意为“边界”或“极限”的希腊语词汇),地平线构成了天球的“大圆”。

76 天球围绕着一根轴旋转,这根轴刺破天球的点称为“天极”。天球上经过“天顶”(zenith,一个来自阿拉伯的词汇)和两个“天极”的大圆称为“天子午圈”,与两个“天极”连线垂直的大圆称为“天赤道”。亚历山大里亚的天文观测者正是从这些基本概念出发,建立起他们完整的天文学体系(图 3.10)。



图 3.10 天文要素

除了测量地球的大小,埃拉托色尼还非常精确地测算了天球的黄道平面与赤道平面的夹角——也称为“黄赤交角”。他估算黄赤交角为 23 度 51 分,只比实际角度差了 7 分。<sup>①</sup>

尼西亚的喜帕恰斯(约公元前 190—前 120 年)是古代最伟大的天文学家。

<sup>①</sup> 黄赤交角在不断地变化,这里的实际角度指埃拉托色尼时代的数值,今天的黄赤交角为 23 度 26 分。——译者注

他在罗得岛建立了一个观测台，并在那里做出了大部分的重要研究。他通过将数值计算引入平面和曲面图形的研究而创建了三角学，这对天文学具有重大价值。

喜帕恰斯进行了大量而精确的天文观测，还收集和整理了前人的观测记录，77 以此考察在时间的流逝里是否发生了天文变化。他所得到的观测记录来自亚历山大里亚的前辈、再早些的希腊先贤以及更早的古巴比伦天文学家，通过对比，他为世界贡献了两项辉煌的天文学概念：(1) 具有永恒价值的岁差；(2) 他的行星（特别是日、月）运行理论，为后人计算日月食提供了方便。

(1) 岁差。公元前 134 年，喜帕恰斯在天蝎座观察到一颗新星，这促使他开始着手编制一个记录星体位置的星表。这个星表包含了上千颗星，每一颗都有在天球上的经度和纬度，其中那些喜帕恰斯所划分的星座直到今天仍被广泛使用。他还极富远见地尽量将三颗或更多的星排成一线，后世的天文学家们因此能够更容易地发现它们的位置变化。

喜帕恰斯将自己的观测结果与 150 年前的记录作了比较，发现随着时间的流逝，天空中恒星的位置已经相对于某些固定点发生了变化。导致这种变化的原因只能解释为地轴在恒星周日运动方向上的一种摆动。春分点因此每年都要后移一些。关于岁差及其发生速度的知识对于精密天文观测的进步非常重要。岁差的周期大约是 26 000 年。

(2) 行星运动理论。当喜帕恰斯着手考察行星的可见运动时，已有两个学说供其参考，即“本轮运动”和“偏心圆运动”。其中，一些前辈——特别是佩尔格的阿波罗尼乌斯——关于本轮运动的理论启发了喜帕恰斯。这种理论认为，每一颗行星都围绕着一个中心作圆周运动，而这个中心本身又以地球为中心作圆周运动。而根据另一些前辈提出的偏心圆运动理论，行星虽然围绕着地球作圆周运动，但其中心并不是地球，并且



图 3.11 本轮运动的示意图

该中心也在作圆周运动。喜帕恰斯分别用一个固定的均轮和一个移动的均轮来解释太阳和月亮的运行(移动的均轮和本轮在几何上是等同的)。

最终,本轮理论经过天文学家托勒密的调和而成为主流。而经过喜帕恰斯阐发的月亮以及太阳的偏心圆运动理论,其计算结果比旧有的理论更符合实际的观测。在喜帕恰斯之后,人们对月食的预测误差控制在一两个小时之内,但对日食的预测就没那么准确了。

尽管在数理科学方面取得了辉煌的成就,但当我们转而考察亚历山大里亚时代中期的生物学发展时,其成就却令人失望。从医学中脱离出的真正科学的生物学知识寥寥可数,狄奥弗拉斯特的传统也丧失殆尽。那个时期流传至今的生物学著作也因此毫不意外地不值一提。然而,草药医生克拉居阿斯(Crateuas,约公元前

79



80

图 3.12 克拉居阿斯描绘的夏侧金盏花(“雉之眼”,保存于某牧师的复制本,约公元 500 年)

80 年)或许是一个例外。他的贡献是在系统地介绍植物时,用图示取代以往单纯的语言描述。这种方法直到今天仍然重要,在那个没有植物系统命名体系的时代更是价值倍增。克拉居阿斯绘制的都是药用植物,其摹写本流传至今。它们作为科学制图(图 3.12)的最早范例而饶富趣味,其创造的绘图传统也一直绵延至今。

这种图示法还是亚历山大里亚时代中期在医学上的主要成就。这个时期的医学著述主要是对希波克拉底经典著作的注解。基提翁的阿波罗尼乌斯(约公元前 100 年)关于手术和绑扎的草图复制本保存至今,很好地向我们展示了古代医学实践的实施情况。

## 亚历山大里亚时代晚期至公元 200 年

随着埃及在公元前 50 年成为罗马帝国的一个行省，亚历山大里亚的历史揭开了新的篇章。这个时期保留了一些对科学的好奇心，应用才能有余但原创能力严重不足。诸如斯特拉波、托勒密和盖伦等人的创新努力，仅依靠有限的国家需要来激发。

亚历山大里亚的希罗（约公元 100 年）是那个时代的一名天才作者。他致力于具有娱乐性的发明，有时也摆弄一些实用性的装置，却较少接触那些科学性较强的主题。他的《气动力学》（*Pneumatica*）一书描述了很多魔术般的小窍门。比如依靠虹吸原理制作出的水壶，能够随意控制壶内水的流出与否（图 3.13）；再比如其最著名的“玩具”——能够在蒸汽作用下转动的球，堪称最早的蒸汽机模型（图 3.14）。在《机械学》一书中，希罗展示了对于嵌齿轮、齿条和齿轮、复合滑轮组、螺旋垂直传送装置，以及这些机械与杠杆的组合装置的认知（图 3.15）。

81

希罗还记载了光学研究上的进展。最早在著作中将数学分析引入光学的是欧几里得，他认为光直线前进，还相信视觉是眼睛发出光线到达物体的结果。希罗证明了当光在平面反射时，反射角等于入射角。他用来测量两角相等的仪器之一就是“照准仪”（*Diotra*，图 3.16），其功能类似于我们今天使用的经纬仪。此外，他还在将水平仪应用于测量方面展现了特别的天才。



手指按住手柄上的小洞，壶中的水才能流出；若手指放开，水则无法流出。

图 3.13 希罗的魔法壶



一个架设在锅炉上方的球，以导管为轴，能够在释出的蒸汽作用下转动。

图 3.14 希罗的“蒸汽机”（汽转球）

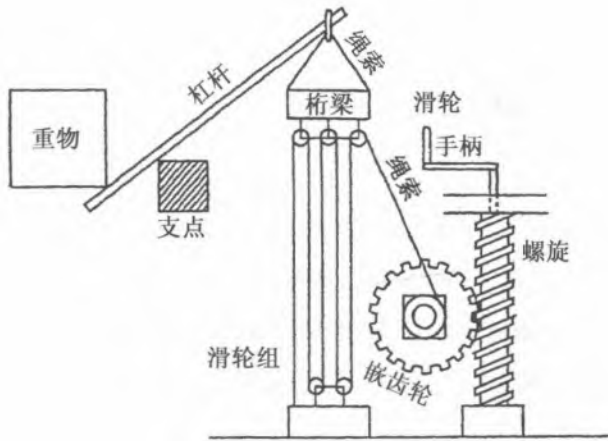
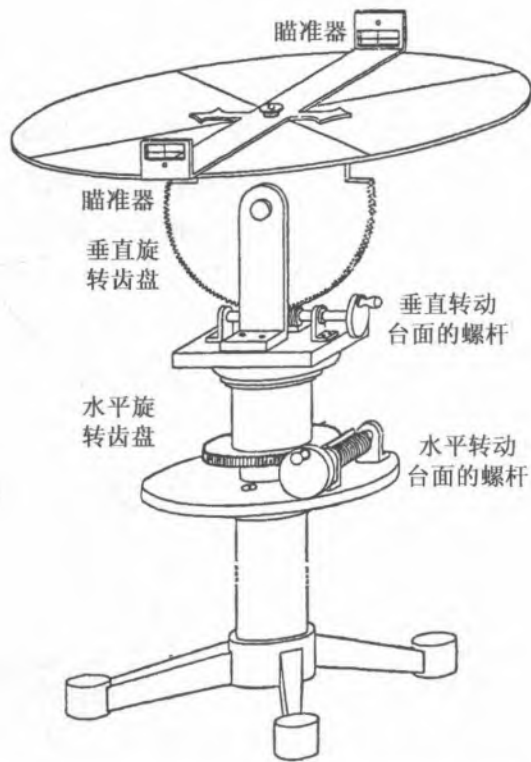


图 3.15 希罗掌握的机械装置



用于测量水平角度，估算相距较远的两点间的落差或距离等用途。如图，标有刻度的圆台面有两个瞄准器，两者由一个刚性臂连接并能够移动。整个台面由一个可绕轴旋转的圆柱支撑，圆柱的轴上固定着一个锯齿盘和使这个锯齿盘转动的螺旋装置。台面直接安放于第二个锯齿盘上，固定在圆柱上的另一个螺旋装置能够使这个锯齿盘垂直转动。

图 3.16 希罗的“照准仪”

这个时期的人们还尝试研究折射，即光从一种介质进入另一种不同密度的介质时（譬如光从空气进入玻璃或水里）所产生的现象。人们一定很早就观察到，插入水中的船桨或棍子会产生视觉上的弯折，克莱门德（Cleomedes，公元 1 世纪）指出了另一个遵循相同规律的例子：一个物体在不透明的盆中，恰好被盆的边沿遮住视线，人们只需往盆中注入一些水便能看到它。他将这条规律应用于大气，认为即便位于地平线以下的太阳，也能够在这种环境条件下看到（见图 3.17）。此前曾有人声称，在某些月食发生时，当月亮从东方升起时太阳看上去仍然位于地平线上。由于不相信这个说法，克莱门德遗憾地失去了一次将其大气折射理论应用于实践的机会。 82

从以弗所的鲁弗斯（Rufus of Ephesus，约公元 100 年）的医学著作中可以看到，将眼睛作为一种光学仪器进行科学研究也在那时开始萌芽。鲁弗斯对眼睛的构造有着相当准确的认识，他对这个器官组成部分的一些命名仍然保留在现代科学术语之中。他首次提到眼内的晶状体，将其称为“扁豆体”。 83

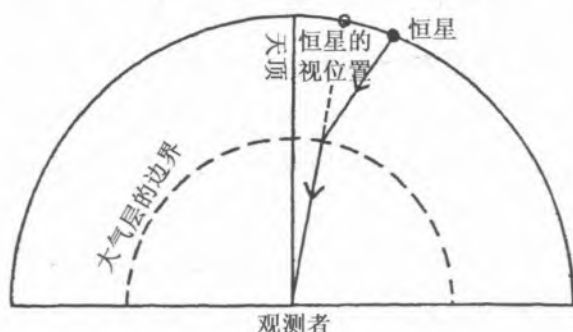
丢番图（约公元 180 年）是亚历山大里亚晚期的另一位重要作者，也是古代最优秀的代数大师。他在代数学方面的工作被亚历山大里亚的希帕提娅评注过。后者堪称古代唯一的女数学家，在公元 415 年被基督教的狂热信徒所杀害。丢番图的贡献首先在于系统地使用了代数符号，首创了未知数、平方、减号、等号等符号。他能够求解一次和二次方程，还曾在例子中解决三次方程。他详述过一个方法，能够将一个给定的数表达为两个或更多的数的平方和，并且这两个数都相近于同一个数。其采用的策略是使这两个数尽可能地相近，因此，设若要将 13 分解为两个数的平方和，则每一个数的平方必定大于 6，其最终得到的结果是  $\frac{258}{101}$  和  $\frac{257}{101}$ 。类似的问题，丢番图还解决了一些。

古希腊的代数学不仅落后于同时期的几何学，而且对后世数学的发展亦影响甚微。丢番图的著作只有一部拉丁文的译本，不见于 1575 年之后的印刷品之中，这意味着其对 16 世纪的数学复兴没有产生影响。古希腊数学家们的创造力到了丢番图这里便枯竭了。

亚历山大里亚的托勒密<sup>①</sup>（活跃于公元 170 年）完成了古代天文学和地理学

① 切勿与埃及的统治者托勒密王相混淆。

的最后综合,对光学也有所贡献。他不仅知道光线从一种介质进入另一种介质时会发生偏转,还实际测量了这种偏转的角度。他在了解光的折射定律的基础上指出,当星光射入地球的大气层后,会随着空气密度的逐渐变化而渐次产生弯折或折射(图 3.17),星星因此看上去要比实际上的位置更接近天顶。



如图,托勒密认为大气层有明显的边界。

图 3.17 由于光线在大气中的折射,一颗星看上去的位置比实际更接近天顶

84 托勒密的巨著《至大论》(*Almagest*)是历史上影响最大的科学著作之一。其书名也有一段历史:希腊人称之为 *megale syntaxis*,意即《伟大的著作》;后人在将其从希腊文翻译为阿拉伯文时,也许是出于崇敬或是粗心,将原级形容词“*megale*”转换成了最高级的“*megiste*”,于是这部著作就变成了阿拉伯文的 *Almagisti*,其后又沿袭为拉丁文的 *Almagestum* 和更口语化的《*Almagest*》。

《至大论》是一部具有高度技巧的著作,在数学发展史上的地位无与伦比。它奠定了平面和球面三角学的基础。虽然其中的基本宇宙观显然来自前人,但托勒密借用本轮(第 77 页)来解释行星的运动及其产生的现象,解决了喜帕恰斯理论中的一些错误和矛盾之处。他还保留了“偏心圆”的构造,用来解释太阳和月亮的运行。

《至大论》中还记载了星盘的构造(图 3.18)。这是古代和中世纪时的一种重要天文仪器,主要用来测量天体的地平高度。托勒密使用它来测量视差,进而求得月地之间的距离。这种方法大体上今天仍在使用,其基本原理非常简单(图 3.19)。假设月亮在 Z 点位于天顶,则月亮与该点的连线必定也经过地球的中心 C。若此时一个观测者 O 测得月亮中心 M 的地平高度,则可知三角形 MOC 中的角 O 的度数。若我们又知道 O 点到 Z 点的距离,则可以算出角 C 的度数。





主要包括一个可悬挂的圆盘，盘面四周标以刻度，盘的中心是一个两端皆能瞄准观察的指针，调整指针瞄准天体，就能够读出它们的地平高度。

图 3.18 一个结构简单的星盘

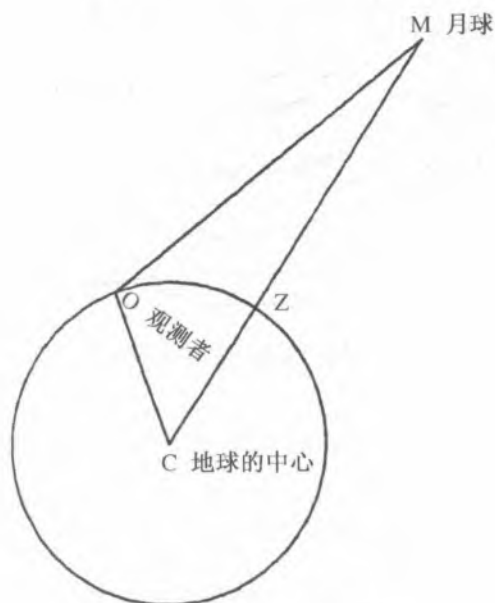


图 3.19 测量月亮视差

至此我们即可求得三角形 MOC 中三个角的度数以及相应的三条边的长度,再通过算出 CM 与 CO 的比值,便得到了月地距离与地球半径的比值。托勒密估算的这个比值为 59,与实际距离相差不算很大。他还利用阿利斯塔克的“日食方法”,估算出日地距离仅为地球半径的 1 210 倍——这个值约为实际值的 1/20。托勒密直言自己无法估算除日月之外的其他“更小”行星的距离,但他依照传统,采纳了将行星的运行速度作为距离地球远近的标准。因此,他的宇宙由内向外的组成分别是地球、月球、水星、金星、太阳、火星、木星、土星。这种安排此后一直被沿用到中世纪(图 3.20)。

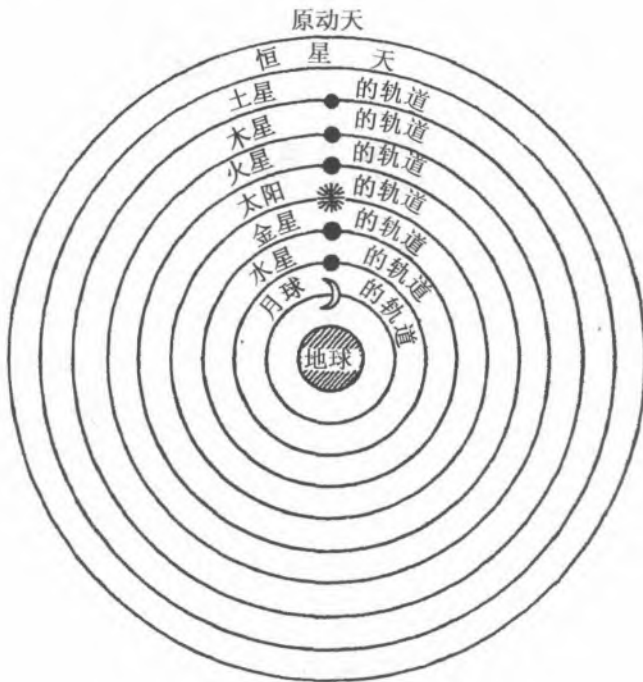


图 3.20 托勒密的宇宙体系

托勒密的另一部巨著是他的《地理大纲》(Geographical Outline)。这实际上是罗马帝国的扩张所带来的知识产物。托勒密研究了罗马帝国官方和商旅的各种旅行日志,因此他的这部著作堪称集罗马人关于地球表面知识之大成,并且在表现形式上亦非其他的拉丁地理作家所能及。此外,托勒密很可能参考了维普撒尼乌斯·阿格里帕(Vipsanius Agrippa)的那幅伟大的地图(见第

102 页）。

托勒密发展出一套自己的方法来在平面上表现地球曲面。在其“投影法”中，代表纬度的平行线是同心圆上的弧，同心圆的圆心则是北极点。其中主要的纬线有赤道以及分别通过图勒、罗得岛和麦罗埃的圆。代表经度的子午圈则是若干交汇于北极点的直线<sup>①</sup>（图 3.21）。托勒密就是采用这种方式来描绘当时的已知世界。这个世界的边界如下：北边是围绕不列颠诸岛的海洋、欧洲大陆的北部、亚洲大陆北部的未知地区；南边是环抱印度海的未知陆地、利比亚和埃塞俄比亚南部的未知地区；东边是毗邻亚洲东部各国的未知地区，秦尼人（Sinae，中国人）和赛利卡<sup>②</sup>人（Serica）居住的生产丝绸的地区；西边是大西洋，以及利比亚的未知部分。当时人们已经勘测过的部分，在长度上横跨半个地球，宽度上则在北纬 63 度至南纬 16 度之间。



图 3.21 用托勒密投影法绘制的托勒密世界地图

托勒密的地理学原著中提供了若干地图。尽管这些地图很早就散佚了，但是由于托勒密对其中涉及的地区都给出了经纬坐标，因此地图能够重建。特别让人感到有兴味的是不列颠地区的地图（图 3.22）。在地图上，苏格兰地区向东

① 在他的另一种投影法中，子午圈也是曲线。

② 拉丁文 Serica 来自希腊语，与丝有关，意为产丝绸的国家。尽管其地域认定至今仍众说纷纭，但学界倾向于认为即指中国。——译者注

弯折,其中轴与英格兰呈直角。对于托勒密来说,这可是一个很不寻常的错误,其原因或许是他参考的并不是旅行者的实地记录而是当时已有的地图,在将苏格兰地图安放在英格兰地图上时弄错了方向!



图 3.22 根据托勒密著作所绘的不列颠诸岛

托勒密代表了罗马帝国在地理科学上的最高成就。但是,个人的科学成就,与当时人们普遍的科学素养和科学热情不可同日而语。罗马人,特别是那些罗马统治阶级的态度,决定了科学,或许还有整个帝国的命运。而要全面评估罗马人对科学的态度,我们还需考察那些拉丁文的地理学著作。

托勒密的《至大论》在 12 世纪晚期被翻译为拉丁文,《地理大纲》则迟至 15 世纪。因此它们不能对早期中世纪产生直接的影响——彼时盛行的是亚里士多德那较为简单的宇宙论。而到了中世纪的后期,在亚里士多德的理论与托勒密的理论之间产生的冲突,则成为科学史上相当重要的一部分。

如果要描绘亚历山大里亚时代后期的科学状况,其景象就是在一个大综合

理论框架内进行许多小修小补，然而整体却在持续下滑。天文学和地理学如此，生物学和医学也是同样。而在这后两门学科中，值得一提的仅有狄奥斯科里（Dioscorides）和盖伦。

小亚细亚阿纳扎巴的皮达尼乌斯·狄奥斯科里（Pedanius Dioscorides of Anazarba）是一名军医，在尼禄的治下为本国服务。他写了一部药理学著作，其中包括植物分类的简介，但这种分类体系却几乎不涉及任何植物本身的属性。90 书中的描述简洁而生动，有时也略微介绍一些植物的特征和产地。这部内容详尽的药典被人用克拉居阿斯的风格加以注解，其中的一些精美图像流传至今。

后世的历史表明，除了那些一般的科学思想论著，狄奥斯科里的这本书堪称影响最大的植物学著作之一。它提供了中世纪所继承的大部分琐碎的古代植物学知识，极大地刺激了文艺复兴时期的植物学研究，并为每一个现代的药典树立了形式上的典范。今天的很多植物学术语和通俗称呼，也都是出自此书。

帕加马的盖伦（Galen of Pergamum，131—201 年）是古代生物学和医学的集大成者。他年轻时游历了亚历山大里亚和其他的学术中心，遍搜当时的知识，年纪稍长后来到罗马，主要在那里度过了忙碌的余生。

在盖伦生活的时代，人体解剖受到禁止，解剖学也因此衰落。盖伦只能从大量的动物身上获得精确的解剖学和生理学知识，比如身体结构与人类相差不远的叟猴（Barbary ape）。盖伦还在不少活体动物身上做过解剖和各种实验，在此基础上发展出一套完整且非常精巧的生理学体系。这套体系其后被人们广泛接受，其权威地位直到 16 世纪才受到维萨留斯的挑战。

在盖伦的生理学体系中，生命的基本原理是通过呼吸作用从“世界灵气”（spirit 或 pneuma）中汲取灵气（可比较埃拉西斯特拉图斯的理论）。灵气进入身体后通过气管来到肺部，再通过“静脉状动脉”（我们今天称之为“肺静脉”）抵达左心室汇入血液（图 3.23）。血液又从何而来呢？盖伦的答案非常精巧，然而其造成的错误也一直延续到哈维时代：他认为，乳糜管从消化道吸收乳糜并将其输送到肝脏，在那里，乳糜经过复杂的变化成为静脉血，并被注入另一种被称为“自然灵气”（natural spirit）的灵气或元气，这种灵气包含在所有生命物质之中，只要生命不息，它就始终存在。盖伦还相信，静脉血携带着肝脏产生的自然灵气和肠 91

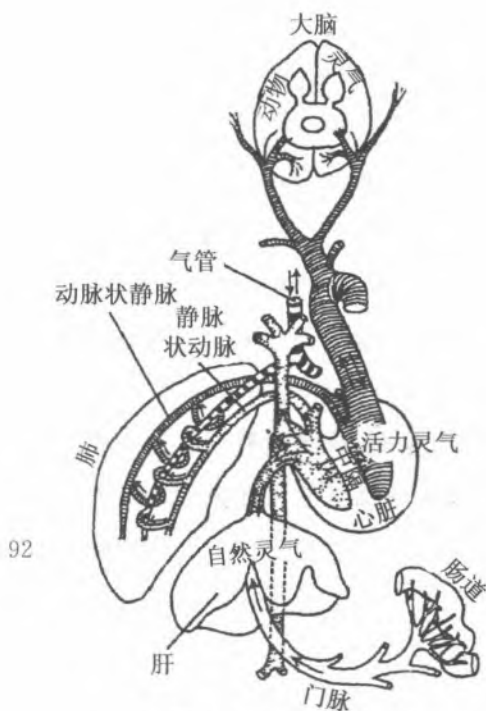


图 3.23 盖伦的生理学

道吸收的营养物质，被肝脏输送到整个身体的静脉系统中，并在脉管中像潮水般涨落。

我们今天称为右心室的心脏空腔是盖伦静脉系统中的一个非常重要的部分。依据盖伦的理论，当静脉血注入这个空腔后，随后将有两条可能的路线：绝大部分静脉血将暂时储存在这里，其中的杂质被“动脉状静脉”（我们今天称之为“肺动脉”）输送到肺部，通过呼吸排出体外，净化后的血液将从右心室重新“涌”回静脉系统；余下的小部分静脉血则通过无数细小的管道穿过心脏中隔，一滴一滴地注入左心室，再在这里与气管（通过“动脉状静脉”）带来的元气混

合，经过复杂的变化成为一种更高级的灵气——“活力灵气”（vital spirit）。在被注入了活力灵气后，暗红色的静脉血全部转化为鲜红的动脉血，并经由动脉输送到身体的各个部位。

随着一部分动脉血被输送到头部，活力灵气也来到大脑的底部。在这里，动脉血被一点点地分解，在被注入第三种元气——“动物灵气”（animal spirit）后，通过被想象成中空的神经（图 3.23）输送到全身。

寥寥的几部盖伦著作就涵括了 3 世纪至 16 世纪的所有生理学知识、几乎全部的生物学概念、大部分的解剖学知识、大量的植物学知识，以及关于生物身体结构的所有观点。当亚里士多德和狄奥弗拉斯特的生物学著作岌岌可危地残存在一些东方修道院的孤本珍籍之中时，当亚历山大里亚和帕加马持续数百年的知识输出被彻底摧毁时，当爱奥尼亚人的生物学著作被人遗忘，仅余一些残片断篇不可思议地保留着时，盖伦的著述却被大量保存了下来。这些作品被翻译成拉丁文、叙利亚文、阿拉伯文和希伯来文，又深深地渗透进中世纪的知识世界。而那些后来希腊作者们对这些著作的评注，也被依次翻译为前述的语言，并以其

他希腊作者之名传播于中世纪及更晚些的时候。

盖伦的思想具有如此生命力的奥秘究竟在哪里呢？答案可以一言以蔽之：他是一个目的论者（teleologist, telos=“end”和“aim”）。他相信主宰所造的万物皆有一个各自注定的归宿，这种目的论恰好与中世纪流行的神学观点相吻合，无论是基督教、伊斯兰教还是犹太教皆是如此。依照盖伦的看法，人体内一切展现出生机的部分，无不是出自一个智慧存在的智能设计，因此各个器官的结构和功能也都是这种设计的产物。“唯有造物主那无边的智慧，才能够用最好的手段展现其仁慈；依照其设计而创造出的一切美好事物，都证明了造物主的万能。”要了解人，就必须先要了解上帝造人的目的。这种观点排除了对科学的好奇心，西方随后便进入了长达千年的黑暗时期，无论是医学还是生物学，都几乎停止了发展，人们关注的只是上帝的意愿和目的，而非各种缤纷的自然现象。

93

在离开亚历山大里亚时代之后，我们将仍然能够感受到它那异常持久的影响。可以看到，古代即已拥有了一个高度发展的精密的科技，但是对其进行理性化解释的尝试却付诸阙如。对此我们可以从对炼金术的考察中窥见一斑。炼金术起源于公元 1 世纪甚至更早时候的亚历山大里亚，亚历山大里亚时期的炼金术就已经非常精细和复杂，显然是已经得到了长时期的发展。现存的炼金术文献都是希腊文的，其中不乏基督教、犹太教、新柏拉图学派、诺斯替教派、古希腊、古埃及，或许还有古波斯等文明的影响痕迹。有一部不同寻常的文献，牵涉到许多名字，其中值得一提的有两个。一个是“犹太女人玛利亚”（Mary the Jewess），她发明了今天我们仍在实验室中使用的热汤池——法国化学家称之为“basin Marie”。另一个是佐西默斯（Zosimus），活跃于公元 300 年左右，是可作为一个历史人物看待的最早的炼金术士。这些文献保留了亚历山大里亚炼金术的成果，直到迎来现代化学的曙光。当然，亚历山大里亚的炼金术文献流传到今天显然大部分都已经散佚，相比之下，早期阿拉伯炼金术士能够看到的肯定要多得多。



## 第四章 灵感的阻滞——科学,实践的婢女: 罗马帝国(公元前 50—公元 400 年)

### 罗马人自然观的发展

94 科学的观念亦即对世界的理性认识,进入意大利半岛中部居民的头脑中要远远晚于地中海东部的希腊人和意大利南部的居民,罗马人也因此始终对科学存在着某种舶来品的微妙感觉。公元前 200 年之后,随着罗马人在地中海东部迅速建立起统治,希腊思想对罗马文明的影响速度也随之加快。所有受过教育的罗马人都去学习希腊语,并不可避免地受到希腊哲学的影响。然而,尽管受到亚历山大里亚思想的刺激,罗马人在科学上并没有产生出具有伟大创造性的人物。

不管是在意大利本土还是辖区,那些说着拉丁语的统治阶级对待自然的态度都受斯多葛学派的影响最大,信奉伊壁鸠鲁哲学者寥寥无几。斯多葛学派重视正确的行为和责任,刻板地看待世界各个不同部分之间的相互关系,相应地也就不能很好地激励人们去追求新知识和探索新事物。因此,在斯多葛主义的影响下,我们只能进行一种精确而无求知目的的观察,或是拒绝一切不重实践的知识,而非在一个宽广的理论基础上不断地积累知识。同时,伊壁鸠鲁那教条主义的学说也并不比斯多葛派的观点更有助于科学研究。

为什么罗马人未能继承希腊人的科学传统呢?人们对此众说纷纭。有人说

是因为征服和治理的念头占据了罗马人的大脑,以至于他们无暇顾及科学问题。但这种说法无法解释一种情形,即罗马人在哲学和文学方面尚能做出值得称许的成就。事实上,这个问题的答案深植于罗马人的性格和传统之中,它与罗马人最信奉的斯多葛主义的伦理有关,也与罗马人对雄辩术(Rhetoric)的热情不无关系。95 一般来说,我们会认为罗马科学在对自然的一般性研究方面表现最好,而在纯数学研究方面表现最差。罗马人在某个科学领域的成功与失败,可以大致由其距离上述判断中提及的两个领域的远近来评估。当然,罗马文化乃是我们今天所处文明的一大主源,对它的评价应当根据其在整个科学发展过程中的影响,而非只看其直接做出的成就。

今天我们还能看到当时一些涉及科学的拉丁文著作,但其内容关注的只是科学与哲学的关系而非科学本身,也看不到任何关于自然现象的专业知识。在这些著作中,最有影响也传播最广的当属卢克莱修(公元前95—前55年)的《物性论》。此书作为文学作品熠熠生辉,作为伊壁鸠鲁学说的最佳代言亦地位非凡,然而读来却更似宣传手册而非科学著作,于是在科学价值上也就大打折扣。此外,书中没有任何一手的观察记录,甚至也不能代表当时典型的思想观念。

若要抱着找出点科学内容的目的阅读卢克莱修的作品,自然会被其中的原子论所吸引。作为伊壁鸠鲁的追随者,卢克莱修认为整个世界源于原子的相互作用。他相信,这种相互作用并不需要任何创世智慧的介入,甚至精神现象也源于原子,这个世界除了“原子”和“虚空”外别无他物。“没有什么出自神意”,万物其来有自。有机生物的产生就是万物起源的典型,动植物的种类向我们展示了所有自然法则和过程的模型。这种“产生”的概念还有相反的另一面,即“事物永远不可能完全化为乌有”——其中包含了“物质不灭”的思想,尽管与我们现代所说的内涵已经有所不同,但在历史上却是物理学和化学建立的基础。

然而,事实上卢克莱修的理论并非如表面上所看起来的那样接近现代原子论。这种差异不仅在于卢克莱修认为原子具有各种不同的尺寸和形状,还在于96 他对那些将原子聚合成各种分子的法则一无所知。他没有化合作用的概念,那时也没有在现代所有物理理论中最具代表性的能量定律。卢克莱修的著作实际上对现代原子论的发展影响很小,甚至或许在当时关注的人也并不多。伊壁鸠鲁的学说并不有利于科学的发展。此外,古代原子论在中世纪几乎失传,在那些

年代里，暗含了物质连续性思想的亚里士多德哲学是绝对的权威。

一些人还认为可从卢克莱修的书中看到演化理论的发端。他的确提出了一个不同于亚里士多德的“自然的阶梯”。地球上先是出现植物，然后才是更高级的动物，“毛发皆首形于群兽之肢……故地球初造，必先孕育芳草灌木，而后继之以有涯之万类”。在人类发明显微镜并进而探索微观世界之前，这种“自发产生”的思想显然无法避免。也因此，卢克莱修会步亚里士多德和其他古人的后尘，让我们相信“即使是今天，在甘霖的润泽和朱曦的孕育下，地球上仍然会不断涌现出新的动物”。

那么，卢克莱修对于这个问题有过进一步的思考吗？他是否已经有了生物从低级形式向高级形式演化的概念？从某种意义上说，答案是肯定的。他开启了揭示“适者生存”思想的探索之路，直至达尔文的出现。他本人对此思想的表述为：现有的生物比任何有地质记录的史上生物都更完美。

当我们转而考察被卢克莱修所特别关注的自然现象时，会发现它们被描述得壮丽、梦幻或充满戏剧性。他并不具备真正的科学精神，也远非一个冷静、严谨、细心的观察者。雷电、喷泉、火山与闪电、令人窒息的蒸汽以及可怕的瘟疫都是他选择的主题。在那激发了或有助于自然研究的伟大人物队列里，我们兴许只能给卢克莱修安排一个不那么重要的位置。

更能代表罗马人思想的，是瓦罗（Varro，公元前 116—前 27 年）、老普林尼（Pliny the elder，公元 23—79 年）和塞涅卡（Seneca，公元前 3—公元 65 年）的著作。

瓦罗是一名有古罗马派头的乡绅，在雅典受到柏拉图主义的影响，后来却成为一个不折不扣的斯多葛主义者。他写了一部百科全书式的作品，成为无数中世纪博物学著作的典范。书中将艺术划分为九种，即语法、逻辑、修辞、几何、算术、天文、音乐、医学和建筑学——后两种未能被后来的拉丁作家所认可，于是剩下“七艺”作为传统保持到中世纪。

瓦罗试图搜集拉丁语知识，并将其与希腊语进行对照研究。由于他熟知古罗马传统又接受过良好的希腊教育，因此对这项工作颇能胜任。他受恺撒的任命管理大图书馆（the vast library），卷帙浩繁的希腊和拉丁文献中不乏他搜求已久的珍籍。在 80 岁时他写了《论农业》，书中记录了丰富的经验，然而主要搜集

自他人的著作。这典型地体现了拉丁作者们模仿他人、缺乏创造的特点,对于科学话题的探讨则无疑是场灾难。瓦罗还热衷于词源学,在书中不放过任何一个考镜源流、探赜索隐的机会,并乐此不疲地进行分类与辨析,其风格深深地影响了很多中世纪的著作。

相比于瓦罗,老普林尼受希腊文化的影响更大。他在罗马接受文学教育,并在那里开始研究植物。在塞涅卡的影响下,他转而学习哲学和逻辑学,并练习成为一名律师。他曾在驻日耳曼地区的罗马军队任职,其后去了高卢和西班牙,最终回到罗马完成了《博物志》,并将其献给皇帝提图斯。公元79年,当掩埋了庞培和赫库兰尼姆的火山喷发时,老普林尼正率领舰队驻扎在那不勒斯的港湾,为了就近观察这一自然现象,他献出了自己的生命。他的教育、生平、观点和性格,无一不是那个时代意大利传统的典型代表。 98

普林尼的《博物志》参考了146位罗马作家和326位希腊作家的大约2000部著作,其中大部分今天已经亡佚。在书中,这位博学多闻且勤勉的作者展示了自己对自然现象的兴趣,当然这些现象多少有些不符合今天科学性或是批判性的标准。贯穿这部著作的主旨是自然要服务于人类。自然景物都从与人类的关系方面加以描述,万物皆有其“用”。普林尼写道:“每当想到自然和地球创造了那么多的草木来满足人类的需求或是供人类享用,我们就情不自禁地要赞美她们……”在他眼中,这个奇妙的世界并不存在主宰者,它按照法则运转,但这个法则是疯狂的,时时向我们展现它的混乱、假象和不可思议。

罗马帝国丰富的物种想必影响了普林尼对不少问题的看法。那里的很多动物都来自地球上最遥远的地方,它们被运至罗马,最后的归宿是斗兽场和厨房。很多植物亦是如此。普林尼描述过一个罗马人的植物园,人们在其中种植各种草药,研究它们的药性及其他类似的属性。在描述生物时,普林尼回到了亚里士多德和狄奥弗拉斯特的传统,但相形之下却缺乏系统性,在科学性上更是逊色了许多。他在描述草药时穷尽一切细节,认为所有植物皆有其独特的药用价值。“自然为人类而存在”的思想在书中贯穿始终。他的哲学大体上秉承斯多葛主义,却常常湮没在对细节的偏爱和华丽的辞藻中。他所体现出的的是一个混乱不清的自然观。

相比于瓦罗和普林尼,塞涅卡更彻底地回归希腊传统。他出生在西班牙,早

99 年回到罗马,在那里受到斯多葛派的影响,并作为一名辩护律师以及为民众服务而声名远播。作为新行省家庭中的一员,他是个对哲学充满热情的雄辩家,从事务中而不是行动中获得真正的平衡和判断,更感兴趣的是自然的整体面貌而非具体的细节,这与其同时代的普林尼形成了有趣的对比。

塞涅卡的著作比普林尼的哲学性更强,批判性更是高出许多。其《自然问题》(*Natural Questions*)比普林尼的《博物志》为更多的人所效仿。他也是一名斯多葛主义者,却不吝于批判这个学派的一些观点。塞涅卡书中的主题一般是对自然现象的概述,但内容却安排失当,并不完善。书中主要讨论天文学、气象学和自然地理学。他像卢克莱修一样特别关注那些自然中的异象。此外,他还像当时的很多罗马人一样奉伦理学为主臬,因此他首先是一个道德主义者,其次才是一名博物学家。也因此,在他眼中意味着对世界的一般看法的博物学,必然会在伦理学的影响下成为关乎人类命运的知识,并进而引发对人们责任的思考。

塞涅卡屡次提及道德源自被研究的现象,两者之间常常具有那种最遥远而又充满张力的联系。因此在结束对光现象的讨论时,塞涅卡问道:“自然为何要提供那些能够接收和反射图像的材料?”他随后自答:“首先是为了削弱太阳的光辉而使我们能够看到它,因为我们那柔弱的双眼是无法直视太阳的;其次是我们可以通过盆中的倒影来研究日食;再次,人们可以通过镜子来了解他自己。”(大意)

这种观点对中世纪的教会非常有吸引力,塞涅卡也因此被视为一名基督徒。他被圣杰罗姆列入“教会作家”,并时常被后世的基督教作者们提及。然而,这种以伦理定性自然现象的态度却与知识的实际进步格格不入,并进而成为科学的大敌之一。尽管他情感高尚,尽管他声称是为了学术的进步,尽管他关心人类的命运,但却无法阻止古代智慧的继续滑落。

## 地理学和帝国主义

正如亚历山大的征服为东方打开了希腊科学的大门,罗马帝国的扩张也为西方带来了希腊科学。然而不幸的是,此时科学的性质已然发生了变化。

100 阿卡地亚人波利比奥斯(公元前 204—前 122 年)是在亚历山大里亚地理学

和罗马地理学之间承上启下的人物。他见证了公元前146年迦太基的覆灭,并受小西庇阿(公元前185—前129年<sup>①</sup>)之邀探索非洲海岸。他游历了高卢和西班牙,对各地——特别是西班牙——的描述非常准确,甚至还试图去估算塔古斯河(Tagus)的长度。他提供了关于阿尔卑斯山的颇具价值的信息,他所拥有的关于意大利的地理知识超过了所有前辈。尽管波利比奥斯更像一个历史学家而非地理学家,但他了解绘制一幅准确地图的必要性,也因此非常关注距离和方位的测定。

在公元前2世纪和公元前1世纪期间,关于红海、黑海、地中海及其周边国家的记述逐渐增多,研究者也开始能够看到这些资料。甚至连印度也被尝试定位。值得一提的是航海家基齐库斯的欧多克索(Eudoxus of Cyzicus,勿与克尼多斯的欧多克索混淆,后者见第37页)。他在探索了红海后,至少沿着非洲海岸向南航行过两次,带回了不少有价值的新信息。

罗马人的战争和军事远征贡献了很多地理学知识。斯特拉波(Strabo of Amasia in Pontus,约生于公元前63年)因此有了丰富的素材去开启对世界的全面考察。他就像个旅行家,足迹所至,西到与撒丁岛隔岸相望的伊特鲁里亚,向南则从黑海直到埃塞俄比亚的边境。他声称:“也许没有一个地理学家像我一样,到过这么多地方。”他曾经穿越埃及,在亚历山大里亚羁留。在罗马长期工作时,他有一个能够获得可靠信息的职位。这些际遇使他获得了更多的、特别是关于欧洲的详细知识。然而他的数学水平不及埃拉托色尼等人,其工作也建立在后者的基础之上。

斯特拉波的工作得益于罗马帝国及其在东方的敌人安息帝国的扩张所带来的知识大扩展。他主张,仍然存在未知的大陆有待探索,人类所居住的世界只是101  
相对较小的一部分——从神佑之岛(即加那利群岛)到丝绸之乡(即中国),其距离不超过整个地球温带周长的1/3,因此在其他未知的陆地上或许还居住着未知的人类种族。他估计人类所居住世界的南北宽度为30 000希腊里,低于埃拉托色尼所估算的38 000希腊里——这种“低估”主要归因于他对当时的一些“北方地区”持怀疑态度:他不相信图勒的存在,也不相信北极圈内有任何人类居住的

<sup>①</sup> 原书此处误为“185—129”。——译者注



地区。在他的心目中,爱尔兰是人类所居世界的最北端,那里“因为寒冷而几乎无法居住”;最南端则可从麦罗埃向南再延伸大约 3 000 希腊里。

斯特拉波还介绍了地图的绘制方法,这成为其著作的一大特点。他指出,在一个真正的球上绘制地图并不难,但若要能够容纳所有的细节,那么这个球就要做得非常大,因此应将地图绘制在平面上。由于采用了不正确的投影法,斯特拉波的地图存在着很多失真,地中海地区各国的边界是误差最小的部分,离此越远,误差越大。然而,即便是地中海地区,他也犯了一个让人吃惊的错误——东西走向的比利牛斯山被绘制成了南北走向!此外,斯特拉波采纳了自希罗多德以来地理学家们的共识,将里海视为北海延伸入陆地的水湾。他承认对亚洲北部和粟特以东地区一无所知。他还认为一条巨大的山脉由东至西横贯亚洲,它是印度的北部边境,底格里斯河和幼发拉底河发源于这条山脉的西部,印度河和恒河发源于山脉的东部——喜马拉雅山因此与高加索山和小亚细亚的山脉混为一体。

只有很少的本土罗马人能够真正理解科学调查的本质,尤里乌斯·恺撒 102 (Julius Caesar, 公元前 102—前 44 年)即其中之一。他制定了对帝国进行地理普查的伟大计划。各行省的政府、贸易的需求、舰队的分布显然都需要这个计划。恺撒死后,继任者奥古斯都接过了继续这个计划的重任。他指定其女婿维普撒尼乌斯·阿格里帕(Vipsanius Agrippa, 卒于公元前 12 年)具体执行,并于公元前 20 年完成了这个历时约 30 年的项目。帝国完善的标有里程碑的道路系统在整个过程中起到了重要的作用。训练有素的勘测员们定期测量,结果写入行省政府的报告,再呈递项目的指挥者。根据测量结果绘制出来的巨大地图被展示在罗马一座专门修建的建筑里,图中最醒目的标识是军队的行军线路。

狭义的地理学与宇宙志不同,或许是迎合了罗马人的实用主义和大帝国的思想。罗马人很少从智力的角度去欣赏地理学,仅把其看作道路指南或制定战略的草图。他们也很少去关注一般意义上的地理学——西班牙人庞波尼乌斯·梅拉(Pomponius Mela, 约公元 40 年)在这方面是仅有的重要拉丁作者,他曾经提到一支远征军即将对不列颠岛进行全面的勘察,这其实就是克劳狄乌斯皇帝在公元 43 年对不列颠的征服。

庞波尼乌斯·梅拉显然试图使自己的工作通俗易懂。在对地球进行一般性的描述时,他沿袭典型的罗马人风格回避数学内容,也不给出距离或测量结果。



依照他的描述,世界是个球体,其上的陆地被海洋所环绕,整个世界可以划分为五个区域,其中位于中间的区域由于太热而不适于人类居住,两端的区域由于太冷同样不适合人类居住,余下的两个区域温度适中,我们居住在其中一个,另一个则被称为“对跖地”(Antichthonos)。我们所在半球的陆地完全被海洋所包围,其中又嵌入了四个海洋或海湾:北面是里海,南面是波斯湾和红海,西边是地中海。梅拉的地图体系来自埃拉托色尼,很显然他也只是一个“偷师希腊者”(图 4.1)。



图 4.1 庞波尼乌斯·梅拉的世界地图

梅拉还简要描述了欧洲、亚洲和非洲三个大陆。地中海位于这三个大陆之间,被梅拉称为“我们的海”。他将泰尼斯河(Tanis,即顿河)、莫蒂斯湖(Maeotis,即亚速海)和尤克森海(Euxine,即黑海)视为欧洲和亚洲的边界,将尼罗河当作亚洲和非洲的边界,而亚洲的面积几乎相当于欧洲和非洲之和。这些看法一直传到中世纪早期,被绘制在名为“OT图”(图 4.2)的世界地图里,其中最早的一幅保存在圣伊西多



图 4.2 圣伊西多著作中的传统中世纪 OT 地图

尔(St.Isidore of Seville, 560—636 年)的一部 7 世纪的抄本中。



图 4.3 塔西佗所描述的西欧地图

在罗马帝国,即使是一个睿智的人,在地理概念上也是模糊不清的,这从塔西佗(Tacitus,约 55—120 年)身上即可见一斑。他记述了罗马舰队如何在阿格里科拉(Agricola)的指挥下,绕不列颠航行从而证其为岛,同时还发现了奥凯德(Orcades,即奥克尼群岛),看到了“图勒”(设得兰群岛?)。塔西佗像恺撒和老普林尼一样相信西班牙位于不列颠的西部(图 4.3),像斯特拉波一样将比利牛斯山描述成南北走向。他试图解释向南一直到苏格兰北部都存在的“午夜太阳”现象,认为这是由于“地球平面端投射的阴影较低,不能将黑暗抛得很高,因此黑夜无法到达天空和群星之上”。该解释暗含了地球是个边缘扁平的圆盘的看法,对于一位亲炙过亚里士多德、喜帕恰斯、阿基米德和埃拉托

色尼之学说的有教养的罗马人,这简直让人难以想象。

当古代世界进入中世纪之后,作为科学的地理学衰落得更加厉害——那时能够作为代表的仅有“路书”(route-books),但由于持续的衰落,其中最早的竟也成了最好的。我们今天拥有一个堪称完整的罗马帝国道路记录,汇总起来便能重现其公元 300 年时的形态:主干道和岔路口都标注在城镇和驻地的表单上,各地间的距离都用“罗马里”注明。相比“路书”,“朝圣书”(pilgrim books)中所记的地理范围则比较有限,基本上就是往返耶路撒冷的路线。这类基督教著作的最早作者是一个叫做西尔维娅(Sylvia of Aquitaine)的女人。图卢兹的鲁提利乌斯·纳马提安努斯(Rutilius Namatianus of Toulouse)的著作也有类似的特征,他在 417 年写了一部被证实了的从罗马到高卢的旅行记录。此人是一个激烈攻击修道士的异教徒——“敬畏鬼神并不能使人的境遇得到提升”。他的作品显示了

罗马人对帝国长治久安的信念,轻易便捕获了吉本的心。其中有段特别的注解,记述了此书流传到中世纪的经过,由一名拉韦纳(Ravenna)的佚名地理学家在7世纪时搜集整理而得。这部作品包含了关于罗马帝国道路和城镇的有用信息,105但其资料来源仍然是五个世纪以前托勒密曾经使用过的。

## 帝国的医药、卫生和大众健康机构

最初的罗马本土医药体系来自通俗文化,毫无科学元素可言。它吸纳了很多罗马祭仪中的“专职神”的特性,并与闯入宗教领域的思想纠缠在一起。在罗马,有三座治疗发热的神殿,人们在其中向女神菲波尼斯(Febris)祷告,并分别讨好地称之为“神圣的热”、“圣洁的热”和“伟大的热”。美菲提斯神(Mephitis)的名字则能唤起臭味的感觉,因为其神殿建造在一处土壤中散发着窒息性气味的地方。如果浑身无力就去祈求法索尼娅神(Fessonia),乌特瑞娜神(Uterina)保护子宫,鲁西娜神(Lucina)及其手下的女神们控制分娩。而在这座掌管所有疾病和生理功能的万神殿中,地位最崇高的是“健康女神”蒂娅·萨露丝(Dea Salus),她在奎里纳尔山(Quirinal)<sup>①</sup>上有一座特殊的神殿,掌管着罗马人的大众健康。

罗马医药的整个外部形态随着希腊科学的影响而逐渐发生变化。但这种变化很难突破到上层社会以外。因此圣奥古斯丁(354—430年)在《上帝之城》中多次提到,古代信仰在其所在的时代仍然盛行。即使在帝国覆亡后,这些信仰还残106留在那些盘踞在罗马人遗产上的蛮族人当中,甚至直到这些人灭亡也没有消失。普林尼及其更加盲信的后继者所留下的医方和实践,在今天仍然能够在欧美的民俗和民间信仰中有迹可寻。

在共和国时期,医学教育已经是一件个人事务。教师和学生之间的直接联系体现在庄严的“希波克拉底誓言”中,直至帝国早期仍然流行。誓言在开始时宣称:

凡授我艺者,敬之如父母,作为终身同业伴侣,彼有急需,我接济之。视

① 罗马七丘之一,后为教皇宫殿所在地,1871年改为意大利皇宫。——译者注

彼儿女，犹我兄弟，如欲受业，当免费并无条件传授之。凡我所知，无论口授书传，俱传之吾与吾师之子及发誓遵守此约之生徒，此外不传与他人。（见第 27 页）

这种模式尽管披着古希腊起源的外衣，但所具有的帝国特色和罗马风格却更为明显，显示了医学教育模式在罗马是如何逐步形成的。

第一个重要的罗马医学教师是希腊人阿斯克勒必阿底斯（Asclepiades of Bithynia，约卒于公元前 40 年），他与卢克莱修处于同一时代，并且也是一名伊壁鸠鲁主义者。他嘲讽希波克拉底笃信“自然的痊愈力量”（vis medicatrix naturae）的态度，将其视为“对死亡的妥协”，竭力主张要在治疗过程中采取积极的措施，对后世的医学思想影响很深。他还在罗马创办了一所正规学校，这所学校直到其辞世之后仍然运作如常。

学校最初仅是这位医生的学徒构成的个人追随者群体，通过走访聚集在他的周围。其后这样的群体开始聚会探讨其专业问题。到了奥古斯都（薨于公元 14 年）统治的末期，这些社会团体为自己建造了一个聚会场所，继而成为一个正式的组织。最终皇帝们也建立学院来传播医学知识。医学教授们的收入来源起初仅是学生缴纳的学费，但到了公元 1 世纪的晚期，他们的薪水开始作为国家的公共支出。整个体系在其后的两个世纪里不断扩展，罗马也因此成为医学教育的中心。此外，一些附属中心也在其他的意大利城市建立起来，这些地方学校为军队培养了大量的军医。

在罗马人的全部医学课程中，非常薄弱的环节是缺乏解剖学的实践学习。考虑到罗马人对人的生命所表现出来的漠视，考虑到他们对待奴隶的残暴，以及角斗士们的搏杀所提供的种种研究良机，考虑到解剖学知识对于外科实践的价值，考虑到帝国对于军事医学服务的组织，解剖学知识的缺失的影响是非常重大的。

如果一名伟大的罗马军事统帅被问及这个存在的问题，他也许会回答：“医生当然需要了解解剖学，但是，盖伦的解剖学不是已经足够好了么？这些医生难道不能去读吗？”然而他错了。科学的持续发展并不依靠前人的书本知识，而是需要去实际接触所研究的物体，需要系统的观察和实验。罗马的军医们背离了这样的原则，使我们看到解剖学知识在本已匮乏的罗马科学中缺失了。

最早的一部拉丁文医学文献被认为出自塞尔苏斯(Celsus),创作于公元30年左右的罗马。这部著作从很多方面来看都是所有古代医学作品中编排最好、可读性最强的,有着高尚的伦理观<sup>①</sup>,总的治疗方针也很合理与人道。其中最有趣的或许是关于外科手术的部分<sup>②</sup>,关于割除扁桃体的准确记述能够让人恍然以为是现代的手术。牙科包括用金属线对松动的牙齿进行缝合,以及使用口腔镜。与这些吸引人的特色比起来,这部著作让人失望的地方在于它仅是希腊知识的汇编。这个事实也典型地反映了科学在罗马的现状。

现存的帝国时代的拉丁文医学著作没有很高的科学价值,对此我们必须要归咎于普林尼。尽管在其《博物志》中有很大一部分内容涉及医学问题,但他却轻视医学和研究医学的希腊人: 108

医学虽然能够生利,但严肃的罗马人却至今拒绝习得这门希腊科学,甚至也极少有我们的同胞愿意去接触它,因为一旦接触,就会立刻倒向希腊人……不幸的是,还没有法律来惩罚那些无知的医生,亦不能对他们施以极刑。但他们确是从我们的痛苦中学习,用我们的死亡来试验!

在展示其所鄙视的希腊人的著作时,普林尼还提出了大量自认为有着坚实“经验”基础的补救方案。这些方案既无理论基础,又得不到学说的支持,更非由实验而来。尽管如此,普林尼有关药物的卷册在其后的15个世纪里仍然成为医学作品的典范。他用“经验”来反对“理论”的呼吁,悲哀地得到了历代“实用者”的响应。然而,有那么一些学科和那么一些情况,人们如果没有理论的指导将会变得完全不切实际——医学就是这样的学科,疾病就是这样的情况。

当“经验”被普林尼及其后——特别是中世纪——的作者所倡导时,我们必须注意不要将其与科学的“经验”混为一谈。在科学问题中,经验的实质在于可控。这样的经验通常能够任意重复,就像化学反应能够重复一样。事实上,所有真正的科学经验都带点“实验”的性质。可以说,科学经验是一系列“主动观察”

① 塞尔苏斯在著作的前言中对活体解剖进行了伦理探讨。当时有人支持活体解剖,认为虽然对死囚进行活体解剖很残忍,但牺牲少数人却能给其他无数的患者带来好处。塞尔苏斯的观点是,对活人进行解剖既残忍又无必要,对死尸进行解剖才是正确的途径,人死后的器官反而更加容易辨认。——译者注

② 塞尔苏斯的这本《论医学》共八卷,此处是第七卷。——译者注

(observations provoquées)的结果。<sup>①</sup>

109 一个来自普林尼的简单例子就能够说明这种区别。他说：“药草白藓能够拔出箭矢，这从雄鹿的身上可以证明（请注意这个词，在这里的实际意思是‘测试’）——它们如果被射中，吃了这种植物之后身上的箭矢就会脱落。”普林尼在这里有验证这种说法的意愿吗？如果有这种意愿他又去验证了吗？答案是显而易见的。事实上，他的“经验”来自狄奥弗拉斯特的著作中一段被篡改和伪造的内容，但他却没有说明其来源！普林尼及其后世的追随者们——直到今天仍然存在——深信这些经验的价值，这种先入为主的观念导致他们犯下了无数荒谬的错误。无论是直接的还是间接的“一般经验”，都不能替代准确的科学知识。

罗马人在医学领域取得的建树不多，但在医学服务的组织，特别是大众健康方面却十分令人敬佩。一些罗马建筑学作者十分关注建筑物的定位、定向和排水系统，政治家们则关心公共卫生和大众健康。当时的一些有实际经验的卫生专家们对毗邻沼泽而居感到恐惧，以现代知识来看其实就是害怕由蚊子传播的疟疾，然而有趣的是，在诸如贺拉斯(Horace)和尤维纳利斯(Juvenal)等人的诗歌中，却将使用蚊帐奚落为一种娘娘腔的举动。

卫生系统在罗马人的生活中起着重要的作用。罗马在傲慢王(Tarquins, 公元前6世纪)<sup>②</sup>时代就已经出现了下水道。作为罗马主要排水系统的“大下水道”(Cloaca maxima)便是在那个时代开始建造的，其部分结构今天仍在使用。

罗马人卫生观念的兴起可以追溯到公元前450年禁止在城市里掩埋尸体。在这个禁令里没有提及医生。同样，在发给城市管理者的清理街道和供水的指南里，也没有专业人员的参与。同样没有医学帮助或咨询的是首位罗马国王努马(Numa)<sup>③</sup>所颁布的一条古老法律，其内容是允许在孕妇死后剖腹取出还活着的胎儿。这就是所谓的“剖腹产”(Caesarian section)，据说恺撒就是这样来到人世的。这个词今天在外科里仍在使用。

① 有些科学经验甚至能够不经重复就可以被确信。因此，一个有着精确和详细结果的天文预测，如果其证明的方法也是精确而详细的，那么即使仅仅是通过一个观测也能够证明其理论的正确。

② 罗马王制的最后一代。公元前509年，在驱逐了傲慢王之后，罗马进入了共和制。——译者注

③ 原文如此。——译者注



然而众所周知,罗马人在保障大众健康方面的最大丰碑仍然是那 14 条巨大的引水渠,每天向这座城市供应 30 000 万加仑的水,其规模之大,即使是现代的 110 城市也罕有匹敌。这些水在被引入城内后,还被合理地分配到了千家万户,其出色的管道系统今天仍有部分保存了下来(图 4.4)。

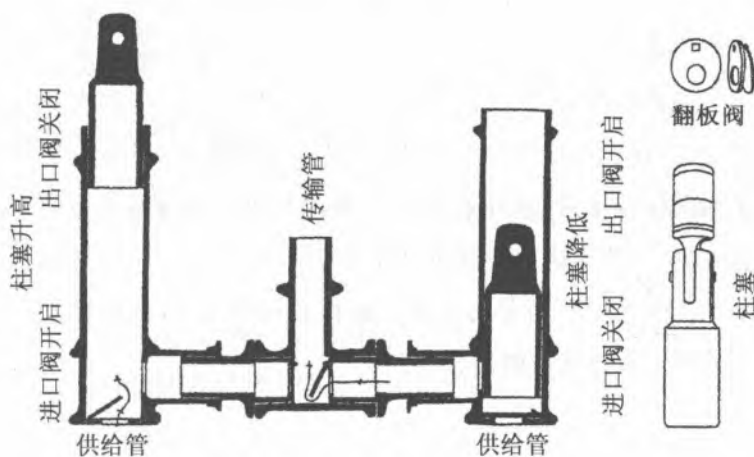


图 4.4 罗马双动水泵的结构

帝国在早期便建立起一项明确的公共医疗服务。政府将医生分派到各个城镇和机构。一条由安敦宁皇帝在 160 年左右颁布的法令规定了这些医生的主要职责就是照料穷人。在伟大的立法者查士丁尼皇帝所颁布的法典(533 年)里,有一个条款激励医生们更加心甘情愿地提供服务,而不是受着金钱的驱使。他们拿着固定的薪水,并被鼓励训练学生。

与公共医疗服务相关的是医院体制。它产生于罗马人的组织才能,并与其军事体制相联。古希腊人以私人诊所著名,其大一些的医疗结构就是医神埃斯科拉庇俄斯(Aesculapius)的庙宇,然而却没有证据表明在这些场所存在科学的医疗手段。罗马共和国时代在台伯河中的岛上建造了一个类似的神庙。关于这个医神之岛,历史学家苏埃托尼乌斯(约 120 年)写道:“那些被疾病折磨得奄奄 111 一息且难以治愈的奴隶们被送到这里。克劳狄乌斯皇帝(Claudius, 公元 41—54 年在位)下令,如果这些奴隶在此摆脱了病魔,他们就能够获得自由,不必再受到原主人的奴役。”这座岛屿因此成为患病穷人的避难所,也成了公共医院的早期雏形。其后这种模式被效仿,设备得到不断改进,服务对象也扩展到了自由人。



公共医院的发展很快地就影响到了军队生活。随着罗马人不断地拓展其疆域,在一些重要的战略地点建立起军事医院,其后还在诸行省的城镇中成立类似机构,为数量庞大的帝国官员及其家属服务。这种动机的慈善意味也越来越浓厚,最后公共医院在很多地区都建立起来。这种理念顺理成章地被保持到了基督教时代,那些中世纪里收留病人和无家可归者的医院,其慈善的基础要追溯到这些古罗马的组织机构。

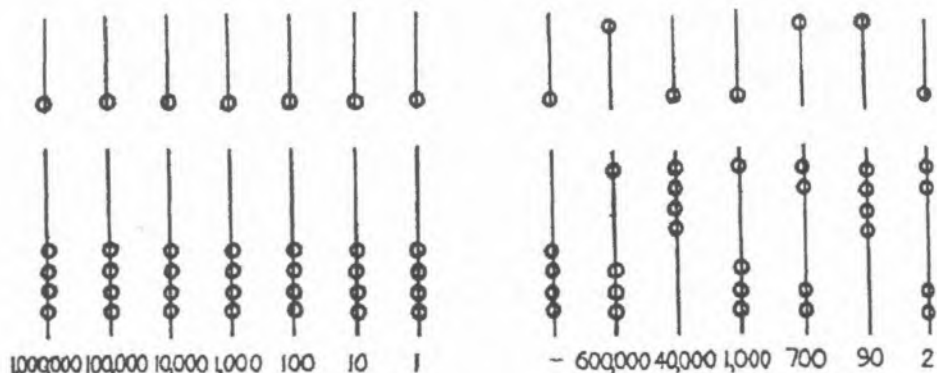
首个此类慈善机构据信是由一位名为法比奥拉(Fabiola)的女基督徒于4世纪在罗马创建的,我们可以通过圣杰罗姆的作品了解此人。9世纪早期圣高尔的一幅医院平面图保存至今,从中我们可以获悉早期罗马军事医院的很多情况。此外,我们还要将这些为病人开设的中世纪医院(hospital)与当时数量更多的“救济院”(spital)区分开来,后者是为了收容旅行者和朝圣者,其前身或许能追溯到那些在帝国战略要道旁建造的休憩屋。

## 罗马的数学、物理学和历法

和所有的民族一样,罗马人最早也是采用手指计数,并从中发展出机械计算的方法。这种计数器是一种铺满沙子的平板,其上用手指划分出纵列,不同的位置标记代表不同的数字。这些符号一直到中世纪晚期还在广泛使用。

- 112 更为复杂的计数装置是一种名副其实的“算盘”(abacus)。它最初是一块有着一串凹槽的平版,石块或算子(calculi)在凹槽中能够上下移动,拉丁文里的动词“计算”(calculo)以及今天的“calculate”即由此而来。其后这种算盘被大幅改进:每道凹槽变成了上下两截,上截是一根短棍,穿进了一颗珠子,下截是一根长棍,穿进了四颗珠子,每颗珠子都能够用手拨动。整个算盘最右边的棍列表示个位数,其左邻的棍列代表十位数,如此一直表示到百万位数(图4.5)。这种算盘的实际应用模式比能够想象的要更加复杂。

古代整个数学体系都受限于不完善的符号标记法。我们今天所熟悉的包括九个单独符号和一个0的位置制计数法,直到中世纪才传入欧洲。希腊人主要使用几何方法来解决我们今天用代数方法处理的问题,他们对罗马的数学发



算盘由串在一起的可移动珠子构成。左图为数位的设置,右图为数字641792的表示方法。这个数字如果不用算盘而用罗马数字来表示,则需要21个字母,即CCCCCXLMVIIICLXXXII。

图4.5 罗马算盘示意图

展影响也很小。从波爱修(Boethius, 480—524年)所著的《几何》和《算术》中就可以体味到拉丁科学作者们对希腊数学知识的吸收是多么有限。这些基础性的著作堪称“最后的古代人”带给中世纪早期的古代数学遗产。有趣的是,波爱修将数学划分为四个部分:算术、音乐、几何和天文,并首次称这四门学科为“四道” 113 (quadrivium, 即四条道路)。然而,即便是在罗马统治的全盛时期,西塞罗仍然哀叹“希腊的数学家们已经将数学带向纯粹的几何,而我们却还在计算和测量”。

测量术在罗马人的心目中至少跟他们的城市一样古老。它起初由祭司们掌握,之后在帝国时代建立了一所培养测量员的正规学校。其时经常使用的主要测量仪器是“格罗马”(groma, 图4.6)。它有两组呈直角固定在一起的铅垂线,安置在一个可以扭转的竖直支架上,其中一组铅垂线用来瞄准,另一组用来确定与前一组水平垂直的方向。由于在农业和城市规划中主要使用矩形线,这种仪器应用广泛。此外,照准仪尽管笨重复杂,但也仍然在使用。

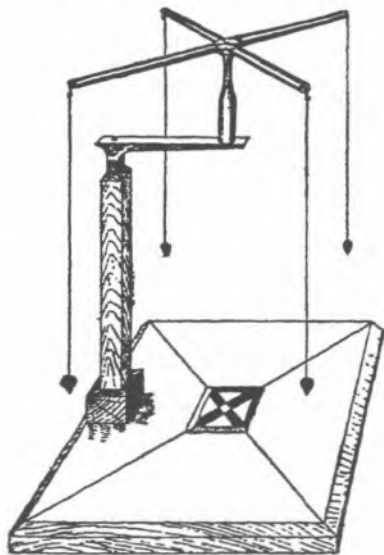


图4.6 “格罗马”

从庞培还出土了制作精美的圆规和其他

114 一些用于测量的仪器。由于罗马人的砖石工艺之精良家喻户晓,因此罗马人在测量方面的一些欠准之处就显得颇有些让人意外。例如,维特鲁威(Vitruvius, 约公元 10 年)作为一个经常有机会检测筒柱的称职建筑师,竟然将  $\pi$  取值为  $3\frac{1}{8}$ ——任何一个手头有圆规和卷尺的学生都能够给出一个比这更好的数值,何况阿基米德早已提出了一个更接近实际值的  $3\frac{1}{7}$ !

对于某个与观测者同平面但不可及的点,维特鲁威给出了一个估算距离的方法。譬如欲测量位于河对岸的某点距离,先沿着同侧的河岸,用一种名为“行程表”(hodometer)的仪器——这种仪器有点像“计程车”,有一个已知周长且能够测知滚动圈数的轮子——测量出一条线段,这样线段的两个端点就与对岸的点构成了一个三角形,接着在这条线段的两个端点处,分别使用照准仪测出其与另外两个端点所成的角度,最后算出这个三角形的高,便可得出到河对岸该点的距离,亦即这条河流的宽度。

罗马人的力学知识都有着实用的指向。提秤大概是罗马人发明的少数工具之一。这种仪器非常古老,或许至少能够追溯到公元前 3 世纪。滑轮的原理也广为人知,精密的滑轮系统被应用于吊车和战争机械中。

拉丁作者们在很多方面都表现得缺乏理论基础。鲫鱼是一种头部有吸盘的地中海鱼类,普林尼在讲述其传说时说:“这种小鱼能够抗衡大海的所有力量。任凭狂风呼啸、海浪滔天,它们都能承受并吸附在船只上使其保持平静。”与之形成对比的是三个世纪前阿基米德的宣言:“给我一个支点,我就能够撬动地球。”然而其后 1500 年内,人们并没有完全地理解阿基米德的著作,倒是其螺旋泵一类的简单装置,对于罗马人来说非常熟悉。

115 应用数学在罗马帝国的早期得到了一些发展。尤利乌斯·恺撒(公元前 102—前 44 年)本人就是一位天文学家,他希望能够改善当时已经极度混乱的罗马历法。

罗马历法的早期历史是暧昧不明的。在早期的罗马历法里,一个太阳年有 355 天,差不多正好等于 12 个阴历月。“战神月”(Martius)是第一个月,其后的三个月以植物的开花、果实生长和成熟命名,分别为“开花月”(Aprilis,可能来源

于拉丁文 *aperire*, 意为“开”)、“生长月”(Maius, 可能与单词 *major* 有关)和“青春月”(Junius, 可能与单词 *junior* 和 *juvenis* 有关)。随后的六个月则仅仅是按照从5到10的序数来命名, 分别是“第五月”(Quintilis)、“第六月”(Sextilis)、“第七月”(September)、“第八月”(October)、“第九月”(November)和“第十月”(December), 其中最后四个月的命名保留到了今天。十一月名为“两面月”(Januarius), 来自两面神“雅努斯”(Janus); 最后一个月是举行净化仪式的时节, 因此命名为“净化月”(Februarius, 来自拉丁文 *februare*, 意为“净化”或“赎罪”)。

为了能让阴历月能够有效地配合太阳年, 罗马人构造了一个四年的周期: 第一年包含355天, 第二年377天, 第三年355天, 第四年378天。整个周期共有1465天, 平均一年即  $\frac{1465}{4} = 366\frac{1}{4}$  天。然而年长的多变失去了对农业的指导作用, 农夫们只得继续依靠某些恒星的出没来安排农时。尽管此后又不断地对年长的设置进行修正, 但直到恺撒进行历法改革之前, 仍然没有能够获得一个合理的方案。

恺撒采纳了一位亚历山大里亚数学家提出的方案来取代原有的历法体系, 这个新的体系不再试图让年和月的设置配合阴历月的长度, 而是将一个太阳年规定为365天, 每四年插入一天, 并以该年作为闰年。这个改革后的新历法可能是公元前238年制定的一部亚历山大里亚历法的翻版, 其制订者或许是希腊天文学家欧多克索。到了公元前44年, 即儒略历<sup>①</sup>施行的第二年, 为了纪念新历法的创建者, 原“第五月”(Quintilis)改名为“儒略月”(Iulius), 这便是我们今天“7月”(July)的由来。<sup>②</sup>此后在公元前8年, 儒略历中的“第六月”(Sextilis)又因恺撒的继任者屋大维而改名为“奥古斯都月”(Augustus)。从此, 以“战神月”(March)为年首的儒略历<sup>③</sup>, 便一直通行到1582年教皇格里高利十三世重新改革历法。

① 即恺撒所施行的这部历法。因恺撒名 *Julius*, 故此历称为“Julian 历”, 中文译为“儒略历”。——译者注

② 儒略历沿袭了原罗马历的各个月名, 但将原11月改为1月, 故原历中的“第五月”便成为新历中的第七月。又, 拉丁文中字母“I”与“J”不分, 故“Iulius”相当于“Julius”。——译者注

③ 原文如此。——译者注

## 罗马的天文学和星占学

罗马人直到帝国晚期都没有关注纯粹的天文学问题，只是出于实用的目的将天文学应用于历法、航海和农业。阿维努斯(Avienus,约公元380年)的某些拉丁文格律作品代表了当时流行的天文学。这些作品在中世纪早期仍然流行，其内容汇编自若干希腊人的著作，其中尤其引人注目的是阿拉托斯(Aratus of Soli,公元前271—前213年)。圣杰罗姆认为，在《使徒行传》中圣保罗所说的“我们生活、动作、存留，都在乎他。就如你们作诗的，有人说：‘我们也是他所生的。’”（《使徒行传》第17章第28行）这句话，就引自阿拉托斯的《现象》(Phaenomena)。“我们也是他所生的”一句，事实上来自阿拉托斯对宙斯的公开祷告；此句在诗人克雷安德(Cleanthes,约公元前250年)的作品中亦有出现，但稍有不同，阿维努斯也曾对此句进行发挥。阿拉托斯是西利西亚人(Cilicia)，圣保罗的家乡也在西利西亚省。阿拉托斯和克雷安德都是斯多葛学派的成员，这个学派和伊壁鸠鲁学派一样，在雅典都反对使徒传教。<sup>①</sup>

言归正传，让我们回到天文学。罗马人在公元前3世纪知悉日晷，此后很快便改进了这个新事物，并将其用于历法的制定。建筑师维特鲁威(Vitruvius,约公元10年)全面地解说了日晷的构造，并介绍了其时还在使用的许多形状各异的日晷。按照他的说法，其中一些由希腊人发明，阿利斯塔克和欧多克索即这些人中最著名的两位。<sup>②</sup>这些日晷具有五花八门的形状，其构造表现出高超的机械技术，也展示了实施和记录基本天文观测的能力。但是日晷并不适合旅行者使用。维特鲁威还描述了一种非常简单实用的水钟。

117 罗马人已经深谙在不同纬度上白昼的长短不同。一年中，白天在亚历山大

① 见《使徒行传》第17章第18行：“还有伊壁鸠鲁和斯多葛两门的学士与他争论。有的说：‘这胡言乱语的要说什么？’有的说：‘他似乎是传说外邦鬼神的。’这话是因保罗传讲耶稣与复活的道。”——译者注

② 据维特鲁威的《建筑十书》记载，阿利斯塔克发明过碗形、半球形和圆盘形的日晷，欧多克索发明过蜘蛛形日晷，此外还有石板形、斧形、圆锥形和箭筒形等各式日晷。——译者注

里亚最长为14个小时,在意大利最长为15个小时,在不列颠最长为17个小时,普林尼据此推断北极点附近的地区必定在夏天有长达24小时的白昼以及在冬天有24小时的黑夜。

在普林尼的著作中,很多段落都反映出对地球形状认识的分歧,这也提示我们关于这个话题在早期存在着争议。他的著作开篇即描写了宇宙的总体结构,阐述了大地是球形的观点:

科学与群氓的观点是针锋相对的。根据前人所言,人们栖居于球形的大地上,虽两足对跖,却头戴同一片天空。然而群氓却要质疑为何地球另一端的人们不会掉落,正如那一端的人们也会疑惑我们为何不会掉落一样。人们通常还否认水有形成球形的趋势,然而事实却再明显不过,那些悬挂着的水滴总是形成一个个的小球。

在普林尼的时代,罗马人已经开始认为月亮和恒星能够影响人间的事务。普林尼曾经问道:“又有谁不知道,当天狼星升起时地球会被拉伸到最宽?”这种天狼星影响地球的观念至少能追溯到古希腊赫西俄德(Hesiod,公元前8世纪)的文学作品,今天我们关于“大暑天”(dog days)的迷信即与之相关。月亮能影响潮汐这样的现象使人们想到,既然月亮能够影响外部世界这个“大宇宙”,那么也必定能够影响人体内部的“小宇宙”。于是人们相信,人体也会随着月亮的逐渐变圆而变得血肉丰盈。这种理论也催生出定期放血的医疗方法,并在早期的修道院生活中占据了重要的地位。

与此同时,天体能够影响地球及其生命的想法也催生出军国星占术(judicial astrology)。它在帝国内作为一项非法的专业知识而受到禁止,却常常被帝王们认可和利用。在基督纪元后的第一个百年里,星占学开始在罗马传播开来。

普林尼告诉我们:“有些人确信(所有的人间事务)都受到星星的影响,都受到创造它们的法则的支配。他们还认为,上帝在一次性地制定了所有的规则后就不再去干涉它们。这种观念越来越流行,无论是博学之士还是寻常百姓都接受它。” 118

然而星占学却是一门外来的学问。它的起源通常被归功于“迦勒底人”,主要的传播者则是希腊人。维特鲁威说:



星占学作为天文学的一个分支,关注的是黄道十二宫、五大行星以及日月对一个人命运的影响。这是一门通过计算来了解过去和未来的学问,我们必须承认它来自迦勒底人。

黄道十二宫符号的最初含义目前还有争议,但它们无疑很早就和美索不达米亚使用了(图 4.7),也正是在那儿,产生了这套划分黄道和时间的方法。西塞罗写过一篇对话体的《论占卜》,反对这些迦勒底人的观点,他曲解了星占学的基础,对之提出了一些过时且荒谬的质疑。然而即便如此,西塞罗也接受了某些星占学的教义,在《西庇阿之梦》中,他即声称木星主吉而火星主凶。早期基

督教的作者们则更加憎恶星占学,因为后者否定了他们所十分珍视的自由意志。德尔图良(Tertullian,约 155—约 222 年)、拉克唐修(Lactantius,约 260—约 340 年)、奥古斯丁(Augustine, 354—430 年)诸神父都猛烈抨击星占学。随着基督教在西方的传播和斯多葛哲学的失势,星占学也渐渐退隐幕后,等待着在阿拉伯人将其复兴和大学兴起之后卷土重来。

星占学在早期曾经涌现出大量的作品。但从总体上看,它与罗马流行的斯多葛哲学相比却显得似乎难登大雅之堂。恋人们求助于星占学确定婚礼吉日,出行者求助于星占学确定出行吉日,建造者则求助于星占学确定开工奠基的吉时。这些事情在如今的时代和社会里很容易就被视为无知。但是盖伦(130—200 年)作为一名富有资财和教养的人,也求助于星占学来预测遗产——这又是一种被我们视为无知的行为。

119



端坐的神祇头上有各种天体,其中天蝎座的形象赫然在列。碑文内容记载了对马杜克(Marduk)<sup>①</sup>神庙的捐赠。时间约在公元前 1000—前 2000 年。

图 4.7 一块巴比伦界碑

① 古巴比伦人的主神,巴比伦城的守护神。——译者注



然而,星占学并不能被简单地看作一种无知者与有闲者的迷信和消遣。古代的星占学体系实质上脱胎于科学的天文学和宇宙学,典型地代表了人们关于自然和俗世活动的信念,其中亦包含了一部分斯多葛主义的信条。在这个世界的运行机制中,没有给那些人性化的神留有存在的空间,信仰在其中仍然要依靠神父们去激励,依靠大众们去持守。在这种机制中,信仰的传播最终造成了官方信条与知识阶层观念的完全分裂。而其宇宙各部分之间相互依存的观点又适时地产生出一种新形态的宗教:世界本身就是神圣的,正如普林尼所言:“自然即唯一的上帝。”于是,由这种观点出发,比较容易地便过渡到维吉尔的那种一神论,认为整个世界都是一个外部神的创造物。然而罗马的斯多葛主义者却未能走到这一步,那些后期的拉丁作者们仅仅表现出一种听天由命的悲观情绪。“如果有上帝,上帝定是超然于世界之外的,并不能指望他去照拂这个世界。”普林尼如是说。卢克莱修也曾声称,不朽的想法在他看来就是那些恐惧死亡者的“喃喃稚语”。因此普林尼试图让我们相信,人死后就是回到了出生之前——如同他纵身跃入那充满传奇的篇章! 120

我们已经一次又一次明白地指出了这些拉丁科学作品中的真实意图。重要的是,这些注解听起来仿佛是相信知识进步的一种声明,抑或是对纪元前四五世纪希腊思想的一种共鸣。而对于一个或许比其他人更趋近神圣内在性的异教徒拉丁哲学家来说,这样的注解也同样重要。塞涅卡在其《自然问题》中这样写道:

有多少旋转的天体是人眼所看不到的啊!……当我们的记忆消逝,又有多少发现预留给即将到来的时代,给我们这个充满了物质的世界,给那些科学研究,给一代又一代的人们……上帝并没有为人们揭示一切,他将其未完成的伟业托付给我们。然而他依然指引着万物,为这个世界奠基,是这个世界的造物主,比任何他的造物都要更伟大、更完美。我们的肉眼无法看到他,我们只能通过心灵感受他……当走进神庙时,我们表现出各种敬畏;当面对天体、群星和上帝创造的自然,我们亦须表现出最大的虔诚!

但是,从拉丁作品的其他地方,我们却看不到这种古代科学所包含的对命运的信仰和对知识的期待。罗马人所生活的是一个有限的世界,以天空为边界,被火墙所包围。他们的祖先曾以为这个广阔的空间充满了需要被安抚的神灵,但

是现在,这些令人敬畏的事物却让位给了新的科学——与帝国“万民法”(jus gentium)有着诸多相似之处的世界“自然法”(lex naturae)。

这种“自然法”所带来的必然性,让卢克莱修这样的伊壁鸠鲁主义者在面对未知的恐惧时找到慰藉,但这在斯多葛主义者看来却无疑是局限的、呆板的、僵化的和无情的。我们必须记住,这种必然性与现代科学的开放主张所带来的必然性有着极大的不同,后者持续地在空间、时间和思想领域扩大其探索的范围,前者则营造了一个冰冷、暴虐、让人无力的世界——罗马的思想者们身处其中必然会感到束缚、禁锢和压抑。罗马人已经抛弃了他们早期的神祇,这是一群异常模糊的个人存在物,在罗马先辈的生活中,每一个活动和仪式都充斥着对其进行的象征性安抚。现在罗马人看到,在他们的面前有了两个选择:一个是来自东方的宗教,其神祇不过是让人着迷的魔法师;另一个是新的科学宗教,其神祇利用机械的法则来运作。罗马人抛弃了祖先的信仰,投入到使他们感觉更亲近的女神怀抱中——看啊,他们发现自己拥抱了一台机器!于是他们的心灵退缩了,躲入了基督教。然而,这种世界具有确定性的看法却从此带来了实质上的悲观主义,笼罩在此后古代世界的许多思想之上。而其后作为对这种悲观主义的反动,又导致了人们巨大的精神转变,古代世界正是在这场转变中轰然倒塌于火焰和烟雾里的。

## 从异教徒到基督徒的思想历程

我们已经对古代的科学思想历程作了一个大致的回顾,其中可以分成四个阶段。

(1) 在希腊思想兴起之初,自然科学成为哲学的基础。它忽略伦理学,也排斥大众宗教。“体系的兴起”阶段由此产生。

(2) 柏拉图和亚里士多德试图调和伦理学与科学之间的对立,却将伦理学放到了优先的地位。此时大众宗教依然被否定。这便是“伟大的探索”阶段。

(3) 亚历山大里亚思想为科学、伦理学和宗教发展出了独立的学科门类。“专家”的时代开始了。亚历山大里亚时代随着科学的衰落而结束。人们追求

“知识的勇气”遭到了挫败。

(4) 及至罗马帝国,斯多葛学派和伊壁鸠鲁学派这两个流行的思想学派都对科学漠不关心,科学因此进一步衰落。伦理学却在此时获得了极大的重视。“科学的灵感”消失殆尽。

现在,我们必须更深入地考察那些在这个最后阶段的古代思想中关于物质世界的部分。在基督纪元的最初200年里,斯多葛学派与伊壁鸠鲁学派以及其他一些不那么重要的哲学流派共同占据了思想领域。斯多葛学派的哲学认为,力的相互作用支配了人们生活中的一切细节,自然和力的活动在理论上都是完全可知的。伊壁鸠鲁学派也有同样的观点,区别在于控制人类命运的力有所不同:斯多葛学派认为是天体的作用和星占术,而伊壁鸠鲁学派则认为是原子的相互作用。这两个体系都是“决定论”的,在这一点上不同于新崛起的新柏拉图学派所持有的“非决定论”,后者更好地迎合了基督教所秉持的自由意志原则。<sup>①</sup>由于原子论遭到了当时作为权威的亚里士多德和柏拉图的反对,以及斯多葛主义和新柏拉图主义的打压,伊壁鸠鲁主义就此退隐幕后。新柏拉图主义最终融合了所有的哲学流派,其历史颇值得我们去探究一番。

在基督纪元的第三个世纪里,亚历山大里亚出现了一种宗教、哲学和派别的奇特混杂。旧的科学学派正在衰败,基督教、犹太教和其他异教的思想激烈地碰撞,古埃及、希腊、罗马以及来自东方的宗教吸引着人们去崇拜和迷信,已经衰败的亚里士多德学派和柏拉图学派只剩下一些保守的追随者,仍然有一些人自诩为斯多葛主义者和伊壁鸠鲁主义者——所有这些不同的人群却有着一个相同之处,那就是轻视科学。

然而我们必须记住的是,那时的科学与今天的科学不同,并没有为人们的尘世命运带来显著和广泛的改善。人们已经开始利用自然,却还未能驾驭自然。科学在那时仅是一种认识世界的方法而非改造世界的手段。而作为一种认识世界的方法同时也是一种生活方式,需要实证的知识,那时的科学做得并不成功。世界对于人们来说既不能享受又不可征服和研究。然而这时人们寻找到了一道

<sup>①</sup> 基督教相信人有自由意志,将人类的一切不良行为归咎于自由意志,而人类也能够凭借着自由意志选择悔改向神。——译者注

新的希望之光,在它的光辉里,旧有的智慧变得愚蠢而过去愚蠢的东西却变成了新智慧。人们厌倦了质疑,最终欣然接受了某个信念的种种承诺。这个信念汇聚了当时最多的有教养者的经验,很快就变得非常流行。这个大融合的体系就是新柏拉图主义。

- 123 这种融合的趋势很早便在亚历山大里亚显露端倪。比基督年长约 20 岁的斐洛,用柏拉图和亚里士多德的哲学结合犹太教经典建立起一套体系,其中还掺杂进一些神秘主义。他提出了逻各斯法则<sup>①</sup>,体现出一种远离观察科学(observational science)的倾向。在斐洛之后,公元后第一、第二和第三世纪里的“新毕达哥拉斯学派”(Neopythagorean)<sup>②</sup>和“赫尔墨斯学派”(Hermetic)<sup>③</sup>也在观点和教义上表现出与斐洛相似的综合性。我们并不打算在这里为它们多费笔墨,不过最早的基督教作者们或许也能够被视为这个综合群体中的成员。

公元 3 世纪早期在亚历山大里亚出现了一位阿摩尼阿斯·萨卡斯(Ammonius Saccas,名字的意思为“扛包人”或“搬运工”,卒于 245 年),其影响对于科学来说注定是毁灭性的。他虽然生为一个基督徒,却放弃了信仰而开创了一个哲学流派——这就是后世所谓的“新柏拉图学派”。他的学派像毕达哥拉斯学派一样进行秘密的教学活动,他的学生却没有像他一样述而不作,而是留下了一批著作。在这些学生中,最伟大的是普罗提诺(Plotinus, 204—270 年),他是一个罗马人,将新柏拉图主义带到罗马,此后更是传播到整个异教世界。

我们在此并不打算全面地考察新柏拉图主义,但却想进一步讨论一下它的诸多思想源头。这些源头包括亚里士多德、柏拉图和更早的希腊先哲,还包括不同的宗派,以及诸如斯多葛学派这样的哲学流派。这里有一条在历史上非常重要的学说值得我们注意,新柏拉图学派和斯多葛学派都信奉它。两派的学者们将宇宙、大世界(the great world)、大宇宙(macrocosm)与人、小世界(the little world)、小宇宙(microcosm)相对应,其中一组是另一组的映像。一般来说,新柏拉图主义者主张宇宙为人所设,人才是本质的真实;斯多葛主义者则主张人为宇

① 简单来说,就是将逻各斯作为神和人之间的中介。——译者注

② 公元 1 世纪至 2 世纪出现的一个神秘主义哲学派别,以早期毕达哥拉斯派的思想为主,同时吸取了柏拉图、亚里士多德和斯多葛派的观点。——译者注

③ 亦翻译为“黑米特”或“贺密士”,融合了神学和哲学的神秘主义学派。——译者注

宙所造。最终,新柏拉图主义的观点占据了上风,其关于大宇宙和小宇宙的阐述被基督教所采纳。

新柏拉图学派发展了一种主要来自柏拉图、部分来自斯多葛学派的表征性的形而上学来规定其道德规范。柏拉图的“理念”得到了极大的强调,并几乎被人性化。在这里,“理念”被表达为形式,如同灵魂控制肉体一样控制着物质。但是,物质有时也会摆脱理念的控制,于是物质世界便会陷入冲突和无序。理念最终可以由形式来确认。物质被赋予了形式便会处在最正常的状态,一旦被剥离了形式或理念就会变得邪恶,因此,灵魂一定希望避免这样的危险,并渴望取得与神的那种令人迷醉的联系。

新柏拉图主义在公元4世纪繁荣一时。它将自己与各种神学宗派联系起来,成为基督教的危险敌人,其影响在“叛教者”朱利安(Julian the Apostate)成为帝国皇帝时(361—363年)达到新高。然而随着朱利安短暂统治的结束,基督教在其后的瓦伦提尼安(Valentinian, 364—375年在位)和狄奥多西(Theodosius, 379—395年在位)时代取得了胜利,新柏拉图主义也跌入了前所未有的低谷。基督教在大众传播的过程中,也吸收了这些宗派的迷信观念、戏法和巫术。另一方面,一开始就浸透这些元素的新柏拉图主义却最终清除了这些元素,尽管因此未能触及时代的精神。及至公元4世纪末,希帕蒂娅(Hypatia, 379—415年)成为亚历山大里亚新柏拉图学派的领袖,其后新柏拉图学派的影响也随着她死于谋杀而宣告终结。希帕蒂娅通过其学生直接影响了基督教的思想,其中最有名的一位是西兰尼的西奈修斯(Synesius of Cyrene, 373—414年),他后来成为一名思想非常开放的主教。

新柏拉图主义的学说主要通过圣奥古斯丁(354—430年)的著作融入基督教的教义。圣奥古斯丁曾在少年和青年时代投身于摩尼教的研究,但最终转而研究严谨的科学。他于383年来到罗马,翌年前往米兰,在那里结识了一些新柏拉图学派的教师。公元386年,圣奥古斯丁皈依基督教,并于393年开始撰写他的那些伟大的著作,直到离开人世。

从圣奥古斯丁的著作中,我们可以了解他所受到的新柏拉图学派的巨大影响。他的所有基本教义,诸如上帝、物质、上帝与世界的关系、自由、罪恶等等,都直接取自新柏拉图主义。通过他,我们可以认为身为希腊思想最后代表的新柏

拉图主义最终融入了基督教。主要通过他,早期的基督教学会了对现象的思考,而这正是其之前所厌恶的。这位伟大的神父说过:“不必出门,求之于己,真理就在体内。”于是,在此后的1 000年里,西方世界人们的思想就再也没有走出过大门。

也正是通过圣奥古斯丁,以大宇宙和小宇宙为代表的一些新柏拉图主义的学说传播到了拉丁西方(Latin West),并在那里等待着阿拉伯人的复兴。还有一些传统以相似的方式留存在拜占庭东方(Byzantine East),直到几个世纪之后随着伊斯兰教的突然兴起而重新获得关注与诠释。而同样是这些学说,在被打上伊斯兰文化的独特印记后,又从阿拉伯文翻译回来,再次回到基督教欧洲。

## 第五章 知识的没落——中世纪：神学， 科学的女王(约 400—1400 年)

### 黑暗时代(400—1000 年)

现在我们进入到“大衰退”(Great Failure)的最后也是最长的一个阶段。随着罗马帝国的衰落及灭亡，哲学也像科学一样衰败了。基督教作为一场哲学的和宗教的宏大运动，取代了新柏拉图主义的位置。德尔图良(155—222 年)、拉克唐修(260—340 年)以及更重要的圣杰罗姆(340—420 年)和圣奥古斯丁(354—430 年)诸神父是基督教的早期捍卫者，他们的学说观点虽然已经超出了我们这里要讨论的范围，但可以肯定的是，它们无助于精确的研究和现象的积累。尽管如此，在教会的影响下，中世纪还是发展出了一套对自然的独特看法。

我们出于需要将“中世纪”界定在 5 世纪到 15 世纪之间。这个千年可以按照某个人类智力发展历史上最重要的事件不均匀地划分为几个阶段。其中在 10 世纪到 13 世纪之间，人类的智力活动在伊斯兰世界有一个辉煌的发展。这场运动又主要通过 12 世纪和 13 世纪将阿拉伯文献翻译为拉丁文，极大地影响了拉丁欧洲。拉丁西方的中世纪时期也因此可分成两个阶段：前期是“黑暗时代”，结束于 12 世纪；后期是“受阿拉伯影响的时期”，经院主义是这个时期的主要标志。当我们从前一个时期转换至后一个时期时，可以看到人们对于外部世界本质的基本看法其实大同小异，但表现方式却有了很大的变化——后期关于物质世界



的整个学说体系表现出了一种形式上的理性。

在古典衰落时期的最后几个世纪里,那些注定要传世的文献被遴选出来并  
127 翻译为当时已经是西方学术界通用语言的拉丁文。我们有必要先简要检视一下  
这些古代世界馈赠给黑暗时代的遗产。

柏拉图著作中的《蒂迈欧篇》深合罗马帝国末期新柏拉图主义者们的观点,同时亦不悖于基督教的信仰。一部出于3世纪的《蒂迈欧篇》的拉丁评注,代表了整个中世纪关于宇宙和人的本质的看法。此书是整个古代影响最大的著作之一,其中特别传达了中世纪科学的中心教义——关于大宇宙与小宇宙的学说。这种宇宙的性质和结构预示着人的性质和结构的观念,是理解中世纪科学的基础。

在保存下来的亚里士多德的著作中,有关逻辑学的部分在6世纪时由波爱修(Boethius, 480—524年)翻译为拉丁文。在以后的几个世纪里,它们决定了人们在神学之外的主要研究兴趣。波爱修曾打算翻译亚里士多德的所有著作,然而令世人遗憾的是他没能活到那一天,错失了将亚里士多德的观察力展示给世人的机会。假使亚里士多德的生物学论著在中世纪早期就能被翻译为拉丁文,那么此后的整个西方思想史或许都将因此而改变。值得庆幸的是,波爱修在希腊前辈的基础上还编纂了一些初等数学论著,在某种程度上弥补了一点这样的缺憾。我们要感谢这些著作,正是有了它们,在那人类智识衰退、科学随着希腊思想堕落的漫长年代里,至少还有数学保持了一定的水准。

与波爱修做了类似工作的还有马克别乌斯(Macrobius, 395—423年)和马提努斯·卡佩拉(Martianus Capella, 约500年)。特别是后者,给“黑暗时代”留下了一部内容基础很完整的“七艺”百科全书,即“三科”(trivium)——文法、修辞和逻辑,以及“四艺”(quadrivium)——几何、算术、天文和音乐。这种分类法可以追溯到瓦罗,通行了整个中世纪。这部百科全书的天文学部分有一小段暗示了火星和金星可能是围绕着太阳运行的,这或许来自阿利斯塔克的观点。不过这段  
128 文字与全篇并无联系,卡佩拉与马克别乌斯的宇宙观是《蒂迈欧篇》式的,他们可以归入到新柏拉图学派。

除了这些文献中零星可拾的宇宙学、数学和天文学的内容之外,“黑暗时代”

还从古典衰落时期继承了一些其他自然学科和医学著作。那时人们读得最多的还是普林尼的《博物志》，此外让人惊异的是还有一些伪托狄奥斯科里、希波克拉底、阿普列乌斯(Apuleius)等人的医学著作。这些当时非常流行的作品在 4 世纪到 6 世纪之间被翻译为拉丁文，为“黑暗时代”提供了大量的医学知识。

中世纪的科学遗产大致如是。卡西奥多(Cassiodorus, 490—585 年)是一位堪称最早的真实打上中世纪印记的作家，我们可从他的著作中觅得这些内容的踪迹。更多更全面的记载则需要到塞尔维亚的伊西多尔主教(Isidore of Seville, 560—636 年)所编撰的百科全书中去寻找。此书名为《词源》(Etymology)，采用词条解释的形式介绍各个学科，成书后流行了很多个世纪。西班牙人伊西多尔、英格兰人比德(Bede, 673—735 年)和阿尔昆(Alcuin, 735—804 年)、德国人拉班·马罗(Rabanus Maurus, 776—856 年)等一系列作者相继效法前人，同奉普林尼为师，彼此之间也相互借鉴，他们的著作几乎构成了黑暗时代的全部自然知识。

需要记住的是，“黑暗时代”并没有出现某个一以贯之的哲学体系，人们的信仰甚至能够相互矛盾。世界只是上帝的踏脚凳<sup>①</sup>，种种世间的现象也远没有宗教事务更值得研究。在很多身为教父的作者看来，研究星体的行为迹近对那凌驾于众天之上者的漠视。这是 4 世纪和 5 世纪时的普遍态度，圣奥古斯丁就曾如此表达过，他说：“那些数学家们(包括星占学家)就是骗子……他们只是占卜或预言，却不去献祭或祈祷任何的灵魂，这是基督教及其真正虔诚的信徒所始终弃绝和谴责的。”

到了 6 世纪和 7 世纪，教会已经某种程度地接受了星占学。圣伊西多尔至少将一部分星占学视为了真正的科学。他将星占学划分为“自然星占学”和“迷信星占学”，后者<sup>②</sup>是“一种数学家从事的科学，他们阅读天上的启示，认为(黄道上的)十二个星座控制着人们身体和灵魂，并通过各星体的运行来预言人们的出生和性情”。他赞同很多星占学的结论，还建议自然哲学家们去学习星占学，认为月亮影响动植物的生长，控制着人的体液，完全接受天狼星和彗星具有种种影

① 见《圣经·以赛亚书》：“耶和华如此说：‘天是我的座位，地是我的脚凳。你们要为我造何等的殿宇？哪里是我安息的地方呢？’”——译者注

② 原文如此，但依据文义，应改为“前者”才更恰当。——译者注

响的说法。其他黑暗时代的作者们在自然知识方面也都步圣伊西多尔的后尘，越来越多地接受星占学观念。

公元800年前后，在查理曼大帝的治下出现了一次“知识的复兴”。这次“复兴”因其文学活动而显得举足轻重，同时也由于保存了当时可见的科学抄本而意义非凡。这场运动被历史学家们所推崇，但我们还不能将其视作科学复兴的曙光。下面介绍一位或许是黑暗时代唯一值得我们瞩目的人物——后来成为教皇西尔维斯特二世(Sylvester II, 1003年去世)的热贝尔(Gerbert)。其功绩是引入了在罗马帝国倾覆后便已消亡的算盘。算盘曾经在拜占庭人中间使用过，并在热贝尔生活的时代从那里传到了当时说阿拉伯语的西班牙。热贝尔曾经在西班牙求学，或许正是在那里掌握了算盘的用法。他还曾于970年在意大利南部拜会奥托一世(Otto I, 913—973年)。<sup>①</sup>不论热贝尔从哪里接触到了算盘，毫无疑问，他的具体算法与其使用的数字一样都来自波爱修的著作。然而在那时，学术的未来将在东方而不是西方。

## 东方的科学(750—1200年)

在整个黑暗时代，希腊世界的知识水准都始终高于拉丁世界。科学在两个世界确实都已经消亡了，但拜占庭帝国仍然有人保存和复制着古代的科学著作。130 尽管知识阶层已然不能全部理解经典中的术语，尽管神学占据着绝对的主导，但古典学术的传承依然薪火未绝，一些学者依然还在注解着亚里士多德和柏拉图的著作。

拜占庭帝国拥有许多说古叙利亚语的属民。在西亚，自3世纪起古叙利亚语就已经取代了希腊语，5世纪时作为异端的聂斯托利派<sup>②</sup>的教堂也建立起来。在受到拜占庭帝国的残酷迫害后，聂斯托利派的信徒们迁居到美索不达米亚，随后又徙往波斯西南部，在那里从6世纪开始以岗地萨堡(Gondisapur)为中心开展

① 当时的神圣罗马帝国皇帝。——译者注

② 即“景教”。——译者注

大规模的传教活动。古叙利亚语的文献开始广泛传播，其中就包含了亚里士多德、柏拉图、欧几里得、阿基米德、希罗、托勒密、盖伦和希波克拉底等人著作的译本。

阿拉伯人在 7 世纪时首次进入拜占庭和波斯的古代文明圈。除了宗教、音乐和语言，他们没有从其荒瘠的家乡带来任何智识上的贡献。其时希腊科学在拜占庭和波斯帝国正处于低潮，但在持叙利亚语的聂斯托利派信徒中间仍有传承，作为聂斯托利派大主教区的岗地萨堡因此成为新的伊斯兰帝国的科学中心。及至倭马亚时代（661—749 年），受过教育的人们，尤其是自然哲学家们，又从岗地萨堡迁居王朝的首都大马士革。他们大多是聂斯托利派的基督徒，或是有着阿拉伯名字的犹太人。

阿拔斯王朝的兴起（750 年）开启了伊斯兰教统治下的最强大、最辉煌、最繁荣的时代，但此时伊斯兰世界的思想还依旧处于向其他文明汲取营养的阶段。在希腊学术通过古叙利亚语传播到阿拉伯语的过程中，最重要的媒介是名为“伯赫帖舒”（Bukht-Yishu，意为“耶稣所托付的”）的聂斯托利派学者家族。这个伟大的家族产生了至少七代杰出的学者，其中最后一位活到了 11 世纪的后半叶。正是这个家族中医者的技术，促使哈里发在其国土上推行古希腊的医学知识。

在 750 年至 850 年这一个世纪的时间中，旧的古叙利亚语译本得到修订并有所增衍。译者主要为伯赫帖舒家族的聂斯托利派信徒或其学生。他们同时掌握了希腊语、叙利亚语、阿拉伯语以及通常还有波斯语，在写作时则首选叙利亚语。尤汉纳·伊本·玛萨维阿（Yuhanna ibn Masawiah）改变了这个状况。他是一名受人尊敬的伯赫帖舒家族成员，拉丁名为约翰·末修（John Mesue，卒于 857 年），同时也是阿拔斯王朝第五任哈里发哈伦·拉希德（Harun ar-Rashid）的御医，他的许多著作都直接用阿拉伯语写成。此后阿拉伯语便开始在科学和医学著作中取代叙利亚语。正如 750 年至 850 年是叙利亚语译本的世纪，850 年至 950 年堪称阿拉伯语译本的世纪。131

阿拔斯王朝第七任哈里发马蒙（Al-Mamun，813—833 年在位）在巴格达创建了一所规范的翻译学校。学校配备了一个图书馆，主持者是一位有着特殊哲学天赋且学识渊博的聂斯托利派信徒洪南·伊本·伊斯哈奇（Honain ibn Ishaq，809—877 年）。他在巴格达度过一生，效力过九位哈里发，展现出了非凡的才能。

他几乎将盖伦的整个恢弘文集都翻译为了阿拉伯语,在学术上亦对盖伦的学说推崇备至,为盖伦在中世纪的东方获得至高无上的地位起到了很大的作用,也间接地使其在中世纪的西方取得了相同的地位。洪南开启了对托勒密的《至大论》和亚里士多德著作的翻译,还和他的学生们将大量的天文学、数学以及希波克拉底的作品翻译成阿拉伯文,这些译本最终又有很多被翻译为了中古拉丁文。

此时的巴格达已经迅速地取代岗地萨堡成为新的学术中心。哈里发及其贵族们为基督教学者们提供了必要的资助去搜求希腊手稿,并将它们带回巴格达进行翻译。大部分的亚里士多德著作就是在巴格达首先被翻译为阿拉伯语的,此外还有植物学、矿物学、机械学和许多希腊炼金术的作品。他们还积极引入来自印度和波斯的思想和文本,许多炼金术方法似乎就源于波斯,来自印度文明中的记数体系也在数学上产生了很大的影响。

就一般过程来看,伊斯兰世界的科学可以划分为东西两部分。其中东伊斯兰科学对于实证的学科更为重要,这些学科包括炼金术、医学、数学和天文学、物理学。<sup>①</sup>相应的西伊斯兰科学参见第 138 页至 140 页(原书)。

### 东伊斯兰的炼金术

在最初使用阿拉伯语的科学作者中,信奉异教的叙利亚人吉伯(Geber,约 850 年)是最早的一位。<sup>②</sup>他是阿拉伯炼金术之父,并且借此也堪称现代化学之父。在讨论其工作之前,我们必须先摒弃那种将炼金术视作一团荒诞迷信的观念。“炼金术”(Alchemy)这个词,通常被认为源于埃及语的“kem-it”(意为“黑色的东西”),或是来自希腊语的“chyma”(意为“熔化的金属”),但无论如何,我们是直接通过阿拉伯语知道它的。“炼金术”理论的假设前提形成于亚历山大里亚时代,其内容如下:

- (1) 所有的物质都由相同的成分组成,四种元素,不同的组合。
- (2) 金是“最高贵”和“最纯净”的金属,银次之。
- (3) 一种金属转化为另一种金属是可能的,方法是改变其中元素的

<sup>①</sup> 也包括地理学。但是考虑到其对西方科学的总体发展贡献甚小,故在此处略去不论。

<sup>②</sup> 关于吉伯的生活年代颇有争议,最近的证据显示是在公元 9 世纪。

组合。

(4) 可以通过某种通常称为“第五元素”(quintessence)的稀有物质,将“贱”金属转化成“贵”金属。(最早的炼金术手稿称这个过程为“给贱金属染色”,但实际上得到的是一种合金。)

这些观念在今天看来很荒谬,但对于 18 世纪早期以前的那些化学家们而言却并非如此。事实上,他们受到这些观念的激发,在实验方面取得了很大的成就。但不幸的是,在炼金术特别兴盛的亚历山大里亚,很可能是源于新柏拉图主义的神秘倾向掩盖了它们的实验性质。因此,炼金术,对于吉伯而言是一个关于物质的实验性研究,他的继承者们却将其发展为迷信的活动,最终变成一个用于欺诈的骗局。

从实践上看,吉伯改进了蒸馏、过滤、升华、溶解、萃取和结晶的方法。他制造出了诸如硫化汞(水银硫化物)、含砷氧化物等多种化学物质。他知道如何获取几乎纯净的硫酸盐、明矾、碱、氯化铵和硝石,还知道通过加热硫磺和碱可以制成所谓的硫磺“肝”(liver)和硫磺“奶”(milk)。他制造出了相对纯净的水银氧化物和升华物,以及铅和其他金属的醋酸盐,或许还有其结晶体。他能够制造不那么纯净的硫酸和硝酸,懂得混合这两种酸生成“王水”(aqua regia)<sup>①</sup>,了解“王水”能够溶解金和银。其阿拉伯语著作中的一些科学术语通过拉丁文融入了欧洲的其他语言之中。 133

在吉伯之后,又涌现出大量的炼金术作者,他们的很多作品都通过各种方式被翻译为拉丁文。但除了拉齐兹之外(Rhazes,见下文),这些作品的质量大多远不及吉伯,并且常常陷入那种有时被僭名为“神秘主义”的刻意晦涩。

## 东伊斯兰的医学

首位被拉丁西方所知的阿拉伯医学作者是波斯人拉齐兹(865—925 年)。他毫无疑问是人类历史上最优秀的外科医生之一。他曾在巴格达求学于一位熟知希腊、波斯和印度医学的洪南门徒。他的学识包罗万象,他的科学成果也光彩夺

① 此处吉伯并非简单地将这两种酸按比例混合。事实上,他先是通过在硫酸中加入食盐制出盐酸,再将所得盐酸与硝酸按比例混合形成王水。——译者注



目,他有超过 200 本著作,其中半数涉及医学。他在早年曾投身于炼金术,但当其声誉吸引了来自西亚各地的学生和病人后,他便将自己完全献给了医学。

拉齐兹最伟大的医学著作是《全书》(*Comprehensive Book*),堪称当时最为博综的书籍之一,中世纪欧洲称其为“*Liber continens*”。这本书囊括了所有希腊文、叙利亚文和早期阿拉伯文的医学知识,也融合了拉齐兹自己的医学经验。拉齐兹首次详细地描述了天花和麻疹的症状,这些记录已经成为医学的经典。

134 除医学外,拉齐兹还留下了神学、哲学、数学、天文学和炼金术方面的作品。著名的《(炼金)术书》部分地继承了他的前辈吉伯,但在物质的精确分类、对化学过程和设备的清晰描述上都超过了后者。这些做法避免了前人施予炼金术的“神秘性”元素。吉伯和其他阿拉伯炼金术士们将矿物分成“身体”(金、银等)、“灵魂”(硫磺、砷等)和“精神”(水银、砷砂等),拉齐兹进一步将炼金术所需的物质划分为动物、植物或矿物——这个概念从此沿用至今,成为现代语言中的基本术语。

艾萨克·尤丢斯(Isaac Judaeus,拉丁文名,855—955 年)是与拉齐兹同时代的另一位杰出的作者。他是一名埃及犹太人,后来成为突尼斯凯鲁万城法蒂玛王朝统治者的御医。在首批从阿拉伯文翻译成拉丁文的作品中就有其著作,其中《伤寒论》(*On Fever*)是中世纪里最杰出的医学著作之一。

布哈拉的阿维森纳(Avicenna of Bokhara, 980—1037 年)是伊斯兰世界最伟大的思想家之一。虽然他作为一名哲学家的光芒胜过作为一名医者,但在中世纪欧洲的影响却主要来自其巨著《医典》(*Canon of Medicine*)。这本书是阿拉伯语体系化的巅峰和典范,堪称比以往任何的医学著作都更加深思熟虑。书中采用的分类方法异常复杂,这部分归因于他对细分的狂热,却使后来的西方经院哲学家们饱受折磨。阿维森纳还在书中加入了炼金术的内容。早期的阿拉伯医学文献所包含的内容是十分广泛的。

### 东伊斯兰的数学和天文学

除了希腊人,没有古代民族能像印度人一样在数学上取得如此高的造诣。正如希腊人发展了几何学,印度人发展了算术和代数学。确定印度数学著作的年代,或是将其按时间排序都是极其困难的。然而阿拉伯人与印度人之间有着



频繁的贸易往来，我们可以确定印度科学在 9 世纪就已经传入了阿拉伯。因此阿拉伯的代数学和算术实际上源于印度。

在阿拉伯最有影响力的数学著作是波斯人花拉子米(al-Kearizmi, 约 830 年)的《算术》(*Arithmetic*)。书中使用了我们通常所说的“阿拉伯”数值符号，其中每个数字的数值取决于其所处的位置。这种记数法实际上就起源于印度。花拉子米的另一本著作《代数学》(*Algebra*)则首次将“代数”这个词赋予了数学意义。“代数”意为“还原”，是指将一个方程式的负项移位至另一边使之成为正项。这个词在阿拉伯语中也用于指外科手术中对骨折的治疗，意指将一个断裂的骨头接回其正确的位置上。此外花拉子米还制作星盘。

花拉子米的数学并没有显示出多大的独创性。一般而言，在纯数学领域中，阿拉伯人的成就在几何学上逊于希腊人，在代数学上则不及印度人。但是，他们在将其数学应用于解决物理学问题以及相对较少的天文学问题上显示出了极高的才能。

天文学和星占学在阿拉伯世界里一直是关注的焦点。比较早期的相关主题作品是巴格达的犹太作者马撒阿拉(Messahala, 意为“上帝的意志”，770—820 年)所辑的汇编。

哈里发马蒙(813—833 年在位)在巴格达建造了一个很好的天文台，天文学家们在这里积累了长期的观测记录。阿拉伯最伟大的天文学家是阿尔·巴塔尼(al-Battani)，拉丁名为阿尔巴塔尼(Albategnius)。他的观测地点主要设在其位于小亚细亚的家乡腊卡(Raqqa, 即 Aracte)，有时也放在巴格达。他以怀疑和严谨的态度检验托勒密的观测结果，获得了更加准确的黄赤交角和岁差值。他还修正了日表和月表，其中包含了他的伟大发现：太阳的远日点相比托勒密所记录的方位已经发生了变化。这个发现如果用更现代的天文学概念来表达，就是在说地球是在一个变化的椭圆轨道上运行。阿尔·巴塔尼以表格的形式记录其观测结果。

河中<sup>①</sup>的阿尔法甘尼(Alfargani of Transoxiana, 约 850 年)著有流传甚广的

① 河中(Transoxiana)即“中亚河中地区”，指中亚的锡尔河和阿姆河流域以及泽拉夫尚河流域，包括今乌兹别克斯坦全境和哈萨克斯坦西南部。——译者注

基础天文学作品。<sup>①</sup>他在巴格达工作,为哈里发马蒙及其属下服务。拉丁西方受其著作的影响颇深。

### 东伊斯兰的物理学

136 巴士拉和巴格达的阿尔肯迪(Alkindi of Basra and Bagdad, 813—880年)是最早的阿拉伯物理学作者。至少有 265 部著作都归在了这位“阿拉伯人中的第一个哲学家”的名下,其中至少有 15 部是关于气象学的,一些是关于比重的,还有几部是关于潮汐的。他最杰出的著作是关于光学的,论述了光的反射。

9 世纪时技术在美索不达米亚和埃及得到了快速的发展。这些地区为了供水和交通,兴建了各种灌溉工程和运河。人们对理论力学产生了很大的兴趣,许多书籍所讨论的都是诸如升水、水车、天平和水钟这样的主题。最早的著作是 860 年左右的《巧技书》(*Book of Artifices*),作者是三位兄弟数学家穆罕默德(Muhammed)、阿默德(Ahmed)和哈桑(Hasan),他们是穆萨·本·沙基尔(Musa ben Shakir)<sup>②</sup>的儿子,后者本身也从事古代作品的翻译。书中描述了 100 种技术装置,其中大约 20 种具有实用价值,比如水钟,能提供冷热水的管道,以及带有固定杠杆的水井。其余的大部分装置就像希罗的书中所描述的那样,仅仅是科学玩具而已。

10 世纪和 11 世纪早期是阿拉伯文学的黄金时代,科技上同样取得了非凡的成就,特别是光学达到了一个新的高度。在开罗供职于法蒂玛王朝哈里发阿尔·哈基姆(al-Hakim, 996—1020 年在位)的阿尔哈曾(Alhazen of Basra, 965—1038 年)是这个学科最伟大的倡导者。在其主要的著作《光学宝鉴》(*Treasury of Optics*)中,他反对欧几里得、托勒密和其他古代学者们所持的视觉理论,认为并不是眼睛发送视觉射线到所见物体,而是所见物体反射的光进入了眼睛,再通过透镜一般的“透明体”转化为图像。他通过实验测试入射角和反射角,讨论了光的传播与色彩、光的反射与幻象。他的名字与一个所谓的“阿尔哈曾问题”

① 此处似指阿尔法甘尼的《天文学基础:关于天体运动和星体完整科学的论述》。该书是对托勒密天文学的非数学评述,在 12 世纪被译成拉丁文,曾是欧洲中世纪学者在天文学方面的主要典籍。——译者注

② 阿拉伯数学家。——译者注

(Alhazen's problem)联系在了一起：“如何在一个球形、圆锥形或是圆柱形的凸面镜上找到一点，使得从某个指定的点发出的光线能够反射到另一个指定的点？”这个问题可以转化为一个四阶方程式，阿尔哈曾利用一个双曲线解算出了答案。<sup>137</sup>他还检验了光线通过透明介质(如空气、水)时的折射，其关于球截面的实验阐述非常接近几个世纪之后的透镜放大原理。

阿尔哈曾把光看作球状大气层边缘所反射的一种火。根据他的计算，大气层的高度约为 10 英里。他讨论过虹和晕，在精确计算的基础上造出金属的球面镜和抛面镜，研究了光在这两种镜面上的反射。他的基础性研究《论燃烧的天体》(*On the Burning-sphere*)通过实验深入而准确地揭示了光的聚焦、放大、图像的倒置、光环和彩光的形成等光学现象的本质，标志着真正的科学进步。这部著作远超希腊前人的同类作品。阿尔哈曾还在书中记录了日食时通过百叶窗上的小孔在墙上形成的半月形日影，这堪称最早的“暗房”(camera obscura)记载。

在所有阿拉伯思想的结晶中，最有特色的是一组我们可以称之为科学理论和科学分类的著作。突厥<sup>①</sup>哲学家阿尔法拉比(Alfarabi, 约卒于 951 年)就是一名这方面的早期杰出作者。他写了一本堪称最重要的音乐理论方面的著作，关于学科分类的论著也产生了很大的影响。

在黄金时代的那些多才多艺的学者中间，波斯人阿尔比鲁尼(Albiruni, 973—1048 年)或许是最杰出的一位。他是医生、天文学家、数学家，亦是物理学家、地理学家和历史学家。他的《古国志》(*Chronology of Ancient Nations*)是一部重要的历史文献。他的大部分数学著作以及很多其他作品都还有待公开。他在物理学上的最大成就是非常精确地测量出 18 种宝石和贵金属的比重，但所用的方法实际上与阿基米德在浴盆中发现的一样。

在 10 世纪和 11 世纪里，美索不达米亚平原上建立了一些秘密的或至少是秘传的宗教教派，信奉物质的原子属性。他们中的一些秉承伊壁鸠鲁学派的观点看待世界和万物，反对穆斯林神学家所持的正统亚里士多德主义。两者后来<sup>138</sup>在欧洲展开了一场较量，结果是非正统的原子论主义者被击败。

在这些提到的秘密社团中，成员可能包括“精诚兄弟会”(Brethren of Purity)——

① 另有一种说法认为阿尔法拉比是波斯人。——译者注

一个约于 980 年在美索不达米亚建立的哲学团体。他们联合起来贡献了一部百科全书,包括了 52 篇论著,其中有 17 篇遵循希腊人的方法研究自然科学,探讨的内容涵括矿物的形成、地震、潮汐、气象和元素,所有这些最后都被纳入天体和人体的关系之中。尽管兄弟会的著作在巴格达被正统视为异端而遭到焚毁,却也远播至西班牙,影响了哲学和科学思想。

西伊斯兰的科学传统相比东伊斯兰建立得较晚。它首先出现在科尔多瓦的哈里发阿卜杜勒·拉赫曼三世(Abd Ar-Rahman III)和阿尔·哈卡姆二世(Al-Hakam II)盛治下的西班牙,代表人物是当时的犹太大臣,同时也是御医和科学恩主的哈代·本·沙普鲁(Hasdai ben Shaprut,约卒于 990 年)。他在一个拜占庭修士的帮助下,将狄奥斯科里的一个重要手稿翻译为阿拉伯文,并将其作为外交礼物献给了拜占庭的统治者君士坦丁六世。还有一位拉丁名为“阿尔布卡西斯”(Albucasis,约卒于 1013 年)<sup>①</sup>的穆斯林,亦是科尔多瓦的御医,其名字与一部包含了 30 章的医学巨著联系在一起。该书的最后一章涉及外科手术,这是此前一直被伊斯兰作者们所忽视的。

科尔多瓦在 970 年建立了一所兼为研究院的图书馆,其后类似的建筑也相继出现于托莱多等地。天文学的学习尤其盛行。阿尔扎切尔(Arzachel)是为拉丁人所熟知的主要的西班牙穆斯林天文学家。他是科尔多瓦人,在托莱多工作,绘制了精度很高的《托莱多星表》(Toledan tables, 1080 年)。在最后的西班牙穆斯林科学学者中,首屈一指的是塞尔维亚的比脱鲁杰(Al-Bitruji of Seville,拉丁名为 Alpetragius)。他写了一本非常流行的天文学教科书(约 1180 年)。在书中,他尝试以一种严格的同心圆行星系统代替托勒密的体系,予以哥白尼重要的启发。

- 139 伊斯兰思想在 12 世纪时发生了很大的变化。在神学教师安萨里(Al-Ghazzali,卒于 1111 年)的影响下,那些“导致不相信世界起源和造物主信仰”的研究思想不再受到宽容而开始遭到迫害。杰出和独立的作品变得越来越少。由于相对远离正统伊斯兰教的禁锢而更加自由,犹太人在科学作者中的比例有所上升。其中最杰出的一位是身兼御医、哲学家和神学教师的迈蒙尼德(Mai-

<sup>①</sup> 与“Albucasis”为同一人,故此处统一翻译为“阿尔布卡西斯”。——译者注

monides, 1135—1204 年)。他出生于西班牙,忙碌的一生中大部分时间都在开罗为伟大的萨拉丁及其子嗣们服务。在其医学著作中,他甚至敢于批评盖伦的观点。作为一个政府官员,他为苏丹写了一些卫生学方面的论著,这些作品堪称伊斯兰医学文献的典范。他的宇宙观非常重要,不但影响了圣托马斯·阿奎那,还通过他对整个天主教欧洲的思想产生了影响。他的《迷途指津》(*Guide for the Perplexed*)可能是中世纪最可读的大众哲学作品,不论在阿拉伯、拜占庭或是拉丁西方都非常流行。此书最大的优点是合度的简洁,这在那个时代是很不寻常的。

最后的亦是最伟大的伊斯兰哲学家是西班牙人阿维罗伊(Averroes, 1126—1198 年)。他出生于科尔多瓦,父亲和祖父都是法官。他本人也做过法官,同时也习医和行医。他那卷帙浩繁的哲学著作招来了正统穆斯林神学家们的敌意,某些人甚至指责他已经堕落为犹太人。然而事实上,阿维罗伊对中世纪晚期犹太思想的影响无人能及。他的作品被苏丹下令焚毁,后半生的大部分时光都在贬黜中度过。

阿维罗伊无疑是最有影响力的思想家之一。他对亚里士多德推崇备至,自己的思想也被置于一系列对亚里士多德著作的长长的评注中。但他的学说总体来说还是不自觉地受到了新柏拉图主义的影响,特别是关于人类灵魂是神界灵魂一部分的观点。其争议最大的学说是认为世界永恒,这在他的某些诠释者看来意味着对创世说的否定。然而,阿维罗伊确实接受创世的观点,尽管这种“创世”<sup>140</sup>并不同于其时伊斯兰教、基督教和犹太教的神学所宣称的整个世界乃创自虚无(nothing)的教义。

阿维罗伊认为,世界的创造是一个连续的过程而非一蹴而就,世界始终都处在变化之中,总是从业已存在的形态更新到另一个新的形态。这实际上是一种哲学上的演化论。在阿维罗伊看来,世界尽管是恒在的,却在一个原动力(Mover)的支配下不断更新,永不停止。我们可以通过观察恒在的天体认识到这个原动力,这些天体的运动决定了它们的完美存在。因此,也许还有必要区分两种形式的恒在:一种是有因的恒在,一种是无因的恒在。只有“第一原动力”(Prime Mover)才是无因的恒在,除此之外宇宙的一切都是有因的,或者用我们今天的话来讲,就是“被演进的”(subject to evolution)。

如同所有的中世纪思想家一样,阿维罗伊所描绘的宇宙也是有限空间的。我们要迎来对这种观念的否定,还需要等到库萨的尼古拉斯(Nicholas of Cusa)

和乔尔丹诺·布鲁诺(Giordano Bruno)的出场。

阿拉伯科学自13世纪起有了非常明显的退化。此后科学的未来在拉丁西方,尽管后者已经打上了阿拉伯思想的印记。

阿维罗伊和犹太作者们所传播的哲学或许是穆斯林对西方最重要的影响。通过关于世界恒在的学说、对有限时间创世说的否定、灵魂或智识与肉体统一的观念,阿维罗伊将西方的思想彻底地撕裂。我们可以把中世纪的正统基督教哲学看作一种系统反驳他的尝试,这种尝试似乎是很有必要的,因为事实将显示这个对手所带来的严重后果。阿维罗伊的幽灵将影响许多中世纪的异端,并隐藏在库萨的尼古拉斯和一些文艺复兴时期思想家的作品里,在哥白尼的观点中,在乔尔丹诺·布鲁诺的思想里。也许让人啧啧称奇的是,一个看似忠诚的亚里士多德的倡导者,却注定将掀起一场最终在造反的世纪里推翻了亚里士多德宇宙学<sup>141</sup>的运动。我们必须记住的是,阿维罗伊像其他的阿拉伯哲学家一样,是透过新柏拉图主义的眼镜看待亚里士多德的,尽管他本人并未意识到这一点。此外,在其作品的拉丁文版本和评注中,新柏拉图主义的色彩变得更加浓厚。

## 东方对西方的知识渗透(1000—1300年)

西方在11世纪及其后的几个世纪里开始触及东方的智慧。这段时期内的东西方关系与我们今天所看到的完全相反。

在我们的这个时代,大多数的东方人重视西方文明并对之献上最真诚的奉承。东方意识到西方在科学、知识、权力、组织以及商业公司方面的先进,但是对西方权威的承认还没有扩展到宗教领域。今天的东方人乐意接受西方作为他的法官、医生或者老师,却拒绝接受或是轻视西方的宗教和哲学。

11、12世纪的欧洲也正是如此。西欧的人们深知伊斯兰掌握着古代的知识与科学。伊斯兰人在军队和政府管理方面的精通得到了充分的证明——西方对此的信念被铭记在了我们今天所使用的那些闪语词汇中:“兵工厂”(arsenal)、“海军上将”(admiral)、“关税”(tariff)、“海关”(douane)和“均值”(average)。当然还有对东方智力宝藏的渴望,但同时伴随的亦有对其宗教的恐惧和抵触——正



如今天东方对西方的感受。而当时西方人在获取其所渴望的东方知识时所经历的阻碍，也正与今天东方人在西方的遭遇相类似。

我们可以将阿拉伯对西欧的影响分为两个阶段：前一个是非直接接触的“传闻时代”（the Age of Rumours），后一个则是两者直接接触的“翻译时代”（the Age of Translations）。

### 阿拉伯的“传闻时代”（1000—1100 年）

我们所能识别的首个确切来自东方的对自然观的影响，具有渗透的特点而非直接从翻译而来。以教皇西尔维斯特二世的身份死于 1003 年的热贝尔，曾于西班牙 142 东北部求学，尽管这个地区并不属于穆斯林，他计算所用的数字也与波爱修所使用的很相近，但他描述过的一种算盘几乎可以肯定源自阿拉伯。他还曾建议翻译一本关于星盘的阿拉伯语著作。很显然，他多多少少接触过一些阿拉伯的学术知识。

情况类似的还有“跛子”赫尔曼（Herman the Cripple, 1013—1054 年）。其一生都在瑞士赖兴瑙岛（Reichenau）上的本笃会修道院里度过。他写了一些数学和星占学方面的著作，在其后的一个世纪里被广泛使用。赫尔曼不通阿拉伯文，孱弱的身体也不允许他去阿拉伯旅行，但其作品却显示出了许多来自东方的影响，这必定得益于那些流浪学者的传播。我们还可以在 11、12 世纪的宝石工匠和草药书籍那里，找到类似的能够体现阿拉伯知识渗透的证据。

阿拉伯的知识在 11 世纪中期已然开始缓缓流向西方。正如我们所知，这些知识归根结底起源于希腊。然而这些源自希腊的智慧其时仅有一个可能到达欧洲的通道，而且还被严重地贬低了价值。在黑暗时代里，西方和拜占庭之间的交流是被严格限制的，但是在意大利南部和西西里仍然残留着古希腊的某些传统。这些地区在数个世纪里奉拜占庭为宗主国，“多语种岛”<sup>①</sup>上的各种方言与卡拉布利亚（Calabria）和阿普利亚（Apulia）<sup>②</sup>地区的方言一样，直到中世纪晚期仍然保留着希腊语的痕迹。但是撒拉逊人（Saracen）<sup>③</sup>在 8 世纪开始了对西西里的征服，直到 11 世纪诺曼人的进攻之前都没有放松过他们的统治。撒拉逊人的闪米

① 这里指西西里岛。——译者注

② 意大利半岛南部地区。——译者注

③ 阿拉伯人的古称。



特语如同他们的艺术和建筑一样,给这个岛打下了印记。因此,在 10 世纪和 13 世纪之间,“西西里”成为希腊和阿拉伯科学的共同来源。

意大利南部地区有一个学术场所,尤其能够让人感受到希腊文化和阿拉伯文化的双重影响。萨勒诺(Salerno)位于那不勒斯海湾,自 9 世纪起就成为一处医学中心。在西罗马帝国覆亡后,这座城市依然有人讲希腊语,也如意大利南部的其他地区一样存留了一些古希腊的医学知识。此外,还有大量的犹太人居住其中,他们中的许多人都与东方保持着联系。这些保存在萨勒诺的知识其后被撒拉逊人所激活,大约 1050 年以后,萨勒诺便开始产出医学著作。于是,很容易便可以理解为何其中一些作品包含有闪语的词汇,而在另一些作品中则会让人意外和不解地变成了希腊语的术语。

非洲的康斯坦丁(Constantine the African, 1017—1087 年)是一个非常重要的阿拉伯学术载体。他是迦太基人,约于 1070 年来到萨勒诺,几年后担任了这座城市的诺曼征服者的文书。之后他退隐修道院,将余生用于把当时的阿拉伯医学和科学著作翻译为拉丁文。

康斯坦丁的知识主要来自北非的犹太作者和阿拉伯语的书籍,其中就有犹太人艾萨克·尤丢斯。他出于抬高自己的目的,经常隐去或模糊地提及其所引用内容的作者名字。他还远远称不上精通这两种语言,但他的译本却影响很大,在被后来如克雷莫纳的热拉尔(Gerard of Cremona)这样的研究者所翻译的更好版本替代之后,仍然在西方流行了很长一段时间。康斯坦丁还被与萨勒诺的大主教阿尔梵(Alphanus,卒于 1085 年)相提并论,后者第一个将希腊文的医学著作直接翻译为拉丁文,也曾将一部 4 世纪的新柏拉图学派哲学作品翻译为拉丁文。

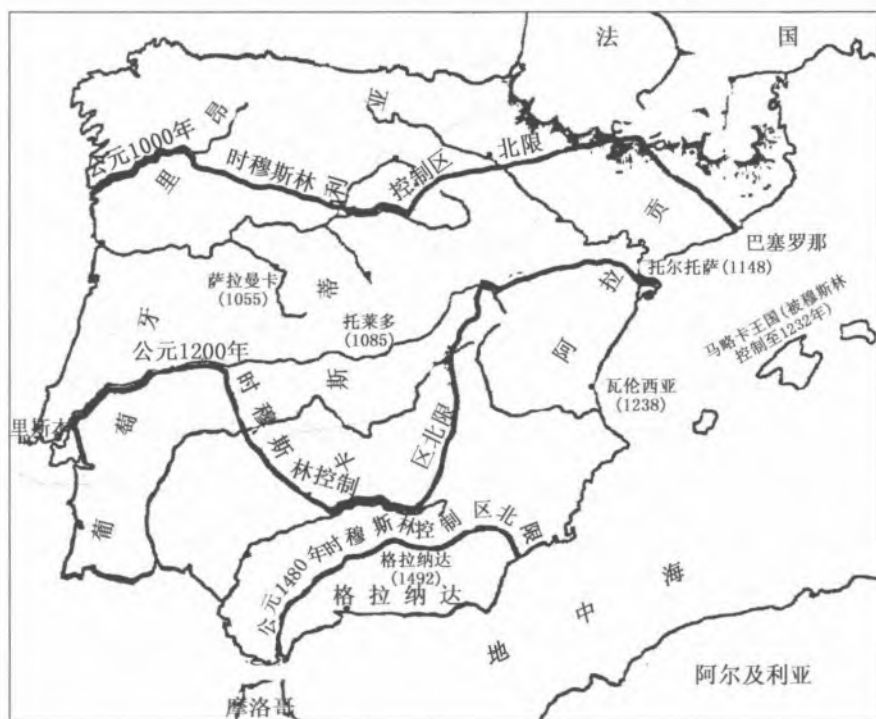
### 翻译的途径

西方最早通过外来的载体和输送受到了来自东方的影响,但对知识的渴求却使其并不满足于此。一场促成大学兴起的运动在 12 世纪出现了。西方学生开始对东方智慧的源头越来越好奇与渴望。

然而语言是主要的困难。阿拉伯语的风格与欧洲人的说话方式完全不同,并且还没有任何一部拉丁著作完全掌握了其语法规则,因此教授起来也颇为不易。学习它的唯一方式就是去一个说阿拉伯语的国家。但这是个危险且艰巨的

冒险,其中包含了艰辛、隐秘,或许还有对信念的放弃。此外,由于需要理解相应的主题内容和相关的技术词汇,将科学论著变成拉丁文的过程还意味着经年累月的等待。明显的证据表明,西方的基督徒们很少能够获得这些知识,甚至可能直到12世纪晚期还完全付诸阙如。

在西方开始向穆斯林获取科学知识的时代里,两者相接触的仅有两个可以相提并论的文明地区:西班牙和“西西里”。两地的环境有着某些相似之处。在10世纪,伊比利亚半岛除了莱昂、纳瓦拉、阿拉贡和一些附庸法国的小王国,其余地区都在穆斯林的控制之下。北部地区最早摆脱伊斯兰的统治,因此这一区域从宗教和语言上来看依然是拉丁西方的一部分。在穆斯林控制的地区,科尔多瓦以南受伊斯兰的控制比较强;而在更北的托莱多,市民们虽然说着阿拉伯方言,却主要是基督徒,其中还有大量的犹太人。1085年,莱昂的阿方索六世(Alphonso VI of Leon)在“席德”(Cid)的帮助下攻占托莱多,此后仍有大量说阿拉伯语的人们留在了这座城市。大部分著作的翻译工作正是在此进行的(图5.1和图5.2)。



图中在城镇名字后的数字是其被基督教世界夺回的日期。

图5.1 伊斯兰在西班牙的撤退



图 5.2 13 世纪前半叶的意大利

有一个问题经常会被提及：为何在中世纪流行的做法是翻译阿拉伯语的著作，而非直接选择希腊文？原因可能如下：(1)在公元 1000 年到 1300 年期间，穆斯林学术较之于拜占庭学术在任何一个方面都更加系统，更加原创，更富有生气。(2)拜占庭所使用的希腊语与古典希腊语相去甚远。那些修道院的卫道士们已经理解不了亚里士多德手稿中的语言。而另一方面，古典阿拉伯语对于每一个受过良好教育的人都是易于理解的，无论是穆斯林还是其他的人群。(3)整个拜占庭的学术是倾向于神学而远离哲学和科学的。(4)同西方贸易的渠道是阿拉伯而非拜占庭帝国。(5)在中世纪，语言主要是通过讲说而非语法来习得。人们更容易接触到的是阿拉伯口语而非希腊口语。(6)拉丁基督教世界在征服拜占庭领地方面进展甚微。另一方面，自 1085 年托莱多沦陷后，伊斯兰便开始从西方撤退。因此人

们更容易寻得一个熟练的阿拉伯语老师，而非一个熟练的希腊语教师。(7)学习阿拉伯语能够得到犹太人的帮助，而学习希腊语却极少能够获得。

在西方，尤其是西班牙，阿拉伯语文献的翻译进程往往因为犹太研究者的参与而被不断推进。许多作品本身就是犹太人翻译的。在 10、11 和 12 世纪，拉丁智慧处于低迷退化的阶段，却是犹太学术在西班牙的黄金时期。阿拉伯语自然地成为这些博学犹太人的语言媒介——萨拉戈萨的所罗门·伊本·盖比鲁勒 (Solomon ibn Gabirol of Saragossa, 1021—1058 年?) 和科尔多瓦的莫塞斯·本·迈蒙 (Moses ben Maimon of Cordova, 1135—1204 年) 即是其中的一员。前者的学术作品常常托名“阿维赛布朗”(Avicbron)，后者更为人所熟知的名字是“迈蒙尼德”。这两人的作品以及阿维罗伊著作的犹太译本，是中世纪所有从阿拉伯文翻译为拉丁文的作品中最具有哲学影响力的。他们的作品帮助塑造了西方的经院哲学。 146

尽管有这些翻译者的工作，中世纪的拉丁语仍然缺少足够的科技术语。翻译者本身就没有完全理解一些阿拉伯语术语的含义，于是这些词汇就常常通过音译从阿拉伯语或希伯来语简单地“搬运”过来，早期的译本也因此充斥着闪语式的表达。在化学物质上，有“雄黄”(realgar, 砷的红色硫化物)、“谟石”(tutia<sup>①</sup>, 氧化锌)、碱(alkali)、锑(antimony)、锆石(zircon)；在化学仪器上，高一点的蒸馏容器有蒸馏器(alembic)，矮一点的有梨坛(aludel)。还有一种希腊人不知道的化学物质，首次出现于吉伯的作品中，这就是“矾砂”(sal-ammoniac)。希腊人所谓的“ammoniacon”是一种石盐，由这个旧名转化为“sal-ammoniac”这种新盐的名字，似乎是受到了叙利亚人的影响。在药物学术语上，我们有很多经阿拉伯传入的波斯术语，譬如莪术(zedoary)、酒精(alcohol)、果子露(sherbet)、樟脑(camphor)、柠檬(Lemon)、糖浆(syrup)，以及更多的纯阿拉伯语术语——茜草素(alizarin)、硼砂(borax)、西也剂(elixir)、泡碱(natron)、滑石(talc)和酒石(tartar)。在天文学领域也有大量的阿拉伯星座术语，譬如毕宿五(Aldebaran)、河鼓二(Altair)<sup>②</sup>、参宿四(Betelgeuse)、参宿七(Rigel)、织女一(Vega)<sup>③</sup>，一些天文术语如天底(nadir)、天顶(zenith)、地平经度(azimuth)、天蓝(azure)，还有少数 147

① 此处 tutia 疑为 tutty。tutia 为锌、铜合金，tutty 才是氧化锌。——译者注

② 即牛郎星。

③ 即织女星。

仪器名称如照准仪(alidade)、经纬仪(theodolite),以及至少有一个已经进入到我们日常语言中的词汇“年鉴”(almanac)。我们还可以在这个名单中增添一些数学术语,比如零(zero)、密码(cipher)、正弦(sine)、根(root)、代数(algebra)、算法(algorism,见下文)。音乐方面同样影响很深,相关术语有鲁特琴(lute)、吉他(guitar)、双簧管(shawm)<sup>①</sup>、三弦琴(rebeck)。还有一个完整的阿拉伯语—拉丁语解剖学词汇表,但今天几乎只保留下来一个词“颈背”(nucha),但头静脉(cephalic vein)、贵要静脉(basilic vein)、隐静脉(saphenous vein)等名称也都是通过阿拉伯语保留下来的。在现代植物学词汇表中亦能找到许多源于阿拉伯语的植物名称,譬如洋蓟(artichoke)、咖啡(coffee)、丁香(lilac)、香沟酸浆(musk)、茶藨属植物(ribes)和漆树(sumach),或是通过阿拉伯语保存下来的名字,譬如茉莉花(Jasmine)、紫花欧瑞香(mezeon)、藏红花(saffron)、芝麻(sesame)和西洋蒲公英(taraxacum)。

## 译者

在将阿拉伯语翻译为拉丁语的西方译者中,巴斯的阿德拉特(Adelard of Bath,约1090—约1150年)堪称先驱之一。他游历过西班牙和西西里,在数学上有着非常杰出的贡献。他早年写过关于算盘的论著,其后转向阿拉伯数学,将花拉子米的《算术》翻译为拉丁文,其中包括了“阿拉伯数字”(其实即印度数码)的使用,这套数码也因此被介绍到了西方。通过他,花拉子米的名字也进入“算法”  
148 (algorism)<sup>②</sup>,成为算术中的一个术语。此外,阿德拉特翻译了阿拉伯语的欧几里得著作,使得当时的拉丁人首次知晓了这位亚历山大里亚的数学家。他还写了一部通俗的对话体著作《自然的难题》,对阿拉伯科学进行了某种程度的概括。

切斯特的罗伯特(Robert of Chester,约1110—约1160年)是比阿德拉特晚一代的译者。他在西班牙北部生活了较长的时间(1141—1147年),首次将《古兰经》翻译为拉丁文(1143年)。在他所翻译的科学作品中,关于炼金术的文本也是首次出现在拉丁文中(1144年),花拉子米的《代数学》则将这门学科介绍给了拉

① 严格来讲,shawm是双簧管的前身。

② algorism即花拉子米的拉丁名。

丁世界(1145年)。其后他回到英格兰,定居于伦敦(1147年)。在那里,他根据阿尔巴塔尼的伦敦经度、花拉子米和阿德拉特的伦敦纬度,制作出天文表(1149—1150年)。

还有一些在托莱多工作的本地译者,他们与罗伯特同时代,或许还受到了他的激励。多明尼哥·冈萨雷斯(Domenigo Gonzalez,活跃于1140年)即其中之一。他是一名基督徒,将亚里士多德的《物理学》和其他作品从阿拉伯语翻译为拉丁语。另一位是塞维利亚的约翰(John of Seville,活跃于1139—1155年),一个皈依基督教的原犹太教徒,在翻译上十分活跃,曾译过一部伪托亚里士多德的论著,对罗吉尔·培根的影响很大。他还翻译了阿尔巴塔尼、阿尔法拉比、阿尔法甘尼、花拉子米、阿尔肯迪和梅萨哈拉(Messahala)等人的天文学和星占学作品。

在所有致力于阿拉伯语的译者中,最伟大、最具代表性的当属克雷莫纳的热拉尔(Gerard of Cremona, 1114—1187年)。他在托莱多生活多年,师从当地一位基督徒教师,完整地学习了阿拉伯语。他被认为至少将92部完整的阿拉伯语著作翻译为拉丁文。它们当中的许多篇幅都很长,其中有托勒密的《至大论》——格奥尔格·波巴哈(Georg Purbach)在15世纪才开始翻译,还有阿维森纳的《医典》——这部巨著或许是有史以来流传最广的医学作品。阿维森纳著作的拉丁译本持续出版到17世纪中叶,而《医典》在东方至今仍在使用。

热拉尔的其他贡献还有:翻译了阿拉伯版本的阿基米德的《求圆的面积》,阿波罗尼乌斯的一部光学著作,许多亚里士多德的著作——其中有真有假,欧几里得149的《几何原本》,盖伦、希波克拉底、艾萨克·尤丢斯、拉齐兹、阿尔布卡西斯等人的众多医学著作,吉伯的炼金术著作,以及阿尔肯迪、阿尔法甘尼、阿尔哈曾、阿尔法拉比、梅萨哈拉等人的许多数学和天文学著作。此外,他还翻译了一些重要的新柏拉图学派的著作。

西西里的译者们相对没有那么活跃。其成果之一是翻译了托勒密的《光学》(约1160年),译者为西西里的海军将领巴勒莫的尤金(Eugenius of Palermo)。他尽管娴于希腊语,但翻译此书时还是选择了阿拉伯语母本。托勒密的《至大论》记载了中世纪里人们所熟知的伟大的天文学和数学体系,首次在西西里被从希腊文翻译为拉丁文,时间是在1163年,这比热拉尔在托莱多将其从阿拉伯语



翻译为拉丁文约早了12年。从希腊语翻译过来的版本此后未能得到传播，而从阿拉伯语翻译过来的版本直到15世纪仍然能够看到。

中世纪最后一位重要的阿拉伯文献译者是西西里的犹太人摩西·法拉奇(Moses Farachi, 卒于1285年)。他是萨勒诺的一名研究者,其著作是这个古代学术场所最后的有影响力的作品。他最了不起的成就,是为其恩主、西西里国王安茹的查理(Charles of Anjou, 1220—1285年)翻译了拉齐兹卷帙浩繁的《全书》,此书堪称中世纪医学著作的典范。

在此还要特别关注一下迈克尔·司各特(Michael the Scot, 约1175—约1235年),因为相较于他人,我们有其更生动的细节。他和阿德拉特的经历相似,到访过托莱多,之后游历意大利北部,在帕多瓦、博洛尼亚和罗马做过停留(1224—1227年),最后终老意大利南部,在那里为号称“人间奇迹”(Stupor Mudi)的腓特烈二世(Frederick II)服务。他翻译的作品包括比脱鲁杰的天文学著作、大量的阿维罗伊的评注,以及亚里士多德的生物学著作。他伪托亚里士多德所写的小册子《自然的秘密》,援引了许多来自希腊、阿拉伯和希伯来的知识,其中关于生殖的部分,至今仍被再版出现在各种欧洲方言中。迈克尔还有很多星占学论著。

150 迈克尔的活动之所以富有意义有几个原因。他所翻译的比脱鲁杰著作包含了对传统天文学的首次“攻击”。他所翻译的阿维罗伊著作是拉丁世界最早接触到的异教徒作品。他所翻译的亚里士多德生物学著作首次将亚里士多德的科学观察介绍到西方。他的星占学著作是拉丁文中这一主题的最早的主要作品。迈克尔无疑受到过犹太人和穆斯林的帮助,且长期与教皇的宿敌腓特烈二世交好,因此在普遍的想象中,他的名字总是与魔法和巫术相联系也就不足为奇了。这也是其他阿拉伯文献译者的宿命。对这些人的世俗态度真实地反映在沃尔特·司各特爵士的《末代行吟诗人之歌》里。书中一位僧侣这样告诉我们:

因为我到过异教徒的国土,  
曾在上帝的十字旗下战斗。

我注定在那些遥远的地方  
要同那迈克尔·司各特遇上——  
这神奇的法师有可怕的名声;



说是在萨拉曼卡的洞穴中，  
每当他起念挥动他那魔杖，  
巴黎圣母院里的钟就会响！  
他曾把一些法术教会了我，  
武士啊，我可以这么对你说：  
我能叫埃尔顿山一劈为三，  
能用石勒把特威德河卡住。  
但说出那咒语却罪不容诛；  
哪怕在心里为这事一转念，  
就得用三倍的苦修来弥补。

在他床上正奄奄一息之际，  
迈克尔的良心却开始觉醒；  
他想到自己所犯下的罪行，  
便发出了信号让我快赶去。  
旭日初升时我还在西班牙，  
黄昏结束时我已在他床前。<sup>①</sup>

## 经院哲学与科学(1200—1400 年)

人们对物质世界的看法，经过阿拉伯科学传到拉丁基督教世界之后，无论是基调还是表达方式都已经焕然一新。“黑暗时代”的拉丁人以新柏拉图主义的观点看待事物，《蒂迈欧篇》是他们的教科书，“大宇宙”和“小宇宙”理论则是其核 151  
心。阿拉伯思想的出现使得这些变得更加轮廓清晰，阿拉伯人关于亚里士多德著作的评注也使其细节更加精微。

① 引自司各特：《末代行吟诗人之歌》，黄杲斡译，上海译文出版社 1987 年版，第 44—46 页。——译者注

因此,亚里士多德关于宇宙构造的观点或人们所臆测的他的观点,自13世纪起便构成了整个中世纪科学的理论框架。亚里士多德设想天体是一种特殊的存在,其属性和组成物质比其下的任何事物都更纯净、更高贵。这就可能发展出不同于以往的那种天体影响人类命运的观点。地球上物体所发生的变化,亦即我们生活中的所有现象,都被天体的运动所反映和操控。

亚里士多德的理论进一步推进了这种观点。亚里士多德将圆视为“完美的”几何图形,据此他区分出两种天体的运动:一种是恒星的完美的规则的圆形运动,一种是行星的不完美的不规则的线性运动。恒星在圆形轨道上有规律地运行,控制着自然既定的进程,以及那些往复显现、不移不变的事件:譬如冬季和夏季的更迭、夜晚和白天的交替、生长和衰老的转换。另一方面,行星的运动则是反复无常的或者至少是不够规则的,它们控制着我们当中和周围世界的那些富于变化和难以确定的事件,正是这些事件使得我们的生活有了不确定、希望、危险和乐趣。这种不确定性的因素让我们的生活千变万化、丰富多彩,星占学亦由是生焉。

于是人生的大致框架便已形成:死亡无疑不可避免,但根据基督教的信仰,死后又将重生。然而在确定与不确定之间有一个地带,或许能够被预测并因之可能被规避——如果不能完全规避,那么或许也能减轻其最坏的结果。星占术士们的任务便是为人们提供这样的预测及规避措施,在整个中世纪里始终如此。这种对“可预测知识”(savoir afin de prévoir)的追求,中世纪的星占术士们与现代从事科学研究的人们并无不同。乔叟(1340—1400年)曾对此这样总结道:

- 152      可能在天上以星宿缮述的巨书上,已注定了他此生要死于爱情!原来星宿注明人的生死比明镜还照得清楚,只消人们能观察出来。古来多少圣贤豪杰,都由星象预定吉凶。不过人们的聪明不够,未能完全了解罢了。(《律师的故事》)①

随着阿拉伯学术的出现,星占学实际上已经成为智力关注的焦点。此后它一直保持着这种地位,直到17世纪实验方法取得了胜利。

① 原文为诗歌形式。此处翻译引自乔叟:《乔叟文集》,方重译,上海译文出版社1979年版,第428页。——译者注

黄道十二宫和行星亦一直受到特别的关注。每一宫都被认为控制着身体的一些部位，每颗行星也都影响着一个相应的器官。古代末期的许多文本都提到了黄道十二宫、行星、身体的部位和器官，与疾病和灾难之间的这种假想的联系。这种信仰传到“黑暗时代”后一度减弱和衰退，但其后随着经院时代(scholastic period)译介阿拉伯人的著作，在西方重新获得了巩固和发展。

此种学说一旦进入欧洲，便往往被赋予西方思想的独特形式。现在，它具有了经院思想家的特点，总是试图去探寻事物的完整格局，这类似于早期的希腊哲学家，与其黑暗时代的前辈们则大相径庭。他不满足于像我们一样区别出一种知识或一类现象，而是根据事物本身进行整体的考察。他不愿意成为一名“专家”，将自己的视野限制在某个主题下的某个部分，致力于并且仅限于这部分知识的积累。我们必须记住，他的宇宙是物质的和有限的，其边界就是布满恒星的天球。在这个天球内，一切事物的结构和属性都有着确定的安排。中世纪科学 153 的任务便是详尽地阐述这种安排与道德世界的联系。最早着手进行这项工作的，是受到阿拉伯新思想影响的神秘主义作者们，例如圣维克多的雨果(Hugh of St. Victor, 1095—1141 年)，他借鉴了那些早期模糊的阿拉伯知识；沙特尔的伯纳德·西尔维斯特(Bernard Sylvester of Chartres, 约 1150 年)，他借鉴的是“跛子”赫尔曼(Herman the Cripple, 1013—1054 年)；宾根的希德格(St. Hildegard of Bingen, 1099—1180 年)，他受到伯纳德·西尔维斯特及其他阿拉伯作者的影响，后者的作品非常详细地阐述了基于“大宇宙”和“小宇宙”教义的神秘主义体系。这些体系参考了阿拉伯作品中对世界和人类形成的观点，并从一种性灵的角度来解读它们之间的关系。

依据这种对于心智的态度，物理事件、道德真理、精神体验将不再有根本上的差别。随着内部的融合和外部的统一，这些神秘主义也与所有时代里的神秘主义有了更多的共通点。这个过程在但丁(1265—1321 年)那里达到了顶峰。

还有一些典型的中世纪思潮得到了更加系统的发展。这是一个大学和宗教团体纷纷成立的年代。在这些新的团体中，有两个对大学有着特别的影响：一个是 1215 年由正统而严苛的多明我(Dominic, 1170—1221 年)在图卢兹创立的多

明我会(或称“黑衣修士会”);另一个是1209年由温和而慈爱的方济各(Francis of Assisi)成立的方济各会(或称“灰衣修士会”)。“多明我”的名字与其严酷灭绝阿比尔教派有关,“多明我会”来自拉丁语“Domini canes”,意为“主的猎犬”,其宗旨即维护教会的教义与权威,扑灭异端与无知。宗教审判的行为就是这只“猎犬”对教化缺少兴趣的例子,而领导西班牙宗教裁判所的托奎曼达(Torquemada)尤其是一个不友好的代表人物。方济各会的工作则更明显地引发了科学的复兴。这两个团体在13世纪里培养了大部分的优秀大学教师,他们引领新的知识,并使其更容易被人们所接受。哈尔斯的亚历山大(Alexander of Hales, 卒于154 1245年)、罗伯特·格罗塞特(Robert Grosseteste, 卒于1253年)和罗吉尔·培根(卒于1270年)是方济各会的修士,大阿尔伯特(Albertus Magnus, 1206—1280年)和托马斯·阿奎那(Thomas Aquinas, 1227—1274年)则是多明我会的成员。

亚里士多德作品的复原对这场复兴产生了最重要的影响。那些伟大思想家对这些作品的阐释赋予了经院主义的气质。首位熟知所有亚里士多德作品的经院哲学家是哈尔斯的亚历山大。大阿尔伯特第一个根据阿拉伯人那持续不断的评注,将整个亚里士多德哲学变为一种体系化的秩序。与此同时,托马斯·阿奎那根据基督教教义的需要重塑了亚里士多德的哲学。随着时间的推移,亚里士多德的著作先是从阿拉伯语翻译过来,随后也有部分直接从希腊语翻译过来——其中一个非常重要的译者是多明我会的修士穆尔贝克的威廉(William of Moerbeke, 卒于1286年),他与圣道茂<sup>①</sup>的关系密切。

编纂从阿拉伯获得的新知识的过程是非常具有历史意义的。它如同这些知识本身一样,使人们的整个精神生活有了迅猛的发展;它还做到了这些知识所没有做到的,人们对知识进步的真实和价值产生了更加热情和自觉的信念。就自然而言,对这一信念的考验必定要直接诉诸自然。然而在13世纪的各种自然百科全书中,几乎没有直接观察自然的证据,诸如多明我会的教士博韦的樊尚(Vincent of Beauvais, 1190—1264年)和方济各会的教士英国人巴塞洛缪(Bartholomew, 约1260年)的作品皆是如此。对此有一种解释,中世纪的主导观念认为世界是终将毁灭、极易破坏和有限的,因此空间与时间是完全可知但同时又是

① 即托马斯·阿奎那。——译者注

无需知道的。圣奥古斯丁教诲道：

我们追究外界的秘密，这些秘密知道了一无用处，而人们不过为好奇而想知道，别无其他目的。好奇使人们为了同样的虚妄知识，从事巫术。……我也不再醉心于星辰的运行了，我从未向鬼神有所卜祝，我痛恨荒诞的迷信。（《忏悔录》，第十卷，第 35 节）<sup>①</sup>倘或我们一定要了解大自然激变的原因，最应关注的莫过于那些影响我们健康的原因，我们既对这些原因不甚了了，就只能求助于医生。由此可见，我们可以容忍自己对天地所蕴藏奥秘的无知。（《论信》，第 16 章）<sup>②</sup> 155

因此医学是圣奥古斯丁认可的一门科学。在阿拉伯复兴之前，医学已经堕沦为仅仅是传统药物的清单，这难道不是很奇怪吗？详细研究的动机在中世纪的拉丁西方是不存在的，“研究”(research)只是我们现代意义中的词。

伟大的伊斯兰哲学家阿维罗伊对于宇宙持另一种观点。他否认宇宙是有限的，认为其至少在时间上是无限的。他的著作有拉丁文的版本，得到了人们私密下的广泛阅读，但却受到教会的反对。他的理论主要被犹太人和有异端倾向的拉丁人所接受。

## 经院科学的主要特征(公元 13 世纪)

今天的人们在科学探究之路上所瞩目的无垠的经验海洋，中世纪的人们却对其一无所知。中世纪的科学往往以百科全书的形式出现，百科全书作者的任务就是要给出一个对世界的整体调查，其内容不必去揭示新的真理或关系，但要符合精神的真理。百科全书的框架即亚里士多德的哲学，尽管很大程度上是由其作品的评注所传达的。然而百科全书并没有完全承载和反映中世纪里的所有哲学体系，最伟大的导师和分类学家大阿尔伯特可能比其他任何人

① 此处译文引自奥古斯丁：《忏悔录》，周士良译，商务印书馆 1963 年版。——译者注

② 此处译文引自奥古斯丁：《论信望爱》，许一新译，生活·读书·新知三联书店 2009 年版，第 37—38 页。——译者注

的世界体系更具发言权，他是中世纪少数几个真正观察自然的杰出作者之一。毕竟，人类这种生物的本质决定了他们要去爱其周围的世界，并观察这个世界中的生命。“可以用干草杈将自然赶走，但她仍会归来。”大阿尔伯特，学者中的学者，那个时代最博学的人，在其关于自然历史的伟大著作中向我们昭告了科学精神正开始苏醒。他作为一个独立的观察者在那个时代举足轻重，这一特质也标志了一个新的开端，我们将从他的后继者那里更加清楚地看到这一点。

156 在多米我会的阿尔伯特(1206—1280年)、圣托马斯·阿奎那(1227—1274年)之外，还有一些同时代的方济各会的作者，他们共同形成了一个最早对知识的进步拥有坚定信念的群体。他们是自古代以来首批自觉前瞻的思想家。其中，最引人瞩目的是林肯主教罗伯特·格罗塞特(Robert Grosseteste, 约1175—1253年)。格罗塞特确立了13世纪物理学的主要研究方向。他了解一些平面镜的反射原理和透镜的物理特性，还极可能用透镜亲自做了一些实验，罗吉尔·培根的不少光学理论就是来自这位导师。格罗塞特的主要阿拉伯知识来源是一本阿尔哈曾数学著作的拉丁译本。这位伟大的林肯主教还积极提倡学习希腊文和希伯来文，他是学术复兴的重要先驱。

波兰人维特洛(Pole Witelo, 活跃于1270年)也是一位重要的作者。他在意大利北部工作，是一位思想敏锐的数学研究者和作者，著有一部阿尔哈曾作品的评注。方济各会教士罗吉尔·培根的光学观点就主要得自维特洛。另一位得益于阿尔哈曾的光学作者是后来成为坎特伯雷大主教的英国方济各会教士佩卡姆的约翰(John of Peckham, 约1220—1292年)。他的作品显示出了某些不凡的数学技巧，其中的一部著作直到17世纪仍被再版，那时开普勒和伽利略的作品已经问世了！

中世纪最伟大的科学人物无疑是罗吉尔·培根(Roger Bacon, 1214—1294年)，一个方济各会的教士，在巴黎和牛津教学。他实质上是一个百科全书派，比大多数人都更清楚地意识到扩充知识基础的重要和迫切，尤其是关于语言的精确知识，以及对科学数据的收集和整理。在阐述这些需求时，他还不厌其烦且明确坚定地呼吁鼓励实验精神。他自己虽然不是一个实验者或数学家，但他清楚地意识到若没有实验和数学，自然哲学将完全是一纸空谈。

培根最让人瞩目的地方或许是认识到了自然知识的作用——三个半世纪

后，他的同名者、另一个伟大的培根（弗朗西斯）将更清晰地预见人类对自然的控制。罗吉尔模糊地预言了一批重要的现代科学探索：飞行、炸药的使用、环球航 157  
行、机械动力等等。这些预言若是单个出现或许不值一提，但如此多地集中在一个头脑中则令人印象深刻。尤其值得注意的是培根对光学的研究，尽管没有多少原创性，但却异常的明晰。他理解折射的本质，知道折射在曲面的效果。他通过一块聚光玻璃获得了光线的近似精确路径，并由此推断出凸透镜的工作模式。他大概是第一个建议将透镜用于制作眼镜的人，或许还能够因为提出将透镜组合起来使用而称作光学仪器的先驱。

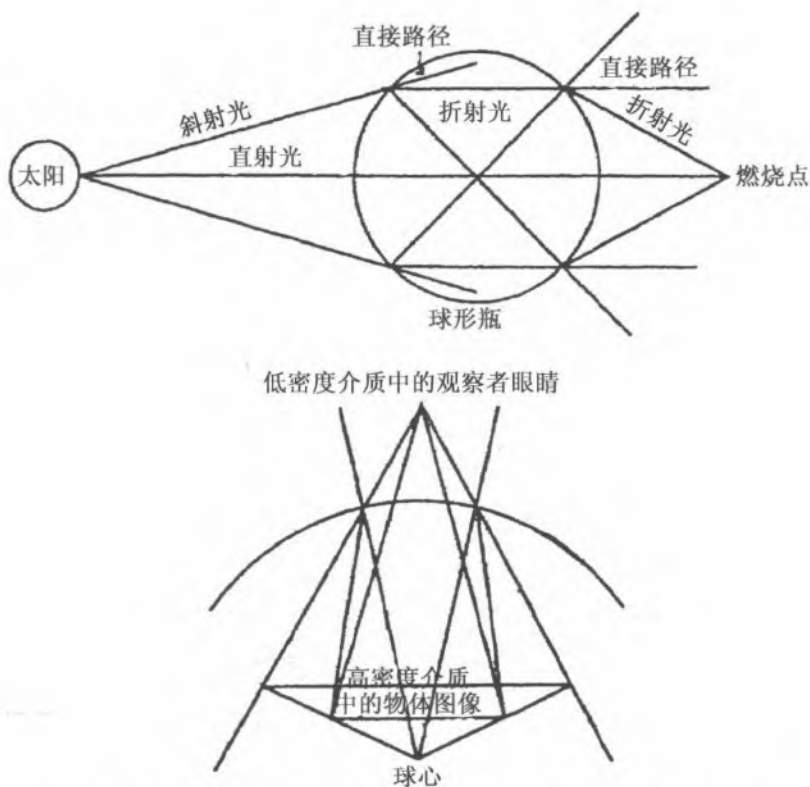


图 5.3 罗吉尔·培根的示意图：光通过球状玻璃和平凸透镜的线路

然而培根却并非一个脱离其时代的人，相反，他在很多方面都堪称经院哲学 158  
运动的典范，并且亦是经院科学发展链条上的重要一环。特别是，他并不将科学与宗教视为对立，反倒认为科学的进步是对宗教的重要支持。因此他常常无可



避免地与他的前辈们产生矛盾,这些分歧表明他的科学观点超越了那个时代的实际乃至可能的科学发展状况。

在培根之后的一个世纪里,他最为看重的数学和哲学著作由于各种原因而被禁绝,他的其他作品倒是仍然不时地在学校中被教授着。在这个间歇,科学的进步主要是由医学研究者推动的,他们来自13世纪后半叶和14世纪前半叶的一个充满才华的群体。博洛尼亚和蒙彼利埃是这场运动的中心。

博洛尼亚继承了萨勒诺的学术,自12世纪起就拥有医学院。在那里,萨勒诺的罗杰(Roger of Salerno,约1220年)、其学生和追随者帕尔马的罗兰(Roland of Parma,约1250年)将新“阿拉伯”医学运动与意大利南部的那场旧运动相承接,可谓使医学获得了新生。博洛尼亚首先在13世纪晚期建立起定期解剖的传统,蒙迪诺·德路西(Mondino da Luzzi, 1276—1328年)在其《解剖学》(*Anatomy*)一书中对此进行了详述。这部著作除了一些实践经验外,内容基本上来自阿维森纳的阿拉伯语著作的译本,其后成为了中世纪后期解剖学的通用教科书。到了14世纪,对人体的解剖实践已经在一些大学里被广泛地认可了。

159 及至13世纪末,古代医学的基础在蒙彼利埃医学学校已然成为过去。加泰罗尼亚人维拉诺瓦的阿诺德(Arnald of Villanova,约1240—1311年)就在那儿教学。他是中世纪医学最著名的人物之一,最先倡导观察和仔细记录实际病例的希波克拉底方法,并且还颇深地影响了炼金术。就西方世界而言,炼金术实际上也源自阿拉伯。它始于切斯特的罗伯特在1144年将莫瑞恩纳斯·罗曼努斯(Morienus Romanus)的一部炼金术名作翻译为拉丁文。这两人生活在同一时代,后者是耶路撒冷的阿拉伯基督徒,其作品也有着更早的阿拉伯源头。炼金术源于人们希冀了解金属性质的尝试,对于将贱金属转化为贵金属的渴望则进一步促进了它的发展。如同中世纪的其他研究一样,它也和星占学联系起来,“七种金属”<sup>①</sup>因此被“七颗行星”分别控制或影响,就像是这些行星也控制或影响着人体中的器官一样。

① 分别是金、银、汞、铜、铅、铁、锡。——译者注

阿诺德写过很多作品大力倡导这样的思想。他同时掌握了阿拉伯语和希伯来语，与穆斯林和犹太人也都有着人际交往，在那不勒斯和萨勒诺求过学，游历过意大利、西西里、法国和西班牙，在罗马和阿维尼翁担任过教皇法院(Papal Curia)的医学顾问，并且不止一次地受雇为特殊使团的代表。此外，阿诺德在政治上的影响力也不输于学术，他最终在海上结束了充满冒险的一生。

天文学在这个阶段还无法与星占学相区分，很明显是经院哲学时代最主要的科学兴趣。然而经院天文学活动的实践成果却乏善可陈。此时西方关于天文学的知识大部分是基于卡斯蒂利亚的“智者”阿方索国王(King Alfonso the Wise of Castile, 1223—1284 年)的活动。他在托莱多搜罗了一大批以犹太人为主的学者，推算出一套天文图表(1252 年)。这套“阿方索星表”(Alfonsine tables)随后便迅速传遍欧洲。尽管它们所包含的新想法很少，却有一些诸如一年的长度等计算得极其精确的数据。阿方索还使用同样的一批学者，根据阿拉伯文献编纂了一部关于天文学知识的大百科全书。

英国约克郡人约翰·霍利伍德(John Holywood, 拉丁名 Sacrobosco, 卒于 1250 年)长期在巴黎做一名教师，他的一部著作成为了经院哲学时期的标准天文学教科书。这部作品在当时受到了普遍的欢迎，有大量的手抄本保存至今，并被 160 翻译成欧洲几乎所有的方言。然而，它并没有包含任何新的或者创新性的元素，仅仅是阿尔巴塔尼和阿尔法甘尼著作的合并。霍利伍德还写了一部关于算术或“算法”(algorism)的著作，同样备受欢迎，引介阿拉伯数码符号之功在当时无人可及。这两部天文学和算术作品都得到了不断的再版。

除了阿方索星表以外，这一时期最优秀的天文学作品出自法国犹太人莱维·本·热尔松(Lewi Ben Gerson, 1288—1344 年)之手。他的巨著试图揭示流行的同心圆理论的错误。这在某种意义上是对喜帕恰斯的回归，也可谓是哥白尼的先驱。此书用希伯来语写成，其中部分内容以“揭示秘密的工具”为标题，于 1342 年在教皇克莱门特五世(Pope Clement VI)的命令下被翻译为拉丁文。其中所谓的“工具”就是“十字测天仪”(Jacob's staff)。这个有名的测量仪器是由莱维的同胞亦为教友的雅各布·本·玛吉(Jacob Ben Makir, 卒于 1308 年)发明的。

继医学、炼金术和天文学之后，西方中世纪显示出活力的实践性学科是植物学和光学。那时植物学的研究总是和医学相联系。尽管在药物的使用方面，除

了从阿拉伯人那里借鉴过来的内容外没有任何进步,但却有一些迹象表明,人们再次燃起了对自然、对植物图示的兴趣。大量的光学作品在思想上显示出了一定的进步,然而这些拉丁作品中的任何一部,乃至这些作品的总和,都无法和阿尔哈曾的伟大著作相匹敌,后者的拉丁文本大约出现在13世纪中期。

在纯数学领域,经院哲学时代所取得的成就亦很少,但这个时期从外部的知识输入却被证明具有重要的意义。在12世纪末期,一个名叫比萨的列奥纳多(Leonardo of Pisa,约1170—约1245年)的商人曾为了获取财富到东方和北非(Barbary)游历过。在那里,他学会了使用印度计数法——一个数字的值取决于其在一系列数字中的位置。这就是我们今天通用的计数方法。1202年,列奥纳多写了名著《计算之书》(*Book of the Abacus*),用了很高的技巧来极力鼓吹这套计数体系。这是第一部由拉丁基督徒所著的关于这一体系的著作,也是我们现代计数体系的重要来源,但在当时得到普遍接受的过程却异常缓慢。列奥纳多的其他作品更具原创性,却由于超越了时代而在当时影响更小。他毫无疑问是个能力出众的数学家,但是其积极作用和重要性却更多地体现在作为一个新方法的搬运者。那时在引介“阿拉伯”数字方面,约翰·霍利伍德(1250年)的《算法》比列奥纳多的著作更为流行。此书大约出现于1240年,并在15、16世纪里频繁再版,直到17世纪仍有重印。

阿拉伯数字体系与拉丁数字符号体系相比是一个伟大的进步,然而让历史学家们困惑的是,人们耗去了三个世纪才普遍地接受它。而经院哲学时代在这套现代体系得到普遍使用之前就已经结束了。

有很多人试图为中世纪的知识成就正名。但就科学而言,这些说辞无一能够成立。没有理由反驳这一结论:对于科学来说,这是一个在智识上倒退的时期。

## 第六章 学术的复兴——人文主义的兴起： 重返古代的尝试(1250—1600 年)

### 人文主义

基督教哲学的出现是整个人类思想史上最重要的事件之一。将基督教进行 162  
理性化的伟大努力,与亚里士多德文本的重新发现密切相关。

西方直到 13 世纪还仅能见到亚里士多德的逻辑学著作。这些作品是在古典时代晚期由波爱修从希腊文翻译为拉丁文的。及至 13 世纪早期,从阿拉伯文翻译而来的、带有穆斯林哲学家阿维罗伊评注的亚里士多德作品开始传播开来。其时巴黎大学是智力世界的中心,在那里,研读这些阿维罗伊对亚里士多德的注解遭到了来自教会的强烈反对。但这种状态到了 13 世纪中期有了改善,原因可能是较少受到阿维罗伊派思想影响的版本开始出现。穆尔贝克的威廉等人直接从希腊语翻译出亚里士多德的著作,基督教哲学的“建筑师”、多明我会的教士圣托马斯·阿奎那便能够以这些版本为主进行研究。这些在中世纪由希腊语翻译而来的版本一直使用到 15 世纪的末期。

在简介了亚里士多德著作在 13 世纪里的情况之后,这里还需要做一些解释。在印刷术发明之前,一本著作很难完全取代另一本已经被传播的著作。手抄本因其珍贵而极少被丢弃。那时的图书馆规模不大,学者们守旧而缺乏批判性,图书编目也不敷使用,更好或更新的版本通常无法“驱逐”那些相对的“劣品”

或“旧货”。于是新旧两种版本常常被并行使用,新版本在一处地方使用着,另一处地方仍在用旧版本,更多的情况则是两种版本在同一个地方被同时使用着。

就科学而言,在那时被人们所使用最多亦最久的亚里士多德著作及其评注  
163 还是从阿拉伯文而非希腊文翻译而来的版本。但两个重要的事件从某种程度上改变了对这些“阿拉伯—拉丁”版本的持有情况:(1)人文主义的兴起;(2)印刷术的出现。但尽管此时这些从阿拉伯文而来的译本有了竞争对手,却并非意味着它们失去了人们的信任。事实上,这些“阿拉伯学者”的版本在15和16世纪里始终保持“霸权”的地位,甚至到了17世纪,一些仍旧盛行亚里士多德哲学的大学依然在使用它们。最终真正“战胜”阿拉伯学者的,并不是聚集在“人文主义”大旗下的希腊学者们,而是那些拥护“新实验方法”的“科学人”,他们彻底改变了整个中世纪哲学的研究进路——无论是基于希腊人的还是阿拉伯人的,抑或是亚里士多德的还是阿维罗伊的。这个胜利直到18世纪才变得显而易见,其影响所及,直到今天仍然余波未尽。

到了19世纪,学术研究本身也因实验方法而改变了。深谙此道者最终开始研究那时饱受批评的亚里士多德著作,逐渐领会到这名伟大导师所具有的科学力量,以及其思想所展现出的前所未有的、科学史家再也无法忽视的均衡与美。

我们现在转而关注一场真正理解古代科学的小小萌芽。这个过程是与从希腊文翻译科学著作紧密联系在一起,其中异教徒阿巴诺的彼得(Peter of Abano, 1250—1318年)是最早的代表人物之一。他在君士坦丁堡学得希腊文并翻译其著作,曾在巴黎行医,后来又去了帕多瓦,其时正逢亚里士多德取得新的胜利不久——其物理学著作被列入了大学的课程。彼得以“魔法师”的身份闻世,所幸在落入宗教裁判所的缉捕前便已去世,避免了横死的命运。

彼得最有名的著作是《调解者》(Conciliator),试图在新希腊和旧阿拉伯这两个“学派”之间进行调和。他还在书中展示了自己交友的广阔,我们甚至可以从  
164 中读到,他曾与伟大的旅行者马可·波罗(约1254—1324年)有过会面。他对待科学的态度比大多数的中世纪作者都更为开放。他颇有些值得一提的观点,例如他认为空气有重量,大脑是神经的源头,心脏是血管的源头,这些在当时都是新奇的思想。他还非常精确地测量了一年的长度,将其定为365天6小时4分钟。<sup>①</sup>

① 目前世界天文协会公布的回归年长度约为365天5小时48分钟,恒星年约为365天6小时9分钟。——译者注

14世纪出现了一场伟大的运动，直到今天依然影响深远。其时古代的经典被重新“发现”，人们开始学习希腊语。然而历史学家们或许高估了希腊语知识对这场“人文主义”运动的作用：事实上，西方在黑暗时代里通晓希腊文者不乏其人，其年代也能够上溯颇远（例如850年左右的约翰·司各特·埃里金纳），而包括彼特拉克（Petrarch，1304—1374年）在内的许多最伟大的人文主义者却根本不识希腊文。当然，尽管彼特拉克的书信体文风更多地是受到了圣奥古斯丁的影响而非西塞罗，那种将人文主义与中世纪过多联系的观点也不值一哂。

这种“向后看”的习惯发自人们的强烈天性，基督教的教诲使之强化，人文主义者则让其走得更远。从彼特拉克开始，人文主义者们就憧憬着回到古希腊和罗马。他们试图将回望的目光穿透我们今天称之为“中世纪”的阴云，努力寻找那个他们为之向往的古典时代。然而，当他们极目远眺，有时看到的却仿佛是其自身映像的另一番景象。在那过去的幻境中，他们瞥见或是想象自己瞥见到了即将到来的景象——不，应当说是正在到来的景象。这种景象很快就将重新被乌云所笼罩，这是一片由缺乏一般观念的可怕学识形成的乌云，无论过去和现在都是科学的敌人之一。

即使在13世纪，罗吉尔·培根和一些孤独的灵魂便已经“看到”了这双重的景象，但它对于其他学者来说尚属“新鲜事物”。在《难忘事之书》（*Book of Memorable Things*）中，彼特拉克曾坦率地剖白：“我站在这儿，仿佛站在两个民族的边界，同时看向过去和未来。”这些先驱们在钻研经典的同时，通过发展本国语言打造出新的“知识武器”，为现代文学、现代哲学和现代科学的出现提供了条件。于是，彼特拉克的好友薄伽丘（Boccaccio，1313—1375年）能够成为第一个研究古希腊的近代文学家和第一个伟大的意大利语作家也就不足为奇了。

意大利是人文主义诞生和成长的地方。我们要强调的是，这些意大利的人文主义者们，除了他们自己提到的一个最重要的诗人但丁（1265—1321年）外，通常都将目光聚焦在遥远的古典时代而非更近的中世纪，他们将后者视为一个真实存在的、无比黑暗的深渊，试图跨越它去寻求古代的思想。甜美的希腊文学作品在那个堕入深渊的年代里被遗忘了，即使进入了这个新的时期，除去那些已经被翻译为拉丁文的作品，也仅有极少数的人能够“品尝”它们，它们的翻译和阐释被专家们所垄断着，直到15世纪末叶，在那些有学识的人中间，仍然很少有人能



够有效地掌握希腊文,而在16世纪里,甚至一些最重要的哲学教师依旧缺乏相关的知识。

因此,这时那些古希腊杰作所造成的影响,首先可谓是间接的,它们常常通过翻译者和特定的诠释者进行传播;其次还可说是局部的,只有一些专家才能够体会其微言堂奥;最后,微妙的是,这些作品更多地影响了人们思考的方式而非思考的内容。考虑到翻译希腊文著作的历史颇为久远,因而这实际上并不能简单地算作对希腊语的重新发现。那么,我们又该如何解释当人文主义出现时,人们在观念上的变化呢?或者,这种变化实质上只是一种程度的差异而非类型的区别,是这个万物皆在流变的世界给我们造成的一种假象?

这是一个发人深思的问题。我们可以通过比较前期和后期出现在西方的希腊译著,为其找到某种答案。早期的翻译作品通常深受阿拉伯世界观的影响。作为古典时代的继承者,穆斯林学者们承继了遗产中的那份伟大的精神,却未能体味到其中所蕴藉的“品位”。他们因为受到限制而远离了那些古典的文学和艺术作品,荷马和赫西俄德,索福克勒斯和欧里庇得斯,古希腊的艺术和建筑,这些伟大的文明篇章在伊斯兰世界受到了禁绝,同样的情况也发生在早期的基督教欧洲。其时人们感兴趣的是哲学、科学、数学和医学著作。这些数量庞大的作品为他们提供了充足的思想材料,也让他们产生了有此足矣、别无他求的错觉——伊斯兰为此心满意足。

这些被伊斯兰世界所拥抱的著作也最早由阿拉伯文译介到拉丁世界。它们决定了拉丁世界的“品位”,纯粹的希腊知识则影响寥寥。事实上,拜占庭文学的“品位”与阿拉伯的差别并不很大,因此那些最早由希腊文翻译为拉丁文的作品也与这些译自阿拉伯的著作非常类似,这些文本仍然以哲学、数学和医学为主,只是由于直接从母语翻译而来的缘故,在品质上有了一些提高。

这些适足博奥的文献代表了西方在14世纪之前所获得的希腊智慧。它们并不缺乏数量,但却少了“生命”。因此,那些认为人文主义者们仅仅是重新发现希腊语的看法是错误的,他们并非仅仅是那些先驱亦步亦趋的追随者,他们留给后世的遗产中还包含了某些更深刻更基本的东西,一些他们自己也几乎不知道和不理解的东西——或许我们今天仍然没有完全理解。

人文主义者重新发现了古代的文学作品。他们从中汲取着被其他人所排斥



的东西,其取向逐渐形成一种文学的潮流,并为近代世界的纯文学教育蒙上了一层阴影。追求形式而非内容所造成的贫瘠,拙劣的模仿对原型所造成的损害,以及在罗马帝国晚期文学中所表现出来的种种典型特点,都被人文主义者们所一再重复,而我们今天仍然在重复着人文主义者们错误,并因之给我们的教育体系造成了不良的影响。人文主义者的重要性并不在于使我们通晓某种语言的知识,也非使我们了解古代的生活,真正的贡献是在已有遗产的基础上,使更彻底地重建古希腊的精神成为可能。当然,事实上这种重建永远不可能实现,它只是后世人们的各取所需罢了。然而古希腊却随着这种重建再次复活了,现代世界随之开创,现代科学、艺术、文学和哲学也因之产生。这是一种启蒙的反映,不但影响到了我们当前的状态,还使得中世纪的希腊科学遗产和文艺复兴时期的希腊文学遗产显露出各自的贫瘠,直到两者互相滋养,才取得重要的进步。 167

现代思想、现代科学、现代艺术、现代文字就是这种联合的结果。让我们抛弃那种长期以来形成的,认为它们只是单独源自两者之一的谬误吧!那些同时在科学和艺术领域都有建树的人们——达芬奇、维萨留斯、伽利略,都更像是柏拉图和亚里士多德的继承者,而非那些古代伟人著作的编校者。继承了古代智慧遗产的是文学、艺术和科学,而非古典学术。

## 古代科学经典的重获

对于科学史乃至所有文明分支的历史来说,印刷术在15世纪中期传入欧洲都是一个最重要的事件。印刷术有以下几个与科学有关的方面值得注意。

第一,今天,我们使用印刷的纸张表达自己对当前问题的看法。在科学上,无论是出版者还是读者都要求新书至少包含一些新的“东西”,我们以书的首次出版作为其发现的标志。但在印刷术出现的早期,出版物并非如此。首先得到出版的是《圣经》和其他的一些宗教著作,其次是中世纪神学权威的作品,随后是中世纪关于法规、特别是教会法的论著,然后是中世纪的医学文本。古代经典的出版姗姗来迟。早期的印刷书籍中,同时代人的作品所占的比例很小,大部分都是中世纪或者古代的文本,抑或源自这些文本的汇编。然而通过出版物来记录 168

自己的观点和体验的习惯,却在悄然而缓慢地滋生。

第二,在重新发现古代经典的过程中,学者们首次注意到了文学作品的价值。科学论文的读者则要少得多,并且,能够读懂它们的学者也是寥寥无几。因此,古典科学的复兴要迟于古典文献所涉及的其他学科的复兴。

第三,关于15、16世纪经典文献的重要性,有一个奇怪的误解。学术复兴对后世思想和教育的伟大影响,歪曲了我们对15世纪文化景观的观感。即使是在15世纪后期人文主义兴盛之时,希腊语的著作仍然非常稀少。而在那些受过最佳教育的人群中,能够熟练掌握希腊语的人也非常罕有。在整个16世纪甚至直到17世纪,大多数出版的哲学和科学著作仍然保有中世纪的式样。

第四,除非或者直到被翻译为拉丁语或者本国语言,希腊科学著作的出版影响甚微。人文主义者们常常缺乏科学知识,而语言常常是科学研究者们的短板。

考虑到这些原因,考察古代经典科学著作成为印刷品出现的时间顺序便显得饶富意味。对于那个年代的科学进步来说,印刷出版科学著作比发现它们的手稿来得更有意义。

最早得以印刷的科学经典自然是那些拉丁文的版本。第一部是普林尼的《博物志》,最早出现于1469年的威尼斯。但是请切记,普林尼绝非“重新被发现”,相反,其作品在整个中世纪里都始终被人们诵习不绝。人们是如此熟悉这部作品,以至于威尼斯的印刷工匠都觉得没有必要附上编者的名字。在整个16世纪,普林尼的这部作品不断被再版,仍然像在中世纪一样流行。《博物志》于1601年被菲尔蒙·荷兰德(Philemon Holland)翻译为英语,成为继欧几里得的《几何原本》(1570年)之后,第二部被翻译为英语的古代科学经典。

在普林尼之后,相继得以印刷出版的有瓦罗的著作(罗马,1471年)、一部农学家的作品合集(威尼斯,1472年),以及一部马尼留的诗集(纽伦堡,1472年)。这些作品的内容都关乎实际的应用。其中,马尼留的作品作为古典的科学著作,最早在意大利以外受到关注,并由雷格蒙塔努斯的私人出版社印刷出版。其时由于星占学已经进入大学的课程,这部书的价值被认为存在于其所包含的星占学内容。随后出版的是卢克莱修的著作(布雷西亚,1473年)。然而正如本书前文所述,卢克莱修并非一个严格意义上的科学作者。数年之后,塞尔苏斯的著作也得到出版(佛罗伦萨,1478年),其作品同样具有直接的实用价值。塞尔苏斯的

医学著作是最早出现的专业技术方面的科学经典，它在中世纪本已失传，因而此次出版堪称一次真正的重新发现，出版后迅速对当时的医学实践产生了影响。最后，在这份简短的早期拉丁文古典科学著作出版物的名单上，还有维特鲁威、弗龙蒂努斯(Frontinus)和维吉提乌斯(Vegetius)等人的建筑学作品(罗马，1486—1487年)，它们也同样具有实际的应用价值。

相比之下，古希腊作家们的纯理论科学著作数量更多，流传过程也更为曲折。我们首先可以关注亚里士多德著作的回归过程。在文艺复兴时期，大多数的读者都满足于主要从阿拉伯文翻译而来的中世纪拉丁文版本，最早的“现代”翻译本，同时也是最早得到印刷出版的亚里士多德作品是西奥多·加扎(Theodore Gaza, 1400—1478年)翻译的三部生物学著作(威尼斯，1476年)。

事实上，在1476年之前极少有希腊文的印刷出版物，直到15世纪末，印刷专家阿尔多·马努齐奥才制作出亚里士多德和狄奥弗拉斯特的作品的希腊文版本(威尼斯，1495—1498年)，继而又印刷出版了狄奥斯科里、斯特拉波和坡吕克斯(Pollux)的希腊文作品——后者是一位规范了解剖学名词的古典学者。其后，阿耳多的继承者们还在“阿尔丁”印刷所内印制了盖伦(1525年)和希波克拉底的作品(1526年)。

欧几里得的著作对整个文艺复兴的科学发展进程都产生了重大的影响。这 170  
本书最早出现的是拉丁文版本，1482年出版于威尼斯，随后在16世纪里涌现出各种版本：第一部希腊文版本出现于1533年的巴塞尔，第一部英文版本则出现于1570年的伦敦。

托勒密的《地理学》则对文艺复兴时期的地理观点的形成产生了巨大的影响。这部著作的首个拉丁文版本最早在1475年出现于维琴察，首个希腊文版本最早在1533年出现于巴塞尔。在这些早期的版本中，最让人感兴趣的是书中所附的地图(见第88页)。相比《地理学》，《至大论》是影响更大的托勒密著作。这本书的首个拉丁文版本在1538年出现于巴塞尔，其后便不断再版。也因此，在文艺复兴时期，托勒密的作品比其他古希腊数学家和天文学家的作品更加流行。阿基米德的作品最早出版于1544年(巴塞尔)，直到17世纪才不再印刷。

总的来说，在这个时期印刷出版最频繁的古科学经典无疑还是医学著作。

在 16 世纪里涌现出大量的希波克拉底、狄奥斯科里、盖伦等人著作的希腊文、拉丁文和其他方言的版本,这些作品与拉齐兹、末修、阿维森纳、阿尔布卡西斯等阿拉伯医学家的作品一道,得到了广泛的研读,共同构成了那个时代医学实践的真正基础。

## 文艺复兴早期的科学氛围

人文主义者们普遍漠视科学的前景。他们的兴趣在于文学,特别排斥过去时代由阿拉伯学者所主导的那种学术旨趣——对于古典的科学和哲学主题,他们多注释而少发展。然而一场发生在 13 世纪的以罗吉尔·培根为代表的运动带来了新鲜的空气。这场运动尽管在罗吉尔死后便渐渐消匿,但并没有完全终结,而是化身成为一种少有人言的信念保留在一小群哲学上的思想隐士之中。最终,该信念在诉诸自然时找到了表达的契机。到了 15 世纪,科学体系愈加明显地不同于中世纪,那种认为可以通过实验修正理论的思想卷土重来。

- 171 最早公开提出这个思想的是莱茵兰人库萨的尼古拉斯(Nicolas of Cusa, 1401—1464 年)。他是一位高傲的哲学天才和富有洞察力的学者,做过红衣主教,推动过一场失败的历史改革。尼古拉斯试图为实验方法摸索出一个哲学基础。他曾记录了一个关于植物生长的精密实验,证明了植物是从空气中汲取养分的,其后范赫尔蒙特在 17 世纪重复了这个实验。这是第一个现代意义上的生物学实验,并附带首次用实验证明了空气也具有重量。尼古拉斯还写了一本书,介绍天平在物理实验中的应用。他在不止一部的著作中详细展示了自己是如何使用实验方法的,还扼要地提出了很多科学研究设想,这些直到 150 年后的伽利略时代才为人们所承继。他的方法论使其相信地球是运动的并且宇宙是无限的,尽管他并未将其上升为一般的天文学理论。他在哲学上赞同宇宙时空皆无限的观点,这无疑影响了布鲁诺。

在 15 世纪的后半段,一些天文学家继承了尼古拉斯所实践的这种将学术与观察合一的传统。在这些人中,我们要感激另一位主教的远见卓识,他比尼古拉斯早许多年出生,去世却晚得多。他就是约翰内斯·贝萨里翁(1389—1472 年),

出生于希腊，同时致力于促进天文学知识的发展以及在西欧传播希腊的文学。依靠他的帮助，他的两个德国学生波伊巴赫和雷格蒙塔努斯才能够完成各自的著作，并为哥白尼的工作奠定了基础。

格奥尔格·波伊巴赫(1423—1461年)以极大的热情钻研托勒密的《至大论》。然而过早的离世使得他仅仅翻译了阿拉伯文《至大论》中与自己著作相关的部分。他用正弦(sines)取代古希腊人的“弦”(chords)，重新计算了一个间隔为10分的正弦表。

柯尼斯堡(Konigsberg=king's mountain,意为“国王之山”)的约翰内斯·缪勒(1436—1476年)在其位于巴伐利亚的出生地通常被称为“雷格蒙塔努斯”。他活得仅仅比波伊巴赫略长一些，但却有更好的机会接触到希腊文的原典。他完成了前辈对托勒密著作的整理工作，写出了第一部系统的三角学著作<sup>①</sup>，并制作出一张表，包含有每一分的正弦值和每一度的正切值。哥伦布就曾使用他的天文星表。雷格蒙塔努斯死于罗马，其时他正蒙教皇的邀召协助进行计划已久的历法改革。他的死使这项改革延迟了一个多世纪。他的重要作品直到死后才得以出版。 172

受到科学思想的影响，艺术与语言同时复兴了。伟大的画家们开始更密切地研究自然。安东尼奥·波拉约洛(1428—1498年)、安德烈·德尔·韦罗基奥(1435—1499年)等人细致地研究表面解剖学，桑德罗·波提切利(1444—1510年)在画中所塑造出的各种栩栩如生的形象也表明了他是一个非常细致的观察者。然而，在这些大自然的学生们中间，却有一位艺术家秀拔群伦，他就是列奥纳多·达芬奇(1452—1519年)，其出现堪称从意大利文艺复兴通向现代的转折点。新颖独创的思想、绝妙深邃的洞察力、可靠的直觉、精确的观察，以及在许多方面都拥有异乎寻常的非凡才华，都使得他在早期的学者们中间显得独一无二甚至几乎超凡入神。而其特有的局限性使他与其他人的区别更为显著，也使我们更难以理解他。为了理解他的科学著作及其命运，我们必须承认他的不足。

<sup>①</sup> 这部著作直到1533年才印刷出版，此时距作者去世已有57年。

列奥纳多的一大不足之处在于文学和语言。他甚至不具备一丁点的拉丁文基础知识,文字的表达缺乏表现力,其方言水平近似一名平庸的佛罗伦萨小业主。他没有留下什么名言警句,句子常常是不完整的,还能找出不少语法错误,从文学的角度来看显得支离破碎。其表达能力阻碍了思想的汹涌奔腾。他或许同彼特拉克说过:

173           我对知识充满了渴望和热爱,  
                  但这却对我的工作造成了阻碍。

作为伟大的艺术家,列奥纳多素以工作极慢和作品稀少而“臭名昭著”。他将主要的精力和思想都用在艺术创作上了吗?在他的个人文献中,不仅包含了一种独一无二的科学洞见,还展现出了几乎让人难以置信的勤奋。他涉足了当时所有的学科,从数学到生理学,所及之处皆能有所建树。他向我们展示了一种飞行器的模型,关于直升机和降落伞的构想,以及对飞行问题的兴趣。他用那时新兴的方法分析了鸟类飞行的原理。他用17世纪才使用的知识设计出一种能够绘制出抛物线的圆规。他暗示了一种以太阳为中心的宇宙观。他绘制了一种后膛装弹并能快速点火的枪支。他提出了很多工程机械方面的天才构想。他掌握了透视画法的理论原理。他提出脊椎动物在骨骼上具有某些同源性。在他的著作中包含了机械运动的法则。从某些方面来看,他在解剖学和胚胎学上的研究成果在数百年的时间内都未被超越。

尽管列奥纳多的才能和成就都是如此的不可思议,但他在那个时代并不孤独,同样多才多艺且洞察力相埒者仍有其人,德国人纽伦堡的阿尔布雷特·丢勒(Albrecht Dürer of Nuremberg, 1471—1528年)即其一。他与列奥纳多同时代,不仅擅长绘画,还精研人体解剖学,煞费苦心地深入探究不同年龄、不同性别的人体比例,近距离地观察动植物的生长和习性,通过实验了解光学、透视法以及声音的特性,很好地掌握了那个时代的数学知识,其名作《忧郁》以隐喻的方式表  
174 现了不同于那个时代的思想和态度。丢勒在意大利工作了很长时间,虽然是个德国人,但一言一行都打着意大利文艺复兴精神的烙印。

丢勒的作品深深地受到了意大利的影响。与其相比,另一位以帕拉塞尔苏斯之名闻世的瑞士学者奥里欧勒斯·菲利普斯·狄奥弗拉斯特·博姆巴斯茨·



冯霍恩海姆(Aureolus Philippus Theophrastus Bombastus von Hohenheim)却有着并不真实的记载。他是一个暴力、浮夸且性情令人憎恶的人,反对传统,喜好表达,思想却不够融贯,或许还阻止过人们崇拜旧时的偶像。他在巴塞尔的课程以焚烧盖伦和阿维森纳的著作作为开场秀,这种标志性的行为使他成为自由研究者的代表。他还是一个非常晦涩的作者,其作品无论在所表达的语言、所表达的形式甚至所包含的思想上都很模糊,这种模糊常常不幸地使人们误解作者的原意,让人无法从其作品中窥得其全部的思想。然而那些清醒的帕拉塞尔苏斯主义者却普遍认为,他们的英雄的所作所为在某种意义上预示了一种“新的复兴”。他的目的是看到“天性之光”(light of nature)中的世界,然而由于他在某些问题上的极度轻信,他的激进与自相矛盾,他在所有作品中表述的玄虚复杂,他的“光”在我们的眼中是暗淡的。在他看来,“天性”还包括了天上诸星对生民的影响,以及其他很多在当时被广泛相信、时至今日却被普遍否定的“联系”。他仍然相信小宇宙与大宇宙之间的联系,这种感觉在今天仍然残留在我们的心中,但他对这个理论的随意修改却可能导致了后世的人们反对该理论。

从正面描述帕拉塞尔苏斯的科学贡献并非易事。然而,他确实通过传播一项对亚里士多德学说的重要修正,而使炼金术改变了研究的方向,发展为今天的化学。他抛弃了古希腊哲学中的“四元素”,提出了三个与之相近的赋予物质不同属性的要素,并将其分别命名为“水银”、“硫磺”和“盐”。不幸的是,这三个名词此时已经被指向了明确的物质,因此便在使用中带来了糟糕的混乱。帕拉塞尔苏斯所谓的“水银”,一般被用来指具有金属的特性;所谓的“硫磺”,一般被用来指化学成分不纯、性质不稳定且具有燃烧的力量;所谓的“盐”,一般指性质稳定且不易燃烧的特性。这些“要素”得之于经验,摈弃了那种认为自然依据某些刚性的方案从而必然是简单的观点,因此从某种意义上讲是一种进步。

与帕拉塞尔苏斯相比,德国的采矿工程师、被誉为“矿物学之父”的格奥尔格·阿格里科拉(Georg Agricola, 1490—1555年)在思想上更为明确和连贯。在1546年的著作《论矿冶》(*De re metallica*)<sup>①</sup>中,他从实践中总结了那个时代的冶金学知识,通过一系列可贵的图示和说明向我们展示了完整的采矿技术。我们

① 该书在17世纪时被翻译为中文,名为《坤輿格致》。——译者注



很难讲清楚他的书中到底有多少内容是原创的,但毋庸置疑的是,很多设备和工艺流程是他在此书中首次提及的。在其他的著作中,他还奠定了自然地理学的基础,并特别关注了化石,将其视为已灭绝生物体的遗存。

帕拉塞尔苏斯的生活时代还被看作现代数学研究的起点。其中的最佳代表是不道德的天才杰罗姆·卡当(Jerome Cardan, 1501—1576年),其名字至今还保留在用于解算三次方程的“卡当公式”和汽车的“万向轴”(Cardan shaft)中,为人们所铭记。但事实上,“卡当公式”是他在宣誓保密的情况下从他人那里可耻地剽窃来的。尽管如此,他那本出版于1545年的代数著作,还是毫无疑问地标志着中世纪数学的结束和数学新时代的开始。

## 直接研究自然的复兴

16世纪的整体环境特别有利于某些观察活动。人们开始熟悉铅字,书籍变得常见并被视为新知识的载体。由探险者带回欧洲的新奇事物使人们关注生物的美与多样性。这个时代的医学特别注重草药,因此医生们多能识别各种国内和国外的植物。艺术家们也关注植物,其中一些人还致力于研究它们的习性和产地。最后,木刻和铜雕艺术也臻于完美,有一大批工匠能够创作出令人惊叹的生物——特别是植物——形象,印刷出的书籍因此拥有了精美鲜活的植物插图。没有比16世纪里印刷出版的这些植物插图更好的了。

植物绘像这样异乎寻常的发展始于德国的一个印刷世家,并因其达到了一个特别的高度。美因茨的奥托·布伦福斯(Otto Brunfels, 1489—1534年)最早提供了一部这样的作品(斯特拉斯堡,1530年),其中所绘的植物完全来自实际的观察,其形象严格地忠实于原型。如果将这些形象与一本高质量的现代教材中的相同图像作一个比较,将会是一件饶有趣味的事情。然而,正是在这部作品中,布伦福斯将其采集自莱茵兰<sup>①</sup>的植物鉴定为狄奥斯科里所研究的地中海东岸的植物,这个错误使植物学家们不解和困惑了很长时间。

<sup>①</sup> 亦称“莱茵河左岸地带”,大致位于今德国莱茵河中游。——译者注

海德巴赫(Heiderbach)的杰罗姆·鲍克(Jerome Bock, 1498—1554年)是一位比布伦福斯年轻的植物学家,他避免了后者的一些错误。鲍克细致地描绘植物及其存在形态(斯特拉斯堡,1539年),这是自古希腊时代以来绝无仅有的。在整理并核对了大量的此类绘图后,植物学家们便渐渐地不再将他们的植物与古人的作品进行对比了。

列奥纳多·福赫斯(Leonard Fuchs, 1501—1566年)堪称早期最优秀的德国植物学家。他的植物学著作(巴塞尔,1542年)作为药用植物收集者的指南,堪称自然知识史上的里程碑。福赫斯熟悉希腊和拉丁经典,同时还是一位优秀的观察者,因此具备充足的知识鉴别植物。他的木刻作品尤其优美逼真,为植物绘图建立起一种传统,一直传承到今天。他的名字因被用来命名一种美丽的美洲植物——“倒挂金钟”(Fuchsias)而常青。

福赫斯在书中按照字母顺序排列植物,没有对植物进行分类,几乎没有任何植物地理学相关的内容,也很少关注植物的本质属性或与其他生物的联系。其著作事实上就是一部单纯的“草本志”(herbal),然而精微的细节观察和详尽的铅字记录仍然足以使其跻身开创现代科学的经典之列。值得一提的是,书中还附了一份很好的植物词汇表。 177

现代的植物学研究就是这样借由人文主义情怀、文艺复兴艺术以及完美印刷技艺的奇妙融合而掀开了序幕。对动物身体的研究亦是如此。真正的现代解剖学之父安德烈斯·维萨留斯(Andreas Vesalius, 1514—1564年)的著作便很好地体现了这种融合。

维萨留斯在孩提时代便经常观察自然和解剖动物。他起初求学于祖国比利时的鲁汶,其后又负笈巴黎。那时这些大学都很保守,解剖学的知识还停留在中世纪,以盖伦为主臬。维萨留斯作为学生和老师都干得非常成功,很快便精通了盖伦的学问。让其本人和整个世界都感到庆幸的是,他并没有盲从他的前辈们,而是试图从别处寻找新的“财富”。他于意大利立下宏愿,在成为帕多瓦大学的教授后(1537年),立即展开了全面的变革。

昔日蒙迪诺作为教授还亲自进行解剖,但他的继任者们却嫌其繁难而抛弃了这一做法。他们乐于在课堂上照本宣科盖伦的文本,同时由一名“阐释者”(拉丁文是 *demonstro*,意为“我指出”)向学生们解释其作用。维萨留斯的首要变革即

取消了这些位于他和教学对象之间的“阐释者”以及其他的“中介者”，正如他自己所说，“自己的事情自己做”。他以一往无前的气魄，在五年内便完成并出版了奠定自己声誉的名著，其时年仅 28 岁。《人体构造》(On the Fabric of the Human Body, 1543 年)作为维萨留斯最重要的著作，不仅是第一部伟大的近代科学著作，还是现代生物学的基石。

178 《人体构造》在开篇沿用盖伦的分类方法描述了人体的骨骼和关节。最先谈及的是颅骨，令人惊异地用现代的方式检查了各种不同形状的人类颅骨。今天的人类学家对此给予了极大的关注。其中，不同个体和种族的颅骨经过了系统的测量，并被分成了宽颅、长颅和圆颅。这确实系维萨留斯本人所为，他甚至还延续了这个思路，将人的颅骨与某些动物、特别是狗的头骨进行了比较。

在所有维萨留斯谈到的话题中，关于肌肉的内容取得的成就最大。其中若干解剖图解在某些方面甚至好于大多数现代作品。维萨留斯以一名艺术家的眼光，逼真地表现出了人体肌肉的正常收缩。<sup>①</sup>换言之，他进行的是活体解剖。这是一项更为困难的任务，比解剖死体组织在细节上包含了更多的实践知识。博物学家们也因此 400 年后仍然继续研究、学习这些图解。

维萨留斯关于心脏构造的描述也值得特别关注。心脏和血液系统的工作方式一直是一个谜团，那时流行的是盖伦给出的答案，认为在心脏左右心室之间的中隔存在着能够通过血液的细孔。维萨留斯大体上遵循了盖伦的观点，但心室间的这个中隔却让他感到困惑。他告诉我们：

心脏的中隔由非常致密的物质构成，两面都布满了细孔，这些细孔用肉眼无法观察到，却使得血液通过它们从右心室到达左心室。我们不得不为这项造物主的杰作而感到惊诧不已。

为此他对盖伦的学说并不满意。12 年后，当他的伟大著作再版时，他重新检视了这些中隔上的细孔。这一回他认为：

179 尽管这些细孔有时看来是显而易见的，但肉眼却无法观察到任何东西通过它们从右心室来到左心室……直到不久前，我还惮于改动盖伦学说的

① 事实上，大多数的图都并非维萨留斯本人所绘，但毫无疑问，他亲自指导了图中的每一个细节，决定了图中的每一个姿势。

一丝一毫。但是，中隔像心脏的其他部分一样厚密而结实，因此，我的确看不出，即使是最微小的颗粒怎么能够从右心室通过它进入左心室。

这种看待盖伦的态度昭示我们其时正处于科学革命的前夜。人们不再满足于古代的传统。维萨留斯并不孤单，他是帕多瓦解剖学家群体的一员和先驱，其后这个群体在17世纪里前仆后继，共同领导了伟大的生物学革命。

## 16世纪的天文观测和理论假说

天文学在16世纪早期显示出了某种与中世纪不同的活跃。其中雷格蒙塔努斯的工作广为人知，起到了主要的作用。

达芬奇在1510年运用“地球反照”(earthshine)正确地解释了当新月出现时，为何会有一个与明亮的新月构成满月的阴影部分，就像是“旧月抱着新月”。他指出这是由地球反射的光形成的。维罗纳的杰罗姆·弗腊卡斯多尔(Jerome Fracastor, 1483—1543年)稍晚于达芬奇，他才华横溢，复兴了卢克莱修的原子论并且还是现代感染理论的奠基人，在天文学理论和观测方面都做出了贡献。他观察到彗星的彗尾总是背向太阳，这为探明这些物体的性质提供了线索。法国医生让·费尔内尔(Jean Fernel, 1497—1558年)在1528年计算了地球的体积，误差低于1%。然而，在这个时代，所有学者的成就都被一个人夺去了光彩——他就是哥白尼。

与达芬奇、弗腊卡斯多尔或费尔内尔等更具革命性的人物相比，尼古拉斯·哥白尼(1473—1543年)实在应该被归入到雷格蒙塔努斯这类比较保守的学者之列，这与今天人们头脑中的那个形象存在着巨大的反差。他更像一个学生而非观测者，直到30岁之后还在大学里研修各种课程。在意大利的一些大学里，他特别关注数学、天文学、医学、法学和神学的经典。也正是在意大利，他首次探讨了日后与其名字相连的毕达哥拉斯的相关理论。<sup>①</sup>哥白尼具有一定的绘画技能，

<sup>①</sup> 这里所谓“与其名字相连”的理论指日心说，所谓“毕达哥拉斯的相关理论”则应指毕达哥拉斯认为地球围绕着“中央火”运行的宇宙观。——译者注

这使他能够将设想转化为图像,使之具备科学的力量。尽管他确实观测过一些诸如日月食和行星逆行的天象,但事实上并非一个观测天文学家,他的成果基本上来自纯粹的理论研究。

哥白尼告诉我们,他试图通过寻找数学家们关于天体运行理论的自相矛盾之处,建立起一个新的理论。他考虑了旧体系中天体的各种运行,断定其遗漏了某些关键的因素,并从毕达哥拉斯学派的菲洛劳斯和阿利斯塔克的思想中得到启发。他说:

因此我想,我也可以用地球有某种运动的假设,来确定是否可以找到比我的先行者更可靠的对天球运行的解释。于是,假定地球具有我在本书后面所赋予的那些运动,我经过长期、认真的研究终于发现:如果把其他行星的运动与地球的轨道运行联系在一起,并按每颗行星的运转来计算,那么不仅可以对所有的行星和球体得出它们的观测现象,还可以使它们的顺序和大小以及苍穹本身都联系在一起,以致不能移动某一部分的任何东西而不在其他部分和整个宇宙中引起混乱。(哥白尼:《天体运行论》前言)<sup>①</sup>

哥白尼的这个新的或革新的体系可谓是古代体系的大幅回归。它仍然假定宇宙是球形的、有限的,最外层是恒星天球;它仍然假定天体的运动始终是沿着圆形轨道并且是匀速的;它仍然需要使用本轮和偏心圆。事实上,弥尔顿在托勒密体系下对世界的描绘,与用哥白尼学说在“解释现象”方面并无不同。在《失乐园》中,天使长拉斐尔说道:

181

天体

像是一本放在你面前的上帝之书,  
在那上面可以读到他的神奇作品,  
知道他的季节、年、月、日、时。  
想知道这个知识,只要判断准确,  
即使说得天动或地动,都无关重要……

随后,又谈到那些做出猜想的人们

<sup>①</sup> 此处翻译引自哥白尼:《天球运行论》,叶式辉译,北京大学出版社2006年版,第22页。——译者注

模型天体

在模拟天体，测量星宿时，  
胡思乱想怎样使用那庞大的构架，  
怎样建筑、怎样拆毁、发明一套学说，  
说什么用同心圆和偏心圆，  
均轮和本轮，圈上的圈。

——《失乐园》第八卷，第70—84页

相较于旧的体系，哥白尼体系素以简洁广为人知，然而这种印象更多地来自他的那幅著名的插图(图6.1)而非其著作本身，事实却并非如此。尽管他已经 182  
已经削减了用来解释天体运动的各种圆的个数，但他仍然使用了不少于34个之多！

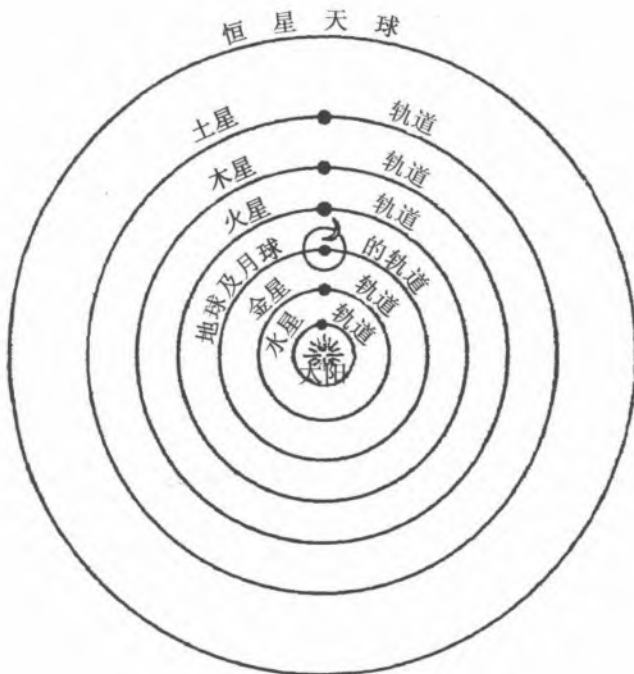


图6.1 哥白尼的世界体系

事实上，哥白尼学说对当时思想的直接影响远非人们以为的那样大。在一代人或更长的时期内，人们对其学说的关注可谓少得惊人，并且还总是不甚友



善。宗教是那个时代的人们关注的焦点。从本质上来说，宗教总是非常保守的，任何头等重要的科学进步都会给其信徒带来思想上的波动。尽管如此，基督教教义还是在圣托马斯·阿奎那的引导下，与亚里士多德的知识体系结合起来。在整个中世纪里，地球是个球形的观念都被当作教义在学校里传授，但是倘若以《圣经》的记述作为标准，将太阳而非地球作为宇宙的中心并不比这个观念来得更加离经叛道。既然基督教的教义能够通过调适自身来容纳其中一个，那么又为何不能同样容纳另一个呢？然而还存在某些其他的因素，阻碍着对哥白尼体系的接纳。

其中之一是乔尔丹诺·布鲁诺对当时宗教教义的极大撼动。

另一个则与当时对物质世界本性的普遍观念相关。这是一个相信星占术的时代，星占术也是大学课程的一部分。

此时外层宇宙天球会影响内层天球的观念已经成为星占术的基础教义，影响着思维的各个方面，并深深固化于人们的言说内容和表达方式中，其影响至今犹在，诸如“这个计划注定失败”（直译为“这个计划是在邪恶的星星之下形成的”，The scheme was conceived under an evil star），“他正时运亨通”（His fortune is in the ascendant），“乐不可支”（The seventh heaven of delight），“他上升到了一个更高的境界”（He has gone to a higher sphere），“英国的势力范围”（The British sphere of influence），“你能系住昴星的结么？”（Canst thou bind the sweet influences of the Pleiades, Job xxxviii, 31）<sup>①</sup>，“他患了流感”（He has the influenza）等说法即是例子。然而，所有这些说法背后所依据的观念，以及受到这些观念影响的人们，现在都受到了哥白尼学说的烦扰——地球不再是整个宇宙天球系统的中心，整个星占体系也随之无法正常工作。这样的颠覆让人无法安然接受。

183 在哥白尼去世三年后，丹麦人第谷·布拉赫（1546—1601年）出生了。与哥白尼不同，他首先是一个耐心而细致的观测者。在恩主的资助下，他建造了一个宏伟的天文台，在其中辛勤工作了21年，系统地进行天文观测，试图修正现有的

<sup>①</sup> 此句出自《旧约·约伯记》第二十八卷，为上帝对约伯所说，意思是上帝的意念是人所不能参透的。昴星是一个星团，这个星团的恒星都朝着一个方向走，而且速度一致，所以它们之间的相对位置是不变的，就像一个结一样解不开。——译者注

宇宙理论。他的观测记录广泛且精确，在当时冠绝群伦。其实际的科学成就及贡献可以概括如下。

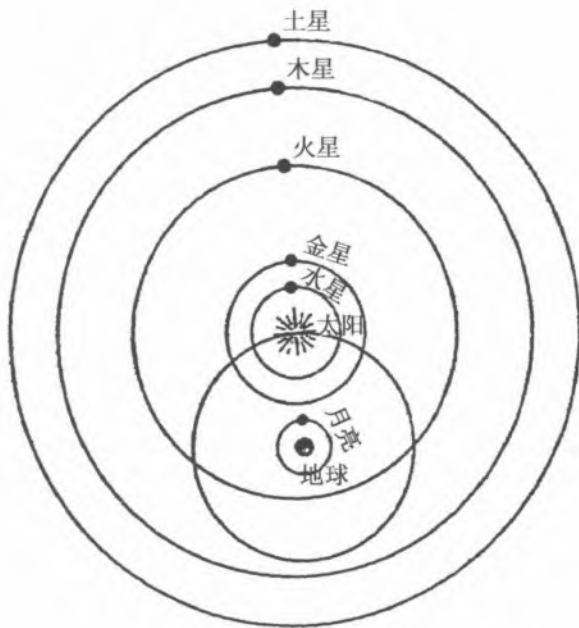


图 6.2 第谷的世界体系

第一，他提出了一个新的行星体系，地球仍然位于月球、太阳轨道和众恒星的中心，但太阳却位于众行星轨道的中心，带领着众行星每 24 小时围绕地球运行一周。其中，水星和金星围绕太阳运行的轨道小于太阳围绕地球运行的轨道，另外三个行星围绕太阳运行的轨道则大于太阳围绕地球运行的轨道(图 6.2)。这个体系在数学上与哥白尼的体系起着相同的作用。

第二，他通过测量一颗彗星的视差，证明了这颗彗星的位置在月球以外，也 184 即处于亚里士多德“月上区”的元素世界之外，这就意味着在亚里士多德的不变天球区发生了变化，因此对其学说形成了挑战(1577 年)。

第三，他提出，彗星的运行轨迹可能“并非圆形的，而是有些椭圆”。这是人们首次提出一个天体的运行轨迹并非圆形(1577 年)。

第四，他非常精确地描述了月球运行过程中的摄动(1599 年)。这还有待于后世的天学家们在新的天文学体系中去解释。

第五,其关于行星的丰富观测资料,使开普勒揭开行星轨道的实际性质成为可能。

第谷用圆这种完美的图形表现宇宙的结构,是毕达哥拉斯精神的最后一次伟大的尝试。在随后的造反世纪里,人们开始通过更直接的证据来探索世界的性质。新科学所关心的不再是完美的图形、认识论、实相的本质、研究的原则,而是来自感官的证据。

## 第七章 造反的世纪——推翻亚里士多德， 尝试新的综合(1600—1700年)

### 无限宇宙的信条

哥白尼在波兰工作，那里是欧洲文明向东方进军的前哨阵地。英格兰则位于欧洲的西缘，知识复兴的伟大潮流还未将其席卷净尽，于是哥白尼的著作在那里首先以哲学作品的形式被翻译了出来。 185

1583年，乔尔丹诺·布鲁诺(1547—1600年)来到伦敦。他出生于那不勒斯附近的诺拉，是一名“变节”的教士。这一年他37岁，已经先后在里昂、图卢兹、蒙彼利埃和巴黎等地的大学担任过教职。在这些当时的学术中心，他那不知疲倦的斗争精神以及对事业的漠不关心使得自己处处受敌。他终其一生都对我们所遵从的常识表现出一种高傲的漠视。他惯于使用其部分发明的“贫瘠”逻辑到处讲演，整个人生也因此危机四伏。而那部分借鉴来的荒谬的记忆术法则直接导致了他的被捕。<sup>①</sup>这些都注定了这个我行我素的天才那最后的悲剧结局。

正是在英格兰，布鲁诺经过短短数月的苦思，最终建立起自己融贯的哲学体系。1584年，他带着身处威尼斯的错觉，在伦敦出版了三部用意大利文写就的迷

---

<sup>①</sup> 1591年，布鲁诺受威尼斯贵族乔凡尼·莫森尼戈的邀请回到意大利。后者希望能够从布鲁诺那里学得记忆术的“魔术秘密”，但在尝试失败后向异端审问法官告发了布鲁诺。此事件成为布鲁诺遇害的直接原因。——译者注

你“大作”：《灰堆上的华宴》(*The Ash-Wednesday Supper, Cena de le Ceneri*)、《论原因、本原与太一》(*On Cause, Principle, and Unity*)、《论无限、宇宙与诸世界》(*On the Infinite Universe and its Worlds*)。这些小册子几乎囊括了他所有让人印象深刻的哲学观点，内容基本上以库萨的尼古拉斯和哥白尼的学说为里表。从中我们可以看到，其思想的核心部分由一组信条组成，这些信条不仅包括地球是围绕太阳运行的，还包括：太阳自身也在移动，宇宙间没有一个质点是完全静止的；众恒星距太阳系非常遥远但距离各有不同，它们是各自所在星系的中心；  
186 宇宙是有限的，并且因其有限而无法提供固定性的标准，我们所在的行星系统也因此绝非宇宙的中心。布鲁诺写道：

诺兰坚持认为，世界是有限的，因此没有物体可以说是处于世界的中心或边界或两个边界之间。任何物体的位置都是相对于其他物体的，其所处的“边界”也是主观认定的。因此，自然物体的运动轨迹也并非围绕一个中心的简单圆形。（《灰堆上的华宴》）

我们所见的这些宇宙中的无穷世界，并非如囿于某个容器，而是被一个驱动它们的直接原因联结在一起。此外，由于是普遍的灵魂创造了千差万别的存在并使自身无处不在，因此包含在无限和任何事物中的宇宙本质都是一般的，我们作为其中的一员也是如此。（《论无限、宇宙与诸世界》）

然而，在这样的世界里，天堂和炼狱又将被置于何处？那个无处不在的“普遍的灵魂”，难道不是继承了斯多葛学派相关学说的新柏拉图主义的一次“借尸还魂”？布鲁诺的“宇宙”无论时空皆为无限，其灵魂亦无处不在，这就完全不同于中世纪基督教哲学中的那个“被创造的宇宙”。首先，后者的“造物主”必然不同于前者的自然创造者。其次，后者必定以“人”(Man)为中心，因为在所有世俗的创造物中，唯有“人”被注入了“神圣的精神”(Divine Spirit)。布鲁诺的思想给教会的信仰造成了干扰，与那位保守的学院派数学家——哥白尼的任何企图相比，他所带来的显然是一场更大的革命。

还有一些人，深受布鲁诺思想中的异教徒色彩刺激，将关注的焦点放在了“地球围绕太阳运行”这个与《圣经》相悖的细枝末节上。布鲁诺的这个想法显然来自哥白尼，而后者的著作其时还未被禁止。然而，哥白尼是从数学角度对当时

的世界体系进行调整的,布鲁诺的观点与之相比则显然蕴含了更多的深意。倘若宇宙是有限的,无论其是不是球形,地球是不是中心,都能够设想它是被创造出来的,而一旦宇宙是无限的,就很难如此设想了。考虑到创世说是基督教——187  
至少是那个时代的基督教——的根基,我们就不难理解那时的基督教对布鲁诺所进行的镇压。1600年,在宗教裁判所的牢狱中度过七年的时光后,布鲁诺被烧死在火刑柱上。他的哲学著作被查禁,但思想的种子却已然悄悄种下。

布鲁诺悲壮地死去了,没有奢望也没有关心是否会有追随者,其学说亦很快被中世纪的基督教正统思想所淹没。作为一个科学人,他在22岁之后便对这个世界有了新的看法,在他眼中,世界不再是那个已知的图像化的体系,大框架已经明确而只有细节需要去研究,相反地,它没有边界并充满了无限的可能,其各部分都由数学法则所联系,其物质基础正在被人们一步一步地揭示出来。

诚然,普遍规律的观点从来没有占据所有科学人的全部思想,过去如此,现在也如是。大部分的科学人都保留了一些以经验为主导的知识门类,并在其中限制普遍规律观的滥用。但是,无论他们从何时和何地开始约束这种想法,注定要在其时其地同样对待他们的信仰,即便是中世纪里的那些折中方案也无法避免。因此,1584年布鲁诺在伦敦出版的那三个小册子标志了从中世纪到现代思想——特别是现代科学思想的真正转变。这个转变姗姗来迟,在某些领域和某些头脑中到来得更晚,但一旦这些小册子得以广泛传播,其到来便不可避免。因此,尽管遭受了各种各样的阻挠,它们最终还是完成了自己的使命。布鲁诺在被审判时说得好:“对我进行审判的你们,或许更恐惧被你们审判的我!”

在此,我们可以将布鲁诺的思想概括如下:(1)我们的世界以外还存在着其他的世界。宇宙是由许多同我们所在的世界相似的世界组成的。我们的世界并非宇宙的中心。(2)宇宙在时空两方面都是无限的。这意味着在时间或空间或在时空中运动的质点,其确定性的概念必须要由其他被主观赋予确定性的质点来决定。(3)宇宙中处处“弥漫”着“普遍的灵魂”。这意味着宇宙各部分的运行188  
具有同一性,进而更容易让人接受“自然秩序一致性”的概念。

此外重要的是,我们还必须记住,布鲁诺的观点并非基于观察或实验。他所贡献的是一个哲学的而非科学的方法或体系,并且事实上,它是对库萨的尼古拉斯思想的进一步发展。来自尼古拉斯那冷静头脑的空间、运动、思想的相对性法



则,到了充满激情的布鲁诺这里,却变成了炽热的、勾魂摄魄的信仰。

追踪布鲁诺思想的具体流布过程并非易事。其生活是模糊的,其思想的传播是秘密的,其影响也是隐晦的、间接的,并且不被承认。然而,他的思想观念却会不经意间出现在人们意料不到的地方。下面就是一个这样的例子。

1600年,伦敦出现了一部名为《论磁、磁体,以及作为巨大磁体的地球,一种新的生理学》(*On the Magnet and on Magnetic Bodies and Concerning That Great Magnet, the Earth, a New Physiology*)的拉丁文著作,作者威廉·吉尔伯特(William Gilbert, 1546—1603年)是伊丽莎白女王的御医,地位显赫,品行端正,并且受人尊敬。这本书被视为首部在英国出版的对科学做出重要贡献的原创作品,赢得了弗朗西斯·培根和伽利略的推崇。尽管吉尔伯特的这部著作仍然残留着中世纪的元素,但主要部分来自他本人对磁性质的调查研究,其方法完全是现代的,其见解完全来自实验,堪称开启了物理研究的新纪元。书中记载了许多实验,辅以清晰的图示说明,系统地研究了天然磁石和磁体的性质、罗盘指针的指向与地球极点的关系,以及地球磁场的变化、磁倾角和磁偏角。

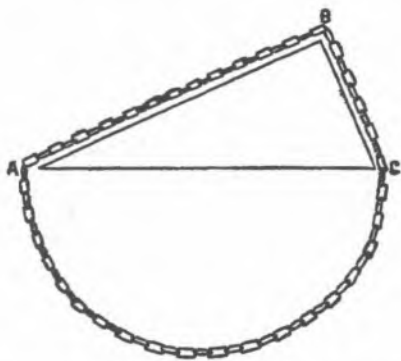
吉尔伯特在书的最后一部分阐述了宇宙体系。尽管没有提到布鲁诺的名字,但他的宇宙与布鲁诺的完全相同。两人必定在伊丽莎白的宫中有过谋面,或是在189 菲利普·锡德尼爵士(Sir Philip Sidney, 1554—1586年)的社交聚会中有过交流。值得注意的是,吉尔伯特的这部著作正是在布鲁诺受刑那年出版的,其时布鲁诺无论在思想观点还是表达方式上皆不见容于英格兰的新教和意大利的天主教。《论磁》是吉尔伯特生前唯一公开出版的著作,但在他去世很久之后,他的一位尚在人世的兄弟出版了他的另一部著作《论我们的月下世界,一种新的哲学》(*On Our Sublunary World, a New Philosophy*)。在这本书中,他引用并详细阐发了布鲁诺的观点:众恒星与我们所在星系之间的距离各有不同,它们是各自所在星系的中心。

17世纪在焚烧乔尔丹诺的熊熊烈火中赫然揭开了序幕。这个可鄙的事件预示了即将到来的是一个在科学发现的数量和重要性方面都无与伦比的世纪。放眼17世纪的众多科学巨著可以发现,此时科学的主要学科门类已经开始清晰地分化,观察和实验作为唯一能够探索到自然法则的方法,得到了前所未有的承认。而这个世纪的第一代科学人们,将亲眼目睹数学方法一步步地发展成为获得新发现的有力工具。

## 数学成为物理研究的工具

在新宇宙学和新物理学发展出精确概念的过程中,数学表达方式的改进起到了主要的作用。布鲁诺所攻击的亚里士多德体系已经摇摇欲坠,将其推翻成为新知识发展的需要。这个造反的世纪找到了一条用抽象的数值来定性世界的新路,并将一个定量的具象世界遗赠给后世。曾经在神殿中供奉柏拉图“理念”的“奥林匹斯山”加强了这些观念,数学成为新神祇们的信使。

事实上,这种情况在16世纪后期便已初露端倪。法国律师弗朗索瓦·韦达(Francois Viète, 1540—1603年)是首批使用字母表达数字的人之一。他将代数引入几何学,为解析三角学奠定了基础(1591年)。几乎在同时,西蒙·斯台文(Simon Stevin, 1548—1620年)使用十进制来表达分数(1586年)。这个天才还 190  
先于伽利略做了不同质量的物体同时下落并同时落地的实验(1586年)。他的名字还与力的分解方法、稳定平衡和不稳定平衡、斜面物体平衡法则,以及“流体静力学悖论”(hydrostatic paradox)联系在一起。其中的“流体静力学悖论”指出,液体对盛放液体的容器的底所施加的力,只取决于承受压力的面积及其上液柱的高度,而与容器的形状无关。斯台文还能够计算在盛放液体的容器中任何指定部分的容



一个直立的三角形,其直角相对的边保持水平,环绕着直角悬挂一根链条。链条将会平衡,因为若不平衡,链条就将一直处于运动的状态。现移除链条的悬垂部分,链条依然保持平衡。因此,如果按比例地水平截取两个斜面(相应截取的链条也是成比例的),则所截得的两个斜面上的链条重量是相互平衡的。

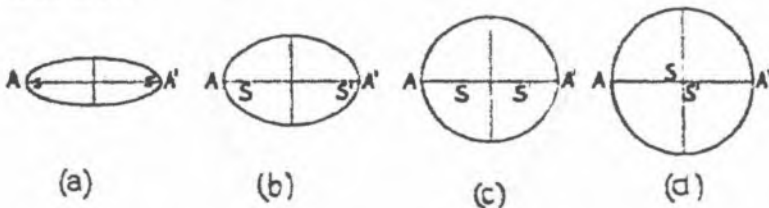
图 7.1 斯台文关于斜面物体平衡条件的证明

器壁所受的压力。他为整个流体静力学奠定了必要的基础(1586年)。<sup>①</sup>

在十进制由斯台文引入分数并得到进一步改进后,数学计算变得更加容易。然而,此时的计算手段仍旧满足不了天文学研究的需要,计算仿佛是一项永不休止的任务,严重阻碍着天文学的发展,如何有效地缓解这种情况便成了亟待解决的问题。也因此,纳皮尔发明的对数甫一问世,便得到了人们的热烈欢迎。

约翰·纳皮尔(1550—1617年)是苏格兰梅奇斯顿(Merchiston)的领主,在191 1573年着手进行数学研究,试图将当时的代数知识体系化。他在最早的一部著作中曾提到自己发现了一个求包括虚根在内的所有阶根的一般方法。1594年,他构想出对数的法则,其后更是用去20年的时间将其进一步完善,计算出了标准的对数表。他还发明了现代分数标记符号。1614年,纳皮尔在爱丁堡出版了拉丁文的《关于奇妙的对数表之描述》(*Description of the Marvellous Canon of Logarithms*)。此外,他还长期致力于消除计算的沉闷乏味,为此写出了《筹算》(1617年)。书中描述了“纳皮尔筹算”(Napier's bones),这是一种用以简化乘除运算的工具,其后被人们使用了将近一个世纪,甚至比他的对数更受人关注。

在对一部13世纪的数学家维提罗的著作的评注中(1604年),开普勒为后世天文学的发展做出了具有重大意义的贡献。他认为圆锥截面有五种,分别是线耦(line-pair)、双曲线、抛物线、椭圆和圆。为了标示出这些曲线的性质,他将与其相关的基本点命名为“焦点”(foci)。其中,圆的焦点重合在圆心,椭圆和双曲线有两个与中心等距的焦点,抛物线也有两个焦点,一个位于抛物线所包围的区域内,另一个则位于对称轴上的无穷远处,在抛物线所包围的区域内或区域外(图7.2、3.6、2.1)。



保持主轴  $AA'$  的长度不变,随着两个焦点  $S$  和  $S'$  不断靠近直至重合,可以构造出一系列的椭圆形。图 3.6 也表明了这一过程。

图 7.2 圆形是椭圆形的一个特例

<sup>①</sup> 根据作者在此处所标的年份,应指斯台文在 1586 年出版的《流体静力学基础》。——译者注

对于未来数学发展更为重要的是笛卡尔提出的思想。他在《几何学》(*Geometry*)中提出了分析方法(1637年)。其主要的创新之处在于将运动的概念引入了几何学。有一个著名的故事：一天，当惯于晚起的笛卡尔躺在床上时，看到一只苍蝇在屋角飞舞盘旋，他突然灵光一现，想到这只苍蝇在任何时刻的空间位置都可以由它与三个平面——两堵相邻的墙和天花板——的距离来确定，同理，假如将三维空间改为二维空间，那么平面上的一个点就能够由后世所称的“笛卡尔坐标系”来确定其位置。192

笛卡尔将曲线视为点的运动轨迹，点则是两条移动直线的交汇处，同时这两条直线又分别平行于另两条相互垂直的固定直线。点的移动描绘出曲线，而点与两条坐标轴的距离不断变化，以该特定曲线特征的方式表现出来。我们可以用这些距离建立起一个方程式，从中刻画出该曲线的一些性质。这个构想其后获得了无数的应用，并被每一个科学领域所采纳，曲线图就是其中人们最熟悉的应用。在我们今天所使用的数学符号中，还有一些重要的部分也要归功于笛卡尔。

相较于笛卡尔的所有技术性贡献，其基本的数学思想具有更深远的意义。他的分析方法(*analytical procedure*)显示了形与数的内在一致性——这是毕达哥拉斯和柏拉图曾经洞察到的，亚历山大里亚的学者们却偏重于将两者分离进行研究，而代数和几何在印度和阿拉伯的分别发展，西方在中世纪和15、16世纪时数学研究的总体趋势，都掩盖了这个重要的真理。尽管笛卡尔曾经宣称并不关心历史，他却将人们唤回这条毕达哥拉斯和柏拉图的旧途。将代数方法应用于几何学领域或许是精密科学发展史上最伟大的一步。笛卡尔本人也坚持这种数学研究的统一性：

所有最终调查研究皆要虑及规则和测量的学科都与数学相关，不管其测量的是数字、图形、星象、声音，还是其他的什么对象。因此应当有一门一般性的科学，即数学，来解释其他所有能够通过规则和测量来探究的科学，并将其视为独立于任何一个特殊学科的应用……它远比依赖它的学科更有用也更重要，理由之一是它同时包含了这些学科所致力研究的所有主题，以及很多其他的主题。(《指导哲学之原则》，1628年) 193

这种柏拉图式的观点明显意味着对亚里士多德思想长期统治的一种反动。

综合几何在 17 世纪伊始得到了自古典时代以来的真正发展,主导者是笛卡尔的同胞布莱士·帕斯卡(Blaise Pascal, 1623—1662 年)。他在数学理论,尤其是概率论方面做出了很多贡献,此外还发明了最早的计算器。

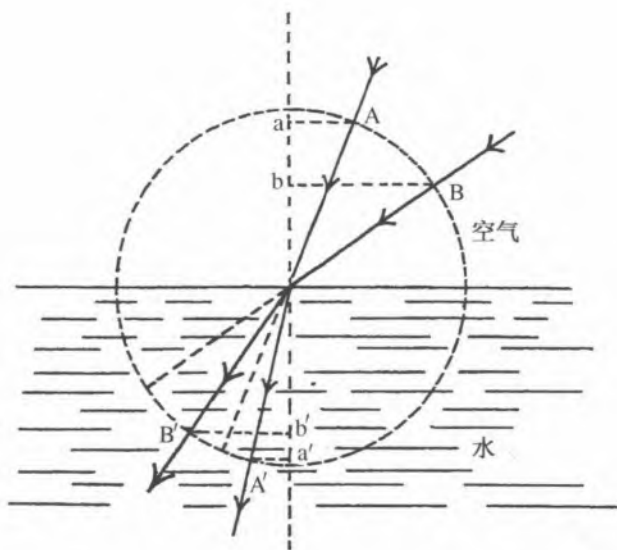
那个时代的另一位多才多艺的数学家是博学的牛津教授约翰·沃利斯(John Wallis, 1616—1703 年)。其首部数学巨著《无穷算术》(*Arithmetica Infinitorum*, 1655 年)包含了微分学的萌芽。牛顿在早年读过这本书,随后进一步发展了其中的二项式理论。沃利斯还写了本研究潮汐的数学书,在其中提出了“为了便于计算,可将地球和月球视为质量集中于重心的单体”的设想。他的《代数学》(1657 年)蕴含了在几何学中解释假想质量的思想,这对分析方法是一个重要的发展。沃利斯还提出用符号“ $\infty$ ”来表示无穷大。

博学的克里斯蒂安·惠更斯(Christian Huygens, 1629—1695 年)是另一位更年轻的数学天才。他的数学才能在早期曾受到笛卡尔的瞩目,后者预言了他未来的辉煌。惠更斯在 20 岁之前就在求圆和圆锥曲线的面积方面卓有建树(1651—1654 年)。他还将其数学能力应用在了诸如光学、天文学、力学、光的理论等其他方面,但也因此错过了一些按其能力所应得的荣誉。

194 数学很早就开始影响光学,即便在中世纪,光学也是数学家们偏爱的话题。其中主要的问题是折射定律的性质。托勒密、阿尔哈曾、维提罗以及他们在中世纪的追随者们都注意到,当光线从密度较低的介质进入密度较高的介质时会发生弯折或“折射”(refracted)。在一篇关于维提罗的评注中,开普勒对某些特殊情况下的“折射”进行了测量,但未能得到一个普遍的定律(1604 年)。荷兰人威里布罗德·斯涅耳(Willibrord Snell, 1591—1626 年)最终成功地归纳出了这个定律。笛卡尔提出了一个更为流行的定律表达形式,但在出版时没有说明其来源(1637 年)。

我们可以用一张简单的示意图来说明这个定律。如图 7.3,光线  $AA'$  和  $BB'$  以不同的角度从空气进入水中,随后都将向与水平面垂直的虚线方向弯折,根据

195 两者弯折的角度所得到的比率  $\frac{A'a'}{Aa}$  和  $\frac{B'b'}{Bb}$  相等。对于水来说,这个比率是 3 : 4, 即所谓的“水的折射率”。每一种物质都有其特有的折射率。例如,人们很快就发现了,不同种类的玻璃具有不同的折射率。



光线从空气进入一个密度比空气更大的介质,会以一个确定的值向垂直方向弯折。设光线  $AA'$  和  $BB'$  以任意角度从空气进入相应介质,总能得到  $\frac{A'a'}{Aa} = \frac{B'b'}{Bb}$ 。这个比率因介质的不同而不同,其数值越小,该介质的“折射能力”就越大。

图 7.3 斯涅耳定律

光的折射定律极大地影响了光学仪器的制造,而伽利略则成为光学仪器制造业的开山祖师(1609年)。开普勒研究了伽利略制作的复合透镜光学系统,首次以清晰易懂的数学形式解释了望远镜和显微镜的工作原理(1611年)。笛卡尔进一步发展了开普勒的工作,在折射定律的基础上发展出一套彩虹的几何学解释理论。惠更斯同样也“染指”了折射的研究,并使用相关的知识改进透镜,制造出清晰度前所未有的望远镜(1655年)。

如果说光学的发展得益于数学的推动,那么力学的发展同样如此。在后文中我们将看到,一个人的工作影响了整个领域的发展,他就是下面将要登场的伽利略。

## 数理的综合

伽利略·伽利雷(Galileo Galilei, 1564—1642年)所从事的智力活动持久且无与伦比。在其天才的产物中,很多立即就得到了实际的应用,更多的则潜移默



化地影响了当时的科学观念,还有一些甚至强烈冲击和颠覆了当时人们的常识和信仰。

伽利略在早期受过经院哲学和亚里士多德学说的严格训练。1585年,他开始着手对亚里士多德的力学理论进行系统的实验考察,至1590年便已对亚里士多德的物理学产生了许多异议。特别是他积累了很多落体实验的记录,不但在大学课堂上宣讲,还于1591年在比萨斜塔上做了演示,通过这个非常著名的实验,向人们揭示了亚里士多德所犯下的错误。两个物体,一个重1磅,另一个重196 100磅,同时从斜塔的顶部下落,却同时碰触地面——这样的结果,又如何用亚里士多德那“物体的下落速度与其重量成正比”的理论来解释呢?<sup>①</sup>

伽利略一生都在孜孜不倦地进行物理研究。在他所取得的成就中,最广为人知的莫过于那些伟大的天文学发现。但是,仅仅从这些数不清的、重要且辉煌的发现中去理解伽利略在思想史上的全部意义还远远不够,更重要的是他所开启的那种对待客观世界的新态度,以及与这种新态度相对应的、由他所建立起来的那个不朽的数理体系。正是通过他的工作,在我们的头脑中形成了一个新的世界图像,各种可计算的力和可测量的物体在其中相互作用。也正是通过他的工作,实验成为科学研究中的重要部分。拉格朗日曾经说:

动力学之成为一门科学,要全部归功于现代人。伽利略为之奠定了基础。在他之前,哲学家们认为力只对处在平衡状态的物体起作用。尽管他们也模糊地认识到落体的加速度和抛射体的曲线运动都是受到了重力的持续作用,但没有人从这些现象中成功地总结出规律。伽利略迈出了重要的第一步,并由此开创出一条新的康庄大道,力学由此成为一门科学。(《分析力学》,1788年)

伽利略是在其伟大的《关于两门新科学的对话》(*Discourses Concerning Two New Sciences*, 1638年)中提出其观点的,这个人的一小步却使这门学科迈出了从中世纪通向现代的一大步。这里的两门新科学分别关于“强度和抗断裂性”以及“匀速运动、加速运动、剧烈运动或抛体运动”。

<sup>①</sup> 这里所说的这个在比萨斜塔上做落体实验的故事,依照的是传统的版本,事实上却没有令人信服的证据。不过却有充足的证据显示,伽利略至迟在1590年,就已经形成了故事中所说的观点。



书的第一部分主要关于固体的抗断裂性,以及形成强度的原因。这部分最有价值的地方在于突发性实验(incidental experiment)和对物体通过阻滞介质的观察。作者讨论了当时流行的一种观点,即具有同样设计的机械,如果尺寸不同,则其强度与其线性尺寸成正比。他指出,较大的机械与较小的机械在强度上处处相等,但在剧烈动作下,较大的机械的强度却反而不及较小的机械——这里所讨论的“机械”还包括动物体。 197

在解释了纤维绳的强度成因后,伽利略转而探讨那些不具有纤维结构(诸如石头和金属等物质)所具有的强度。一根悬挂的玻璃杆或金属杆,当其一端固定,另一端受力时,它为何没有被拉断?伽利略解释说,这要归功于所谓的“自然厌恶真空”法则,由于两个平面发生突然分离时会产生真空,因此悬杆没有被拉断的原因是避免真空的出现。当然,在人们认识到所有的物体都由非常细小的颗粒构成后,关于物体强度的成因有了进一步的解释:每一对细小颗粒之间都存在着抗拒分离的属性。

沿着伽利略的这个思路进一步推理,就会导向一个非常重要的实验,其作用是测量所谓的“真空的力量”。人们注意到,水泵在水位低于其阀门 35 英尺以下时便不再工作。伽利略曾经看似戏谑实则认真地评论过这个现象:自然对真空的厌恶不超过 35 英尺。他使用了当时流行的吸力(suction)概念,将水柱类比于一根顶端固定的悬挂的金属棒,长度能够不断延长,直到其重量超过吸力而发生断裂。让人意外的是,尽管伽利略深谙空气具有重量,却没能看出可以用它来简单地解释这个现象。最终是托里拆利给出了更完整的解释。

亚里士多德的运动学说也得到了检验,特别是其中关于下落物体的速度与其重量成正比、与通过介质的密度成反比的理论。检验的结果,是落体运动定律取代了亚里士多德的假说,成为现代动力学的基础。

对固体断裂阻力的思考则开启了关于桁梁强度的研究。桁梁的强度在直接牵拉时很大,但受到弯曲力时则要小得多。因此,如果一个铁棒能够承受 1 000 磅的纵向拉力,将其一端固定在墙上并保持水平,则 50 磅的力就会让其断裂。 198

作为研究的基础,伽利略设想一个桁梁的所有部分,其抵抗横向断裂的内聚力,都可以视为作用在该部位的重心处,并且断裂总是发生在最低点。从该理论能够导出一个优美的结论:一个强度各处相同的桁梁,其形状应该是抛物线的顶点距支点最远的抛物柱面。伽利略建议,可以将一根自重较重的柔韧绳子挂在

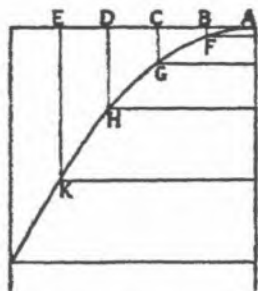
两根钉子上,中间自然下垂的部分即可模拟这个形状。

然而在牛顿之前,人们还无法计算一个应力系统下的桁梁曲率,即便是更简单一些的问题,伽利略的解决方案也不尽理想。由于没有考虑到作用在每个横截面上的拉力和压缩力之间的平衡,伽利略关于桁梁的理论并不正确。

伽利略用几何方法从匀速和加速运动现象中推导出定律和公式,将其进一步发展陈述更为具体的惯性定律。匀加速运动被定义为一个物体在相等的时间内增速也相等的运动。

伽利略从这些理论中得到了一项应用。他测量了物体从斜面上滑落的时间,认为无论斜面的坡度多大,只要下降的高度相等,物体的速度也就相等。尽管此时伽利略还不能用数学来证明<sup>①</sup>,但他毕竟用实验进行了小心的验证。

随之而来的问题便是:当一个物体的运动可视为两种不同的运动——匀速直线运动和加速运动——的合成时,该运动的性质究竟如何?伽利略认为抛体运动就是这样一个例子,其在水平方向和垂直方向上的运动是独立的,其规律如下:一个水平方向投射的物体,尽管持续受到重力和其他阻力的作用,其水平方向上的直线运动却仍将继续;同时,重力作用在投射物体上的作用方向是竖直向下的,既不会增加也不会减少物体在水平方向上的运动速率,因此,该物体在开始运动后不管运动轨迹和方向如何,在水平方向上的运动距离只决定于其运动的时间。伽利略证明了该物体的运动轨迹在几何上具有抛物线的性质(图 7.4)。



图中线段 AB、BC、CD 等代表了一个投射物体于水平方向上在相等时间内经过的距离,线段 BF、CG、DH 等的长度则与时间的平方成正比。物体实际的运动轨迹 AFGH 是一条抛物线。

图 7.4 伽利略追踪投射物运动轨迹的方法

<sup>①</sup> 据维维安尼说,他是在 1639 年加入伽利略门下不久使导师关注这个问题的。就在当晚,伽利略于床上辗转无眠,随后便想出了相应的数学证明。相关内容记载于《对话》的后续版本。

伽利略制作了一个表格,罗列了物体以任意方向抛射所形成的抛物线的位置和面积,揭示出当抛射角为45度时,物体在水平方向上的运动距离最大。在这里,他实际上使用了微分学或流数术的原理。假使纯数学理论对于伽利略具有同数学应用一样的吸引力,发明微积分的殊荣或许就不会属于牛顿和莱布尼茨了。

就在1636年完成《对话》之后,伽利略又立即投入到其他的研究中,但直到辞世也未能完成它们。在这些研究中,他已经接近得出日后最早出现在牛顿《原理》(1687年)中的力与运动相互依存的法则——伽利略不仅仅为牛顿开辟了道路,还为他提供了大量的理论“素材”。因此,牛顿第一运动定律“任何物体都要保持匀速直线运动或静止状态,直到外力迫使它改变运动状态为止”可谓是对伽利略匀速直线运动理论的概括。从这条定律我们可以知道,既然我们所看到的任何地球表面的运动都将终止,那么对于那些诸如天体所作的无休止的运动,就必然伴随着不停的消耗和不间断的力的作用,也由此可以推断,静止才是万物的“天然状态”。我们还可以进一步领会到,物体其实无所谓处于静止状态还是匀速直线运动状态,都同样能够保持其状态,只有外力作用才能使其发生改变。 200

牛顿第二运动定律“任何运动的变化都与造成该变化的力成比例,其方向与该力所施加的方向相同”也与伽利略的抛物理论相关。在此之前,人们都普遍认为一个物体不会同时受到一个以上的力的影响。

但是现在情况发生了变化。力的合成法则的建立,使得那些关于地球转动的最难以应付的诘难有了决定性的回答。伽利略在其《两大世界体系的对话》(1632年)中使用了这条法则。然而,由于没有注意到质量和重量之间的区别,他没能发现可以通过物体的加速度来计算产生该运动的力的大小。

至于牛顿第三运动定律“物体之间的作用力与反作用力总是大小相等并且方向相反”,我们也能够从伽利略的诸多研究中找到踪迹,譬如他的斜面理论,以及他对动量的定义。早在年轻时就已完成但在去世后才出版的一本关于力学的小书中,伽利略就大致勾画出了定律的内容,并在人生最后阶段通过关于碰撞的理论进一步发展了它。

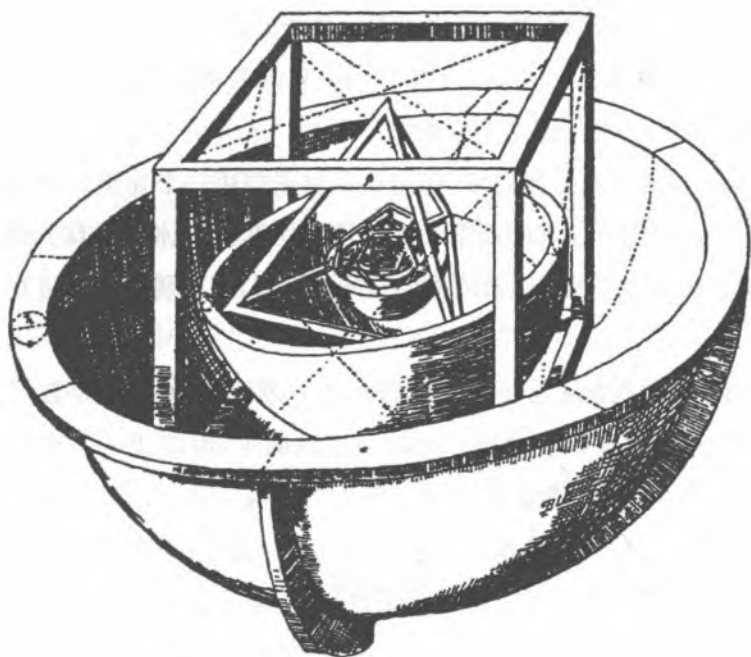
## 天上的“革命”

德国人约翰尼斯·开普勒(1571—1630年)首先将数学作为寻找天体运动规律的“经验”工具。他具有很强的神秘主义倾向,大部分作品在今天看来都透着让人无法卒读的愚昧,但另有一些残余的部分对于科学来说却具有至高的重要性。他的宇宙观从一开始就在本质上是柏拉图和毕达哥拉斯式的,相信世界及其各个组成部分都是遵循着一些诸如美、和谐等抽象的概念来进行安排的,并且必定能够用数和几何的形式来表达。这个信念支撑着他承受庞大得令人几乎难以置信的工作,他为此经年累月地进行着单调而沉闷的计算,没有助手,也没有诸如对数和计算器之类的工具,或许唯有炽热而不变的信仰才能够让人忍受这样的苦役。

当我们注意到开普勒的主要职业是一名星占学家时,我们就会发现其工作存在着一种新旧状态的过渡。他对星占学持有怀疑的态度,却试图以自身的经历去证实天体对人世具有影响。

开普勒很早便接受了哥白尼的观点,并转而质疑行星轨道的数量、大小和相互之间的关系。他曾经寻找将太阳系的所有成员联系在一起的法则,为此尝试过各种简单的数学联系,用假想的行星填补行星之间的空缺,在排除了众多构想后,最终找到了一种让自己满意的解决方案(1596年)。他指出,正如自然界只存在五种被称为“柏拉图几何体”的正多面体,在太阳系的六大行星之间也存在五种间隔。根据他的计算,六颗行星轨道所在的球面恰好能够依次套切这五种正多面体(图 7.5),亦即土星天球、正六面体、木星天球、正四面体、火星天球、正十二面体、地球天球、正二十面体、金星天球、正八面体、水星天球。

201 这是人类首次真正地用一种单一的体系探索宇宙的结构,我们完全有理由  
202 对此构想表示赞许。然而开普勒很快便发现自己在估算各个行星与太阳的距离  
203 时出现了错误!这个一元体系竟是建立在错误计算的基础上!一个寿命短暂的  
体系!但是,如同中世纪的那些思想家一样,开普勒仍然相信宇宙遵循着一种具有道德目的的设计,这些在我们看来是错误的新的数学关系,在他看来正是对其



这五种几何体同心且彼此套切,其关系如下:

最外层的球体标有土星符号。

正六面体。

标有木星符号的球体。

正四面体。

标有火星符号的球体。

正十二面体。

标有地球符号的球体。

正二十面体。

金星天球(几乎很难看清)。

正八面体。

水星天球。

位于最中心的太阳。

图 7.5 开普勒在《宇宙的神秘》(图宾根,1596年)<sup>①</sup>一书中通过图示说明了五种“柏拉图几何体”与行星轨道球面之间的假想关系

所努力寻找的神圣目的的证实。他将正多面体分为两等:第一等的是正六面体、正四面体和正十二面体,正二十面体和正八面体为第二等,两等之间存在着许多差别。作为“上帝按照自己形象所造物”的人的栖居之地,难道还有把地球置于两种不同等级的正多面体之间更合适的安排吗?开普勒具有毕达哥拉斯主义的

<sup>①</sup> 此图实际上采自该书 1621 年的第二版,因为第二版的这幅插图比第一版看上去要清晰一些。

信仰，而该体系正是对该信仰之诸多主要信条的证实！

开普勒不断地寻觅一个能够解释物质世界的简单的数学体系，在找到了一个后，便将其与自己的道德世界体系结合起来。这其实正反映了人类心智本身的工作方式。不管真实情况如何，我们似乎都渴望用一个完整而合理的体系去解释宇宙，因此我们所寻求的证据丝毫不能证明这样的体系与真实相一致。尽管如此，所有伟大的宗教还是试图提供这样的解释，只是将一切都进行了巧妙的“理性化”。

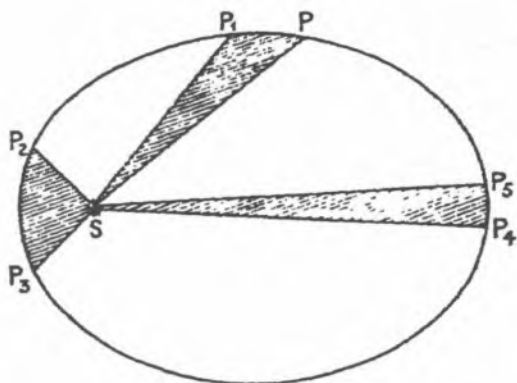
正是由于科学扰乱了这部分业已得到精心理性化的领域，宗教才会愤怒于科学的入侵。面对怒火，心智从二元的宇宙退缩了，但即便是那些残余的二元论，也常常被理性化的宗教试图丑化为邪恶的灵魂。我们今天能够轻易地识破这些伽利略和开普勒的反对者的愚蠢并将其视为傻瓜，卑劣的动机无疑会激起某些反对，但在这里，问题的实质却在于，反对所表达的是人类心智对于任何扰乱一元观念学说的抵触。一个关于宇宙的理性观念，无论是物质的还是道德的，已经在中世纪发展起来，想要放弃它无疑会带来痛苦的挣扎，要知道信仰并不必然带来智慧、学识或是远见。

204 尽管第一次尝试失败了，开普勒并未放弃他的人生目标，依然致力于将天文学建立在可论证的数学定律而非主观的假设之上。他仔细检视了各个行星和太阳的距离与行星绕日运行周期之间的关系，发现两者很明显地不成比例，地外行星的绕日运行速度要慢得多。这是为什么呢？他认为，是太阳内存在的一种移动的智慧驱动着群星运转，这种美德会因为距离的增加而变得稀薄，因此离太阳最近的星体感受到的驱动力最强，离得越远驱动力就越弱。可以看到，这样的措辞与牛顿之后的现代天文学有着多么大的差别！开普勒在这儿所使用的诸如“移动的智慧”和“美德的丧失”等说辞，正是在中世纪里所兴起的亚里士多德式语汇。中世纪的哲学家们——不论是基督教徒、穆斯林还是犹太人——都熟悉这些概念，阿奎那、阿维罗伊、迈蒙尼德等人也都清楚地了解何谓“移动行星的智慧”。他们完全是从古希腊的思想家那里“借用”了这个概念，并将其应用在自己的神学理论中。16和17世纪的人们对这个概念也是非常熟悉的。

就在16、17世纪之交，开普勒成为第谷的助手，工作亦因之有了巨大的飞跃。1601年，第谷临终时将自己的资料赠予了开普勒，于是在其后的九年内，后



者将主要的时间都贡献给了这些资料和光学研究, 其间发展出一个与光的折射定律相近的理论。1609年, 开普勒出版了自己最伟大的著作《新天文学——兼论火星的运行》(*New Astronomy with Commentaries on the Motions of Mars*)。这本书充满了重要的观点, 诸如“地球吸引一块石头的同时, 石头也在吸引地球”和“当任何第三者的影响可以忽略时, 两个相邻的物体总是彼此相互吸引”等看法都值得注意。书中还包括了一个潮汐与月球的吸引力相关的理论。但最值得注意也是最重要的是, 书中提出了堪称现代天文学最重要的定律, 这就是所谓的“开普勒第一和第二行星运动定律”: (1) 行星的公转轨道不是正圆而是椭圆, 太阳位于这个椭圆轨道的一个焦点上。(2) 行星在公转轨道上的运行不是匀速的, 在同样的时间里, 行星向径在其轨道平面上所扫过的面积相等(图 7.6)。



PP<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>P<sub>5</sub> 分别是行星在相等的时间内围绕太阳 S 公转的距离, SPP<sub>1</sub>、SP<sub>2</sub>P<sub>3</sub> 和 SP<sub>4</sub>P<sub>5</sub> 的面积相等。

图 7.6 行星在相等的时间内扫过的面积相等

九年后, 开普勒又在《天文学概要》(*Epitome Astronomiae*, 1618年)一书中 205 提出了他的第三行星运动定律: (3) 行星公转周期的平方与其同太阳距离的立方成正比。

人们在接受开普勒定律的同时便抛弃了亚里士多德的宇宙学。后者的基础被颠覆, 取而代之的是一种更为明晰的数学关系。经院派的亚里士多德哲学将变得像后来的神迹故事一样让官方的信仰难堪, 而对于教会来说, 想要清除这一份经院哲学的遗产如同后来想要摆脱神迹的重负一样困难。

我们还可以对开普勒的著作做一些更深入的思考。从根本上看, 将科学与



学术,或者更确切地说,将科学与传统进行分离是一个错误。希腊人曾经将研究圆锥曲线视为一种智力操练,认为他们所了解的这些图形——双曲线、抛物线、椭圆——都存在于并且只存在于头脑之中,在真实的世界中并没有对应的实物。但是现在,在2000年后,开普勒却揭示出这些古代的概念对应于同样用感官所揭示出的事物。因此,难道人的头脑所反映的不就是自然吗?一位伟大的科学史家说得好:“若是古希腊人没有‘培育’出圆锥曲线,那么开普勒就不会超越托勒密;若是古希腊人‘培育’出了动力学,那么开普勒就将取代牛顿。”(惠威尔<sup>①</sup>)

正如我们所知,动力学实际上是由开普勒的同时代人伽利略创立的。两人的性情和特点截然不同。德国新教徒更多的是一个神秘主义者和梦想家,而非一个观察者和实验者,其作品卷帙浩繁、数量众多,却几乎让人无法卒读;意大利天主教徒却与之相反,头脑清楚而冷静,实验技巧无与伦比,性格诙谐开朗,兼具让人惊叹的艺术和文学天赋,其作品每一部都意义非凡,甚至每一行字都意味深远。然而,两人都是真正的天才,共同支撑起用数学来描述整个宇宙的观念基础,他们不是敌人,而是伙伴和战友。

伽利略的天文学活动始于1604年。这一年,在蛇夫座方向的天空中出现了一个前所未有的发光体。伽利略证实这个发光体没有视差,这意味着无论从何处去观察,这个发光体在天空中的位置都不会发生变化。视差随着距离的增加而减小,在伽利略的时代,人们已经知道行星都有视差,但恒星却由于距离遥远而视差极小,以致当时的仪器都无法测量出来。现在这个发光体没有视差,意味着它位于与恒星一样遥远的天区。然而按照亚里士多德及其追随者们的理论,这片天区是永恒不变的,诸如流星和彗星等短暂易逝的天体被“指定”出现在更靠近地球的“不完美区”,一些罕见的新星也被认为出现于这片区域。伽利略的发现让永恒不变、亘古不朽的天区出现了变化,显然是对亚里士多德体系的一个打击,其严重程度几乎不亚于他在比萨斜塔上做的那个实验。

1609年,伽利略成功制造出两种仪器——望远镜和显微镜,为其后科学的发

<sup>①</sup> 即威廉·惠威尔(William Whewell, 1794—1866年),英国人,倡导归纳科学,也是“科学家”(scientist)一词的提出者,代表作有《归纳科学的哲学》。——译者注

展带来了深远的影响。1610年,他出版了一本24页的小册子《星空使者》207 (*Sidereus nuntius*),首次公布了自己通过望远镜获得的发现。在所有的科学文献中,还没有哪一部像这本小册子一样,区区24页的内容却包含了如此多的重要发现。

这本著名小册子的前半部分报告了作者对月球的观察结果。在望远镜的镜头里,月球的表面远非人们肉眼所见的那么光滑完美,它粗糙不平,布满了高山和深坑——伽利略根据前者顶端的亮度,估算出其“海拔”高度大约为4—5英里(图7.7),后者则被伽利略当作了河流、湖泊或海洋。



图7.7 伽利略在1609年看到的月球

伽利略对月球的观察与英国文学有着奇妙的联系。1638年,当年迈且双目失明的伽利略以宗教裁判所囚徒的名义居住在菲索里(Fiesole)时,弥尔顿拜访了他。这次会见激发过一些艺术家和作家的灵感。1658年,就在伽利略去世9年后,弥尔顿开始创作《失乐园》,直到1666年完成这部大作。尽管诗人在这部史诗中谨慎地采用了托勒密而非哥白尼的宇宙学,但依然提及了27年前所聆听到的新天文学。他在描绘撒旦的盾牌时写道:

圆圆的,坚实巨大又笨重的盾牌,  
背在背上。这又大又圆的劳什子,  
挂在他肩上像月亮,这个球面体,  
那托斯卡纳的艺术家<sup>①</sup>通过望远镜,  
夜晚从菲索里山顶或亚诺河谷观察时,  
在她斑斑点点的球面上,  
发现新陆地、新河流或者新山脉。

208

——《失乐园》,第286—291行

《星空使者》还详述了由望远镜所发现的此前尚不被人知的大量恒星,其数

<sup>①</sup> 此处“托斯卡纳的艺术家”指伽利略。——译者注

目至少 10 倍于已知的星表名册。那些显而易见的星群被发现包含了许多微弱的肉眼察觉不到的星体,部分银河、猎户座的一些朦胧斑块、昴星团以及其他的一些天区都被进一步分解为不同亮度的星群。

小册子的剩余部分报告了木星的卫星,这是伽利略在最初使用望远镜时的发现。这些天体的存在对于那个时代有着特殊的价值,不仅意味着小型的天体会围绕着更大的天体运转,行星可被视为太阳系的缩影,进而世界的构成是以哥白尼的太阳系为模型,还使得当时饱受争议的“多元世界”观念出现了新的转机。

此外伽利略还有一些新发现值得在此详细地讨论。其中重要的有对地内行星,特别是对金星的观察。当时对哥白尼的假说有一种基于实际观察的反对意见,认为如果行星像地球一样围绕太阳运转,那么可以预期的是它们被太阳光照射到的部分才会发亮,换言之,它们应当有着像月亮一样的相位变化。现在,伽利略确实观察到了金星的相位变化!

就在同一年,伽利略还考察了当时已知的最远行星——土星。他注意到了这颗行星的奇特外貌,但将其正确解释为环状物的却是后来的惠更斯。

很快伽利略又首次发现了太阳表面的黑子。他观察到这些黑点在靠近日盘边缘的同时不断地缩小,正确地将这个现象解释为因透视造成的短缩,指出这些  
209 黑子位于太阳光球的表面,而光球本身也在旋转。然而伽利略公布这些观点的时间和地点却不幸使自己陷入了一场论争,对手很强大,是一位耶稣会士,不仅声称自己先于伽利略观察到这些黑子,还给出了一个迥异于伽利略的解释。

这场争论的范围最终大大超出了起初的争论焦点。其中的一个论题是月球、诸行星乃至诸恒星是否适宜人类居住——这些星球其时也被一些人视为与地球相同的世界。伽利略的批评者相信这个论题是伽利略发展“哥白尼”学说后的必然推论,而前者在那时已经公然对后者表示了拥护。这种“多元世界”的构想衍生出了大量的文献,其主张被确认为反对亚里士多德的学说和基督教的教义,布鲁诺作为异端的遭遇雄辩地说明了这一切。

不同的利益集团因此联合起来反对伽利略。学院派的亚里士多德主义者对伽利略的愤怒由来已久,现在,致力于教学的耶稣会士和热衷于政治的教会人士加入进来,虔诚的民众也对多元世界的构想义愤填膺。此外,更多的是那些思想保守的人们,他们在任何时代都是人群中的大多数,即使是在大学校园里也不乏

其人。布鲁诺所倡导的无限宇宙带来了巨大的哲学恐慌,这种恐慌比以往更深入骨髓却也更模糊无着。1616年,麻烦在宗教裁判所上门之前来到了,伽利略收到了一份“限制令”,要求他“放弃这些思想,不得教授、维护甚至讨论它们”。几天后,教会颁布了一条教令,宣布“禁止哥白尼的著作直到其做出修正”。

1624年,伽利略出版《试金者》(*The Assayer*)。书中包含了一个对后世的科学发展非常重要的概念,并注定被用来装点许多后世的哲学思想。他在书中明确地区分了一个对象的两种属性:一种适宜精确的数值估算,另一种则不适宜。他说:

每当我形成一个物质或物质实体的概念,我就马上觉得有必要去设想它有着边界和形状,它与他者有着或大或小的联系,它处于这个位置或那个位置,它是运动的或静止的,它与另一个物体是接触的或者不接触的,它是独特的、稀有的或是常见的,我无法想象自己会将它同这些(第一)性质分离开来。另一方面,我发现没有必要去搞清楚它的一些状态,譬如它是白色的还是红色的,苦的还是甜的,响亮的还是无声的,芬芳的还是难闻的。如果感觉没有传达给我们这些(第二)性质,我们就无法用语言和图像去表达它们。因此,我仅仅将这些味觉、色觉、嗅觉以及其他类似的存在视为某种感觉,易于变动,并且其本身也确实易于消失。我们将这些(第二)性质赋予各种专有名称,试图说服自己它们是真实的、名副其实的存在。然而我以为,对于那些不依赖于人存在的外部物体而言,由人所产生的味道、气味和声音等(第二性)都是不真实的,尺寸、形状、数量和运动等(第一性)才是真实的存在。假如没有了耳朵、舌头、鼻子等感觉器官,我相信形状、数量和运动等(第一性)仍会保留,但气味、味道和声音等(第二性)则将不复存在。因此离开了生物(的感知),这些(第二性)仅仅只是一些语词而已。 210

从此科学家们便有了“第一性”和“第二性”的区分(这两个名称是后来才出现的),而后该思想又被概括为“科学即测量”。无论如何,伽利略都是其最早的倡导者。

我们暂且毋需关心科学家们在摒除了第二性后是否正确认识了第一性。日常的体验显然几乎都是由第二性组成的,但科学家们却另有所恃,他

们不像平常人那样进行惯常的思考,于是便与后者有了分别——正是从伽利略开始,他们塑造了一种“神职”,不时地反抗另一种神职。然而伽利略所作的这种区分并没有被科学工作者们延续,经由英国的托马斯·霍布斯和约翰·洛克,法国的玛兰·梅森(Marin Mersenne)和勒内·笛卡尔逐渐变为了一般哲学(general philosophy)。

- 211 1630年,伽利略终于完成了划时代的著作《关于两大世界体系的对话》,这里的两大世界体系即托勒密体系和哥白尼体系。该书集伽利略多年研究工作之大成,并没有去讨论地球和太阳在宇宙中的相对位置关系,而是试图提出一个关于物质宇宙运行的同一性法则。

这个同一性法则与我们今天的某些思维方式非常相似,其主旨在于相同的原因无论在何处都导致相同的结果。这是我们从小就被灌输的理念,今天那些受教育的人们只会在讨论奇迹的本质和真实性时以及讨论精神和物质之间的关系时,对其产生怀疑。但在17世纪时情况却并非如此。其时亚里士多德的宇宙概念仍旧牢牢占据着统治地位,根据其观念,月上区(我们也可以称之为“天区”)的事物与我们所在的月下区的事物拥有不一样的规则。大部分的中世纪哲学或许都能够视为对天上和地下的物理规则之关系的探讨,这种探讨持续了数百年,除了布鲁诺之外,两者之间存在差异的信条极少受到质疑。伽利略也没有足够的资格去讨论天上的物理学,然而他对此很感兴趣,明确地提出可以根据地上的物理学来探讨天上的物理学,并预示了万有引力学说:

既然地球的所有部分都在合为一体的意愿下,以相同的倾角聚集起来并始终努力保持球体,那么,难道我们不可以同样相信,月球、太阳以及其他的太阳系成员也是由它们各自的部分,基于一致的天性、自然的倾向而组成球形?而一旦这些部分被强行从整体中分离出去,难道我们不可以合理地认为,它们将会在自然天性的驱使下自发地返回?难道我们不可以因此得出结论,所有太阳系天体的固有运动都是一样的吗?

- 212 这本对话的出版得到了教会的官方许可,但被要求对读者作出说明,声明书中所论及的话题仅是一种方便的理论假设而非实际的情况。该书出版于1632年。

这本著作中的对话在三个人之间展开：一位是哥白尼的公开拥护者；另一位是亚里士多德和托勒密学说的卫道士，愚钝而顽固；第三位则不偏不倚，持有中立的立场。出版时的规定只是在表面上被敷衍了一下，全书的主调无疑代表了伽利略的真实想法，内容也因此充满了对宇宙学发展的预言。

在对话中，亚里士多德主义者愚蠢得无可救药，哥白尼主义者最终获得辩论的胜利。不过事实上，书中的哥白尼主义者比哥白尼本人走得更远，其尤为值得关注的观点是彻底反对诸恒星固着于水晶天球之上，这些恒星全部如布鲁诺所认为的那样，与地球的距离不同，但都遥远得不可思议——它们之所以观察不到视差，正是因为这巨大的间隔。<sup>①</sup>

《对话》将事态推向了高潮。奇怪的是，这并非伽利略的对手们所做出的轻率举动，因为他们或许并未认识到《对话》的全部意义。今天我们对整个事件的认识还不完全清晰，某些细节还需要进一步的了解与纠正，但可以确定的是，这本著作在1632年被禁售，其内容也被送给一个特别委员会进行审查，而后者给出了一个不利于伽利略的审查报告。最终，事件的结局众所周知。

## 伽利略革命的影响

伽利略比其他人更多地改变了我们的思维方式，这种思维方式打破了古代思想的束缚，并直接导致了现代科学。虽然对此做出贡献的人还有哥白尼、维萨留斯、布鲁诺、第谷、开普勒等人，但是伽利略的贡献如此之大，我们完全可以将这场改变称为“伽利略革命”。这场革命不仅仅是知识的增加、对宇宙结构认识的转变，更改变了人们所追求的知识种类。它带来了一场哲学危机，对科学产生 213 了根本性的影响，我们因此有必要对其进行一番回顾。对此，我们最方便的做法是列出若干不同的标题分别进行讨论：机械的世界；感官的延伸；数学的、无限的宇宙；宗教与科学。这些标题无从比较，并非对同一个主题的划分，但都与伽利略一生的际遇和工作相关。

<sup>①</sup> 直到1838年，才由贝塞尔首次测量出一颗恒星的视差。



## 机械的世界

今天的基础力学在本质上仍然不脱伽利略所留下的形态,其公式化的内核正是后者毕生追求的目标。对钟摆的观察堪称伽利略最早的科学观察之一,其时他年方 18 岁,借助重力的作用来解释其运动,并在一部酝酿了数年的力学著作中提出了相关的解决方案。钟摆现象无疑是重力作用的一个特例,但伽利略直到多年之后才对后者有了正确的认识。他将这项研究的结论写入了《关于两种新科学的对话》(1638 年),该书出版时他已经 74 岁。这个巨大的时间跨度表明,科学研究者提出一种想法与最终得出结论,在顺序和方式上存在着多么大的差异!

就这样,这项持续了半个多世纪的研究在伽利略最后的著作中得到了更为逻辑化或理性化的结论。之前的中间形态都因此被遮蔽了,但是,若要阐明一项科学发现的历程,就有必要揭示这些被掩盖的真实历史过程,这也是科学史难以掌握的原因之一。

在所有伽利略对力学概念的贡献中,最重要的或许是:一个力的持续作用随时都在增加或减少物体的速度。物体速度的不断变化伴随着力的作用,这个加  
214 速度的概念与亚里士多德的运动法则产生了矛盾——后者认为地球上的物体之所以运动,是因为具有回归其自然位置的属性。我们今天所理解的加速度概念,正是伽利略的重要贡献,它包含了对时间的无限划分以及限定原则,正如阿基米德对空间所做的处理一样。通过对运动物体的数学分析,伽利略成就了牛顿。

前文已经提到,中世纪的哲学家和 16 世纪的数学家们认为,很难去设想一个物体同时进行着几种运动。对于他们来说,那想象中的天体圆形轨迹才是最“完美”的运动。但伽利略却通过加速度的概念,特别是自由落体作加速运动的观念,使人们熟悉了复合运动。而他通过分析抛射体的运动轨迹,又进一步提出不仅直线运动,曲线运动同样可以是复合运动。这为牛顿统一“地球力学”和“天体力学”铺平了道路。

其后伽利略更进一步将其对力学的发展应用于所有可见的和有形的物体。其机械宇宙的观念甚至迅速反映在生物学中。作为对亚里士多德的反动,生物学家们试图将动物的身体解释为一架机器。17 世纪最早的一批重要的生物学著

作,例如桑托里奥、哈维和笛卡尔的作品,无不试图如此这般地解释身体。伽利略通常回避研究生物体,但在这个话题上却冲锋在前。他指出,最有效的机器必定具备特别的形状,如果增大机器的某一个部分,那么相应按比例地增大其他部分是不够的——在这种情况下,整个机器需要被重新设计。

伽利略根据这条原则论证,对于一个行动敏捷的陆地动物而言,如果单纯地放大其身体,即使保持各部分的比例不变,也无法同时维持其行动的敏捷。体积和重量是以长度的三次方增加的,但骨骼和肌肉的横截面积却是以长度的平方增加,因此如果一个动物的体积加倍,则其克服力的能力提高了四倍,但需要克服的力却增加了八倍!然而伽利略同时也注意到,如果将一个动物浸在水中,则其体重会被身体排出的同体积水所平衡,在这种情况下,这种对体形增大产生物理屏障的特性也会发生变化。 215

这条原则直到现代才体现出价值。每一个物种根据其生理学的特性都有生长的极限,但某些水中的动物要比所有陆地生物的体型都来得更大,比如脊椎动物中的鲸鱼和无脊椎动物中的头足纲动物。<sup>①</sup>事实上,艺术家丢勒在一个世纪前就已经将生物生长过程中各部位比例的变化列为一个特别的研究课题,但他并没有像伽利略那样采用数学分析的方法,因此最终也没有得到一个基本的规律。

总之,伽利略改变了人们对世界的看法。在这个“新的世界”里,人们应该去理性地探索事物的机械原理——从天球的运行、地球的变化以及卫星的绕转,到昆虫那微小的身体结构。此后科学研究者将不得不面对一个日益机械化的世界。此时,星占学已经将亵渎神明的双手伸向了天空,新的宿命论更是直接地将诸星与人、人与老鼠等量齐观。这些机械世界观的应用足以启发天才的斯宾诺莎,但却几乎被伽利略的那些主要对手们完全忽视。他们仅仅将伽利略视为传统宗教的干扰者,正如他们看待占星术士们一样。然而,一旦他们认识到伽利略革命的真正性质,伽利略及其追随者们或许将遭受到更加不公的待遇。

在此可以赘言几句伽利略的对手们。伽利略所遭受的卑劣而野蛮的对待来自宗教裁判所和教会内的权威,他的对手们却因此成为后人谴责的目标。我们毋需为其中某些人那无谓的自负去辩护,也不必停止谴责其中另一些人的欺诈

① 譬如乌贼和章鱼。——译者注

和愚蠢,但要知道,并非所有伽利略的反对者都是笨蛋和无赖。大量的非理性头脑都不愿接受伽利略的自然哲学。漫长的中世纪已经建立起一个完整而庞大的哲学体系,道德世界和物理世界、地上世界和天上世界都被融为一体,它满足了当时的需要,尽管伽利略使其产生了裂缝,但并没有明确的理由使人们因此放弃整个体系。难道今天我们会因为某些特殊现象不符合已经认识到的科学规律,就放弃探索自然的科学方法吗?要知道,伽利略并没有为他的拥趸们提供一个完整的即便如自然哲学那样的体系——这个任务要留待后世的牛顿来完成。因此,即使批评者是一位在那个时代也非常稀有的物理学专家,一个合理的态度也应当是友善且不置可否的,批评与其说是针对伽利略的发现,不如说是指向这些发现的影响。

开普勒业已证明了行星的轨道是椭圆而非完美的圆形,旧天文学的基础因此被动摇了。但此时伽利略的物理学和开普勒的天文学还未能对接——这也需要留给牛顿这代人来完成。此外,亚里士多德科学的许多范本都取自生命世界,尽管物理学遭到伽利略的攻击,但他的生物学仍然是最好的。并且,就那时的情况来看,抛弃亚里士多德的宇宙体系同时也意味着抛弃很多宗教的教义。我们有权希望评判是公正而温和的,但发生在伽利略身上的却或许两者皆非。人性并不能保证所有人都能够即刻洞察和理解这位导师的伟大之处,人性的不完美必然导致悬置评判其学说的正确与否。当然,即便如此,也不能为某些对手所表现出的愚昧、欺诈和残忍进行辩解。

事实上,除了职业神学家和斯宾诺莎主义者,17世纪里大部分有理性的人们都满足于一个折中的方案。“诸天是专属于上帝的,但地球是他赠予人类之子的。”这就是在伟大的科学革命时代所出现并盛行的大环境。

### 感官的延伸

伽利略最令人印象深刻的是他那让人惊叹的天文观测;在这些观测的背后,是他对望远镜的发明和对这种工具的成功改造;而在这些发明和改造的背后,则是一场熟练的技术工人们加入为科学服务的队伍中的运动。但即使是在这场运动中,伽利略也堪称一位重要的人物。

在15和16世纪里,发生在艺术、文学和智力方面的变化无疑是引人注目

的,但另有一些变革,尽管没有那么夺人眼球,却更贴近人们的生活,对人们生活的影响也更为深远。炼钢技术的进步即其中之一,它使得人们能够用更好的钢铁来制造工具。例如1600年的房屋、家具以及生活用品就比1450年有了很大的进步。另一个众所周知的例子是远洋船舶制造技术的进步,它使得跨洋探险成为可能。德国的进步以及德国人在印刷技艺上的提高也都要归功于优秀而可靠的德国工匠们。雷格蒙塔努斯离开匈牙利前往纽伦堡,就是因为后者有优秀的工匠为其制造天文仪器。然而直到17世纪,科学研究者们都很少求助于这些技艺精湛的工匠。伽利略在实验方面的成功,很大一部分要归功于他受过特殊的机械学训练以及长期浸淫其中。他也因此为科学仪器制造的职业化奠定了基础。在此后的几个世纪中,这个职业成为推动科学的主要力量。尽管复合光学仪器在伽利略之前就已经问世,但直到这个伟大的发现者完善了它的制造方法,其价值才被充分挖掘出来。

正是依靠手中的这些仪器,伽利略方能做出那些准确性和精密度都前所未有的观察。他是有实际意义的望远镜的发明者,也是现代观测天文学之父。此外,他还有一项较少被人提及的光学发现——他还是复合显微镜的发明者,在最早的一部专著中就已经提到了这种仪器的构造。显微镜所揭示的微观世界丝毫不逊色于那些星空中的奇妙发现。诸天是如此的浩瀚,总被认为是人的思想所无法企及的,但人们却完全没有想到,生命和近在眼前的物质也具有如此惊人的复杂性。那些肉眼无法看到的微小存在,竟然拥有与我们一样完备而复杂的结构,这对人们的思想实在是一种震撼。如果说在天空中世界之外尚有世界,那么在我们的身体里,也存在着已知世界外的另一个世界!

这些物质在最早的一批职业显微镜技术人员眼中又是什么模样呢?探究这个问题想必颇有趣味。在英格兰,崇奉托马斯·布朗爵士(Sir Thomas Browne)的亨利·鲍尔(1623—1668年)是使用显微镜进行科学研究的前驱。他在著作《实验哲学》(1663年)中写道:

屈光镜乃是现代的发明,没有任何记载显示它们的出现早于望远镜和显微镜。古代的先哲们过于追求无双的技巧,这使得他们不仅在提出他们所钟爱的天球假说以及设计水晶球的运转机制时出了差错,还在近距离观察那些体型最小的生物种类时,将其草草描绘为造物的余料和渣滓……然

而,这些奇妙的小“引擎”同那些体型最大的动物一样完美……更神奇的是,它们那如此狭小的空间竟然没有影响和阻碍机能的运转。当我们惊异于这些大自然中的奇迹时应该记住,在这些狭小的身体里存在着更为奇妙的数学。

原子论在伽利略的时代重新走上了前台。其时它仍然是一个哲学主张,原子的存在和性质也并没有实验的证据。然而显微镜的发现却似乎印证了它——这些微小的存在就是原子吗?原子是活的吗?这些问题催生了大量的文学作品,但都由于毫无结果而几乎被遗忘。原子论还迎合并刺激了当时的哲学思想,唤起了人们的好奇心,这好奇心毋庸置疑地影响了后世生物学观察的发展方向。

### 数学的、无限的宇宙

219 随着伽利略物理学和开普勒天文学的出现,宇宙各部分之间存在物理联系的认识开始呼之欲出。古代和中世纪的星占学认为内层天区依赖于外层天区,就此而言,星占学教义的极端表达便是决定论。但是现在,伽利略步布鲁诺和吉尔伯特的后尘,认为世界是无限的。于是,在这样的宇宙里,无所谓内和外,无所谓中心与边缘;在这样的宇宙里,其中一部分所遵循的力学法则,想必也同样适用于另一部分——尽管这还有待于牛顿的证明。此外还可以明确地断言,这样的无限宇宙在时间上没有开端。

这个观点引发了一系列的巨大改变,其中一些我们已经在前文中讨论过,特别是它还影响了科学研究的目的。

在伽利略的思想中,物质世界是一个割裂的、数学化的概念,它是一部机器,任何一部分的运行都能够计算。它与中世纪体系中的道德世界判然有别。而哲学,作为关于这个作为整体的世界的知识,也因此被分为两个范畴:自然哲学和道德哲学,这种划分将在牛顿所在的大学对各个学科的命名中被再次提及,也大体上从伽利略的时代一直保持到了今天。

无限宇宙的观念以及自然哲学与道德哲学的分离还产生了更为深远的影响,这就是我们今天所谓的“科学专门化”运动。科学,亦即自然哲学,以感官获得的信息为依据,它所能企及的范围有限,我们因此也不能奢求其认识的触角能

够触及一切,而只能将其局限于有限的对象。科学试图解决的并非那些普遍的问题,而是具有已知精确度和已知误差幅度的有限问题。它渴望精确的表述,渴望将观察到的现象“翻译”为能够测量的术语——这种思想贯穿了科学的所有门类,并从伽利略所处的时代一直延续到今天。即便是生物科学也受到了影响,如果将桑克托留斯、哈维和笛卡尔的著作(分别出版于1600年、1628年和1637年)与“德国植物学之父”们和维萨留斯的著作(分别出版于1530—1542年间和1543年)做一番比较就会看到,前者已然具有了数理形式,后者虽然精致却并不受数学的支配。也正是在伽利略之后,始终有一些生物学家坚持将生物学视为物理学的一个分支。 220

### 宗教与科学

中世纪哲学认为世界是一个整体。如果我们以现代的眼光回望,便会发现在这片完整的世界里存在着两处断裂:一处在天地之间,另一处位于生物和非生物之间。这两道断裂尽管严重,却被很好地遮掩,直到17世纪才被伽利略和哈维等人的著作揭示出来。人们当然不会满意这种世界的分裂,他们要进一步为这个世界寻求一种基于一元论解释的基础。其中法则必须占据主导地位,无论是神赐法则还是自然法则。这法则要能够通过更为简单的术语来解释万物,在近代,首次能够满足的是笛卡尔的哲学。

机械化、数学化宇宙的观念还影响了其他哲学家,他们的体系比笛卡尔持续的时间更长。新力学所提出的观点还关乎一种信念:在这个世界某处发生的事件,必然会在另一处产生结果。每一个事件都将引起相应的连串事件,并且影响范围还会不断扩大——这个过程犹如在池塘边投石入水,涟漪因之泛起,层层扩散,至岸边又反射回减弱的水波,然后再扩散,再反射……这种世界观是斯宾诺莎(1632—1677年)思想的核心。我们能够据此产生一种物质和能量都不会消失的想法。这种物质和能量守恒的信念也暗含于所有伽利略的著作中,但直到他去世200年后才被清晰地表达出来。

这里涉及哲学上的“因果性”问题,我们不打算在此展开讨论。科学尽管忠于其有限范围、有限目标的原则,但确实有着自己的因果性工作机理。从伽利略开始,科学研究者就只讨论某些特殊类型的序列,认为它们是相互联系的,这 221



种联系被视为因果关系。因此,物理学家只处理物理作用的关系序列,化学家只处理化学作用的关系序列,生物学家只处理与生物相关的关系序列。在这个过程中,新的事物关系会被确认或逐渐变得清晰,譬如对天体的物理状态的确认,以及对父母与子女之间亲缘关系的逐步认识。新的学科也因之产生,比如天体物理学和基因学,它们都将研究范围限定在各自的特殊领域内。然而,所有的学科都会承认,只有那些能够被测量或至少被估量的关系序列才值得去研究。从伽利略的时代至今,我们将科学视为测量。

但是,既然科学必须要限制其研究对象,那么科学所描绘的那个世界就是不完整的。作为艺术家的伽利略深知这点。这个世界看上去如何,取决于我们如何去看——也就是说,取决于我们的“心境”(mood)。我们的心境有多种,科学的、艺术的、情感的、社会的,我们用各种方式,亦即在各种心境下看世界的结果,其实就是我们的宗教。伽利略奠定了一种新的世界观念,这几乎就是一种新的看待世界的“心境”。他通过这种方式确实地影响了所有接受或进入这种心境的人的宗教。然而要说这种心境完全属于伽利略,要说他所看到的宇宙完全是数理的,可能不仅不符合他的实际学说,也不符合我们所知的人的本性。伽利略或一般意义上的科学研究者们固然有许多俯拾皆是理由去反对任何已有的宗教法则,但倘若就此认为他们全部渴望这样去做,则是对历史的歪曲。

## 科学的先知

笛卡尔是“第一位近代哲学家”和 17 世纪最重要的思想家,同时为科学理论  
222 和科学实践做出了突出的贡献:(1)他提出了科学应当如何进行研究;(2)他提出了近代首个关于宇宙的统一理论并得到广泛的认可;(3)他为数学、物理学和生理学都做出了重要的贡献。

然而,笛卡尔的这三方面研究并未如其所愿地联结在一起。1633 年,正当他计划出版一部名为《世界》(*The World*)的著作,向世人介绍其宇宙观时,他知悉了伽利略的获罪。他立即撤回了书稿。此后,他出版的第一部著作是 1637 年的《谈谈方法》(*Discourse on Method*)。

## 笛卡尔的科学方法

笛卡尔很早就对当时的普遍研究成果表现出了极大的不满。在他看来,它们并没有清晰地区分事实、理论和传统。他厌恶明确的目的,试图放弃所有的先验观念,建立起自己的知识体系。他秉持这一目的,在《谈谈方法》中向我们介绍了他的一些解决路径<sup>①</sup>:(1)“凡是我没有明确地认识到的东西,我决不把它当成真的接受。也就是说,要小心避免轻率的判断和先入之见,除了清楚分明地呈现在我心里、使我根本无法怀疑的东西以外,不要多放一点别的东西到我的判断里。”(2)“把我所审查的每一个难题按照可能和必要的程度分成若干部分,以便一一妥为解决。”(3)“按次序进行我的思考,从最简单、最容易认识的对象开始,一点一点地逐步上升,直到认识最复杂的对象;就连那些本来没有先后关系的东西,也给它们设定一个次序。”(4)“在任何情况下,都要尽量全面地考察,尽量普遍地复查,做到确信毫无遗漏。”

他相信,只有运用这些规则才能获得真理。他将它们视为真正的科学原理,科学研究只有依其践行方能取得进步。他还认为,这些规则不仅能够用于数学和物理学,也同样适用于宗教。因此,一般意义上的天启宗教实则毫无必要。他将我们所能理解的清晰度作为判断一个真理的基本标准。“我思故我在”是所有真理中最能够让人确定的一个,因此生而为人并非一种幻觉。同样,与肉体相分离的灵魂对于笛卡尔来说也是确定甚至显而易见的,他也因此坚持灵魂的存在。此外,他还认为思想无法创造出比自身更伟大的事物,因此超出人类的无限完美的概念必然是由无限完美本身赋予人的思想,这个无限完美就是上帝。 223

值得一提的是,笛卡尔所取得的科学成就并非运用自己所倡导的方法的结果。我们也大可怀疑任何一位研究者的科学发现是主动沿着他所描绘的这条路径所取得的。事实上,科学发现能否预先安排也是值得质疑的。人的心灵是恣肆的,而发现是心灵的工作,没有任何一种方法是放之四海而皆准的,有多少个发现就有多少种方法。所有的人类才能和力量都曾参与到科学发现之中,存在一种科学论证的方法,但这与科学发现的方法有着很大的不同。提出一种科学

<sup>①</sup> 以下翻译引自笛卡尔:《谈谈方法》,王太庆译,商务印书馆2000年版,第16页。——译者注

发现的方法必然同时会抹杀其他方法。因此,我们将把笛卡尔区别看待,分别视为一位科学发现者,以及一位科学的先知和批评家。

笛卡尔低估了伽利略的成就。伽利略致力于得到力学规律,但笛卡尔轻视这种努力,其理由是伽利略对所处理的力、运动、物质、空间、时间、数量、广延以及其他种种基本概念都没有进行分析。对此的一个明显的反驳是,倘若伽利略这样去做了,那么哲学或许会变得更加丰富,但科学将变得贫乏,因为它会丧失一位有史以来最成功的实验者和最敏锐的自然法则的倡导者。

### 笛卡尔的宇宙学

我们现在转向笛卡尔所构建的物质宇宙概念。在这里,我们仍然要推许他为先驱,尽管令人遗憾的是,他留下的言论多是对他人理论的批判。在他看来,世界的形成是不可避免的,上帝创造了更多的世界,但“仅仅为这些世界提供了他所建立的某些自然法则,允许它们按照各自的习性运行,这些世界的物理特性显然与我们的世界相同”。他接受物质是瞬间创造出来的可能性,并坚持认为这种创造活动今天仍在持续进行。

笛卡尔认为宇宙是无限的,当中没有真空。上帝赋予物质的第一属性是广延性(extension),第二属性及其衍生属性分别是可分性(divisibility)和运动性(mobility)。笛卡尔主张可分性和运动性都是衍生属性,我们可以将其与物质在不受额外力的影响下保持运动或静止状态的法则的建立联系起来。

笛卡尔认为物质是均一的,例如由相同的基础材料构成,但能够被无限地分割并以无穷多的形态出现。物质被紧密地压缩,中间不存在一点儿真空,因此物质任何部分的运动都会带动整体一起运动,宇宙也因此遍布不同大小、不同速度的物质颗粒形成的圆形旋涡,物质颗粒在各自的旋涡中旋转,棱角被慢慢磨平,变得越来越完美,越来越像精细分割的尘粒,做着向心运动。这种纤尘是“第一物质”,构成了太阳和群星。最终,这些球状颗粒获得了一种相反的或离心的运动,并组成“第二物质”,后者构造出包裹第一物质的空气。第二物质的离心倾向还产生了光线,从太阳或群星那里一波波地进入到我们的眼睛。在旋涡形成的过程中,物质颗粒向旋涡中心运动但容易受到阻滞,于是就仿佛气泡或细沫一般,停滞在太阳或星体的边缘——这就是“第三物质”,诸如太阳黑子和某些其他

的天象都是由其形成的。要之,大的旋涡形成行星的运动,小的旋涡产生陆地上的各种现象,旋涡所产生的向心运动则导致了重力。

尽管并不能解释包括开普勒行星运动定律在内的众多已知现象,但旋涡理论却变得非常流行。它得到了详细的阐释,一个完整的物理学和宇宙学体系以其为基础建立起来。在法国,这个理论一直持续到18世纪中叶,但在其他国家的影响则要小得多。它从一开始就遭到了严厉的批评,牛顿的工作更是对它具有颠覆性。 225

### 笛卡尔论人性

对于笛卡尔来说,一个完整的体系显然还需要包括关于生命的现象。在这个方面,尽管他虚构了许多并不存在的结构和功能,但他的工作仍然具有开拓性。他做出的一些类比有时既让人印象深刻又颇具价值。

始终让我满意的是,上帝将人的躯体造成了我们这个样子,从外型到内构乃至材料皆是如此;其后,他没有首先赋予这具躯体以理性的灵魂或其他的什么本能,而是在心脏中点燃了一星无焰之火,在我看来,这就如同潮湿的草垛中产生的热,或是能够让葡萄汁发酵的物质。

在这里,笛卡尔试图调和燃烧、新陈代谢、呼吸和发酵。

因此,作为这种猜想的结果,当我考察这种可能存在于人体中的功能时,我发现它们恰恰都不依存于所有的思想之力,因而也就独立于灵魂而存在。换言之,它们不存在于我们那异于身体的部分,以及那超越了天性而明显属于思想的功能——它们同样存在于与我们几乎完全相似却没有理性的动物体中。仅仅依靠思想,我无法探寻到它们,然而一旦假定上帝创造了理性的灵魂并将其置于人的身躯,我便真切地发现了它们。

他因此认为人类曾经没有理性的灵魂,动物则至今仍然像个自动的机械。他了解哈维的血液循环理论,以之为基础精心建立了一个关于动物身体运行机制的理论。对于人体,笛卡尔认为至少就现状而言,与动物最大的不同在于拥有灵魂。他相信这种不同主要与人体的一个特别部位“松果体”有关——这是人脑中的一处结构,笛卡尔错误地认为它不存在于动物的身体中。在松果 226

体中,两种清晰明了的理念产生出一种绝对的神秘,创造的神秘正是在这里凝聚。

笛卡尔的哲学是第一个完备而融贯的现代体系。它迅速掳获了一批信徒并传播到各地,影响了几代人。在笛卡尔的家乡,其哲学甚至在教士们中间也大行其道。然而,其中所包含的大量物理谬误也渐渐地暴露出来。及至世纪末,旋涡学说便摇摇欲坠了:它既与实际的天文观测不符,也不合于牛顿的宇宙体系和重新兴起的原子论。它作为一种解释宇宙现象的学说逐渐风光不再,但直到18世纪中期,仍然有重要的科学工作声称建立在该学说的基础之上。

此外,生理学知识的发展也揭示出笛卡尔在阐释动物身体的运作机制上所出现的根本性错误。但是,笛卡尔毕竟奠定了现代哲学的基础,在他之后,历代的思想者们薪火相传,以自身那不假外物的思想力量解释着这个世界。

### 作为科学先知的弗朗西斯·培根

维鲁拉姆爵士弗朗西斯·培根(Lord Verulam, 1561—1626年)做出了伟大的哲学综合,但因其权势、性情和观念而在影响上不及笛卡尔。英国人在科学实践方面没有笛卡尔那么深入,所取得的科学成就无疑也逊于后者。事实上培根比笛卡尔更年长,但影响却姗姗来迟。他的理论对于科学研究来说不那么有效,这妨碍了他和他的著作跻身实际推动科学进步者之列。威廉·哈维说他“像个大法官那样写哲学(包括科学)”。尽管从未有人根据笛卡尔所提出的那些科学  
227 法则进行研究,但我们仍然要牢记笛卡尔有三个不同的面目——宇宙哲学家、科学的倡导者和判定者,还有研究者。然而培根却只有一位,那便是《学术的精进》(1605年)<sup>①</sup>、《伟大的复兴》和《新工具》(1620年)的作者。

让我们考察一下培根在这些著作中所展示的对自然研究的态度。他那“口惠而实不至”的“科学新进程”是什么呢?他认为要在收集所有证据的基础上开展研究,这些证据将经过一种自动的逻辑加工,其后结论便会浮现。这种方法实际上无法应用,因为证据或现象常常不可计数,因此尽管培根并不认可,但我们还是需要设法选择证据。那么又该如何选择我们的证据呢?经验显示,只有那

<sup>①</sup> “Proficiencie and Advancement of Learning”,一般称为《学术的进展》。——译者注

些了解前人在选择上成败原因的人们才能做出有效的选择。换言之,选择证据的过程是一个有学问的选择者——科学研究者——所作出的判断行为,正如诗歌的创作是我们称之为“诗人”的词汇选择者选择词汇的过程。同诗人一样,科学研究者的选择受到与其技艺相关的知识的支配,我们通常在大学或实验室中称这种知识为“专业知识”。他们还可以通过选择那些具有某种相互关系的事物来练习这种判断。然而,正如仅靠学习诗歌的格律、类型或历史并不能成为一名诗人,要成为一位科学发现者,在推理上并没有技巧,也没有所谓的科学方法,熟悉科学知识同样不行。就此而言,科学研究者像诗人一样,可以被塑造,却无法被制造,他们必须天生就具备这种难以言明的判断能力。

一个科学研究者若想拥有发现的技艺,需要经历三种不同的心理过程。首先是选择证据,其次是在这些证据的基础上构筑假说,然后是检验假说的对错。一旦这个假说经受住了大量的重复检验,那么该研究者便做出了人们通常所说的“科学发现”。这三个步骤——选择证据、得出假说或结论、检验结论——无疑常常被研究者在思考的过程中混为一谈,而研究者关于发现的证明也常常有助其或多或少无意识地产生出新的判定法,并借之选择新的证据,进而将这个过程中不断延续下去。然而,重点在于这三个过程是不同的,当其中一个得到较大的发展时,另两个却可能处在相对停滞的状态。 228

在这个问题上,科学文献,特别是科学教科书仍旧给人以假象。这些著作被用来论证某些观点的正确,为了达到目的,它们必须掩藏研究者获取这些观点的过程。这个过程事实上包含了一系列即兴的判断或“工作假说”,满布着缺陷和仅仅是临时起意的证明,如果付诸进一步的检验,很多假说和论证都将被迫抛弃。因此,一篇科学论文或是一本科学著作倾向于遮掩研究者的思路,避免谈及其中无用的枝蔓、行不通的方法,以及失败的开端,也因此,那时的科学与其他时代相比,只能通过实际的现象而非书本来获悉。

在整个中世纪里,人们都始终无视发现之过程与发现之证明的区别。在这一点上,今天我们的认识与那个时代的人们不同——甚至连培根也对此懵懂无知。他的确强调了收集证据的重要,却未能意识到判断行为在有效选择证据的过程中所起到的关键作用。

为了确保在收集和判断证据的过程中避免偏见和错误,培根提出了四条需



要人们注意的著名假相——或是四个错误的观念和看待自然的错误方式。第一种是“种族假相”，这是人类天性中普遍存在的缺陷，尤指以自己的主观感觉和成见为尺度去认识事物。第二种是“洞穴假相”，这被看作我们个人的特质和偏见所造成的错误。第三种是“市场假相”，这是由思想的表达和理解方式所造成的错误。第四种是“剧场假相”，这是由我们头脑中的教条所带来的错误（《新工具》，1620年）。

然而，难道培根没有意识到还存在着第五种假相吗？我们可以将其称为“学院假相”。这是一种盲信带来的错误，认为学术准则能够取代判断。它阻碍了培根进入上帝口中的乐土，只能像摩西一样站在毗斯迦山<sup>①</sup>上远远地眺望。

尽管培根的方法未能得到实际的应用，他还是为科学的发展提供了一些非常重要的观念：（1）他扩大了那个时代与中世纪的知识裂痕。他觉察到了“经院方法”的缺陷，并将其清晰而雄辩地揭示了出来。在寻求新智力活动模式的同时代学者中，他无疑是佼佼者。（2）他比同时代的人们更清楚地意识到探究自然真相的极端困难。他预示了具有现代科学特征的批判性讨论，但也疏漏了重要的一点，即观察的详细过程与这种讨论是紧密联动的，两者都几乎必然被研究者所同时执行。（3）17世纪之后的英国学者们都一致推许英国皇家学会的建立得益于培根的推动。罗彻斯特主教、学会最早的历史学家托马斯·斯普拉特这样认为，学会最早的秘书奥登伯格和威尔金斯也确信如此。此外，学会最重要的创建者罗伯特·波义耳和英格兰最伟大的哲学家约翰·洛克也都完全赞成这个说法。（4）心理认知或许是培根影响最直接的领域。约翰·洛克认为我们所有的思想归根结底都是感觉的产物（《人类理解论》，1690年），这个基本的哲学信条也暗含在培根的巨著《新工具》中。在心理学和伦理学领域，培根堪称那些英格兰思想学派的先驱，他通过其哲学中的“实践”倾向，尤其是通过洛克的发扬，对后世科学的发展影响深远。

总之，正如培根本人所声称的，无论在科学上成败与否，他都当之无愧地“鸣响了召集众智之钟”。

<sup>①</sup> 古巴勒斯坦的一个山名，位于今约旦境内，死海的东北方。《旧约·申命记》记载，摩西率领犹太人离开埃及后，曾在此山远眺耶和華许诺赐给犹太人始祖的土地，但摩西至死也未能进入其中。——译者注

## 物质的性质与行为

这里的“物质”(matter)一词来自拉丁语“materia”，后者则来自拉丁语“mater”，意即“母亲”(mother)，最初通常被用于指代事物的构成物，尤其是建筑的材料。因此，在中世纪的命名法以及炼金术士的术语中，“原初物质”(或第一物质，materia prima)是万物的质料，是比“四元素”更基础的东西。那时的炼金术士和自然哲学家们都相信，只要重新排列一种物质中的四种元素，这种物质就能够转化为另一种物质。他们还不能够确定，物质在某些情况下或许并非“来自空气”或是来自虚无。他们通常认为空气没有重量，其中的一些人甚至还声称空气具有“负重量”，像火元素一样有着向上的倾向。尽管如此，我们并不能认为中世纪的学者们对今天所谓的“物质守恒”一无所知。假使物质没有稳定不变的重量的，通过重量进行的交易便不可能发生，诸如希罗王的皇冠那样的故事(见第64页)也会变得毫无意义。我们不妨认为，物质守恒的思想在中世纪的时候是模糊的、不准确的、未言明的和含蓄的，到了今天则变得确定、准确、表达得清晰而详细。可以说这种差异是实验方法经过三个世纪的践行所造成的。

关于物质守恒，有条特殊的研究进路对其现代观点的形成产生了特别的影响。人们呼吸着空气，然而空气的性质如何？它又是否拥有重量？这些都是自古以来就聚讼纷纭的问题。一种当时最流行亦是盖伦所赞同的，但具有异教色彩的自然哲学体系认为，人在呼吸时吸入的是世界灵魂中的“普纽马”<sup>①</sup>，因此呼吸对于人的生命非常必要。一旦呼吸停止，人们的灵魂就将重归世界灵魂之中(见第91页)。然而这种观点却有悖于中世纪的基督教教义。那时的基督教思想通常否定空气的客观存在，认为它既非物质实体也非精神实体。但14世纪的“阿巴诺的彼得”(见第163页)、15世纪的“库萨的尼古拉斯”分别在理论和实验的基础上认为从空气中能够获得某些物质，其后范海尔蒙特在这个问题上取得了新的进展。

① Pneuma，即元气。——译者注

比利时人(扬·巴普蒂斯塔·范)海尔蒙特(Jan Baptist van Helmont, 1577—1644年)是个不折不扣的神秘主义者,他通晓帕拉塞尔苏斯的学说(见第174页),毕生致力于探究化学反应的奥秘。他生前出版著作寥寥,去世后不久,其具有同样学术追求的儿子整理了父亲的手稿,结集为《医学的源泉》(出版时为拉丁文 *Ortus medicine*, 1648年)出版。书中文章的语言异常晦涩,加之作者所属的炼金术士群体遭到了诸如伽利略和笛卡尔等崇尚思想明晰者的鄙夷——后者还攻击亚里士多德的学说,为奠定新的自然哲学基础做出了贡献,使得范海尔蒙特对当时的科学著作影响很小。直到17世纪60年代,他的著作得到翻译和诠释之后,情况才有所改变。

范海尔蒙特从一个记录了库萨的尼古拉斯(见第171页)所做实验的抄本中得出结论:植物仅凭水便可生成其所有的组成物质(当然,他尚不知道植物的生长还需要空气,特别是空气中的二氧化碳)。他揭示了不同的蒸气尽管看上去相近,却或许具有不同的性质和表现。这意味着“气体”有很多种。今天这种观念已然成为一种“常识”,以至于我们很难体会到它在当时所具有的那种开创性。事实上,“气体”(gas)这个词就是范海尔蒙特发明的,从语音学来考察,它是由范海尔蒙特的母语弗兰芒语的“混沌”(chaos)转化而来的。

伽利略也明了空气具有重量,但并未将其与水泵的抽水高度无法超过35英尺<sup>①</sup>的现象联系在一起。对此做出正确解释的是他的学生兼秘书——埃万杰利斯塔·托里拆利。托里拆利推论,既然水银的重量是水的14倍,那么空气就能够“托举” $\frac{35}{14}$ 英尺——亦即 $2\frac{1}{2}$ 英尺<sup>②</sup>的水银。他选择一根口径为 $\frac{1}{4}$ 英寸、长4英尺,并且一端封闭的玻璃管,将其装满水银,然后用手指堵住开口的一端,反转放入一个水银池。在松开手指后,管内高于水银池液面的水银高度立即下降到 $2\frac{1}{2}$ 英尺,同时在顶端形成 $1\frac{1}{2}$ 英尺高的空白(该实验做于1643年)。这段空白其后被称为“托里拆利真空”。

通过这个实验,托里拆利实际上已经造出了一具气压计(barometer, 希腊语

① 35英尺约为10.668米。——译者注

② 约为76厘米。——译者注

意为“测重器”)。他还发现这具气压计的水银柱高度有时会有不同,于是推测,当水银柱升高时空气较重,当水银柱变低时空气较轻。笛卡尔也曾预言海拔越高则水银柱越低,原因是海拔越高则“托举”水银柱的空气就越少。帕斯卡用实验证实了这个说法。此后惠更斯、哈雷、莱布尼茨等人又进一步研究了这个问题。尽管气压计得到了极大的改进,但循其根本,仍然不脱托里拆利的雏形。

温度计的历史则稍有不同。空气温度计为伽利略所发明,由一个球状玻璃容器和一根与之连通的玻璃管构成,将后者浸入液体(见图 7.8)。这支温度计能够非常敏锐地感受到温度的变化,但同时气压的变化同样敏感,因此测量结果并不很准确。大约在 1612 年,伽利略将球状玻璃容器注满液体并密封玻璃管,发明出现代样式的温度计。然而这款仪器精细而易损,制作工艺上的困难直到 18 世纪才得到解决。

空气泵使我们的物理和化学知识取得了极大的进步。该仪器于 1656 年由奥托·冯格里克发明。通过它,这位普鲁士马德堡市的市长直观而雄辩地证明了空气具有重量。冯格里克做了著名的“马德堡半球实验”,寻常条件下能够轻易分开的两个空心半球,在被空气泵抽去了中间的空气后,却连 16 匹马也拉不开。

他还发明了第一台“发电机”。这是一个能够旋转的硫磺球,旋转时只需将手按压其上便可为其充电。他还发现人体也会因此带有同类的静电,与硫磺球相互排斥。

罗伯特·胡克进一步改进了冯格里克的空气泵。胡克在牛津为罗伯特·波义耳工作,是那个时代最熟练亦最天才的物理实验家之一,当然波义耳在当时也允称最富才干和声名的科学家,两人共同为现代物理学和化学的诸多方向奠定了主要的基础。

通过空气泵,波义耳和胡克检测了空气的延展性、可压缩性以及重量(1660 年)。其后,又用同样的仪器证实了呼吸和燃烧需要空气(1662 年)。最后,波义耳还揭示出呼吸或燃烧所消耗的仅是空气中的某一成分。胡克在其巨著《显微

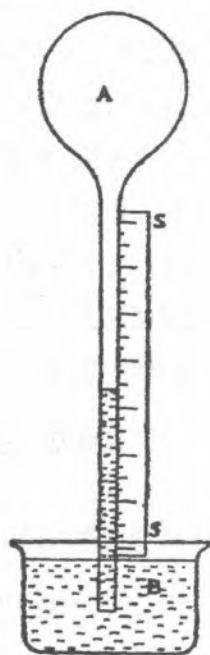


图 7.8 伽利略的温度计

制图》(*Micrographia*, 1665年)中,很好地诠释了这种物质:

硫磺类物质的分解是由空气中的一种物质造成的,它混于空气亦属于空气,或许可以不恰当地说,正如它存在于硝石中的那样……我们称之为火焰的那种耀眼的东西,其实只是可燃硫磺类物质中的活性部分在上升过程中进行相互作用后,与空气的混合物。

这种“混于空气亦属于空气”的物质就是氧气,我们或许应该因此将胡克和波义耳视为氧气的发现者。

波义耳因“波义耳定律”而闻名。该定律指出,气体的体积在定温下与压强成反比。他使用一个U形管,一侧封闭且较短,另一侧开口而较长,注入水银后,封闭端的空气受到压缩,再通过摇晃使两侧水银高度相同。此时封闭端的空气受到的便是大气的压强。接着,波义耳通过注入水银而使压强持续增加,封闭端空气的体积也随之不断减小。当长管中的水银比短管高30英寸时,封闭端空气受到的压强便是此前等高时的2倍,其体积也减至等高时的 $\frac{1}{2}$ ;当封闭端空气所受压强增加到等高时的3倍,其体积也相应减为等高时的 $\frac{1}{3}$ 。此过程反之亦然。

波义耳的这种更为纯粹的化学研究和思考十分重要。其最有名的著作《怀疑的 chemist》(1661年)开启了化学的新时代,同时也标志着亚里士多德四元素说的终结。他写道:

为了避免误解,我必须向您声明,我这里所说的元素……是原始而简单的物体,非由其他的什么东西构成,也非相互构成;结合物可以说是由它们组成的,并将最终分解成它们。

这分明就是现代对元素的定义。此外,还可以确定的是,波义耳这种对化学元素的看法部分来自低调的德国教师乔希姆·容格(Joachim Jung of Hamburg, 1587—1657年)。后者早在1634年就已经明确表达过相似的观点,并于1642年将其公开发表。波义耳曾于1654年收到一封信,其中提及了容格自然哲学的大致内容。

谈到波义耳的其他重要贡献,不得不提及的还有发现用来测试酸碱溶液的

化学“指示剂”,以及对磷元素的提取。他在17世纪晚期的科学舞台异常活跃,作品数量众多且传布甚广,几乎遍及当时科学的所有方面。

我们尤其要关注波义耳所倡导的一条原则,即《形式和性质的起源》(1666年)一书中所说的,他完全“信奉原子论,但要纠正、力排其创立者们的妄念和谎言”。他设想存在一种普遍的物质,无处不在,组成一切物体,但不可见,也无法渗透。这种物质包含了无数的颗粒,这些颗粒细微且坚固,拥有自己天然的形态。“这些颗粒便是真正的‘第一自然质’(prima naturalia)。”还有许多小物体也是由若干这样的颗粒组成,它们通常不可分,但在极少数的情况下也能重新分解为“第一自然质”。这些“次级自然簇”(secondary clusters)拥有各自的形态,能够与“第一自然质”共同构成各种形形色色的组合。尽管我们难免会将这些组合类比于现代观念中的分子和原子,但波义耳的原子学说确实与现代的和古代的原

235

子论都相去甚远。

波义耳的原子学说无疑来自法国哲学家皮埃尔·伽桑狄(Pierre Gassendi, 1592—1655年)。作为“伊壁鸠鲁主义的复兴者”,伽桑狄发展了这种思想体系以适应当时哲学的迫切需求。波义耳的化学术语都是直接取自伽桑狄关于原子论哲学的巨著(1649年)<sup>①</sup>,该书倾注了伽桑狄至少20年的心力。

某种形式的微粒哲学思想被波义耳同时代的人们所广泛接受,特别是在英格兰,受到了哲学家约翰·洛克的拥戴。然而尽管讨论颇多,在长达一个多世纪的时间里,这种微粒哲学却并没有获得实验方面的进展。人们积累了丰富的实验观察,但其中大量的是不相关的数据和记录,并不足以归纳出这种学说。

我们可从约翰·洛克的《人类理解论》(1690年)中窥得微粒(或原子)假说在17世纪思潮中的地位。每当论及第二性质和物质本体的终极物理原因时,洛克都要求助于“微粒假说”。对于他来说,“这些感觉不到的微粒”,“物质的活性部分以及自然的伟大工具”是所有第二性质的源泉。他坚信,如果知道了任何两个物体每一个细微部分的形状、大小、结构和运动,便能够预测它们之间的相互作用,也就因此能够“容易地理解‘为何银溶解于硝酸,金溶解于王水,而不是相反’,就像一位锁匠明了‘为何一把钥匙只能开一扇门,而无法打开其他的门’一样”。

236

<sup>①</sup> 应该是指《伊壁鸠鲁哲学体系》一书。——译者注



## 生理学的机械化

### 物理学在生理学的首次应用

生物科学常常被认为总是落后于物理学,并且相较于后者,总是处在一个更为低级的阶段。但这种看法几乎无法获得历史的证明。要说它具有某种真理性的话,则取决于对科学的本质有一种特殊的定义。在古代,亚里士多德曾经让生物科学遥遥领先于物理学。最早的专题性近代科学著作也无疑是生物学方面的,亦即维萨留斯的那本巨著(见第 177 页)。相形之下,哥白尼在同年出版的著作却是属于中世纪的,其中绝少有来自其本人的实际观察(见第 179 页)。因此,为了解释前述生物科学相对落后的看法,便需要设想生物学的目标,是用物理学的术语来描述与生物相关的现象。然而一旦这样设想,这种看法便成为一个不证自明的命题,因为生物学永远无法走在其物理数据之前。当然有一大批生物学家都不同意这种假设,尽管事实上中世纪有重大意义的生物学发现,都试图用物理学术语来表达。

帕多瓦大学的医学教授桑托里奥·桑托里奥(Santorio Santorio, 1561—1636 年)首次在一本名为《医学统计》(*De medicina statica*, 1614 年)的小册子中,尝试将新的自然哲学用于生物学研究。他受到其帕多瓦大学同事伽利略所用方法的启示,试图比较不同时间、不同环境下的人体重量。他发现人体仅仅在暴露的情况下就会减少体重,并将这个过程称为“不知不觉的蒸发”。该实验为  
237 新陈代谢的现代研究奠定了基础。桑托里奥还将伽利略的温度计应用于临床。如同诸多中世纪的思想一样,他的相关记述(1626 年)隐藏于一本阿维森纳著作的评注中。

英国人威廉·哈维也被视为伽利略的信徒,尽管其本人或许并未意识到。他在帕多瓦大学学习期间(1598—1601 年)恰逢伽利略活跃于此。他在 1615 年便已形成了血液循环的构想,并于 1628 年将其论证公之于众。这个发现很容易理解,我们要强调的重点是他的论证环节,这个证明不单是观察的结果,亦是伽利略测量理念的实际应用。在已知血液仅由一个路径流出心室的情况下,哈维

测量了心脏的容量,他发现心脏容积只有两盎司。心脏每分钟跳动 72 次,因此在一个小时内向外输出了  $2 \times 72 \times 60 = 8640$  盎司 = 540 磅<sup>①</sup>的血液,这相当于 3 倍的人体体重! 这些血液都来自哪里? 它们又都去了哪里? 答案只能是血液流出心脏之后又流了回来。换言之,是同样的血液在体内循环流动(见图 7.9)。

血液循环的知识随后催生出了大量关于生物体活动的物理学解释。这些知识集合起来,便成为了生理学的基础。血液是身体的搬运工,在血管中循环穿行。血液携带的是什么,又为何要携带它们? 血液

从哪里携带上它们,又是通过何种方式携带它们? 血液最终又是如何、为何以及在哪里与它们分离的? 对这些问题的回答,构成了自哈维以来的生理学研究的主要任务。当一代又一代的人们不断地获取关于这个或者那个器官的更加全面、更加理性的认识后,部分动物体的机械工作模式的拼图也逐渐清晰起来。

然而,尽管物理学方法在生理学中取得了胜利,我们却很难赞同笛卡尔那样的设想,即最清晰的图像必然是最真实的,它让人第一眼看上去就觉得最可信任。动物体从各种理由来看都并非一架机械。一架机械是其各部分的拼合,而一具动物的身体,正如亚里士多德所意识到的,却并非像一件艺术品那样是其各部分的总合。亚里士多德的世界体系正在没落,但其生物学却直到今天依然 238 不坠。

### 笛卡尔的生理学体系

伽利略的物理发现以及桑托里奥和哈维的证明,极大地推动了对于生命活动的机械论解释。许多 17 世纪的研究者们都致力于此。其中,笛卡尔的生理学



图 7.9 哈维“血液循环理论”的图示

① 540 磅约为 245 千克,亦即 490 斤。——译者注

理论最令人印象深刻。他的相关论著直到去世之后才出版(1662年和1664年),是这方面最早的生理学著作,具有重要的历史地位。

笛卡尔本人并没有任何生理学的实践知识。他建构了一个基于理论的非常复杂的机械装置,并且相信这便是动物体的结构模型。虽然其后的研究未能证实多少他的发现,但他的精巧设计却一时间吸引了许多人。在他的生理学学说中,重要的一个方面是强调神经系统及其对各种身体活动的协调能力。这可能听起来很现代,但在细节上却错得很离谱。

人的地位是笛卡尔理论的一个重要部分。他认为人因拥有灵魂而不同于万物。在他看来,产生行动是灵魂的特权,没有灵魂的动物只能被视为机器或“会动的模型”<sup>①</sup>。因此,假设我们对机器的工作知道得足够多,就可以预知它在任何给定环境下的行动。但人类的灵魂则不然,它除了自身外并不服从任何的法则。笛卡尔相信,灵魂的本质对我们来说永远都是个被封印的秘密,他同时设想灵魂通过神经系统的作用来支配人体,至于如何作用,仍然被他归结为难解之谜。他还相信,灵魂与神经系统是在大脑中的一个结构或器官中产生联系的——现代生理学称其为“松果体”。他错误地认为该器官为人类所独有,动物由于缺少它,尽管行为和动作似乎也能传达痛苦或恐惧,却完全是自动的。这几乎就是将人排除在外的现代“行为主义”了。

现代的科学研究者已经很少使用“秘密”这个词了。但应当指出的是,生理科学还无法解释由感官印象形成感觉的过程,由感觉产生思想的过程,以及再由思想激发行为的过程。在这些方面,我们还没有比笛卡尔更好的解释。即使抛弃了他的说辞,我们也无法更好地解决他的这些前沿问题。笛卡尔体系的缺陷主要是事实上的错误。基于此,他在自己关于人的论著出版后,便退出了追随第一代生理学研究者的行列。

### 物理学家们

丹麦人尼尔斯·斯坦诺(Niels Steno, 1648—1686年)是最富才干的笛卡尔生理学体系的批判者之一。他的科学工作主要在意大利和法国完成。他同笛卡

<sup>①</sup> 原文为 Automata,指古希腊人为展示科学原理而设计制作的“会动的模型”。——译者注

尔一样是一个机械论者,但与笛卡尔不同的是,他致力于实际探索人体的结构。他发现动物也拥有与人类相似的骨骼体,并且不相信此处像笛卡尔所描述的那样,是物质或精神的联结点。他在细节上对笛卡尔的批判具有十足的破坏性(见第 278 页)。

乔瓦尼·阿尔方索·波雷里(Giovanni Alfonso Borelli, 1608—1679年)的成就更具有建设性。他是杰出的意大利数学家、天文学家,一个博学的人,亦是伽利略和马尔比基的朋友。他的著作《论动物的运动》被视作“物理医学”<sup>①</sup>派的经典,代表了早期使用力学解释生命肌体方面最伟大的胜利。受到伽利略成功地运用数学来表达力学现象的激励,波雷里试图用同样的方法来处理动物体。他的这项工作实际上非常成功,用力学原理来处理肌肉运动的生理学学科因此建立起来并获得大幅的发展。在此过程中,他所受到的数学和物理学的训练发挥了非常重要的作用。他努力将力学原理解释的范围扩展到诸如鸟类的飞行和鱼类的游动这样的活动,取得了一些成功。但他关于心脏运动或者肠道运动的力学分析并不是太成功,关于我们今天所知的诸如消化等化学过程的力学解释自然也是失败的。

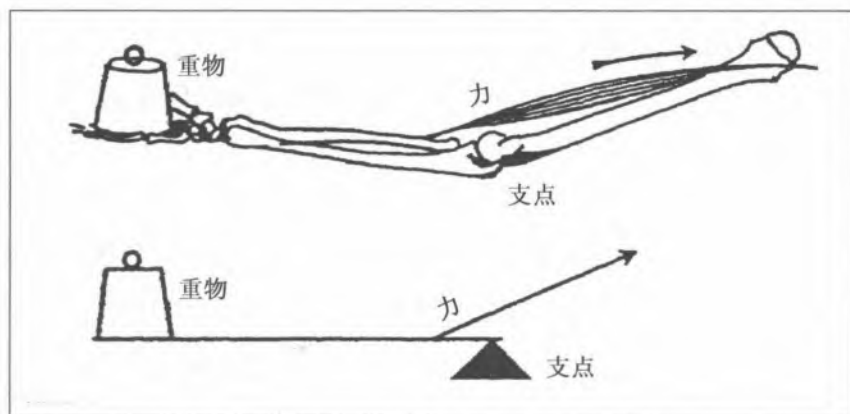


图 7.10 波雷里对人体活动的机械论说明

### 化学医学家们

正如笛卡尔和波雷里尝试用力学来解释所有的动物活动,还有的研究者试

<sup>①</sup> 分别被称为“iatrophysical”或“iatromathematical”。

图诉诸化学的解释。这种观点的先驱是帕拉塞尔苏斯(见第 174 页)和范海尔蒙特(见第 231 页)。莱顿大学的医学教授弗朗西斯·西尔维乌斯(Franciscus Sylvius, 1614—1672 年)则尝试将其发展得更加清晰融贯。17 世纪下半叶的莱顿大学业已成为阿尔卑斯山以北最进步的科学研究中心,那里有应西尔维乌斯要求建造的第一所大学实验室。

西尔维乌斯投入了大量精力研究各种盐。他将盐视为酸和碱结合的产物,也因此产生了有关化学亲和性的想法,成为化学史上一个重要的理论进展。他有着丰富的解剖学知识,接受了诸如血液循环理论和肌肉运动的力学解释等当时主要的机械论观点,同时试图用化学来解释其他的重要生命活动,并用“酸和碱”以及“发酵”等术语来表达它们。在这个过程中,他没有清楚地区分“离体酶”发酵引起的变化和“微生物”发酵引起的变化,前者如胃液或凝乳酶,后者如酒精发酵或酵母菌的发酵。但他和他的学派仍然扩展了我们对生理过程的了解,其中对体液——特别是唾液以及胃和胰腺的分泌物类消化液——的检查,尤其值得我们关注。

化学家乔治·恩斯特·施塔尔(Georg Ernst Stahl, 1660—1734 年)则代表了另一拨生物理论家的观点。他因“燃素说”而名世,但同时也是那个时代倡导“活力论”(vitalism, 见第 42 页)的主角。这是一种关于有机体性质的学说,施塔尔对它的表达晦涩而神秘,但究其实质,却是对亚里士多德观点的回归,以及对笛卡尔、波雷里和西尔维乌斯观点的否定。动物体对笛卡尔来说是一台机器,于西尔维乌斯而言是一间实验室,但对施塔尔来说,支配生物体特有现象的既非物理法则也非化学定律,而是某类完全不同的法则,即感觉性灵魂(sensitive soul)法则。这种感觉性灵魂实质上与亚里士多德的灵魂(psyche, 见第 41 页)并无二致。施塔尔认为,化学过程是这种感觉性灵魂的最直接的工具和天然的从动者,其生理学因此沿着不同于亚里士多德的方向发展。但是,这并未改变他的假说实质上源自亚里士多德的事实。

## 242 植物生理学

在 17 世纪,大多数生理学的讨论集中于动物,特别是人的生命过程,那时的植物生理学还处于一个更加初级的阶段。

范海尔蒙特业已揭示了植物是从水中获取某种营养物质的(见第 231 页)。这与亚里士多德的学说相违——后者曾详尽地阐述过植物从土中获取养分。范海尔蒙特之后的一代人则寻求建立一种确实的植物生理学体系,然而成效并不显著。伟大的博洛尼亚显微学家马尔切罗·马尔比基(Marcello Malpighi, 1628—1694年)误以为植物的汁液是通过枝干的木纤维部分输送到树叶的,并设想树叶其后将这些汁液制成生长所需的物质,接着再分配到植物的各个部分。他完全凭借想象构思了一个堪比动物血液循环的“树液循环”,同时错误地相信,植物的呼吸作用是在“螺旋管”中进行的,这些螺旋管乍看上去与他所熟悉的昆虫气管很相似。

最早的植物生理学实验出自法国教士埃德姆·马略特(Edmé Mariotte, 卒于 1684 年)。这位能干的物理学家观察到了使树液上升的高压强,他把这压强与血压相比较。为了解释树液压强的存在,他推断在植物体中一定有某种使液体只能流入而不能流出的东西。他认为,正是树液压强扩张了植物的组织,并由此促进了它们的生长(1676 年)。

马略特明确反对亚里士多德的植物灵魂概念。他认为,这个概念不能解释每个植物物种甚或一株植物的部分——如插枝——在后代中对其自身特性的准确再生。在植物学方面,他是一个彻头彻尾的机械论者,反对亚里士多德的学说。植物的所有生命过程对于他来说都是物理力相互作用的结果。作为这种观点的推论,他相信有机体可以自发地产生。

### 经典显微学家

243

使用化学和物理学术语来解释生命活动一直持续至今,但今天的情况已与 17 世纪下半叶那数量众多、内容惊人的微观研究大不相同。当时第一流的研究者有五人,分别是博洛尼亚的马尔切罗·马尔比基(1628—1694 年)、伦敦的罗伯特·胡克(1635—1703 年)和尼赫迈亚·格鲁(Nehemiah Grew, 1641—1712 年)、阿姆斯特丹的简·斯旺默丹(Jan Swammerdam, 1637—1680 年),以及代尔夫特的安东尼·范列文虎克。他们都致力于借助显微镜研究生物的结构和行为,取得的成就不但使其同时代人感到无比震撼,也让今天的历史学家由衷敬佩。然而,他们的工作在当时令人意外地没能促成普遍观念,也没有一个人启迪了一个学派。因此他们的观察工作在接下来的世纪里几乎没有得到延续,我们只能转而在 19 世纪去寻找他们的真正后继者。从这个意义上来看,尽管这些

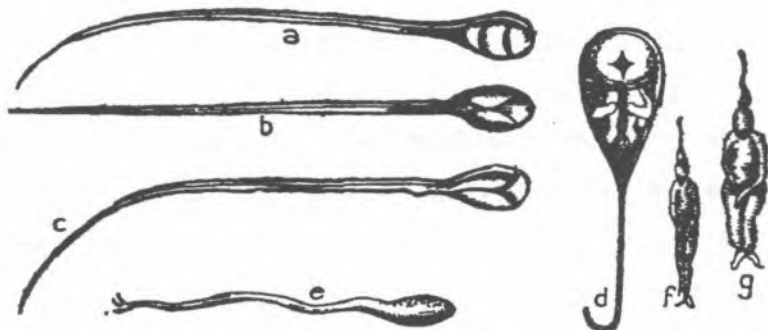


“经典显微学家”的生物学观察有着巨大的影响,在科学通史中却只能占据一个不那么突出的地位。我们可以将他们所开创的普遍观念简单地归纳如下。

第一,几乎与伽利略和开普勒在上一代人震惊的目光中所揭示出的天文世界那出乎意料的复杂性和有序的庄严一样,微观世界中生物的无限复杂性也带来了哲学上的烦扰。尤其是微小生命的巨大多样性,立即给“创世”构想提供了新的论据,但也增加了新的困难。

第二,在一些重要的方面,动物组织的微观研究有助于把生命体看作一架机器。循此构想,哈维业已指出血液在其循环中乃是由动脉流向静脉,但两者之间的通路对他来说尚属未知,马尔比基和范列文虎克则揭示了这通路就是“毛细血管”。这些观察者们还发现了血液中的(红白)血球、“腺体”的分泌功能,以及肌肉的纤维特性,从而进一步完善了“动物机器”的细节。

244 第三,有性生殖的实质是一个长期争论的话题,一个在雄性元素中的新发现引起了新的思考——我们现在称其为“精子”。精子是有活性的,但它的活性又是如何产生的呢?在信念之光而非闪烁烛光的照耀下,一些观察者们透过他们那并不完美的显微镜,在许多精子中都看到了一个“矮人”(目光如炬的马尔比基和范列文虎克却没有“看到”)。另一些观察者则固执地相信“矮人”应当由雌性元素携带,是在胚胎中而非精子里,这同样也是由“信念的眼睛”看到的。相比之下,哈维更为清醒和保守,他认为,由卵子中的简单物质产生出复杂的胚胎是一种“面貌一新”,是一个再生的奇迹,是由神奇的无法揣度的“生殖之力”所引起或激发的。



a、b、c来自范列文虎克(1679年),d来自哈特索克(Hartsoecker, 1694年),e、f、g来自普兰特迪斯(Plantades, 1699年)。

图 7.11 人们在 17 世纪看到的人类精子

第四,对显微观察结果的分析表明,植物和动物的结构之间存在着某些相似性。于是一些错误的类比便出现了,并时而产生出一些神奇的传说,随之出现的还有对这些幻想的辩护。诗人们吟哦的“植物之爱”也并非全是寄兴,它反映了人们开始意识到花也含有性元素,这是在花的生殖过程与动物的生殖过程之间进行的真正比对。

第五,最后,在17世纪晚期关于微生物的讨论中还有一个话题需要特别提及,这就是生物的“自发繁殖”,亦即生物体从非生命物质中的产生。

245

### 自发繁殖

无论是古代、中世纪还是文艺复兴时期的科学作者们,都深信自发繁殖是经常发生的。关于这个问题有相当多的作品。在各种雷同的说法中,尸体“产生”蠕虫,泥垢“产生”害虫,酿酒“产生”醋鳗,以及诸如此类的情形。自发繁殖说往往被认为是亚里士多德提出的,自然在他的著作中也能够看到,但事实上对于亚里士多德来说,它更多地只是某种一般的假设。当自发繁殖的真实性首次遭到质疑时,亚里士多德的权威也随之动摇,他本人——或许应该更准确地说,是那时对他的误解——也成为科学进步的阻碍。的确,亚里士多德在他的生物学体系中提到了自发繁殖,他的错误也波及了17世纪前的每一位自然研究者,但这些人确实也很难通过自己的知识得出一个不同的看法。

随着17世纪下半叶实用显微镜的出现,新的趋势到来了。一方面,对微生物的研究表明,许多情况下的所谓自发繁殖都是被错误解释的。例如,植物虫瘿一直被认为是自发繁殖的,马尔比基却证实了这种异常生长是昆虫的幼虫所造成的。另一方面,显微镜却显示出微生物似乎是凭空出现的。范列文虎克从干草和其他物质的浸出液中观察到了数量惊人的微生物。这些浸出液起初非常清澈,但在数日甚至数小时之后便布满了活跃好动的微小生物。它们看上去就是自发产生的。

佛罗伦萨的内科医生弗朗西斯科·雷地(Francesco Redi, 1621—1697年)首次对这个问题进行了科学的研究。他告诉我们(1668年):

(他)开始相信,在肉中发现的所有虫子都来自苍蝇,而非从腐败中自发产生的。我通过观察证实,在肉生蛆之前,那些稍后会在其中产卵的苍蝇绕

246

着它飞来飞去。未经实验证实的理论是苍白的。因此，我在四个大的广口瓶中放入一条死蛇、一些鱼和一片牛肉，盖上盖子并密封好。然后我用同样的方式准备了四个相同的瓶子，但是让瓶口敞开着。我看着苍蝇在开口的瓶子里不断地飞进飞出，里面的肉和鱼开始生蛆。而在封闭的瓶子里，尽管肉已经腐烂发臭，却并没有生蛆；在封口的盖子外面，一些蛆虫焦急地寻找着进入的缝隙。

因此，除非生物在其中产卵，不然死去动物的肉里面不会生虫。

在密闭瓶子隔离空气的情形之外，我又设计了一个新的实验来解开所有的疑问。我在盖着纱布的花瓶中放进肉和鱼，为了避免苍蝇的干扰，又将它放入一个纱笼里。尽管在罩子上有很多蛆，苍蝇不时地停落在外面的纱网上并在那里产下他们的幼虫，我却并没有在肉里看到蛆虫。

令人诧异的是，尽管做了这些可敬的实验，雷地仍然相信虫瘰是自发产生的。另一位知名的意大利内科医生接着研究了这个问题，他叫安东尼奥·瓦里斯内利(Antonio Vallisnieri, 1661—1730年)。他再一次证明了植物瘰瘤中的幼虫来自事先产在其中的虫卵(1700年)。瓦里斯内利将瘰瘤的形成过程以及植物感染蚜虫的疫情比作疾病的传播。其他研究者则表明，那时人们普遍认为的由“泥垢滋生”的跳蚤和虱子，实际上只是由它们的同类产生的。

在支持与反对自发繁殖说的观点不相上下之际，这个问题在17世纪终结了。其可能性并未获得实际观察的证明，对它的全面否定也同样没能获得支持。为何浸出液中会发现微生物的问题仍然存在，其中的那些形态各异的生物在当时被称为“滴虫”。

总之，我们可以说，机械论的强烈倾向结束了生物学的革命世纪。然而微观  
247 世界仍然是个谜。这是一块神奇的领地，在那里，所有的法则似乎都可能随时被打破。人们常说“法律不关心那些太小的事物”(De minimis non curat lex)，但律师的法律和自然界的法则是截然不同的。

## 第八章 机械的世界——决定论的登台

### 牛顿：天体运行的数学法则

公元 427 年前后，圣奥古斯丁

这个伟大的博士漫步海边，思索三位一体的问题。这时，他发现一个小孩在 248  
沙滩上挖了一个小洞，手里还拿着一把勺子，正在用勺子舀水倒进洞里。圣  
奥古斯丁问他在干什么，他说：“我要把所有的海水都舀出来倒进这个洞  
里。”“什么？”圣奥古斯丁说，“这怎么可能呢？大海如此宽广，而你的洞和勺  
子却是如此之小。”小孩回答说：“与你要解密三位一体之神秘相比，把所有  
的海水倒进这个洞里要容易得多了。因为三位一体之于你的智力，远超过  
大海之于这个小洞。”说完，小孩就不见了。（改编自《黄金传奇》，威廉·卡  
克斯顿[William Caxton]1483 年英译）

公元 1727 年，在去世之前不久，伊萨克·牛顿如是说：

我不知道世人如何看我，但是就我本人而言，我似乎就像一个在海边嬉  
戏的男孩，不时发现一个更加光滑的卵石或者一个更加美丽的贝壳，而对于  
面前的真理大海，我还没有发现。（源自约瑟夫·斯彭思[Joseph Spence，  
1699—1768 年]的《趣闻轶事》）

纵览科学史,最清晰可见的是人类精神之持久的、基本的一致。自文明肇始,人类就开始了对宇宙统一的总方案的不懈探索,虽历经挫败而不言弃。因此,两位在年代、禀赋、情感等方面如此不同的人物,诉诸同一个形象来表达他们对于无限的认识,也就一点不奇怪了。

圣奥古斯丁(354—430年;见第124页)实际上标志着一个伟大纪元的开始,而13个世纪之后,伊萨克·牛顿(1642—1727年)的到来标志着这个纪元的终结。在其《忏悔录》中,圣奥古斯丁说“柏拉图主义者”(即新柏拉图主义的教导者们,见第124页)所缺少的唯一一个基本真理就是道成肉身的理论。正是圣奥古斯丁认为基督教的思想应该被置于新柏拉图主义的模范之中,其印记一直影响至今。他的贡献就是从基督教的角度赋予人独一无二的尊严,而这是为某些异教徒哲学家所否定的。约翰·德莱顿(1631—1700年)身上也有圣奥古斯丁的新柏拉图主义精神,就在牛顿最伟大的作品面世的那一年,他静心聆听“天体的音乐”:

从和谐,从天堂的和谐,  
开始了宇宙的框架。  
从和谐到和谐,  
流淌过所有音符的音域,  
和音完全把人包裹。

——《圣西里西亚节颂》,1687年

在新柏拉图主义的基督教世界里,有一个等级结构,从纯粹精神的,到纯粹物理的,而这一切都统一于上帝的天堂的和谐。几个世纪过去,天体的音乐将人的心智催眠,而其精神依然清醒。最后,拉丁人从阿拉伯保管者(见162页)那里,重新发现了亚里士多德——一个改头换面的亚里士多德,经院哲学就此诞生。于是,古老的宇宙方案被新柏拉图主义的亚里士多德主义扩大,信仰的“黑暗时代”让位于理性的“中世纪”。然而,柏拉图及其代言人圣奥古斯丁的符咒依然没有被打破。中世纪基督徒的精神领域延伸到了无限,渴望能够接近不朽的上帝。但是,基督徒的物质世界、圣奥古斯丁的世界、柏拉图主义者的世界、斯多葛派的世界、被改头换面的亚里士多德的世界,依然受到那些火墙的限制,就连

思想也几乎无法突破它们。

事情在16世纪发生了变化。哥白尼将地球从其古老的位子(见第179页)上移置到一种新形式的旧传统中,而布鲁诺宣称宇宙乃世界之外的世界,没有中心和周长,在其中,一切地点、一切时间都是相对的。对他来说,群星不再固定不动,宇宙的边界也只是空想。其后,开普勒用可以理解的数学法则来表达天体的运行,伽利略提出了地球的力学理论,通过这一理论,他暗示天体之间必然有某种契合。抛开旧有的种种假定,波义耳和新实验学派以一种崭新的、精确的精神探索了物质的特性。哈维、笛卡尔和波雷里将生命体作为机械系统进行了解析,而马尔比基、胡克、格鲁、范列文虎克和斯旺默丹利用显微镜揭示了广大的领域和生命形式,还有甚至是最微小的生物也有着极其复杂的结构,它们如此渺小,前人根本就不知道它们的存在。 250

到了17世纪的七八十年代,法国、英国和意大利的学术团体成为交流科学思想的中心。也许这些团体最伟大的成就便是形成并完善了展示发现的方式和方法。于是,科学交流的形式被标准化,缜密的演示过程成为必需。引述权威是无用的,英国皇家学会的会训就是“勿轻信人言”,它从1664年就开始出版学术刊物了。对证据、具体的数据和可以任意重复的实验等方面的要求,创造了我们今天所了解的科学。

遗憾的是,这种新式科学的展示方式要求研究者本人必须隐身,这常常会导致对其目标和方法的误会。随着“科学期刊”的出现,要想探寻文本背后作者的思维,变得越来越难。科学出版的新方式让我们无法看到这些著作和论文的作者尝试性的努力和观点。牛顿本人的经历就很好地说明了这一点。

虽然伽利略和开普勒打破了以地球为中心的宇宙观,但是他们的展示并没有马上推翻以太阳为中心的宇宙观。还没有人证明各个恒星与我们的行星系统有着不同的距离,这一观点也没有得到广泛的表达。但这样的思想在科学界注定将被广为接受。星球不同的体积、偶尔出现的新星,还有很多其他的现象,这些都表明了群星和我们的太阳、地球以及太阳系的其他行星属于同一量级。布鲁诺的酵母已经发挥了作用。1686年,牛顿的《自然哲学的数学原理》发表的前一年,出现了一本非常著名的作品,它就是法国学者丰特奈尔(Le Bovier de Fontenelle)的《世界的多元性》。当时有很多人和他的想法一样。惠更斯在1698年 251



这样写道：“我和我们时代的所有伟大哲学家持同样的观点，即在本质上，太阳和恒星是相同的。这些恒星或太阳会不会和我们的太阳一样，有很多行星相随，而这些行星又有很多卫星作为侍从呢？”如果地球只不过是太空中一颗移动的微粒，那么太空本身一定就像布鲁诺所宣称的那样是无限的。最初的存在一定是宇宙，而不是人。在这个新发现的宇宙中，哲学家们争先恐后地探寻规律，天体的音乐变得更加遥远，有时甚至变得不再和谐。

这种变化起初只是一种量变而非质变。对天体运行规律的探寻由来已久。行星和恒星运动的规律在古代的天文学理论中已经逐渐形成。甚至在中世纪，也有几条天体运行的数学关系被发现。在16世纪，以第谷（见第183页）为首的天文学家为后来的“伟大的复兴”（见第227页）做好了准备。接着，伽利略以证据表明最遥远的天区（见第206页）也是变化的，震惊了整个世界，因为根据亚里士多德和柏拉图的理论，这里是完全没有变化的。

到了1618年，开普勒已经阐明了他的行星运动三大定律，让这些运动之间的相互关系变得可以理解（见第204—205页）。随后，伽利略证实了万有引力定律，已经基本上接近了牛顿所贡献的“运动三定律”（见第199—200页）。其他的科学家（其中包括胡克和沃利斯）也在朝着同一个方向摸索前进，但是牛顿第一个证实了这些定律，并且成功地将其与开普勒的行星运动定律联系起来。在牛顿之前，还没有人证明或者清晰地、有依据地理解天体的复杂运动是怎样和地球上的自然现象联系起来的。牛顿的独特成就就在于他证明了这种联系几乎是普适的，正是他让人们意识到导致石头下落的力量也使行星在自己的轨道上运行，也是他第一个阐明了在太空和地球同样适用的定律。牛顿让宇宙获得了一种独立的理性，这种理性与精神层面或者其外的任何事物几乎没有任何关系。柏拉图、亚里士多德、圣奥古斯丁和神学家们的宇宙观被推翻了。

牛顿知道，如果让一块石头自然下落，其重量——地球引力的另外一个名称——将会使其在下落的第一秒行进一定的距离，而这个距离是可以测量的。他很早就怀疑让月球在其轨道上运行的力量就是这种地球的引力。月球围绕地球公转的周期以及运行轨道的大小都可以估计，因此，其速度是可以计算的。这时，它和任何沿着弧形轨道行进的物体一样，在任何一个特定时刻都在朝着与其轨道相切的方向运动。但是月球，就像我们所知道的那样，并没有继续沿着切线

运动,而是不得不沿着环绕地球的椭圆形轨道行进。在这一秒结束时,月球像石头一样,已经朝着地球“下落”了一定距离(见图 8.1)。地球吸引着月球向自己靠近。现在,根据开普勒的定律,牛顿有理由怀疑地球对于一切物体的引力和距离的平方成反比。如果这一推测成立,则可以有如下的等式:

$$\frac{\text{月球下落的距离}}{\text{石头下落的距离}} = \frac{(\text{石头和地心的距离})^2}{(\text{月球和地心的距离})^2}$$

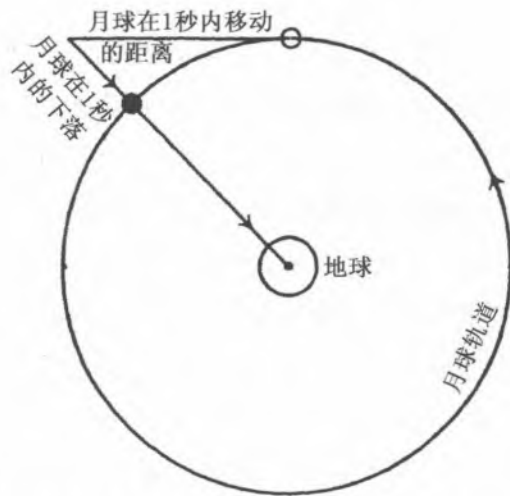


图 8.1 复合了切线运动和向心运动的月球轨道示意图

在 1666 年牛顿第一次思考这个问题时,他发现月球的“下落”距离只有他所预料的  $7/8$ 。此时他已经形成了万有引力的概念,即物质的每一个粒子都相互吸引,他怀疑引力的大小和物体的质量成正比,和物体之间距离的平方成反比。数年之后,他才具备了足够的知识和方法来证明“月球的下落”有其理论所需要的价值。到了 1671 年,他已经掌握了绝妙的数学方法来处理弧形,从此这种方法获得了另外一个名称,那就是现在人们所熟悉的“微积分”。

此时,万有引力在地球上的作用和在天体之间的作用被认为是一样的,至少 253 就某一具体的情况而言是如此。牛顿提出了一个宏大的假设,尽管在细节上还有待完善。这里我们要感谢天文学家埃德蒙多·哈雷(1656—1742 年),他因为以他的名字命名的彗星而周期性地被人们提起(见第 260 页),多亏了他,牛顿开始思考万有引力的整体问题。几年的辛勤工作之后,1685 年,牛顿最终证明了当

球体吸引外部某一物体时,就像该球体全部的质量集中在球心一样。他根本没有预料到结果会如此美妙,直到他通过数学演算得出这一结果。手里有了这一原理,宇宙所有的机制便都展现在他的面前。在1687年的《自然哲学的数学原理》一书中,他对其进行了阐释。而与此同时,哈雷承受了所有的压力,将自己的研究抛到一边,为了推进被认为是最伟大的科学著作而牺牲自己。这本书通常被称为《原理》,它所确立的关于宇宙结构和工作原理的观点一直影响到我们这一代人。

254 牛顿对人们的思想转变产生了全面的、革命性的影响,这一点起初连他本人都没有意识到,但是在整个18世纪,其影响变得日益显著。最具革命性的一点就是牛顿构造了一个完全独立于精神领域的宇宙。这是与中世纪所代表的一切最意义深远的决裂。牛顿将世界带入了科学决定论的时代。

牛顿的革命性影响并不是从一开始就一目了然的,但《自然哲学的数学原理》在科学上的重要性和牛顿的其他贡献一样,甫一出版便被认识到。牛顿的著作是写给数学家看的,其重要性是其他任何人都无法充分理解的。他需要解释者,其中最能干、最富成效的便是伏尔泰(1694—1778年)。伏尔泰于1726年至1729年之间在英国生活,多亏了他,我们才有了众所周知的牛顿与苹果的故事。在对牛顿的哲学进行解释的过程中,他得到了情妇夏特莱侯爵夫人(Emilie de Breteuil, Marquise du Chastelet, 1706—1749年)的帮助,后者是一位才华横溢的数学家,她把《自然哲学的数学原理》翻译成了法语,该译本在她去世的1759年得以出版。1737年,伏尔泰发表了《牛顿的哲学原理》,文笔优美,通俗易懂,这标志着牛顿哲学的真正胜利和亚里士多德主义的最终失败。

牛顿所带来的方法和观点上的变化如此巨大,以至于有时人们会意识不到这些变化也是科学史上一系列事件的一部分。对某些老生常谈的语句的使用或滥用让这个问题更加模糊。牛顿的“我不做假设”常常被人们所引用。他的声望之高导致了这样的论断,“虽然之前的科学家对天体运动进行了描述,但却是牛顿第一个对其进行了解释”。对这些陈述进行考察,我们可以更好地了解科学活动的本质。

牛顿那句著名的“我不做假设”出现在《自然哲学的数学原理》一书的最后。原文是这样说的:“迄今为止,我还没有从现象中推导出引力具有这些特征的原

因,我不做假设,因为凡是不能从现象中推导出来的都应该被称为是假设。”

这里牛顿对“假设”一词的初始意义进行了准确的描述。在柏拉图<sup>①</sup>还有更 255  
早署名为希波克拉底(见第30页)的作品中,“假设”这个词被用来指代一个假定的方案,要想展开探讨,就必须接受这个方案。从词源上看,“hypothesis”的字面意义为“基础”,这个词源自希腊语,由两部分构成,分别是“hypo”和“thesis”,意思是“放在下面的东西”。在法律中我们常常会遇到这样的假设,有些仅仅是法律上的虚构,如“国王永远不会错”;有些是对极小可能性的方便表达,如“租约期限为999年”;还有些指代程序,如无罪推定原则,即“在判定一个人有罪之前,应该将其视为无罪”。上述这些都是柏拉图、希波克拉底和牛顿所使用的“假设”的意义。它们都无法证实,都是工作方案的一部分,可以很方便地、恰到好处地适用于某些特定的现象。从这个意义上讲,牛顿说“我不做假设”,当然是正确的。

但是,如果这个词被用来指代我们通常所理解的科学假设,即通过一系列观察而得出的概括,并且我们有足够的理由希望进一步的观察可以对其进行验证,那么我们必须说牛顿在不断地发明假设,利用假设。他把万有引力在地球上的作用原理应用到月球的运动,这就是一个很明显的例子。一旦有了这样一个适用于月球的“假设”,就可以将其用于行星系统里的其他成员,事实上他正是这样做的。这一假设被行星所证实,于是他更加坚信其第一个推断的价值。在发明假设方面,牛顿的全部科学活动都很卓越。实际上,成功地发明假设正是他的科学声望的标志。

至于描述和解释之间的区别,情况与此基本上差不多。牛顿知道一种被我们称为是万有引力的特性和我们直接体验的一切物质都有关系,对这一特性有了准确的概念之后,他开始思考行星的运动,发现这些运动可以根据万有引力进行重新表述。这样做就是描述,而不是解释。我们可以理直气壮地说“科学的真正目标是描述”。下面让我们把这一论断应用于牛顿之前的几位科学家。

托勒密利用本轮的概念来表达天体的似动<sup>②</sup>,这就是他的描述方法。如果问 256  
他:“为什么本轮会是这样?”他可能没有答案。他描述了,但没有解释。

① 如《斐多篇》。

② 指把客观上静止的物体看成是运动的,或把客观上不连续的位移看成是连续运动的一种现象。——译者注

哥白尼推翻了地心说。他更简洁也更充分地描述了这些现象,认为地球绕着太阳旋转,而太阳是静止不动的。如果问他:“为什么地球会这样运转?”他可能没有答案。他描述了,但没有解释。

开普勒以椭圆定律更加简洁充分地表达了这些现象。但是如果问他:“为什么会是椭圆形的轨道?”他可能没有答案。他描述了,但没有解释。

牛顿将更加完整的方案建立在物体之间相互吸引的基础之上。如果问他:“为什么物体会相互吸引?”他可能没有答案。<sup>①</sup>因此,如果他对行星系统的描述可以被称为一种解释,那么这样的解释和描述并没有多大区别。描述和解释之间的区别最终无法明确。科学的功能在于以尽可能简洁的词语进行描述。归根结底,描述所用的词语必定不能进一步分析,如果这样的词语存在的话。

随着人们对机械的世界观的接受,表达人们思维变化的术语也发生了重大的变化。在圣奥古斯丁和牛顿之间长达 14 个世纪的时间里,基督教哲学占据绝对优势——起初毋庸置疑,最后有点骚动不安。但是在之后的两个世纪里,对自然的研究结果越来越无法被纳入人们所接受的哲学框架。通过词义上的变化这个风向标,有时可以看出思潮涌动的方向。正是在这两个世纪,某些“哲学思考”——牛顿及其同时代的科学家常常用这个表达来指代他们的劳动——开始逐渐被称为“科学研究”,这并非偶然。科学,关于自然的知识,开始从哲学分离出来, 257 后者是指对宇宙真谛的探索。这种变化代表了一种兴趣的分化,这一过程超出了我们这里所考察的时间范围。因此,加上其他一些原因,要想把现代科学的历史作为一个连贯的整体来呈现就十分困难。从现在开始,为了让我们的叙述明白易懂,就需要进行更细的分门别类。科学描述的不是作为整体的世界,而是一次一小部分,每一门学科选择各自的领域。“部门化”成为一种有意识的行为。

## 宇宙之形态学

与牛顿理论有关的对于宇宙总体结构的探究,无疑能够分为三个学科,分别

<sup>①</sup> 牛顿的确尝试做出回答。他试图利用以太理论来“解释”万有引力。即使他成功回答这个问题(他没有),也只能是一种重新描述。

是：(1)观测天文学，即通过望远镜对天体进行直接研究。(2)动力天文学，即用数学公式来表达天体的运动，并在万有引力的基础上，利用数学公式对天体运动进行预测。(3)天文物理学，又名天体物理学或物理天文学，是对天体的物理和化学组成以及状态所进行的研究。

### 观测天文学

在路易十四的命令下，伟大的建筑师克劳德·佩罗(Claude Perrault, 1613—1688年)在巴黎建造了一个天文台，这是现代第一个国家天文台。其用意很明确，那就是为科学工作者提供方便，而不管他们来自哪个国家。建成后不久，法国人让·皮卡尔(Jean Picard)、荷兰人克里斯蒂安·惠更斯、丹麦人奥洛斯·罗伊默(Olaus Roemer)和意大利人 G. D. 卡西尼(G. D. Cassini)便都来到了这里工作。

让·皮卡尔(1620—1682年)是一位严谨而细致的观察者，人们记住他是因为他于1671年测定了地球的尺寸(见第271页)，而这构成了牛顿进行运算的基础。他还认识到惠更斯发明的摆钟在天文学上的价值，并第一个系统地使用了望远镜的瞄准具。

在来到这个新建的天文台之前，克里斯蒂安·惠更斯(1629—1695年，见第193—194页)已经做了很多重要的科学工作，例如改进了望远镜。在1653年与 258 1656年之间，他证明了土星外表的变化——即伽利略所谓的“耳朵”——是一个倾斜黄道面28度的圆环所引起的。他还实际上第一个将测微计用于望远镜，用来测量微小的角距(1658年)。<sup>①</sup>在天文学方面的这些经历，激发了他对精确的计时方式的渴望。为此，他把一个钟摆连到一个由重锤驱动的计时器上，这样计时器就可以让钟摆运动，钟摆则可以控制计时器运动的速率。在1658年发表的《时钟》一书中，这一设备为世人所知，这一作品也被公认为现代钟表制作工艺的基础。

① 早在1640年，英国人威廉·盖斯科因(William Gascoigne, 1612—1644年)就发明了测微计。大约在1666年，法国人阿德里安·奥祖(Adrien Auzout, 1691年去世)对惠更斯的发明进行了改进。



惠更斯于 1671 年开始在巴黎皇家天文台工作,在 1673 年发表了著名的《摆钟论》<sup>①</sup>,这是一部天才的杰作,以其对动力学原则的精通影响了很多学科,其科学重要性可能仅次于牛顿的《自然哲学的数学原理》,而后者在有些方面借鉴了它。这本书主要是对摆钟原理的数学分析,其重点在于圆周运动是力的合成。书中有一句话很著名,那就是对于从此被称为“牛顿第一运动定律”(见第 199 页)的表述,惠更斯写道:“如果没有重力,也没有空气的阻力,物体会以原来的运动方式保持匀速直线运动。”该书简洁明了地表达了关于惯性本质的现代观点。<sup>②</sup>

通过试验,惠更斯用秒摆测量了重力加速度。所谓秒摆,亦即一次摆动的时间正好为一秒的钟摆。通过精确测量悬挂点和秒摆重心之间的距离,可以计算出地球表面任何地点的重力加速度。惠更斯自己的计算结果是每秒 32.16 英尺。<sup>③</sup>

1681 年,惠更斯回到了荷兰,再次投身于光学和光学设备的研究。通过在“航空望远镜”上使用焦距巨大的透镜,他发明的光学结构的原理规避了色差所导致的很多困难。他所发明的“惠更斯目镜”至今还在被使用。

1675 年,奥洛斯·罗伊默(1644—1710 年)第一次表明光有一定的速度。其结论建立在观察的基础之上:他发现,当木星和地球互相接近时,木卫被掩食的间隔要小于两者互相远离的时候。这个发现极其重要,但却被那个时代天文学界的独裁者、保守的卡西尼所拒绝。

卡西尼(1625—1712 年)最初是为教皇服务的工程师,凭借其所发表的关于彗星的研究成果(1652 年),以及对木星、火星和金星运转周期的研究(1665—1666 年),在天文学界确立了自己的声望。1669 年,应路易十四之召,他来到了巴黎,成为天文台里影响最大的人物。在他的主持之下,发现了地球两极稍扁,这一发现在天文学上意义深远(见第 272 页)。也是在他的主持之下,火星的视差得以测定,并据此于 1673 年对火星和太阳之间的距离进行了估算。他对太阳

① 不要和 1658 年的《时钟》弄混了。

② 在 1669 年提交给英国皇家学会的关于弹性物体碰撞规律的研究成果时,他就暗示了质量和惯性的概念。在这方面,约翰·沃利斯(见第 193 页)和克里斯托弗·列恩(Christopher Wren, 1632—1723 年)走在他的前面。

③ 约为 9.802 36 米,现代的重力加速度的标准值为 9.806 65。——译者注

与地球之间距离的估算尽管截止到当时都是最接近的,但是仍然约有 7% 的误差。

卡西尼是一个传统而虔诚的人,是哥白尼日心说的反对者,这在当时是很异常的。他在天文台的位置在家族中又传了三代。从 1671 年至 1794 年,卡西尼家族在天文台的支配地位持续了 120 多年,天文学研究则延续了两个多世纪(1625—1845 年)。在其家族统治即将终结时,他们的保守和偏见逐渐缓和,却已经对法国的科学造成了很大的伤害。

此时英国天文学家的兴趣逐渐转向海上,并于 1675 年提出了一个在海上测定经度的方案。已经在天文学界崭露头角的约翰·弗拉姆斯提德(John Flam- 260 steed)认为,在当时对于恒星的位置没有更精确了解的情况下,这是行不通的。查理二世得知此事之后,马上命令“为了海员们,他必须对它们进行重新观察和考察,并修正以前的错误”。于是就在格林尼治为弗拉姆斯提德建立了一座天文台。弗拉姆斯提德殚精竭虑,在 1676 年至 1689 年之间确定了近两万颗恒星的位置。他最好的观测是利用他在 1689 年发明的墙仪来完成的,这标志着仪器上的一大进步,有了它,就能够比以前更加精确地确定恒星的位置。他所绘制的星表构成了现代天文学的基础。

1720 年,埃德蒙多·哈雷继承了弗拉姆斯提德在格林尼治天文台的位置。他是一位了不起的人物,在 20 岁之前就已经发现木星和土星的真正运行轨道和当时理论所预测的轨道有偏差。意识到有必要到南半球进行观察才能调整这些差异之后,1676 年,他来到圣赫勒拿岛,并在此观察了 18 个月。在此期间,他改进了秒摆(见第 258 页),确定了 341 个从未被准确记录过的恒星的位置。与此同时,他还对科学做了很多其他贡献,特别是做了一系列的气象观测。这项工作使他于 1686 年发表了第一部载有海洋盛行风分布的气象图,并试图对其进行解释(见第 275 页)。此外,他还第一次观察到水星经过日面的全过程。

1680 年,哈雷开始了对彗星运行轨道的研究。1682 年,一颗彗星出现,其轨迹被几位观察者看到。牛顿曾经表示彗星在近日点可能会沿着扁椭圆轨道运行,这种椭圆和抛物线没有什么区别(图 8.2)。哈雷计算了 1682 年彗星的形状、位置和轨道要素,注意到这些结果和 1531 年以及 1607 年的彗星极其相似,由此

推测他所看到的彗星是以前人们观察到的那些彗星的回归,并对彗星以前的出现进行回推。1705年,他发表了这样的观点,即彗星每75.5年沿着极其漫长的扁椭圆轨道回归一次,其轨迹远远超出行星的运行轨道(图8.3)。现在我们知道,从公元前12年到1910年,哈雷彗星以这样的周期一共出现了26次。1066年的彗星回归非常著名,它大大削弱了哈罗德国王的士气,因为该现象被认为是他要败于征服者威廉的征兆。巴约挂毯描绘了黑斯廷斯战役的这一幕。

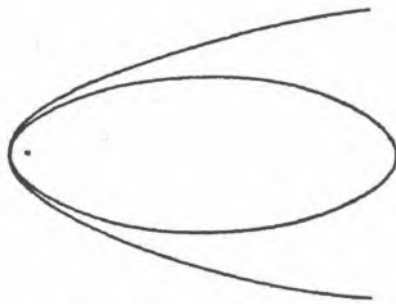
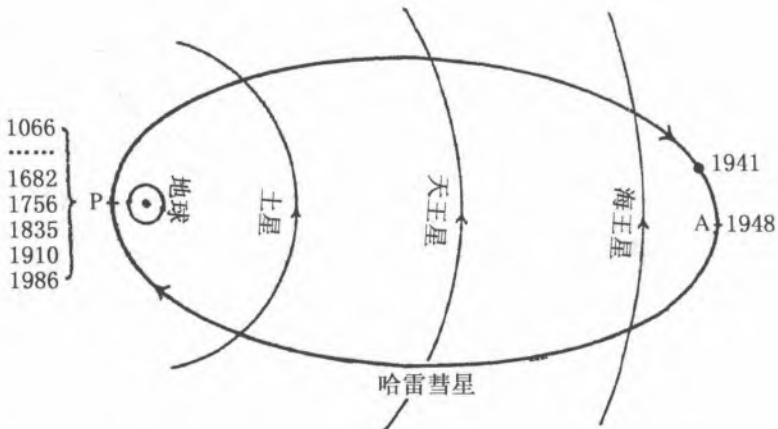


图 8.2 抛物线和拉长的椭圆,在靠近共有的焦点时,两者之间的区别变得微乎其微



标注出的是到达近日点 P 和远日点 A 的不同年代

图 8.3 哈雷彗星的轨道

詹姆斯·布拉德利(James Bradley, 1693—1762年)是哈雷的继承者,他为观测天文学贡献了两个重要的概念,分别是光行差(1729年)和地轴的章动(1748年)。

要想最简单地解释光行差这一概念,只要思考一下当初启发布拉德利本人想到这一概念的情况就可以了。假设你乘坐小船在风中航行,船头桅顶上有一面旗子,如果改变航向,旗子的视方向也会改变,现在用来自一个恒星的光取代风,用围绕太阳运转并不断改变方向的地球取代小船,则恒星的视位置必然会发生周期性的变化。布拉德利第一个注意到这一点,也第一个对此进行解释。

地轴的章动(nutation,拉丁词源意为“点头”)是指地轴在和岁差(见第 77 页)相对应的简单运动之外所进行的波状运动。如此一来,地轴的运动就不再如简单的岁差运动那样是圆周运动,而是呈现出圆锯齿状(图 8.4)。从布拉德利的时代开始,很多天文学家对地轴的运动进行了研究,结果发现章动只是其复杂运动方式中的一种。

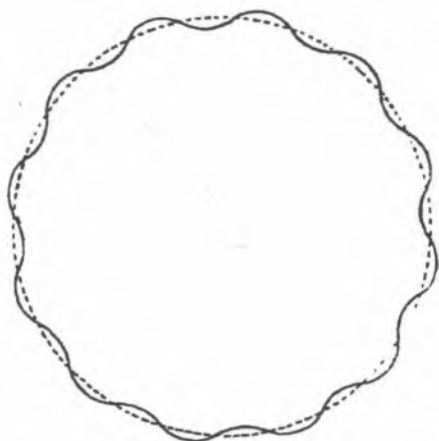


图 8.4 进动与章动

262

在 18 世纪的观测天文学家中,威廉·赫歇尔(William Herschel, 1738—1822 年)无疑是最突出的一位。他生于当时归英国王室所有的汉诺威,1757 年来到英国,其后转向天文学,掌握了制作望远镜的技能。他用越来越强大的望远镜四次对太空进行了全面的观测,1781 年第二次观测时发现了天王星。这是史上第一个新发现的行星。随着进一步改进所制作的望远镜,他又先后发现了天王星和土星的卫星,前者在 1787 年,后者则在 1789 年。

赫歇尔作为天文观测者,在勤奋和严谨方面无人能够媲美,作为科学仪器的制作者也堪称第一流。他最突出的贡献是对恒星分布的研究。其结论是整个恒星系呈透镜形状,边缘由银河构成。<sup>①</sup>这个透镜的直径是其厚度的五倍。我们的太阳距离透镜的中心不远(图 8.5)。

① 托马斯·赖特(Thomas Wright, 1711—1786 年)和哲学家伊曼纽尔·康德得出了类似的结论,前者是在 1750 年,后者是在 1755 年。——译者注

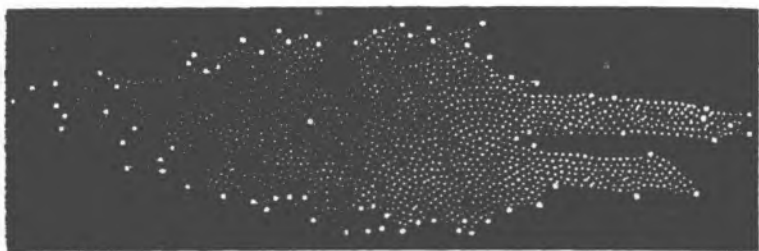


图 8.5 依据赫歇尔“透镜理论”的宇宙截面

赫歇尔关于宇宙形状的观念得益于他对星云的诸多发现,这样的星云有数百之多。和伽利略一样,他也发现利用高倍数的望远镜可以看出有些星云是由星团组成的。起初,他认为所有这些星云都是如此,它们构成了我们宇宙之外的“岛宇宙”,但是到了 1791 年,他意识到至少有些星云是由“我们对其本质一无所知的发光的液体”组成的。1814 年,他得出结论,这种发光的液体可能会逐渐凝结,凝结点构成恒星,而其整体构成一个星团,并且星团可能会变成一个恒星或星群。

赫歇尔对于太阳系在恒星系中的运动的观点与他关于恒星系总体形状的概念也有关联。从哈雷的时代开始,人们就知道某些恒星之间有相对运动。根据对视运动的本质的看法,赫歇尔于 1805 年得出结论:整个太阳系本身在朝武仙座的方向移动。

264 赫歇尔一直在强调一个事实,即恒星并不是胡乱分布的。在思考它们的分布时,他注意到了很多距离很近的“双星”。通常情况下,看起来不那么明亮的恒星更加遥远。由于地球轨道的位移,这样的双星可以每隔六个月从相距 1.8 亿英里的两个点被看到。有了这种透视关系,在理论上就可以估算双星两个成员之间的相对距离。赫歇尔锲而不舍地顺着这一思路研究了很多年,标注出了许多双星的位置和方位。到了 1802 年,他最终证明这些双星中有些是相互环绕运动的。在相互绕转时,它们遵循万有引力定律的数学公式。这些定律先是由伽利略提出,适用于地球上的物体,后来牛顿又表明适用于太阳系,现在则被证明也适用于遥远的恒星。

### 动力天文学

在 18 世纪,人们对恒星间的准确距离和运动方式一无所知,数学分析似乎

只适用于太阳系。太阳系成员相互之间的距离以及相对大小已经为人们所知，牛顿证明了其中某些是依据万有引力定律相互吸引的，于是人们就推测它们都是如此。此时的问题在于，要使根据这一定律所计算出精确结果和通过日益精确的观察所发现的运动符合起来。

这便是这一时代数学家的主要任务。在这些数学家中，最重要的是多才多艺的德国哲学家和政治家莱布尼茨(1646—1716年)。1672年，他到巴黎拜访了惠更斯，1673年，他又到伦敦拜访了波义耳和其他一些科学家，从此踏上了数学和科学研究之路。此后他在巴黎居住了三年，在惠更斯的指导下潜心钻研数学，形成了“微分学”的概念，为后来数学家的研究提供了依据。

这一方法于1684年被正式发表。而在此前和此后的很多年里，学界都在争议一个问题，即该采用牛顿的体系(见第252页)还是莱布尼茨的体系？事实显示，后来的研究者采用的术语是莱布尼茨的。

巴塞尔的莱昂哈德·欧拉(Leonhard Euler, 1707—1783年)早年失明，他表明在托勒密时代(见第83页)和他所处的时代之间地球的运动有些偏差，对此最好的解释就是假设我们的行星运行的轨道是一个“变动的椭圆”，而不是固定不变的(1756年，图8.6)。这种变动遵循一定的轨迹，以至于从托勒密时代开始，地球轨道的轴心已经偏离了5度左右。

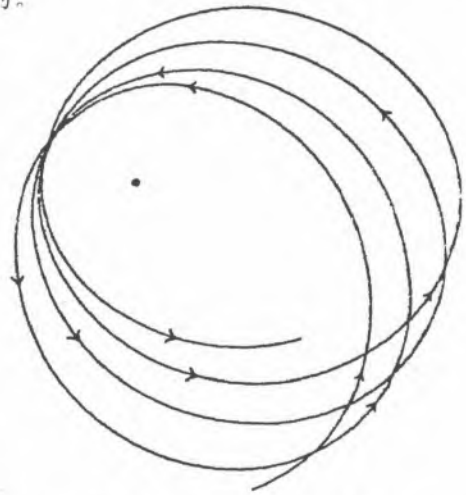


图 8.6 一个在变动椭圆上运动的点所形成的轨迹

266

都灵和巴黎的 J.L. 拉格朗日(J.L. Lagrange, 1736—1813年)是史上最伟大的数学家之一，围绕月球运动的某些偏差，他做出了一个重大的贡献。从伽利略时代起人们就知道，虽然月球总是同一面朝向我们，但是其边缘部分区域却时而可见时而不可见。拉格朗日表明，对此最好的解释就是假定地球和月球都不是真正意义上的球体。因此，两者都不能像牛顿当初认为的那样(见第253页)，其万有引力是从中心起作用的(1764年)。



拉格朗日区分了太阳系成员的两种摄动：一种是周期性的，摄动体一次旋转或几次旋转完成一个完整的变化周期；另一种是长期的，连续不断的摄动总是朝着同一个方向起作用，看不出周期性的因素。太阳系一个成员由另一个成员引发的摄动既取决于两者之间的相对位置，也取决于它们轨道的大小、形状和运动平面等因素，这些因素在数学上被称为轨道的参数或根数。行星间的相对位置不断发生变化，因此，它们相互之间产生的摄动也会随之变化，其影响是周期性的。除此之外，还有轨道参数本身造成的摄动力，这会造成其他天体轨道参数的变化。总的来说，轨道参数的这些长期变化不是很大，但却能够不断积累。

在讨论太阳系成员的周期摄动和长期摄动时，总是会交替提到拉格朗日和 P.S.拉普拉斯(P.S.Laplace, 1749—1827 年)。杰出的拉普拉斯一辈子生活在巴黎，于天文学和数学方面著述甚丰。他两耳不闻窗外事，无论是大革命还是后来连续的政权变更，都没有打断他的研究。他的第一个主要贡献便是表明月球围绕地球运动的速度在非常缓慢地增加，这种增加是由与此相应的地球轨道偏心率<sup>267</sup>的缓慢减少引起的，而这种减少则是由行星之间的万有引力引起的(1787 年)。如此一来，每个月的长度每个世纪大约减少 1/30 秒。

早在 1650 年，人们就已经怀疑木星和土星运动中的偏差。哈雷也注意到了这一点(1676 年)。当时这种偏差被认为是长期性的。拉普拉斯受到拉格朗日的启发，表明这种偏差的周期为 900 年。由此出发，从 1773 年至 1784 年，拉格朗日和拉普拉斯开始对长期差进行一系列极其卓越的研究。最终的结果是下面的一般规律：

取每一个行星的如下乘积：

质量  $\times \sqrt[2]{\text{轨道长轴} \times (\text{偏心率})^2}$ 。

把所有这些行星的乘积加到一起。

最终结果是不变的，除了周期差之外。<sup>①</sup>

这一规律确定了太阳系偏心率存在着恒定的总量。这个总和不会变化，如果一个行星的偏心率增加了，另一个行星的偏心率就必定会减少。(实际上，木星和土星几乎占据了所有的量。)这一规律为太阳系的稳定提供了某种保障。

① 术语“偏心率”是指椭圆焦点之间的距离和长轴长度之比。对于接近圆形的椭圆来说，偏心率很小，椭圆越长，偏心率就越大(见图 3.6)。

拉普拉斯的巨著《天体力学》(1799—1825年)总结了18世纪天文学家的成果。他宣称该书的目的是要“解决太阳系的力学问题,让理论和观察密合,乃至不再需要经验方程”。这本书是截至其时最为全面的天文学大全,成书之后,牛顿的问题似乎得到了解决。太阳系已知成员的运动可以通过万有引力定律来推导。和已经被排除的偏差相比,这种偏差很小,以至于给人这样一种印象,以为通过更加仔细的观察或者是计算方法的某种改进,这种偏差也可以被排除。

拉普拉斯的名字与其“星云假说”有着不可分割的联系。这一假说出现于 1796年发表的通俗却极具科学价值的《宇宙体系论》。拉普拉斯指出,太阳系所有成员的运动都朝着同一个方向,这总数约三四十个的运动都是平面运动,相互间有些微的倾斜,轨道基本上都近似于圆形。与当时的人们一样,拉普拉斯的注意力也被赫歇尔的星云(见第262页)所吸引,他提出整个太阳系是由广大的、旋转的气团凝结而成的,这个巨大的气体星云曾充塞了整个太阳系。这一观点和那个时代人们的想象力一拍即合,从此便一直是大众宇宙观中不可分割的内容。

拉普拉斯和牛顿的去世日期恰好相差一个世纪,这两个事件为科学史提供了方便的分界点。

19世纪前半叶出现了两个极其重要的发现,它们是理论研究的直接成果。

第一个发现依据的是被称为“波得定律”的数字序列,这一定律由J.E.波得(J.E.Bode, 1747—1826年)于1772年所提出。如果简单序列0, 3, 6, 12, 24, 48, 96(每一个数字是前一个数字的两倍)中的每一个数字加上4,我们就有了序列4, 7, 10, 16, 28, 52, 100,而这些数字基本上接近于水星、金星、地球、火星、木星和土星与太阳之间的相对距离,只有数字28没有相对应的行星。人们曾长期寻找这个失踪的行星,但是没能找到。1801年,巴勒莫的朱塞佩·皮亚塞(Giuseppe Piazze, 1746—1826年)在相应的位置发现一颗很小的行星,大小是月球的 $\frac{1}{4}$ ,他将其命名为谷神星。此事将天文学家的注意力转到了发现更多这样的小天体的可能性。从那时起,已经有一千多个这样的“小行星”被发现,其中大部分的运行轨道和谷神星非常相似,并且几乎全部在火星和木星的轨道之间运行。据说它们是一个更大的行星爆炸的结果,并且流星可能也是它的成员。

第二个建立在理论基础之上的发现更加著名,这次发现的是一个行星。作为行星之一,天王星在运动过程中的偏差暴露了这一天体的存在。1846年,剑桥的约翰·柯西·亚当斯(John Couch Adams, 1819—1892年)和巴黎的U.J.J.勒维

耶(U.J.J.Le Verrier, 1811—1877年)各自独立指出了能够发现这一摄动体的区域。就像预测的那样,人们利用望远镜找到了这一行星,它被命名为海王星。

天文学的一个永恒愿望就是能够确定恒星之间的距离。这可以通过测量恒星对地球运行轨道的角度来实现。这一角度极小,要对其进行观察在操作上有很大的困难。1832年,托马斯·亨德森(Thomas Henderson, 1798—1844年)第一个克服了这些困难。他的研究成果直到1893年才发表,而F.W.贝塞尔(F.W. Bessel, 1784—1846年)的成果出现于1838年。

### 天体物理学

到了19世纪二三十年代,对于宇宙的总体结构及其成员的形态、大小和关系已经有了清晰的认识,但是关于其物理构成的确切认识还不多,对于其化学构成更是一无所知。

可以说天体物理学作为一门学科的可能性开始于19世纪。W.H.沃拉斯顿(W.H.Wollaston, 1766—1828年)在1802年对太阳光谱进行了分析,注意到在连续光谱中存在着一些暗线,他以为这是自然光的界线。大约12年后,也就是1814年,一个自学成才的巴伐利亚仪器制作者约瑟夫·弗朗霍费(Joseph Fraunhofer, 1787—1826年)将一个望远镜固定在棱镜上,更加仔细地观察了光谱,发现看到的光谱有很多位置恒定的横向暗线。类似的暗线在各种形式的阳光中都可以看到,无论是来自太阳的直射,还是通过云、月亮或行星所折射的光。另一方面,在恒星的光谱中,暗线的分布则与此不同。

1859年,海德堡的两位教授古斯塔夫·罗伯特·基尔霍夫(Gustav Robert Kirchhoff, 1824—1887年)和罗伯特·威廉·本生(R. W. Bunsen, 1811—1899年)成功地表明光谱的某些光线和某种物质有着恒定的联系。他们的结论被其发现所证实,仅仅通过光谱,他们就发现了两个新元素,即铯和铷。后来,基尔霍夫又揭示出光谱的某些基本特征,并且确定了太阳中大量元素的存在。

随着分光镜的出现及其在天文领域的应用,天文学的所有领域紧密联系到了一起。这里我们试着列举一下威廉·赫歇尔所开创的现代阶段的一些成果。

赫歇尔把人们的注意力引向双星,而在这一方面做出重大贡献的是G.F.W.斯特鲁夫(G.F.W.Struve, 1793—1864年)以及他在圣匹兹堡的继承者们。他们

最初使用的是弗朗霍费所发明的望远镜。很多的聚星被发现,其数量之多可以肯定一点,即生成我们宇宙的力量有形成聚星的特殊倾向。

没有对恒星运动规律的了解,就无法形成关于宇宙的总体认识。赫歇尔把握了一些恒星的自行(又称固有运动)规律。1837年,F.W.A.阿格兰德(F.W.A. Argelander, 1799—1875年)考察了400颗恒星的自动,现在这个数字已经增加到了几千。最近几年,研究的重点放在了向银河两个区域逆向运动的更加明亮的恒星。这可能是太阳系整体的运动造成的,因此是可以预测的。

从基尔霍夫时代开始,分光镜研究一直针对太阳进行,大多数元素都在太阳中得以确定。在1869年日食期间,在太阳光谱中又发现了一种气体,这种气体被命名为氦。27年之后,在我们地球上也得到了这种气体。

在赫歇尔之后的一个世纪里,对太阳物理状况的认识发生了很大的变化。很多注意力被放到太阳黑子上。早在1843年,人们就发现太阳黑子有特定的时期、特定的分布和出现顺序,并且在不同的太阳纬度,其转速会有不同。太阳黑子和地球磁暴之间还有着十分恒定的关系。

肉眼只有在日食期间才能看到日珥,但是利用分光镜,在日光充足的时候也可以看到(1868年)。研究表明,日珥随着太阳黑子的增减而相应增减。日珥源自色球层,这是一层薄薄的气体,而散发出白炽光线的内层叫光球层,两者之间是狭窄的“反变层”,只有在日食期间才能看到,表现出特殊的分光性。

1842年,克里斯蒂安·多普勒(Christian Doppler, 1805—1853年)发现了一个十分重要的原理。根据这个“多普勒原理”,利用光谱中光线的变化,可以测量光源的运动速度。这样我们就可以测量太阳的转速,以及各种恒星靠近或者离开地球的速度。

## 地球

### 地球的测量

人们很早便开始探讨地球的大小问题。至迟从亚里士多德时代起,地球就被认为是一个完全的球体(见第47页)。随着望远镜的发明,更加精确地测量仰

角成为可能。借助这一仪器,从1669年至1671年间,让·皮卡尔为法国科学院测量1度经线的长度(见第257页)。他得出的结果是69.1英里,和普遍接受的60英里有不小的出入。从原理上看,皮卡尔所使用的方法就是埃拉托色尼的方法(见第70页),但他利用的是一颗恒星,而不是太阳。1671年,皮卡尔的研究结果发表在一个不起眼的地方,起初没有被牛顿发现,因此牛顿有几年没有利用他的结果,而是依据更早的测量结果,以确定是万有引力使月球和地球在各自的轨道上运行(见第252页)。

皮卡尔的结果出来后不久,在1671年至1674年间,法国科学院组织了一次  
272 到法属圭亚那卡宴的天文勘测,当时这个地方被一家法国商业公司所占据。卡宴位于北纬5度,他们发现在北纬49度的巴黎正常计时的摆钟到了这里必须要缩短钟摆。就像我们现在所了解的那样,这是因为地球赤道地区的凸起:从巴黎到卡宴,我们距离地球中心越来越远,重力会逐渐减少,因而钟摆会慢下来,要想准确计时,必须将其截短一点。

1684年,卡宴勘测的结果正式发表。此前的1673年,惠更斯在其《摆钟论》(见第258页)中已经阐明了钟摆的长度和摆动时间之间的关系,而在1687年发表的《自然哲学的数学原理》一书中,这一原则和皮卡尔的测量结果一起被牛顿用来研究地球的形状。

从1684年到1714年,卡西尼(见第259页)和他的儿子雅克(Jacques, 1677—1756年)在法国对钟摆进行了长期的测量,其结果表明地球的形状是一个椭圆围绕其长轴旋转而形成的长椭球体。

这一结论和惠更斯以及牛顿的结论相冲突,于是地球的形状成为科学界探讨的主要话题。为了进行测量并对钟摆进行观察,当时组织了几次勘测,其中最重要的一次是1735年在C.M.德·拉孔达明(C.M. de La Condamine, 1701—1774年)的率领下从巴黎出发前往南美,在赤道附近确定1度经线的长度。这次勘测确定了一条著名的、测量准确的基线,今天仍然被称为“秘鲁线”。1738年,曾随团到瑞典北部进行相似勘测的P.L.M.莫佩尔蒂(P.L.M. de Maupertuis, 1698—1759年)证明地球的形状是一个椭圆绕其短轴运转而形成的扁椭球体。到了这个世纪的中叶,这些结论最终开始被接受,一个精确测量大地的时代也随之到来了。

如果说这一时期的法国人以观察之精确见长,英国人则通过制作做工精巧的科学仪器使这些观察成为可能。乔治·格雷厄姆(George Graham, 1673—1751年)发明了钟表上所谓的“不摆擒纵器”和水印摆,其中水印摆能够保持恒定的长度,因为摆杆的热胀冷缩可以被摆锤中的水银所抵消。他为哈雷和布拉德利制造了天文仪器,为莫佩尔蒂制造了测地仪器。1726年,约翰·哈里森(John Harrison, 1692—1776年)被称为“经度哈里森”,他发明了一个对热胀冷缩自动补偿的栅形摆,还设计了一个钟表维持装置,使其可以在上发条的过程中继续走时。人们记住他是因为他发明的经度仪,有了这一仪器,就可以在海上准确地确定经度,这是史无前例的。杰西·拉姆斯登(Jesse Ramsden, 1732—1800年)发明的仪器同样很出名,其中最有名的是他1774年发明的赤道仪,通过调整赤道仪,可以使望远镜沿着顺时针方向跟踪所指向的任何一个天体的视运动。今天,每一个天文台都要使用经过修改的赤道仪。他发明的切割机床同样很有价值。他还彻底改进了测量角度的仪器,这一仪器从伊丽莎白时期开始就被称为“经纬仪”。

## 地图学

这是一个探索活动十分活跃的时期。地理点位置的确定更加准确,形成了更加科学的地图学。1679年,卡西尼(见第259页)为法国科学院绘制了一幅法国地图,其中利用了皮卡尔及其同行所测量过的许多经度。1694年,卡西尼又发行了一幅不错的世界地图。由此产生的兴趣催生了一些地图制作公司,还有几个国家专门任命了制图师。在威尼斯出现了最早的地理学会,即阿尔戈纳乌蒂地理学院(Accademia Cosmographica dei Argonauti)。在18世纪的大部分时间里,法国在地图学方面都遥遥领先。其中J.B.布吉尼翁·丹维尔(J.B. Bourguignon D'Anville, 1697—1783年)尤其突出,他绘制的许多地图令人叹为观止,直到一个世纪之前还在广泛使用。他对于传说毫不留情,宁愿将非洲内部留作空白也不愿意凭借想象去填充,还摒弃了南极大陆覆盖半个南半球的观点。根据康熙(1661—1721年在位)年间耶稣会士所进行的勘测,他在地图上描绘了中国。丹维尔还将很多精力用于研究这一科学的历史。在很长的时间里,依据卡西尼(1714—1784年)及其子雅克·多美尼克(Jacques Dominique, 1748—1845年)的



勘测而绘制的《法国地图》，一直是最佳的地形学著作，该书发表于 1793 年。

在 18 世纪下半叶，一些因素促进了海上探险的发展。有了“经度哈里森”所发明的经度仪，就可以在海上准确地确定经度。在英国海军医生詹姆斯·林德 (James Lind, 1736—1812 年) 的建议之下，开始用橘子和柠檬汁来预防败血症 (当时长途航海的最大障碍)，这使海员的境遇有所改善。詹姆斯·库克船长 (James Cook, 1728—1779 年) 在生命中的最后十二年所进行的三次航行已经永垂青史。据说库克船长的杰作是太平洋的地图。在地图方面，还有两位法国军官的成就可以与其媲美，他们分别是德拉佩鲁兹伯爵 (J.F. de Galaup, Comte de la Perouse, 1741—1789 年) 和布鲁尼·德安特卡斯特 (J. A. Bruni D'Entrecasteaux, 1739—1793 年)。两者精确记录了中日海域和东部群岛的地理点的位置。

探险家的这些工作标志着地形学发展史上精确的科学阶段的到来。1787 年，利用由杰西·拉姆斯登 (见第 273 页) 提供的经纬仪，威廉·罗伊 (William Roy, 1726—1790 年) 将军确定了对不列颠群岛进行三角测量的基线，而这次测量又促成了英国国家测绘局的建立。具体的测量从 1791 年开始，第一份 1 英寸比 1 英里的地图发行于 1801 年，第一份 6 英寸比 1 英里 (也就是 1 : 10 560) 的地图发行于 1846 年，而主要的测量直到 1858 年才结束。

其他国家在这方面起步较晚，但是发展路线基本上相似。在法国，取代卡西尼地图的提议因为战事而被推迟，直到 1817 年才被重新提上日程。新地图直到 1880 年才最终完成。在欧洲大陆绘制的地图中，1842 年至 1865 年出版的瑞士地图因其难度而值得一提。这幅美丽的地图是根据 1833 年完成的三角测量绘制而成的，其比例与欧洲大陆的所有其他地图一样，但比英国国家测绘局的要小。

## 275 风和水

随着对地球的探索，人们开始渴望能够获得一些诸如地磁、大气层、潮汐、洋流、风和气候等现象的总体性认识。这方面的知识共同组成了“地球物理学”。这是一个十分现代的词语，出现于 1888 年，但是它所指代的研究在 18 世纪就已经成为显学。

哈雷 (见第 260 页) 将关于盛行风的知识和对整个地球的研究联系到了一

起。1686年,他发表了关于信风和季风的研究,其中的地图上,在温带多变的风和热带稳定的风之间有一条清晰的分界线,这条线在赤道南北都是30度左右。哈雷第一个将大气的总循环和太阳热能在地表的分布联系到了一起。后来在1700年版本的地图上,他还增加了对磁差的研究结果,标明了等磁差曲线(见第277页)。

1735年,乔治·哈德里(George Hadley, 1685—1768年)阐述了直到现在依然流行的信风理论,即信风是由地球的自转和赤道上空的空气受热上升所造成的。后来道尔顿也持同样的观点(1793年)。第一部关于风的综合原理的专著出现于1742年,作者是法国数学家让·勒朗·达朗贝尔(Jean Le Rond D'Alembert, 1717—1783年)。在这本书出现之后,这个世纪在气象学方面最重要的进展可能还包括如下内容:日内瓦的索绪尔(H.B. de Saussure, 1740—1799年)对大气中水分的研究(1783年);盖·吕萨克(Gay-Lussac)利用气球对高海拔空气特征的研究(1804年);海军上将蒲福(Beaufort, 1774—1857年)发明的风级表(1805年);美国人查尔斯·威尔士(Charles Wells, 1757—1817年)关于露珠的理论(1814年)。

美国海军军官马修·方丹·莫里(Matthew Fontaine Maury, 1806—1873年)为地球物理学研究引入了一种新视角。从1839年开始,他致力于从航海日志中收集关于风、洋流和气温等方面的记录。他通过整理,绘制了一幅海图,这276幅海图使航程大大缩短。于是1853年专门召开了一个国际性的会议,探讨组织人员继续进行这方面的研究。莫里1855年发表的《海洋物理地理学》是这一领域现代研究的奠基之作。很大程度上是因为他的这本书,几个国家的政府建立了气象办公室,国际气象服务也开始了。在英国,海军上将罗伯特·菲茨罗伊(Robert Fitzroy, 1805—1865年)在1855年被任命为气象办公室第一任主任。20年前达尔文就是和他一起搭乘“贝格尔号”进行科学考察的,他的名字至今仍然因为“菲茨罗伊气压计”而被人们铭记。

在地球物理学的各个领域中,潮汐可能吸引了最多科学家的精力。开普勒和伽利略都研究过这一问题。在《自然哲学的数学原理》中,牛顿把潮汐理论建立在万有引力的基础之上。

要想详尽地阐释潮汐的原理是一个艰巨的任务,牛顿的潮汐理论也不能用

来预测潮汐在某一特定地点的时间和高度。但是牛顿的确令人满意地解释了潮汐的许多特点。为了方便国王詹姆斯二世理解,哈雷对牛顿的理论进行了解析,他的阐述从此成为教科书中的经典版本。他所使用的图表在几乎每一个学校地图册的第一页就可以看到。然而这个图表是误导性的,因为它是用一种静力学的方式来说明的,而实际上这是一个动力学的问题。如何简洁地描述潮汐问题是科学阐述的目标之一。

## 地磁学

对地磁学的研究也有很多,因为对于航海来说,这一领域十分重要。这方面已经积累了很多信息,但是长期以来一直没有综合理论可以将其联系起来,这要等到我们探讨的这一阶段之后很长时间。通常情况下,指南针并不指向真北,据说这是哥伦布 1492 年到美洲的首航中发现的。指南针从正北方向偏离的角度被称为磁偏角。将指南针悬挂在磁子午线上一根水平放置的针附近,指南针也会发生倾斜,这一点在 16 世纪末就被发现了。这一倾斜的角度叫磁倾角。吉尔伯特(1600 年,见第 188 页)知道在不同的地点,磁偏角和磁倾角都会有所不同。在 17 世纪早期,人们发现即使在同一个地方,在一年中的不同时间,磁偏角也会发生变化。1724 年,乔治·格雷厄姆(见第 272 页)表明磁偏角在一天中也有变化。关于世界上不同地方磁偏角度数上的变化,哈雷做了很多工作。1700 年,他绘制了一幅有趣的地图,地球表面磁偏角度数相同的地方被用一条线连了起来,我们现在称其为等磁偏线。这是第一次使用这种方法,从此同样的方法被用来表示地球上其他的很多变化,如等磁倾线、等磁力线、等压线、等温线等等。

在 1756 年至 1759 年之间,约翰·康顿(John Canton)通过观察表明,在某些日子,指南针的运动很不规则,其后就常常可以看到北极光。很快人们就意识到这些现象和太阳黑子的爆发有关系。

地磁研究的历史上另一个里程碑是 18 世纪末的一个发现,即地球上不同地方磁力的大小是不一样的。这方面最早发表的是洪堡(Humboldt)从 1798 年到 1803 年在赤道美洲的观察结果。1827 年,阿拉果(Arago)表明磁力的强度在一天当中也会有变化。1834 年,数学家 K.F.高斯(K.F.Gauss, 1777—1855 年)在哥廷根建立了第一个专门研究地磁的天文台,并大大改进了用于地磁研究的仪器。

1840年,在爱德华·萨宾(Edward Sabine, 1788—1883年)的主持下,在大英帝国的不同地区建立了一些磁实验室。他长期从事这方面的研究,在1823年至1871年之间发表了大量地磁方面的研究成果,今天依然被人们所参考。

### 早期的地球史观

278

从古代开始,人们就相信通过对地壳的研究,可以对地球的历史有所了解。人们通过采矿业积累了很多矿物学方面的经验性知识,其中,地壳所呈现的最令人不解的现象就是化石。丹麦人尼尔斯·斯坦诺(Niels Steno, 1648—1686年)曾经在意大利生活了几年,他探讨了托斯卡纳地区成层岩的形成、移位和破坏(1669年),认识到化石源自有机物。意大利、英国和法国的一些研究者与斯坦诺的看法相同。在18世纪的前七八十年积累了大量的地质学材料后,很多理论被提出来对其进行解释(见第239页)。

对地球历史的首次全面概论出现在布丰爵士(Georges Louis Leclerc, Comte de Buffon, 1707—1788年)1778年发表的《自然史》一书中,其中包括了对化石本质的探讨。在形成其理论的过程中,布丰对某些材料给予了特别的重视,他对这些材料的解释并非都与我们今天的解释相一致。他主要思考的是下面几方面:(1)地球的扁球体形状;(2)地球从太阳接收到的热量之少和地球本身拥有的大量热能之反差;(3)地球内部的热能对石头的改变;(4)化石在各种地点的存在,其中甚至包括了山顶。联系最后一点,他注意到北欧、亚洲和美洲的石灰岩常常大部分是由海洋有机体的遗迹组成的,而大型陆地动物的遗迹则常常发生在地球表面附近,并且或多或少与现有的生物相类似,这表明它们生活在不久以前,而同一地区深层的海洋生物的遗迹属于已经灭绝的生物,或者是仅仅与遥远的海洋生物有关系的生物。他认为地球(和其他行星)是因为彗星和太阳的碰撞而形成的熔融球体,其历史可以分为以下七个时期:

第一个时期:从炽热状态到熔融状态。3 000年。

第二个时期:逐渐固结;地壳上的裂缝让熔融的金属矿物得以流入。35 000年。

第三个时期:大气中的水汽凝结下降,成为原始的全球海洋;大陆出现;水中 279  
开始有了生命;海底沉积物开始累积。15 000—20 000年。

第四个时期:剧烈的火山活动。5 000年。

第五个时期：恢复平静；赤道地区依然过于炎热，无法生存；极地区域生活着巨大的陆地动物，如大象、乳齿象和犀牛等；动植物逐渐向南迁徙。

第六个时期：大陆块分离；人类出现。

第七个时期：人类占据主导地位。这一阶段将延续到地球冷却，一切生命均将灭绝。

这样的一个方案具有重大的历史意义，它既是第一次尝试解释观察到和收集到的、与地球史有关的事实，也是对许多形成极其缓慢又极其古老的地质结构的一个估计。它提供了一个研究的基础。和早期的大部分方案一样，它强调了火山活动、地震、爆炸和其他一些引人注目的事件。

虽然布丰颇有建树，充满真知灼见，并且其文笔优美，深受欢迎，但当时地质学领域的独裁者是亚伯拉罕·戈特洛布·维尔纳(Abraham Gottlob Werner, 1750—1815年)。后者是弗赖堡一个矿区学校的老师，既没什么著述也不旅行，他相信他在家乡萨克森看到的岩体形成顺序也适用于所有的岩体，这使他的教学也受到了损害。

然而维尔纳是一个极其成功的老师，通过其学生，全世界范围内岩石的物理特征变得更加广为人知。他的主要理论是岩石的“水成说”，其追随者因此被称为“水成派”，与其针锋相对的是那些强调地热影响的“火成派”。维尔纳的影响一直延续到他去世之后很久，年轻的查尔斯·达尔文也曾受到他的影响。

在地质学史上，法国博物学家居维叶(Cuvier, 见第 329 页)也有十分重要的影响。他意识到岩石证据所反映的是一系列的动物种群，大量的物种在不同的时期出现在地球之上，其中的很多业已不复存在。他追随林奈，坚信物种是固定不变的，虽然与其同时代的拉马克(见第 379 页)正在提出与此相反的观点。然而他还是要不得不解释某些生命形态的灭绝，以及一些新物种的产生或是出现。对于这些非凡的事实，他的解释是地球已经经历了一连串的大灾变，而对于最后一次大灾变，我们是有历史记录的，那就是《圣经·创世记》里的大洪水。他明确否认远古时代化石人的存在。

## 地层学

詹姆斯·赫顿(James Hutton, 1726—1797年)的工作开创了一种更加现代

的观点。为了研究岩石,他游历各地,发现化石大部分出现在岩层。他清醒地意识到一次大洪水是解释不了这层层平行岩层的,于是提出这是逐层长期沉积的结果。在1795年发表的《地球论》一书中,他把岩层解释为曾经的海床、湖泊和沼泽等。

很快人们就意识到岩体常常包括来自较低岩层的片段,还有一个不容忽视的事实,那就是岩层常常是倾斜的、弯曲的或者是断裂的。很多人受到居维叶灾变说的启发,认为这些不规则是剧烈突变的结果。在这方面,有一点很有趣,那就是亚历山大·布隆尼亚尔(Alexandre Brongniart, 1770—1847年)在1811年发表的《论巴黎附近的矿物地理》虽然是和居维叶合作而成的,但是其观点更加倾向于赫顿。

威廉·史密斯(William Smith, 1769—1839年)是一位土木工程师,他在开挖运河的过程中获得了对地层本质的深入了解。1815年,他发表了第一本彩色的地质图。他在1817年发表的《有机物化石地层系统》中表明有些岩层每一层都有自己典型的化石系列。有些系列的成员往往会出现在下面的岩层,还有的会出现在上面的岩层,还有的三个岩层都有出现,因此这些化石所代表的动植物的变化不可能是突然性的。他还看到,越是向前追溯,化石和现有生物之间的差别就越大。 281

第三位出场的英国地质学家查尔斯·赖尔(Charles Lyell, 1797—1875年)最终推翻了灾变说。他在牛津大学开始从事地质学研究,去过很多地方,威廉·史密斯和拉马克对他都有影响。他意识到通过考察沉积物中所包括的现存和已经绝迹的软体动物的壳的比例,可以确定其相对时代。在1830年至1833年出版的大作《地质学原理》中,他表明现在的海洋和河流中,石头依然在沉积,冰川、降雨和沙尘暴等依然在将其分解,实际上,地质学上古代所发生的情况在本质上和我们的时代相类似。在对生物学思想发展的重大影响方面,没有几本书能够与其媲美。达尔文的早期研究参考的就是赖尔的这一大作。

有一个事实我们不得不注意,那就是在地质学作为一门科学的早期发展阶段,绝大多数研究者都是英国人。仅从岩层的命名上,我们就可以看出英国人在其发展过程中的贡献之大。赖尔命名了上新世(Pliocene)、中新世(Miocene)和始新世(Eocene),这些词都源自希腊语;剑桥的地质学家、曾经和达尔文一起进行



地质考察的塞奇威克(Sedgwick)发明了泥盆纪(Devonian,因为在德文郡比较突出)、寒武纪(Cambrian,源自“Cambria”,即威尔士)、古生代(Palaeozoic)和新生代(Cainozoic)。在古生代和新生代之间,牛津的约翰·菲利普(John Phillips, 1800—1874年)插入了中生代(Mesozoic)。其他与他们同时代的英国人发明了石炭纪(Carboniferous)、奥陶纪(Ordovician)和志留纪(Silurian,奥陶人和志留人是恺撒提到过的英国部落)、二叠纪(Permian,得名自俄罗斯东部的彼尔姆州)和白垩纪(Cretaceous)。而三叠纪(Triassic)和侏罗纪(Jurassic,得名自侏罗山)是德国地质学家在19世纪初命名的。第三纪(Tertiary)这个词语更加古老,为18世纪的意大利作家所使用。第三纪的岩层是一系列岩层中的第三层,而第二纪大致和中生代以及古生代相对应,第一纪则是指不含化石的岩层。地质学“geology”这个词实际上出现于1779年,发明者是日内瓦的索绪尔,他也是现代登山运动的创始人。

在所有研究地球物理学的科学家中,亚历山大·冯洪堡(Alexander Von Humboldt, 1769—1859年)的全面和思辨性无人可及。他一生中的大部分时间都在旅行和进行各个领域的探索。作为外交人员的身份使他可以接触到当时几乎所有顶尖的科学家。等温线(1817年)是他对科学的积极贡献之一。他是全球的气温和气压进行总体研究的第一人,这些研究对现代气象科学来说必不可少。他还是研究平均气温随着海拔升高而降低的速率的第一人。他对火山进行了很多研究,表明它们呈线形群体分布,可能与地下裂缝相对应。他表明很多曾被认为水成的岩石实际上源于火成。他发现地球的磁力从两极到赤道逐渐减少(1804年)。他在研究植物时将其所处的物理环境考虑进来,为植物地理学的建立做好了前期准备工作。但是,在他所做的全部贡献中,最重要的还是皇皇巨著《宇宙》,该书总结了他一生的工作,从1845年开始出版,直到他去世之后的1862年才完成。书中既有18世纪典型的宽泛而模糊的概念,也有19世纪精确的实证科学。这本书是真正意义上的过渡性作品,至今仍然是研究地球物理学的优秀读本。

在19世纪前半叶,随着地质学成长为一门独立的学科,对地球结构的研究有了如下几种视角:岩层的分布和排列,即地层学;岩石的结构和构成,即岩石学;化石的本质和它们之间的关系,即古生物学。在英格兰这么小的区域之内,

地质却如此多样,世界上可能没有一个国家能够与其相媲美,因此也不难理解为什么英国在地质学方面如此发达。1832年,托马斯·德拉贝施(Thomas de la Beche, 1796—1855年)爵士建立了“英格兰和威尔士地质勘测站”,无论是在开 283  
端还是在执行方面,都要比其他任何国家的类似工作早。

还有一连串英国科学家为下一个世纪对地质学的深入研究提供了一个理性的框架。从1825年发表《论火山》开始,波利特·斯科罗普(Poulett Scrope, 1787—1876年)长达三十年的研究标志着维尔纳观点的结束。他为现代流行的火山成因理论打下了基础,将人们的注意力转向其特殊的分布。1839年,罗德里克·默奇森(Roderick Murchison, 1792—1871年)发表了《志留系》一书,阐述了岩层在时间上的对应关系,介绍了很多现在所使用的术语,解释了很多背景细节的本质和影响范围。他从1841年至1845年在俄罗斯的地质考察表明他的观点适用范围很广。而在这些英国地质学家背后的是亚当·塞奇威克(Adam Sedgwick, 1785—1873年),他与他们都合作过,其中包括他的学生查尔斯·达尔文(见第379页)。

## 物质的转换

### 定量方法的兴起

在一定程度上,科学领域之外很多操作(见第230页)都暗含了这样一个信念,即物质是不可毁灭、不可创造的。这一信念在17世纪里有时会变得非常明确。因此,培根在1653年去世后出版的《论事物的本性》中这样写道:“很明显,一切事物都在变化,但什么也没有真正毁灭,物质的总量仍旧保持一样。”波义耳(见第233页)的作品也有类似的段落。牛顿则将这一原理明确地表达了出来。

牛顿的引力平方反比定律表明物体的重量并不固定,而是随着它与其他物体之间的关系而发生变化。但是根据牛顿运动第二定律,“动量的变化和作用力成正比”,在同样作用力的情况之下,如果运动发生同样的变化,那么物质的量即质量是相同的;反过来,如果能够让同样的物体运动发生同样的变化,那么作用力也是相同的。可以看到,牛顿明确区分了质量和重量。物体的质量和让物体 284

产生某一加速度的作用力成正比。对于自由落体来说,这一作用力就是其重量。因为所有的物体在同一地点会以同样的加速度下落,所以它们的质量和它们在同一地点的重量成正比。

如果其他施加引力的物体没有移动,那么在同一地点,物体的重量是守恒的,有了对这一定律精确而明确的表达,才有了对物理变化本质的认识的发展。如果没有这一定律,人们可能会相信各种突然的、不可思议的或神奇的现象。有了这一定律,在理论上物质状态的所有变化都可以从数量、重量和大小等方面进行解释。专门在重量基础之上所研究的变化就是人们所说的化学变化。因此,牛顿的理论大大强化了化学的合理性,实际上提供了物质的不可毁灭性和不可创造性的定律。

到了18世纪初,17世纪对于化学过程的研究已经产生并积累了大量的材料,但尚无人提出一个令人满意的分类系统。像酸和碱这样的对立物被强调,并且设计了针对它们的实验。一些大的类别被发明并定义,如盐(可溶解、有味道、透明的物质)、土(易碎、耐火、无味的物质),还有矿灰(矿物加热之后形成的粉末状物质)等。赫尔蒙特已经表明了各种气体物质的存在,他将其命名为“气体”(1644年)<sup>①</sup>。就像他认为的那样,气体可以凝结为固体,也可以通过化学变化从固体再变成气体,但是他没有办法将其收集起来。化学理论虽然已经走出了炼金术阶段,但依然是一团混乱的教条和传统。

英国牧师斯蒂芬·黑尔斯(Stephen Hales, 1677—1761年)发明了一个收集  
285 气体的装置,利用管道把在烧瓶中通过加热形成的气体导向一个倒置的装水容器,即所谓的集气槽。他测量了从称重的固体中所生成的气体的体积,但没有进一步研究这些气体的化学成分,因为他认为这些气体都是“空气”,其作用就是像水泥一样将其所加热的固体的微粒结合在一起。

在其他方面,化学技术也有了很大的发展和改进。这要归功于这样一个事实,即大约从1670年开始,用新发明的透明玻璃所制造的容器取代了以前不透明的容器。伟大的荷兰物理学家赫尔曼·波尔哈夫(Hermann Boerhaave, 1688—1738年)将这一时代的知识进行了精彩的总结。他于1732年发表的《化

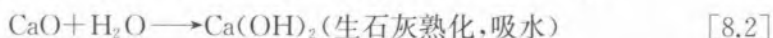
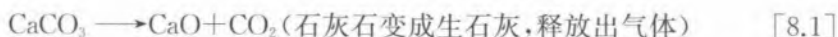
<sup>①</sup> 源自希腊语中的“chaos”一词,即“混沌”。

学元素》是教科书中为数不多的大作之一。虽然创新之处不多,但是该书牢牢建立在其个人经验基础之上,简洁易懂。波尔哈夫认为所有的化学反应最终都可以归结为简单的几类,还认为生命活动可以通过化学来表达。他的观点虽然缺少重要的总定律,但给实验化学描绘了一个乐观的前景,并在超过一代人的时间里一直为其提供支撑。

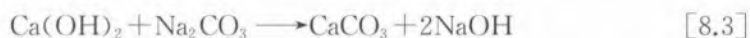
18世纪早期化学领域最突出的发展就是“亲和力”的概念。受波尔哈夫的影响,1718年法国物理学家艾蒂安·弗朗索瓦·若弗鲁瓦(Etienne Francois Geoffroy, 1672—1731年)画了一个图表,排列了酸和某些碱基的亲和力,并将金属对硫的亲和力也进行了排列。通过确定一种碱基能否产生另外一种碱基,或者利用一种金属能否从某种化合物中得到另外一种金属,可以判断亲和力的相对程度。布莱克还有其他人——尤其是贝格曼和贝托莱(见第291页)——对若弗鲁瓦的这一观点进行了进一步的研究。

### 对化学反应的集中研究

1756年,苏格兰科学家约瑟夫·布莱克(Joseph Black, 1728—1799年)发表了《对白色氧化镁、生石灰和其他一些碱性物质的实验》。这篇化学论文篇幅不长,但充满了重大的创新——这可能是史无前例的。布莱克非常严谨,其成功源自测量的精确性。他知道石灰石受热之后会变成生石灰(公式8.1),不再冒酸性气泡,但是可以吸水(公式8.2),我们现在用公式这样表达:



布莱克还表明,石灰石受热之后重量会减少,利用黑尔斯的方法(见第284页),他将其归因于空气的流失。很久以来人们就知道,如果利用弱碱(如碳酸钠)来处理熟石灰,熟石灰就会变回加热之前的生石灰,而弱碱则会变成强碱。这个过程可以这样表达:



此外布莱克还指出,一定量的石灰石无论是否加热变成生石灰,都可以中和同样重量的酸,唯一的不同之处在于:如果石灰石没有被加热,在中和的过程中

就会冒泡,并且重量会有损失;如果先将石灰石加热成生石灰,则不会冒泡,也不会有重量损失。公式如下:



在公式 8.1 中生石灰释放出来的气体,在公式 8.3 中从一种碱转移到了另外一种碱,在公式 8.4 中以冒泡的形式释放出来,他称这种气体为“固定气体”,这样就将其和大气中的普通空气区分开来,这种区分比赫尔蒙特(见第 284 页)那尝试性的、不彻底的区分更加清楚。我们现在称这种气体为“二氧化碳”。如果将生石灰暴露在空气中,就会变成普通的石灰石:



这就表明二氧化碳是空气中普通的组成成分。

287 作为对化学反应的第一次深入而详细的研究,布莱克的工作具有十分重大的意义。其成功之处在于,他表明了在不分离“固定气体”的情况下,通过对每一步进行称重,这一系列反应中所发生的化学变化是可以检验的。就这样,布莱克发现了一种不同于空气的气体,它既可以自由存在,也可以在混合物中存在,还可以被从与一种物质组合转移到和另外一种物质组合,具有很多自己专有的特征。在此之前,人们并没有清楚地意识到有很多种不同于空气的气体,而现在注意到了这一事实。改进对各种气体进行分离和研究的技术,发现它们之间进行组合的特征和规律,这就是 18 世纪后期和 19 世纪早期化学界的主要任务。

## 气体

1766 年,古怪的哲学家亨利·卡文迪什(Henry Cavendish, 1731—1810 年)把他的第一篇论文寄给了英国皇家学会。在实验方面,他和布莱克一样严谨。这篇论文的题目是《论人造空气》,所谓“人造空气”,就是在实验室里人工制造的空气,而不是“自然”空气。他发现了一种明确的、特殊的、高度易燃的气体,称其为“可燃空气”,亦即我们今天所说的氢气。这是由酸对某些金属发生作用而产生的。他在精确量化的基础上继续研究,于 1784 年又发表了《空气实验》,指出“可燃空气”和“脱燃素空气”(即氧气)进行燃烧的唯一生成物就是水。他对两者

在水中的比例的估计数值基本上是正确的。

卡文迪什还确定了酸对不同金属发生作用时产生的氢气量。根据现代的发现对他的数值进行调整,我们可以说他发现要生成一个单位的氢需要 24 个单位的铁、28 个单位的锌,或者 50 个单位的锡。1766 年他将这些数字与这些元素的“等价物”相对应,用来描述中和一定数量的某一种酸所需要的不同碱基的重量。此外,他第一个确定了同样体积的气体的重量,这是一个成果颇丰的研究路径。

上帝一位论派牧师约瑟夫·普里斯特利(Joseph Priestley, 1733—1804 年)的化学研究与卡文迪什同时代,他大大发展并提高了对气体进行制备、处理和研究的288技术。在这个世纪的七八十年代,他做出了一系列的重大发现。他表明绿色植物可以释放出一种可以呼吸的气体,可以让呼吸过的空气重新可以呼吸。他制备并考察了一些气体,其中包括氨气、氯化氢、二氧化硫、一氧化氮、一氧化二氮、二氧化氮,研究了氮气和四氟化硅,还通过加热某些氧化物分离出氧气(1774—1775 年)。但是对燃素说的顽固坚持妨碍了他的研究。“燃素说”是一种假设的物质,被认为存在于所有的可燃物体之中,在燃烧过程中会被离析出来。所谓的“燃素”即“火质”,1702 年施塔尔(见第 241 页)最早提出了这个词。

卡尔·威廉·舍勒(Carl Wilhelm Scheele, 1742—1786 年)与卡文迪什以及普里斯特利也是同时代人。他是瑞典的一位药剂师,也是最伟大的化学实验者和发明者。他于 1777 年发表的《论空气与火》表明空气是由两种不同的气体组成,亦即我们今天所知道的氧气和氮气。舍勒的大部分工作都是在 1773 年以前完成的,因此他对氧气的认识和分离实际上要早于普里斯特利。他有数不清的化学发现,不仅有氧气,还有氯气、锰、氧化钡、四氟化硅、氢氟酸、各种无机酸和有机酸、丙三醇、砷化三氢、亚硝酸铜(至今仍被成为“舍勒绿”),以及很多其他物质。从《论空气与火》以及很多回忆录中可以看出,他不仅是一个一丝不苟的实验者,还是一位行文简洁的作家。

## 元素

布莱克、卡文迪什、普里斯特利和舍勒都认为物质是完全“守恒”的,亦即物质在他们实验的过程中,既没有生成,也没有消失。此外,他们还用重量来衡量物质的多少。



289 在他们的时代里,四元素说(土、水、空气和火)依然很盛行。事实上还有很多人认为如果时间足够长,可以将水变成土。伟大的法国化学家安托万·洛朗·拉瓦锡(Antoine Laurent Lavoisier, 1743—1794年)对这个问题进行了研究,并最终将其解决。他以简单却极其细致的一系列实验开始这方面的探索。1770年,他通过准确的称量表明,如果将普通的水在专门设计的容器中煮沸,再将产生的蒸汽凝结,然后称出凝结的水和残渣的重量,则剩下的固体颗粒的重量和水失去的重量相当。因此,既没有损失,也没有增加。

拉瓦锡接着研究了金属的煅烧现象。就像很早就为人们所知的那样,这一过程会导致煅烧的金属重量增加,但拉瓦锡证明了这一增加是因为从空气中吸收了些什么(1774—1778年)。对燃素说(见第297页)来说,这是一个很沉重的打击。从1772年至1783年,拉瓦锡又对呼吸、燃烧以及其他形式的氧化过程中所发生的变化进行了广泛的量化研究。在此过程中,他发现了呼吸过的空气的真正本质,表明二氧化碳和水都是正常呼吸行为的产物。

如果清楚地了解其意义可以被视为检验一个发明的标准,那么拉瓦锡就是氧气的发明者。“氧气”这个词就是他发明的。他证明了在各种形式的燃烧中,都有氧气和被燃烧物质的组合。1784年,他重复了卡文迪什关于“可燃空气”(氢气)和“脱燃素空气”(氧气)的实验,并由此得出结论:水是这两种气体的化合物。这些实验标志着燃素说的终结。现在科学家的手中有了一项技术,可以利用它来探索化学合成的规律。

拉瓦锡对科学的重大贡献之一就是他一劳永逸地确立了现代意义上的化学“元素”的概念,和他同时代的法国人称这些元素为“简基”(simple radicles)。他追随波义耳,将“简基”定义为不能进一步分解的物质,并将其分为四类,分别是:  
290 (1)气体,包括氧气、氮气和氢气,还有“无重物质”,即光和热;(2)能够氧化成酸  
的物质,如硫、磷和碳;(3)金属,他区分了17种;(4)土质,包括石灰、苦土、重土、  
矾土和硅土。最后一类物质在当时还没有被进一步分解,碱、苛性碱和碳酸钠可能也  
在此列。但是拉瓦锡却坚信碱是化合物,是由氧气和其他“简基”结合而成的,只是  
还没有发现这种“简基”具体是什么,所以他拒绝将其包括在“简基”中。

拉瓦锡还正确认识到23个现代意义上的元素,虽然他的实际清单上要比这

多不少。在与德莫沃(de Morveau)和贝托莱共同写作的《化学命名法》中(1787年),他开创了一种根据物质的化学构成进行命名的新系统,这一改革大大促进了化学的进步,因为它摒弃了奇怪的、常常很荒谬的炼金术名称,取而代之以现在在很多依然在使用的名称。

拉瓦锡被普遍认为是现代化学的奠基人,他于1789年发表的经典之作《化学基础论》开创了化学史上的现代时期。他的作品被广泛研究。他的实验是严谨和独创性的典范。他众多的成就也许可以这样来总结,即他更加条理分明地、清楚地阐述了物质守恒的概念。他所有的工作都建立在一个明确的原则之上,即在实验允许的范围之内,同样重量的简单物质可以从化合物中分解出来,与起初被合成进去一样,不会多也不会少。化合物的重量是组成它的简单物质的重量之和。对拉瓦锡来说,这些观点是很明确的,是公理性的。

## 原子论

随着18世纪的逝去和19世纪的到来,物质内在结构的问题被重新提了出来。在17世纪,建立在原子论基础之上的“伊壁鸠鲁主义”已经成为哲学上的潮流,它与这一阶段盛行的笛卡尔学说背道而驰,但延续的时间却要比后者更长。原子论的早期倡导者中有伽桑狄(见第235页)和波义耳(见第233页),前者的主要成果出现于1649年,而后者则从1661年直至1691年去世,始终时断时续地对291这一问题进行研究。惠更斯也支持原子论。牛顿在研究行星运动时,发现有必要将星际之间的空间看作真空。他将这一概念延伸到地球上的物质,很自然地便形成了原子论(《自然哲学的数学原理》,1687年)——尽管在其作品中很难发现关于“微粒”精确本质的任何明确表述。于是,从牛顿时代开始,虽然有莱布尼茨(见第265页)的反对,但在物质的构成方面,物理学家们一般都秉持原子论。伏尔泰(见第254页)将这一学说进行了通俗化,并使其得到广泛的传播。

事实上,过去的研究者很难获得纯净的物质,加之可能受到古老的四元素说的影响,化学纯度的概念发展得非常缓慢。布莱克、卡文迪什和拉瓦锡将人们的注意力转向了化学过程中能够做到的高度精确性。拉瓦锡的同乡约瑟夫·路易斯·普鲁斯特(Joseph Louis Proust, 1755—1826年)推进了这一问题的发展,第一个强调了化合物的恒定构成。随着制备纯洁物质的方法得以改进,他成功表

明对于特定的一种化合物,无论它是怎样构成的,无论它是自然的还是在实验室中人工合成的,总是包括同样的“简单物质”,亦即元素,并且这些“简单物质”的质量之比也是相同的。这一事实就是所谓的“定比定律”。根据这一定律进行研究的若干化学家中就有 E.G.菲舍尔(E.G.Fischer, 1754—1831年),他根据 J.B.李希特(J.B.Richter, 1762—1807年)的研究数据制作了一个和当量比例定律相对应的当量表。

普鲁斯特的结论受到克劳德·路易斯·贝托莱(Claude Louis Berthollet, 1748—1822年)的质疑。后者在 1803 年发表的《化学静力学》中表达了他对化学亲和力的看法,也批判了 T.O.贝格曼(T.O.Bergman, 1735—1784年)对若弗鲁瓦的亲合力表(见第 285 页)的发展。1773 年,贝格曼认识到亲合力表应该是成对的,一个表示在溶液中反应的亲合力(“湿法”),一个表示将物质一起加热时的亲合力(“干法”)。因此,他在《选择性吸引力》(1775—1783年)一书中绘制了一幅很大的成对亲和力的表格。

此外,贝格曼还意识到在有些反应中,只有当反应物的量超出被反应物所需要的量时,化学变化才能彻底完成。换句通俗点的话来说,它表明反应物的量必须要多于“化学上对等”的量。贝托莱清楚地表明,参与化学反应的物质的相对数量,以及不可溶性和挥发性这样的因素会影响反应的彻底性;增加一种反应物的量会导致反应朝着同一个方向继续进行;化学反应一般是不彻底的;当两种物质以相反的力作用于同一种物质时,这种物质和两者之间的反应既和它们之间的亲合力成正比,又和它们的量成正比。

这些原则在理论上是成立的,遗憾的是被忽视了许多年,然而最终成为了现代化学动态学的基础。从这些理论中,贝托莱得出了和普鲁斯特相反的错误结论:化合物组成的方式是相似的,因此,它们的构成元素不是按照固定不变的比例来组合的,其比例会随着化合物形成时的情况变化而变化。普鲁斯特的结论被化学家们所接受,在结合了道尔顿对原子论的研究后,很快便获得了新的、更加广泛的解释。

约翰·道尔顿(John Dalton, 1766—1844年)是曼彻斯特的一位贵格派教师,在思辨能力方面,他比普鲁斯特更加富有洞察力。道尔顿对科学的第一个重大贡献是在 1801 年发现了一条定律,即在升高相同温度的情况下,所有气体的

膨胀都一样。几乎在同一时间,法国化学家盖·吕萨克(Guy-Lussac, 1778—1850年)对这一定律进行了更加明确的表述,其名字也理所当然地和这条定律联系到了一起。<sup>①</sup>道尔顿认为自己的“气体分压定律”(1801年)可以依据原子论来解释,他告诉我们这是“一个似乎普遍被采用的结论”。

道尔顿关于物质构成的思想最早源自对气象学的兴趣。他对空气的分析表明,气体总是有同样比例的氧气和氮气,还有少量的水汽和二氧化碳。他知道这些气体没有结合,它们有不同的浓度。那么,为什么最重的没有下沉到底部,最轻的没有上升到顶端呢?这些事实也许可以这样解释,即它们都是由大小各异的微粒组成的,就像古时哲学家(如卢克莱修,见第95页)所说的那样。于是在古老的原子论基础之上,又有了一种新观点,即物质是由大量基本的、同质的物质组成的,而这些物质本身是由不可分割、不可破坏、不可创造的原子组成的,进而又可以认为某一种元素的所有原子都是相同的,但是和其他元素的原子不同。

这一观点与普鲁斯特不久前提出的“定比定律”(见第291页)是完全吻合的。在将其理论应用于化学事实时,道尔顿从以下的假设出发,即化学合成是以最为简单的形式来完成的,一个元素的一个原子和另外一个元素的一个原子相结合,如水是由氢和氧按照1:1的比例合成的,氨气是由氮和氢按照1:1的比例合成的。他还认为当两个元素组成多种化合物时,更高的比例也是可能的,如碳的氧化物可以是一氧化碳,还可以是二氧化碳。

道尔顿从这个世纪之初就开始研究这一理论,1808年正式发表了研究成果《化学哲学新体系》(1808—1827年)。在这一年出版的该书第一卷已经被公认为经典之作。他指出,虽然原子过于微小,无法直接测量和称重,但是确定不同元素原子的相对重量应该是可能的——要想做到这一点,我们只需知道组成一种化合物的原子的相对数量和相对重量。

关于组成化合物的原子的数量,道尔顿只有很少的实验指导,因此他错误地认为氢原子和氧原子是按照1:1的比例组成水的,而不是2:1。后来他又错误地认为氢和氧的相对重量是1:7,而不是1:8。就这样,他认为在水中氧原子

<sup>①</sup> 盖·吕萨克本人表明雅克·查尔斯(J. A. C. Charles, 1746—1823年)的发现在其之前,但是没有发表。

的相对重量是7,而不是16。

## 分子理论

原子论的发表在法国吸引了很多人的注意。盖·吕萨克(见第292页)业已沿着同样的思路进行了研究。他对气体的合成很感兴趣,1808年,他表明当气体结合到一起时,其体积成简单的比例,如果化合物也是气体,则它们与气体合成物之间在体积上也成简单的比例。例如,一个体积的氧气和两个体积的氢气结合,形成两个体积的水蒸气;一个体积的氮气和三个体积的氢气结合,产生两个体积的氨气。

意大利的阿莫迪欧·阿伏伽德罗(Amedeo Avogadro, 1776—1856年)在著作中将原子论和盖·吕萨克的发现明确地联系到了一起。他于1811年指出,能够结合的气体之间在体积上有简单的比例关系,如果它们形成统一的原子团,那么在同样体积的结合气体中,这些原子团的实际数量之间一定有着某种简单的关系。这种最简单的关系业已被证明是真实存在的,亦即在类似的物理情况下,同样体积的所有气体都包含同样数量的原子团。阿伏伽德罗认为道尔顿所说的原子团并非不可分割,它们在最简单的情况下由两部分组成,这两部分在化学反应的过程中可以被分开。他称这种可以分割的原子团为分子。阿伏伽德罗还认为在空气中,所有这些分子(不是单个的原子)都是均匀分布的(1811年)。他注意到这两个假设都和盖·吕萨克定律相吻合。

遗憾的是,阿伏伽德罗的假说,即“在同样温度和压力的条件下,同样体积的各种气体包括的分子一样多”,并没有被当时的化学家所接受。这首先是因为当时这一假说能够适用的案例很少,其次是因为这些案例中有几个会导致异常的结果,而这些异常结果在很久之后才被人们所理解。直到阿伏伽德罗去世之后的1858年,多亏了另一个意大利化学家斯坦尼斯劳·坎尼扎罗(Stanislao Cannizzaro, 1826—1910年)的工作,该假说才引起权威的注意——一个重要的定律就这样长期默默无闻,致使在近半个世纪的时间里,物理化学的发展成果没有发挥其应有的作用。

在此期间,另一个假说的遭遇也很类似。在1815年发表的匿名论文里,英国物理学家威廉·普劳特(William Prout, 1785—1850年)将人们的注意力转向

这样一个事实,即所有元素原子的重量都接近于氢原子重量的整数倍。他因此将氢看作通用基准物。事实上,之后的总趋势便是朝着普劳特的“原始物质”或“第一物质”假说发展的,其“所有元素原子的重量都接近于氢原子的整数倍”的观点也重新受到了重视。

很自然地,确定原子和分子的重量成为 19 世纪上半叶很多化学家的研究目标。瑞典的永斯·雅各布·贝采里乌斯(Jöns Jakob Berzelius, 1779—1848 年)是其中的佼佼者,他从 1811 年开始致力于这一任务,确定了上千种物质分子的重量。作为电化学的奠基人,他还做了很多重要工作。他提出了一种观点,即一组原子或原子团可以在一系列化合物中保持不变,就像是一种元素一样。他在确定化学术语方面做出了很大的贡献,发明了利用元素拉丁文名的大写首字母来表达元素的方便办法,这些字母还可以加上数字来表达一个化合物中不同原子的数量。

汉弗莱·戴维爵士(Sir Humphry Davy, 1778—1829 年)延续了拉瓦锡最有成效的工作思路。他利用电流(见第 307 页),令人瞩目地成功分解了碱、碳酸钾和碳酸钠,以及碱土、氧化钡、氧化锶、氧化钙和氧化镁。分解出来的元素一方面是氧气,另一方面是一系列的金属,他分别称它们为钾、钠、钡、锶、钙和镁。这些名字源自包含这些元素的物质原有的名称(1807—1808 年)。瑞典化学家舍勒在 1774 年制备了氯气,并认为其中包括氧,1810 年,戴维表明氯气是一种元素。 296

戴维在研究成果的实际应用方面非常幸运。他发明的“安全灯”依然以他的名字命名,这是理所应当的,因为他对于火和爆炸的详细研究使这种灯成为可能,虽然其工作原理是工程师乔治·史蒂芬森(George Stephenson)发现的。戴维第一次整理了农业方面的化学知识,为农业做出了重大的贡献。他还在 1813 年出版的《农业化学原理》中使用了“element”(元素)一词,这是该词在英语中第一次以现代化学上的意义出现。

19 世纪三四十年代科学界的一个重要人物是李比希(Justus von Liebig, 1803—1873 年)。他先后在吉森大学和慕尼黑大学担任化学教授,将前面几十年里形成的精确方法应用于有机物的研究。在其实验室的上方刻着这样一句话:“上帝根据大小、数量和重量创造万物。”他的伟大成就体现在将精确的化学知识应用于生命活动的过程和产物。(李比希在生理学方面的研究见第 352 页。)



洛塔尔·迈尔(Lothar Meyer, 1830—1895年)和德米特里·门捷列夫(Dmitri Mendeleeff, 1834—1907年)的研究将化学带入了一个全新的阶段。他们的研究(1869—1870年)表明,元素原子的重量和它们的特性是有关系的。以门捷列夫之名命名的元素周期表使他和和其他科学家能够预测元素的存在和特性,这些元素虽然当时未被发现,但后来便被分解了出来。经过改进而更加复杂的元素周期表依然是现代系统化学研究的基础。

## 力的转换

### 无重物质

297 17世纪(伽利略的时代)和18世纪(牛顿的时代)确立了这样一种宇宙观,即宇宙建立在对物体起作用的各种力量的平衡基础之上。当时对这些力量的认识还很模糊,因此直到18世纪末甚至直到19世纪,还被认为源自燃烧物体的“燃素”,被认为既是光的起因又是其介质的“以太”,以及“电流体”和“磁流体”——这些都是含混的概念。燃素、以太、电流体和磁流体,这些假想的实体都被认为是没有重量的物质,即“无重物质”。这个词所导致的语言上的混乱以其最粗糙的形式而存在。奥利弗·温德尔·霍姆斯(Oliver Wendell Holmes)是一位科学家,但在其1858年出版的《早餐桌上的独裁者》中依然这样说道:“统治这个世界的是热、电和爱这些无重物质。”

在无重物质中,假想的“热质”占据着尤其重要的位置。在18世纪早期,关于热的本质有两种观点比较盛行。一方面,热质被普遍认为是一种流体,所有物体的气孔里都有或多或少的热质。因此,当金属被锤子击打而变热时,这被认为是里面的热质被压力挤了出来,于是热变得更容易被感知到。热质的存在及其流体本质被普遍接受,在牛顿哲学高奏凯歌之前没有受到大的冲击。

另一方面,还有些人支持波义耳(1664年)、胡克(1665年)和惠更斯(1690年)的观点,即所有基本的物理现象,包括热、光、化学作用、电和磁,都可以从机械的角度进行解释。他们认为所有这些都是由于受体内部微粒的运动,这些微粒在形状、速度、排列、吸引力等方面是不同的。

当然,不同种类的力之间存在着某种关系,对于每一个观察者来说,这一点都很明显。例如,光和热之间、光和电之间,尤其是热和功之间的相互关系就是如此。摩擦生火的历史由来已久,摩擦生电的道理广为人知,蒸汽泵也业已为人们所熟悉,通过各种化学或物理的方法生成热、光和声音的做法更是司空见惯。但是,这些不同现象之间的准确关系还有待认识。 298

### 温度的测量

热量和温度之间的区别现在似乎很明显,而在这种区别被阐明之前,测量温度的方法已经有了很大的改进。大约在 1592 年,伽利略发明了一个空气温度计——准确来说,或许更该称其为测温器。1632 年,让·莱伊(Jean Rey)发明了一种以水为测温物质的开口测温器。1641 年前后,可能是托斯卡纳大公斐迪南二世发明了一个密封的酒精温度计,这个进步标志着从测温器到温度计的过渡。在意大利西芒托学院短暂的历史上(1657—1667 年),这种温度计被用于实验。那时,所有这些仪器的刻度都很随意。

在 18 世纪之初,也就是 1701 年,牛顿提出了温度标示更加合理的油温计,以水的结冰点作为 0 度,将健康人体的温度作为 12 度。假定高温物体冷却的速度和该物体的“全热”(即温度)成正比,他能够通过观察高温物体冷却至可以用温度计测量的温度所用的时间,来估计诸如“红热”这种更高的温度。从此,这种比例关系就被称为“牛顿冷却定律”。更准确地说,就是在一个不大的温度范围内,高温物体冷却的速度和该物体与其周围环境之间的温度差成正比。

在 1715 年前后,D.G.华伦海特(D.G.Fahrenheit, 1686—1736 年)发明了水银温度计并确立了测温标准。1724 年,在致英国皇家学会的通讯中,他对其进行了描述。1757 年,查尔斯·卡文迪什(Charles Cavendish, 1703—1783 年)发明了最高和最低温度计,他的儿子亨利(见第 287 页)于 1783 年研究了水银的导温系数。到了 18 世纪后期,这一仪器被加以改进,成为我们今天所见到的样子。 299  
1794 年,经丹尼尔·卢瑟福(Daniel Rutherford, 1749—1819 年)之手,最高和最低温度计最终呈现出现代的式样。

让人满意的温度计的发明,让不同地方的研究者在各种情况之下都可以有固定的数值表示相同的温度,其最直接的重要结果就是约瑟夫·布莱克开创的

对热的定量研究。在 1760 年左右,布莱克发明了利用让特定数量的物质温度上升的度数来测量热量的方法,这一方法注定要产生深远的影响。与此同时,布莱克还清晰地阐述了热量和温度之间的区别,或者说是热的“分量”和“强度”之间的区别。以前的观点认为,让不同物体上升同样的温度所需要的热量和这些物体的质量成正比,布莱克摒弃了这一观点,表明每种物质都有属于自己的“热容量”,而这似乎和物体的质量没有什么关系。此后,布莱克的术语“热容量”被“比热”一词所取代。

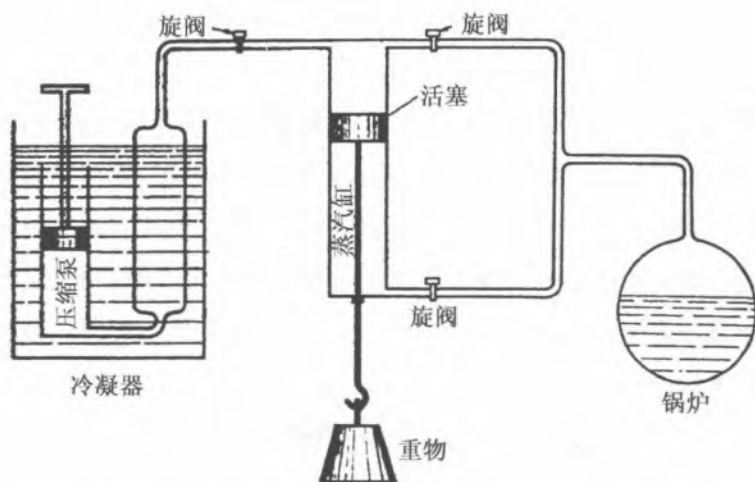
### 作为一种运动模式的热能

从 1761 年至 1764 年,布莱克表明在某些物理状态的变化过程中,特定分量的热消失了,如冰的融化和水分的蒸发。他还表明在相反的过程中,会有同样分量的热被产生,如水结冰和水蒸气的凝结。布莱克把导致这种热量消失和再出现的因素称为“潜热”。

此后不久,布莱克关于“潜热”的发现就被工程师詹姆斯·瓦特(James Watt, 1736—1819 年)所应用。当时他正在改进蒸汽机(见第 302 页),发现在普通气压之下,水在沸点转化为蒸汽时的膨胀体积大约是液体体积的 1800 倍。1764 年,他还发现沸点的蒸汽在变成冰冷的水的过程中,可以将重量为其六倍的水加热到沸点。布莱克利用自己在 1761 年至 1764 年所发现的潜热对这一让人困惑的结果进行了解释。1765 年,瓦特将布莱克的发现应用于他所发明的分离式冷凝器,这是他对蒸汽机的所有改进中最重要的一个(图 8.7)。这个简单的原理至今仍然在使用,并使其后的很多发展成为可能。

关于热的本质的概念本来只是一种猜测,至此似乎已经建立在精确的基础之上,并可以被应用于实践。热被认为是一种可伸缩、可测量的流体,不可创造,也不可毁灭。为了强调这一观点,1787 年拉瓦锡和法国科学院的院士们发明了“热素”一词。

但是,具有冒险精神的美国人朗福德伯爵本杰明·汤普森(Benjamin Thompson, 301 Count Rumford, 1753—1814 年)推翻了热素理论。1799 年,他利用一个可以精确到百万分之一的天平,表明水在变成冰或者从冰变成水的过程中重量并没有发生变化,虽然其温度上的变化足以将 9.75 盎司的黄金从冰点加热到红热状态。



在此之前，老式蒸汽机的汽缸在蒸汽进入后的每一次冲程都会冷却。瓦特增设了一个冷凝器和空气泵来使汽缸产生真空，并使其内部依然能够保持高温——蒸汽机的工作效率因此提高了。

图 8.7 1765 年瓦特蒸汽机冷凝原理的模拟图示

因此，如果热是一种流体，“它一定极其稀薄，即使在其最凝结的状态，依然无法测量其重力”。而在朗福德看来，热似乎不大可能是一种和受热体不同并且积累在受热体之内的物质。但是，如果热“不过是受热体内部微粒的振动”，那么在受热过程中，物体的重量不会发生变化，因为只有内部的运动会受到影响，而物体的质量不会受到影响。

1798 年，朗福德伯爵发表了《摩擦生热的来源探究》。在炮筒钻孔实验中，他通过测量放置在钻点旁容器里的水温的上升，计算了所产生的热量。钻头和炮筒之间摩擦产生的热似乎取之不竭，他由此推理：“在绝热条件下，物体所能够无尽地提供的不可能是一种物质。”因此他得出结论：热“是一种运动”。

在这些实验之后不久，1799 年汉弗莱·戴维（见第 295 页）发表了他的第一篇论文，描述了他在 19 岁时所进行的研究，其中包括一个经常被误引的实验。在这个实验中，他尝试在真空中摩擦两个冰块使其融化。这个实验的设置很不完美，所使用的方法也并不正确，因为戴维所记录的结果在热动能方面是不可能的——或许即使在今天，这样的实验也是不可能的。实验的结果被解读为热是物体内部微粒的振动，虽然这一结论没有得到证实，或者说至少没有被其前提所验证，但在辉煌的一生中，他始终坚持这个青年时代的结论是正确的。这是一个

精彩的例证,表明有些才能出众的科学家拥有一种特殊的天赋,那就是对正确答案的感觉或直觉。

朗福德伯爵已经非常接近更容易论证的能量转换和守恒定律,因为他距离  
302 揭示热能和机械能之间的关系不远了。在炮筒钻孔实验里,他注意到两匹马在稳定地克服摩擦阻力的过程中,也在稳定地产生热量。他甚至还比较了这样产生的热量和马所食用的草料燃烧所产生的热量。然而由于缺少精确的、可以转换的“功”的概念来衡量机械作用,他没有形成关于能量从一种形式转换到另一种形式的完整理论。

这一时期,人们印象最深的是瓦特对蒸汽机的改进及其在康沃尔煤矿抽水过程中的使用。当“博尔顿—瓦特”公司最初开始生产他们的机器时,瓦特制定的销售条款是让买方分期付款,每年一次,金额为新机器取代旧机器之后所节省燃料价值的 1/3。但是,由于新机器常常被用于新的煤矿,或者要做的工作比旧机器多,或者要排的水的深度更深,这就需要一种衡量机器的新方法。于是,1778 年人们引入了“能率”的概念,这是一种机器所做的功与所消耗的燃料之间的量化关系,由发动机燃烧 1 蒲式耳的煤能够将多少磅的水提高 1 英尺来表示,由此便可计算发动机的“功率”。在 1782 年与 1783 年之间,瓦特通过计算一匹马的功率确定了计算功率的标准,“马力”一词被用来指代每分钟将 33 000 磅的重量提高 1 英尺所需的功。此后,人们直至 19 世纪中叶才最终认识到热可以普遍转换成“功”。

## 静电

在电学领域,人们直到 18 世纪末还只认识静电。1731 年,通过电导过程的  
303 演示,人们认识到有些物体可以导电,有些则不能导电,这就使“绝缘”成为可能。实验还表明,所有的物体都可以带电。

早期的注意力还集中在电引力和电斥力上。为了对此进行解释,1730 年法国的实验学者 C.F.迪费(C.F.Du Fay, 1698—1739 年)提出了双流体理论。这些流体被认为可以通过摩擦进行分离,两者在一起时就会互相中和。

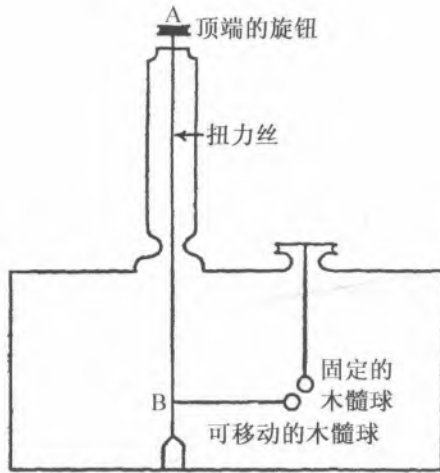
1746 年,荷兰莱顿的两位实验者发现利用被绝缘体隔开的两个导体可以将电荷固定,这就是“莱顿瓶”实验。几乎与此同时,本杰明·富兰克林(1706—

1790年)开始对电产生了兴趣。他很快就发现利用专门的设备可以将电荷导出,并认为“电火是一种普通的元素”,存在于所有的物体之中。如果一个物体上的电火多于正常值,就是“正电”;如果少于正常值,则为“负电”(1747年)。这就是“一流体理论”。直到法拉第(见第310页)时代,这种理论一直占据着支配地位。富兰克林还认为闪电源自电,于1749年提出避雷装置的概念,并在1752年将其付诸实验。1767年,普里斯特利发表了《电的历史与现状》,对当时的电学知识进行了总结。“电”这种现象得到了人们的广泛关注,很多种摩擦生电的机器被发明出来。1767年,普里斯特利注意到中空的通电金属物体的内壁没有电荷,提出电引力和万有引力的规律是相同的,都同样遵循平方反比定律——而在此之前,对电的研究几乎全部是定性研究。1771年,卡文迪什通过实验证明了这一观点——遗憾的是,他没有发表其实验结果,因此在1879年之前,该实验一直不为人们所知。

最早用来测量电的方法是让一个带电的物体作用于一个很轻的、悬挂着的物体,如一根线、金属箔或者木髓球。对电进行定量研究的早期尝试是在1786年,利用金箔验电器来测量金箔在充电时的偏向角。其后最先验证引力定律的是法国工程师查尔斯·奥古斯都·库仑(Charles Augustus Coulomb, 1736—1806年),他将胡克“弹性与力成正比”的原理进行改造,将其应用于电。1785 304年,他利用头发和丝线制作了一个“扭秤”,以之来测量一个带电的木髓球和另一个木髓球以不同距离靠近时所需要的扭力,由于两个木髓球带同样性质的电荷,因此会互相排斥,要想使它们靠近,就要克服这种排斥力(图8.8)。这一方法专门适用于研究电在平面上的分布以及电磁作用的规律。库仑是这些领域的数学理论的奠基者,利用他所发明的扭秤,他证明了牛顿的平方反比定律(见第252页)也适用于电磁的引力和斥力。

在18世纪后期,诸如电鳐和电鳗这种能够产生电击的鱼类也引起了人们的很大兴趣。约翰·亨特尔(John Hunter, 1773—1775年)、英格豪斯(1773年)和卡文迪什(1776年)都对此进行了阐述,都意识到这便是电击。对动物身上所携 305电的关注,促使博洛尼亚的路易吉·伽伐尼(Luigi Galvani, 1737—1798年)开始研究神经对刺激的敏感性。1791年,他表明电的作用可以导致肌肉收缩,反过来,肌肉收缩也可以产生电现象(图8.9)。





将两个带电小球放置于一个封闭容器内,一个小球与容器壁固定在一起,另一个小球连接在一个可转动的悬丝上,悬丝的顶端是一个旋钮。根据扭距的度数便可测量出两球之间的斥力大小。

图 8.8 库仑的扭秤

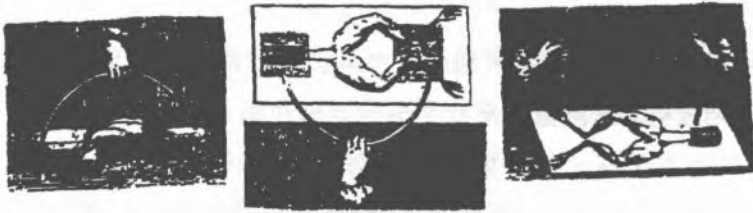


图 8.9 1791 年伽伐尼用金属连接蛙腿肌肉和神经的实验

### 对电流的最早研究

许多人认为这种“生物电”本身就是一种独特的电,它被以伽伐尼的名字命名为“galvanism”(流电)。在伽伐尼的研究基础上,帕维亚的亚历山德罗·伏特(Alessandro Volta, 1745—1827 年)发现电流通过神经或感觉器官时不仅会导致肌肉收缩,还会产生感觉。如果把两端是不同金属的弯曲金属棒一端放到嘴里而另一端接触眼睛,人就会立刻感到眼前一亮。他将一枚金币和一枚银币顶住舌头,当用导线将两枚硬币连接起来时,舌头便会“尝”到咸咸的味道。这里起关键作用的是不同金属的接触。伏特表明如果反复用电刺激肌肉,肌肉就会不停地收缩,但在 1800 年他还认为,在流电产生的过程中,生物组织并不像以前认为的那样必不可少。伏特发明了“伏特电堆”,原来实验中的硬币被改为成叠的硬

币或金属片,其间是浓盐水浸泡过的卡纸,如此便形成了其著名的“杯冠”(1800年,图 8.10),而这奠定了电化学的基础。这一发明很快就引起了广泛的注意,它是最早的可以产生电流的装置。



图 8.10 图的上半部分为伏特的“杯冠”,下半部分为伏特的电堆

就在伏特发表其研究成果的那一年,水在英国被成功地电解。当时一般认为电流源自电堆中的化学变化。因此,化学亲和力开始和电产生了关联,但富兰克林和其后的一些人认为电和“火”或热量有关系。

在“杯冠”中,每一个杯子里有两块浸在盐水或稀酸中的不同金属板,我们可以注意到这就是今天各种发电单元的“直系祖先”。

伏特电堆或杯冠提供了一种全新的分解物质的方法。在利用它们所产生的 307  
 电流分解水的过程中,看着氧气和氢气从不同的金属板上冒着泡浮出水面,人们的兴趣被大大激发。这将是一个成果丰硕的研究方法,汉弗莱·戴维就是最早利用这一方法的研究者之一,他对此寄予厚望,认为它必定会“带来关于微粒活动的全新的观点”。他通过这一方法表明,水分解后生成的氢气体积是氧气的两倍。经过多年的电解实验,他发现了一连串的新元素,尤其是钠和钾(1807—1808年)。

围绕电解过程的本质以及导致电解生成物向发电单位两极汇聚的原因,人们有很多猜测。戴维形成了或者是改进了这样的理论,即电堆将其周围的微粒

分解成为两种因子。因此,当两个电极分别是锌和铜时,铜会排斥氧离子,而锌会吸引氧离子,在氧离子被释放出来后,氢离子也被释放,吸引最近粒子中的氧离子,这样一来,又有氢离子被释放出来,而它又会吸引最近的氧离子。一连串的电解反应便导致锌极释放氢气,而铜极释放氧气。

1833年,法拉第(见第310页)以定量方法阐述了电解的过程,于是就有了以其名字命名的两个定律,分别是:(1)在电解过程中析出物质的量与所通过的电流强度成正比;(2)当同样的电流通过不同物质的溶液时,析出物质的量和这些物质的化学当量成正比。

这样,电作用和化学作用之间的明确关系得以确定。

## 电磁学

戴维的电化学研究结束之后不久,电学领域有了新的发展方向。1820年尤  
308 其重要,在这一年,丹麦人汉斯·克里斯蒂安·奥斯特(Hans Christian Oersted, 1777—1851年)准确阐释了电与磁之间长期悬而未决的关系。他发现,如果通电导线被置于磁针附近或与磁针平行,磁针就会发生偏转(图8.11),但如果通电导线和磁针成直角就不会这样。磁针偏转的方向取决于通电导线是位于磁针上方还是下方,还取决于电流的方向。

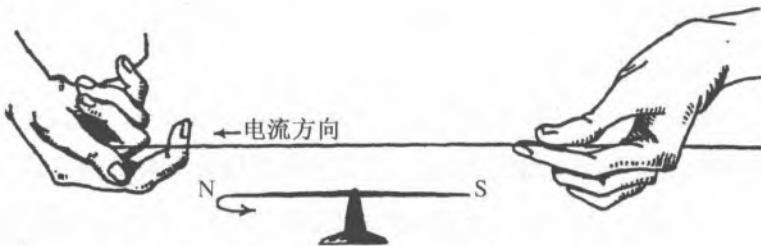


图 8.11 奥斯特揭示电流对磁针会产生影响的实验

法国科学家弗朗索瓦·阿拉果(Francois Arago, 1786—1853年)立刻就意识到了将电和磁联系到一起的重大意义。1820年,他证明了一卷铜丝在通电时会吸引没有提前磁化的铁屑,只要有电流通过,铁屑就会吸附其上,一旦电流停止,铁屑就马上散落下来。实际上这样的线圈就像磁铁一样。1824年,他发现铜盘

的旋转可以导致盘上磁针的旋转(图 8.12)。1831 年,法拉第对这一现象进行了清楚的阐释(见第 314 页)。

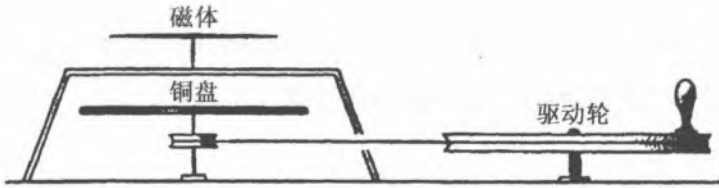
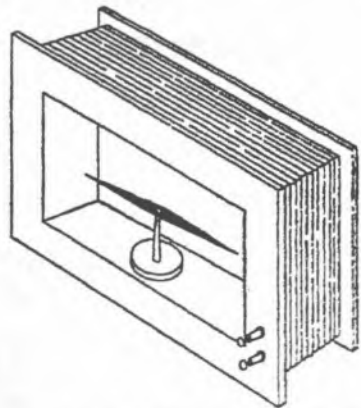


图 8.12 阿拉果在磁针下旋转铜盘的实验

在奥斯特发表成果后不久,安德烈·马里·安培(André Marie Ampère, 1775—1836 年)揭示了导致电流使磁针方向偏转的定律,以及电流互相吸引和排斥的规则。他表明,两条平行的导线如果电流方向相同则相互吸引,如果电流方向相反则互相排斥;他还表明,圆柱形线圈在有电流通过时可以起到磁体的作用,就像阿拉果曾经做过的那样。接着,从 1822 年至 1827 年,他对这些现象进行了数学分析,表明电流的外部作用相当于一个磁壳,提出这种磁性是分子电流的结果。他因以其名字命名的、著名的“安培定律”和电流单位“安培”而被人们所铭记。利用安培定律,我们可以确定电流激发磁场的磁力线方向。

309



它包括一个安装在不导电矩形线框内的磁针,线框周边缠绕着通电线圈,磁针的偏转能够测量出电流的大小。

图 8.13 一个最简单的检流计  
(或测量电流的仪器)

这些科学家的研究提供了一种利用其磁感应探测电流的方法,以及用某种刻度的仪器对其进行测量的方法。1821 年,几位发明家发明了专门用于此目的的仪器即检流计。最简单的检流计由携带电流的线圈组成,由此产生的磁力会使悬在线圈中心一个支点上的磁针发生偏转(图 8.13)。

## 发电机

310

作为最伟大的科学天才之一,迈克尔·法拉第(Michael Faraday, 1791—

1867年)的主要成就是表明了电流可以用作动力之源。通过奥斯特以及他本人的实验,法拉第意识到电流通过导线时会创造一个“磁力场”。这个磁力场的任何一个部分都可以形象地表现为与通电导线垂直的任一平面上的一系列以导线为圆心的同心圆。法拉第认为这种磁力可能会导致磁体绕着导线运动。此外,他还认为如果一个磁极可以沿着电流旋转,那么应该可以使得一根通电导线绕着一个磁极旋转。

法拉第设计了一个电路,将两个杯子注入水银,用导线将其连起来,一个杯子里有一个固定的磁体和一根可以自由旋转的导线,另一个杯子里是固定的导线和可以移动的磁体(图 8.14)。电流通过导线经过左侧杯子里的水银,流到穿过杯子底部的一根铜棒。这个杯子里的磁体被用一根线连接到铜棒之上。在右侧的杯子里,固定的磁体被插在杯子基底处的一个插口内,浸入水银中的导线可以自由移动。电路刚一完成,第一个杯子里的磁铁和第二个杯子里的导线就开始旋转起来,只要有电流通过,旋转就会一直持续下去。就这样,法拉第把电流转变成为持续的运动(1821年)。

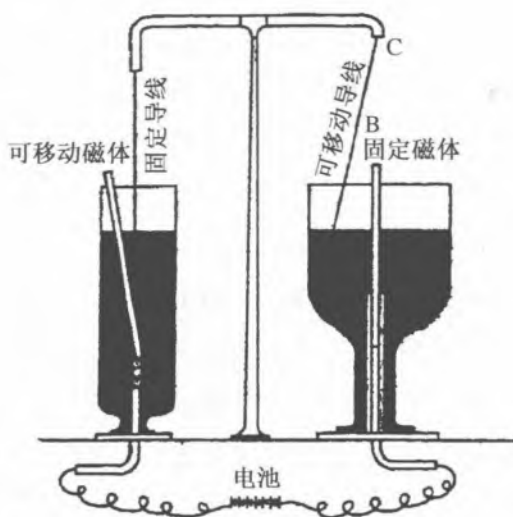


图 8.14 法拉第用于展示电流能够产生持续旋转运动的装置

法拉第知道安培的实验,即圆柱形线圈在有电流通过时可以起到磁体的作用,而他本人则证明了反过来亦然,即磁体可以产生电流,让他得出这一结论的

实验已经成为经典。

在一个铁环周围,他分别缠绕了两组线圈。一组和伏特电池相连,另外一组和电流计相连。有一个开关控制电路。在接通或断开伏特电路的电流时,电流计显示有电流短暂经过,但接通电路时的电流和断开电路时的电流方向相反(1831年,图 8.15)。

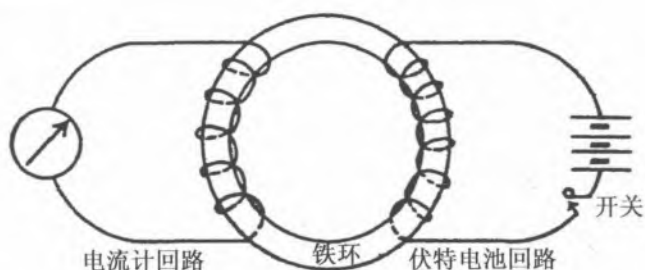


图 8.15 法拉第线圈

但是,如果像阿拉果所表明的那样,电路可以起到磁体的作用,那么磁体难道不可以产生和铁环同样的感应吗? 这样不就不需要电池了吗? 对此的实验对于整个电学的未来都很关键。法拉第把一组线圈缠绕在一根铁棒之上,并将其和电流计相连接。接着他把铁棒置于一个磁棒的北极和另外一个磁棒的南极之间,并让两个磁棒的另一端接触。在两个磁棒张合之际,电流计显示有电流短暂通过(图 8.16)。

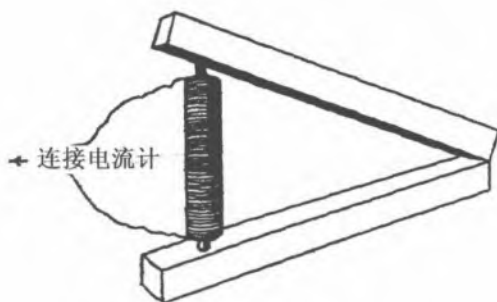


图 8.16 磁体的“张”、“合”产生瞬间电流

围绕着这一发现,当时的一位才子这样写道:

法拉第确信伏特闪电  
和磁体有关,



但怎样才能利用导线，  
将其引牵，  
他从人心得到启迪：  
当我们晤面，当我们别离，  
电火如雷霆霹雳。

在前面的实验中，法拉第没有使用电池。那么，他是不是可以在使用电池的情况下，不用磁体，而是用电流取而代之呢？法拉第以绕线筒取代铁环，将一组线圈缠绕其上，然后把它与伏特线圈相连接。在这个一次线圈之外，他又缠绕了另一个更长的线圈，即二次线圈，并将其两端连接到电流计。和以前一样，在开合之际，电流计显示有电流短暂通过。法拉第就这样揭示了感应电流的过程，而对感应电流的了解则开创了电的应用史上的一个新纪元(1831年)。

现在人们明白了，产生电磁感应时的关键因素是变化——磁体或线圈的运动，或者是开关或接触的张合。电磁感应以某种方式和“力场”相关，距离变化的地点越远，力就越弱。这种力场可以通过线条来表达，就像放在场内卡片上的铁屑的运动所显示的那样。

313 为了从总体上解释这些现象，法拉第对磁力线进行了很多思考。在电学领域，磁力线将发挥十分重要的作用，但是这并不是一个新概念。吉尔伯特(见第188页)对其有清楚的了解，笛卡尔从中看到了他所提出的物质涡旋运动的证据，18世纪有的物理学家甚至将其描绘出来，但揭示其重大意义的任务是由法拉第来完成的。在其后的科学生涯里，他继续研究并实验这些磁力线，现在它们已经成为人们所熟悉的科学概念。

电流产生的力线的总体特征很容易表明，方法可以是在电流附近操作一根小磁针，也可以是让一根通电导线穿过一个撒有铁屑的卡片。这些铁屑会在电线附近呈曲线分布，力线与此相似，在和电流方向成直角的平面上呈同心圆分布(图8.17)。

法拉第已经成功地让磁体围绕通电导线旋转，还让通电导线围绕磁体旋转。这样的运动和力线的分布有关，而力线的形成是因为电流或磁体在其介质中形成某种压力。导线或磁体被不断从力场磁力较强的地方向外推。安培已经表明两根平行的通电导线如果电流方向相同则互相吸引，如果电流方向相反则互相  
314 排斥。法拉第很容易就把这一事实纳入其力线的概念。如果两根相邻导线中的

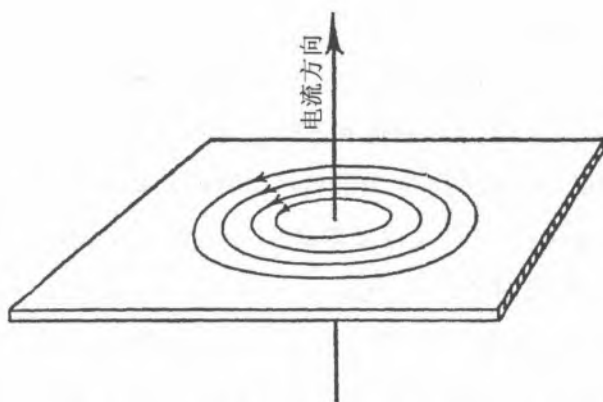


图 8.17 电流产生的力线取决于电流的方向

电流方向相同,由此产生的磁力线会被从力场磁力较强的区域推向磁力较弱的区域,它们就会互相靠近(图 8.15),如果电流方向相反,力线依然会被从磁力较强的区域推向磁力较弱的区域,于是它们就会互相排斥(图 8.19)。

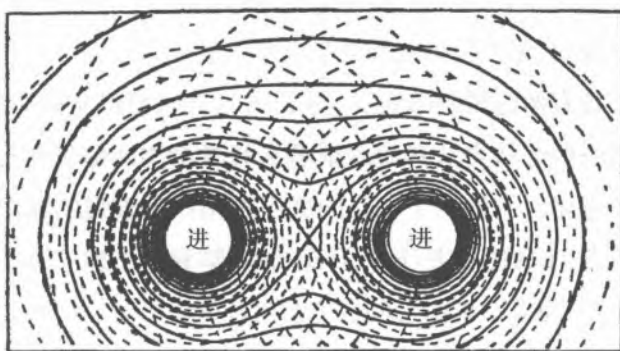


图 8.18 两条同向电流所产生的磁场

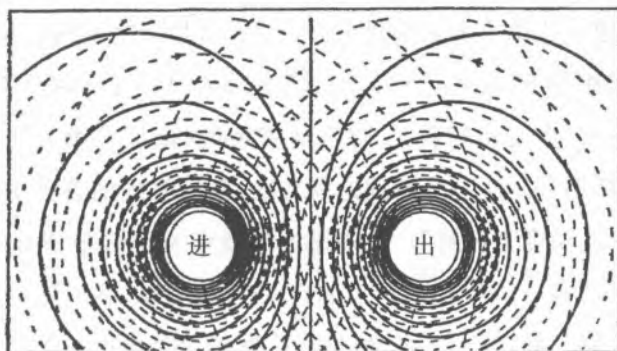


图 8.19 两条反向电流所产生的磁场

根据力线理论,现在就可以解释阿拉果所演示的旋转铜盘对悬于其上的磁  
315 体的作用(见第 308 页)。随着铜盘的旋转,它切断了磁体的力线,于是就产生了  
感应电流。磁体的运动不过是磁体和感应电流形成的磁场之间互相作用的结果。  
通过想象力线具有某种物理特征,就可以将很多本来无关的现象联系起来。

对于法拉第来说,1831 年是硕果累累的一年,在这一年他还做了和阿拉果的  
实验相反的实验(参见图 8.12)。他让一个铜盘在一个蹄形磁体的两极之间旋  
转。铜盘的轴心和边缘与一个电流计相连。随着铜盘的旋转,电流计显示有感  
应电流产生。这就是第一个磁电转换器或者说是发电机。对电磁感应的发现是  
大规模利用电力的起点,也是将电力用于照明和牵引的起点。

发电机基本上包括一个适宜的、由许多线圈组成的导体,围绕一个磁场旋  
转。旋转的导体不断切割磁场的力线,于是旋转导体的线圈中就会产生感应电  
流。在每一个线圈中,感应电流会在每一次旋转时改变方向。这样的电流被称  
为“交流电”。利用一个著名的设备,在电流每次通过一对导体时逆转每个电枢  
线圈中电流的方向,交流电可以被转化为直流电。

利用法拉第带有两组线圈的铁环(参见图 8.15),可以从很少的发电单位产  
生的电流获得很强的电动力。其后的很多实验者希望能够发明这样一个仪器,  
它可以通过一个电路对另外一个电路的感应作用产生很强的电动力。1851 年,  
巴黎的仪器制造者 H.D.伦可夫(H.D.Ruhmkorff, 1803—1877 年)发明了以其名  
字命名的一种线圈,使电动机的发展有了实用价值。

在法拉第的研究成果就这样有了实用意义之时,科学家开始认识到他很多  
简洁语言背后的精确和严谨。很多一般定理,要想系统地将其推演出来,需要极  
高的数学才能,但是法拉第没有借助数学公式,而是仅凭某种直觉就获得了,这  
316 是很惊人的。詹姆斯·克拉克·麦克斯韦(James Clerk Maxwell, 1831—1879  
年)对科学的第一个重要贡献就是 1856 年发表的《论法拉第力线》。在文中,他  
“试图表明通过严格利用法拉第的理论和方法,其所发现的各种不同现象之间的  
联系可以从数学的角度来理解”。他遵循的是威廉·汤姆逊(William Thomson,  
即后来的开尔文勋爵,1824—1907 年)的建议,而后者从 1849 年就开始从事这方  
面的研究。克拉克·麦克斯韦还将热学和流体力学拿来进行比较。这些促使他  
形成了这样的概念,即电磁效应是因为以太的变化而产生的(1862 年),还成就了

他的伟大贡献,即 1864 年发表的《电磁场的动力学理论》。在这篇文章中,他表明电磁以一定的速度呈波状在空间中传播,电磁波和光波(见第 316 页)一样都是横波。由于他证明了这些波的速度和光波相同(1867 年),这使光的电磁理论成为可能。

### 波动说

在 18 世纪末,关于光的本质有两种互相对立的观点,分别是微粒说和波动说。

微粒说由来已久,牛顿使其获得了科学的现代形式。他认为发光体发出一条条微粒流,沿着光线的方向不断直线前进。视力被认为是这些微粒流作用于眼睛的结果。光线从空气进入密度更高的介质时发生的弯曲,譬如从空气进入玻璃或水,被认为是因为当微粒以某一角度靠近密度更高的介质的表面时,就开始被其所吸引。

1678 年,克里斯蒂安·惠更斯提出了他的波动说。在著名的《光论》(1690 年)中,他认为所有的空间都弥漫着一种细微的弹性介质即以太,光波从光源穿过以太向各个方向传播。这些波动从起点开始,呈规则的圆球形,就像落到水中 317 的石头所激起的环状涟漪一样。

惠更斯应用这一理论来解释折射现象。光源可以被认为向以太发射出一连串的球面波,在光波表面上的任一点 A (图 8.20) 都可以被看作另一个光源。同一光波上的其他任一点,如 B、C 和 D, 都可以发射出类似的球面波。在距离最初光源任何距离的地点,所有这些球面波的表面共同组成所谓的“波前”。如果光源足够远,波前所在的球面就会很大,以至于它的一小部分可以被看作平的,如果只看一段,就是线形的,而从光源辐射出来的光线可以被看作平行的。

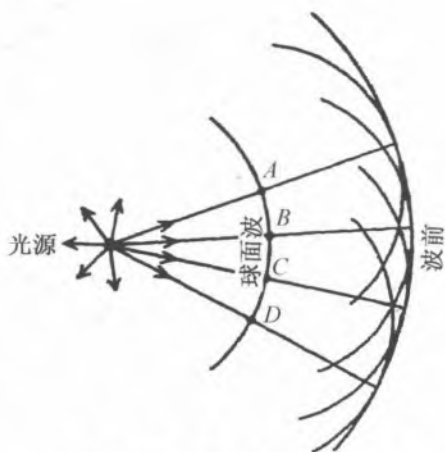
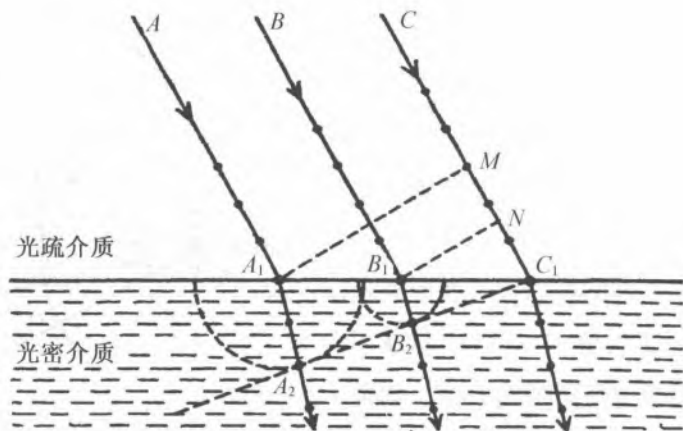


图 8.20 惠更斯的“波前”理论

现在我们必须像惠更斯那样,思考如何将这一波动理论应用于折射这一已

知事实,尤其是应用于斯涅尔定律(见第 194 页)。就像马上就可以看到的那样,这些事实要求在密度较大的介质中,光传播的速度应该小于在密度较小的介质中。传播速度的变化会造成波前方向的变化。

如图所示(图 8.21),A 线和 C 线是源自远处同一光源的平行光线,这一光源的波前呈平面状,并且和两条光线前进的方向成直角。它们倾斜着接触光密介质的表面,在 C 光线到达  $C_1$  点之前,A 光线沿着波前  $A_1M$  在  $A_1$  点接触表面。假如光在光密介质的速度是光疏介质的  $2/3$ ,在 C 光线从  $M$  前进到  $C_1$  点时,A 光线会到达  $A_2$  点,则  $A_1A_2$  的长度是  $MC_1$  的  $2/3$ 。对于在 A 光线和 C 光线中间的  $B_1$  点达到表面的 B 光线来说,可以考虑波前  $B_1N$ 。B 光线在到达  $B_1$  之后又到达  $B_2$ ,  $B_1B_2$  的长度是  $NC_1$  的  $2/3$ ,或者说是  $MC_1$  长度之  $2/3$  的一半。C 光线在 B 光线到达  $B_2$  点时到达  $C_1$  点。因此, $A_1A_2$  是  $MC_1$  的  $2/3$ ,而  $B_1B_2$  是  $MC_1$  的  $1/3$ 。 $A_2$  点和  $B_2$  点分别位于以  $A_1$  和  $B_1$  为圆心的圆形波前之上,而圆的半径分别是  $MC_1$  的  $2/3$  和  $1/3$ 。这样一来,当 C 光线到达  $C_1$  点时,光前将是直线  $A_2B_2C_1$ ,只和这两个圆接触但并不与其相交。实际上,这条直线是所有这样形成的圆的公切线。波前从  $A_1M$  到  $A_2C_1$  的方向变化和斯涅尔定律相对应。



串珠标志着等距的线程。光在光密介质中的速率是在光疏介质中的  $2/3$ 。

图 8.21 “波动说”对折射现象的解释

19 世纪初,托马斯·杨(Thomas Young, 1773—1829 年)进一步阐发了波

动说——该理论在这个世纪里非常流行。在1801年的两篇通讯中，他描述了他的波动说及其光干涉的基本原理，这牢牢确立了他杰出科学家的地位。319  
他说：

假如几个同样的水波以稳定的速度在平静的湖面移动，然后进入一条通往湖外的狭窄河道；再假如类似的原因引起另外一组同样的水波，它们以和第一组水波同样的速度在同样的时间到达河道。它们不会互相毁灭，而是合为一体。如果进入河道时，两组水波正好都处于波峰，就会共同形成一系列更大的波峰，但是如果一组水波的波峰正好遭遇另外一组水波的波谷，它们一定会补偿这些波谷，水面一定会保持平静，至少无论是在理论上还是在实验中，我都看不到其他的可能。因此，我认为当两组光线这样交汇时，也会发生类似的情况，我称其为光干涉的一般定律。

要想最简单地表达这一干涉理论，或许我们可以想象源自一个扰动中心的水波进入两个河道的情景，两个河道长度不同，但最后交汇到一起。如果在交汇点，两组水波处于相反的阶段，它们显然会互相中和(图8.22)。

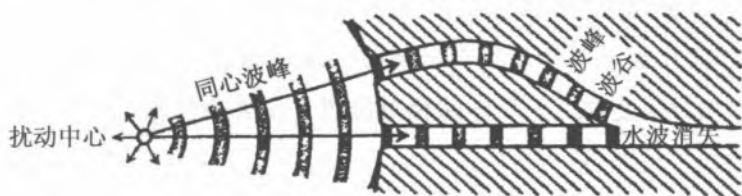


图 8.22 干涉定律的图示

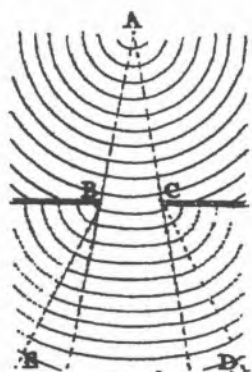
牛顿也探讨过波动说，但他没有接受这一理论。他说：

如果光是由运动组成的，它就会发生弯曲进入阴影，因为在障碍的阻挡下，运动不能越过障碍连续地直线传播，而是会发生弯曲，绕过障碍向静止介质的各个方向扩散。……从阻隔发声体的山丘对面也可以听到钟声，……但从没有见过光发生弯曲进入阴影。

然而杨证明了光是会弯曲的。由于光波之小以及其速度之快，这种弯曲的 320  
程度极小，而在有些介质中弯曲的程度会变大，比如在水中比在空气中弯曲的程



度就要大(图 8.23)。



从中心点 A 产生的波通过小孔 BC。这些波在通过小孔后,同时向两边扩展,“弯折到阴影部分中”,布满了空间 BCDE。

图 8.23 光的弯曲

通过一个简单的实验,杨演示了光线的弯曲。反射自太阳的光线从暗箱一侧的一个针孔照射进去,形成一个光锥。在光锥上放置一条狭窄的卡片,可以看到对面墙上形成的阴影两侧有微弱的带颜色的条纹,而在影子内部,有一连串微弱的明暗交替的直立光带,影子中间是一条微弱的白色光带。由于在正常情况下,光会同样地朝各个方向运动,其中一部分,在经过卡片两侧时,一定也扩散到了卡片后面。但是为什么会出现明暗交替的光带而不是均匀地布满阴影呢? 如果用一个不透光的物体拦住光线在卡片一侧的去路,条纹就会消失。

因此,只要光从一个方向扩散到卡片背后,它就会均匀地扩散开来,只有当卡片两侧的两组光线交汇时,才会出现“干涉”带。这和水波的情况十分接近。

然而,光在穿过透明的介质时,并不总是同样地朝各个方向运动。因此很早人们就知道,光在通过两个冰洲石晶体时会发出两条通常是不同亮度的光束。两道光束的相对强度取决于晶体的相对位置。在某些位置,一道光束会完全消失。法国数学家埃蒂安·路易斯·马吕斯(Étienne Louis Malus, 1775—1812 321 年)发现可以利用反射自透明表面的光得出和冰洲石晶体实验类似的结果。出于对这一过程本质的误解,他称其为偏振性(1805 年)。这个误导的名称一直延续到现在。直到和杨有通信联系的法国科学家奥古斯丁·让·菲涅耳(Auguste Jean Fresnel, 1782—1827 年)赋予波动说以现代形式,马吕斯所研究的这些现象才得以利用波动说来进行说明。

杨对光波的理解是从声波引申而来的。在声波中,振动的粒子运动的方向和光波扩散的方向平行,这就是“纵向”振动。在水波中,粒子上下运动,其方向和水波前进的方向垂直,这就是“横向”振动。光波中以太的振动是横向的,但是这里的情况有些复杂,即振动的平面是不受限制的,因此一道光线包括了与其传播方向垂直的任何平面上的振动光波。

如果以图来表示(图 8.24),从一端来看光波,我们可以想象一系列短直线代表“以太粒子”振动的两端。虽然一个平面上的振动与前进的光线成各种角度,但所有的振动都与光波前进的方向成直角,也就是说,在我们的图上,它们在纸张的平面上振动。可以将冰洲石对光波的作用比作是一个有垂直缝隙的栅栏,与栏杆平行的振动会通过其间的缝隙,但其余的振动会被阻止,于是通过的光就可以被说成是发生了“偏振”。

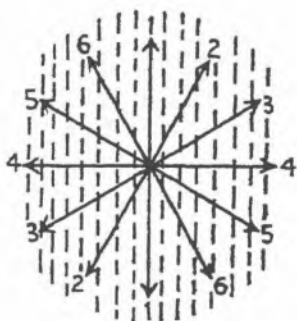


图 8.24 光的偏振

通过对光波的长度进行定量估测(1821年),菲涅耳还利用干涉的概念将光的波动说纳入了数学的框架之内。两个几乎位于同一平面的金属镜子(图 8.25)反射来自暗箱墙壁上针孔的光线,将其反射到一面白色的屏幕上。从屏幕方向看镜子,观察者会在  $A$  点和  $B$  点发现整体的两个“虚拟形象”,视觉效果就像光线真的源自这些点一样。通过旋转镜子, $A$  点和  $B$  点可以互相靠近,直到两个镜子位于同一平面时,两点重合,形成一个虚拟的形象。从这里画一条和屏幕垂直的线,在  $C$  点和屏幕接触。考虑位于能够从  $A$  点和  $B$  点得到亮光的区域上的任何一点  $P$ ,则  $PA$  之间的距离要长于  $PB$ ,但是随着  $P$  点接近  $C$  点,两者之间长度上的差异逐渐减少。 $PA$  的长度减去  $PB$  的长度是两者之间的差异,可以通过实验的已知条件进行计算。此时, $P$  点有时会有一个暗色的光带,有时会有一个亮色的光带,这取决于  $PA$  和  $PB$  之间的差异是接近于半个波长的奇数倍还是偶数倍,实际上也就是来自  $A$  点和  $B$  点的光波是同时到达还是交替到达屏幕(图 8.26)。

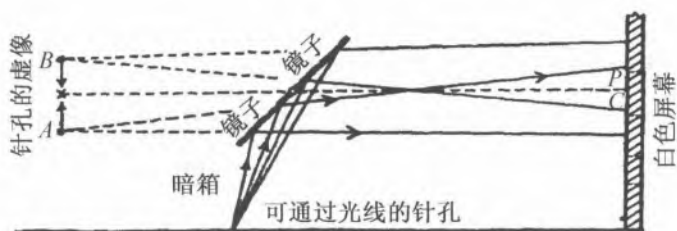
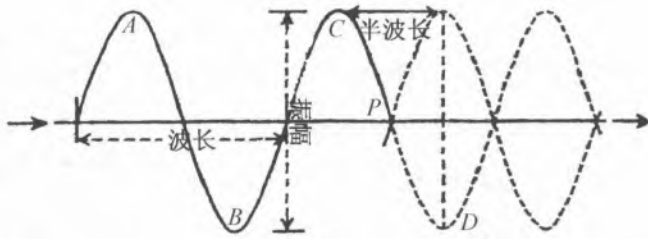


图 8.25 菲涅耳的光干涉实验



ABCD 代表了一组向右传播的横波。在 P 点与另一组振幅和波长都相等但相位相差  $180^\circ$  的波相遇,其结果就因产生“干涉”而使波不再振动。如果第二组波的波长相等而振幅小于第一组波,则第一组波的振幅将会变小。如果第二组波的波长与第一组波不同,则系统将会变得更复杂。

图 8.26 光波间的干涉

我们已经看到(见第 317 页),波动说意味着光在光疏介质中的速度要大于在光密介质中,而微粒说则与此相反。因此,如果能够直接证明光在空气中的传播速度比在水中要快,就可以进一步证实波动说的合理性。从 1850 年开始,让·莱昂·傅科(Jean Leon Foucault, 1819—1868 年)在巴黎做了一系列很著名的实验,完成了这一任务。1862 年,他详细描述了这一过程。在此之前,他已经和与他完全同时代的依波利特·路易·斐索(Hippolyte Louis Fizeau, 1819—1896 年)进行过相关的研究,如光的色偏差、热射线和路径长度悬殊的光线的干涉现象。他的其他伟大贡献包括 1852 年发明的陀螺仪、1857 年发明的制作球面或抛物面的光学仪器反射器的方法。此外,他的名字还和几个电学仪器联系在一起。1849 年,斐索确定了光的绝对速度。傅科和斐索所确定的光速为每秒 30 万千米左右,开创了现代经典光学。斐索还引入了关于物质和以太相对运动的某些概念,后来克拉克·麦克斯韦对其进行了发展。

## 能量学说

和其他学科的历史一样,对科学史也不能进行随意的时代划分。但是,有些重大的科学观念的出现让历史学家可以确定一些时间界限,以方便其叙事的划分。任何形式的可以衡量的物质活动都可以转化为其他的任何形式,在世界上,这一活动的总量是有限的并且永远保持不变,这一原理就属于这样的科学观念。在 19 世纪中叶前后,这一能量学说被人们所接受,它开创了科学观念史上的一个新纪元。

这方面的一个重要贡献是才华横溢的法国年轻人萨迪·卡诺(Sadi Carnot, 1796—1831年)做出的,出自他于1824年发表的唯一著作《关于火的动力的思考》。卡诺对功进行了测量,并将其定义为“抬高到一定高度的重量”。他相当清晰地确立了这样一个原则,即热和功是可逆的,可逆发动机的效率取决于高低温热源之差。卡诺的研究终其一生都未能引起人们的注意。大约20年后,道尔顿的学生、英国人J.P.焦耳(J.P.Joule, 1818—1889年)掌握了其中的原理,并以高超的实验水平发展了这一学科。

1840年,焦耳强调了物理学单位的重要性,其工作的意义开始凸显出来。他后来所采用的单位涉及化学活动能够以可测量的方式转化为电活动的观念。他的静电单位是分解9克水所需要的电量,一个单位的电量传输一小时就是一度电。他认为电池中对金属的消耗是能量之源,就像驱动蒸汽机要消耗煤一样。

通过研究法拉第发明的电动机,焦耳揭示了电池里的化学效应、发动机里的机械效应和电路中的电效应之间的数值关系。因此,如果一定重量的锌在酸液中溶解,就会释放出一定数量的热能。如果锌是电池中的一个元素,在其溶解的过程中所产生的热量就会有一定量的减少。电流通过导线时,导线会发热。其热量相当于直接用酸分解锌所产生的热量,与锌作为一种元素在电池中分解所产生的热量之差。此外,如果电流驱动发动机,会有更多的热量流失,流失的量和发动机所做的功成正比。

1843年,焦耳发表了历史性的论文《论电磁的热效应和热的机械值》,清楚地阐明了功和热之间的关系,提出了今天我们所说的“焦耳当量”,即要产生一个单位的热量必须要转换多少功。这个热量单位就是把1磅水温度升高一个华氏度所需要的热量,功的单位是把1磅的重量抬高1英尺所需要的功的量。他当时所确定的当量是838英尺磅。 325

在其后的几年里,焦耳对他的这一观念进行了很多改进。他分别测量了各种情况下所需要的功和产生的热量,如水在通过细管时,气体被压缩或膨胀时,以及划水轮在水中或其他黏性更强的液体中运动时,等等。但是直到1847年,他才第一次全面而清楚地阐明了我们现在所说的“能量”原则。“能量”一词最早以这个意义出现在威廉·汤姆逊(即后来的开尔文勋爵)于1852年发表的伟大

论文《机械能的耗散》中。<sup>①</sup>1847年,在一个教堂的阅览室里,焦耳以通俗讲演的形式对此进行了精彩的阐述。这个伟大的科学宣言,在被几家科学刊物拒绝之后,发表在曼彻斯特的一家周报上,题目是“论物质、活力和热”。当然,他这里的“活力”就是我们所说的“能量”。他说:

活力是物质被赋予的最为重要的特征之一,因此如果认为可以将其毁灭,这将是荒谬的。……实验已经表明,只要活力在表面上被毁灭了,无论是通过击打和摩擦,还是其他类似的方法,总是会有完全等价的热量被恢复。反过来亦然,也就是说热量不会减少或被吸收,除非产生活力或与其等价的空间引力……热量、活力和空间引力(我也许还可以加上光,如果它和本讲演涵盖的范围相一致)是可以互相转化的。在转化的过程中,不会有任何损失。

同一年,赫尔曼·亥姆霍兹(Hermann Helmholtz, 1821—1894年)发表了他的326 小书《能量的保存》。也是在同一年,焦耳和威廉·汤姆逊取得了联系,后者长期以来一直对热的转换很感兴趣。在其著名的小册子中,亥姆霍兹否定了永久运动的可能性,想要确定这样一条原理,即在所有能量转换的过程中,宇宙中所有能量的总和保持不变。汤姆逊接受了焦耳和亥姆霍兹的结论,从1848年开始投身于对这些原理的数学意义的研究。他写道:“对物质的特征进行数值计算的第一步就是要发现其中持续变化的活动,以及根据某种任意单位或刻度对其进行测量的方法。但是在我的研究领域,测量的科学需要更多,那就是要确定某种绝对明确的东西作为计算的单位。”

汤姆逊形成了固定点的概念。他很熟悉卡诺的可逆循环的观点,并且是最早将人们的注意力转向该观点的人之一(1848年),因为他阐明了这样一个事实,即压力会降低冰的熔点。他清楚地意识到发动机所做的功的量并不直接取决于高低温热源在气温表上的刻度值。举一个简单的例子,在100度和150度之间所做的功与150度与200度之间所做的功是不同的。因此,要想清楚地理解力的互相转化,有必要找到某种绝对刻度,这一刻度不是根据某一种物质状态的变化而任意确定的,如普通的温度计是根据水的冰点和沸点所定的刻度。现在,要想在

<sup>①</sup> 1807年,托马斯·杨就使用过这个词。

理论上让发动机完美,也就是说让其所有的热都转化为功,有必要让低温热源的温度降到最低点。汤姆逊称这一最低点为“温度的绝对零度”。

汤姆逊发现,当发动机在0度和100度之间运行,在100度时,每输入发动机373份热,会有273份进入接收器,剩下的100份被转化为机械功。换句话说,如果将上述情况下的沸点作为一个固定点,冰点作为另外一个固定点,那么在将两点之间的工作范围定为100度时,可能的最低温度即绝对温标的零点将是273度——这就是绝对温标的零度。这个温标仅仅和所用物质所做的功有关,与其物理特征没有任何关系。

对绝对温标及其对于能量学说的意义的认识,对力量转换的认识,还有对以太和原子的认识,这些为19世纪下半叶经典物理学的宏大结构奠定了基础。 327

## 有机形态的多样性

### 早期的分类系统

随着对地球的不断探索,科学所知的生物有机体的种类数量也在迅速增加,变得日益庞大,这就亟需某种分类以及统一描述的体系。在这方面有很多尝试,但是成功被人们接受的是瑞典人卡尔·林奈(Karl Linnaeus, 1707—1778年)所发明的体系。这个体系十分方便使用,很快就被广泛接受,其他的体系则被淘汰了。

林奈对动植物的形态进行排序,同时根据公认的标准对其进行描述。这就几乎是引入了一种新的国际通用语,简洁明了,极易掌握。这种语言作为“植物学拉丁文”,一直延续到现在,仍然为人们所使用。此前的描述方法繁琐而混乱,这个方法则是一个重大的改进——1751年发表的《植物哲学》一书对其进行了最佳的阐述。

林奈还构建了一个新的分类体系,所有已知物种都可以在其中找到自己的位置。这涉及了从纲到目到属到种的逐级细分。

就植物而言,纲和目的划分依据是花的数量和形态。对花的性征,林奈的了解虽然不太精确,但是很清楚。他首先考虑的是雄蕊的数量,把只有一个雄蕊的



植物纳入单雄蕊纲,把有两个雄蕊的植物纳入二雄蕊纲,把有三个雄蕊的纳入三雄蕊纲,以此类推。根据花上雌蕊的数量,每个纲又被分成不同的目,于是单雄蕊纲又被细分为单雌蕊目、二雌蕊目和三雌蕊目,以此类推。

林奈将动物分为哺乳纲、鸟纲、两栖纲、鱼纲、昆虫纲和蠕虫纲。前四个纲已经被亚里士多德归入“红血动物”,或者我们现在所说的“脊椎动物”。剩下的两个纲——昆虫纲和蠕虫纲——包括了所有的无脊椎动物。在这点上,林奈不如亚里士多德,因为后者的分类更加有效(见第41页)。

让林奈的名字永远为人们所铭记的贡献是博物学家日常使用的“双名法”。这是一种利用两个拉丁名字定义所有已知生物的系统,第一个是属名,第二个是种名。自然会有人问这些名字有什么意义,对此没有人可以给出清楚的甚至是可以理解的答案,尽管有证据表明当前的某些研究正在逐渐形成一个答案。在两个多世纪的时间里,博物学家一直致力于研究这些术语更加精确的具体应用,但是却没能得出任何一般性的定义。没有定义也无法定义的术语在如此久远的的时间里如此活跃、不可或缺,这在科学史上是绝无仅有的。

虽然直到今天依然无人能够以一般用语对物种进行定义,对其本质林奈还是有某些观点的,这些观点具有极为重要的历史意义。他认为物种恒定不变,这和约翰·雷(John Ray, 1627—1705年)的观点不同。林奈写道:“从一开始有多少物种被创造,现在就有多少物种。”他还说:“所谓的新物种是不存在的。”在这方面,我们如今已经与他完全不同了。

林奈的《自然系统》是一个永恒的贡献。该书最早成书于1735年,其后又进行了很多版本的修订和扩充。其中,生物学家一致认为1758年面世的第十版永久奠定了生物科学命名的基础。如果一个物种被现代博物学家赋予了“林奈名”,就是指符合该书第十版上的命名规则。

329 林奈是一位极善于鼓舞人心的老师,有着众多充满热情的学生,其中很多都前往遥远的地方从事科学考察,发现并描述了大量的物种。林奈及其弟子的注意力集中在生物的外部形态,这对于分类而言尤其重要,但却失之关注生物的内部机构和工作原理。因此长期以来,对新物种的探索一直是大多数博物学家的主要目标,却难免忽视了对解剖和生理方面的研究。

在很大程度上,林奈对其同时代人及其后几代人的巨大吸引力在于他对野

生动植物的鉴赏。在他之前，伟大的自然爱好者并不多；在他之后，他所开创的传统尤其在英国得到了传承。1790年创立的“林奈学会”就是对这一传统的纪念，而其影响正好和文学上的“浪漫主义反叛”同时，并对其起到了辅助作用。长期以来，英国的绅士和牧师一直对博物学很感兴趣。新兴的、富有的工业阶层对科学的兴趣更加强了这一传统。于是，对自然的研究变得“时髦”起来。从奥克尼群岛的柯克沃尔到康沃尔的彭赞斯，英国每一个主要的人口中心都建立了学会。达尔文以分类学家和野生动植物观察者的双重身份开始其工作，是林奈开创的这一双重传统的典型代表。在文学领域，这一传统的天才倡导者包括《塞耳彭博物志》(1789年)的作者吉尔伯特·怀特(Gilbert White)牧师，以及《南美洲行记》(1823年)的作者查尔斯·沃特敦(Charles Waterton)。与这一运动有关的其他几位典型的杰出人物包括班克斯(见第340页)、赖尔(见第281页)、麦奇生(见第283页)、T.A.奈特(T.A.Knight)和昆虫学家W.科尔比牧师(W. Kirby, 1759—1850年)。

从林奈时代开始，生物学领域几乎每一个重大的运动都在当时流行的分类体系上留下印记。生物学作家所采用的分类方法，常常可以被看作他对很多重要生物学问题的观点的浓缩，在“比较”研究方面尤其如此。居维叶的体系便是这样的一个典型。

法国博物学家乔治·居维叶(Georges Cuvier, 1769—1832年)是一个权威人物，他确定了19世纪前半叶生物学尤其是动物学领域的总方向。和林奈不同，330 他的总体方法是分析式的，强调的是内部结构和关系，而不是外部特征。

居维叶将动物分为四大类(1817年)，在他看来，每一类都有其独特的明确特征。它们分别是：脊椎动物；软体动物，包括鼻涕虫、牡蛎和蜗牛等；节肢动物，包括昆虫、蜘蛛和龙虾等；辐射对称动物，包括了其余所有的动物。

在这样进行分类的过程中，居维叶依据的是他对两种主要功能的分析。他认为心脏和血液循环是发育和繁殖的“植物机能”中心，呼吸器官是其辅助。在他看来，大脑和脊髓主导的是“动物机能”，这一机能和主动活动有关，由肌肉系统为其服务。这让我们不由得想起亚里士多德“植物性灵魂”和“动物性灵魂”的划分。居维叶的思想实际上融合了这位伟大前辈的思想。虽然从居维叶时代开始，植物机能和动物机能的概念已经改头换面，但我们的现代的分类体系大部分

建立在他的体系之上,而通过他又可以上溯至亚里士多德。

日内瓦的植物学家奥古斯丁·彼拉姆斯·德堪多(Augustin Pyramus de Candolle, 1778—1841年)在植物学领域做出了与居维叶之于动物学相类似的贡献。他是一位敏锐而耐心的研究者,对高等植物的很多分类(1824年)都在现代植物学的系统中被继承下来。

### 生物学研究的主要分支

在19世纪,显微镜的研究较晚才在生物学里发挥其重要性。17世纪的伟大  
331 微生物学家在18世纪后继乏人。因此,当汉弗莱·戴维在写作《农业化学》(1813年)需要描述茎和叶的细微结构时,不得不依赖130年前尼希米·格鲁的《植物解剖学》(1682年)。到了19世纪30年代,显微镜有所改进,这极大地激发了生物学家的兴趣。一些研究者很快便投身于对微生物的深入研究和对大型生物的微观分析。从此,显微镜成为生物科学必不可少的工具。显微镜观察为生物学领域的十几个不同学科提供了研究素材。

在19世纪前半叶,哲学自然论者主要致力于确定不同种类生物之间的“亲和性”。根据所要解决的问题的本质,这些研究者可以分为相当明确的几派,其中有五派在历史上尤其重要。

第一派关注生物外部特征的比较,汲汲于确定种、属和科的本质和界限,以及它们之间的亲和程度。他们被称为分类学家,在英语中是“taxonomist”。该词源自希腊语,由德堪多于1813年引入,“taxis”的意思是“排列”,“nomia”的意思是“分布”。这方面研究的一个伟大倡导者是达尔文,对这一领域问题的关注促使他开始了对物种起源的历史性思考。路易斯·阿加西(Louis Agassiz)的研究思路与其相类似,但是得出了不同的结论。此外,重要的植物分类学家包括德堪多和胡克。

第二派关注不同生物内部结构的研究,以及它们所属的差别悬殊的群体,如不同的纲和目。这一派被称为比较解剖学家或形态学家。“比较解剖学”这个术语由格鲁于1672年引入。英语“morphology”(形态学)这个词也源自希腊语“morphé”(形态),由歌德于1817年引入。这一方法的典型倡导者包括:德国人约翰内斯·缪勒(Johannes Müller, 1801—1858年),他在很多领域都有建树;达

尔文的反对者、大英博物馆博物学部首任主任理查德·欧文(Richard Owen, 1804—1892年);“第一植物学家”罗伯特·布朗(Robert Brown, 1773—1858年);居维叶的反对者艾蒂安·若弗朗瓦·圣伊莱尔(Etienne Geoffroy St. Hilaire, 1772—1844年)。

那些对化石进行比较解剖研究的是古生物学家,其中最伟大的包括理查德·欧文和古植物学家 W.C.威廉森(W.C.Williamson, 1816—1895年)。“palaeontology”(古生物学)一词是由查尔斯·赖尔爵士于 1838 年引入英语的。

人们很早就意识到亲和性在胚胎结构中比在成年生物身上表现得更加明显。此外,在有些方面,对胚胎结构形成的了解有助于更好地理解成年生物的结构。生命之初总是能够让人充满感叹和好奇。但是,对胚胎的研究需要非凡的技能,于是胚胎学家很早就被分离了出来。“胚胎学”一词由法国科学院于 1762 年引入法语,直到 19 世纪才进入英语。早期重要的胚胎学家包括德国人卡尔·恩斯特·冯贝尔(Karl Ernst von Baer, 1792—1876 年)和罗伯特·雷马克(Robert Remak, 1815—1865 年),瑞士人阿尔布莱克·科立克(Albrecht Kölliker, 1817—1905 年),以及瑞士裔美国人路易斯·阿加西。

除了“博物学家”和“生物学家”的派别之外,19 世纪前半叶,通过物理和化学实验对动物机能进行分析研究的科学兴趣亦大大提升,这种科学被称为“生理学”,其倡导者主要致力于其在医学上的应用。这些生理学家通常并不关注不同生物之比较,他们倾向于选择那些最接近人类的“高级”动物,致力于研究处于发达状态下的器官和功能。这方面研究的结果无论是数量还是复杂性和趣味性都是很惊人的,由此产生了动物机器的形象,深刻影响了当时对人类本质及其在自然中地位的理解。这一领域最伟大的倡导者包括查尔斯·贝尔爵士(Charles Bell, 1774—1842 年)、约翰内斯·缪勒和克劳德·伯纳德(Claude Bernard, 1813—1878 年)。

## 自然哲学

17 世纪微生物学家和“机械论”生理学家的惊人发现开创了一个探索活动极其活跃的时期,这在德国表现得尤其明显。被亚里士多德所期许的“自然阶梯”<sup>333</sup>的观念(见第 41 页)重新获得了重要性。在 18 世纪,这一方案更被要求严格地与

观察的结果相适应。

某些显微镜观察的结果给人们造成了一种错误的认识,即生物在其原初状态——卵子或精子阶段——就已经具备了各种器官。日内瓦的查尔斯·邦纳(Charles Bonnet, 1720—1793年)将“先成论”的观念提升到了科学和哲学理论的层面(1762年)。这一观念及其1745年重新发现的单性生殖(parthenogenesis,源自希腊语,意为“童贞女生子”)都被他用来为神学服务。

在这种独特的智识氛围中,邦纳及其追随者形成了对“自然阶梯”观念的僵化理解。从最微妙的元素火开始,到气和水,再到最密集的元素土,这一“自然阶梯”从低到高,经过更精细的物质,如水晶,到生物,从当时被认为是最低级的生物霉菌开始,经过植物、昆虫和蠕虫,向上到鱼类、鸟类和哺乳动物,最上面是人类。中世纪基督教的观点“人是万物的尺度”被邦纳及其学派赋予了新的意义。他写道:“一切生物皆成于一个方案,各种等级,各种变体,无穷无尽。人类乃原型,其发展阶段是通往最高级形态的众多步骤。”每一个生物都被认为是“预先形成的”,在雄性或雌性的“原始细胞”中,或者说是在精子或卵子中。

这样的观点不知不觉中进入了后来所说的自然哲学,这一流派在德国尤其盛行。在这里,其发展呈星火燎原之势,几乎到了疯狂的程度。而对于几位思想家来说,这一观点却成为了探索自然的有用方法,其中就包括德国产生的两位最伟大的思想家——康德和歌德。

在著名的《纯粹理性批判》(1771年)中,柯尼斯堡的哲学家伊曼纽尔·康德  
334 (1724—1804年)为这一时代的思想指明了新的方向。他本是一名科学工作者,通过对科学问题的研究,产生了对哲学的兴趣。从现象的、自然的和经验的世界开始,这些是科学工作者的确定世界,他逐渐进入到可理解的、终极的、哲学家的世界。

对于当时甚至是现在的大部分人来说,这两个世界似乎是互相抵触的。科学工作者支持这一点,他们说:“对自然目的性的研究和科学的目标是不一致的,后者是对现象的充分描述。”康德则认为这两者既不互相对立,也非不可调和。他将这一问题简化为关于我们对事物的感知及其真实本质之间关系的探讨,认为我们的感知通过思维活动的本质与事物的真实本质发生联系。换句话说,我们的思维活动遵循的是自然本身的路线。他指出,如果我们考察有机体,就会看

到它们是由各个部分组成的,这些部分只有在作为整体存在的条件下才可以理解。整体的存在本身就意味着目的。的确,自然并没有向我们展示出目的性。但是,我们只有在将有机体看作为某一目的而产生的情况下,才能理解它。在思考不同器官或部分相对于整个有机体的功能时,博物学家也默认了这一点。

康德认为,生物学家所熟悉的机械论和目的论(见第42页)或活力论之间的对立,是由知识的本质所导致的,这知识包含了我们的经验,但我们的思想必须要和经验区分开来。在思想中,我们不断从“作为机制的部分”的观点过渡到“作为目的的整体”的观点,然后再返回来。我们不会将这两种观点分开,除非因为某一具体的理论而偏离,即部分是真正分开的。康德认为自然有一个潜在的基本原理,这个基本原理将机械论和目的论联系到了一起。虽然我们的理性无法把握它,也没有能力阐明它,但这一原理仍然是真实的。就实际操作和语言的运用而言,这样的原理实际上被所有的生物学家所接受,无论是最极端的“目的论者”,还是最坚定的“机械论者”。

从约翰·沃尔夫冈·冯·歌德(Johann Wolfgang von Goethe, 1749—1832 335年)身上尤其可以看出康德在科学上的影响,他作为诗人和作家的卓越地位并不能掩盖他在科学上的重要作用。歌德的重大贡献在于强调了这样一个事实,即在结构上,所有的有机物都和某些数量有限的模型或方案相符。对他来说,这些就是上帝头脑中的“理念”。通过探索这些理念,即后来所谓的“方案”或“类型”,歌德及其追随者大大促进了对不同生物的系统比较。他们还有一个很重要的贡献是说服了生物学家抛弃一种源自医学应用的观点,即将人类的结构看作一种模型,其他所有生物都要以此为参照。

歌德提出了几条十分重要的理论,其中有些至今依然很有价值。他最有价值的科学观点包括:(1)大的分类(科、目、纲或门)之下的子类别类似于同一个方案的变体,这些变体都是同一个“理念”或者说是“类型”的表现形式。(2)花的不同部位是叶子的变体。发芽的种子的“子叶”(参见单子叶植物和双子叶植物)不过是幼芽的第一片叶子。(3)与此类似,生物的所有部分都和一个原型有关。因此,不仅有与动物“理念”和植物“理念”相对应的动物原型物种和植物原型物种,而且每一个动物和植物都有一个原型部分。从椎骨可以很好地理解这一观点。这些骨头基本上有着同样的源头和结构,但是形状不同,在脊柱不同部位所履行



的功能也不尽相同。它们都是“原型”脊椎的变体。歌德认为其他器官的情况可能也与此相似。现在,这一观点的最初表述是站不住脚的,但是其中包含真理的因素,而这成为了很多研究的基础,并为物种的分类提供了一个很好的框架。

336 邦纳、康德、歌德以及他们的追随者,即所谓的“自然哲学家”,他们更多的是思想家,而不是观察者——当然,他们的观察活动也不容忽视。他们的有些观点虽然现在看起来有点奇怪和牵强,也让很多科学工作者感到反感,却在此后的几个世纪里反复出现。

这些思想与科学观察者的日常工作关系不大,但其恒久的吸引力源自何处呢?这些思想的核心就是思维活动反映了自然的的活动。这的确是有道理的,虽然如果由此认为我们已经深入把握了这种对应关系未免有点自以为是。“一朝被蛇咬,十年怕井绳”这样的说法只是一个具体的事例,用来表明一个更为宽泛的陈述,即理性是对经验的概括化。我们的思想和身体一样,也是进化的结果,在漫长的进化过程中,已经变成了我们所处世界的镜子,变得和大自然协调一致,息息相通。长期以来,关于弧线本质的数学思想形成了一门学问,被开普勒和牛顿用来解释行星的运动。在开普勒之前,数学家的思想和大自然相呼应,他们遵循的是大自然的路线,虽然他们并没有意识到这一点。如果说我们生活在一个理性的世界里,这只意味着通过正确的推理,我们可以对这个世界有所了解。天文学如此,生物学也是如此,虽然在生物学领域没有这样的示意图。真理常常由那些特别适于从事生物学研究的人物所发现,然后再为经验所证实。这本身就足以证明一点,即在科学发展的某些阶段,推理的态度要比在其他阶段更加富有成效,它永远不会失去其价值。

### 器官相关性

“生物学领域的独裁者”居维叶对结构更感兴趣,而不是功能。他本质上是一位“形态学家”,指导他的主要是“器官相关性”这一观念。下面我们就对此观念的本质展开探讨。

在自然界,器官并不单独存在,也不单独发挥作用,而是作为完整的生物体  
337 的一部分。在这些生物身上,可以看到某些关系,而这些关系对于其生活方式至关重要。例如,羽毛总是在鸟类身上被发现,而不是其他生物。羽毛的出现和前

肢的某种特定结构有关,与其翅膀的功能有关。没有翅膀,就不会有羽毛,在鸟类之外的有翅膀的动物身上,其翅膀的结构和鸟类大相径庭,也不会有羽毛。另一方面,鸟类翅膀独有的结构又与锁骨和胸骨的特定结构有关,与飞行的功能有关,而这些又与胸腔的形状和运动有关,同样,这些也与呼吸的功能有关。就这样以此类推,直到鸟类的整个肌体。

这一“相关性”原理可以体现在鸟类每一个器官的结构和功能中,甚至每一个器官的每一个部分中。因此,只要有一枚羽毛,就可以推导出这只鸟锁骨的特有形状,其特有的骨架,特有的嘴巴,特有的肺部结构,特有的呼吸方式、排泄方式、消化方式,特有的体温和心跳,甚至是特有的思维方式。同样,只要知道了锁骨、骨架、嘴巴、肺部等部位的形状,我们也可以对其羽毛进行推导。如果对鸟类的比较形态有了足够的了解,就可以利用这一原则做出十分全面而精确的推导。

居维叶并不是最早利用这一原理的人。在某种意义上,这个原理一目了然。如果一个人想要找到一个被切断的手,他首先要知道这个手曾经是人肌体的一部分,而不是动物肌体的一部分。他可以很准确地猜测手的主人的性别、职业、年龄、健康状况和社会地位。这就是“相关性原理”,也是大部分侦探小说的主题。在某种程度上,亚里士多德也遵循了这一原理,但居维叶利用他对有机体的深入了解,将这一原理进行了提炼,大大延伸了其适用范围。经居维叶之手,相关性原理常常可以被应用于分析微小的碎片。例如,从一小片腿骨,甚至是除了 338  
受过专门训练的博物学家之外无人能够看出是腿骨的碎片,他成功构架出整个发生畸变的巨型鸟。后来的发现表明,他的重构是很精确的。

在研究化石方面,相关性原理具有特殊的价值,因为化石通常是支离破碎的。因此,居维叶具备了很好的条件,可以阐明现有生物和已灭绝生物之间的关系。古生物学就这样产生了,而居维叶在这方面功莫大焉。

在居维叶所处的年代,大量奇形怪状的化石被发现,这些奇怪的发现似乎对居维叶的思想也产生了奇怪的影响。他意识到地质学证据表明有一连串不同种类的动物群体,认识到在不同的时期,地球上出现过大量的物种,其中很多已经灭绝。他与林奈一样坚信物种是固定不变的,但必须要说明为什么很多物种会灭绝,为什么会有很多新物种产生。他的解释是地球经历了一系列的大灾变,其中最后一场灾变就是《圣经·创世记》中所记载的大洪水。他明确否认了化石人

的存在。

居维叶并不接受在每一场灾变之后都有新物种被创造出来的观点。他认为在每一场灾变之后,幸存的物种会重新占据地球,但这并没有解释在地质时代中一系列新物种的产生。他认为这些新物种来自世界上还没有被地质学家充分探索到的地方。他的追随者在这一问题上更进一步,使其理论上升成为连续创造说。后来,这一理论有了各种荒诞不经的变体,甚至在严肃的科学倡导者那里也是如此,其中一位直到1849年还根据27次连续创造的理论来阐释古生物学。

居维叶的大作《动物界》发表于1819年,经过其弟子的扩充和修订,长期被奉为圭臬。通过其弟子,居维叶对比较解剖学的发展居功甚伟,至今该书依然可谓典范之作。他的人格魅力掀起了一股比较解剖学和古生物学的研究热潮,一直持续了整个19世纪。在众多受这一运动鼓舞的人物中,最具代表性的是理查德·欧文——除了居维叶,他还受到了自然哲学的影响,是达尔文进化论的坚决反对者。

在1840年至1845年发表的《牙齿形态学》一书中,欧文对哺乳动物的牙齿进行了深入的研究。由于牙齿是动物身上最为坚硬的部分,其化石形式也最容易被发现。通过这项研究,他进入古生物学,并成为公认的专家。他在这一领域最著名的是对巨大的、新近灭绝的新西兰恐鸟的研究(1846年),以及对巨大的、更加古老的南美地懒磨齿兽化石的研究(1842年)。

1856年,欧文成为大英博物馆博物学部的主任,他的活跃和勤奋有了用武之地。其大作《脊椎动物解剖学和生理学》(1866—1868年)完全建立在个人观察的基础之上,是居维叶之后这一领域最为重要的著作。他所采用的分类系统没有被学界所接受,但作为一部对事实的记录,该书很有价值。

在19世纪里,比较解剖学家们十分活跃。他们根据化石材料,描述了很多新的物种。达尔文的理论为这种比较研究提供了一个框架,同时也大大刺激了这一领域的发展。比较研究和进化理论相结合,促使人们将注意力从功能转到结构。到了19世纪后期,比较生理学这门研究几乎停滞了,直至最近<sup>①</sup>才刚刚复苏。比较解剖学在很大程度上成为了对生理发展阶段的研究,而胚胎学则成为比较研究中的翘楚。

---

① 大致指作者写作本书的20世纪30年代末至40年代初期。——译者注

## 生物学考察

在18世纪,航海探索开始有博物学家随行,他们带着设备,实地考察并收集标本。1768年至1776年詹姆斯·库克(James Cook, 1728—1779年)横跨太平洋的几次远航是其中最早也最重要的。年轻的约瑟夫·班克斯(Joseph Banks, 1745—1820年)兼有财富和科学才能,他和库克船长一起出航并提供了一些设备,同行的还有几位艺术家和林奈的一名植物学家弟子。这次航行采集到了很多前所未有的动植物标本。库克船长的另外两次航行也很有收获。

在所有这类远航中,最重要的是1831年至1834年的“贝格尔号”航行,年轻的达尔文(1809—1882年)作为博物学家随船同行。他的名字和进化理论密不可分,通过这一理论,他对科学、哲学、政治、宗教和道德思想都产生了深远的影响,以至于他的其他理论贡献常常被人们所遗忘。要理解其卓越,我们必须意识到一点,那就是即使没有提出进化论,他依然是一位杰出的博物学家,能够在任何科学史上占有一席之地。例如,甚至在“贝格尔号”的航行途中,他就已经得出一些结论,这些结论修正并拓展了地质学和古生物学的基本工作原理。

在著名的、记录其航行经历的《“贝格尔号”科学考察记》(1839年)中,达尔文对海岛上的特有动植物表现出很大的兴趣——加拉帕戈斯群岛和圣赫勒那岛就是很好的例子。这些岛上的独特物种极为丰富,与最近的陆地(无论是大陆还是岛屿)上的物种之间差异明显,呈现出最为令人印象深刻的生物分布特征。或许正是这些差异,让达尔文想到了物种起源问题的答案。

重要性仅次于“贝格尔号”航行的是1839年至1843年间“厄瑞玻斯号”(Erebus)和“恐怖号”(Terror)的探索之旅。这次考察的对象是南极大陆,指挥者是詹姆斯·罗斯爵士(Sir James Ross, 1800—1862年)。作为博物学家随其航行的是约瑟夫·道尔顿·胡克(Joseph Dalton Hooker, 1817—1911年),后来的皇家植物园园长。

胡克是一位勤奋的标本收集者和熟练的分类学家。他著述颇丰,其中最重要的是1844年与1860年之间对航行途中遇到的植物的研究,其中包括南极的植物、塔斯马尼亚和新西兰的植物,为植物地理学的系统研究奠定了基础。此外,胡克还表明了微小的海洋植物硅藻在自然系统中的重要性。

这次考察还揭示了深海生物的多样性,这是此前从没有被探索过的地方。罗斯探测了 400 英寻的深度,表明那里生物种类繁多。现在我们知道在大海里的各个深度都有生命,海面附近和海底尤其丰富。但在 1869 年铺设第一条横跨大西洋的海底电缆之前,人们并没有意识到海洋动植物之丰富多样,也没有意识到两个层面之间生存条件之悬殊。对海洋动物的了解基本上源自“挑战者号”考察船上博物学家的著作。他们表明世界上的生命物质大部分都是漂浮于海洋表面附近的微型植物。

在所有的生物学考察中,最伟大的一次当属 1872 年至 1876 年英国海军考察船“挑战者号”的航行。船上设备齐全,随行的是以查尔斯·怀韦尔·汤姆生(Charles Wyville Thomson, 1830—1882 年)为首的六位博物学家。该船航程 69 000 海里,到达了每一个大洋和世界上最人迹罕至的地方,进行了成百上千次的水深测量。

在约翰·默里(John Murray, 1841—1914 年)的领导下,一大批博物学家研究了“挑战者号”带回的大量标本,成果多达 50 卷,其后由英国政府出版。这些是最为详细的科考记录,为海洋学的发展奠定了坚实的基础。它们表明,要想理解我们的这个星球,需要有关于海洋物理状况的精确知识。海洋学从此发展起来,其发展表明了生物学和物理学之间互相依赖的关系。这一学科的研究范围涵盖了地球表面的 2/3,并涉及其他 1/3 的整个过去和未来,因此对我们理解生物界极其重要。

继“挑战者号”之后,美国海军“塔斯卡罗拉号”(Tuscarora)上的科考人员考  
342 察了太平洋的洋底。此后,美国和挪威的考察船接二连三地出航。在这方面,亚历山大·阿加西(Alexander Agassiz, 1835—1910 年)尤其突出。他接受过工程方面的专门训练,能够很好地改进海上考察的仪器。其最著名的成就是证明了加勒比海的深海动物与太平洋而非大西洋的深海动物更为接近,并由此得出结论,加勒比海过去曾是太平洋的一个海湾,是巴拿马地峡的隆起将其与太平洋隔离开来的。

## 生物分布

海洋学研究揭示了过去或现在地球表面构造的很多事实,可以说这一学科

极大地改变了我们对生物界的总体认识。这并不奇怪,因为地球表面大部分为海洋所覆盖,海洋的总体下沉深度要远大于陆地的隆起高度。

“挑战者号”对生活在海洋表面的植物和与其共同生活的浮游动物一起进行了研究。1888年,基尔的维克多·汉森(Victor Hensen, 1835—1924年)根据希腊语中的“漂浮”一词创造了“plankton”(浮游生物),以之来指代整个群体。对浮游生物的研究变得十分重要。汉森主要是一位生理学家,他是在思考不同气候条件下营养物的生产时开始这一领域的研究的。就这样,他为海洋生态学的系统研究奠定了基础。对于理解地球上所有生命的历史来说,这门学科至关重要。

“挑战者号”以及后来的考察表明,洋底的生存条件与海洋表面有着天壤之别。在5000英寻的深海,压力是每平方英寸5吨;而在海洋的表面,压力却仅有15磅。海洋在200英寻处就已经是一团漆黑,没有阳光能够穿透进去。洋底的温度是一致的,勉强在零度以上。这里没有洋流,没有季节,从赤道到两极,整个世界基本上都是如此。没有植物供养生活在这里的动物,因此它们只能互相残杀,依靠从上层落下来的无机物获取最终的营养。 343

然而这些深海探索的结果多少有些令人失望。大量新的属和已知科的新种被发现,其中很多非常独特,饶有趣味,但在基本结构上与常见生物大同小异。没有发现“缺失的一环”,也没有发现新的纲或目。

“挑战者号”发现海洋里的动植物大都分布广泛,无论是在表面还是洋底皆是如此——这被后来的考察所证实。但是也有一个例外,那就是海洋最深处的生物。海洋生物的分布是由温度、盐度、光照和压力等因素所决定的。

随着对海洋及其上方大气的了解增多,很多新的科学观念产生了。而随着海洋生物的生存法则和物理环境之间产生联系,物理学和生物学之间的对应关系得以确立,这种对应关系最终将催生真正意义上的海洋“生理学”。实际上,“physiologia”(生理学)一词最初适用于整个世界的物理运作,而不是作为个体的有机体。因此,吉尔伯特以其《地球作为磁体的新生理机能》(1600年)开创了现代科学的一个新纪元。

要想从哲学的角度理解整个地球,就必须要了解陆地上和海洋里的生物分布。不同的国家会有不同种类的生物,这一点很明显。在18世纪,布丰(见第278—279页)将人们的注意力转向分隔动植物分布的“天然屏障”。1834年,赖



尔告诉读者(见第 287 页),当前的生物分布是由过去主要大陆块的变化所决定的。达尔文在随“贝格尔号”考察的过程中获得的材料(发表于 1839 年至 1863 344 年)揭示了动物地理分布的惊人事实,无论是现存的,还是已经灭绝的。对于旅行家和收藏家阿尔弗雷德·罗素·华莱士(Alfred Russel Wallace, 1823—1913 年)来说,现存物种在地球表面上的独特分布是一个很有趣的研究领域,而他本人最出名的是对南美洲和东方群岛的描写。

1876 年,华莱士发表了《动物的地理分布》,该书至今依然是这一领域最重要的作品。他的讨论围绕哺乳动物展开,将地球陆地表面划分为六个动物地理区,分别是古北区、新北区、旧热带区、东洋区、大洋洲区和新热带区。后来的研究者在很大程度上保留了这一分区。此后最重要的变化有三个:第一个是把马达加斯加岛从旧热带区分离出来;第二个是普遍认识到古北区和新北区之间的联系比与其他任何一个区之间都更加密切,因此共同组成全北区;第三个是对大洋洲区或太平洋区的进一步划分。

华莱士表明了动物之间的诸多惊人反差,其中最突出的就是爪哇岛附近的巴厘岛和龙目岛。这些岛屿由一个深深的海峡隔开,海峡最窄处只有 15 英里,但是就像华莱士所指出的那样,它们的“鸟类和四足动物之间的差异比英国和日本之间的还要大”。这个海峡被称为“华莱士线”,被普遍认为是东洋区和与众不同的大洋洲区之间的分界线。

地球表面动物地理区的划分显然要取决于所选择的动物种类,因为不同的动物有不同的地质年龄和不同的分布模式。但是根据哺乳动物所做的地理划分和根据木栖鸟类所做的划分非常近似,与根据某些无脊椎动物(如蜘蛛、蚯蚓等)所做的划分也没有很大区别。与此大相径庭的是根据古老物种所做的地理划分,如爬行动物或软体动物。

345 决定植物分区的总体原则和动物的相类似,但是这些原则的适用有很大的不同。这一学科主要是根据有花植物来进行研究。从地质学年代来看,它们比划分动物地理区所根据的动物要更加年轻。此外,对于植物来说,温度和湿度极其重要。即便在同一个植物地理区的国家之中,只要气候稍有差异,植物种类就会出现明显的不同。此外,有花植物的扩散方式比大部分动物种类都更加有效,其效果从海岛植物上就可一目了然。



其中，“澳大利亚”地区包括了大量的岛屿，由于太小而无法在图中显示出来。

图 8.27 主要的动物地理区划图

植物地理学领域的先驱是德国哲学家和旅行家亚历山大·冯洪堡(见第 282 页)。他在 76 岁时开始写作《宇宙》(1845—1847 年)一书，并在此后被他称为的“不可能的几年”里将其完成。这部伟大的著作现在已经鲜有读者，但它强调了植物形态和习性与所处环境和土壤之间的关系，这是一个很大的贡献。

非洲、南美洲和大洋洲之间在植物方面的某些类似，给冯洪堡和其他博物学家留下了很深的印象。1847 年，胡克(见第 340 页)曾提出南美洲和大洋洲直到侏罗纪时期都还是连在一起的，对于这个现已分裂的大陆，人们给出了不同的名称、形状和大小。

明确界定植物区的尝试不如动物地理学家那么成功，一个简单的方案就是将地球上的植物分成三个主要区域，分别是北温带、热带和南温带。北回归线将 346 北温带和热带精确地划分开来，而分隔热带和南温带的南回归线就没有那么精确了。

北温带涵盖了大部分的陆地。除了白令海峡这个在地质学意义上的最新断裂之外，北温带是连在一起的。其典型植物是：结球果的针叶树；冬天落叶的有柔荑花序的树和其他树种；很多种一年生的草本植物。

热带被大洋分割开来，其典型植物是：巨大的单子叶植物，尤其是棕榈树；芭蕉科；被称为“竹子”的巨型草本植物；常绿的开离瓣花的树木；无花果树；草本植

物很少,即使有,也大部分寄生在其他植物之上。

南温带涵盖了南非、南美洲、大洋洲和新西兰这些非常分散的区域。其典型植物是几个与众不同的目,其中大部分的生长习性和灌木相类似,很多不喜湿。这里植物物种繁多,常常仅限于分布区域。

地理分区在生物学上的趣味并不在于其本身,而在于可以揭示或概括划分地理分区所依据的各个物种的历史。因此,生物的空间分布最终可以参考其在时间上的分布。撇开一个谈论另一个是不会有有什么收获的。最早试图系统研究两者之间在植物身上对应关系的是曼彻斯特的威廉·克劳福德·威廉森(William Crawford Williamson, 1816—1895年),他早期受到威廉·史密斯(见第280页)的影响,于1858年开始对植物的研究。威廉森表明在煤里可以找到巨大的木本植物,和现有的更加高级的无花植物相类似,如马尾草、蕨类植物和石松。

有关植物地质演替的知识日益细化,不同时期世界上不同地区的植物地貌  
347 被很有把握地复原。此外,由于植物细胞的细胞壁很厚实,可以在化石中得以保存,有时可以考察其细微的结构。在很多情况下,甚至可以对其繁殖过程进行仔细考察。在植物演替过程和植物群体之间的关系方面,这样的研究已经形成了相当明确的理论。

## 生物有机体的物理解析

### 现代生理学的开端

有史以来,无论是哲学还是科学,在对于生命本质的解释方面,机械论和其他实体理论之间一直针锋相对。在18世纪早期,这一冲突变得昭然若揭。

哈勒大学教授兼医生乔治·恩斯特·施塔尔(Georg Ernst Stahl, 1660—1734年)著述颇丰,尤其是在化学方面。他把化学和不幸的“燃素说”(见第288页)联系到了一起,这一理论一直流行到拉瓦锡时代。在生理学上,他尤其反对笛卡尔的机械论。对这位法国哲学家来说,动物的肌体就是一部机器;而对于这位德国医生来说,“机器”一词所表达的意义与此恰恰相反。在施塔尔看来,支配活体特有现象的不是物理规则,而是与其完全不同的“感觉性灵魂”(sensitive

soul)法则,而这说到底与亚里士多德的“灵魂”不无相似之处。施塔尔认为,这一感觉性灵魂的直接工具以及天然的仆人,就是化学过程(1708年)。

哈勒大学的弗雷德里克·霍夫曼(Friedrich Hoffmann, 1660—1742年)与施塔尔几乎完全同时代,他是后者的论敌,同样是一位熟练的化学家,在著述方面也与施塔尔不相上下。在霍夫曼看来,肌体就像一部机器,但是他一方面与笛卡尔和波尔哈夫这样的纯粹机械论者划清界限,声称肌体的运动是有机物质独有特征的表现形式,另一方面又与施塔尔学派的活力论者分道扬镳,否认感觉性灵魂的必要性。他写道:“生命在于血液的运动,这一循环运动维持着组成肌体的复合体的完整性。源自血液的生命灵气形成于大脑,并从这里发送到神经,于是就有了 348 有机生命的活动,而这些活动可以还原为收缩和膨胀的机械作用。”(1718年)

参与这一争论的另外一个重要人物是有史以来最伟大的医生之一、莱顿大学的医学教授赫尔曼·波尔哈夫。他也擅长化学。他于1708年发表的《医学指南》(*Institutiones Medicae*),在长达半个世纪的时间里一直是生理学领域的典范之作。在这本书中,他系统阐述了肌体的功能和活动,探索其化学和物理法则。对于心理对肌体的影响,他只是口头予以赞同,但在实践中,他和笛卡尔一样,是一个彻头彻尾的机械论者。因此,他依然相信在运动的过程中,一定有什么物质传递到了神经,从而引起肌肉的膨胀。在至少一个世纪的时间里,他确定了生理学思想的基调。

在整个18和19世纪,几乎所有重要的生理学家都是医生,但也有一个例外,那就是教区牧师斯蒂芬·黑尔斯,无论是在动物生理学还是在植物生理学领域,他都做出了很多重要的发现。直到19世纪,他探讨植物机能活动的作品一直占据着最为重要的地位。在1727年出版的《植物静力学》里,他记录了大量对植物活体的实验,旨在根据已经认识到的物理力量来解释其活动。例如,通过分别测量植物根系所吸收的水分和叶片所释放的水分,他预测到了现在植物学家所说的蒸腾作用。他将测量的结果和泥土里的水分进行比较,表明了两者之间的关系。他计算出了水分在茎干里上升的速度,表明这和水分进入根系并通过叶子蒸发掉的速度有关。他测量了茎干向上输送液体的力量,试图表明植物活体的这些活动可以通过机械理论及其结构的关系进行解释。

黑尔斯还有一个有趣贡献是证明了空气向植物提供了某种具体的物质,即

349 我们现在所说的二氧化碳。在此基础上,他借助气泵表明空气进入植物不仅仅是通过叶子,还通过表皮。

黑尔斯试图对动物血液循环的概念进行量化研究。他表明,既然有可以测量的“液压”,也应该有可以测量的“血压”。此外,他还注意到血管中这种压力的差异性,如动脉和静脉会有不同的血压,心脏收缩时和扩大时会有不同的血压,衰竭的心脏和活跃的心脏也会有不同的血压,并且大型动物和小型动物的血压也会有不同。黑尔斯对所有这些差异都进行了测量。此外,他还测量了青蛙毛细血管内血液的流动速度。黑尔斯的这些实验以及他所得出的结论开创了动物生理学领域的量化研究阶段。

与黑尔斯隔绝于世的科学生涯不同,阿尔布雷希特·冯哈勒(Albrecht von Haller, 1708—1777年)的科学生涯要活跃得多。他出身瑞士贵族家庭,家业殷实,在荷兰和德国的大学活跃多年之后,回到了家乡伯尔尼。他积极从事文学和科学活动,无论是数量和范围都几乎无可匹敌。在大作《生理学原理》(1759—1766年)中,他阐述了自己对生命物质本质和神经系统活动的理解,这些构成了此后100年生理学思想的主要背景,至今依然是生理学理论不可分割的一部分。

冯哈勒专注于对肌肉组织的研究,将生命与运动和肌肉收缩联系起来。他指出,肌肉组织自身有这样一种倾向,即遇到刺激会缩短,然后再伸展到正常的长度,并将这种收缩的能力称为“应激性”。他认识到应激性是各个器官运动过程中的因素之一,尤其是心脏和肠胃。应激性有两个突出特征:首先,一点轻微的刺激就会产生与其完全不成比例的剧烈运动;其次,只要肌肉组织还有活力,这种运动就会一直重复下去。现在我们认识到,应激性是所有生命物质的特征之一。

350 冯哈勒还表明肌肉组织除了自身固有的应激性之外,还会形成另外一种力量,这种力量是外源性的,由中枢神经系统进行传递,在整个有机体死亡之后,通常是这种力量让肌肉产生动作。这种力量就是“神经力”,冯哈勒将其与应激性区分开来。神经力提供了激发应激性的一种方法。

探讨了运动之后,冯哈勒将注意力转向感觉。他表明肌肉组织本身并没有感觉能力,神经只是这一过程的渠道或手段,所有的神经最终都汇集在大脑。通过对神经和大脑不同部位的损伤或刺激进行实验,他验证了这些观点。他认为

大脑的外部即皮质部分尤其重要,但是中间部位是生命本能即灵魂的根本所在地。虽然他对于灵魂本质的看法有点含糊不清,但还是将这类概念和能够从实际体验推理而来的概念明确区分开来。他的研究从头到尾都有一种现代气息,称其为“现代生理学之父”是实至名归。

### 生态学的基础

化学家约瑟夫·普里斯特利(见第 288 页)揭示了植物生命活动的秘密。在 1774 年出版的《关于种种空气的实验与观察》一书中,他表明淹没在水中的植物会释放出一种气体,这就是我们今天所说的“氧气”。他还注意到这种气体对于维持动物的生命是必需的。与他同时代的法国化学家拉瓦锡(见第 289 页)对呼吸过程中发生的变化进行了量化研究(1774 年,见第 289 页)。这些研究揭示了动物呼吸的真正本质,证明二氧化碳和水是呼吸过程中的一般产物。

与此同时,扬·英格豪斯(Jan Ingenhousz, 1730—1799 年)提出了动植物之间的平衡这一十分重要的观念。他是一位荷兰工程师,在伦敦和亨特尔一起工作过。1779 年,他发表了《植物实验:在白天净化空气、在暗处和夜里毒害空气的能力》,表明植物的绿色部分在光照下可以固定空气里的二氧化碳,在黑暗中则没有这种能力,反而会释放出少量的二氧化碳。这个极其重要的发现是我们理 351  
解整个生物界秩序的基础。动物最终要依赖于植物,而植物从空气中的二氧化碳和死亡动植物的分解物中获取养料。这样一来,动物界和植物界之间便形成了一种平衡,这种平衡从鱼缸这个孤立的环境中就能够观察到。

约翰·亨特尔在生物学领域的贡献很难把握和陈述。他与弟子英格豪斯大致处于同一个时代,比居维叶年长,比林奈年轻——后两人都致力于对生物进行分类,关注的是生物之间的差异,但吸引亨特尔的却是生物之间的相似性。他对 500 多个物种进行了实验和解剖,试图据此系统地追溯生命在不同阶段所展现出的器官、结构和活动。他的主要成就是他的博物馆。对很多大收藏家来说,藏品是来者不拒、多多益善,但他完全不是这样。这里每一件藏品都有其位置,都有其被收藏的理由。对他来说,收藏就是为了表明结构和功能的多样性。正是本着这一思想,亨特尔开创了现代博物馆的理念。

亨特尔不断探求有机形态相似性背后的普遍原则,其中最普遍的就是被称



为“生命”的神秘事物。生命从来不会自行呈现,其呈现体现在生物的各种活动中。作为外科医生,亨特尔自然会强调包括在这些活动中的愈合和修复能力。这是生物独有的能力,在非生物世界是没有的。他认为无论生命是什么,它一定是连最低级的有机形态也会顽强坚守的东西。因此,它一定独立于结构,一定是所有有机形态都拥有的一种物质的特性。从这些观点中产生了原生质的概念。原生质是这样一种物质,外表很简单,但是最终的结构和构成却极其复杂,没有它,生命就无法存在。亨特尔并没有使用“原生质”这个词,这个词是在1846年,亦即他去世50年后才被发明出来的。但是,他正在触及这个生命共同的物质基础的概念(见第358—361页)。

博物学家如亨特尔、林奈和居维叶等对生命现象进行了系统的考察,此后一代的化学家让这些考察有了全新的方向。普里斯特利、拉瓦锡和英格豪斯等人已经从化学的角度对呼吸现象进行了阐述。李比希及其学派则对生物有机体的其他众多活动进行了化学解析。

作为吉森大学的化学教授,李比希是一位十分擅长激发学生创造力的老师,他门生众多,对实验教学的发展做出了很大的贡献。他极大地改进了有机分析的方法,特别是发明了一种确定溶液里尿素数量的方法。这一物质存在于哺乳动物的血液和尿液中,是第一种利用当时被认为是无机物的材料获得的有机化合物。尿素在生理学上有极为重要的意义,因为动物在分解存在于所有活质里被称为蛋白质(见第360页)的含氮物质的过程中,体内总是会生成尿素。

李比希的同事弗雷德里克·维勒(Friedrich Wöhler, 1800—1882年)在1828年已经成功地合成了尿素。李比希与他合作,揭示出一个复杂的有机原子团——我们现在称其为“基”——能够组成一个固定不变的构成成分,该成分在很多化合物里都可以找到,在整个化学过程中都表现得像一种元素(1832年)。这一发现对于我们理解生物体内的化学变化具有极其重要的意义。

从1838年起,李比希开始致力于从化学的角度阐释生命活动。在此过程中,他在很多方面都做了大量公认的开拓性工作,例如,根据营养物对动物肌体所起到的不同作用,将其分为脂肪、碳水化合物和蛋白质。他还传授了这样一种理论,即动物身上的所有热量都是氧化的结果而非“内在固有的”,当时很少有人认识到这一点。

李比希一个非常重要的理论就是植物从空气中的二氧化碳和氨气中获得其组成成分,即碳和氮,在腐败的过程中,植物再把这些化合物返还到空气中。这是对英格豪斯研究的一种发展,由此形成了一种自然界的“循环”观点。物质被分解后又不断被合成,其后被再次分解……就这样,生命之轮周转不息,外界的能量为其提供动力,而这种能量最终源自太阳的热量。

现存生命物质的绝大部分在于绿色植物,它们同时也为整个动物王国提供最终的养料来源。由此可知,在生态学上,植物获得供给的来源具有极其重大的意义。碳水化合物就是这样一个十分重要的来源,尤其是以淀粉形式出现的碳水化合物,其形成和绿色物质本身联系在一起。

我们现在知道淀粉是植物利用从空气中吸收的二氧化碳合成的(见第 349 页),合成淀粉是活体植物细胞的一个功能,而植物细胞和绿色物质关系密切,这一过程只有在有光的时候才能保持活跃。英语里的“叶绿素”(chlorophyll)一词出现于 1817 年,源自希腊语。法国植物学家亨利·杜托息(Henri Dutrochet, 1776—1847 年)让这一理论更加现代化。生命有机体工作原理的关键就是大气中的气体和组织相接触的过程。在动物身上,其总体特征一目了然,尤其是在呼吸活跃时。但是,揭开植物呼吸的秘密要花很长的时间。1832 年,杜托息表明叶子表面上的小孔——他称其为气孔——和叶子组织的空间是相通的,但直到 60 年后,气孔作为气体交换的正常通道才得到普遍认可。杜托息还从英格豪斯那里了解到植物作为一个整体吸收二氧化碳,释放出氧气,他揭示了只有那些含有绿色物质的细胞才能吸收二氧化碳(1837 年)。

从对二氧化碳的吸收和碳水化合物的形成,我们再将目光转向生物体含氮 354 物质的来源和归宿。戴维、李比希和其他科学家都清楚地意识到氮在植物组织中的重要性。李比希表明植物利用根系从土壤里的氨化物和硝酸盐中吸收氮。通过极为重要的归纳总结,他对营养的一般过程进行了解释。摒弃旧有的认为植物吸收腐殖质而成长的观点,他认为二氧化碳、氨气和水本身就包含了形成植物物质所必需的所有元素,同时,这些也是植物腐败过程的最终产物(1840 年)。

从 1857 年开始,乌兹堡的朱利乌斯·萨克斯(Julius Sacks, 1832—1897 年)就致力于对植物营养的研究。他表明植物中的绿色物质即叶绿素并非分散在组织里,而是包含在某些专门的细胞器里,1883 年,这些细胞器被命名为叶绿体。

他还表明在叶绿体吸收二氧化碳的过程中,阳光起着决定性的作用,并且在不同种类的光线之下,吸收二氧化碳的过程呈现出不同的活跃性。萨克斯的这些观点和发现都被收入其于 1865 年发表的关于植物生理的专著中。

法国采矿工程师让·巴普蒂斯特·布森戈(Jean Baptiste Boussingault, 1802—1887 年)通过持之以恒的刻苦钻研,最终成功解决了氮的问题。在 19 世纪 50 年代,他成功证明植物吸收的氮并非来自空气中的氮,而是来自土壤中的硝酸盐。他还进一步表明只要有硝酸盐,植物可以在没有有机物或含碳物质的土壤里生长。因此,植物中的碳一定来自空气中的二氧化碳。

生物界明确的生态图景就这样被建立了:植物从无机界获得养分,动物从植物获得养分,而两者通过分解回归到无机界,以供植物重新吸收,如此反复,生生不息。

## 细胞学说

在科学家们以各自的方式阐释生物获取营养的过程时,微生物学家也在研究那些肉眼看不到的微型生物的细节。奇形怪状的微生物世界依然是一个未解之谜。人们富于想象力地赋予它们复杂的器官,但实际上它们并没有这样的器官。不过微型生物还是普遍被认为是“最简单”、“最原始”的生物,从它们身上很有希望探寻到生命的秘密。

科学家对各种浸出液里似乎“自发”出现的微小生物——以前的名字是“微动物”(animalcula)——进行了特别的研究。“纤毛虫”一词很快被用来指代其他一些外表和浸出液里的微动物相类似的微生物(1764 年)。长期以来,围绕纤毛虫的范畴和定义有很多争论。

和往常一样,这样的争论常常是劳而无功的,除非能够沿着与具体而明了的理论相对应的思路展开。研究者逐渐意识到一点,即所有的非微生物和某些微生物都是聚合体,它们的每个单位即细胞都有某种程度的独立生命。在这一观点出现之前,是无法对纤毛虫正确定义的。这个名称仅仅指代那些单细胞生物,而不包括细胞聚合体(1841 年)。正如科学史经常发生的那样,这一观点多次受到挑战,甚至一度被推翻,直到最后被确立下来。在这方面的一位先锋人物是极具想象力的自然哲学家劳伦兹·奥肯(Lorenz Oken, 1779—1851 年)。1805 年,

他把纤毛虫比作“组成所有更大有机体的粘液泡”，还提到了组成更大有机体的纤毛团或原始粘液(Urschleim,即原生质),并且声称这样的有机体相当于“纤毛虫聚合体”。

各种形态和功能的“细胞”只不过是同一个方案的变体,它们有不同程度的独立生命,构成更大有机体的基础,这一理论逐渐被更多的人所接受,整个过程用去了19世纪的前半个世纪。在这段时间里,早期术语的使用很混乱。“cellula”这个词可以追溯到胡克(1664年),但他仅仅用其来指代植物细胞的细胞壁。在18世纪晚期和19世纪早期,作者们常常用“cell”(细胞)一词来描述在经过适当处理的组织中可以看到的微小分裂。细胞的核心部位即其控制中枢是“nucleus”(细胞核),这个术语最早用于这个重要的结构是在1823年。1831年,罗伯特·布朗(见第331页)意识到细胞核是植物细胞的固定特征,这个词语的使用从此便常规化了。 356

1835年,伟大的捷克博物学家约翰尼斯·伊凡雷斯塔·浦肯野(Johannes Evangelista Purkinje, 1787—1869年)使研究者的注意力转向动物某些部位密集的细胞团和植物细胞之间的高度相似性。图卢兹的菲力克斯·迪雅尔丹(Felix Dujardin, 1801—1862年)是一个极其敏锐的观察者,他也在1835年开始认真研究微生物。他的研究产生了两个极其重要的成果:首先,他将单细胞生物明确区分开来,还充分限定了纤毛虫的范围;其次,他发现生命总是与一种有着某种特定的光学、化学和物理特征的粘稠物质有关。浦肯野的研究路径与其相类似,他称这种物质为原生质(1839年,“protoplasm”源自希腊语,意为“最早形成的”)。后来人们认识到所有细胞的生命物质都是由原生质组成的。

最早详细阐释细胞学说(1839年)的人是约翰内斯·缪勒的弟子西奥多·施旺(Theodor Schwann, 1810—1882年)。他将探讨延伸到动植物的起源——卵子。有些动物(如母鸡)的卵子很大,里面充满了营养物质(即卵黄),周围是体积更大的保护性物质(即卵白);另有一些动物(如青蛙)的卵黄和卵白则少很多;而在某些动物身上,卵黄和卵白的量被降低到了最少,如1828年刚刚被冯贝尔(见第332页)发现的哺乳动物的微型卵子。施旺发现,所有这些卵子在本质上 357  
都是细胞,拥有细胞的典型元素——如细胞核、原生质和细胞膜等。

从卵子发育成为动物幼崽或植物幼苗的过程是通过卵细胞的分裂来完成

的,这一过程在发育初期尤其明显,早期的几位博物学家都曾在很多生物身上偶然注意到这一点。施旺将这一过程视为胚胎发育过程中的正常事件,认为卵子或“生殖细胞”的不断分裂会形成器官和组织。根据细胞的不同,他将组织分为五种:(1)由独立、分离的细胞组成的组织,即血液。(2)由独立、但紧挨着的细胞组成的组织,即皮肤。(3)由发育良好、已经或多或少连接到一起的细胞壁组成的组织,即软骨、牙齿和骨头。(4)由拉长成纤维的细胞组成的组织,即肌腱、韧带和纤维组织。(5)由细胞壁和细胞腔连接到一起的细胞组成的组织,即肌肉和神经。

至此,施旺开始总结他关于动植物细胞起源和结构的理论,其结论可以这样表达:(1)整个动物或植物要么是由细胞组成的,要么是由细胞产物组成的。(2)在某种程度上,细胞有属于自己的生命。(3)所有细胞的个体生命都从属于整个有机体的生命。

这些理论至今依然成立。

358 马克斯·舒尔策(Max Schultze, 1825—1874年)综合了关于原生质、单细胞生物或“原生动物”和卵子或“生殖细胞”的理论。他致力于对动物组织的研究(即“组织学”),研究了很多种动物。1861年,他将细胞定义为“一小团原生质”,1863年,将原生质定义为“生命的物理基础”。他表明所有组织中的原生质在生理和结构上基本相似,无论是动物还是植物,高级生物还是低级生物。

19世纪下半叶,自由主义者、柏林大学教授鲁道夫·魏尔肖(Rudolf Virchow, 1821—1902年)对生物学产生了很大的影响。其主要贡献都在1858年出版的《细胞病理学》中得到阐述。在书中,他从细胞形成和细胞结构的角度对有病的组织进行了分析,阐明了现在已经众所周知的一个观点,即可以将肌体视为“一个国家,其中的每一个细胞都是其公民,而疾病就是一场内战,由外界力量引发的公民之间的冲突”。此外,他还说:“所有的细胞都必定源于先前已经存在的细胞,正如动物只能源自动物,植物只能源自植物。因此,世间众生皆受不断发展这条永恒律法之制约,追根溯源,所有发达的组织最终都只能回溯到细胞。”

魏尔肖高度凝练的著名格言“一切细胞都源于细胞”,和哈维的“一切生物都源于卵细胞”,以及巴斯德的“一切生物都源自生物”,是生物学领域最具概括性的三个论断,而三者都是在19世纪中期前后的十年里得出的。虽然哈维的论断

出现得更早,但他当时并没有证据来证明。

## 原生质

从认识到原生质是所有生命现象背后的物质基础开始,研究者对其化学和物理构成就一直很感兴趣。这个问题在严格意义上是无法解决的,因为只有当原生质不再作为生命基础时才能对其进行充分的研究。我们可以了解原生质吸收什么、生成什么,也可以了解它对所吸收或利用的物质的局部反应,但活性原生质是化学家的活动所不能及的。化学家主要的研究对象只能是原生质的产物和已经死亡的原生质。

死亡的原生质是大量物质组成的复杂混合物,其中水的比例最高,其他则主要是被称为蛋白质的复杂含氮化合物及其衍生物、类脂物或脂肪、碳水化合物或淀粉类物质。1840年,李比希(见第352页)最早明确了这三种营养物的重要性。 359

活性原生质是液体,但只要对其行为有基本的了解便可以知道,它还呈现出相当大的“黏性”,亦即它有黏性物质或胶状物质的某些特征。关于活性原生质的内部结构或组成,现代的观点常常将其行为和其他胶状物质相比较。在很多研究中,以前的化学和物理学已经合流,对胶体的研究便是其中之一,这一研究是托马斯·格雷厄姆(Thomas Graham, 1805—1869年)于1850年开创的,当时他正担任英国皇家铸币场的总监。“胶体”一词已经被使用,但是被他用来指代一种特定的物质。他把一般的可溶物质分为两个大类,分别是胶体和晶体。他注意到某些物质溶解得很慢,不结晶,也不能穿过有机膜进行扩散,或者扩散得很慢。这种物质中以胶最为典型,因此称其为胶体。胶体包括淀粉(比如淀粉糊)、蛋白和明胶(制作大部分果冻的主要原料)。与上述所有三个特征相反的就是晶体。

格雷厄姆还知道有些物质既能够以胶体形式存在,也能够以晶体形式存在,比如硅。同时,他也意识到不稳定性是胶体的一个特征。此外,他还注意到大部分胶体都有一个有机的源头。他认为胶体的表面能(surface energy)“或许可以被看作生命现象所展现出的力量的主要源头”,这样他就预见到了关于生命活动本质的某些现代观点。

有关胶体本质的知识直到20世纪仍没有多大扩展。和我们同时代的研究



者从物理的角度,对胶体和晶体之间的区别进行了解析。

360 在所有的胶体中,在生物学上最为重要的是大量各种各样的蛋白质,它们对于原生质的形成至关重要。死亡的原生质大部分是由蛋白质组成的。蛋白质不仅对于活质的生长和修复不可或缺,还可以被生物用作能量和热量的来源,虽然碳水化合物和脂肪也有这一功能。从化学构成上看,蛋白质都是由很大的分子组成的。

现代对蛋白质的化学研究建立在伟大的德国化学家埃米尔·费歇尔(Emil Fischer, 1853—1919年)1882年之后的成果之上。费歇尔表明,蛋白质是由大量被称为氨基酸的物质的分子键合或凝结而成的。氨基酸家族成员的特征是每一个分子里都有一个或多个氨基和一个或多个羧基,前者赋予其碱性特征,后者赋予其酸性特征。根据氨基和碱基哪一个占优势,氨基酸可以呈碱性,也可以呈酸性。

关于原生质本质的盛行理论将其视为各种氨基酸的混合物。通过以各种方式互相联系,这些氨基酸可以变得无限复杂。根据关于生命的现代机械论观点,所有的生命活动都是各种氨基酸的状况和关系不断变化和互换的结果。这些活动是通过黏度的局部变化来完成的。生命细胞的许多其他现象都被归因于黏度上的变化。

原生质活动的另外一个方面是酶的作用。英语里“enzyme”(酶)一词源自希腊语,意思是“存在于酵母中”,由威利·库恩(Willy Kühne)于1878年发明,用来区分一种催化化学反应的有机物质。这样的酶可以作用于无限数量的物质,而不会丧失其催化功能。生命体会产生大量的酶,它们的作用十分具体。

361 在原生质内部有大量的物质,即所谓的“营养物”,其构成常常相对简单。营养物包括糖及其衍生物、脂肪和“后备”蛋白质。因此,原生质本质的问题变成了有很多种受控反应发生其中的基质本质的问题,以及基质影响这些反应的方式的问题。单一细胞内部任何时刻的化学过程都有很多并且形式多样。虽然细胞很小,但这些过程必须要以某种方式在空间上隔离开来。

### 生理学总结

生命过程是活质不断细化、不断分裂的过程;活体是由细胞组成的结构;原

生质是生命的物理基础。随着这些方面知识的发展,也形成了一种把有机体视为一个物理和化学机制的新观点。机械论的观点素来不乏批判者,在19世纪中期,机械论最有力的批判者是约翰内斯·缪勒。耐人寻味的是,他本人就是一位天才的实验生理学家,而在很大程度上,把人体作为机器的看法也应该归功于他。在其《生理学手册》(1834—1840年)中,显微解剖学和比较解剖学的研究成果以及物理学和化学的研究结果,第一次被系统地用于阐释生理学问题。他对动物肌体的化学研究在很多方面都与李比希的研究有关,但他在生理学方面最重要的研究却关注的是感官的作用和机制,这成为现代研究的重要起点。

缪勒的名字与“神经的特殊能量法则”联系在一起。根据这一理论,在感觉神经受到刺激之后,感觉的一般特征并非取决于刺激的方式,而是取决于和感觉神经相连的感官的性质。因此,对视觉神经的机械刺激会让人感到眼前一亮,而不是其他的感觉。同样,刺激听觉神经只会产生听觉上的冲动。这一理论十分重要,这里有必要探讨一下其意义。

对于我们生活其中的这个世界,我们了解多少呢?只有我们的感官告诉我们一些信息,而感官是怎样向我们传达信息的呢?没有人能够回答这个问题。我们只知道某些外部事件会以某种方式对某些神经造成具体的刺激,这些神经向大脑或中枢神经系统传递这些刺激,这样就会产生感觉。我们可以模糊地知道外部事件引发具体神经冲动的机制,对冲动的本质及其传送到神经的方式也有所了解,但这个冲动是怎样变成我们感觉的呢?并且,这一感觉是怎样导致改变一个或一系列神经并引起行动的东西的呢?对这些问题,我们不仅一无所知,而且很难相信除了无知还能有什么办法。实际上,我们有理由相信这是一个凡人无法解开的谜。 362

然而且慢,让我们再想想看。外部事件只能通过我们的感官才可为我们所知。但是,同样一个事件,我们可能会产生完全不同的感觉。例如,用电刺激视神经,会产生视觉;如果同样的刺激针对的是嗅神经,则会产生味觉;刺激听神经,就会产生听觉。此外,不同的事件可能会产生同样的感觉。例如,无论是用电、用热、还是用机械的方式,只要刺激视神经,所产生的感觉就都是视觉。如果把我们的视神经嫁接到听觉器官,把听觉神经嫁接到视觉器官,我们会感到像是被挪移到了一个奇怪的世界里,毫无头绪。在某些有机体身上,这样的手术实

际上是可以操作的。对于感官与我们不同的生物而言,这个世界也是完全不同的。

可见,对于我们关于科学方法的有效范围的认识,事实上是对于有关一般意义上感觉的有效范围的认识而言,神经的特殊能量法则都至关重要。世界就是我们看到的样子;世间万物,尤其是生物,可以被我们完全理解——对于这些“常识性”的观点,这一法则是一个长期有效的批判。

缪勒是一位坚定的活力论者。他强调在生命过程中,一定有什么无法进行机械解释或物理测量的东西,过去如此,今天依然如此。但他偶尔也会被这一观点所误导。例如,他认为神经冲动的速度是无法测量的,而事实上,大约十年之后,他的学生亥姆霍兹就将这一速度测了出来。对于哲学家来说,活力论的观点是有用的,但科学家在从事研究时最好将其忘掉,就像克劳德·伯纳德所做的那样。

363 法国生理学家克劳德·伯纳德是有史以来最伟大的生物学家和实验家之一,他最出色地阐释了所有肌体活动和谐一致的化学和物理机制。其最伟大的发现或许就是肝脏利用血液带来的养分合成某些十分复杂的物质,将其储备起来,以备未来之需,然后再根据肌体的需要对这些物质进行转化和分配,尤其是“糖原”。

人们已经认识到肌体的能量来源是含氮物质的分解,这一过程的最终产物是尿素(见第 352 页)。根据自己对糖原的研究,伯纳德表明肌体不仅分解还可以合成复杂的化学物质,而这一过程是根据肌体不同部位的要求来进行的。

就这样,伯纳德推翻了当时依然占据主导地位的观点,即可以将肌体看作器官的集合,这些器官各司其职。他提出了一个观点,各种不同形式的机能活动是互相关联的,服从于整个肌体的生理需要。

伯纳德对于消化过程的研究与上述观点有关,也同样重要。在其之前,对于胃消化的基本事实的了解构成了消化生理学的全部。伯纳德表明这种消化“仅仅是准备阶段”,还涉及很多其他的过程。例如,胰腺分泌的液体进入胃下端开口附近的肠道,在脂肪类营养物质离开胃时将其乳化并分解为甘油和脂肪酸。他还进一步表明,胰腺液能够将不溶性淀粉转化为可溶性糖,再通过血液将其传送到肌体的各个部位,此外还分解没有被胃分解的蛋白质。

伯纳德第三个总结性的成就是阐明了对肌体不同部位供血的调节方式，现在我们称其为“血管舒缩机制”。1840年，研究者发现了小动脉血管壁上的肌肉纤维。伯纳德表明这些小血管会收缩和膨胀，以此来调节对所在部位的血液供应。他还表明血管管径的变化和复杂的神经装置有关。神经装置的反应取决于各种其他器官的各种情况。就这样，他从另外一个角度阐明了肌体不同机能之间密切而复杂的依存关系。

根据对有机功能之间相互关系的了解，伯纳德做了一个很有价值的概括。他认为生物的特征——实际上是生命的证明——是能够在外界变化的情况下，维持内部状况不变。他说：“所有的生命机制虽然形式各异，但只有一个目的，那就是维持内部环境生命条件的恒定。”这句话确定了伯纳德的信念，即有机体自成一格，不同于自然界里的任何一个无机体。有机体有一个目标并利用一个机制来实现这一目标。这一观念和亚里士多德的理论相去甚远吗？

有机体的内部环境是什么呢？伯纳德主要考察的是血液。但如果我们从细胞的角度来认识某个部位，就可以看到细胞的环境主要由四个因素组成，分别是：(1)相邻的细胞和细胞产物；(2)血液给它带来的物质；(3)细胞产生并被血液带走的物质；(4)传达给细胞的神经冲动。

在伯纳德以后的时代，大量的生理学研究全部可以看作对内部环境这四个因素的注解。

### 神经系统的至上地位

对于内部环境所有因素的研究已然不可能继续深入，但有一个领域仍然可以更进一步，因为从伯纳德的时代开始，与其有关的整个观点已经发生了根本性的变化，这个领域就是神经系统和整个肌体之间的关系。

到了冯哈勒(见第349—350页)的时代，对神经系统进行肉眼观察的解剖学已经广为人知。博洛尼亚的路易吉·伽伐尼开创了生理学的一个新阶段。1791年，他表明如果神经受到某种刺激，它所导向的肌肉便会收缩。帕维亚的亚历山德罗·伏特揭示了伽伐尼方法的电学本质。到了19世纪50年代，约翰内斯·缪勒的弟子和继承者、柏林大学教授埃米尔·杜布瓦·雷蒙德(Emil Du Bois-Reymond, 1818—1896年)表明神经冲动总是伴随有通过神经的电位变化。此

外,他还和其他研究者表明肌肉收缩伴随有化学变化,这些化学变化是由神经冲动引发的。

与此同时,查尔斯·贝尔(Charles Bell, 1774—1842年)正在从事对脊神经根的研究,肌体的大部分神经都源自此。他表明在这些脊神经根中,一个只能传递感觉,而另一个只能传递动作。这样一来,研究每个神经的作用成为可能。

19世纪前半叶出现了很多对神经系统的比较研究。居维叶的分类系统所部分依据的就是神经反应(见第330页)。他本人也研究过软体动物、海星和甲壳类动物的神经系统。在19世纪前半叶成书的关于脊椎动物神经系统的解剖学著作中,很多都可以看到他的影响。但直到1877年出版的T.H.赫胥黎(T.H. Huxley)的《无脊椎动物解剖学手册》,才对所有动物身体中神经系统的支配地位给予了充分的重视。

尽管有赫胥黎的倡导,对无脊椎动物的神经生理学研究依然被忽视。但是  
366 哺乳动物神经系统的内部结构已经得到了详细的研究,并被证明极其复杂。新方法的发明大大促进了这一研究,下面我们将对其进行简单介绍。

从维萨留斯开始,早期的解剖学家认识到中枢神经系统主要由两部分组成,分别是灰质和白质。当时人们认识到,大脑里的灰质主要在表面,脊髓里的灰质主要在中间。

在组织学作为一门专门的科学被创立后不久,研究者就注意到白质由大量的纤维组成,而灰质由大量的细胞组成。浦肯野(见第356页)在1835年就认识到这些事实,雅各布·亨勒(Jacob Henle, 1809—1885年)正式提出了它们,但是直到40年后,瑞士的阿尔布莱克·科立克才证明了所有的神经纤维都不过是从神经细胞延伸出来的突起,和神经细胞是连接在一起的(1889年)。这些神经细胞要么位于中枢神经系统本身,要么位于各个不同的神经中枢。

1873年,帕维亚大学的教授卡米洛·高尔基(Camillo Golgi, 1844—1926年)发明了沉淀各种细胞结构里金属盐的方法。在显微镜下,这些沉淀物十分明显。高尔基成功地将这一方法应用于中枢神经系统的研究。他表明中枢神经系统里的细胞常常呈不规则的多边形,细胞上的突起,即轴突,从多边形的角上向外延伸。轴突是神经纤维的关键部分,在其末梢是复杂的分支,即树枝状的树突。整个系统的末端是连接感觉器官、腺体或肌肉的神经末梢。

马德里大学的拉蒙·卡哈尔(Ramon y Cajal, 1852—1895年)发展了高尔基的方法,他是到现在为止西班牙出现的几乎是唯一一位重要的科学家。他的研究为生物学贡献了一个观点,即神经冲动是由一系列复杂系统来传递的。如果这些系统未受损伤,运行良好,可以决定有机体的活动、反应甚至整个生命。后半世纪比较重要的研究都是在这一观点的基础上做出的。

至此,虽然各种神经束都已得到说明,但在确定神经系统各个功能分区方面,还有很多工作要做。 367

1861年,在巴黎的尸体解剖室里,法国外科医生保罗·布罗卡(Paul Broca, 1824—1880年)证明了语言能力丧失和大脑皮质某个特定区域受到损伤之间的关系。在对于人类和猿类大脑的了解方面,布罗卡做出了很多贡献。

其他研究者继续了他在实验领域的研究。1870年,多才多艺的博物学家古斯塔夫·费理屈(Gustav Fritsch, 1838—1891年)和精神病研究者爱德华·希兹格(Eduard Hitzig, 1838—1907年)合作,在柏林发现刺激大脑皮质的某些部位可以导致某些肌肉的收缩。1876年,英国人大卫·费里尔(David Ferrier, 1843—1928年)将这一研究继续深入,表明大脑皮质其他的不引发肌肉活动的区域在功能上也有分化。

在此后的半个世纪中,大脑表层得到了详细的分划。专门的区域负责不同器官、不同部位的运动;其他的区域与各种形式的感觉辨别有关,如视觉、方位感、味觉和对重量的感觉,等等;还有的与语言的使用有关,无论是书面的还是口头的。

在决定神经系统活动的现代观点方面,对“反射动作”本质的研究十分重要。所谓“反射动作”,即对感官刺激做出反应的非自觉动作。这个概念可以在笛卡尔之后的生理学著作中找到。“反射动作”这个表达是英国生理学家马歇尔·霍尔(Marshall Hall, 1790—1857年)在1833年发明的。对反射的研究形成了对脊髓中灰质的功能分区,就像对大脑皮质中灰质的功能分区那样。

从霍尔的时代开始,反射活动的概念已经有了很大的延伸。除了简单的反射弧之外,还有更加复杂的反射弧,其反射活动由一个复杂的机制所决定。除了“痉挛性”的活动如喷嚏、咳嗽和搔痒等之外,生活中的很多普通动作也可以从反射的角度进行解释,如站立、行走和呼吸等。巴甫洛夫(Pavlov, 1849—1936年) 368



和其他研究者甚至试图把“本能”也强行放入这一范畴，他们还证明大脑皮质也能够建立新的反射。这一学派还试图解释高级生物的所有反应，甚至是整个生命活动——在完全客观的基础上，而不考虑意志的因素。

如果测试一下动物肌体简单的反射活动，就会发现它们显然是为某种目的服务的。轻触睡梦中的小孩的脚丫，他会马上把脚缩回去。挠一挠小猫的耳朵，它就会摇动耳朵。把美味佳肴端到一个饥肠辘辘的人面前，他的消化系统会马上活跃起来，还会流口水。这样的例子不胜枚举。这种反射很好地适应了其目的。很多反射活动在动物大脑被切除之后会继续起作用，只要脊髓没有受到伤害。但是，对于高级动物尤其是人来说，反射或多或少是可以受意志支配的。

如果到此便结束对这一问题的讨论，会让人对中枢神经系统极其复杂的功能产生错误的认识。例如，在肉眼看来，脊髓是一条纵向的、没怎么分化的神经团，但实际上，脊髓是神经中心的集合，无论对于个人还是对于物种，都是由一系列不同的部分连接起来而逐渐形成的。这个系统中的每一部分都控制着某种特定的肌体功能或运动，每一部分的活动都以不同的方式和其他部分的活动有关。因此，这是一个十分复杂的“整合”过程，这一过程贯穿了整个神经系统。

随着对肌体功能的化学和物理本质的了解逐渐增多，人们意识到这些活动要比以前所认为的要更多地处于神经控制和自制力的支配之下。例如，对于任何部位的活动来说，一个主要的因素就是供血，但是就像伯纳德所表明的那样（见第 364 页），供血是由血管的舒缩状态所决定的，而这种状态又由神经控制所支配。与此类似的关系也存在于肌肉的营养状态、皮肤汗腺的活动和生育机制，  
369 以及其他各种肌体状态。神经系统对所有这些活动、过程和状态的调节和控制被称为“神经整合作用”。

### 作为生命状态的思维

通过物理实验对动物机能进行分析研究的科学兴趣在 19 世纪开始高涨。生理学的倡导者主要致力于对高级动物的考察。他们对成年状态或发达状态的机能和部位进行研究，研究结果无论是在数量、复杂性和趣味性上都很突出，但是在帮助我们理解整个有机体方面，它们的帮助不大。

动物的肌体是一个庞大而复杂的迷宫。生理学家进入其中，尽情徜徉。然

而,他们关于其路径和墙壁的详尽报告对于阐明整个迷宫的设计却帮助不大,因为生理学家受其专业所限,注定只会孤立地考虑一面面墙和一条条路。他们会选择呼吸活动、营养、肌肉运动、神经系统的活动……但这些系统中每个机能的活动都和所有其他的系统机能活动密不可分。

我们总是在寻找隐喻来表达对生命的理解,但我们的语言不足以表达其所有的复杂性——把生命比作一个迷宫? 迷宫是静态的,而生命不是。把生命比作一个机器? 机器没有自我修复能力,也不会自行繁殖。把生命比作一个实验室或车间? 在这个车间里,在一个小小的细胞之内,就会有大量的活动在进行,互相交叉、互相影响,并且,这还是一个不断自我复制的车间。

生命是一场舞蹈。过去有“死亡之舞”,现在有生命之舞。这仅仅是一个隐喻。在我们探讨具有终极意义的事物时,也许我们只能使用隐喻。生命是一场舞蹈,一场复杂的舞蹈。生理学家无法把整个舞蹈都考虑进来,这是其实验所不能及的。他只能把某一个角落隔离出来。他由此得出的关于舞蹈的概念本身就是不完美的。不仅如此,在此过程中,他还打破了舞蹈的节奏。在他试图把这个角落与远处另外一个角落相联系时,这一方法的弊端变得十分明显。 370

此外,即使他尝试把整个有机体作为一个整体来对待,他依然几乎注定要将其视为一个独立而自足的“个体”,脱离周围的环境,脱离其历史,就像罗马神话里的智慧女神密涅瓦那样,全副武装地从主神朱庇特的头里“生”出来。但是,实际上生物并非如此。在有机体之间,存在着各种程度的独立关系。“个体性”只有在更加分化的物种身上才能凸显出来,这个表达几乎无法适用于植物——对植物来说,生理学实际上是属于群体的,对其的研究在概念上与对生态学的研究很接近。“个体”的概念本身就涉及历史记录,而这几乎被此前的生理学研究所忽视。

就其本身而言,生理学在本质上并不能呈现有机物整体的活动方式,虽然关于神经系统活动的现代理论已经解释了动物行为的某些方面。和其他的系统一样,神经系统的机能是相对于肌体的其他机能而言的。例如,不仅呼吸活动要受到神经系统的调节,神经系统本身也要受到呼吸活动的调节。提高血液中二氧化碳的含量,呼吸运动先是受到刺激,最终会通过作用于呼吸中枢而减弱。可以证明任何系统之间或系统部分之间的关系也是如此。关于我们所谓的有机体的

互相关联的复杂活动,生理学研究能够给出怎样的阐释呢?

生理学家已经发现这门科学最适用于高级动物。为什么呢?因为这些动物的机能得到了最好的分化。如果他想研究运动、呼吸、营养或者神经活动,都可以从高级动物身上找到专门负责这些活动的器官。在低级生物身上,这样的器官可不可能如此轻松地找到,甚至根本就找不到。在最低级的生物即原生动物身上,所有的活动都是由一个微小的细胞来完成的。

然而高级动物身上最与众不同、最显著的特征是其智力发展。用生理学家机械主义式的术语来探讨智力,这本身就是自相矛盾的。我们真正了解的只有我们自己的思想,对于包括生理学本身在内的外界事物,我们是通过它们和我们的思想之间的关系来了解的。那么,外界事物是怎样在任一意义上“解释”我们的思想的呢?比如,我们的思维可以建立在现象的基础之上,但倘若把这个过程颠倒过来则会更好理解,即包括生理学现象在内的各种现象是我们思维的一部分。

但是,如果我们强调科学作为对现象即“出现的事物”进行处理的概念,就会达成一种妥协状态,无论是对于思维的认识还是对于科学的发现,皆是如此。设若认同科学处理的只是现象这一观念,我们就明确地把我们的思维排除在外了,因为它根本就不是一种“出现”,而是其发生的对象。科学必须停留在现象层面,在这个层面,它才可以从事生理学研究。然而这方面的研究无论再多,也无法真实反映任何思维因素所存在其中的实体。除了主体之外,在其他有机体身上有没有思维的因素呢?除非采取唯我论者的观点,对这个问题的答案必须是肯定的,而做出这样肯定回答的就是活力论者。

## 进化论

### 关于“进化”(evolution)

关于世界的机械观,19世纪最突出的贡献就是能量学说和进化论。与其他的重要科学理论一样,两个理论的提出时间无法准确定位,也无法归功于某一个人。能量学说常常和焦耳的名字联系在一起,时间被确定在1842年(见第324—

325 页)。进化论和达尔文的名字密切联系在一起，“达尔文主义”成为这一学说的同义词，时间则被定在 1859 年，即《物种起源》出版的那一年。“进化论”表达了这样一种哲学观点，即世界之所以能够成为今天的样子，不是一次创造行为的结果，而是经历了一个长期而缓慢的过程。持这一观点的有几位古代思想家，如柏拉图（见第 32—37 页），还有几位非正统的中世纪思想家，如阿维罗伊（见第 139 页）。关于这一观点，进化论或者说是达尔文主义本身是一个特例。 372

在拉丁语里，“evolvere”的意思是“展开”、“旋转”。在古典用法里，其名词形式“evolutio”获得了一种特殊的意义，即“为了阅读而展开卷轴”，我们可以说是“打开记录”。在拉丁文《圣经》里，“evolvere”一词要么以其字面意义出现，但更多的是用来指代以天体运行为标志的时间推移。在中世纪，这个词的衍生词很少被用到，因为卷轴已经被书本所取代，在钦定版《圣经》（1611 年）里，这个单词的任何形态都没有出现。“evolution”一词在现代英语里的广泛使用，要归功于 17 世纪一群被称为“剑桥新柏拉图主义者”的哲学家。他们用其来描述时间的记录就像卷轴一样展开（见《启示录》，6:14；《以赛亚书》，34:4）。1667 年，这一学派的创始人亨利·摩尔（Henry More, 1614—1687 年）在解释“在你看来，千年如已过的昨日”（《诗篇》，90:4）时写道：“从永恒到永恒，时代的整个记录一下子展开在上帝面前。”

翻一翻 18 世纪哲学家——尤其是莱布尼茨、狄德罗（Diderot, 1713—1784 年）和康德——的作品，会发现这个词的使用从剑桥柏拉图主义者那里得到了延伸，就像下文第五点所提到的那样，甚至有了现代哲学意义上的用法。也是在这个世纪，遵循同剑桥新柏拉图主义者相类似的思路，以奥肯（见第 355 页）为代表的自然哲学家也发展了这个词的用法，将其与他们的“理念论”联系起来。而这个词带着这个含义重新进入 19 世纪的英语，可能要归功于塞缪尔·泰勒·柯勒律治（Samuel Taylor Coleridge, 1772—1834 年），他写道：“可以感知的世界不过是真理、爱和生活或者它们在人类身上的对立面的演进。”（1820 年）

在如此多变而冒险的发展过程中，“evolution”一词获得了很多不同的意义和内涵。它以至少五个显然不同的意义成为生物学领域的专业术语，而这也是我们所要特别关注的。 373

第一，这个词很自然也很方便地被用来指代一个过程，主要是花蕾绽放成为

花朵的过程,或是昆虫(比如蝴蝶)从蛹最后变为成虫的过程。

第二,关于生物的形成,有两个互相对立的理论。一个认为在生殖细胞里基本上浓缩了生物的整体状态,要通过胚胎状态,就必须“展开”。另一个认为生殖细胞起初是一模一样的,胚胎的形态是后来生成的。具有哲学精神的生物学家邦纳(见第 333 页)使第一个理论以“先成论”(evolution, 1762 年)的名称广为流传,而后者则被称为“后成论”。通常认为后成论观点占据了上风,在字面意义上,事实就是这样(见第 356 页),但在其他某些方面却并非如此。

第三,在哲学上一直有“存在”(Being)与“变化”(Becoming)的关系问题。这里我们不需要探讨其广泛的分歧。在《论创世纪驳摩尼教》中,圣奥古斯丁为其后的 1500 年提出了这样的问题:“太初之时,上帝造天地,实乃天地之种,因形成天地之材料仍处于一团浑沌,但是由于天地必然由此种而生成,此材料遂被称为天地。”对于强调存在而不是变化的中世纪大思想家来说,这就是“种子理性”。对他们来说,这些上帝脑海中的“种子”就是终极实在。至少在此意义上,邦纳是一位迟来的中世纪学者,他坚持认为一切存在已经存在,只是似乎要变化。望远镜所最新揭示的天体变化,显微镜所揭示的地球上的个体发展过程中极其复杂的活动,这些都让 17 世纪的思想家大吃一惊,并开始将注意力转向变化。例如,科学涉猎者马修·黑尔(Matthew Hale, 1609—1676 年)就表达了这样一种观点,他提到了“人性本质必然包含其中的演进的理想原则”。18 世纪的几位作者  
374 以类似的方式对待“理念的演进”,其中包括专门的自然哲学意义上的“理念”。

第四,这个词在生物学领域的最后一种用法以前被误用,现在依然被误用,造成了很大的混乱,那就是有机体的发育过程被称为“evolution”。例如,查尔斯·达尔文的祖父伊拉斯谟·达尔文(Erasmus Darwin)曾提到“幼小的动物或植物从卵子或种子的逐渐发育”(《植物园》,1791 年),说的就是后成论意义上的发育,而不是邦纳“先成论”意义上的“展开”。这种让人困惑的用法一直延续到现在。

第五,这个词最后被用来指代有机形态经过漫长的时间从其他有机形态发展而来的过程,或者是这个过程的结果。这一观点或明确或含糊的表达可以追溯到很早,但是最早使用这个意义上的“evolution”一词的是赖尔。在《地质学原理》中,他详细讨论了博物学家拉马克的生物学理论,尤其是这一观点:“海洋的

某些生物最早出现,直到其中一些通过逐渐的进化,成为陆地上生活的生物。”  
(1831年)

在生物学之外的其他领域,这个词同样被赋予很多其他专门意义,例如在数学上,在军事战略上,但这些都不是我们的研究范围。虽然如此,这里有必要提醒读者,这个词在生物学上的众多意义互相交叉,在关于进化论的哲学认识的发展过程中,这一事实不无重要性。事实上,这个词携带着其复杂而混乱的整个过去。

### 18 世纪的进化论者

罗伯特·胡克、约翰·雷、歌德、奥肯和其他不少博物学家都在不同程度上公开表达过物种转化的概念,但是对此并没有形成定论,林奈、哈勒、邦纳和其他很多正统的生物学家都坚持认为物种不是从其他物种转化而来的,而是保留了起初被创造时的形态。关于地质学记录所提出的问题以及对这些问题的解决,见第 338 页。在林奈支配这个领域的时期,生物学研究的总体方向是把生物世界作为静态来看待,反对探讨物种的变异或转化。虽然如此,18 世纪的几位博物学家依然脱离了这一观点,下面我们讨论其中的两位。 375

第一位赋予生物进化理论以形式和内容的博物学家是布丰。他文笔优美,可能是有史以来最伟大的科普作家。他的巨著《自然史》(1749—1804年)多达 44 卷,全部出版耗时 55 年。该书试图涵盖自然知识的每一个领域,是同类作品中最早的现代著作。他本人将其视为对牛顿机械论世界观的某种注解。布丰作品中的一个新元素就是纳入了牛顿所忽略的生物界。

布丰不太注意生物之间的细微差异,但生物分类系统必须建立在这种差异之上。因此,他对林奈的分析系统不感兴趣,而是对可以通过一系列有机形态进行追溯的特征更感兴趣。他对物种的稳定性持不同看法,并逐渐开始反对这一观念。他注意到动物身上有些部位起不到任何作用,如猪的侧趾,虽然结构完美,却无法发挥效用。为了解释这种现象,他认为物种可以随着时间的推移发生形态变异,但是会保留原有形态的痕迹,就像猪会保留不再有用的侧趾那样。由此更进一步,他得出结论,有些物种是其他物种的退化形态,比如猿类是退化了的人,驴子是退化了的马,等等。前面我们已经探讨了他关于地球史及其与有机



形态之间关系的看法(见第 278—279 页)。

376 查尔斯·达尔文的祖父伊拉斯谟·达尔文思考了布丰的观点。他和布丰一样,急于表明生命现象与无机的、机械世界的现象是一致的。怀着这样一种观点,他想办法去证明生物是怎样自然地获得了适应环境的显性特征的。对这个问题的解答埋藏在他的几个大部头著作里,在其中最好的《动物学》(1794—1796 年)中,他总结了布丰所探索的几个问题的一般本质。作为解答,他收集了各种事实,而正是这些事实,对他的孙子产生了最为深刻的影响。

伊拉斯谟·达尔文写道:

在演进的过程中,我们先是看到动物出生后自然发生的变异,就像从爬行的毛毛虫变出彩色的蝴蝶,或者从在水中呼吸的蝌蚪变出呼吸空气的青蛙;其次是人工繁育所带来的变异,如让马变得更加强壮和敏捷,让狗变得更强壮、更勇敢、嗅觉更加灵敏,或者更加敏捷;第三,气候所导致的变异,如在温暖的气候里,绵羊身上覆盖的不再是绒毛,而是一根根的毛发,再如冬天里长时间藏在雪堆里的野兔和灰山鹑会变成白色;第四,因杂交或残缺而造成的出生前的变异;第五,包括哺乳动物在内的所有温血动物结构上的类似性,让人不得不得出这样的结论,即它们都源于类似的活性单纤维。<sup>①</sup>(对原文有较大的缩简)

伊拉斯谟·达尔文认为随着时间的推移,自然界的变化会导致物种的变异,而这些变异会世代相传。在一首颇为蹩脚的诗《自然的神殿》中,他言简意赅地描述了这一过程:

无边浪涛下有机生命诞生,  
在海洋珍珠般的洞穴中被抚育;  
先是微小的生物,  
甚至无法在显微镜下看到,  
在泥中涌动,冲破水雾;  
它们一代代繁衍,

<sup>①</sup> 这一“单纤维”就是一个精子,达尔文追随布丰,认为这是一种生物单位。

获取新的能力，  
长出更大的肢体；  
在那里，无数的植物蓬勃生长，  
鱼类、鸟类和哺乳类自由呼吸。

他认为这些变异得以发生的机制是后天获得的性状遗传，而获得的过程至少有时是意志的行为。在《动物学》中，他说：“所有的动物都永远在发生变异，这 377  
部分是由于主观能动性……获得的这些形态或特征有很多可以遗传给后代。”

### “转化论”

拉马克(Jean Baptiste de Monet de Lamarck, 1744—1829年)无疑是他那个时代最伟大的分类学家，但遗憾的是他文风枯燥乏味并且想象过于丰富。他的很多观点似乎荒诞不经，因此被大部分同时代的人所轻视。居维叶坚信物种的稳定性，他对拉马克的能力评价甚低。在他的继承者中，查尔斯·达尔文对他几乎是充满蔑视。直到他去世之后，人们才充分意识到让拉马克名垂后世的理论的意义。1831年，赖尔对其进行了详细的阐述。

拉马克认为物种之间最终没有边界。在他看来，物种的稳定性在本质上是不可可能的。在得出这一结论时，他也强调了家养动物及其野生同类之间的巨大差异。看到格力犬、西班牙猎犬和斗牛犬的人，谁会认为它们属于同一物种呢？但是它们都有一个共同的祖先。它们的不同特征是人类选择性繁育的结果。在自然界，在同一物种内部也会偶尔发现与此类似的差异。在拉马克看来，造成这些差异的是环境。他认为物种只有在环境保持不变的情况下才会维持其稳定性。

一旦确定了变异在新物种产生过程中的重要性，拉马克就不得不思考其变异机制。环境的变化是怎样导致物种的变异并形成新物种的呢？作为回答，他提出了已经与其名字密不可分的“用进废退法则”。他认为环境的变化对某些器官提出特殊的要求，由于经常使用，这些器官变得特别发达，这种发展或是其一部分会被遗传给后代。例如，有一种像鹿一样的动物，发现草本植物稀少之后，开始转而以树叶为食，这就需要更长的脖子，才能够到树叶。经过一代代的发展，这种可怜的动物总是在伸长脖子够取食物，它们的脖子变得越来越长，成为 378

其解剖结构的突出特征,于是就出现了一种叫长颈鹿的动物。反过来,无用的器官,如生活在黑暗中的动物的眼睛,由于很少使用,逐渐失去其功能,最终消失。动物个体后天获得某一性状,如长脖子或不起作用的眼睛,然后再至少部分地遗传给后代。

这里一个很大的假设就是后天获得的性状是遗传的。当前讨论的问题是这些性状是否可以遗传、在什么意义上遗传,但可以肯定的是,在拉马克所说的意义上,这些性状是不可以遗传的。尽管如此,拉马克的作品仍然很有价值,因为他把人们的注意力转向所有生物学思想中最为重要的问题之一。然而不幸的是,由于他的某些早期支持者所提出的一些荒谬绝伦的进化理论,使得 19 世纪前半叶的生物学探索声名扫地。

当时有一位作者,其作品也与这一问题有关,但是肯定谁也无法指责他有胡乱猜想的毛病,他就是牧师托马斯·罗伯特·马尔萨斯(Thomas Robert Malthus, 1766—1834 年),一位严谨得有点拘束的作者,其探讨的主要是数学和经济问题。1798 年,他匿名发表了《人口论》。受法国大革命的影响,此时的政治理论争议激烈。公众思考的是“人权”和“自然正义”之类的话题。在英国,最盛行的思想流派是“功利主义”,这是自由主义哲学的直接源头,英国之所以能够在 19 世纪快速走向工业化,成为强大的帝国,依靠的正是这种哲学。亚当·斯密(Adam Smith, 1723—1790 年)、约瑟夫·普里斯特利和杰里米·边沁(Jeremy Bentham, 1748—1832 年)是这一运动早期在英国的主要代表人物。当时很多人都笃信未来将天下太平,人人都可以享有完全的自由和平等,但马尔萨斯循着功利主义的思路指出,这样的状况必定会带来人口过多的问题。根据其著名的(但却错误的)的原则,人口按几何级数增长,而生存资料至多只能按算术级数增长,他认为一定会出现这样一种情况,即人口的增长被物质上的匮乏所限制。因此,他提出要想避免种种罪恶和痛苦,必须要限制人口。

达尔文在 1838 年读了马尔萨斯的《人口论》,在 1831 年读了赖尔的《地质学原理》,前者启发他形成了生存斗争和适者生存的概念,后者启发他形成了进化论的总体原则。在 19 世纪前半叶,很多学者都对这些观点展开探讨,尤其是达尔文能够接触到的几位业余的英国博物学者,但是他们中没有一个人把这两个概念联系起来,至少没有一个人将其充分联系起来。可以认为,达尔文从这些先

行者那里受益不多,甚至根本就没有受益。

### 《物种起源》

达尔文一劳永逸地让科学界认识到多种多样的有机形态拥有共同的祖先,物种是不稳定的,有时无法定义,必须要探寻可以解释物种进化的机制——这些都是他的伟大成就。为了寻找这一机制,他将注意力转向变异的发生、持续性、源头和命运的问题。

1859年,达尔文的经典作品《物种起源》问世。他于1837年开始探讨这一问题,1842年完成第一稿,1844年完成第二稿,1858年和阿尔弗雷德·华莱士同时发表了其观点的概要。一个有趣的事实是,华莱士和达尔文一样,似乎也直接受到了马尔萨斯的启发。

《物种起源》是世界上最伟大的著作之一,对几乎一切人类活动都有重大的意义。其伟大和重要性已经无需在此展开探讨。然而,虽然它很有说服力,虽然在其出版之后的半个世纪里,书中的观点为生物学研究提供了主要的刺激,但其论点常常存在缺陷。

达尔文的基本观点就是器官和本能已经“通过无数细小变异的积累而得到完善,每一个变异都对生物个体有利”。为此,他认为有必要接受三个命题。首先,“任何器官或本能的完善程度,无论是现有的,还是先前可能有过的,都是其同类中最好的”。其次,“所有的器官和本能在一定程度上都是可以发生变异的”。最后,“生存竞争使结构或本能上的每一个有利的变异能够保留下来”。但是,这还意味着“有利的变异”是可以遗传的,因此此处需要的命题不是三个而是四个。 380

此外,在讨论了物种在时间和空间上的分配之后(这就不可避免地带有这样一种信念,即有机演化是一个历史的过程),他开始探讨变异得以延续的条件。

(家养动物身上的)变异不是人类造成的,后者只是让动物接触到新的条件,然后自然会作用于其体制,从而引起变异。但是人类可以对变异进行选择,以想要的方式将其累积起来。这样,就可以对动物和植物进行改良,以便更好地为自己服务。他可以通过逐代选择生物个体身上细微到普通人看不出来的差异,对一个品种的性状施加影响。变种和原有物种有时很难

分清,这表明在很大程度上,人类繁育的很多品种都有自然物种的性状。

在保留优良个体或物种的过程中,在生存竞争中,我们看到了最强大的自然选择方式。出生的个体总是多于能够生存下来的个体。一点微小的变异就可以决定生物的存亡,哪一个品种或物种可以兴旺发达,哪一个会日渐衰落,或是最终灭绝。

在很多情况下都会有雄性对雌性的争夺。最强壮的个体常常会留下最多的后代。但是,成功与否常常取决于特别的武器或防御方式,或者是雄性的魅力,有时一点点优势就会带来成功。

这里我们可以看到某些谬误和错误的假设。

首先,并非所有的家养品种都是通过选择个体身上十分微小的差异而形成的。有的家养品种肯定是从有很大变异的个体繁育而来的。

381 其次,自然变异可以带来优势,仅此一点并不足以保证变异的延续。这一优势必须有用,必须可以遗传。很难相信有些变异的早期阶段是有用的,如不够发达以至于无法用来飞翔或滑翔的翅膀。

最后,达尔文认为物种与其近亲之间的差异在于拥有一些特殊的优势,使其能够适应不同的条件。但是,我们常常可以发现非常接近的物种生活在条件一模一样的同一个区域。一个物种与其同类物种之间的差异成为其优势,实际上这样的情况十分少见,有时这些差异甚至不构成优势。

达尔文将自然选择作为有效的机制,但这一机制对于解释“废退”问题却几乎完全无能为力。在这方面,他关于获得性性状的遗传的观点和他所鄙视的拉马克实质上没有什么差别。

在生活条件发生变化时,某一器官会不再有用,长期不用,有时再加上自然选择的影响,常常会导致一个器官的退化。根据这一观点,我们可以很好地理解残迹器官的意义。但是,器官废退和自然选择通常在一个生物发育成熟、充分参与生存竞争之后才能起作用,对于生命早期的器官作用不大。因此,在这一阶段,这一器官还不会过于退化或成为残迹。例如,小牛从具有发达牙齿的早期祖先那里遗传了牙齿,但是它们的牙齿从来不会穿出上颚牙床。我们可以相信,在代代相传的过程中,由于不使用或者是自然

选择让舌头和颚更利于吃草,而无需牙齿的帮助,大牛的牙齿就退化了。可是在小牛身上,牙齿并没有受到自然选择或不使用的影响,并且根据在相应年龄遗传的原理,从遥远的时期一直遗传到现在。

《物种起源》的全称是《论借助自然选择(即在生存斗争中保存优良品种)的方法的物种起源》。达尔文本人将自然选择的过程比作一个人用各种形状的石头建造房子。这些石头的不同形状是由于特定的原因,但是它们在建筑过程中的用处却不能用这些原因来解释。这一观点揭示了达尔文思想中的不足之处,那就是把自然选择当成了一个积极的指导性力量。因为在一个人造房子时,总是会有一个特定的目的,要实现一个特定的结果,并且有一个明确的概念。就其本质而言,建筑者要做出选择,但是选择行为是建筑者脑海中的思维活动,和产生石头的“原因”无关。因此,不能将其和自然选择的过程相比。如果要打个比方来说明这一过程,最好将其比作沙滩上石头的布局。大一点的石头在海滩高处,越是向下靠近大海,石头就越小。到了水边,就成了沙滩。这样的布局是由于风力、波浪和潮水的长期作用,和它们的本质有关,和组成峭壁的岩石的本质有关。只要牢牢记住这是一个比喻,只要不附带什么目的论的观点,称其为风力、波浪和潮水对分解的岩石的“选择作用”可能并无坏处(也没有多少好处)。

达尔文拒绝接受目的论,但是该书的标题却仿佛是要强调目的论,他重复了这个目的论的比喻,提到“保存优良品种”。我们怎样才能知道哪些品种是优良的呢?通过它们的保存!那么为什么会保存?因为优良!为什么会优良?因为保存!

“适者生存”这个表达也有同样的问题。根据达尔文主义者的用法,适应性常常被幼稚地混淆为身体或者是运动方面的能力,有时还会强行让其和道德相联系。但达尔文的这个表达所指的只有一种适应性,那就是生存能力。在道德层面,像狮子一样勇敢无疑是一件好事,像兔子一样胆怯无疑是一件坏事。但是,在生物学层面,两种品质都表明了适应性。狮子能够生存下来,是因为勇敢可以让它们捕捉到猎物。兔子能够生存下来,是因为胆怯可以让它们远离捕食者。勇敢和胆怯都是适应性的证明。只有能够生存下来的才是适应者,只有适应者才能生存下来。能够生存下来证明了适应性,适应性证明了能够生存下来。

这样分析下来,这些表达是没有最终意义的,但这并不意味着从使用这些表



达的历史中找寻不到意义。达尔文是一流的研究者,但是他并不擅长准确使用语言,并且也没有多少哲学洞察力。他的生物学发现虽然在科学上极其重要,但其本质却并不像他的很多追随者所认为的那样。

### 人类起源学说

有一个物种的起源问题引起了激烈的争论。古代和现代的解剖学家已经使人们注意到人类和猿类在解剖学上的相似性。起初,达尔文并没有就此表达看法。他的几个支持者,尤其是赫胥黎致力于研究这个问题。直到1871年,达尔文才正式表达了他的观点,在《人类的由来》的开头,他写道:“赫胥黎已经确凿地表明在一切可见的特征方面,人类与高级猿类之间的差异要小于灵长类动物里同一目之下的低级成员。”这远非表明人类和高级类人猿之间存在着任何中间形态,但这方面的证据正在逐渐积累。

1856年,距离《物种起源》的发表还有三年,在莱茵普鲁士尼安德特的一个小河谷里出土了类人生物的一些肢骨和一个头骨。起初这些都被错误地解释为病态的,但赫胥黎最终确认了它们是当时所发现的与猿类最相似的人类骨头。他认为人类“与高级猿类之间比高级猿类与低级猿类之间要更为接近”。这些遗骸来自我们今天所谓的“尼安德特人”<sup>①</sup>,目前已经发现了大约100具。

384 尼安德特人被发现之后,其他种类的化石人也纷纷出土。另一方面,也发现了比现存猿类更加接近人类的几种猿类化石。现在,与大部分和人类相类似的哺乳动物相比,类人猿化石可能更加完整,已发现的化石类人猿约有200个,包括了第四纪和第三纪晚期的至少11个种。

早在达尔文之前便有人利用进化理论来解释人类的习惯、语言、社会组织和心理,达尔文之后,这样做的人更多。人类学就此产生。在这方面,法国人雅克·布歇·德彼尔特(Jacques Boucher de Perthes, 1788—1868年)做出了很大的贡献。早在1830年,德彼尔特在索姆河畔的砾石中发现了一些燧石,他认为这些燧石上有远古人类加工过的痕迹。1846年,他证明与这些燧石一起出现的还有

<sup>①</sup> 早在1848年,在直布罗陀就已经发现了一个尼安德特人的颅骨,但是当时并没有引起科学界的重视。

大象、犀牛和其他热带或已经绝迹的动物的残骸。在他的大作《古代凯尔特人的遗物和大洪水以前的人类》(1847—1864年)中,他根据更新世和第四纪早期的人造物品证明了当时人类的存在。1863年,德彼尔特在阿布维尔附近的更新世遗迹发现了与加工的燧石有关的人类颌骨,从而证实了这一看法。

在1863年出版的《古代人类的地质证据》中,赖尔谨慎地接受了这些结论。从此,对石器时代人类制品和工艺的研究与对身体结构的研究开始同步发展。旧石器时代人类的文化、工艺和艺术的演替及其向现代形态的发展,尤其是其中发展成为新石器文化的历史,现在已经众所周知,已经被等同于地质和地理上的变化。

对有机界进化问题的研究有很多种路径,从生物学的前沿、有限意义上的科学直至很多我们这里无法探讨的领域。进化论照亮了生命的整个历史,其中既有人类丰富多样的历史,又有其他生物丰富多样的历史。

### 进化论的接受

1852年,距离《物种起源》发表还有七年,哲学家赫伯特·斯宾塞(Herbert Spencer, 1820—1903年)在一部作品中阐述了进化论,用它来描述从低级形态发展到高级形态的一般过程。他把漫长的余生投入详细论述他所理解的进化论在各个领域的意义,从无机世界到有机世界,从人类社会的结构到人类的思维。只要有机会,他就热切地把达尔文主义原则运用起来。由于他的极端“个人主义”政治哲学与那个时代很合拍,他的作品被广泛阅读,被翻译成很多种语言,既有东方的也有西方的。因此,在传播进化论方面,他比任何人的贡献都要大。“适者生存”这个表达就是他发明的(1864年)。

今天,斯宾塞的进化论哲学体系已然被当作少有的几个为所有哲学家都认同的嘲笑对象之一,但在世的人当中却很少有人敢宣称研究过他的所有著作。读过他所有著作的人很多,但是都已经去世了。值得我们思索的不是他们的生死,而是他们的人数。作为一个作家,斯宾塞的文字极其枯燥,但他却是一位伟大的造句者,有很多名言广为流传。只需从其1850年发表的第一部个人专著《社会静力学》的一个章节中选出几句,就不但足以表明他的总体观点(在后来的时间里,这种观点没有多少改变),还能够表明当时科学界的哲学氛围,而这也是

九年之后《物种起源》发表时的氛围：

“进步不是偶然的，而是必需的，是自然的一部分。”“所有的完美都是对生存环境的适应。”“邪恶总是会消亡。”“自然法则没有例外。”“由于生命的根本原则，有机体不适应环境的方面总是在被纠正。凡是有生命者皆服从此法则。植物对气候的适应，家养动物生活习性的改变，我们人类的不同特征，这些都表明了这一点……这样的变异方向是要适应周围的环境。”“文明不是人工，而是自然之一部分，和胚胎的发育或花朵的绽放是同一道理……人类需要一部道德宪法使其适应原初的状态，还需要另外一部道德宪法使其适应当前的状态，他们过去是、现在是、今后仍将继续处于不断适应的过程。‘文明’意味着已经发生的适应。通过这一过程，人类将最终完全适应其生活方式。”

386

因此，当《物种起源》发表时，社会已经做好了准备。该书草稿成形于1842年，达尔文本人早在1837年就在一封信中使用过“自然选择”这一说法。其核心思想既不新颖，也不现代，但是它却引发了生物学领域的一场革命，并且实际上是几乎每一个思想领域的革命。一位谨慎、敏锐、才能出众且经验丰富的研究者，提出大量深思熟虑的证据来阐释“进化论”，这还是第一次。达尔文本人并不喜欢使用这个词，而是通常谦虚地称其为“物种的问题”。他的大作最早提出了一个简单的、显然是普遍适用的生物学机制，用来解释形态的变异。他所提出的生物通过弱肉强食、适者生存以达到自然选择的理论极具启发性。

关于达尔文主义的兴起已经是老生常谈的话题，这里毋庸赘述。这可能是科学史上最广为人知的事件了。在达尔文的反对者中，有科学领域里的一位十分重要的人物、在欧洲首屈一指的比较解剖学家理查德·欧文，有美国十分杰出的博物学家和顶尖的比较解剖学家、哈佛大学的亚历山大·阿加西。两人依然服膺自然哲学。冯贝尔（见第332页）亦是如此，彼时他已经步入耄耋之年。他们都把进化论与歌德和居维叶的“理念”或“类型”对立起来，而后两者都是形而上的概念，在本质上是无法证明的。

达尔文主义在“自由主义”思想正在盛行的德国发展迅速，形成了一种近似于宗教的东西。在欧洲大陆，对达尔文主义最强有力的批判者是乌兹堡的阿尔

布莱克·科立克。他并不否认具体形态的可变性,在充分接受进化论对某些物种的适用性的同时,他指出达尔文主义的几个问题:(1)缺少任何一个物种形成的例证;(2)没有证据可以表明(初期物种的)不同变种间的结合比同一变种内的结合更加无效;(3)已知物种之间的真正中间物种极其少见,无论是活着的还是化石的。

科立克和其他的批判者声称达尔文理论中的“偶然”因素不过是蒙着面纱的目的论。自然选择被抬高到导致“果”之“因”的级别,科学所要应对的不是原因,而是条件。在科立克看来,达尔文所探讨的是某种可能性,而不是任何一个可以通过经验来证明的理论。在这一点上,科立克是正确的。在众多重要的科学理论中,进化论的独特之处可能正在于此,要想接受它,不需要诉诸证据,因为对材料的其他任何解释都是完全不可信的。

法国人对进化论的态度在总体上是敌视的,因而该理论在这里传播缓慢。居维叶的影响依然占据着支配地位,几位重要的生物学家(如伯纳德)始终都未能接受这一学说(见第363页)。但进化论最终还是取得了彻底的胜利。这一思潮还重新激起了人们对拉马克的兴趣。进化论在这儿被称为“转化论”,具有了拉马克理论的色彩。

围绕进化论展开的争论至此已然结束,整个现代生理学都被称作“对《物种起源》的注解”。生物学家们已经达成共识,生命形式来自数量有限的共同祖先,关于这些早期物种的进化历史也有了一定的共同看法。然而此后,仅仅过了几十年,人们便开始对进化机制产生了怀疑。在达尔文最活跃的时期,格里哥·孟德尔(Gregor Mendel, 1822—1884年)已经在默默无闻地进行着自己的研究(1857—1869年)。1900年,他的研究被重新发现,他所提出的遗传粒子说是达尔文及其后的一代人所全然不知的。

## 后 记

388 在生物学领域内外,对进化论的专注是 19 世纪晚期思潮的主要特征。对于缺少哲学头脑的人们和普通的公众,进化被错误地从一种过程抬高为一种动机,从一种规律抬高为一种力量。此外,由于不断与“自然选择”以及“适者生存”这样的观念发生联系,进化还常常被与两者混为一谈。这些常用词语的多变用法,很好地表明了词语对思想的控制。

进化论兴起的时期恰好也是工业扩张和社会变革的时期。对于社会变革,我们可以理所当然地用一个被滥用的词语来形容,即“进步”。博物学家从跨度久远的地质时期看到了生命体的发展过程,对此我们也可以理所当然地称其为“进步”。总体来说,19 世纪中期英国人的生活条件比前工业时代要好很多。我们世界上的生物对其环境的适应总体上比更早的地质时期要好很多。这两个过程常常被等量齐观,并且由于各种原因,对“进化性进步”的信念控制了这一代人的想象。起初,一个事实被忽视,甚至博物学家也是如此,那就是对环境的适应可能会导致“更高级的”特征的丧失。达尔文本人在《物种起源》的扉页旁摘录了培根《学术的精进》中的一段话,“对于上帝的话语或作品,以及神性或哲学,任何人都不要认为人类可以无尽地探索,……人类应当努力在这两方面不停地进步。”大诗人阿尔弗雷德·丁尼生曾经写过这样的诗句:

我探究未来,穷视力之所及,  
我看到世界的远景,望见将现之奇迹;  
直到鸣金休兵,战旗息偃,

在人类之议会，世界之邦联。

——《洛克斯利堂》，1832 年

但在 60 年后，他又这样写道：

389

除了地球之上，别处可有邪恶？

除了红尘人间，别处可有痛苦？

那么，感激这响亮的口号“进化”吧！

进化永远追求某种理想的善，

而倒退永远把进化拖入泥潭。

——《洛克斯利堂，60 年后》，1886 年

打一开始，19 世纪进化论者的谬误就被职业的哲学家所明察，但在当时的英国，专业的哲学家们安稳地住在科学构建的象牙塔里，高高在上，与世隔绝，这样的象牙塔矗立于古老的大学内，并受其保护。在那里，他们相互之间使用的是柏拉图的语言。他们发送给普通凡人的信息（如果有的话）对绝大多数人来说是无法理解的，因为后者不理解柏拉图的语言。于是，斯宾塞以及更加乐观的达尔文主义者的谬误广为流传，也因此，对达尔文的方法和局限性的误解几乎被广为接受，并且变得有点臭名昭著。

如果在读完本书后产生这样一种印象，以为本书想要贬低这位十分伟大的博物学家，那就错了。他本人非常谦虚，对自己的哲学能力评价并不高，这种自知之明更加证明了他的伟大和判断力。他从不让自己卷入任何过多阐发其观点的讨论中，但其作品中那精妙的语言却使他对这些讨论亦无可奈何。或许也正是因为这一点，他在作为一位伟大博物学家的同时，还完全有资格被看作一位伟大的作家。他对科学的贡献极其巨大，其中最大的贡献便是阐明了各种有机类型的形成过程。除了进化论之外，其他任何关于物种起源的观点都是不可信的。他对有机进化的“解释”实际上更像是一种重新的描述，这或许要归咎于他的哲学能力而非科学能力，但这样的重新描述却是科学理论发展的正常过程。

就这样，我们在现代经典科学的开端结束了我们的讲述。在牛顿之后的时代，科学的任务是用机械的语言描述世界，以求得出统一的观点。在这一时代结 390  
束时，对力的统一认识方面已经有了很大的进步，关于物质的统一学说也已被提



了出来,而在生命的世界,至少已经表明了它的延续性。这些成就最典型的表现就是能量学说、原子论和有机形态的进化理论。

尽管有了这些成就,但在我们的叙述中依然存在着十分明显的矛盾和断裂,只有那些最乐观或最缺乏哲学头脑的人才会忽视它们。例如,以太理论依然高度抽象,物质和力之间、生物和非生物之间依然有着不可跨越的鸿沟。虽然如此,还是有人幼稚地展示了一个似乎完整的世界图像,这个世界是由一成不变的球形原子组成的,它们常常被比作台球,坚硬、不可穿透、没有弹性,没有任何次级特征。在这些原子之间,只有神秘的以太,它拥有一些天性,而这些天性

似乎来自多个世界,  
非天地合力所能赐予。

因为不可思议的原因,这些台球般的原子永远处在一种舞蹈的状态,在一个指挥者的命令之下,不停地交换着舞伴。这个指挥者有时扮演“热”,有时化身“化学亲和力”,还有时成为“电”……变化多端却始终实质如一。它的杰作是“生物”,而“生物”本身也创造出了自己的舞蹈指挥,它的名字叫“自然选择”,有时又被称为“适者生存”,并且也发展出了自己的各种角色。在其指挥之下,前景变得令人沮丧,因为舞蹈变得越来越复杂,毕竟生命的过程不就是组织化程度日益加强的过程吗?

职业的哲学家们对这一令人沮丧的图景并不感兴趣。他们注意到科学的整个结构已经并且不得不建立在某些抽象的基础之上。对于那个时代的科学来说,这些基础便是牛顿世界体系中那些毋庸置疑的数据。然而在19世纪后期,一个事实日益明显,那就是即使科学叙述有充分的一致性和连续性,它依然无法被纳入一个综合的体系,除非并且直到其抽象的理论被清晰地呈现以及真实地认识。

391 19世纪,科学在很多方面取得了革命性的成功,人类的命运亦为之而改善。它所提供的智力上的刺激要比那些陈旧的学科更加有效。它颠覆了很多流行的哲学观念和理论学说。虽然有现代的理解,但它把一种更加人性化的精神引入了人际关系。它为教育提供了一种新的基础,使得某些以前的基础显得相当荒谬。最重要的是,它传播了一种乐观的、至少部分是合理的人类进步观。但是,

这一方法有其局限性,那些“做”科学的人们实际上要比那些负责阐释的人们更容易发现这些局限性。

就其本质而言,科学无法完成,甚至无法尝试这样的任务,那便是解决思想上的所有这些各种各样的矛盾,并将其统一起来。因此,即使除去其他原因不论,科学的历史严格地说来也几乎是不可能的。科学从根本上来讲无法处理整体,它只能处理抽象的概念,处理我们习惯上所说的“科学调查的范围”。然而,虽然科学工作不得不按照学科来进行,但是这些学科之间的边界绝不是固定不变的,而是不断地发生着变化。在改变边界的过程中,科学必须在必要时回到其源头,回到其原始材料,必须修订其原则体系。在此过程中,它可能会预设一种与传统的唯物主义方案不同的哲学体系。科学的世界有理由被看作一种革命性的方案,从中将产生一种价值模式,但这实际上却正是上一代唯物主义哲学家所坚决否认的。

现在,忽视这些伟大的科学结论的那一代哲学家已经安息了,不太可能被打扰。科学本身似乎走到了一个新的阶段,在这一阶段,要想具备足够的科学素养,就要把世界视为一个互相联系的整体,换言之,科学和哲学将不再那么疏离。<sup>392</sup>但这并不意味着科学会放弃其抽象的方法,因为如果这样,它就不再成其为科学,也不意味着科学会到坟墓中去寻求避难,这一坟墓已经成为建立在推理基础之上的旧哲学的安息之所,而是意味着科学抽象的边界可能会更加灵活,意味着在确定变化的本质方面,哲学的方法也有一席之地。值得注意的是,似乎心与心之间以及心与物之间相分离的观念可能也需要加以修正。众多的迹象都表明,从19世纪后期开始,科学正在朝这些方向发展。

## 人名索引

- Adams, John Couch, 约翰·柯西·亚当斯, 269
- Adelard of Bath, 巴斯的阿德拉特, 147—148
- Agassiz, Alexander, 亚历山大·阿加西, 342, 386
- Agassiz, Jean Louis Rodolphe, 让·路易斯·鲁道夫·阿加西, 331, 332
- Agricola, Georg, 格奥尔格·阿格里科拉, 175
- Al-Battani, 阿尔·巴塔尼, 135, 148
- Albertus Magnus, 大阿尔伯特, 154, 155
- Albiruni, 阿尔·比鲁尼, 137
- Albucasis, 阿尔布卡西斯, 138, 148, 149, 170
- Alcmaeon of Croton, 克罗顿的阿尔克迈翁, 23—24
- Alcuin, 阿尔昆, 128
- Aldo Manuzio, 阿尔多·马努齐奥, 169
- Alembert, Jean le Rond d', 让·勒朗·达朗贝尔, 275
- Alexander of Aphrodisias, 阿芙洛狄希亚的亚历山大, 52
- Alexander of Hales, 哈尔斯的亚历山大, 153—154
- Alfarabi, 阿尔法拉比, 137, 148, 149
- Alfargani, 阿尔法甘尼, 135, 148, 149
- Alfonso the Wise, 智者阿方索, 159
- Alhazen, 阿尔哈曾, 136, 149, 156, 160
- Alkindi, 阿尔肯迪, 136, 148, 149
- Al-Kwarizmi, 花拉子米, 135, 147, 148
- Alpetragius, 比脱鲁杰, 138, 149
- Alphanus, 阿尔梵, 143
- Ammonius Saccas, 阿摩尼阿斯·萨卡斯, 123
- Ampère, André Marie, 安德烈·马里·安培, 308—309, 311, 313—314
- Anaxagoras of Clazomenae, 克拉佐美

- 尼的阿那克萨戈拉, 26—27, 54
- Anaximander of Miletus, 米利都的阿那克西曼德, 11—12
- Anaximenes of Miletus, 米利都的阿那克西米尼, 12
- Andronicus of Rhodes, 罗得岛的安德罗尼柯, 52
- Androstheneis, 安德罗斯提尼斯, 50
- Apollonius of Citium, 基提翁的阿波罗尼乌斯, 80
- Apollonius of Perga, 佩尔格的阿波罗尼乌斯, 56, 69—70, 77, 148
- Arago, Dominique Francois, 弗朗索瓦·阿拉果, 277, 308, 309, 314
- Aratus of Soli, 索里的阿拉托斯, 54, 116
- Archimedes of Syracuse, 叙拉古的阿基米德, 63—69, 114, 148, 170, 214, 230
- Argelander, Friedrich Wilhelm August, 弗里德里希·阿格兰德, 270
- Aristarchus of Samos, 萨摩斯的阿利斯塔克, 59—60, 69, 116, 180
- Aristotle, 亚里士多德, 34, 39—50, 92, 127, 149, 150, 151, 162—163, 169, 182, 193, 195, 216, 237, 245, 249, 328, 330, 333, 337, 347, 364
- Arnald of Villanova, 维拉诺瓦的阿诺德, 158—159
- Arzachel, 阿尔扎切尔, 138
- Asclepiades of Bithynia, 比梯尼亚的阿斯克勒必阿底斯, 106
- Augustine, St., 圣奥古斯丁, 105, 124—125, 128, 154, 373
- Autolycus of Pitane, 奥托吕科斯, 51
- Auzout, Adrien, 阿德里安·奥祖, 258  
注释①
- Averroes, 阿维罗伊, 139—141, 146, 150, 154, 162
- Avicbron, 阿维赛布朗, 146
- Avicenna, 阿维森那, 134, 148, 170, 174
- Avienus, 阿维努斯, 116
- Avogadro, Amedeo, 阿莫迪欧·阿伏伽德罗, 294—295
- Bacon, Francis, 弗朗西斯·培根, 226—230, 251, 388
- Bacon, Roger, 罗吉尔·培根, 148, 156—158, 170
- Baer, Karl Ernst von, 卡尔·恩斯特·冯贝尔, 332, 357, 386
- Banks, Sir Joseph, 约瑟夫·班克斯爵士, 329, 340
- Bartholomew the Englishman, 英国人巴塞洛缪, 154
- Beaufort, Sir Francis, 弗朗西斯·蒲福爵士, 275
- Bede, 比德, 128
- Bell, Sir Charles, 查尔斯·贝尔, 61, 332, 365
- Bentham, Jeremy, 杰里米·边沁, 378
- Bergman, Tobern Olaf, 贝格曼, 285, 291—292
- Bernard, Claude, 克劳德·伯纳德,

- 332, 363—365, 387
- Bernard, Sylvester, 西尔维斯特·伯纳德, 153
- Berthollet, Claude Louis, 克劳德·路易·贝托莱, 285, 291—292
- Berzelius, Jöns Jakob, 永斯·雅各布·贝采里乌斯, 295
- Bessarion, Johannes, 约翰内斯·贝萨里翁, 171
- Bessel, Friedrich Wilhelm, 弗里德里希·威廉·贝塞尔, 212, 269
- Black, Joseph, 约瑟夫·布莱克, 285—287, 299—300
- Boccaccio, Giovanni, 乔万尼·薄伽丘, 164—165
- Bock, Jerome, 杰罗姆·鲍克, 176
- Bode, Johann Ehlert, 约翰·波得, 268
- Boerhaave, Hermann, 赫尔曼·布尔哈夫, 285, 347, 348
- Boethius, 波爱修, 112—113, 162
- Bois-Raymond, Emil du, 杜布瓦·莱蒙德, 365
- Bonnet, Charles, 查尔斯·邦纳, 333, 373, 374
- Borelli, Giovanni Alfonso, 乔瓦尼·阿尔方索·波雷里, 239—240, 241, 250
- Botticelli, Sandro, 桑德罗·波提切利, 172
- Boussingault, Jean-Baptiste, 让·巴普蒂斯特·布森戈, 354
- Boyle, Robert, 罗伯特·波义耳, 229, 233—235, 250, 265, 283, 291, 297
- Bradley, James, 詹姆斯·布拉德利, 261
- Brahe, Tycho, 第谷·布拉赫, 183—184, 204, 212, 251
- Broca, Paul, 布罗卡(白洛嘉), 367
- Brongniart, Alexandre, 亚历山大·布隆尼亚尔, 280
- Brown, Robert, 罗伯特·布朗, 331, 356
- Brunfels, Otto, 奥托·布伦福斯, 176
- Bruno, Giordano, 乔尔丹诺·布鲁诺, 171, 182, 185—189, 209, 211, 212, 219, 249, 250
- Buffon, Georges Louis Leclerc, Comte de, 布丰, 278—279, 343, 375
- Bunsen, Robert Wilhelm, 罗伯特·威廉·本生, 269—270
- Cajal, Ramon y, 纳蒙·卡哈, 366
- Callipus of Cyzicus, 基齐库斯的卡利普斯, 38
- Cannizzaro, Stanislao, 斯坦尼斯劳·坎尼扎罗, 295
- Canton, John, 约翰·康顿, 277
- Cardan, Jerome, 杰罗姆·卡当, 175
- Carnot, Sadi, 萨迪·卡诺, 324, 326
- Cassini, César Francois, 塞萨尔·弗朗索瓦·卡西尼, 274
- Cassini, Giovanni Domenico, 乔凡尼·多美尼科·卡西尼, 259, 272, 273
- Cassini, Jacques, 雅克·卡西尼, 272

## 人名索引

- Cassini, Jacques Dominique, 雅克·多美尼克·卡西尼, 274
- Cassiodorus, 卡西奥多, 128
- Cavendish, Charles, 查尔斯·卡文迪什, 298
- Cavendish, Henry, 亨利·卡文迪什, 287—288, 298, 303, 304
- Celsus, 塞尔苏斯, 107, 169
- Charles, Jacques Alexander Cénar, 雅克·亚历山大·查尔斯, 292
- Chastelet, Marquisedu, 夏特莱侯爵夫人, 254
- Chaucer, Geoffrey, 杰弗里·乔叟, 151
- Cicero, 西塞罗, 118
- Cleanthes of Assus, 阿苏斯的克里安塞, 54, 116
- Cleomedes, 克莱门德, 80—82
- Cleostratus of Tenedos, 忒涅多斯的克雷斯特拉杜斯, 12
- Coleridge, Samuel Taylor, 塞缪尔·泰勒·柯勒律治, 372
- Constantine the African, 非洲的康斯坦丁, 143
- Cook, James, 詹姆斯·库克, 274, 340
- Copernicus, Nicolas, 尼古拉斯·哥白尼, 179—182, 185—186, 212, 249, 256
- Coulomb, Charles Augustus, 查尔斯·奥古斯都·库仑, 304
- Crateuas, 克拉居阿斯, 78—79
- Cuvier, Georges Léopold Chrétien Frédéric Dagobert, 居维叶, 279—280, 329—330, 336—338, 351, 365, 377, 386
- Dalton, John, 约翰·道尔顿, 275, 292—294
- Dante Alighieri, 阿利盖利·但丁, 165
- D'Anville, Jean-Baptiste Bourguignon, 让·巴蒂斯特·丹维尔, 273—274
- Darwin, Charles Robert, 查尔斯·罗伯特·达尔文, 276, 279, 281, 283, 329, 339, 340, 371, 377, 379—383, 386—389
- Darwin, Erasmus, 伊拉斯谟·达尔文, 374, 375—377
- Davy, Sir Humphry, 汉弗莱·戴维爵士, 295—296, 301, 304, 330, 354
- De Candolle, Augustin Pyramus, 奥古斯丁·彼拉姆斯·德堪多, 330, 331
- De la Beche, Sir Thomas, 托马斯·贝施爵士, 282—283
- De la Condamine, Charles Marie, 德拉孔达明, 272
- De la Prouse, J. F. de Galaup, Comte de, 康特·德拉佩鲁兹, 274
- Democedes of Cnidus, 克尼多斯的迪莫塞迪斯, 14
- Democritus, 德谟克利特, 15, 33, 42, 47, 54
- D'Entrecasteaux, Joseph Antoine Bruni, 布鲁尼·德安特卡斯特, 274



- Descartes, René, 勒内·笛卡尔, 191—193, 194, 210, 214, 220, 221—226, 227, 231, 237—239, 241, 250, 313, 347
- Dicaearchus, 狄西阿库斯, 51—52
- Diderot, Denis, 德尼·狄德罗, 372
- Diophantus, 丢番图, 83
- Dioscorides, 狄奥斯科里, 89—90, 128, 169, 170, 176
- Doppler, Christian, 克里斯蒂安·多普勒, 271
- Du Fay, C. F., C.F.迪费, 303
- Dujardin, Felix, 菲力克斯·迪雅尔丹, 356
- Dürer, Albrecht, 阿尔布雷特·丢勒, 173—174, 215
- Dutrochet, Henri, 亨利·杜托息, 353—354
- Empedocles of Agrigentum, 恩培多克勒, 24—26
- Epicurus of Samos, 萨摩斯的伊壁鸠鲁, 15, 47, 54, 95
- Erasistratus of Chios, 希俄斯的埃拉西斯特拉塔, 61—63, 90
- Eratosthenes, 埃拉托色尼, 56, 68, 70—76, 102, 271
- Euclid, 欧几里得, 57—59, 80, 147, 149, 170
- Eudoxus of Cindus, 克尼多斯的欧多克索, 37—38, 47, 67, 116
- Eudoxus of Cyzicus, 基齐库斯的欧多克索, 100
- Eugenius of Palermo, 巴勒莫的尤金, 149
- Euler, Leonhard, 莱昂哈德·欧拉, 58, 265
- Fabiola, 法比奥拉, 111
- Fahrenheit, Gabriel Daniel, 华伦海特, 298
- Faraday, Michael, 迈克尔·法拉第, 303, 308, 310—316, 324
- Ferdinand II, Grand Duke of Tuscany, 费迪南二世, 托斯卡纳大公, 298
- Fernel, Jean, 让·费尔内尔, 179
- Ferrier, David, 大卫·费里尔, 367
- Fischer, Emil, 埃米尔·费歇尔, 360
- Fischer, Ernst Gottfried, 戈特弗里德·贝尔曼·菲舍尔, 291
- Fitzroy, Robert, 罗伯特·菲茨罗伊, 276
- Fizeau, Hippolyte Louis, 依波利特·路易·斐索, 323
- Flamsteed, John, 约翰·弗拉姆斯提德, 259—260
- Fontenelle, Le Bovier de, 丰特奈尔, 251
- Foucault, Jean Leon, 让·莱昂·傅科, 322—323
- Fracastor, Jerome, 杰罗姆·弗腊卡斯多尔, 179
- Franklin, Benjamin, 本杰明·富兰克林, 303, 304
- Fraunhofer, Joseph, 约瑟夫·弗朗霍费, 269

- Fresnel, Auguste Jean, 奥古斯丁·让·菲涅尔, 321—322
- Fritsch, Gustav, 费理屈, 367
- Fuchs, Leonard, 列奥纳多·福赫斯, 176—177
- Galen of Pergamum, 帕加马的盖伦, 80, 90—93, 119, 149, 170, 174, 177
- Galileo Galilei, 伽利略·伽利雷, 167, 171, 190, 195—221, 223, 231, 236, 237, 249, 250, 251, 262, 264, 266, 276, 298
- Galvani, Luigi, 路易吉·伽伐尼, 304, 365
- Gascoigne, William, 威廉·盖斯科因, 258 注释①
- Gassendi, Pierre, 皮埃尔·伽桑狄, 235, 290
- Gauss, Kari Friedrich, 高斯, 277
- Gay-Lussac, Joseph Louis, 盖·吕萨克, 275, 292, 293
- Geber, 吉伯, 132, 148
- Geoffroy, Etienne Francois, 艾蒂安·弗朗索瓦·若弗鲁瓦, 285, 291
- Geoffroy St. Hilaire, Etienne, 艾蒂安·若弗鲁瓦·圣伊莱尔, 331
- Gerard of Cremona, 克雷莫纳的热拉尔, 143, 148, 149
- Gerbert, 热贝尔, 129, 141
- Gilbert, William, 威廉·吉尔伯特, 188, 219, 277, 313, 343
- Goethe, Johann Wolfgang von, 约翰·沃尔夫冈·冯·歌德, 331, 335—336, 374, 386
- Golgi, Camillo, 卡米洛·高尔基, 366
- Gonzalez, Domenigo, 多米尼哥·冈萨雷斯, 148
- Graham, George, 乔治·格雷厄姆, 272—273, 277
- Graham, Thomas, 托马斯·格雷厄姆, 359
- Grew, Nehemiah, 尼希米·格鲁, 243, 250, 331
- Grosseteste, Robert, 罗伯特·格罗塞特, 156
- Guericke, Otto von, 奥托·冯格里克, 233
- Hadley, George, 乔治·哈德里, 275
- Hale, Matthew, 马修·黑尔, 373
- Hales, Stephen, 斯蒂芬·黑尔斯, 284, 286, 348—349
- Hall, Marshall, 马歇尔·霍尔, 367
- Haller, Albrecht von, 阿尔布雷希特·冯哈勒, 349—350, 365, 374
- Halley, Edmond, 埃德蒙多·哈雷, 253, 260—261, 263, 267, 275, 276, 277
- Harrison, John, 约翰·哈里森, 273
- Harvey, William, 威廉·哈维, 214, 220, 225, 226, 237—238, 243, 244, 250
- Hasdai ben Shaprut, 哈斯代·本·沙普鲁, 138
- Hecataeus of Miletus, 米利都的赫克

- 泰阿斯,12—13
- Helmholtz, Hermann, 赫尔曼·亥姆霍兹,325, 362
- Henderson, Thomas, 托马斯·亨德森,269
- Henle, Jacob, 雅各布·亨勒,366
- Hensen, Victor, 维克多·汉森,342
- Heracleides of Pontus, 本都的赫拉克利德,38
- Heracleitus of Ephesus, 以弗所的赫拉克利特,14, 32, 40
- Herman the Cripple, “跛子”赫尔曼, 142
- Hero of Alexandria, 亚历山大里亚的希罗,80—82
- Herodotus of Halicarnassus, 哈利卡纳苏斯的希罗多德,16—17, 101
- Herophilus of Chalcedon, 卡尔舍顿的赫罗菲拉斯,61—63
- Herschel, Frederick William, 威廉·赫歇尔,262—264, 270
- Hildegard of Bingen, St., 宾根的希德格,153
- Hipparchus of Nicaea, 尼西亚的喜帕恰斯,60, 76—78, 84, 160
- Hippocrates of Chios, 希俄斯岛的希波克拉底,30, 57, 67, 254
- Hippocrates of Cos, 科斯岛的希波克拉底,27—29, 33, 149, 170
- Hitzig, Eduard, 爱德华·希兹格,367
- Hobbes, Thomas, 托马斯·霍布斯,210
- Hoffmann, Friedrich, 弗雷德里克·霍夫曼,347
- Honain ibn Ishaq, 洪南·伊本·伊斯哈奇,131
- Hooke, Robert, 罗伯特·胡克,233, 243, 250, 251, 297, 304, 356, 374
- Hooker, Joseph Dalton, 约瑟夫·道尔顿·胡克,331, 340—341, 345
- Hugh of St. Victor, 圣维克多的雨果,153
- Humboldt, Friedrich Heinrich Alexander von, 亚历山大·冯洪堡, 277, 282, 345
- Hunter, John, 约翰·亨特尔,304, 351—352
- Hutton, James, 詹姆斯·赫顿,280
- Huxley, Thomas Henry, 托马斯·亨利·赫胥黎,365, 383
- Huygens, Christian, 克里斯蒂安·惠更斯,193—194, 195, 208, 251, 257—259, 265, 272, 291, 297, 316—317
- Hypatia, 希帕蒂亚,83, 124
- Ingenhousz, Johannes, 约翰内斯·英格豪斯,304, 350—351, 353
- Isaac Judaeus, 艾萨克·尤丢斯,134, 143, 149
- Isidore, 伊西多尔,128
- John Holywood, 约翰·霍利伍德, 159, 161
- John Mesue, 约翰·末修,131, 170

人名索引

- John of Peckham, 佩卡姆的约翰, 156
- John of Seville, 塞维利亚的约翰, 148
- John Scot Erigena, 约翰·司各特·埃里杰纳, 164
- Joule, James Prescott, 詹姆斯·普雷斯科特·焦耳, 324—325
- Julius Caesar, 朱利乌斯·恺撒, 101—102, 103, 115—116
- Jung, Joachim, 乔基姆·荣格, 234
- Kant, Immanuel, 伊曼纽尔·康德, 333—334, 372
- Kelvin, William Thomson, Lord, 开尔文勋爵, 316, 325—327
- Kepler, Johannes, 约翰尼斯·开普勒, 184, 191, 194, 195, 200—206, 212, 216, 224, 250, 256, 276
- Kirby, W., 威廉·科尔比, 329
- Kirchhoff, Gustav Robert, 古斯塔夫·罗伯特·基尔霍夫, 269—270
- Knight, Thomas Andrew, 托马斯·安德鲁·奈特, 329
- Kölliker, Albrecht, 阿尔布莱克·科立克, 332, 366, 386—387
- Kühne, Willy, 威利·库恩, 360
- Lagrange, Joseph Louis, 拉格朗日, 266—268
- Lamarck, Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet de, 拉马克, 280, 281, 374, 377—378, 387
- Laplace, Pierre Simon, 拉普拉斯, 266—268
- Lavoisier, Antoine Laurent, 安托万·洛朗·拉瓦锡, 289—290, 295, 300, 347, 350
- Leeuwenhoek, Antony van, 安东尼·范列文虎克, 243—245, 250
- Le Verrier, Urbain Jean Joseph, 勒维耶, 269
- Leibnitz, Gottfried Wilhelm, 莱布尼茨, 67, 265, 291, 372
- Leonardo da Vinci, 列奥纳多·达芬奇, 167, 172—173, 179
- Leonardo of Pisa, 比萨的列奥纳多, 160—161
- Leucippus of Miletus, 米利都的留基伯, 14
- Levi ben Gerson, 莱维·本·热尔松, 160
- Liebig, Justus von, 李比希, 296, 352—354, 359, 361
- Lind, James, 詹姆斯·林德, 274
- Linnaeus, Karl, 卡尔·林奈, 327—329, 338, 351, 374
- Locke, John, 约翰·洛克, 210, 229, 235—236
- Lucretius, 卢克莱修, 54, 95—97, 120, 169, 179, 293
- Lyell, Charles, 查尔斯·赖尔, 281—282, 329, 332, 343, 374, 377, 379, 384
- Maimonides, 迈蒙尼德, 146

- Malpighi, Marcello, 马尔切罗·马尔比基, 239, 242—245, 250
- Malthus, Thomas Robert, 托马斯·罗伯特·马尔萨斯, 378—379
- Malus, Etienne Louis, 埃蒂安·路易斯·马吕斯, 320—321
- Manilius, 马尼留, 169
- Mariotte, Edmé, 埃德姆·马略特, 242—243
- Martianus Capella, 马提努斯·卡佩拉, 127—128
- Mary the Jewess, 犹太女人玛利亚, 93
- Maupertuis, Pierre Louis Moreau de, 皮埃尔·莫佩尔蒂, 272, 273
- Maury, Matthew Fontaine, 马修·莫里, 275—276
- Maxwell, James Clerk, 詹姆斯·克拉克·麦克斯韦, 316, 323
- Menaechmus, 米奈克穆斯, 38—39, 70
- Mendel, Gregor, 格里哥·孟德尔, 387
- Mendeleef, Dmitri, 德米特里·门捷列夫, 296
- Mersenne, Marin, 玛兰·梅森, 210
- Messahala, 梅萨哈拉, 135, 148, 149
- Meyer, Lothar, 洛塔尔·迈尔, 296
- Michael the Scot, 迈克尔·司各特, 149
- Milton, John, 约翰·米尔顿, 180, 207
- Mondino da Luzzi, 蒙迪诺·德路西, 158, 177
- Morienus Romanus, 莫瑞恩纳斯·罗曼努斯, 159
- Moses Farachi, 摩西·法拉奇, 149
- Müller, Johannes, 约翰内斯·缪勒, 331, 332, 356, 361—363, 365
- Müller, Johannes, 约翰·缪勒, 参见 Regiomontanus
- Murchison, Roderick, 罗德里克·麦奇生, 283, 329
- Murray, John, 约翰·默里, 341
- Napier, John, 约翰·纳皮尔, 190—191
- Nearchus, 尼阿克斯, 50
- Newton, Sir Isaac, 伊萨克·牛顿, 199—200, 219, 225, 248—257, 260, 264, 265, 271, 272, 276, 283, 291, 298, 304, 316, 375
- Nicolas of Cusa, 库萨的尼古拉斯, 140, 171, 185
- Oersted, Hans Christian, 汉斯·克里斯蒂安·奥斯特, 307—308, 310
- Oken, Lorenz, 洛仑兹·奥肯, 355, 374
- Owen, Richard, 理查德·欧文, 331, 332, 339, 386
- Paracelsus, 帕拉塞尔苏斯, 174—175, 240
- Pascal, Blaise, 布莱士·帕斯卡, 193
- Pavlov, Ivan Petrovitch, 伊万·彼得洛维奇·巴甫洛夫, 368
- Pedanius Dioscorides of Anazarba, 阿

- 纳扎巴的迪奥斯科理斯, 89—90, 128, 169, 170, 176
- Perrault, Claude, 克劳德·佩罗, 257
- Perthes, Jacques Boucher de, 布歇·德彼尔特, 384
- Peter of Abano, 阿巴诺的彼得, 163—164, 231
- Petrarch, Francesco, 彼特拉克, 164
- Phillips, John, 约翰·菲利普, 287
- Philolaus of Tarentum, 塔伦特的菲洛劳斯, 21—22, 180
- Piazzè, Giuseppe, 朱塞佩·皮亚塞, 268
- Picard, Jean, 让·皮卡尔, 257, 271—272, 273
- Plato, 柏拉图, 32—37, 192
- Pliny, the Elder, 老普林尼, 97—98, 103, 107—109, 114, 117—120, 128, 168—169
- Plotinus, 普罗提诺, 123
- Pollaiuolo, Antonio, 安东尼奥·波拉约洛, 172
- Polybius, 波利比奥斯, 100
- Pomponius Mela, 庞波尼乌斯·梅拉, 102—103
- Posidonius of Apamea, 波西东尼, 54
- Poulett Scrope, George Julius, 乔治·波利特·斯科罗普, 283
- Power, Henry, 亨利·鲍尔, 218
- Priestley, Joseph, 约瑟夫·普里斯特利, 288, 303, 350, 378
- Proust, Joseph Louis, 约瑟夫·路易斯·普鲁斯特, 291, 292, 293
- Prout, William, 威廉·普劳特, 295
- Ptolemy of Alexandria, 亚历山大里亚的托勒密, 78, 80, 83—89, 148, 149, 170, 171, 255—256, 265
- Purbach, Georg, 格奥尔格·波伊巴赫, 148, 171
- Purkinje, Johannes Evangelista, 约翰尼斯·伊凡葛雷斯塔·浦肯野, 356, 366
- Pythagoras, 毕达哥拉斯, 17—23, 192
- Pytheas of Marseilles, 马赛的皮西亚斯, 52
- Rabanus Maurus, 拉班·马罗, 128
- Ramsden, Jesse, 杰西·拉姆斯登, 273, 274
- Ray, John, 约翰·雷, 328, 374
- Redi, Francesco, 弗朗西斯科·雷地, 245—246
- Regiomontanus, 雷格蒙塔努斯, 169, 171—172, 179, 217
- Remak, Robert, 罗伯特·雷马克, 332
- Rey, Jean, 让·莱伊, 298
- Rhazes, 拉齐兹, 133, 148, 149, 170
- Richter, J.B., 李希特, 291
- Robert of Chester, 切斯特的罗伯特, 148, 159
- Roemer, Olaus, 奥洛斯·罗伊默, 259
- Roger of Salerno, 塞勒诺的罗杰, 158
- Roland of Parma, 帕尔马的罗兰, 158
- Ross, Sir James, 詹姆斯·罗斯爵士, 340—341
- Roy, William, 威廉·罗伊, 274



- Rufus of Ephesus, 以弗所的鲁弗斯, 82—83
- Ruhmkorff, Heinrich Daniel, 海因里希·丹尼尔·伦可夫, 315
- Rumford, Benjamin Thompson, Count, 本杰明·汤普森·朗福德, 300—302
- Rutherford, Daniel, 丹尼尔·卢瑟福, 299
- Rutilius Namatianus, 鲁提利乌斯·纳马提安努斯, 104—105
- Sabine, Edward, 爱德华·萨宾, 277
- Sachs, Julius, 朱利乌斯·萨克斯, 354
- Santorio, Santorio, 桑托里奥·桑托里奥, 214, 220, 236—237, 238
- Saussure, Horace Bénédict de, 霍拉斯·贝内迪克特·德·索绪尔, 275, 282
- Scheele, Carl Wilhelm, 卡尔·威廉·舍勒, 288, 295
- Schultze, Max, 马克斯·舒尔策, 357—358
- Schwann, Theodor, 西奥多·施旺, 356—357
- Sedgwick, Adam, 亚当·塞奇威克, 283
- Seneca, 塞涅卡, 98—99, 120
- Smith, Adam, 亚当·斯密, 378
- Smith, William, 威廉·史密斯, 280, 281, 346
- Snell, Willibrord, 威里布罗德·斯涅耳, 194—195, 317
- Socrates, 苏格拉底, 31
- Spencer, Herbert, 赫伯特·斯宾塞, 385—386
- Spinoza, Benedict, 本尼迪克特·斯宾诺莎, 215, 220
- Sprat, Thomas, 托马斯·斯普拉特, 229
- Stahl, Georg Ernst, 乔治·恩斯特·施塔尔, 241, 288, 347
- Steno, Niels, 尼尔斯·斯坦诺, 239, 278
- Stevin, Simon, 西蒙·斯台文, 190
- Strabo of Amasia, 阿马西亚的斯特拉波, 80, 100—101, 103, 169
- Strato of Lampsacus, 兰普萨古的斯特拉托, 52
- Swammerdam, Jan, 简·斯旺默丹, 243, 250
- Sylvia of Aquitaine, 西尔维娅, 104
- Sylvius, Franciscus, 弗朗西斯·西尔维乌斯, 240—241
- Tacitus, 塔西佗, 103—104
- Thales of Miletus, 米利都的泰勒斯, 8—11
- Theophrastus of Eresus, 狄奥弗拉斯特, 51, 78, 92, 109, 169
- Thomas Aquinas, St., 托马斯·阿奎那, 154, 162, 182
- Thomson, Charles Wyville, 查尔斯·怀韦尔·汤姆生, 341
- Torricelli, Evangelista, 埃万杰利斯塔·托里拆利, 197, 232

- Vallisnieri, Antonio, 安东尼奥·瓦里斯内利, 246
- Van, Helmont, Jan Baptist, 范海尔蒙特, 171, 231, 240, 242, 284
- Van Leeuwenhoek, Antony, 安东尼·范列文虎克, 243, 245, 250
- Varro, 瓦罗, 97, 169
- Verrocchio, Andrea del, 安德烈·德尔韦罗基奥, 172
- Vesalius, Andreas, 安德烈斯·维萨留斯, 90, 167, 177—179, 212, 220, 366
- Viète, Francois, 弗朗索瓦·韦达, 189
- Vincent of Beauvais, 博韦的樊尚, 154
- Vipsanius Agrippa, 维普撒尼乌斯·阿格里帕, 86, 102
- Virchow, Rudolf, 鲁道夫·魏尔肖, 358
- Vitruvius, 维特鲁威, 114, 116, 118,
- Viviani, Vincenzo, 文森佐·维维安尼, 198
- Volta, Alessandro, 亚历山德罗·伏特, 305—307, 365
- Voltaire, 伏尔泰, 254, 291
- Wallace, Alfred Russel, 阿尔弗雷德·华莱士, 344, 379
- Wallis, John, 约翰·沃利斯, 193, 251, 251, 258 注释③
- Watt, James, 詹姆斯·瓦特, 299—300, 302
- Wells, Charles, 查尔斯·威尔士, 275
- Werner, Abraham Gottlob, 亚伯拉罕·戈特洛布·维尔纳, 279, 283
- White, Gilbert, 吉尔伯特·怀特, 329
- William of Moerbeke, 穆尔贝克的威廉, 154, 162
- Williamson, William Crawford, 威廉·克劳福德·威廉森, 332, 346
- Witelo, 维提罗, 156
- Wöhler, Friedrich, 弗里德里克·维勒, 352
- Wollaston, William Hyde, 威廉·沃拉斯顿, 269
- Wren, Christopher, 克里斯托弗·列恩, 258 注释③
- Young, Thomas, 托马斯·杨, 318—320, 325
- Zosimus, 佐西默斯, 93