

自 然 科 学 史

〔英〕斯蒂芬·F·梅森著

上海外国自然科学哲学著作编译组译

上海人民出版社

译 者 的 话

近年来，西方出版的自然科学史著作中，梅森的这本《自然科学史》是有特色的。不仅因为它收集的材料，比较系统完整，而且对各历史时期科学发展的阐述，比较简明扼要。应当指出的是，作者注重了“工匠”的历史，对“匠人”在自然科学形成和发展中的作用有所反映，使人看到直接进行生产实践的劳动人民对科学发展作出的贡献。当然，由于作者缺乏自觉的唯物史观，这个思想没能贯彻始终。至于自然科学的发展与社会阶级斗争、生产实践的关系，以及科学发展中唯物论与唯心论、辩证法与形而上学两种世界观斗争等问题，就更没有得到正确的论述。这显然是由作者的资产阶级立场和世界观所决定的。

《自然科学史》对我国古代科学技术的阐述，在观点上、材料上，都存在着不少问题。如在“中国的科学和技术”一章中，作者把南宋理学家朱熹捧得很高，说他的论述“代表了中国科学最优秀的成就，是敏锐观察和精湛思辨的结合”；把宋朝统治者的穷奢极欲、残酷剥削农民，说成是“统治方式比较宽容”；对佛教传入中国，认为是“填补了当时人们精神上的空虚”等等，都是错误的，希望读者分析批判。关于书中材料上的错误和问题，则已由译者作了一些注释，加以纠正和说明。

本书作者斯蒂芬·F·梅森，是英国埃克塞特大学的化学讲师。他的《自然科学史》是在1956年出版的，1962年又加以修订。现在这个译本是根据科利尔书店1970年第六次印刷的修订版译出的。参加本书译校工作的有周煦良、全增嘏、谢惠民、傅季重、胡寄南和胡家聪等同志。

上海外国自然科学哲学著作编译组

目 录

第 一 章	导言	5
-------	----------	---

第一部分 古 代 科 学

第 二 章	巴比伦和埃及古文明时期的科学	7
第 三 章	苏格拉底以前的古希腊自然哲学	12
第 四 章	雅典的自然哲学	17
第 五 章	亚历山大里亚时期的古希腊科学	24
第 六 章	罗马和古代科学的衰退	31

第二部分 东方和中世纪欧洲的科学

第 七 章	中国的科学和技术	37
第 八 章	印度的科学	46
第 九 章	穆斯林国家的科学和技术	49
第 十 章	中古欧洲的工艺和手工业传统	54
第 十 一 章	中世纪的学术传统	59

第三部分 十六、十七世纪的科学革命

第 十 二 章	哥白尼的世界体系	66
第 十 三 章	吉尔伯特、培根和实验方法	72
第 十 四 章	伽利略与力学	77
第 十 五 章	笛卡儿：数学方法和机械论哲学	86
第 十 六 章	科学革命和新教徒的改革	91
第 十 七 章	万有引力论	99
第 十 八 章	十七世纪的光学	107
第 十 九 章	医学和血液循环的学说	110
第 二 十 章	从炼金术到医学化学	116
第 二 十 一 章	近代初期的一些科学应用	124
第 二 十 二 章	十七世纪的科学社团	131

第四部分 十八世纪的科学：民族科学传统的兴起

第 二 十 三 章	十八世纪的科学应用	138
第 二 十 四 章	十八世纪的科学背景	143
第 二 十 五 章	天文学和十八世纪的牛顿哲学	148
第 二 十 六 章	燃素说与化学革命	154
第 二 十 七 章	十八世纪机械物质世界的进步观	160
第 二 十 八 章	进化和生物的巨大链条	168
第 二 十 九 章	德国的自然哲学	177
第 三 十 章	胚胎学：个体有机物的发育	184

第三十一章	活的有机体的结构和机能	190
第三十二章	细胞学说	196

第五部分 十九世纪的科学：工业和学术变革的促进者

第三十三章	地质学的发展	200
第三十四章	十九世纪时期的物种进化学说	209
第三十五章	十九世纪法国和英国的科学团体	221
第三十六章	化学和物质的原子论	228
第三十七章	光的波动说	238
第三十八章	电学和磁学的发展	241
第三十九章	热力学：能量转换的科学	247
第四十章	科学与工程学	255
第四十一章	化学与微生物学的应用	260

第六部分 二十世纪的科学：新领域和新动力

第四十二章	近代生物学的几个方面	268
第四十三章	相对论	274
第四十四章	量子论与原子结构	278
第四十五章	天体物理学和宇宙结构学说	285
第四十六章	意大利与德国的科学和民族运动	292
第四十七章	美国和苏联的科学概况	298
第四十八章	科学和历史	303
附录：	人名译名对照表	307

第 一 章

导 言

我们今天所知道的科学，是人类文明普遍进程中一个比较晚的成果。在近代历史以前，很少有什么不同于哲学家传统，又不同于工匠传统的科学传统可言。但是，科学是源远流长的，可以追溯到文明出现以前。不管我们把历史追溯多远，总可以从工匠或学者的知识中发现某些带有科学性的技术、事实和见解；不过在近代以前，这些知识或服从于哲学传统，或服从于工艺传统的要求。例如，哲学的考虑就限制了古希腊人的重要科学成就，使他们的两个主要的天文体系都和古代人已知的观测事实有着矛盾。

科学主要有两个历史根源。首先是技术传统，它将实际经验与技能一代代传下来，使之不断发展。其次是精神传统，它把人类的理想和思想传下来并发扬光大。如果我们根据石器时代人类的工具发展的连贯性以及他们的葬仪和洞内壁画来看，可以说这两种传统在文明出现以前就已经存在了。在青铜时代的文明中，这两种传统大体上好像是各自独立的，一种传统由工匠保持下去，另一种传统则由祭司、书吏集团保持下去，虽则后者也有他们自己的一些重要的实用技术。

在往后的文明中，这两种传统大都是分开的，不过这两种传统本身也都分化了，哲学家从祭司和书吏中分化出来，不同行业的工匠也各自分开、自立门户。偶然的接近也有，特别在古希腊时期，但总的说来，一直要到中古晚期和近代初期，这两种传统的各个成分才开始靠拢和汇合起来，从而产生一种新的传统，即科学的传统。从此科学的发展就比较独立了。科学的传统中由于包含有实践的和理论的两个部分，它取得的成果也就具有技术和哲学两方面的意义。这样以来，科学就反过来影响它的根源，而且实际上后来科学对于那些离开它的直接根源最远的领域也都产生了作用。以上这些，再加上科学运动的内在发展，就是本书所要讲的内容。

第一部分

古代科学

第二章

巴比伦和埃及文明时期的科学

在最早的城市文明出现之前，人类就已经掌握了相当数量的技术、工具和技能。旧石器时代的人发明了形形色色的工具，用来制造用具和狩猎的武器；新石器时代的人则作出了最重要的革新，即定居的农业生产方式，时间也许最近也要在公元前 6000 年。石器时代的农业生产很快就消耗掉土壤的肥力，这个因素好象限制了多数新石器时代村社的规模和稳固性。在印度河流域、底格里斯河和幼发拉底河流域、尼罗河流域，这种限制就比较小些，因为河水一年一度的天然泛滥带来一层肥沃的新淤泥。在这些流域就有比较多的定居村社繁荣起来，它们排干沼泽，灌溉荒芜的土地，使固定耕作的面积有了相当大的发展。这些村社的规模不断增大，从村落发展为乡镇，从乡镇发展为城市，与此同时，由僧侣祭司统治的管理体制也发展起来，组织人们生活上的各种复杂活动。这样，在公元前 3000 年的一个世纪左右的时间里，在的底格里斯河和幼发拉底河流域以及尼罗河流域就出现了最早的一些城市文明。

这些最早的中东文明的工匠技术，比起较早的新石器时代的工匠技术来，有显著的进步。在公元前 4000 年时，底格里斯河和幼发拉底河流域的苏美尔人发明了犁，并且利用家畜来拖犁，从而由新石器时代人的小块耕作过渡到大规模田地上的农业生产。他们制造了用动物拖动的轮车，建造船舶，并使用陶轮来制造焙干的陶器。约在公元前 3000 年左右，苏美尔人在冶金方面已经达到了青铜时代的最高水平。他们懂得将某种矿石放在火中还原就能获得铜，铜能熔化并铸成各种形状的器物，铜也能和锡制得更硬和更易熔化的青铜合金。埃及人的生产设备也差不多，不过直到未开化的喜克索斯人入侵埃及（约公元前 1750 年）之前，埃及人尚未使用青铜和有轮子的运输工具。

这些工艺技术的产品是由祭司、书吏统治的组织掌握和分配的。由于祭司要处理的物资数量很大，种类又多，看来光凭记忆来记帐是不行的。因此祭司就把经手的产品在泥板上刻下记号，作为持久记录，再将泥板晒干和保存起来以备查考。这些记号包含数字以及所计数的产品略图。他们书写的这种泥板给我们提供了最古老的计数制和图画文字记载。苏美尔人的最早记录是在公元前 3000 年左右，记的只是寺庙中仓库里物品进出的帐目。后来的计数制和图画文字都变得固定化了，关于数学、天文、医学、神话、历史和宗教的文献也就开始出现了。

在文明的青铜时代，早期记录中的图画符号简化成表意形式，至于那些无法描绘的东西则用任意指定的办法来表达。这样的文字在中国还存在，中国的表意字的数目随着语言的发展而不断增加。在苏美尔，由于不仅用表意文字来代表它所描绘的对象，而且还用它来代表这个对象名称的声音，从而减少了符号的数目。由于采用这种办法，几个表意字合在一起就可以代表一个复杂的词或短语，这就使得许多符号都成为多余。在苏美尔的最早记录中，使用的符号约有两千个左右，但在公元前 2500 年左右时，符号的数目已经削减到六百个左右。与此同时，符号还进一步得到简化，最后变为楔形刻痕的组合，这就是楔形文字。在他们北面的闪族阿卡德人按照他们语言的发音，也采用楔形文字进行书写。直到希腊时代

之前，凡是在美索不达米亚建立统治的每个民族都是这样做的。

苏美尔的数字起初是用芦管划在泥上的痕迹来表达的。小于十的数字用芦管斜划的痕迹来记下，痕迹的数目等于要记下的数目，十位数和十的倍数则用芦管竖划的痕迹来记下。与这种十进制记数法并行的，还有一种以六十为基数的记数法。用一根小芦管来划个位数和十位数，再用一根大芦管斜划来记六十的个数，竖划则代表六百的个数。在公元前 2500 年左右，十进位计数法已废弃不用，并使用书写楔形文字的楔形尖笔来代替芦管。单独一个竖划表示六十的幂次——1、60、3600 等，而两个竖划形成一个角度的箭头记号则表示 10、600、36000 等。这些符号所代表的特定值是根据它们在一个给定的数字中的位置来定的，就同我们现在使用的印度—阿拉伯计数法一样。

在公元前 2500 年以前，苏美尔人已经制订了乘法表，他们用长乘宽来求得矩形田地的面积，又用长、宽、高相乘，来求得砖堆之类的体积。在计算圆的面积和圆柱体的体积时，他们取 π 值为 3，这可能是用直接测量的办法来决定的，为了简便起见就取了整数。

公元前 2000 年左右，苏美尔人被外族征服，他们便在历史上消失了，只有他们的语言和文字，和中古时代的拉丁文一样，作为传递知识和举行宗教仪式的工具被人们保留下来。当时美索不达米亚的统治者是闪族的巴比伦汉谟拉比（Hammurabi）王朝。他们设立了附属于寺庙的学校，专门培养祭司官吏。在那里数学得到进一步的发展，采用了苏美尔人表示整数的同样办法来记分数。用尖笔写的竖划现在不仅代表 1、60、3600 等，同时也代表 $1/60$ 、 $1/3600$ 等，箭头记号既代表 10、600 等，同时也代表 $1/10$ 、 $1/600$ 等。其他分数则分解成为这些以 60 为基数的几个分数单位，至于象 $1/7$ 、 $1/11$ 等不能这样分解的分数，则采取近似值如“四舍五入”的办法。

有了这些分数后，就可以用被除数同除数的倒数相乘的办法来作除法运算。为此人们制订了倒数表，但是象 $1/7$ 等难以处理的数的位置则是空着。数的平方表、平方根表和立方表也都有了，并用来解决二次方程和三次方程。在几何学方面，巴比伦人知道半圆的内接三角形是直角三角形，还知道直角三角形的所谓毕达哥拉斯定理，这不限于特殊事例，而是充分地掌握了这个定理的普遍性。巴比伦人的几何学同他们的算术一样，具有明显的代数性质，而且一律通过具体例子表达出来。从他们所使用的方法可以看出，巴比伦人已经知道几条一般性的代数法则，但是在叙述数学问题时，则只将方程式的系数写成特定的数值。

总的来说，埃及人在数学分面的成就不及巴比伦人。埃及人关于 π 有了更接近的值，即 $256/81$ ，但是他们只能解简单的线性方程，也不知道巴比伦人已经掌握的关于直角三角形的各种性质。埃及人没有发现用数字的位置来决定数字在数目中的值的办法，也不会将分数简化为约定的基数，这种简化手续在巴比伦人那里是和计数的位值制结合在一起的。大约从公元前 3000 年开始，埃及人使用以十为基数的计数法，个位数用重复一个笔划的办法来记下，到九为止，十、百、千则用其他符号表示，并且也用重复的办法来表示它们的倍数。这种计数法使计算工作很困难，就象类似的罗马计数法一样。

在天文学方面，埃及人的成绩也不如巴比伦人。可能是巴比伦人相信占星术的缘故，他们对于天象的观察很仔细，遗留下不少天文学纪录；埃及人的天文观测记录没有保存下来，但从棺柩盖上的铭文和所画的天象图发现，埃及人将天球赤道带的星分为三十六群。他们将一年分成以十天为周期的三十六段，每当一个星群在黎明前恰好升到地平线上时，就标志着十天周期的开始。埃及人

知道一年差不多是三百六十五天，因此在三十六个十天周期之外又加上五天。这个发现可能是将好多年来尼罗河每年定期泛滥之间相隔的天数加以平均而得出的，而埃及人就是以尼罗河泛滥作为新的一年的开始的。在公元前 2700 年左右，埃及人用天狼星的升起来调整他们的历法，这颗星在尼罗河泛滥期刚好在黎明之前升起来。

巴比伦人没有法定的记年。他们用太阴历计算时间，为了使这种历法同季节性的农业节日符合，他们就每隔几年再加上一个月。在公元前 2000 年左右，巴比伦人的一年是三百六十天，一年分十二个月，每个月是三十天。除了月份以外，巴比伦人还给我们提供了另一个时间单位，即星期。他们用太阳、月亮和五大行星的名字来称呼星期中的七天。将一天分成以二小时为单位的十二时，每小时分为六十进位的分，每分分成六十进位的秒，也都是他们创始的。此外，我们用来称呼各个星座的那些名称也都是巴比伦人取的，他们还将太阳在天球经过的赤道带中那些星座（黄道）画成同月份相应的十二群。

在美索不达米亚所进行的天文观测中，最精确的要算是行星的运动。早在公元前 2000 年，他们就注意到金星在八年中有五次回到同样的位置。从大约公元前 1000 年起，美索不达米亚人的观测就相当精确，而从公元前 700 年起，这种观测就被系统地记录下来。这就使他们对天文上的主要周期性现象（如行星的周期等）能计算出正确的平均值，对天文现象能作出准确的预测。例如，美索不达米亚人发现了“沙罗周期”，即日食每隔十八年发生一次。后来在公元前四世纪时，他们还发现了一种代数方法，能将复杂的周期性天文现象分解成许多简单的周期效应，例如，他们发现太阴历每月平均是二十九又四分之一天，而相对于这个平均数的偏离也是有规则的和周期性的。后来的希腊人把这种方法表现为几何形式，这在近代时期以前一直是分析天体运动的主要方法。

直到希腊时期以前，美索不达米亚人并不用几何方法来解释天文观测，因此，他们对于例如宇宙的空间特性等问题的看法始终是同他们的科学分开的。起初，美索不达米亚人设想天和地是浮在水上的两个扁盘，不过后来则将天想象为半圆的天穹覆在水上，水则包围着地的扁盘。天穹上面是更多的水，水外面是诸神的住处。太阳和其他天体都是神，他们每天从自己的住处出来，在静止的天穹上描出有限的轨道。诸神执掌着地上发生的事情，所以天体的运动被看作是诸神赋予世人规定的命运的种种朕兆。

在古埃及，人民对于宇宙结构等问题的看法也没有多大不同。在他们那里，世界好象是一只长方盒子，稍呈凹形的大地是盒子底，天是盒子的顶，撑在从大地四角升起四座大山顶上，形状是平的，或者有些拱起。环绕大地周围的是宇宙之河，尼罗河是宇宙之河从南方分出来的一个支流，流过大地中央。这条宇宙之河的河面并不比支撑天空的山顶低多少，所以可供每天越过天空的太阳神所乘的船行驶。太阳船总是尽可能地靠近大地这一边的河岸，所以在尼罗河泛滥时，船同大地的距离就比冬天的时候近，这样就用太阳的方位来说明了季节的变化。

这个世界都被想象为从原始的一团混沌的洪水中产生出来的。天、地、空气和其他自然界万物和自然力都被人格化为各中神祇，这些神祇是由混沌时期的阴神和阳神结合而生出来的。然后，那些比较年轻的各种自然力（或者神）就发出咒语和号令，继续做整顿宇宙的工作。在美索不达米亚的创世神话中，还叙述到一个较晚的时期，那时年轻的神用自己的体力去驯服自然，并同年长的混沌之神斗争。这类关于创世的神话好象是人类关于古代文明起源的讴歌式回忆。首先是原始的部落在克服洪水过程中夺回土地，他们还把繁殖后代看作是头等重要的

事。然后是由祭司控制的较复杂组织将工作继续下去，而祭司是通过发号施令来统治的。最后，在美索不达米亚出现了一批城市的统治者，或战斗的王侯，他们攻城掠地，用军队的力量来进行统治。但埃及人并不把战争或武力看作是治理世界的方法，他们的神很有威力，但并不强暴。国王的统治和对自然力的控制在埃及要比在美索不达米亚有把握得多。尼罗河每年的泛滥是有规律的，可以预计的。但底格里斯河和幼发拉底河的泛滥则是不能断定的，它使人们害怕，而不受欢迎。这种泛滥是混沌的再现。埃及的各个王朝时间都很长，其统治都遵循既定的法典，而美索不达米亚的各个王朝则是短暂的，制度不定，没有成规可循。在埃及，未来似乎是安定和可以预测的，但在美索不达米亚，未来就不大有把握，为了预测未来就要用占卜的神秘方法，譬如采用占星术或观察祭神牲口的肝脏等。

美索不达米亚人在天文学方面的成就所以较大，可能是由于他们对占星术的重视，但是埃及人在医学方面则更加在行。楔形文字的医学文献没有比公元前七世纪更早的，但埃及人关于医学问题的纸草书则可以追溯到公元前 2000 年，其中还含有伊姆荷太普（Imhotep）时代的更早材料。伊姆荷太普是公元前 2980 年左右的佐塞王（Zoser）御医和大臣。按照传统的说法，伊姆荷太普是埃及医学的奠基人，后来便被奉为神圣，成为医学的祖师爷。在古代的美索不达米亚，想来也存在着医生的职业，因为巴比伦的汉谟拉比在公元前 2000 年左右所颁布的法典中规定，对一次成功的外科手术付给 2—10 舍克勒白银的报酬（一个工匠在当时每年收入约为 10 舍克勒白银），但是手术失败了，就要将医生的手砍掉。

在埃及人和后期美索不达米亚人的医学文献中，用“妖魔”解释疾病的理论都很流行。疾病被人格化为一种邪恶的精灵，医生使用引起呕吐和腹泻或难受的药物，企图将妖魔从病人身上驱除掉。最早的埃及医学文献主要是开列各种药方，以供开业的医生使用，各种疾病只是含糊地提到一下，不作详细描述。公元前 1600 年左右的埃伯斯医学纸草书不同于其他医学文献的是：其中对约四十七种疾病作了描述，指出病人的症状，以及诊断与处方。晚期的文献则更加带有魔术的性质，描述怎样研究预兆来断定疾病的起因，而医治的办法则是如何将病人身上的妖魔吸引到一尊面粉塑的小像中去烧掉，或者是吸引到一头动物、油膏或符籙中去。

埃及人和美索不达米亚人在解剖学或生理学方面都没有文献留下来，不过埃及人从制作木乃伊的实践中一定具备一些解剖学知识。虽说如此，在埃及的象形文字中用来代表身体各种器官的符号，都是取自动物的解剖，而不是来自人体的解剖。这表明医生和制作木乃伊的人之间似乎没有什么接触。外科学看来也是一种独立的技术。在埃德温·史密斯所藏的公元前 1700 年左右的外科学纸草书中，其内容是对于外伤的一系列描述，从头部开始一直讲下去。里面开的医疗方法完全是实际的，在后面才加上一些魔术的方子。外伤病例的诊断分为三类：有希望的、不定的和无希望的。最后一类疾病是治不好的，“不应当处理”，这是一种在其他古代医学文献中找不到的诊断。

古代的文献有一个显著的特点，这就是直到相当晚的时期之前，都没有涉及化学方面。医学纸草书中提到的矿石化合物只是作为药物对待，一直要到公元后三至四世纪，在亚历山大里亚出现炼金术时，我们才能找到专门的化学纸草书。美索不达米亚的化学文献可回溯到亚述时期（约公元前七世纪左右）保存下来的一块公元前十七世纪的楔形文字竹简，内容涉及一种用铜染色的铅釉的制造。其文字及其晦涩难解，使用了苏美尔人的表意文字来暗示等同的闪族词，有人认为这表明铅釉在当时是一种晚近和很不寻常的发明，因此必须予以保存，也还需要

保密。后来的亚述化学文献则讲得比较直率，但常常提到采用流血和胎胞的仪式，认为它们对冶金术是不可少的，这也许表明他们把金属的生产看成是一种生育。

看来美索不达米亚和埃及的祭司、书吏所记载下来的，主要是他们在执行任务中自己发展的东西：数学是为了算帐和丈量土地，天文学是为了制订历法和占星求卜，医学是为了医治疾病和驱除邪魔。直到相当晚的时期，他们极少记载关于化学、冶金、染色等方面的知识，这类知识属于另一传统，即工匠的传统，他们的经验是口授下来的。僧侣传统和工匠传统之间的裂痕，在当时就被人注意到了。在公元前 1100 年左右的一份埃及纸草书上，一个父亲劝告他的儿子说：“要用心学习书写，这会使你摆脱一切艰苦劳动，成为一位有名望的官员。书吏不要参加任何体力劳动，他是发号施令的人。我看见过冶炼工人在炉前操作的情况，他的手指就象鳄鱼一样，身上的臭气比鱼子还难闻。我从没有看见过有哪个铁匠受到任命，也没有看见过有哪个铸工当了使节。”

也许是由于工匠传统和僧侣传统之间缺乏接触，它们都变得停滞不前，在青铜时代的全盛阶段很少发明出什么新的东西。祭司、书吏越来越依赖他们的先辈所写下的话，并且对越是古旧的本子越是重视。这种学究式的思想对于新发现的发展是不利的，实际上青铜时代的全盛阶段几乎没有出现什么新的发明。巴比伦的书吏将位值记数法推广到分数（约公元前 2000 年），埃及的工匠发明了制造玻璃的方法（约公元前 1600 年），但这个时期最重要的发明，即炼铁方法的发现和字母文字的形成，却是由那些处于青铜时代文明边缘的民族发明的。在公元前 2000 年时，居住在亚美尼亚山地的基兹温达部落发明了一种炼铁的有效方法，这种方法在公元前 1400 年后开始传播开来，到公元前 1100 年后已经尽人皆知了。在公元前 1300 年左右，腓尼基人发明了一种字母文字，或者不妨说发明了两种字母文字，一种来自巴比伦的楔形字母，另一种来自埃及的象形文字。第二种字母文字更适宜于在纸草上书写，而成为后来印欧文字和闪族文字的祖先。

铁和字母文字的广泛使用是使古代青铜时代文明解体的力量。有了字母文字之后，僧侣集团以外的人也能够读书写字了，工匠在他们制造的器具上留下的名字就说明这一事实。铁比青铜要多得多，甚至以前用木头制造的犁头也用铁来做了。铁制的武器使未开化的民族象希腊的部落那样有力量征服青铜时代的文化，并建立起新的文明。

青铜时代的文明从尼罗河流域与底格里斯河和幼发拉底河流域向外传播，一直包括从希腊大陆到伊朗北部的整个小亚细亚和中东的许多地方。在公元前 1000 年时，巴比伦接连不断地被侵略者占领，埃及则毁在自己的雇佣兵手中，最后这两个国家都在公元前 500 年并入波斯帝国。同样，在希腊大陆上青铜时代的迈锡尼文明也为古希腊人取而代之，而这些希腊人在当时还是未开化的部落。

第 三 章

苏格拉底以前的古希腊自然哲学

铁和字母文字的采用，为人类社会提供了新的机会，特别是使那些从事航海贸易，或者那些从野蛮时期直接进入铁器时代，从而在某种程度摆脱掉青铜时代文化传统的社会，充分利用了这些机会。伊特拉斯坎人和腓尼基人，那些从小亚细亚和中东向意大利和北非西移的民族，都是航海者，但是他们保留自己故土的一些青铜时代的传统，诸如观察祭神牲畜的肝脏作为占卜之用的风俗。罗马人和希伯来人是在铁器时代进入文明时期，但是他们主要是种地的，而不是航海者，所以在科学方面没有作出显著的贡献。

只有希腊人是直接从野蛮时代进入铁器时代的文明，并且从一开始就是从事航海的民族。希腊人对空间具有旅行家的感觉或几何感，而这是前希腊时代的定居农业社会和稍后与希腊思想隔绝的农业社会（例如中国的文明）所缺乏的。古希腊人也具有旅行家那种关于各种不同文化和传统的知识，这就使得他们能够从每一种文化和传统中吸取真正有价值的部分，而不刻板地遵循任何一种特殊文化和传统。

希腊的第一个自然哲学家是米利都的泰勒斯（Thales，约公元前 625—545）；人们归之于他的那些成就，就说明这些情况。据说他曾经经商到过埃及，在埃及获得了几何学的知识，还到过美索不达米亚，在那里学到天文学。相传他曾经预测过一次日食，尽管这种预测在那个时代是不可能的；还传说他曾经证明圆周直径把圆周一分为二，这条定理作为事实而为人们所知道。泰勒斯无疑曾经听到巴比伦人和埃及人关于创世的传说，而在这两种传说里，水都是原始的混沌状态，因为他设想万物都是从水产生出来的。他设想大地是一个浮在水上的圆筒或者圆盘，而且天上也是水，所以下雨。

在泰勒斯和其他爱奥尼亚希腊人的哲学里，自然界比在青铜时代的宇宙学里变得比较不那么人格化了。苏格拉底以前的希腊哲学家，倾向于把神从自然界中去掉，设想天体是坚固的物体，而不是有力的人性化的东西。在某种程度的配合上，和他们相近的同时代人，希伯来人亚摩士（Amos），波斯人琐罗亚斯德（Zoroaster）和印度人释迦，也把神和自然分开。这些宗教改革家把青铜时代给神规定的任务缩小了，他的职司是降雨和确保丰收，而且表明神主要关心的是人的精神幸福。因此那些旧的神都变得更加抽象和有灵性，正如希腊人的世界变得更加不是那样人格化而是更加物质化一样。

巴比伦人和埃及人曾经把水，后来又把空气和土，看成是世界的主要组成元素。第二个米利都派哲学家阿那克西曼德（Anaximander，约公元前 611—547）又加上第四元素火，并且设想在元素形成之前还有一种原始物质。四大元素由这种原始物质形成之后，就以土、水、气、火的次序分为四层。火使水蒸发，产生陆地，水气上升把火围在云雾的圆管里。人们眼中看见象是天体的东西，就是这些管子的洞眼，使我们能从洞眼中望见里面的火。藏有太阳的管子直径约为地球直径的二十七倍，藏有月亮的管子的直径为地球直径的十八倍。地球本身是一个圆筒，他的高度约为其宽度的三倍。天以地球为中心把它一层层包围起来，“就

象树皮一样”，地球则稳坐在中心，“因为它和万物都是同等距离”。阿那克西曼德深信生物从水元素中产生，而高级动物则是由低级动物发展而来：“生物是从太阳所蒸发的湿的元素产生的。人开头就和另一种动物，即鱼一样。”

第三个米利都派哲学家阿那克西米尼（Anaximenes，约公元前 550—475）把气或者空气看作是原始物质，并把其他元素说成是由空气组成。空气变得稀薄后就成了火。他的论证是，空气从嘴里呼出来是热的，而在压力下喷出来时则感到是冷的。同样，通过凝聚的过程，气先是变成水，然后变成土。这些元素之间的差异只是量变的结果，元素只是凝聚或稀薄到不同程度的空气。

这些米利都派哲学家用以解释世界结构和变化的比喻，和巴比伦人与埃及人用以解释世界结构和变化的创世故事迥然不同。希腊人从来不认为机体繁殖或者命令式的咒语是创造世界的本源，而比较多地用工艺过程来作比喻。阿那克西米尼把元素的形成过程比作和毛毡制作的过程一样：“云是象制毛毡一样由空气压成的，把云再进一步压缩就变成水。”阿那克西曼德把世界的形成看成是一种烹调过程，而火则是起促成作用的活跃因素。把火列为四种元素之一，这种做法本身就表明这些哲学家对工艺感到兴趣，因为用火不是他们而是厨师、冶金匠和制陶者所擅长的事情。

苏格拉底以前的哲学家和巴比伦人一样，都用侵犯和报复的比喻。巴比伦人曾经把火石发出火星，解释为神因火石侵犯到他们而对火石施加的惩罚。同样，阿那克西曼德把元素的变来变去和元素形成物体，也看作是侵犯和报复的过程：“而当东西变成那种形式之后，它们就消失了，这也是合理的，因为它们按时间的顺序相互赔偿和满足。”所以冬天冷得罪了热，到夏天热就对冷进行报复。万物都将消逝，因为一物出世，就得罪了现存的事物，因此必须对它进行报复。自然过程中存在着一种报复原则，这种见解是从人类社会的风俗习惯引伸出来的比喻，因为报仇的行动在法律的正当手续出现以前是经常采用的。由于这个原因，希腊语中“因”（艾其亚 *aitia*）这个词的古义就是“罪”。这种见解终于为自然界和人类社会一样是由法律统治的见解所代替了。

爱菲斯的赫拉克利特（Heraclitus，约公元前 550—475）广泛应用了报复思想作为解释世界秩序的原则。他设想这样一个原则统驭着天体运动、元素的相应变化和自然界所有的过程。报复是一种变的原则，而赫拉克利特所着重研究的就是自然界的变化过程，而不是世界的结构特征。他认为火是万物之本原和形象，燃烧的火焰象征着自然界中的普遍川流不息的现象和变迁。火是万物的基础，因此在自然界一切质的变化后面，由于受报复原则统治着，物体之间存在着一种量的连续性，由一种类似商业交易中使用的原则统治着：“万物都换成火，火又换成万物，正如货物换成黄金，黄金又换成货物一样。”

这种商业性的比喻，特别在它强调自然现象的量的特征方面，也有助于毕达哥拉斯派和原子学派体系的形成；这些学派都认为数的单位或者分立的微粒是宇宙的基础，就像铸币的定量单位为商业提供基础一样。据说毕达哥拉斯派哲学家他林敦的斐洛劳斯（Philolaus，约公元前 480—400）曾经讲过这样的话：“你可以看见数的力量不但在鬼神的事情上起作用，而且在一切人类行为和思想上，在一切手艺以及音乐上，都起作用。”

毕达哥拉斯（Pythagoras，约公元前 582—500）出生在萨摩斯岛，但是他离开自己的故乡到了意大利南部的希腊属地克劳东，在那里成立了一个献身于数学研究和宗教修养的秘密结社。这个结社里有男女社员，地位一律平等。一切财产都归公有。连他们在数学上的发见也被看作是结社的公共财产，不过对外界保

持秘密而已。可是毕达哥拉斯派到了公元前五世纪就分裂为科学派和宗教派，而他林敦的斐洛劳斯代表的科学派，就把毕达哥拉斯派的那些见解公布出来了。

在毕达哥拉斯派看来，数为宇宙提供了一个概念模型，数量和形状决定一切自然物体的形式。开头他们认为数是由单位点或者质点所形成的几何、物质和算术的实体。他们把这类单位点安排在各种几何图形的角上，称它们为三角形数、平方数，等等。这样，在毕达哥拉斯派看来，数不但有量的多寡，而且也有几何形状，而且他们就是在这个意义上把数理解为自然物体的形式和形象。

在数学上，毕达哥拉斯派发现他们的见解是自相矛盾的。那个用毕达哥拉斯命名的几何定理，表明直角三角形两边平方的和等于斜边的平方。在某些这类三角形上，斜边的长度是无法测量的，一个最简单的例子就是一个等腰直角三角形，

其斜边的长度是其他两边之一的长度的 $\sqrt{2}$ 倍。毕达哥拉斯派表明， $\sqrt{2}$ 既不能用整数表达，也不能用几个整数表达，而且由于他们对数量和数采取了原子的观点，就发现自己面临一个难关。这种进退两难的局面是以两种方式解决的，一种用数学方式，另一种用物理方式。用数学方式解决，只好基本上放弃算术办法，而把注意力集中在几何学上，因为 $\sqrt{2}$ 即使不能用一定数目的单位点表达，也可以用一条固定的长度表达。用物理方式解决，原子论者就放弃了毕达哥拉斯的单位点的数字性质，而去研究单位点的物理性质。

在毕达哥拉斯派看来，宇宙按照贵贱和完善程度的次序可分为三个部分。这三个部分是乌兰诺斯（Uranos），或地球和月层下面部分；考司摩斯（Cosmos），或以恒星为界的交界部分；奥林波司（Olympos），或诸神的居所。地球、天体和整个宇宙，是一个圆球，因为球形是一切几何立体中最完善的。宇宙中各种物体都作均匀的圆周运动，因为圆是完善的几何图形，而天体的运动越慢，它们的地位就愈加高贵和神圣。天体运动必须是均匀的圆周运动的假设，这个一直到近代都控制着天文科学的原理，为一个后期的希腊天文学家罗德斯岛的盖明诺（Geminus，约公元前70年）说明如下：

“第一个研究这些问题的是毕达哥拉斯派，他们提出了太阳、月亮和行星的均匀圆周运动的假说。他们认为拿神圣的和永恒的天体来说，设想他们的运动时而快，时而慢，甚至停止在所谓行星站上，都是不能容许的。即使是在人类活动的范围内，这样一种不规则性也是不合一个上流人士的从容举止的。而且即使生活上的一些生硬要求时常迫使人们有时变得匆忙或者彷徨，我们也不能设想星体的不灭本性会使它们碰上这种机会。由于这个理由，他们根据均匀的圆周运动假说来解释宇宙现象的问题。”

毕达哥拉斯派觉得日、月、行星在它们的各自周期中要由西向东环绕天层，同时每二十四小时要以相反的方向转动，这从唯美的角度看是不满意的。为了克服这种不满意的现象，并满足贱星体比贵星体走得较快的原则，斐洛劳斯就设想地球每天沿着由西向东的轨道围绕处于宇宙中心的火团走一圈。它在运动时总是以同样的一面朝着中心火团，就象月亮总是以同一面朝着地球一样。希腊是处在地球背着中心火团的一面。但是即使在朝着火团的一面，火团也仍是望不见的，因为在地球和火团之间另外还有一个叫“反地”的东西，它和地球运行得一样快，并且永远遮着火团。

毕达哥拉斯派提出的地球每日环绕火团的假说，说明了天层对于地球的表面上的周日运转，而且表明宇宙中所有运动着的天体都以同样的由西向东的方向环

绕中心火团，它们的周转期视天体的贵贱而增减。地球是宇宙中最贱的天体，所以每天绕火团一圈，月亮每月绕火团一圈，太阳是一年，行星的周期就更长，而那些恒星则是静止的。这样的见解要求地球每天运行一段固定行程时，恒星应当在薄暮和破晓之间改变它们相互的视位，除非恒星和地球的距离是无限远。毕达哥拉斯派认为天体和中心火团的距离和音阶之间的音程具有同样的比例，这就把恒星放在离地球的有限距离之内。可是恒星视差，即恒星相对视角方位的移动，当时并没有被人观察到，所以原来的毕达哥拉斯的世界体系还得加以修正。恒星不出现视差，意味着地球环绕中心火团的周日轨道，要比以前设想的小得多。根据上述的含义，两个毕达哥拉斯派学者，希克图斯（Hicetas）和艾克方杜斯（Ecphantus），同是叙拉古人，他们都假定地球处在宇宙的中心，并每天在地轴上自转，这一见解解释了不出现恒星视差的现象，并保持了毕达哥拉斯学说的主要轮廓。

意大利南部的毕达哥拉斯学派也有他们的生物学家和解剖学家。最早出名的有克劳东的阿尔克梅翁（Alcmaeon），其活动时期约在公元前五世纪。据说他曾经通过解剖发现把眼睛和脑联系起来的视角神经，和联系耳朵和嘴的欧氏管（Eustachian tubes）。阿尔克梅翁认为人和整个宇宙是在同一设计上建立起来的，人是整个宏观世界的微观缩影。这种见解成了毕达哥拉斯派学说的一个固定成分。

另一个受毕达哥拉斯派影响的哲学家，是西西里岛阿格立真坦的恩培多克勒（Empedocles，约公元前 500—430）。恩培多克勒认为万物都是四种元素在数量上不同比例的配合，就象一切颜色都是画家用四种不同数量的颜料调和起来的一样。使元素化合和分离的力量是爱和憎，这两种力都包含在元素固有的本性上。水和土联合一起，是因为它们都具有冷的性质，然而它们同时又是对立的，因为水性湿而土性干。同样，空气与火同是热的，但一个湿，而另一个干。还有，水与空气，土与火，都同时具有相同的性质，又具有相反的性质。

恩培多克勒对生物演化有一个古怪的理论，这说明毕达哥拉斯派即使在单位不一定具有数字意义时，也倾向于根据单位来考虑问题。恩培多克勒设想开头有动物和人身的各种部分，如眼睛、腿、臂、头等等，各自在单独游荡。这些单位部分由于爱的吸引碰巧合在一起，这就产生了现在的生物以及各种怪物。有些有许多腿，另外一些是人头牛身，但是这些都不能生育，而只有那些具有必要的生存属性的遗留下来：

“许多生物的族类过去一定不能继续传种：因为目前存在的任何一个物种开头出世时都靠策略或者勇敢或者速度保护和保存了自己。”

那些原子论者把单位的自然观更推进了一步，从生物界扩大到物理世界。早期的原子论者是米利都的留基伯（Leucippus，约活动于公元前 440 年）和阿布地拉的德谟克利特（Democritus，约活动于公元前 420 年），他们的贡献是不可分割的。他们相信宇宙间万物都是原子组成的，而原子是不可分的物质。宇宙间有无数的原子，并在一个无限的虚空中永远运动着。它们从亘古以来就已经存在，因为它们既不能创造出来，又不能毁灭掉。原子的大小、形状、可能还有重量，都各自不同。原子靠它们在虚空中的运动（多为漩涡式运动），把较大的一些原子赶到漩涡的中心，在那里就形成了地球。这种大的土原子相互连结起来，所以动作受到限制；它们只能跳动或振动。较细的水、气、火原子被赶进空间，产生一种环绕地球的漩涡运动，地球外面的大原子聚在一起形成湿块，靠它们通过漩涡时的运动变得干燥而且燃烧起来，这些就是天体。由于原子的数量无穷无

尽，而且它们运行的空间也是无限的，就出现许多世界，有些产生出来，另外一些则死亡掉。有些世界没有太阳或月亮，另外一些则有几个太阳和几个月亮，但是都有其开始和终结。和多数爱奥尼亚哲学家一样，德谟克利特认为地球是一个圆柱体，而不是如毕达哥拉斯派认为的一个圆球。

原子论者设想生命是从一种原始粘土中发展起来的，草木禽兽如此，人也如此。人是宇宙的缩影，因为人含有各式各样的原子。生命和灵魂就象火，因为它们都是由小的球形原子组成的。这种原子经常从人体中排出来，又经常从空气中为人所吸收进去，因此当呼吸停止时，生命就结束了。原子论者的宇宙论完全是机械的；万物都是预先决定的——“过去、现在和未来的一切事物都必然是预先注定的”。他们并不用人类目的、爱和斗争或者报复原则等比喻来解释世界的活动。在这一方面，值得一提的是和德谟克利特同时的阿布地拉的普罗塔哥拉（Protagoras）曾经提出这样的看法：犯罪者应当惩罚，这不是为了进行报复，而是为了防止继续犯罪。

早期的希腊医学主要有三种趋向。第一种，可能是最早的，是供奉医神伊司古拉比司的神庙医学。第二种是意大利南部毕达哥拉斯派的哲学医学。第三种是希波克拉底的比较实际的爱奥尼亚学派。希波克拉底的著作是希腊最早的医学文献，其年代开始于公元前四世纪。这些医学著作与其说是个人写的，还不如说是一个学派的集体著作，柯斯的希波克拉底（Hippocrates，约公元前 460—377）不过是这一派的一个突出的人物。这一学派把医学看作是一种艺术或者技术，而不像毕达哥拉斯派那样看作是一种理论科学，虽然他们也发展了自己的理论。他们创立了一种人身有四种体液的学说，这就是黑胆汁、血液、黄胆汁和粘液，四种体液调和，人就健康，任何一种多了出来，就使人生病。这种学说好象是根据观察血液中存在四种物质来的：一种黑色血块，代表黑胆汁；一种红色液体，相当于血液；一种黄色浆，亦即黄胆汁；一种纤维蛋白，则是和粘液有关系的。

第 四 章

雅典的自然哲学

雅典并不象爱奥尼亚群岛和意大利南部那些希腊城邦发展得那样早，不过它的文化却显得比较稳定和持久。那些爱奥尼亚城邦在公元前 530 年都被波斯征服了。几年后，米利都城完全摧毁。爱奥尼亚人的衰落使雅典间接得到好处，因为这样一来黑海沿岸和希腊殖民地的贸易就落在雅典的手中了。在政治上，雅典领导各城邦和波斯人进行的斗争，于公元前 490 年马拉松战役中在陆上击败波斯军队，十年后又在海上击败了波斯人。雅典的手工业发达起来了，特别是从梭伦（Solon，约公元前 639—559）执政时期起，根据普路塔克（Plutarch）的记载，梭伦颁布：除非父亲教给儿子学会一项生意，儿子就不需要奉养父亲。在这个时期，据说曾经出现过许多发明家；诸如斯基泰人安纳查昔司（Anarcharsis），就曾发明了风箱，并改进了铁锚和制陶的轮子；萨摩斯人特奥多鲁斯（Theodorus）发明了杠杆、三角板、车床、量尺和钥匙。当时的希腊语“Sophia”一词也仍旧用来指工艺技术，而不是指智慧。

在战胜波斯人之后，雅典进入了一个繁荣昌盛的伟大时期。伯里克利把米利都最后的一个哲学家阿那克西米尼的学生阿那克萨哥拉（Anaxagoras，公元前 488—428）带到雅典，以丰富城邦的文化生活。阿那克萨哥拉是一个典型的爱奥尼亚哲学家，主张地球是一个圆柱体，而不是如毕达哥拉斯派所认为的圆球。他还遵循自己学派的说法，声称他相信天体和地球的性质大体上是同样的，而不是如毕达哥拉斯派所说的那样神圣。泰勒斯曾经设想磁石有灵魂，因为磁石能移动铁块；阿那克萨哥拉也发挥了这种见解，把一切运动都归之于心灵或灵魂的作用。

他认为太阳是一块烧得又红又热的石头，比希腊大不了多少。月亮和行星也和地球一样，月亮上面也有山和居民。他是第一个设想月光是日光的反射的人，也是第一个用月影盖着地球和地影盖着月亮的见解来说明日食和月食的人。由于他否认天体是神圣的，阿那克萨哥拉被控亵渎神圣，亏得伯里克利的调解才得活命。

阿那克萨哥拉设想月亮上有山，表明他很仔细地观测了天象。到了他的晚年，雅典的天文观测就由默冬来进行；他在公元前 432 年的奥林匹克运动会上宣布发现人们所说的默冬章，即太阴周。这个周期是十九年，其太阴月是一个整数，所以这个周期可以很方便地用来调整历法。当时美索不达米亚的居民已经知道这种周期，并作为他们标准的历法周期，但是并没有为希腊人所采用。

雅典的社会到了默冬时期已经发达起来，并且逼使手工业和哲学传统分家。约在梭伦采取提倡手工业措施的二百年后，色诺芬尼（Xenophanes）写道：“人们称做的工艺在社会上被看成是一种耻辱，因此在我们的城邦里当然受到鄙视。”不但工艺如此，连运用工艺作为类比的老派自然哲学也被人瞧不起了。根据色诺芬尼的记载，他的老师苏格拉底（Socrates，公元前 470—399）认为“天文学浪费时间”。苏格拉底在世的那些年头，雅典走上了坏运，公元前 431—404 年的伯罗奔尼撒战争的结果，斯巴达人战胜了雅典人。所以在苏格拉底看来，哲学

家的主要任务是治理人和社会，而不是理解和控制自然。他排斥自然哲学，他自己关心的主要只是属于伦理和政治性的问题。

苏格拉底的工作由他的学生柏拉图（**Plato**，公元前 427—347）继承下来，可是柏拉图的头脑不像他的老师那样简单。柏拉图认为任何一种哲学要能具有普遍性，必须包括一个关于自然和宇宙的学说在内。这样一种学说可以从属于伦理学、政治学和神学，而且如果立说得当，还可以增加上述这些学科的说服力。柏拉图因此发展一种适合并属于他的政治见解和神学见解的自然哲学。普路塔克告诉我们，柏拉图使“自然规律服从神圣原理的权威”，从而使天文学的研究不沾染上无神论。

毕达哥拉斯派认为天体是神圣的和高贵的，他的运动是完全均匀的和圆周式的；柏拉图也发展了这种见解。他说：“所有我们希腊人都讲了关于那些伟大的神，太阳和月亮的种种谎言……我们说它们和其他各种星体并不走同样的轨道，并且称它们为行星或者浪游者。”相反地，他坚持说：“它们每一个都在同样的轨道上运行——不是在许多种轨道上，即在圆周上运行，那些变化都只是表面的。”柏拉图因此给他的门徒提出一个任务，去找出可以说明天体表面运动的那些特殊的圆周运动。这样做时，柏拉图并不想鼓励人们去观察天象；相反地，他只企图使天文学成为数学的一个部门。他写道：“天文学和几何学一样，可以靠提出问题和解决问题来研究，而不去管天上的星界。”可是他的门徒却从观测天象中寻找资料来进行计算。

柏拉图和希腊、巴比伦、埃及那些他的前辈一样，认为宇宙开头是没有区别的一片混沌。这片混沌的开辟不是象爱奥尼亚哲学家所想象的那样，是一个机械的过程，而是一个超自然的神的活动的结果。柏拉图的神不同于青铜时代的神的地方是，他并不通过有机生殖使宇宙安排就绪，也不是靠命令式的咒语，而是通过一个理性方案来实现。依照柏拉图的说法，宇宙由混沌变得秩序井然，其最重要的特征就是创造主为世界制定了一个理性方案；关于这个方案付诸实施的机械过程，柏拉图则不去管它，或者毋宁说，把它看成一种想当然的自然事件。这种见解贯穿着柏拉图的整个因果观。事情之所以发生，主要是因为有一个智慧的神为宇宙制定了理性目的和方案。自然的内在活动，即事件中由因到果的力的流动是无关紧要的，只在它遏制了理性目的实现时才需要加以考虑。这样一种对因果关系看法，说明这时工匠传统和哲学传统之间已隔开很远了。在哲学家的眼中，日常生活的行动主要依靠的是他制定的理性目的和方案；关于这些方案怎样被工匠付诸实施，哲学是不清楚的，而且看来对最后的结果并无影响。可是哲学家的方案并不总会开花结果。世界有它本身的自主活动，有时候遏制了人类的打算。自然界这种明显的残酷无情，柏拉图称之为“必然性”。这不是原子论者说的必然性，那种必然性的活动是碰巧的和任意的，没有秩序的，没有计划。柏拉图对“必然性”的看法和希腊人的“命运”观非常近似，是一种和微弱的人类目的和意图敌对的超人意志和目的。这表现了希腊人对其所生息的世界只能进行一定限度的控制。希罗多德（**Herodotus**）说过：“在所有使人类感到的痛苦中，最伤心的就是我们会意识到许多事情，但一点也不能控制它们”，这句话很好地表达了这种思想。

柏拉图的宇宙观基本上是一种数学的宇宙观。他设想宇宙开头有两种直角三角形，一种是正方形的一半，另一种是等边三角形的一半。从这些三角形就合理地产生出四种正立体，这就组成四种元素的微粒。火微粒是四面体，气微粒是八面体，水微粒是二十四面体，土微粒是立方体。第五种正立体是由正五面体形

成的十二面体，这是组成天上物质的第五种元素，叫做精英。整个宇宙是一个圆球，因为圆球是对称和完善的，球面上的任何一点都是一样。宇宙也是活的，有一个灵魂充溢全部空间，而且由于它是活的，所以在运动着。宇宙的运动是一种环行运动，因为圆周运动是最完善的，不需要手或脚来推动。四大元素中每一种元素在宇宙内的数量是这样的：火对气的比例等于气对水的比例和水对土的比例。万物都可以用一个数目来定名，这个数目就是表现它们所含元素的比例。

在所有的动物中，人最先出现，因为头是灵魂的器官，而且非常接近球形。人体的其他部分好像是为了防止头本身动来动去，这些部分也含有一个低级的灵魂管制人的情欲。别的动物都是人的退化，是人的灵魂投入低等身体的形状。男子在世时作恶，“转世时就该投生为女子”，而“四足动物则是对哲学一窍不通的人变的”。柏拉图揶揄爱奥尼亚哲学家说：“鸟是有害但是低能的人变的，这些人留心天上的事情，但由于脑筋简单，认为这些事情的最可靠的证据就是眼睛。”阿那克西曼德曾经设想人是鱼变的，柏拉图对他特别痛斥，说“第四种动物住在水里，这些是最没脑子的人变的”。这些话都是随便写的，但却表现了柏拉图的思想方式。根据同样精神，柏拉图假定有一个恶的世界精神，这个魔鬼代表的就是他的最大敌手原子论者的见解。

柏拉图哲学的影响非常之大，不过他的那些重要继承者并没有怎样发展他的见解，反而表现了一些分歧。便是他自己创办的学园里的学生，其中较著名的有克尼底斯人欧多克斯（Eudoxus，公元前 409—356）要从几何角度解释天体的运动，也就逼得要进行天体观测，而这种做法是柏拉图所痛恨的。欧多克斯是第一个把定量天文学和宇宙假说联系起来的人，这就使得天外观测在测定宇宙方位上起了一定作用。到了欧多克斯时期，巴比伦人已经发展了一种把天上的复杂周期现象分解为若干简单周期运动的方法。欧多克斯或者已经听说过这种方法，或者自己发展了这种方法，而且把这种方法从算术形式改变为几何形式。他给每一种简单的周期运动指定一个圆周，或者一个球形的壳层，以地球为中心，把这些球层合并起来就能相当合理地描述某一特定天体的复杂周期运动。每一个球层说明一种特殊的运动——一个球层描述天界的表面周日运动，另一些球层描述每月、每年或其他周期运转，还有一些别的球层描述另外一些周期现象。所有的球层都是同心的，以地球为圆心，而较低的球层转动轴则安置在更外面的球层的表面上。欧多克斯根据这个方式用二十七个球层解释了天体的运动，一个球层解释恒星的运动，太阳和月亮的运动各用三个球层解释，五个已知行星的运动各用四个球层解释。当观测资料积累得愈来愈多，而新的周期运动又被发现以后，这个体系就不得不加以扩大。欧多克斯的学生卡立普斯（Callipus，约公元前 325 年）给每一个天体加上一个额外的球层，使总数成为三十四，而亚里士多德进一步又增加了二十二个。可是同心球层的体系从一开始就招致了某些困难。它要求天体应当永远和地球保持同一距离，而人们早已知道金星和火星这样的行星看上去的亮度是时常变化的，这就意味着这些行星和地球有时靠近些，有时离开较远。再者，人们观察到日食有时候全食，有时候环食，这说明太阳和月亮离地球的距离也在变动。正如天文学家索西尼斯（Sosigenes，约公元前 45 年）指出的：

“欧多克斯一派的球层不能解释天象。不但不能解释在他们之后发现的现象，也不能解释在他们以前人们已经知道并被他们认为是真实的现象。”

欧多克斯体系的成就所以有限，是由于它有个先入之见，认为天体以匀速环绕在以地球为中心的圆周上运动。彭都斯人赫拉克利德（Heraclides，约公元前 388—315）曾企图克服欧多克斯体系的一些困难。人们观察到水星和金星这两

个行星从来没有离开太阳多远，因此赫拉克利德就设想这些行星沿圆周轨道环绕太阳，以此来说明这些行星的表面亮度变化。他还采纳了两个毕达哥拉斯派希克图斯和艾克方杜斯的见解，说地球每日在轴上自转以解释恒星天界的表观上的周日运转。赫拉克利德还进一步设想宇宙是无限的，每一恒星本身是一个世界，它也包括一个地球和其他星体在内。可是赫拉克利德的学说很少有人支持，柏拉图和亚里士多德的门徒都采纳欧多克斯的体系。

亚里士多德（Aristotle，公元前 384—322）的著作按照顺序排列，就可以看出他的哲学和柏拉图的哲学，在内容和方法上，越到后来分歧得越厉害。亚里士多德早期关于天界性质的著作，在方法上是思辨性的，在内容上属于欧多克斯体系，而他后期的生物学著作则比较密切地根据观察，而且含有不少的新资料。在天文学方面，亚里士多德创立了运行的天体是物质实体的学说，而不仅仅是欧多克斯所设想的几何结构。每一层天球层把它的运动直接传给下面的一层天球层，因此载有恒星的最外层天球层，通过在本身轴上的周日运转，使所有的球层和球层上所载的天体都随着它作周日运转。为了使一个天体所特有的运动不致传给直接处在它下面的天体，亚里士多德在载有行星的每一组球层之间插进若干“不转动的球层”。这些不转动的球层具有同样的运转轴，同样的速度，并且和推动处于它们之上行星运动的球层数目相等，但是以相反的方向运动；这样它们就抵消了上面那个行星所特有的一切运动，只把周日运动传给下面行星。在数学上，亚里士多德的体系和卡立普斯的体系相同，那二十二个“不转动的球层”在几何学上是多余的。

照亚里士多德的说法，最外层的恒星球层是由处在宇宙边缘的原动天或者不动的推动者推动的；原动天或不动的推动者统率着一切天球和整个宇宙。亚里士多德好象还设想每一个其他的天球也都有一个较次的不动推动者，执掌这个天球的特殊运动。推动者是有灵性的，推动者和天体的关系类似灵魂和身体的关系。行星的推动者和原动天的作用相反，所以诸行星有其和周日运动相反的由西向东运动。最外面的一个行星土星，在抵抗原动天的推动上感到最大困难，因此运转周期也最长，而最里面的星体月亮的运转周期则最短。这样一来，亚里士多德和柏拉图一样，按照天体的表面转动周期的长短来安排它们离开地球的序列，即月亮、太阳、金星、水星、火星、木星和土星。

亚里士多德设想天体和地球有迥然不同的材料组成。一切处在月层下面的东西都是由四种地上元素土、水、气、火组成的。天体是由第五种而且更纯洁的元素“精英”组成的。天体是不朽和永恒的，它们的运动也是如此，因此是均速和圆周式的。地球上有生与朽，因此地上的运动是直线运动，和地球上一切现象一样有其开始和终结。天体永远固定在它们指定的球层上，但是地上的物体则不然，它们总是不断地力图回到原位。土元素和水元素具有引力，总要趋向宇宙的中心。气元素和火元素具有轻的性质，使它们总要上升到高空中的原来位置。火和气是一种更高贵的元素，因此它的天然地位也要高些。同样，气比水高贵，水比土高贵。所有天体都比地上物体高贵，而且它们距宇宙中心愈远就愈加完善。月亮是最不完善的，这可以从它的斑驳表面看出来，而恒星天和原动天则是完善的，因为“包络的并属于极限的东西比完成了的东西更加优越”。

在物理学方面，亚里士多德认为各物体只有在一个不断作用着的推动者直接接触下，才能够保持运动。如果推动者停下来，或者和物体失去接触，物体就会立刻停止。这种推动者或在物体内部，如自动的生物那样；或在物体外面，如物体受外力推动或者拉引的那样。均匀的物体只能靠外来的推动而动，因为主动的

物体都必然是合成体，包括推动者和被推动者在内。由于这个缘故，一块石头从石炮里射出来，从来不是自动的。石头离开石炮时，空气为了防止形成真空，就从石头后面灌进来，以维持石头的运动。根据亚里士多德的说法，“真空”是不能存在的，因为空间必须装满物质。这样才能通过直接接触来传递物理作用。所以原子论者设想世界基本上由真空和原子组成，这就是错误的；空间必须是一个物质的连续体。关于合成的自动实体，他认为推动者比推动的物体尊贵而且具有灵性。亚里士多德指出：“任何合成物里面总有一个统治的和主动的因素”。这种见解和柏拉图的思想有联系，因为柏拉图认为“自然规定身体的职能是服从和受奴役，灵魂的职能是命令和作主。”一个均匀物体的动作就象车辆的动作一样，车辆离开牛或者牛停止拉车，车辆就停止了。一个自动体的各部分的关系，就象灵魂和身体的关系，又象当时雅典社会中哲学家和工匠之间的关系；哲学家的理性方案看来就是驱使工匠活动的动力。

亚里士多德和柏拉图一样，认为理性方案和目的是一切自然过程的指导原理。可是亚里士多德对因果性的看法比柏拉图的具有较丰富的内容，因为亚里士多德也接受古希腊早期对这个问题所表示的一些见解。亚里士多德指出，因主要有四种。第一种是质料因，即形成物体的主要物质。第二种是形式因，即主要物质被赋予的设计、图案和形状。第三种是动力因，即为实现这类设计而提供的机构和作用。第四种是目的因，即设计物体所要达到的目的。制陶者的陶土为陶器提供其质料因，而陶器的设计样式则是它的形式因；制陶者的轮子和双手是动力因，而陶器打算派的用处则是它的目的因。亚里士多德本人着重研究的是物体的形式因和目的因，他相信形式因蕴藏在一切自然物体和作用之内。开头这些形式因是潜伏着的，但是物体或者生物一旦有了发展，这些形式因就显露出来了。最后，物体或者生物达到完成阶段，其制成品就被用来实现原来设计的目的，或为目的因服务。

亚里士多德的这些见解，在他的生物著作里表现得最全面。他把五百四十种动物按照它们形状的等次分门别类，而且他一定曾经解剖过至少有五十种不同种类的动物来研究它们的生理构造，这在亚里士多德看来，就是表现了这些动物的形式因或设计目的。亚里士多德注意到有些动物的构造之间存在着某些联系，例如他说：“没有一个动物同时具有长牙和角的”，“我从来没有看见过一个单蹄兽长有两只角的”。他设想自然从来不做无意的事，因此野兽不需要兼有角和长牙来保护自己。亚里士多德观察到，反刍动物有一种多重胃，但是牙齿很不行，“由于自然一贯地从这一部分拿掉后，就会在另一部分加以补偿”，所以他设想反刍动物所以有一个复杂的胃就是为了补救它们不行的牙齿。

亚里士多德还考察了小鸡和其他动物在胚胎成长期中形态的发展，一个动物初生的成熟程度是他的分类法的一个重要标准。在这方面，亚里士多德指出，鲸鱼是胎生的，这使它近似哺乳动物，而不象产卵的鱼类。他在这方面还提出了别的很好的联系，例如他说：“长毛的四足动物胎生，有鳞的四足动物卵生。”在亚里士多德看来，雄雌在生育上各有不同的贡献，雌的提供实质，即质料因，雄的提供形态，即形式因。他说雄的是木匠，雌的是木材。

亚里士多德认为各种生物形成一个连续的序次，从植物一直到人逐渐变得完善起来。完善的程度主要分十一级，以胚胎的标准为别。最高级动物是热和潮湿的动物，都是胎生。另外一些潮湿的动物但不是热的，产生在雌性中发展起来的卵，如鲨鱼就是一种。热而干的动物，如鸟类，生产“完全的”卵，而冷和带土气的动物，如蛙，则产生“不完全的”卵。亚里士多德就是以这种方式把生物分

为等级，根据它们初生时成熟程度的表现，“按它们所感染的潜在性多寡而分高下”。这一级的最高动物和上一级的最低动物是直接衔接着的，所以“它们的连续性使它们的界限不易辨别”。

亚里士多德指出，一个生物的完美性从它的结构形式可以识别出来，但不是由这个形式决定的，因为一个有机体的结构是由它们的习惯和机能支配的。植物只能生长和繁殖，结构就比动物简单，而且变化较少；动物则不但生长和繁殖，而且到处走动并有感觉能力。根据亚里士多德的说法，一个有机体的习惯和机能，并由此连同它的结构和完善程度，都是由它的灵魂或多种灵魂的性质支配的。植物只有一个生殖的灵魂，担任生长和繁殖的任务，而动物则另外还有一个有感觉的灵魂，支配它的主动性和感觉能力。人不但具有生殖的灵魂和感觉的灵魂，还有一个理性的灵魂，理性灵魂的所在地是心，而不是以前哲学家设想的脑子。

亚里士多德在希腊科学史上标志着一个转折点，因为他是最后提出一个整个世界体系的人，而且是第一个从事广泛经验考察的人。以前的哲学家都是在脆弱的经验基础上建立他们的广泛理论体系；这个趋向，亚里士多德在他早期的天文学著作中也曾遵循过。他的后期动物学著作则包括有大量的观察资料，而他的后继者所发展的也是这种趋向。亚里士多德曾经和柏拉图的学园相对立，建立他的吕克昂学园，这个学园后来就由他的学生狄奥弗拉斯图（Theophrastus，公元前372—287）继续主持。狄奥弗拉斯图继续他老师的生物学研究工作，对多种植物进行描述和分类。他给许多植物取的名称在近代植物学里仍旧保存着，包括他创立的一些专用名词，如 **Carpos** 指果实，**Pericarpion** 指果壳。狄奥弗拉斯图觉察到高级植物的繁殖属于雌雄交配性质，但是这一知识在古代的后期失传了。

狄奥弗拉斯图反对在自然界中寻找目的因，主张科学关心的只是动力因。他建议科学家应当用工艺中所见到的那些过程说明自然现象，规定“我们必须一般地参考手工艺的方式来进行研究，并在自然过程和人工过程之间寻找类似之处”。狄奥弗拉斯图就是这样把闪电现象比作敲击石头发出的火花，并且设想太阳在破晓和薄暮时出现的红色，其原因和绿色木材燃烧时发出红色火焰和烟的原因差不多。

狄奥弗拉斯图之后，蓝普沙克斯人斯特拉图（Strato）从公元前287年到269年继续主持学园。斯特拉图不止观察自然，还对自然进行实验。他把一根木材在加热前后都称过，发现烧出来的木炭和原来木头一样大小，但是轻了。斯特拉图因此设想有物质离开了木材，留下许多小孔。在另一项实验中，他证明部分抽空的容器会吸进水分，这个现象他认为是水填满空气微粒之间空隙的结果。斯特拉图认为物体一般都由微粒形成，中间存在空隙。他论证说，如果中间没有空隙，光就不能透过水和空气，热也不会由一个物体传给另一个物体。

据说斯特拉图是亚里士多德《气象学》第四卷的作者，这本书是亚历山大里亚时期炼金术派以前的唯一研究化学问题的希腊著作。《气象学》内载有一切矿物源于地球内部蒸发出两种气体的学说。一种是烟气，具有热和干燥性质；另一种是蒸气或水气，既冷又湿。两种气体相互作用就产生各种各样的矿物，不能熔化的岩石、红色的颜料、含有较多烟气的硫和含有较多水气的金属。

斯特拉图之后，雅典的科学就很少有什么重要的成就。希腊的科学的主要中心转移到别处去了，主要是亚历山大里亚。萨摩斯人伊壁鸠鲁（Epicurus，公元前342—270）在雅典重新恢复了原子论，但是他主要是利用这个学说和宗教作斗争。月亮是自己发光还是反射太阳光的问题，他认为并不重要，主要的是强调月亮是和地球一样性质，而不是神圣的。和伊壁鸠鲁相反，斯多噶派特别是芝诺

（Zeno，约公元前 336—264）和阿苏斯人克利安西（Cleanthes，公元前 300—225）则强调天体神圣说，认为天体控制地上人类的命运。斯多噶派采纳了人是整个宇宙缩影的见解，并设想世界不论大小都由一个绝对力量统治着。宇宙的统治力量是太阳，而不是亚里士多德派所认为的原动天，因为太阳是大宇宙的器官，等于心脏是小宇宙（即人）的统治力量一样。这样一种导源于古代美索不达米亚专制主义的见解，在希腊新兴帝国时期和后来的罗马帝国时期，是有相当吸引力的。

第 五 章

亚历山大里亚时期的古希腊科学

在亚历山大大帝征服许多国家之后，古希腊科学的主要中心就从雅典转移到亚历山大里亚。这时雅典人已经变得很迷信，或者玩世不恭，如我们看到的斯多噶派和伊壁鸠鲁派那样。雅典人在公元前 404 年被斯巴达人击败，又在公元前 338 年被马其顿的腓力普击败，这样就丧失了他们早期的活力，而仅能保持其早期的科学成就。雅典的最后一个伟大科学家亚里士多德原来就是马其顿人，他的学生亚历山大大帝又继续他父亲腓力普的壮志，征服了许多国家。公元前 334 年，亚历山大渡海侵入小亚细亚，在击败一支波斯军队之后，进占埃及。他于公元前 332 年在埃及建立了亚历山大里亚城，来自蒂雷和西顿等腓尼基城市四面八方的贸易使亚历山大里亚繁荣起来。次年亚历山大从埃及出发，征服了美索不达米亚和整个中亚细亚，一直达到印度河和旁遮普河流域。

亚历山大在他所有的远征中，都随军带着工程师、地理学家和测量师。这些人绘制了征服国家的地图，记载下这些国家的资源，搜集了大量关于自然历史和地理的观察资料。狄奥弗拉斯图在他的植物等著作中就利用了这些观察资料，而亚里士多德的另一个学生第凯尔库斯（Dicaearchus，约公元前 355—285）则利用这些地理知识绘制了一张已知世界的地图。第凯尔库斯是第一个在地图上划了一条纬度线的人，这条纬度线从直布罗陀海峡划起，沿着托鲁斯和喜马拉雅山脉，一直到太平洋。这样，亚历山大军队所搜集的资料，为亚里士多德生时就已出现的那种思辨倾向转入经验考察的趋向，提供了条件和可能。往后我们还会看到，在拿破仑征服了一些国家之后，法国科学也表现了一种由理论重新转入实用的类似倾向。

当希腊人拿下了美索不达米亚之后，巴比伦的天文学和数学全部被希腊人弄清楚了。这时希腊人就采用了六十进位，不过由于他们用字母代表数字，他们也就错过了巴比伦关于位值制的发现。他们接受了美索不达米亚人的代数学。在解二次方程时，希腊人显然采用了巴比伦人的方法，用平方系数来乘，而不是象我们那样来除。一个新的巴比伦占星术浪潮这时也传到希腊，这种思想表现在斯多噶派哲学里，就成了人的命运是由星辰注定的。罗马人这样看中斯多噶派哲学，这也是因素之一，因为罗马人对巴比伦的占星术和用肝脏占卜早就熟悉，他们是从发源于小亚细亚的伊特拉斯坎人那里学来的。从巴比伦人那里还传来了关于地球外围天体正确次序的知识。早期的希腊人认为月亮离地球最近，其次是太阳，而后才是各个行星。后期的希腊人知道月亮最近，其次是水星，然后是金星、太阳、火星、木星、土星，最后是一些恒星。西塞罗告诉我们，斯多噶派的巴比伦人第欧根尼（Diogenes，约公元前 160 年）第一个教人以上述次序，这是他从美索不达米亚带来的。希帕克（Hipparchus，公元前 190—120）测算分点岁差，可能也是利用巴比伦人的观测资料，因为巴比伦人吉旦那斯（Kidnass，约公元

前 340 年) 很早就发现这种现象了。

亚历山大大帝在公元前 323 年逝世后, 他的帝国崩溃了。埃及被他的大将托勒密占领, 托勒密和亚历山大本人一样, 也师事过亚里士多德。托勒密任命后来主持亚里士多德吕克昂学园的斯特拉图做他儿子的教师, 并在亚历山大里亚建立缪司 (Museum) 学院, 这是一个以学园为范本的科研和教学机构, 但是规模宏大得多了。学院有上百个由国家发给薪金的教师, 有一个拥有五十万卷图书的图书馆, 还设有一个动物园, 一个植物园, 一个天文台和许多解剖室。学院持续了约有六百年之久, 不过它从创建开始的二百年中是科学上最重要的时期。当托勒密家族变得愈来愈埃及化之后, 他们对科学也就愈来愈不重视了, 托勒密七世 (公元前 146—117) 甚至迫害亚历山大里亚的希腊籍人。因此在古代被认为是最伟大的天文学家尼西亚人希帕克, 在这个时期就在 Rhodes 岛居住和工作。另一个中心是柏加曼, 盖伦就是从那里来的。在柏加曼, 兽皮被制成羊皮纸供书写之用, 因为托勒密家族禁止纸张出口。最后还有叙拉古也不亚于上述两个中心, 阿基米德主要就是在这里进行工作的。

希腊科学的新经验主义和实用倾向, 表现在亚历山大里亚涌现了一批真正的工程学家。早期的希腊工程师曾经在工艺上达到一个很高水平, 但是他们没有留下任何书面记载。在毕达哥拉斯时期, 一个麦加拉人的工程师欧巴里诺司 (Eupalinus), 替萨摩斯的暴君波里克拉底斯开了一条地下水道, 从两头开起, 抵达中段时相差只有两呎。这种操作所需要的几何学原理第一次为亚历山大里亚的工程师希罗 (Hero, 约公元 100 年) 加以描述, 不过在毕达哥拉斯的时期一定早已为人们熟悉。亚历山大里亚的工程学派据说是由克达席布斯 (Ctesibius, 活动于公元前 285—222) 创立的, 他是亚历山大里亚一个理发师的儿子。他的著作都已失传, 不过曾经为比他年轻的同时代人拜占庭的斐洛加以描述。据说他曾经发明压力泵, 并且造过一架水风琴和一只有机动作的水中。克达席布斯和斐洛设想压缩空气或者金属弹簧的弹力可以用来作攻城的石炮, 而不用螺旋索或者皮带, 因为这些东西容易受潮。可是复制出来的这些模型表明, 这些建议是行不通的。斐洛和希罗 (他们大概生活在公元前 100—公元 150) 的工作主要是研究三个主要项目: 军事工程、科学仪器和机械玩具。他们除掉测量以外, 在土木工程方面涉及的并不多, 在工艺问题上也是如此。那些描述到的仪器有水中, 那是为了在夜间报时用的; 有示度计, 这是经纬仪的前身, 为测量用的; 以及测算距离的计距器。

这个时期的希腊人里面, 有些把工程学和科学联合起来了, 其中最著名的是叙拉古的阿基米德 (Archimedes, 公元前 287—212)。阿基米德到过亚历山大里亚, 据说他住在亚历山大里亚时期发明了阿基米德式螺旋提水器, 今天在埃及仍旧使用着。他确是一个精巧的技工, 因为根据西塞罗的记载, 他曾做过一具行星仪, 包括有太阳、月亮、地球和五大行星的模型, 把天体的表面运动复制得相当详细, 连日月食都可以表现出来。阿基米德发展了天文学测量用的十字测角器, 并制成了一架测算太阳对向地球角度的仪器。这个仪器是用一只圆盘和一根与圆盘面成直角的量尺制成, 圆盘可以沿量角滑动。在清早, 太阳可以用肉眼望得见时, 他就把圆盘沿着尺移动, 直到圆盘刚好遮着太阳为止。圆盘直径和圆盘尺上离眼睛距离的比例, 就是太阳对向地球的角度。阿基米德的浮力和相对密度原理, 又一次证明他的研究工作具有实用的特点。根据传统的说法, 他发现希艾罗王的王冠比同重量金子的排水多, 证明铸金匠人用轻金属在王冠里掺了假。直到阿基米德的时候为止, 希腊人总是把物体的重量看作和他的体积成比例的。阿基米德

证明情形并非如此，有些物体的密度要比另外一些物体的密度高。

阿基米德在他的著作里，把科学知识说成是根据自明公理演绎出来的一套理论体系，就象欧几里得的几何学一样。可是他很可能先是根据实验取得一些成果，然后再从假说的公理演绎出这些结果来，因为他在自己的《方法论》一书中告诉我们，他在研究面积和体积时，总是先作一种思想上的“实验”。他想象把均匀材料切成一定形状的平面物体通过称量，以测量它的面积，这样就对它们的关系有所了解，然后再从数学上进行证明。在几何学上，他创立了一种求 π 值的方法，即圆周的周长和其直径的关系。一个正多边形的周长和通过其中心的对角线的比例，是很容易求得的；现在阿基米德证明把这个多边形画出来并使它环绕一个已知的圆周，就可以求得 π 的数值达到所要求的任何精确程度。

在亚历山大里亚，古代名声最大的数学家雅典人欧几里得（Euclid，约公元前330—260）把几何学系统化了。他的《几何学原理》看来很少是他自己的立说，而是他把许多分散的定理和证明从各个方面搜集拢来，编为有条有理的课本形式。另一方面，亚历山大里亚的第一个著名天文学家，萨摩斯人阿里斯塔克（Aristarchus，约公元前310—230），则提出了可能是亚历山大里亚时期最有独创性的科学假说。据阿基米德的记载，阿里斯塔克认为地球每天在自己的轴上自转，每年沿圆周轨道绕日一周，太阳和恒星都是不动的，而恒星则以太阳为中心沿圆周运转。阿里斯塔克叙述这种理论的著作，如果曾经写下来的话，也已经失传了，不过他的学说在当时好象很有名，因为根据普路塔克的记载，斯多噶派哲学的领袖克利安西曾经说过应当控诉阿里斯塔克亵渎神圣之罪。阿里斯塔克《论日月的体积和距离》一书现在还流传下来。这部著作在科学上是第一次试图测量日、月和地球之间的相对距离。阿里斯塔克设想在上下弦即月半圆时，日、月和地球应当形成一个直角三角形，通过测量日、月和地球之间的角距，就可以测算太阳和月亮的相对距离。他量出的角度是 87° ，根据这个数字他就算出太阳和地球的距离是月亮和地球的距离的十九倍，不过实际上这个角度，即日、月和地球距离的比值，还要大些。由于月亮在日食时平均算来都刚好遮着太阳，所以阿里斯塔克设想太阳的直径是月亮直径的十九倍。他在月食时又计算了地球影子的宽度，亦即地球的大致直径，等于月亮直径的三倍。这样，他就论证说，太阳的直径一定比地球的直径大六倍到七倍。

为了对太阳和月亮的绝对大小和它们与地球的距离进行测算，就先要量出地球的大小。这种测算首先是由昔兰尼人埃拉托斯特尼（Eratosthenes，公元前284—192）第一次进行的；他当时是亚历山大里亚缪司学院的图书馆馆长。他注意到太阳夏至日那天在塞恩时直接照在我们头顶上，而在亚历山大里亚的日光则离开垂直线有七度，这个数值是从一根有一定高度的杆子所投出影子的长度计算出来的。埃拉托斯特尼计算亚历山大里亚在塞恩正北面五千希腊里，因此地球的周长是二十五万希腊里。关于希腊里的计算各有不同，但如果十希腊里等于一英里的话，那么埃拉托斯特尼算出的地球两极直径就比我们现在算出的数值只短五十英里。

埃拉托斯特尼还发展了数学和天文的地理学研究。他的前辈曾提出地球是一个具有两极和一条赤道的圆球，他把这些见解收集拢来，画出一张当时所知道的地球情况的地图，上面画有经纬线，并标志出五个地带：两个寒带、两个温带和一个热带。他的经度的基本子午线在亚历山大里亚和塞恩之间，并认为这条线经过拜占庭。他把 36° 线称作为纬度的基本平纬圈，它经过直布罗陀海峡和罗德岛。沿着这个平纬圈，他认为陆地延伸到七万八千希腊里远，从大西洋一直到

太平洋，余下的都是海。根据斯特拉波的记载，埃拉托斯特尼认为“如果不是由于广大海洋的间隔，人们就可以沿着同一平纬圈从西班牙航行到印度”，因为大西洋和印度洋的潮流方向一样，表明它们是连接的。

阿利斯塔克设想的日心说世界体系，是企图克服欧多克斯体系本身带来的困难，这些我们前面已经提到过了。阿利斯塔克的见解当时没有被人接受，因为希腊人一般都摆脱不掉天地迥别的见解，天地不但组成质地不同，所遵循的规律也不同。这种见解就必然产生卑下的地球处于宇宙不动的中心，而比较完善的天体则以均速的圆周运动环行于较纯洁天界的看法。在阿利斯塔克之后，希腊人在克服欧多克斯体系局限性上所做的一切努力，都保留了这种见解。柏加的阿波罗尼（Apollonius，约公元前 220 年）设想出一种几何结构，可以用来解释行星和地球的不同距离。他指出如果行星沿圆周运动，而本轮的中心则在另一个圆周均轮上面，而均轮的中心则是地球，那么行星和地球的距离就会有所不同；通过适当选择一些圆周，行星的运动就可以从数量上得到说明。另一个办法是设想天体运行的轨道都是偏心圆，轨道的中心离开地球中心有一定距离。

这些本轮和均轮的设计都被天文学家尼西亚人希帕克采用了，他是在罗德岛上居住和工作的。希帕克用一个固定的偏心圆轨道解释太阳的表面运动，并用一个移动的偏心圆轨道解释月亮的运动。行星的运动则用一套本轮来解释。希帕克的最大贡献是在观测天文学方面。他收集了以前希腊天文学家以及巴比伦人所作的观测记录，并加以比较，有些可靠的记录可以追溯到公元前七世纪。这样做了以后，他发现回归年，即太阳回到同一的二分点所需要的时间，比恒星年即太阳回到恒星间同一方位的时间要短一点。这里的差异，即分点岁差，他估计为每年约合三十六弧秒，而现代的数值约为五十弧秒。希帕克看出，为了进行这类观测，需要为将来的天文观测家绘制一张星体方位表。因此他就测定了大约 1080 个恒星的方位，根据它们的亮度分为六级。希帕克还继续做阿利斯塔克测定太阳和月亮大小和距离的工作。他通过观测月亮在两个不同纬度的平纬度，发现月亮距离地球约为地球直径的三十六倍，这个数字比较大一点，但是比阿利斯塔克根据月亮对地球上一个观测者的张角所测定的九倍地球直径数值就要改进得多了。

希帕克在罗德岛的工作为阿巴米亚人波昔东尼斯（Posidonius，活动于公元前 100 年）和他的学生罗德岛人盖明诺（活动于约公元前 70 年）继承下来。波昔东尼斯测量了罗德岛和亚历山大里亚之间的距离和纬度差，重新测定了地球的体积。他得到的地球周长是一万八千希腊里，比埃拉托斯特尼得出的数值要小，但为古代最后一个杰出的天文学家托勒密所采用了。因此成为公认的数值。克罗狄斯·托勒密（Claudius Ptolemy，公元 85—165）于公元 127 年和公元 151 年间在亚历山大里亚进行天文观测。他的测定据说不及希帕克的观测准确，有一弧度的四分之一的差误，而希帕克的测定则精确到不到一弧度的六分之一。可是他测算的月亮离地球的平均距离（29.5 倍地球直径）则比希帕克的（30.2 倍地球直径）比较接近现代数值。托勒密采用并发展了希帕克的偏心圆和本轮体系来解释天体的表面运动。这时已经知道天体的周期运动是很多的，因此需要用到近八十个圆周来解释它们的运动。托勒密本人作了一项发现，表明这种体系不可能具有客观的实在性，而且看来他本人可能就把这套办法看作是为了数学上的方便才这样做的。他发现月亮的运行还存在有第二种不平等现象，即出差，因此又给月亮轨道加上一个本轮来说明这种现象。这个本轮使月亮离地球的距离可以相差到 $1/2$ ，从而使月亮的视面积产生 $1/4$ 的变化，而这种差异是没有观察到的。

托勒密还进行了古代最后的一项重要地理学工作。希帕克曾经设想重要城市

和沿海岸据点的经纬度应当加以测定和收集，俾能制成地图。这样一个计划由第拉人马里诺（**Marinus**，约公元 150 年）做了一部分，他的工作被托勒密接收过来并完成了。托勒密有地理学著作八卷，其中六卷都是用经纬度标明的地点位置表。可是他的多数地点位置好象都是根据他的本初子午线和用弧度表现的平纬圈之间的距离来计算的，因为他的经度没有一个是从天文学上测定，而只有少数纬度是这样测定的。托勒密采用了波昔东尼斯测定的地球周长的较小数值，这就使得他所有用弧度表现的陆向距离都夸大了，因为他把每一弧度的距离定为五百希腊里，而不是六百希腊里。这样一来，从欧洲到亚洲横贯大西洋的洋面距离，看上去就比埃拉托斯特尼的计算小得多，而这项计算最后还导致了哥伦布从西面驶往亚洲的企图。托勒密比他的先辈对世界情况熟悉得多。埃拉托斯特尼的地图东面只到印度的恒河为止，但是托勒密知道有马来半岛和蚕丝之国，即中国。

生物学在亚历山大里亚的遭遇和物理学、数学的遭遇也差不多。公元前三世纪在早期那些托勒密家族统治下，医学和生物学领域都曾出现过活跃局面，后来在公元第二世纪罗马人统治下又出现过一次；这中间，生物学还在别处兴盛过一个时期。亚历山大里亚最早的医学大师是凯尔昔东人希罗费罗斯（**Herophilus**，约活动于公元前 300 年）；他是第一个公开进行人体解剖的人。他看出脑是智力的来源，而亚里士多德则认为是心；而且他把神经和动作与感觉的机能联系起来。希罗费罗斯是第一个区别静脉和动脉的人，看出动脉有搏动，而静脉没有。他的年轻的同时代人开俄斯岛人埃拉西斯特拉托（**Erasistratus**，活动于公元前 300—260）探索了静脉和动脉在整个人体内的分布情况，包括细脉管在内，直到肉眼所能见到的为止。他对神经系统，也作了同样的探索，特别集中在大脑的解剖方面，并把人脑沟回的复杂性和人类的高级智慧联系起来。埃拉西斯特拉托和他在亚里士多德学园的老师斯特拉图一样，多多少少是一个实验主义者。他把鸟关在笼子里，看出鸟在两次喂食期间连续丧失重量。他对自己老师研究过的呼气问题也感兴趣，极其重视空气在生理学上的作用。斯特拉图曾经证明局部真空能吸引液体，反之液体也能吸引空气。埃拉西斯特拉托同样设想，空气是在血向下流进身体时被血吸进去的，而在血重又上升时就把空气排出来。他觉得动脉在正常情况下装满了空气，或者毋宁说空气被转变为一种活力灵气，原因是他发现死去动物的动脉管是空的。他认为活的动物的动脉管割破后，空气就逃走了，接着血就出来。空气进入人体，由肺部引进心脏，在心脏里变为活力灵气。活力灵气由动脉输到全身，一小部分活力灵气到了大脑里，在大脑里变成灵魂灵气，它由神经分布出去。

亚历山大里亚学派到了公元前二世纪就衰退了，这时医学也就到别处去安家落户，主要是小亚细亚大陆。彭都司王的御医克拉居阿斯（**Crateuas**，公元前 120—63）收集和描述了许多药用植物；他是第一个将自己收集和分类的植物加上插图的。希吉姆人阿波罗尼（**Aporronius**，约公元前 100 年）差不多在同时绘制了外科操作和包扎方法的简图。后来，尼罗帝军队中的一个军医，安那高巴的底奥斯可里底斯（**Dioscorides**，约公元 50 年）写下他的《药剂学》，一部论述药物和提炼药物所用植物的著作，也按照克拉居阿斯的方法附有插图。

古代最后一个著名的从事医学著述的人是盖仑（**Galen**，公元 129—199），他是柏加曼一个建筑师的儿子，在柏加曼建立了一个藏有许多羊皮纸手稿的大图书馆，因此成为一个重要的学术中心。盖仑先在这里学医，后来又游历亚历山大里亚和其他医学中心，最后在罗马定居下来，当上罗马皇帝马可·奥里略和维卢斯的御医。盖仑解剖并考察了死的和活的动物，不过没有解剖人体。他把一段活

的动物的动脉管扎起来，使血管里的东西不向外流，然后切开脉管，发现脉管里是血而不是空气，以此证明埃拉西斯特拉托在动脉液的问题上搞错了。盖仑的解剖学研究是根据解剖林居猕猴来的，这种林居猕猴生理构造很象人，但也有很大的不同，以致在后来的学者中间引起混淆。他关于人的生理系统见解主要是根据埃拉西斯特拉托早先提出的体系，不过又吸收了希波克拉底的四体液说和亚里士多德关于人的性质的见解。

亚里士多德曾经把地上生物分为三个类型：植物型，靠生殖灵魂表现出生长活动；动物型，靠感觉灵魂自己走动；人型，靠理性的灵魂表现出智力。人类三种灵魂都有，动物具有前两种灵魂，植物只有生殖灵魂。盖仑设想这三级活力都位于某个内部器官里，而且都发源于一个共同活力——纽玛，或者说灵气。当时占统治地位的斯多噶学派，认为空气是宇宙的呼吸和灵魂，不仅广大的宇宙，而且人这个微型世界就是靠空气维持生命的。因此呼吸的作用把人和宇宙灵气联系起来，并通过吸进空气中的灵气部分，即纽玛，而恢复人的活力；纽玛本身就是气火参半的东西。

盖仑把人的三级活力的基础分别放在消化系统、呼吸系统和神经系统里。他认为摄进食物的有用部分以“乳糜”形态从营养道通过脉门转到肝脏，再变为深色的静脉血。食物无用的部分则到了脾里，再变为黑胆汁。肝是成长生命的本部，管理身体营养和生长的自然灵气就在这里准备好并注入静脉血。静脉血由它的推动者，即自然灵气，从肝脏以大体上单程的运动转到右心室。盖仑知道心房瓣只容静脉血流入右心室而不能倒流，而左心室的血则只能流进动脉而不能流回。可是他认为心房瓣不够完善，因此有一小部分静脉血从右心室倒流到静脉里，和一小部分动脉血从动脉回流到左心室里。但是，和传统的对他的著作的理解相反，盖仑并没有认为静脉和动脉血液有大量地反复流动。除掉流返静脉的少量血液外，右心室的血或者通过心室的分壁，即隔膜，转入左心室，或者通过肺动脉转到肺里。在左心室里，静脉血的烟气和废物被分出来，并通过肺静脉排除到肺里。通过同样的途径，空气从肺里通过左心室，在左心室里把空气里的纽玛分出来并作为活力灵气注入血液。这样制成的鲜红的动脉血然后由它的推动者活力灵气带进动脉，再通过动脉传到身体的各个部分，从而使它适合于作动物的各种活动。有些动脉通到脑子下部的细血管网，亦称迷网（rete mirabile），在这里活力灵气就转变为灵魂灵气（从灵魂 *anima* 而来）。这种灵魂灵气接着分布给神经（神经被认为是许多空管子），从而使身体各部分有了感觉。

从专业的角度看，盖仑的体系在好几个方面都是错误的。他认为心是负责呼吸的，心脏扩张时吸进空气，心脏收缩时排出空气，实则心的跳动常比呼吸率快得多。隔开左右心室的板，即隔膜，是一块硬肌肉，不允许血液通过，正如他的十六世纪批判者维萨里指出的那样。还有，迷网虽则在盖仑研究的反刍动物中找到，但在人体内是找不到的。盖仑在观念上是奉行希腊人的那种先入见解，即地球上的运动是直线的，圆周运动是天体所特有的运动。这种见解遏制了血液循环的思想。同样，他认为血液分两种，各有其本身的不同职能，一种是推动者，一种是分布体系，也是受到这种见解的影响。

盖仑的学说影响极大，一直到近代为止都统治着医学界。他的著作比古代其他任何一个作者的著作保存下来的都要多——他的一百三十一部医学著作有八十三部流传到今天。他的著作很受大众欢迎，一部分原因是人们觉得它们有用处，譬如说，比他同时代的托勒密的天文学和地理学著作更有用处，一部分是因为这些著作洋溢着一种宗教气息，使伊斯兰教和中世纪基督教会的那些学者比较容易

接受。和柏拉图与亚里士多德一样，盖仑对创造物体和有机体的宇宙目的非常关心，不过由于所处时代的影响，他的宗教比起雅典人的宗教来，神秘成分较多而理智成分较少了。

第六章

罗马和古代科学的衰退

罗马人和希腊人一样，是直接由野蛮状态进入铁器时代文明的。但是他们不象希腊人那样完全摆脱青铜时代的传统。当罗马人在公元前 510 年赶走了塔克文王朝以后，他们就把伊特拉斯坎人从他们小亚细亚故乡带来的占星术和肝脏占卜术都接受过来了。还有，罗马人并不象希腊人那样发展一种沿海城邦的文明。罗马是一个象斯巴达那样的亦军亦农的社会，在希腊许多城邦中是最没有知识的。罗马元老院的议员们禁止经商，而商人则服从社会上的贵贱准则，总想拥有农田当个奴隶主。罗马人因此特别缺乏商旅人的那种数量和空间的观念，因此他们在数学上特别不在行。当罗马的文明达到完全成熟的阶段时，西塞罗（Cicero，公元前 106—43）竟会说：“希腊数学家在纯几何学领域领先，而我们则把自己限制在计数和测量上。”

罗马人在科学上没有作出多大的贡献。他们的贡献是在别的方面，在组织领域里——如建立公共的医疗机构、筑路、铺设渠道、采用旧历法和提出罗马法体系来实现他们的社会组织。罗马人很早就和西西里岛与意大利南部的希腊人有了接触。当他们于公元前二世纪征服了随着亚历山大帝国而出现的那些王朝之后，他们就越来越意识到希腊文化的优越性。有些人，如执政官加图（Cato，公元前 234—149）和瓦罗（Varro，公元前 116—27），都反对希腊学术，特别是在公元前一世纪，执政官加图写了一部关于医学和农业的书，证明罗马人比希腊人高明；但是大多数罗马人都努力把希腊人的学问吸取过来。加图的医学主要是些神秘的药方和草药方；他认为罗马“没有医生也会保持健康”。瓦罗打算做的也是一样，不过范围较广，涉及到九“艺”：文法、论理学、修辞学、几何、算术、天文学、音乐、医药和建筑学。最后两种后来被卡西奥多拉斯（Cassiodorus，公元 490—585）删去了，所以在中世纪只剩下七“艺”作为人们学习之用。

在吸取和同化的过程中，希腊的斯多噶派哲学对罗马人的影响最大，因为这派哲学把罗马人从伊特拉斯坎人继承下来的传统信仰，以更诡辩的形式表达出来。与它对立的伊壁鸠鲁学派有一个杰出的阐述者卢克莱修（Lucretius，约公元前 95—55），但是他的哲学在罗马并不占有重要地位。卢克莱修和伊壁鸠鲁一样，保留了早期原子论哲学的内容，但没有保留它的精神，没有加上什么新的东西。这一派利用原子哲学，主要是和宗教作斗争，而不是为了扩大人类对自然的理解和控制。

罗马人没有能吸取希腊人在科学理论和科学实验之间所达到的一定程度的统一性。例如，希腊人在医学教学方面采用的解剖方法，在罗马就没有生根。罗马人把希腊科学的内容搬过来，但没有吸取希腊科学的方法，所以罗马人的科学著作往往象卢克莱修的《物性论》那样以哲学为主，或者象普林尼的《博物学》一样，大部分是经验的总汇。老普林尼（Pliny the Elder，公元 23—79）的这部

著作共有三十七卷之多，广征博引了大量的事实和观察的结果。这些都是从大约两千种前人著作中搜集来的，其中有一百四十六种是罗马人的，三百二十六种是希腊人的著作。普林尼对其资料来源毫不加以鉴别，凡是他在书中看到的都报道了。独角兽和火凤凰，狮子和鹰，一律兼收并蓄。普林尼强调他描述的这些东西都是有用的，他的著作从头到尾贯串着一个总的看法，就是自然界是为人类服务而存在的。不过他不但记下他在书里读到的东西，也记载下他亲眼见到的事物。事实上他是在观察非常临近的维苏威火山的第一次爆发中丧命的。

罗马人并没有吸收希腊科学的全部内容，特别是数学对他们的吸引力最小。罗马人里面就没有出过什么著名的数学家或者天文学家，而且只有一个重要的地理学家彭波尼斯·米拉（**Pomponius Mela**，约公元 43 年），他把埃拉托斯特尼地理学的定性部分接收过来，而避免了那些数学和测量。此后的拉丁地理学就表现出明显的衰退。塞维利人伊苏都拉（**Isidore**，公元 570—636）把已知的世界表现为一个圆周由一个 T 字分开，因此亚洲成了半圆形，欧洲和非洲是两个四分之一圆，中间和四周围全是海洋。

也许是为了实利目的，医学被罗马人吸收得比较成功。罗马的第一个杰出医学大师是希腊人，比梯尼亚的阿斯克勒必阿底斯（**Asclepiades of Bithynia**，约公元前 40 年卒），他在罗马建立了一所医学院。他的一个学生塞尔苏斯（**Celsus**）在公元 30 年前后写了一部重要著作《药物论》，是根据希腊典籍编纂起来的一部好书。医学教学在罗马皇帝韦斯巴芗（公元 70—79）时期有所发展，主要是在训练军医方面。医学教师由国家付给薪金，而且在各省都设有医学中心。在野蛮人侵入时期，罗马的医学表现出显著的衰退。维萨里在 1543 年写道：就在这个时期，

“那些比较时髦的医生，先是在意大利仿效当初的罗马人，开始指派奴隶们做他们认为需要为病人做的手术，而他们自己却象建筑师一样站在旁边监工。后来，其余从事真正医疗业务的人全都放弃了这项职业的不愉快责任，然而钱还是要，荣誉也还是要，一点也不退让。这样一来，他们很快地就衰退了。烹饪的方法，以及一切护理病人的事情，他们都交给护士做；配药的事情交给药剂师做；外科手术交给理发师做。”

当希腊人被罗马人征服之后，他们往往变得玩世不恭或者信奉宗教了，就象当初雅典人被斯巴达人，后来又被马其顿的腓力普征服之后一样。这两种倾向在希腊的科学上都有所反映，不过宗教倾向最后占了上风。在天文学领域里，罗德斯岛的盖明诺表现过一种相当可怀疑的见解，认为一种关于世界的天文体系只是数学上的方便措施，而不代表真实的物质世界。他认为天文学家过问的并不是物质世界的问题，而是从数学上整理那些现象。在当时，这种见解当然等于默认天体运动是匀速的圆周运动这条物理学公设，而这条公设又是根据天是比地上万物尊贵的公设来的。盖明诺写道：

“总的说来，天文学家的任务不是研究哪些东西的本性是不动的和运动的东西属于哪种性质，而是在建立关于某些东西在运动和别的一些东西不动的假说时，考虑哪一种假说更符合天界现象。”

此后，天文学就开始披上神学的外衣了。但是宗教对科学的最直接冲击，则是在化学方面。这是随公元二世纪左右亚历山大里亚炼金术者的兴起一道来的。早期的希腊人对化学不大感兴趣，可能是因为这门学科和手工艺有关，而希腊哲学家多数把从事手工艺看作是有失身份的事。几个突出的例外是早期的爱奥尼亚哲学家和亚里士多德后期的门徒，诸如迪奥弗拉斯图和斯特拉图，他们都用手

工艺的比喻来说明自然过程。所以现在的唯一研究化学的纯希腊人著述，亚里士多德著作中的《气象学》第四卷，就相传是斯特拉图的手笔，这并不奇怪，而且根据后来的古代作家所说，原子论者德谟克利特据称也曾经写过关于化学的书。

在早期，手工艺操作好象和魔术仪式联系在一起，操作过程的成功与否被认为和魔术仪式是分不开的。希腊制陶工人把面具放在烧窑上，用以吓退魔鬼，因为魔鬼被认为能使陶器破裂。特别是炼金术，人们把它和出生或者死与复生的过程联系起来。我们前面已经提到过约在公元前七世纪，亚述文字记载中，把提炼金属和一种生育仪式联系起来。在一则波斯神话里——时间约在公元前五世纪——金属的生产被看作是一个原始神祇死去的结果。当这个神被杀死以后，他的头变成铅，他的血变成锡，他的骨髓变成银，骨头变成铜，肉变成钢，而他的灵魂则变成金子。

看来化学过程的魔术成分和实践成分是逐渐分开来的，因为在我们这个时期的早几个世纪里，我们发现，在埃及一些纯实用的化学配方和炼金术的魔术与神秘做法是时常在一起的。最早的炼金术著作是伪托德谟克里特的名字写的（约公元 100 年），在同一书的不同部分收了有实用的配方和神秘的幻想。后来，化学著作就变得完全是实用性质了，象三世纪编纂的现今为莱顿和斯德哥尔摩所藏的几部纸草书就都是这样的，另外一些则大部分是关于炼金术的，象佐西马斯（Zosimus，三世纪）的一些著作，也差不多处于同一时代。那些讲实用的纸草书里，有着伪造金银、制造人工宝石和染料的秘方。金银是用别种金属的合金来冒充的，或者在贱金属表面上镀上金银，或者在贵金属里掺假，然后再把表面层中的贱金属磨去。在那些技术书籍里，这些产品被称作赝品，但是在炼金术的著作中，这些却被看作是真的金银。

在早期炼金术时代，斯多噶派是占统治地位的哲学，不过柏拉图的一些见解在斯多噶派里也恢复了，并在普罗提诺（Plotinus，公元 204—270）的新柏拉图学派的体系里达到成熟阶段。别的不谈，斯多噶派相信自然界一切形形色色的东西都是活的和生长着的。每一实体都是从一粒种籽发展起来的，种籽从一开头就含有决定成熟实体那些特征的形式或雏形。这样一种形式或雏形就是一个灵魂或者一种灵气，而灵魂或灵气是由自然的普遍精英——纽玛带动和支持着的。如我们在前面看到的，柏拉图相信灵魂可以转世，这一见解在当时的斯多噶派哲学和宗教的气氛下，就意味着一个物体的形式或特征可以通过死亡和复生转化为另一种形式或特征。

按照这一套思维方式，炼金术认为金属都是活的有机体，逐渐发展成为十全十美的黄金。这种发展可加以促进，或者用人工仿造，所采取的手段是把黄金的形式或者灵魂隔离开来，使其转入贱金属；这一来这些贱金属就会具有黄金的形式或特征。金属的灵魂或形式被看作是一种灵气或者气，主要是表现在金属的颜色上。因此贱金属的表面镀上金银就被当作是炼金术者所促成的转化。照佐西马斯的说法：“一切升华了的气都是一种灵气，而色泽也属于这类性质……黄金色泽的奥秘就是使物体沾染上灵性使之具有灵气。”

炼金术者所采用的一个相当普遍的操作法，是把四种贱金属铜、锡、铅、铁熔合，获得一种类似原始物质而不具有一定形式的合金；然后用砒或者水银气使这种合金表面变白，这样就赋给它一种银的灵气或者形式；接着在给它加进一点金子作为种籽或发酵剂使全部合金变为黄金，“就象酵母能发出一大块馒头一样，少量的金银也起同样的作用”。最后再加一道手续，或者把表面一层的贱金属蚀刻掉，留下一个黄金的表面，或者用硫磺水把合金泡过，使它看上去有点象

青铜那样，这样转变就完成了。在进行这类转变过程的试探中，那些在合金中失去个性的贱金属，就被认为死掉了，就是说，它们已经失去自身的特殊形式或者灵魂。同样，在表面点上金银，使合金具有新的形式，先是象银子，然后象金子，在他们看来这就是再生过程。

另一种为早期炼金术者加以广泛传播的思想，可能是一种更原始的观念，即金属是两性生殖的产物，金属本身就有雌雄之分。早期的一个炼金术者，犹太女子玛丽（据说她曾经发明水浴器，法国人还称为玛丽水浴器）在其说明里曾经把转变的秘诀记录如下：“使雌雄交配，你将获得你要找的东西。”她又说，银子很容易做到这一点，但是铜要交配“就和马与驴，狗与狼”一样难。当亚里士多德在《气象学》第四卷里的理论重新得到兴起，并把据称产生金属和矿石的两种气体加上性别之后，上述的那种观念在伊斯兰教和中古炼金术里的地位就变得更加重要了。

早期的炼金术者的生活时代是从公元一世纪到五世纪；这个时代的学术气氛在罗马帝国崩溃时，变得愈来愈差了。据说罗马皇帝戴克里先在公元 292 年把炼金术的书统统烧毁了；而亚历山大里亚的图书馆则在公元 389 年一次基督教人叛乱时捣毁了；而根据至少在十三世纪后的一个反对异教者的叙述，缪司学院在公元 640 年最后也被伊斯兰教徒毁掉了。随着基督教的兴起，青铜时代关于地球是平的，地下和上空都是水的学说又恢复了。早期教会的某些神父对这种见解很中意，他们认为宇宙的总格局就象个大帐篷。支持地平说最得力的是叙利亚教会，特别是耶路撒冷的席里尔（约公元 360 年）和达苏斯主教狄奥多鲁斯（公元 394 年卒）；狄奥多鲁斯甚至宣称希腊人的世界体系是无神论的。

帐篷说在西罗马的教会也有人赞成，不过一般说来，希腊人的学说的轮廓仍旧保留下来，主要是天地都是球形的思想。米兰的昂布罗斯（约公元 397 年）谈到天是球形的，他的门徒奥古斯丁（Augustine，公元 354—430）也这样说。可是昂布罗斯认为这类问题并不重要，因为他指出：“讨论地球的性质和位置并不能有助于我们对来生的期望”。塞维利主教伊苏都拉曾经引用过“哲学家们”认为地球是一个不动的圆球而天界是一个转动的球的大致说法，而不表示他个人的看法；尊敬的比德（Bede，公元 673—735）也如此。西欧的教会长老对希腊的世界体系都不懂得，反而是东部的基督教国家给亚里士多德和托勒密的世界体系披上了基督教的神学外衣。

科学在拜占庭比在罗马根子扎得深些。在雅典，柏拉图的学园和亚里士多德的吕克昂学园都很活跃，一直到公元 529 年才被拜占庭皇帝查士丁尼封闭。拜占庭的最后一个著名的异教哲学家普罗克鲁（Proclus，公元 412—485）讲过，到了他的时代发展了一种世界学说，把托勒密的数学体系，连同亚里士多德的物理学、宇宙学说的主要内容，都结合进去了。这个学说设想天界是九个同心圆的壳层，第一层载着月亮，第二层载着水星，这样的顺序推上去，直到载有许多恒星的第八层，而第九层则是原动天。每一壳层都很厚，可以容纳得了托勒密学说中的那些本轮，而且这一连串的壳层都是如亚里士多德设想的那样一个接一个的。因此，一个天体离开地球最远时等于上面一个天体最接近地球的距离。就是说，月亮离地球的最大距离等于水星离地球最近的距离，依此类推。根据这种说法，载有天体的壳层的厚薄，和这些天体离开地球的平均距离可以测算出来，求得所谓宇宙的绝对尺度。

这九个天层需要有推动者；根据柏拉图和亚里士多德的学说，这些推动者应当比被推动的天体具有更高贵的品质和灵性。柏拉图曾经指出，天上的神灵分为

等级，而狄奥尼修斯（Dionysius）则把这些神灵说成就象圣经里提到的各种天使。狄奥尼修斯可能是普罗克鲁的一个学生，而且肯定是属于新柏拉图学派传统。狄奥尼修斯把天神分为九级，又把九级分为三等，这样化分的结果就使这些等级不同的天神天使成了九个天层运动的执掌者了。第一等级的三个是希拉菲姆（意为最高位天使）、齐拉比姆（意为司知识的第二位天使）和塞隆斯（意为第三位天使），其次是多明乃欣（意为统治）、维邱（意为德行）和保尔（意为权力），最后是普林席巴里（意为君主）、大安琪儿（大天使）和安琪儿（小天使）。希拉菲姆专司原动天的运动，齐拉比姆专司恒星天的运动，如此类推。最后是安琪儿专司月层的运动。处于九级天神之上的是上帝，上帝住在第十层的净火天；九层天的下面是地球上的万物，以人类为长，其次是动物、植物和宇宙的渣滓。每一级生物本身都按等级排列，所以都有其各分主次的神。照狄奥尼修斯的说法，这就仿佛地球上的教会有大长老、主教等等，一直到下级职司。所以宇宙看来是由一连串的生灵组成的，从处在宇宙边缘的上帝起一直伸展到处在地球中心的地狱中最卑贱的众生，因为每一级的最高生物和它上一级的最低生物都是一个接一个的。

约翰·斐罗波诺斯（John Philoponos）是六世纪亚历山大里亚的一个作者，他就因反对这种关于世界的自然观而被教会称为信奉异端邪说之人。斐罗波诺斯否认天体是由神灵推动的。他认为上帝开头就赋予天体一种冲力，即一种不随时间消逝的动力，正如上帝赋予重物体向地球坠落的倾向一样。地上的物体和天上的星体在这一点上是相近的，它们的本质并没有什么不同。斐罗波诺斯设想运动的物体一般都不需要经常有个推动者和它直接接触，因为一个力给物体提供了冲力，冲力就可以维持物体的运动。由于这个道理，真空可以存在，因为冲力说并不要求一个物质的连续体通过物理的接触传递作用。还有，飞矢就是在它本身的冲力下穿过这种真空的，并不如亚里士多德所说的那样，需要空气从它后面经常施加压力。

斐罗波诺斯提出的冲力说在十三世纪又得到流行，这个学说和亚里士多德与狄奥尼修斯的见解在内容上显示了重要的分歧，而后者的见解在中世纪是广泛为人们接受的。狄奥尼修斯的影响相当大，因为当时认为他就是裁判官狄奥尼修斯，即当初说服圣保罗皈依基督教的那个雅典人。拜占庭皇帝迈克尔在公元 827 年把他的著作送了一份给西罗马德皇帝、虔诚的路易斯。这些著作又被爱尔兰哲学家约翰·司各脱和其他人从希腊文译了出来。亚里士多德的著作也是这样比较辗转地通过伊斯兰教国家传过来的，而且从十二世纪起，亚里士多德的许多著作，连同《圣经》和基督教的新柏拉图派学者，诸如狄奥尼修斯的著作在内，都成了中世纪学术的基本读物。

第 二 部 分

东方和中世纪欧洲的科学

第七章

中国的科学和技术

早期文明社会的传统，在中国比在任何其他地方都更加持久而绵延不断。经常被人们和上古青铜时代联系在一起的象形文字、农业灌溉和官僚士大夫统治，在古代中国都一直存在到晚近时期。同巴比伦人和埃及人一样，古代中国人没有能够发展出一套理论几何学，也没有把他们关于宇宙空间结构的理论建立在他们天文观察的数据上。还有，古代中国人也没有发展一种科学方法，他们的哲学和技术直到近代仍然是脱节的。

有年代可考定的中国文明最早阶段是商朝。在公元前 1500 年左右，商代曾在黄河边的安阳建都。安阳的考古发掘，表明当时中国人还处在青铜时代。这个时代的特征是以陶轮制造器皿，以马匹驾驶车辆。与西方不同的是，种水稻而不种大麦，织丝绸而不织麻布。汉族人现在通用的表意文字，当时是以象形文字书写出来的。当时还有一种六十进位的计数系统，有人认为这是中国受过巴比伦影响的证明。约在公元前 1000 年，商朝为它边界上的周人所灭，后者建立了周朝。周宗室四围的采邑，后来逐渐发展为一些独立的封建领主国家，而处在中心的周室的权力则愈来愈削弱。在公元前 475 至 221 年间^①，那些封建领主国家相互争霸，这就是所谓战国之世。

大约在公元前六世纪，中国人就知道用铁。关于铁的最早文字记载是公元前 513 年。战国后期僻处中国最西部的、进入了铁器时代的秦国，征服了其他国家，建立了秦朝（公元前 221—207）。秦始皇为了统一他的帝国，大兴水利，修筑通往全国的驰道，扩建长城。为了加强他的统治地位，他还焚烧了所有国家（秦国除外）的史书，只有博士官所藏的图书除外，私人所藏的儒家经典等著作也一律送官府销毁。秦始皇的统治一般地说是独裁主义的。他死后，秦国的小吏刘邦就开创了较有容忍精神和年代悠久的汉朝（公元前 206—公元 220）。汉代在公元前 124 年设立了太学，并建立了儒生或知识分子治理国家的官僚制度。当时读书人在竹简上或木简上，后来在绢帛上，最后才在纸上书写文字。据说，造纸术的发明者是东汉的蔡伦（公元 105 年），但已发现的最早的纸是公元 150 年左右的。

汉代以技术革新著名，不但发明了纸，约在公元前 100 年还发现了磁针的指南作用，中国第一次论铸铁的文字记载也出现了。公元 31 年的一部著作中，谈到了一种卧式水轮。这是通过一组凸轮和传动带，推动“排橐”（风箱）向铸造农具的熔铁炉吹风的机械装置〔即据传为东汉杜诗所制作的水排〕*。后来，在公元 290 年，立式水轮也出现了，随即有了用水力带动轮锤操作的杵臼〔即

^① 书中中国历史年代均据 1973 年版《中国历史年代简表》一书作出更正。——译者

* 本书方括号内的话，均系译者所加的注解和说明。——译者

为三国时劳动人民所发明而由魏人张既所推广的水碓]。

在战国、秦、汉时期，人们提出了许多科学和哲学上的问题并进行了讨论。战国百家争鸣，百家中重要的有法家、名家和墨家，特别是道家和儒家。在如何解决各封建国家之间的破坏性很大的不断发生战争这一问题上，每个学派都有其不同意见。法家认为社会混乱只能通过“实在法”的施行而解决，这种“实在法”也就是《管子》一书内所谓的“先定”法[按，《管子·九守篇》所谓的“先定法”不仅是指“实在法”，即实际制定、现实存在的法律，而且是讲一经订立，贵贱都应遵守的法律，因为所有法家（如韩非）都认为“法不阿贵，绳不挠曲”（《韩非子·有度篇》）]。在秦代，法家影响极大，但随着他们的庇护者的消失，大多数法家代表人物也就消失了。墨翟（约公元前479—381）学派主张“兼爱”，但他们并非是和平主义者；因为要扶弱御强，所以他们就对军事技术进行研究。

对军事技术的研究，也促使他们去探讨物理学，特别是光学、力学和防御工程的问题。他们研究了光在平面镜、凸面镜和凹面镜上的反射，从而提出了一些经验规则，把事物及其图象的大小和位置，和所用镜面的曲率联系了起来。在力学方面，他们的兴趣所在，主要是杠杆系统和滑车。在这里，他们也是从经验主义的角度去研究问题的。他们没有提出一套完整的光学理论，在工作中也没有运用几何学的推理方法。他们的结论是从实验得来的，并且这些结论往往是以经验规则的形式表达出来。墨家和名家有关系，他们都企图建立一套科学思想方法，其目的在于使他们同时代人的不同意见可以趋向一致。但就在这个问题上，两派的见解是相反的。墨家认为感觉经验是人类知识最可靠的基础，但名家则认为感觉经验容易产生错觉，所以要人们达到意见一致，唯一方法就是要靠逻辑论证。

到了汉初，法家、墨家和名家已失去了他们在学术界上的重要性，而为儒家和道家所代替。儒家的祖师是孔子（公元前552—479）。儒家教导人们遵守古代习俗和传统，他们认为这不但是解决战国时代的问题，也是解决任何时代的问题的方法。儒家思想是官僚士大夫的正统哲学，这从汉代官僚士大夫统治时期起一直到晚近，都是如此。但是直到宋代（公元960—1279）新儒家运动的崛起，儒家很少甚至于完全没有谈自然哲学，虽则他们和官方的天文学家们有联系，并且同意后者关于宇宙性质的学说。至于各种手工业的问题和有关化学的问题，他们则毫不感兴趣，对这类问题进行研究的人差不多全是道家。

道家的创始人据称是老子，传说老子的年代是在公元前六世纪至四世纪这段时期中。道家认为人们应该反朴归真，抛弃文明社会而回复到太古的单纯而平等的社会生活。他们声称，太古原始社会是最有道德观念的理想社会[如在神农之世，人们就“与麋鹿共处，耕而食，织而衣，无相害之心，此致德之隆也”（《庄子·盗跖篇》）]。出于对这种“至德之隆”的理想社会的憧憬，许多早期的道家往往逃奔深山穷谷，成为隐士，象原始社会的巫覡那样，行方术以究自然。道家把“道”看作自然界和人类社会的规律；对他们来说，道本身就是宇宙过程。人人都应顺从道，要法天则地，或如庄周（公元前369—286）在《庄子·逍遥游》中所说的，要“乘天地之正”。在《庄子·养生主》中，有一个“庖丁解牛”的故事，说的是一个屠夫，他对梁惠王说，他解剖了数千头牛的尸体的刀，已用了十九年，但仍锐利如新，因为他“依乎天理”，“所好者道也”，他深知牛的骨骼关节的所在，故能游刃有余，“进乎技矣”。道家企图发现自然界的“道”或秘密，这种关于“道”的观念是从他们对原始部落社会的基本信念发展起来的，他们把原始社会理想化了。宇宙万物的生成过程，他们认为类似两性生殖过程，是由两种对立的本原相互作用所致。

约在四世纪的时候，不但道家，还有另外一些人，把这两种对立的本原，名之为阴、阳。阴是被动的、阴暗的和女性的力量；阳是主动的、光明的和男性的力量。这两者共同来自物质和能量的原始混合物，这种混合物以作旋转运动的液体的形态出现。旋转运动使阴暗的和重浊的东西，从光明的精细的东西中分离出来，前者就成为地和阴这个本原，后者就成为天和阳这个本原。两者相互作用，于是产生五行：水、火、木、金、土。最先出现了属于阴的水和属于阳的火，然后出现了其中阴略占优势的木，和其中阳略多于阴的金，最后出现了阴阳两种本原达到一定平衡的土。阴阳两本原继续不断相互作用就进一步产生了自然界形形色色的万物。

道家研究宇宙之道以谋控制人的寿命，使人得以长生不老，永葆青春。为此，道家讲究“服气吐纳”之术，模仿在娘胎中胎儿的“呼吸”。他们主张男子应作日光浴[这就是所谓“服日芒之法”]，而女子也要作月光浴，以便各自汲取日的阳气和月的阴气。他们提倡“导引术”（柔软体操）和“房中术”，以补男子之阳和滋女子之阴。但最主要的是，许多道家都试图用化学的方法分离阴阳本原，从而发展了炼金术、食物养生和采制药物之学。

据说秦始皇笃信方士，以为他们可以使他延年益寿，但是关于炼金术最早的文字记载是在《前汉书》中。它讲到在公元前 133 年，有一个炼金士[李少君]曾对汉武帝说，他能从丹砂中炼出金子，而用这样炼成的金子制成杯盘，注以水浆，饮之者即可永远不老不死。但中国的炼金术后来又转变为炼丹术，后者的目的不在于化贱金属为贵金属，而在于炼成使人长生不死的“金丹”、“神丹”或“仙丹”。炼金士重视真金，因为它黄得象太阳那样，表现它充满着阳的本原。但是在他们看来，丹砂高于真金，因为它是赤色的，并在加热后即产生活的金属亦即水银。公元四世纪最著名的炼丹士葛洪在其《抱朴子·金丹篇》中就讲到：

“凡草木烧之即烬，而丹砂烧之成水银，积变又还成丹砂，其去凡草远矣，故能令人长生。”

当时中国人也和西方人一样，以为矿石和金属都是在地下成长的。公元前二世纪的中国已有了这样的说法。《鹤顶新书》^①（公元五世纪）中就讲到：在地下，“丹砂受青阳之气，始生矿石。二百年成丹砂而青女孕，三百年而成铅，又二百年而成银，又二百年复得太和之气而化为金”。死者也可复生，根据这种立论，《鹤顶新书》就认为“金以丹砂为子，是阴中之阳，阳死阴凝，乃成至宝”。[以上《鹤顶新书》中语，转引自明李时珍《本草纲目》，卷八，金石部，金石之一，“朱砂银”一条下。]

和欧洲人一样，中国人也认为自然界中象这样的过程也可以在实验室中重现。葛洪把升华和蒸馏看作是这种过程的最重要步骤，因为升华和蒸馏把加热这种阳的作用和冷却这种阴的作用结合了起来。阴阳这两种本原还可以分开为化学的形式水银和硫磺。水银主要是阴性的，硫磺主要是阳性的，二者结合就产生丹砂。丹砂是自然和人工形成金属的起点，也是配制长生不死药的起点。

在寻求却病延年的饮食卫生种种秘方时，中国医药学深深受到了道家的影响。中国有些地方有一个风俗：旧历新年初一，人人都要吞食一个鸡蛋，因为据说鸡蛋的活力可使人一年内消除百病。长寿的动物如龟被看作是食物中的珍品。一些被认为阳的成分极高的矿务如硫磺和硝石等，也被当作很好的补药或强壮剂。人身上所有脏、腑、四肢、五官、经络等等，以及一切疾病，都被认为不是属于阴的便是属于阳的。热性病是阳症，寒性病是阴症。中国医学特别注意病家

^① 原书中作 Ho Ting，把《鹤顶新书》中的“鹤顶”二字当作人名，实误。——译者

的脉息。阳病的脉强而浮数，阴病的脉弱而沉迟。医生必先按脉以进行诊断，然后对症下药来调理阴阳。刺激药物和辛辣药物是阳性的，清泻剂和苦味的收敛剂则是阴性的。

中国医学的权威著作是《内经》。《内经》成书于汉代。其中的解剖和生理理论，主要建立于人和国家，以及作为小宇宙的人和大宇宙的比拟上面。“天圆地方，人头圆、足方以应之。……天有四时，人有四肢。……岁有十二月，人有十二节。”[以上见《内经·灵枢·邪客篇》]心是“君主之官”，而肺是“相傅之官”，肝是“将军之官”，胆是“中正之官”，脾、胃是“仓廩之官”，小肠是“受盛之官”，大肠是“传导之官”。[以上见《内经·素问·灵兰秘典论篇》]《内经》并断言，血得气乃行，“经脉流行不止，环周不休。”[以上见《内经·素问·举痛论篇》]但这不能看作是古代中国已发现了血液循环的证据，因为当时中国人并未把动脉和静脉区别开来。当时关于气的上下循环的猜想，只是把血的运行和自然界的周期运动，天体的运转，四季的往复交替进行比拟而得出的结论，古代中国人并没有作过什么实验来证明它确实如此。

古代中国的官制有医生的职位，但炼金士或炼丹士并不属于官制。不过，同古埃及和巴比伦的情况一样，与统治阶级关系最密切的，还是数学家、天文学家、测量者和历法制定者。最早的中国数学专门著作是《九章算术》，据说书中记载的许多是周代（约公元前 1000 年）的数学成就，不过现在存世的传本九卷可能是汉朝天算家张苍约在公元 200 年改写的。这本书首先讲到三角形、梯形和圆形的面积的计算方法[“方田”]。 π 的值最初定为“径一周三”，在公元一世纪始定为 $\sqrt{10}$ 。其次讨论的是比例、百分比以及合伙经营等商业上的问题[“均输”、

“粟米”、“衰分”、“盈不足”]。然后论到如何从图形的边长求得其体积，或者反过来，从图形的体积求得其边长的方法，在这里他们也就涉及开平方和开立方的问题[“少广”]。书中还叙述了勾股定理（毕达哥拉斯定理）和线性齐次方程，并提出了“盈不足术”。它是假设、推演、再假设，直到求得某些疑难问题的正确的解或其近似数值的方法。

在天文学方面，据说中国在上古时代就进行天象观察。十七世纪天主教耶稣会教士初到北京的时候，就认为中国天文学是在当时的四千年前就开始有了的。不过，根据河南安阳的甲骨文记载，天文学在中国兴起的最早年代约在公元前 1500 年，而在公元前 400 年前可靠的记载是不多的。安阳发掘出来有文字的龟甲上已有日月食的记录，从公元七世纪起中国史书上经常有关于日月食和彗星的出现记载，而在那个时期西方是很少有这样的天文记载的。

古代中国最有名的天文学家是石申（约公元前 350 年），相传他记下大约八百多颗恒星的相对位置。^①石申已认识到日月食是由天体间的干扰效应所致，他并且制定了根据日月在其轨道上的预期位置来预测日月食的规则。他把圆周分为 $365\frac{1}{4}^\circ$ ，相当于一年的日数，还知道以十九年为一周期的所谓“章岁”，这是和古希腊的“默冬章”（默冬 Meton，约公元前 432 年）相似的。他算出这个周期为十九年共置七闰，其中的太阴月数几乎完全准确地等于 236。较后的一个天文学家虞喜^②在公元 336 年还发现了岁差，定出每五十年春分点在黄道上西移一度。

中国人认为北极星和不升不落的拱极诸星都是最重要的天体。北极星由于永

^① 原书中作“大约有八百颗”，不够准确，应为恒星 138 座，共 810 颗。——译者

^② 原书中作 Hu Hsi，应作 Yu Hsi。——译者

远不动，被称为“天地星”。^①拱极诸星则被看作是王侯，其外的一些星宿则被看作是百官。中国人对天体的观测方法，和现代以前西方的观测方法不同，因为他们的观测是根据有固定极点的天球，而不是以有固定的观察者在其上的地球为其参考坐标的。

早期天文学家最感困难的问题之一是测定相对于恒星的太阳的方位，因为白天太阳在天空上，恒星就不能为肉眼看见了。古巴比伦人、埃及人以及在他们之后的希腊人解决这个问题的办法，是对黎明前不久升起的星宿进行观察，这些星宿决定那个时刻中太阳所处的方位。譬如，古埃及人已经知道在尼罗河泛滥季节，天狼星总是同太阳一道升起的。这种恒星偕太阳升落的现象是地球水平面上的现象，这种现象为天文测量提供了一条基线，即太阳通过一条恒星带（即黄道带）的表观周年运动。但中国人和西方古代的天文学家不同，把有升有落的恒星和不升不落的拱极恒星联系起来，所以即使看不见前者时，还是能演算出它们的方位。这样一来，嵌着恒星作为参考点的天穹，就成了测量天体方位的坐标，其基线是天穹的赤道，而不是黄道。十六世纪末期耶稣会教士到中国来的时候，他们还把古希腊人用的黄道坐标测定法介绍给中国人，而第谷·布拉赫却在同时把赤道测定法介绍到欧洲来。这真是历史耍弄人的一个古怪例子。

中国的天文测算，差不多全是用代数方法进行的，这一来，他们的天文学就不能提供一幅宇宙布局的图景。由于这个缘故，中国的技术天文学大部分是和他们的宇宙理论脱离的，而他们的宇宙理论在整个历史阶段都属于定性性质。在汉代，有三种宇宙理论。最早的是盖天说。它认为天是个半球，或一个半球形的盖，而地则象一个覆盖着的方边碗，和一个凸形的方盘相似。但天不是一个规则的半球，因为“天形南高而北下”，象在棋盘上斜放着的撑开的伞。因此，随着这个半球运转的太阳到了南方，人们就看得见它，但到了北方就看不见了。太阳、月亮和行星随着天运转，但也有各自的适当运动，如蚂蚁在运转的磨盘上面那样。环绕大地的是海洋，天盖在大地边沿浸入海中，天地都由盖在它们下面的气所撑着。天离地是 80,000 华里。

盖天说在汉末已失传，继起的是秦以后（公元前 207 年以后）的史书中所记载的浑天说。据称浑天说创于公元前二世纪，最早叙述和说明浑天说的是东汉的张衡（公元一世纪）。根据这种理论，天是一个球体，直径约二百万华里，南北向比东西向短一千华里。张衡把宇宙比作一个鸡蛋，地为水所载，居于天内好象蛋黄，天一半在地上，一半在地下，象蛋壳一样，而为气所浮。第三种宇宙学说是宣夜说，或无限空间说，它的起源也很早，但关于它的最早记载则在汉末。按照这种理论，除了地和天体以外，宇宙无形亦无质；空间是虚空的和无限的，天体不附着于任何物之上，只浮于“元气”或“刚气”之上自由运动。无限空间说和道家有关系，浑天说则为儒家所采取。可是当道家逐渐转变为神秘教派以后，儒家就把早期道家的自然主义哲学接受过来。因此宣夜说中的一些成分也就渗入了官方宇宙论的浑天说，这在十二世纪的新儒家那里尤为显著。可是早在四世纪，发现岁差的专司天文历法的虞喜，就认为天虽有一个极限，但高不可测，而日月星辰则都在天的下面自由运行。

古代中国人并不把天体看作是决定地上一切人事的有权力的神灵。中国也有其占星术体系，但这样占星术的特点是象一把双刃的刀一样，天上人间可以互相影响。彗星的出现可能是世间灾难的预兆，但同样也可能表示世人违反事物常规，

^①原书中，谓北极星被中国古天文学家称为“天帝星”，实误。中国古代人称之为“帝星”或“天帝星”的是小熊座 β 星，而非小熊座 α 星亦即“北辰”或北极星。——译者

而在天上引起的骚乱。因此，没有一个神圣的立法者在控制着宇宙。宇宙的变化过程是宇宙间万事万物相互错综复杂关系所组成的网，一切只是按照自然的常规安排的。在道家看来，宇宙过程中的一切都有同样的重要性，没有哪一个高过哪一个。庄子（公元前 369—286）《其物论》中就讲到：

“若有真宰，而特不得其朕[“朕”与“朕”通，意即迹象，这句话是讲：仿佛是有真宰存在，但看不到它的迹象]。可行己信，而不见其形[人们可以相信真宰是存在的，但看不到它的形状]。有情而无形[这样，真宰就成为有情或有感觉能力，但无具体形状的东西了]！百骸[以人身为例，就有一百个骨节]、九窍[耳目口鼻，加上排泄器的二窍]、六脏[心、肝、脾、肺、肾，以及‘命门’]，骸而存焉[这些都具备而存在]，吾谁与为亲[但是，它们之中哪一个可以被人们看中，说它是人身上的真宰呢]？女皆说之乎[你（女）把它们看成一样，而同样地喜欢它们吗]？其有私焉[或者是喜欢其中的一个更胜于其他的吗]？如是皆有为臣妾乎[这样，莫非说它们都是真宰的臣妾吗]？其臣妾不足以相治乎[或者说，这些臣妾不能相互控制吗]？其递相为君臣乎[所以它们是交替地为君又为臣吗]？其有真君存焉[难道除了它们自身而外，还需要什么真君或真宰存在吗]？”

儒家并不认为在宇宙变化过程中，一切事物都是一样轻重或一样重要，但他们认为万物相互联系，都受常规或常道的制约。儒家的荀卿（约公元前 300—240）提出一种自然界等级体系说，他的这种说法和亚里士多德把地球上生物分为具有植物灵魂、动物灵魂和理性灵魂的三分法很相似。荀卿认为万事万物皆由常规或常道推动或联系的。他说：有了礼，

“天地以合，日月以明，四时以序，星辰以行，江河以流，万物以昌，好恶以节，喜怒以当。以为下则顺，以为上则明[礼可使被统治者顺从，使统治者明智]；万变而不乱[礼使千变万化的社会不致发生混乱]；贰之则丧也[如果离开了礼，就要丧失一切]。礼岂不至[伟大]矣哉！”（《荀子·礼论篇》）

存在于人们相互之间以及岁月四季的习惯行为或运转，是容易观察和肯定的，但要知道其中的细节就必须求助于占卜的方法。在商代，人们灼龟甲，看其“兆”或裂痕以卜吉凶。周代用蓍草茎进行占卜，蓍茎有长有短，长短茎的组合和排列就发展成为八卦，战国时期的人们就以八卦卜吉凶。最后到了汉代，还有了一种更复杂的方法，用一个象征“北斗七星”的勺在一个内圆外方的八卦盘上转，然后看勺停下来的位置以卜吉凶，“北斗七星”被认为是拱极星座中最重要。有人曾经设想，磁针的指南性质可能就是这样发现的，因为用磁石做成的勺转动后总是回到原来的指向南北的位置。

以上叙述的史实都发生在中国历史的上古时期，约在汉末（公元 220 年）为止。从这时起，中国历史又按照以前发展的模式重演起来。随着汉帝国的瓦解就出现了各国争霸的局面，直到隋朝，中国才又统一起来（公元 581 年）。隋朝（公元 581—618）和以前的秦朝一样统治残酷而为时甚短，接着便是唐朝（公元 618—907）和宋朝（公元 960—1279）。宋朝主要是受儒家的传统影响，统治方式比较宽容。在类似战国时期的汉末到隋初那一段时期（公元 221 至 581）中，大、小乘佛教陆续传入中国，产生了强大的影响，填补了当时人们精神上的空虚。这是道教已发展为一种神秘的宗教，有它自己的庙观、道士和世代相传的天师，形成一股旨在反对外来佛教的力量。佛教昌盛一时之后，唐代道教复兴，炼金、炼丹士重新又活动起来。他们从丹砂中蒸馏水银，可能还知道蒸馏酒类。

这时人们重又追求长生不老之术；但实际上，唐代二十二个皇帝中，就有七人因服用长生药而丧命。^①

烧制瓷器从汉代粗糙的原始瓷器开始，到唐代有了高水平的发展，在公元621年昌南镇〔即今景德镇〕就设置了官窑，烧制进贡瓷器。在五世纪发明了独轮手推车，七世纪出现了用人力踏车推动轮桨的船舶，这种船舶有密封舱壁和装在船尾的舵。在唐代，佛教寺庙开始采用刻板印刷术。现在存世最早的印刷物是在甘肃敦煌石窟中发现的《金刚经》，时代为公元868年〔唐懿宗咸通九年〕。不久，刻板印刷在全中国就普遍流行起来，公元932年〔后唐的冯道〕就倡仪刻印儒家的九经，到了宋代，公元994年至公元1063年间，官方编修的历代史书也印了出来。在公元1206年，蒙古人出兵西域的前夕，刻板印刷术传到了边疆的维吾尔民族中。维吾尔人刻印了用他们的突厥文字（这种文字的字母来源于叙利亚人）译成的佛教经典，其中的一些注疏用梵文书写，页数则用汉字标出。约在公元1040年毕昇还发明了胶泥活字印刷术。木活字印刷术的发明则较晚，据说在敦煌千佛洞中曾找到有公元1300年的木活字印刷物。最后，朝鲜发明了铜活字印刷术，在公元1403年开始有了铜活字模，现在存世最早的朝鲜铜活字本，时代为公元1409年。〔从明弘治三年（公元1490年）开始，中国也有了铜活字印刷。〕

约在唐末，火药以为中国人发现，在宋末以前不久还出现了火器。硝在中国和印度早已发现。公元前一世纪的一些中国书籍中就提到了硝。公元三世纪，中国的炼金士已经知道用一定比例的硫黄和硝石凑合起来的混合物在高温下就会发生爆炸。七世纪著作中关于“伏火”方法的记载，指的可能就是这种实验。唐代在战争中运用了“火箭”，这可能只是讲在箭簇上放有燃烧着的松脂。公元969年出现一种新型的火箭，这种火箭才似乎是火力推动的武器。后来在公元1040年的一个记载中谈到用火药推动的火箭，同时还指出火药的准确配方，详细说明了其制造方法。中国在公元1067年颁布了不准把硫黄和硝石输出国外的法令，这表明当时中国人已把火药看作很珍贵的了。

据说马可·波罗在元朝担任过高级官吏，他在他的游记中就提到公元1237年间中国已有了火器。这一事实在当时中国的书籍中也有所反映。第一次提到火器飞炮的是公元1259年，那时南宋军队用竹筒制成的火器击败了金人。金人在和蒙古人战争中也用过火器。在公元1231年金人就有了所谓“震天雷”，这是一种用投射器射出的装有火药和药线的铁管霰弹。蒙古大将速不台在公元1233年夺取了一座中国军火库，此后不久速不台就奉命率领蒙古军队远征欧洲。根据三种不同的记载，蒙古军于公元1274年至公元1281年间入侵日本时，也用过火炮，三种记载中之一还讲到蒙古军队用了铁制的炮弹。中国火炮最早的有记录的年代是公元1354、1357和1377年，而欧洲的火炮有可考的年代的是公元1380、1395和1410年。

宋代科学的另一发展是在陆地旅行和航海中使用磁针罗盘。在公元1086年，沈括写了一部〔《梦溪笔谈》〕，其中详细讲到北宋的一些科技上的发现和发明，诸如化石、木质模型地图、金属转化的实例和指示方向的仪器等等。沈括讲的金属转化实例就是用硫酸铜溶液把铁变为铜，这在西方也早被看作是真正的金属转化实例。至于磁针罗盘，沈括说到，“方家〔或堪与家〕以磁石磨针，锋则指南，然常微偏不全南也。”到了公元1150年左右，这种带有磁针的罗盘已经常用于

^①根据清赵翼著《二十二史札记》第十九卷“唐诸帝多饵丹药”一条，唐代皇帝服长生之药而死者，有四人：太宗，宪宗，武宗，宣宗。穆宗，敬宗，以及武后也服用长生药，但皆非因此而丧命。——译者

航海和陆上旅行，那时，磁针偏离真正南北方向的现象，也已为人们所熟悉了。

宋代和汉代一样，在数学、天文、历法和测量方面，都是人才辈出。写成于公元 1755 年至 1799 年间 [清乾隆六十年至嘉庆四年间] 阮元的《畴人传》中，列举了有名天算家汉代共三十二人，宋代共三十人，在汉、宋之间，如隋代只不过九人，唐代也不过十六人。^①公元 1274 年秦九韶的《数书九章》问世，他首次提出了小数位置法和零的记号。他还讲到如何用“三斜求积术”的代数方法来求三角形问题的解，并且讨论了数字高次方程和不定方程。司天监长贾宪^②（约公元 1011—1075）解决了求得某一已知项数的平方和问题。朱士杰约于公元 1280 年描述了二项式系数的三角形，这在西方只是到了十七世纪才由法国数学家巴斯卡首次发现，因而这种三角形后来就被人们称为二项式系数的“巴斯卡三角形”。

在天文学方面，宋代没有什么新的发展，因为中国天文学主要研究的是制定历法问题，而这类问题在汉代已经解决得差不多了。不过，宋代的新儒家却发展了自己的自然哲学，把早期道家的一些学说吸收过来，并且把它们和官方的浑天说宇宙论结合在一起。宋朝最出名的新儒家是朱熹（公元 1131—1200）。他认为在太初，宇宙只是在运动中的一团混沌的物质。这种运动是旋涡式的运动，而由于这种运动，重浊物质和清刚物质就分离开来，重浊者趋向宇宙大旋流的中心而成为地，清刚者则居于上而成为天。大旋流的中心是旋流的唯一不动部分，因而地必然处于宇宙的中心。旋涡运动使“天运不息，昼夜辗转”，并使地处于中心不动。所以“使天有一息之停，则地须陷下”。朱熹认为天体由于“刚风” [朱熹说过，“道家有‘高处有万里刚风’之说”] 而不断运转，每一天体都有其自身的“风”，这些“风”分别形成宇宙旋涡中的一层或一重。天有九重或九层，最外面的一层运转得非常快，而且如此“刚硬”，所以就成为宇宙的外围，虽则在它的外面还存在有无限的空间。所有行星都为它外面的天重或天层的旋转运动所带动而在天上运行，不过它们也各自有其本身的运动。如太阳在天上只日行一度，而月亮则日行十三度有奇。这是因为日为君，月为臣， [为君者庄重端详，动作较慢] 所以月行较快。 [以上朱熹的天文理论，可参考《朱子语类》，卷一和卷二。]

朱熹还看出化石是生物的残骸。他写道：

“尝见高山有螺蚌壳，或生石中。此物即旧日之土，螺蚌即水中之物，下者却变而为高，柔者变而为刚。此事思之甚深，有可验者。” [《朱子语类》，卷九十四]

朱熹的这一段话代表了中国科学最优秀的成就，是敏锐观察和精湛思辨的结合。中国古代科学不能越出这一步。这是因为古代中国人大都不能把理论和实验结合起来，因为一般所谓士大夫都把实际工作看作是卑贱的事。朱熹就说过，唐朝医生孙思邈是一个好学深思的文人，但因为行医，所以就贬入方技之列，这是十分惋惜的事。《新唐书·方技列传》也写道：

“凡推步 [天文、数学] 卜相医巧，皆技也。……小人能之，……矜以夸众，神以巫人 [把自己的技能说得神乎其神来欺骗世人]，故前圣不以为教，盖吝之也 [故古圣人以为他们是不足为训的，看不起他们]。”

因此，古代中国学者的工作主要属于纯思辨的性质，而从事测量、制订历法和观察天文的人，则在工作中总是以经验为重，对理论少有兴趣。耶稣会教士把哥白

^① 原书中关于《畴人传》成书年代为 1764 年，以及所举的历代天算家的数目的字，汉代共三十八人，宋代共二十九人等都错了。现校对阮元的书，作了更正。——译者

^② 原书作 Chon Hou，宋代数学家中并无其人，应是贾宪。——译者

尼、托勒密、第谷·布拉赫在天文学上的理论以及争论介绍到中国来的时候，中国的天文学家是不大感兴趣的。在《畴人传》卷四十六中评论乾隆时代来华的耶稣会教士蒋友仁（法国人，原名 Michel Benoist）时，阮元就写了一大段话：

“古推步家……但言其所当然，而不复强求其所以然，此古人立言之慎也。自欧罗巴向化远来〔自从欧罗巴教士们慕中国的文化不远千里到此〕，译其步天之术〔传说隋丹元子作有《步天歌》，亦即论天上星宿位置的歌诀〕，于是有本轮、均轮、次轮〔这些都是西方天文学家如托勒密、哥白尼等人在计算天体运行时所用的关于天体轨道的一些专门名称〕之算，……乃未几而向所谓诸轮者，又易为椭圆面积之术，且以为地球动而太阳静。……上下易位，动静倒置，则离经叛道，不可为训。……夫如是而言西人之言天，能明其所以然，则何如曰盈缩、曰迟疾、曰顺流伏逆……但言其当然，而不言其所以然之终古无弊哉！”

这种理论研究和经验讲究相割裂的状态，差不多是一切具有等级区分的农业文明社会的一个特点。在十八世纪产业革命以前，科学在一些商业发达的文明社会里特别受到大力提倡，但象古希腊和文艺复兴时代那样的商业文明社会，中国就从未有过。古中国的统治者所采取的总是一种抑制私人经营的商业和企业的政策。当一种商品成为人民的重要必需品时，国家就把它变为官营的由官方督造的商品，如盐在周代，铁在汉代，茶在唐代，都是这样，因此，这种商品的控制权就从私人手中夺了过去。比起中世纪欧洲来，中国的手工业和商业行会，规模都小得可怜，而且行会也从来没有发展自己的独立传统。又如古代中国人从来就没有过原子论哲学。从在欧洲原子论流行的各个时代（如古希腊和欧洲文艺复兴时代，这时原子论哲学虽很流行，但还未成为对科学有用的学说）的情况来看，原子论的观点对重视商业和个人主义的人们吸引力最大。在古代中国社会中，最富有独立精神的人是在荒山穷谷中的道家隐士，但即使是这类人，也是墨守着道家的理想化原始社会的概念，而不能越雷池一步。

第八章

印度的科学

同美索不达米亚、埃及和中国一样，印度的文明社会也是从青铜时代开始，在江河流域发展起来的。不过，迄今为止，关于公元前 3000 年左右出现在印度河流域的文明，人们知道的还是不多的。人们只知道那时居住在印度河流域的民族，已有了一种象形文字和十进位计数法。这个民族跟苏美尔人（Sumerians）一样，也用快速旋转的陶轮制造器皿，并在铜中加锡生产青铜，但是他们用棉纱织布，而不象西方那样用麻和羊毛，或者象东方用丝来纺织。可是约在公元前 2000 年，这种印度河文明就消失了。

远古印度河文明的灭亡，很可能是由于雅利安人的入侵所致。雅利安人从北方进入印度，征服了达罗毗荼人（Dravidians），并建立了他们自己的种姓制社会。婆罗门是他们的学者也是他们的祭司。当时印度通用的语言是普拉克利特（Prakrit，意译为俗语），梵语或梵文（Sanskrit，意译为雅语）的起源则远在普拉克利特流行之后。祭司们用梵语口头传授婆罗门教的礼仪和学术。在基督纪元开始前不久，印度采用了一种拼音字母，印度最早的书籍就是用这种拼音文字写成的。《吠陀》是印度最早的古籍，里面讲到日、月以及一些星座，但没有认识到有什么行星。《吠陀》中还论及毕达哥拉斯定理的一些具体应用（如祭坛的建筑），以及关于金、银、铅、铁（可能还有锡）等金属的知识。

佛教兴起于公元前六世纪。约于公元前 260 年阿育王皈依了这种新的宗教。阿育王是印度孔雀王朝第三代皇帝，这个王朝是在公元前 327 年至公元前 323 年间亚历山大帝侵入印度造成的混乱局面下兴起的。据石刻的记载，阿育王在印度开设了类似现代医院的第一座病舍和培育药用植物的药圃，并任命佛教僧人去管理这些机构。这些石刻还表明当时已有了近似后来的印度—阿拉伯记数方法。较晚的一些石刻记载则表明了计数法的进一步发展，不但有了数目字的位置制而且还出现了零的符号。公元 595 年的一片金属板上记载了 346 这一年数，并用十进位法把这个数目字写了出来；而零的符号则肯定出现在公元 876 年瓜廖尔地方的一块纪念碑上，在那块碑上 270 这个数目的写法同现在的写法一式一样。在印度以外，首次提到印度数目字的是叙利亚的塞维鲁斯·塞博赫特（Severus Sebokht）：他是管理幼发拉底河畔肯尼锡内地方的基督教修道院的主教。公元 662 年，他比较希腊人和叙利亚人的知识时，写道：“我对印度人的科学，他们极有价值的计数法，以及高明到无法形容的计算方法，全都不预备详谈。我只想指出，他们是用九个数目来进行这种计算的。”

除了一些钱币、石刻文字记载和刻在金属片上表明所有权的地券而外，印度可靠的文字记载在穆斯林侵入印度以前（即在公元 644 年前）是不多的。古代印度人对古希腊的科学，或许多少有所知晓，或许还知道一点巴比伦的科学，但由于文献无征，所以人们无法知道这种知识是怎样并在何时传到印度的。很可能这种知识传到印度是公元前 150 年至公元前 140 年间的事，因为古代印度天文

学家们知道希帕克而不知道托勒密，而且这种知识是通过印度跟西方交往的中心城市乌贾因和罗马帝国之间的那条贸易航线来的。阿育王未即位时，他的父王定都于巴特那城，而派他为乌贾因总督，所以乌贾因和巴特那成了孔雀王朝以后的其他一些印度王朝的都城。这两个地方，加上迈索尔，都是古印度的科学中心。我们确切知道的古印度科学家是两个都名为阿耶波多（Aryabhata，约公元 475—550）并都在巴特那工作的人，此外还有在乌贾因天文台工作过的伐罗诃密希罗（Varahamihira，约公元 505），以及也是在乌贾因工作过的婆罗门笈多（Brahmagupta，约公元 628）。较晚出的科学家是迈索尔的摩诃吠罗（Mahavira，约公元 850）和来自印度南部但也在乌贾因工作过的跋斯迦罗（Bhaskara，公元 1114—1185）。

伐罗诃密希罗是第一个杰出的描述了印度天文学的人。他讲到前人所著的五部《悉曇多》[Siddhantas，意译为“究竟理”亦即“知识体系”]，其中的四部都是以古希腊天文学为基础，另一部则以远古《吠陀》典籍中的占星术为基础。这四部《悉曇多》中，有一部就叫《罗马伽悉曇多》，表明它来自西方的罗马；同时，伐罗诃密希罗也常提到印度的天文学是从夜伐那人，意即西方人那里传来的。伐罗诃密希罗以及其他一些古印度天文学家，设想地为球状，而太阳、月亮以及行星，它们和地球的距离是跟它们运行的周期成比例的。这种看法显然是建立在所有天体都以同样的均速沿圆周绕地球运转这一假设上。多数的古印度天文学家认为太阳系的每个天体都受一股“风”的影响而有其各自的运动，此外还有一股更大的旋涡风带动一切天体每二十四小时环绕地球一周。上述两个都名为阿耶波多的人，或者其中之一，取消了这种更大的旋涡风，而设想地球是靠一股在地面上约一百英里的风在吹它，所以它才在自己轴上作周日运转，但他的这一见解并未为当时一般天文学家所接受。为了解释行星的复杂运动，古印度人也采用了古希腊人的本轮说，并提出了一些卵形本轮俾能更准确地计算行星运动。在解释月亮的运动时，古印度天文学家采用了一些显然是受到了巴比伦影响的计算方法。

古印度人的数学比他们的天文学较为杰出。这种数学继承了巴比伦的代数传统，而不是希腊的几何传统。两个阿耶波多都研究过算术级数的求和法，并企图求得二次方程和线性不定方程式的解。他们还提出使用角的正弦，而不用古希腊人的“弦”（chords），从而创立了三角学的研究。婆罗门笈多把明显的代数方法用于天文学计算问题上。他提供了解一次方程的一般方法和从二次方程求得一个根的方法，还求得有两个平行边的任意四边形的面积的一般公式。

摩诃吠罗讨论了加减乘除四则运算，以及零的符号的用法。他认为以零除任何数结果是零。但后来跋斯迦罗第一次指出，以零除任何数结果是无限大。摩诃吠罗提出了两个问题，这在中国的《九章算术》中也出现过。两个问题之一还出现在六世纪以来印度所有数学书籍里。佛教是当时中印文化交流的关键；从公元二世纪起，印度僧人就去中国，而从公元四世纪起，一些中国人也到过印度。写成于公元 610 年的《隋书·经籍志》中就列举了一些印度数学、天文学和医学著作的中译本〔现都已失传〕的名称。

古印度的医药学和化学成就不象数学和天文学那样大。年代最早的印度医学著作是英国人鲍威尔（Bower）中尉于 1890 年在印度发现的一些手抄卷子，其年代约在公元前四世纪。这些卷子举出了一些药物的名称及其用法，后来在二世纪的医道大成《闍罗迦》（Charaka）和五世纪的论外科学著作《苏色卢多》（Susruta）中，也常提到这些。这些后期的印度医学著作可能也受到古希腊医

药学的影响。如《闍罗迦》就谈到显然是从亚里士多德那里来的三段论法。《闍罗迦》中还区分人身上的三种活力。第一种是由脐下气所产生的作用；第二种是由控制脐和心之间的部位的胆汁作用所致；第三种是心部以上的粘液所产生的作用。这三种活力是人身上七种基本素质的来源。七种基本素质是乳糜、血液、肌肉、脂肪、骨骼、骨髓、精液。七种素质数量调和，则人体健康；否则就有病患。

《苏色卢多》的外科学著作比《闍罗迦》高明。书中描述了约一百二十一种外科用具，以及近代以前几乎所有的常用手术方法。它注意到蚊虫和疟疾的关系，并谈到糖尿病人的小便是甜的。此外还论及金、银、铜、铁、锡，以及有别于柔性碱的苛性碱。一部后期的医学著作，七世纪的《伐格跋多》(Vagbhata)一书中，第一次提到了水银。

根据到过印度的中国僧侣的记载，炼金术和炼丹术看来是从七世纪起才在印度出现的。印度炼金术和炼丹术的兴起好象和婆罗门教在印度的复兴有关系，因为印度炼金术和炼丹术的主要著作都是一些秘密经咒。它们的根据是《吠陀》经典，目的在于反对佛教，传播婆罗门教。一般认为印度的炼师们已知道有烈性的矿务酸，因为相传是八世纪时所著的一本炼金术书中，就提到有一种能“腐蚀”金属的液体；此外还有一本年代定为十二世纪的秘密经咒的书，其中就谈到如何从绿矾中配制这样的液体。此外，约在公元 780 年中国唐代诗人段成式在其所著的《酉阳杂俎》中也说到：

“婆罗门国有药名‘畔茶佉’水，出大山中石臼内，……能消草、木、金、铁；人手入，则消烂。”[《酉阳杂俎》前集，卷七]

古印度的炼金术和中国的一样，虽则也把炼金术包括在内，但看来首先是企图制成长生药。同别的地方的人一样，印度人也认为炼制金子和长生药，配方中的主要成分是水银和硫黄。只不过印度人把水银看作阳性的，把硫黄看作阴性的；而中国人则把水银看作阴性的，把硫黄看作阳性的。除了水银和硫黄而外，当时印度人还有一种五元素之说，即土、水、气、火，加上以太或空间本身。这种说法可能是从古希腊人那里传来的。当时印度流行的原子论也可能是如此，这种哲学当时在婆罗门教徒和耆那教徒^①中颇受欢迎。

古印度对现代科学的最大贡献是我们现在用的计数法，以及一般代数演算方法。他们的其他科学都是从别的国家和民族取来的，并且一贯受到吠陀宗教迷信传统的不良影响，便是他们的数学也是优劣互见。波斯人阿尔白鲁尼(Albiruni，公元 973—1048)于公元 1017 年至公元 1030 年间居住在阿富汗的加兹尼^②时，学习了梵文文献并写成一部关于古印度历史和科学的著作。在谈到当时印度的天文学和数学时，阿尔白鲁尼说：

“我只能把印度的天文学和数学著作……比作既有珠贝又有酸枣，既有宝玉又有卵石的混合物。这两者在印度人眼中是相同的，因为他们自己不能提高到严格的科学演绎法的水平。”

^① 原书把耆那教说成是佛教的一个派别，实误。——译者

^② 原书作加兹那(Ghazna)。若用今地名，应作加兹尼(Ghazni)，当时属印度，现属阿富汗。——译者

第九章

穆斯林国家的科学和技术

阿拉伯人在公元 634 年至公元 750 年间建立了一个西起比利牛斯山脉，东迄中国边境的帝国。在他们征服许多地方以前，他们并不完全是未开化的游牧民族。阿拉伯商人参与了印度乌贾因和埃及亚历山大里亚之间的海上贸易，并大体上垄断了亚丁至印度之间的商业通道。为阿拉伯人创立宗教灵感的先知穆罕默德，据说他本人就做过商人，活动在阿拉伯边区的一些部落，曾参加西罗马帝国和拜占庭帝国军队的行列，从而对西方文化有所知晓。有些阿拉伯人还皈依了基督教，而被任用为拜占庭帝国，特别是叙利亚地方的文职官员。因此，在伊斯兰教兴起以前，许多阿拉伯人就已经接触到西方文化。正因为如此，所以古希腊科学后来就为穆斯林所吸收。

阿拉伯的一个部落倭马亚（Umayyads）的一些人曾经是罗马人的外籍辅助部队，他们在公元 661 年整个拿下了叙利亚，并协助大马士革建立了倭马亚哈里发王朝〔中国唐代以及唐以后的史书称之为“白衣大食”〕。从一开始倭马亚哈里发王朝就接受了希腊文化。他们集中了许多科学家到大马士革来，并早在公元 700 年就在那里建立了一座天文台。但这种希腊化了的阿拉伯人比较缺乏来自宗教热情的毅力，因而在公元 749 年，倭马亚哈里发王朝就为更加虔信伊斯兰教的阿拔斯（Abbasids）哈里发王朝取而代之。阿拔斯哈里发王朝〔中国史书称之为“黑衣大食”〕建都于巴格达。他们接受了所征服国家的文明，变得主要是波斯化而不是希腊化了。为了仿效波斯人于五世纪在钟底沙普儿（Jundishapur）设立医学院和天文学院的先例，阿拔斯第二代的哈里发阿尔—曼苏尔（Al—Mansur）招罗了许多科学家到巴格达来。印度天文学家曼伽（Manka）就为阿尔—曼苏尔于公元 773 年召见过，而印度科学书籍如数学的《悉曇多》和《苏色卢多》与《闍罗迦》当时都译成了阿拉伯文。第三代哈里发诃伦·阿尔—拉希德（Harun Al—Rashid）下令翻译了许多希腊的典籍，第四代哈里发阿尔—马蒙（Al—Mamun）约于公元 828 年建立了一个名为“智慧之馆”的机构，继续进行这种翻译事业。主持翻译工作的人是景教徒胡那因·伊本·伊舍克（Hunayn ibn Ishaq，约公元 809—877），他把盖仑的医学著作大部分译为阿拉伯文，同时还翻译了托勒密的天文著作。他的工作为他九十多个门人继续下去。这些人当中主要的有他的儿子伊舍克（公元 910 年卒）和他的外甥胡拜悉（Hubaysh），前者翻译了托勒密和欧几里得的著作，后者翻译了希波克拉底和底奥斯科里底斯的著作。

阿尔—马蒙于公元 829 年在巴格达建立了一座天文台，阿尔—法儿干尼（Al—Farghani，约公元 850 年卒）曾在那里进行过天文观测，后来就由萨巴人拜星

教阿尔—巴塔尼 (Al—battani, 约公元 858—929) 和塔比·伊本·夸儿拉 (Thabit ibn Qurra, 约公元 826—901) 继承了他的工作。上述这些都来自美索不达米亚的哈兰 (Harran), 在那里, 巴比伦的宗教, 包括占星术和拜星教在内, 还保存在萨巴人的异教传统里。这种异教教派受到了所有美索不达米亚征服者的宽容, 一直到十三世纪才为蒙古人所消灭。阿尔—巴塔尼求得的黄道的倾角值和岁差的值, 比托勒密算出的更为准确, 他还发现了太阳的偏心率在变动着 (用现代术语来讲, 这就是说地球的轨道是一个经常在改变着的椭圆)。大概也在这个时候, 阿尔—花刺子模 (Al—Khwarizmi, 约公元 835 年卒) 把印度数目的字和印度人的算法介绍到穆斯林国家来, 不过他的代数学不及印度人。

穆斯林国家第一个有创见的医药学著作的作者是阿尔—拉兹 (Al—Razi, 公元 865—925)。他是胡那因的一个门人的学生, 曾在巴格达求学并工作过, 中世纪西方人把他的名字拉丁化为拉茨 (Rhazes)。他写了一百多部书, 最著名的是《医学集成》, 集中收集了当时所知道的古希腊、印度和中东的全部医药知识。他有可能也受到中国医药学的影响, 因为在拉兹死后不久的公元 988 年间阿尔—那底姆 (Al—Nadim) 曾在著作中提到, 一个中国医生曾和拉兹住在一起约有一年之久, 这个中国人学会阿拉伯语, 并曾把古希腊盖仑一些著作的阿拉伯文译本转变为汉文。看来盖仑对中国医学并没有什么影响, 但作为中国医学一个重要部分的切脉术, 却在另一个生于波斯布哈拉的有名穆斯林医生和学者伊本·森纳 (Ibn Sina, 公元 980—1072) 的百科全书式著作《医典》中提到。拉兹和伊本·森纳 (中世纪西方人称后者为阿维森纳 Avicenna) 并没有发展和改进盖仑的学说, 不过在实用方面他们知道的药物要比盖仑多的多。

伊斯兰教国家的炼金术是在九世纪兴起的, 其首创人被称为“神秘主义者”扎比尔·伊本·海扬 (Jabir ibn hayyan), 在中世纪西方人把他的名字拉丁化为格伯 (Geber)。他遗留下来的著作据说是十世纪的一个神秘主义学派“精诚兄弟会”^①成员们所汇编的。炼金术从来就具有一种“非官方”学术的性质, 它一方面和神秘宗教有关系, 另一方面也和工匠的化学传统有关系。这种关系在伊斯兰教国家的炼师中尤为显著。正统的穆斯林教派是官方的逊尼派 (Sunni), 而在一般伊斯兰教徒中, 广泛流行的则是苏菲派 (Sufi) 的教义学说。苏菲派中较激进的一翼是所谓夸尔马蒂 (Qarmati), 这一教派主张人人平等。他们兴办学校并编纂百科全书, 企图通过这样的启蒙工作实现平等的理想。他们特别对工匠感兴趣, 伊斯兰教国家中的行会即使不是他们的创立, 而是由他们发展起来的。他们在一些城市中开设了“精诚学院”来传布他们的思想。编纂炼金术书籍的人好象就属于巴斯拉的“精诚兄弟会”的。巴斯拉是九世纪苏菲派的诞生地。他们的炼金术著作是他们编纂的百科全书的一部分, 全书共五十二卷, 其中十七卷都是自然科学。这部著作后被视作异端书籍, 被巴格达的正统逊尼派人所焚毁, 最后到了十一世纪“精诚兄弟会”也被取缔了。

“精诚兄弟会”反对正统穆斯林教徒从古希腊人那里继承下来的演绎思想方法。“精诚兄弟会”的人把宗教的神秘放在理性之上, 并认为这种神秘可通过经验探求而得。历史上炼师们和神秘主义者一向喜欢把人看成是和大宇宙相应的小宇宙, 这一理论也是“精诚兄弟会”所主张的, 他们并以之作为他们宇宙体系的基础。他们首次详细阐明了把人当作小宇宙或宇宙的缩影所意味着的一切涵义, 从解剖学和生理学的各个方面企图找出人与当时所知道的宇宙结构何变化之间

^① 旧译“精诚同志社”。阿拉伯文为 Ikwan al—Safa, 意译为“精诚兄弟”。它类似古希腊毕达哥拉斯的秘密科学和宗教团体。——译者

的类似之处和相应关系。在化学的特殊领域内，他们把自然界万物分为两大类，即“形体”和“精灵”，这种划分是从人既有“肉体”也有“灵魂”这一比拟来的。他们认为凡易挥发的实体都属于“精灵”，凡不易挥发的实体都属于“形体”。

他们提出一种学说，认为万物特别是金属，都是由水银和硫黄的相互作用形成的。中国和亚历山大里亚的炼金术也有这种学说的萌芽。硫黄的本质是能动的、雄性的、属于火的，这就是中国人的“阳”，也就是相传为亚里士多德所著的《气象学》中所谓的“烟气”；水银的本质则是被动的、雌性的、属于水的，这就是中国人的“阴”，也就是亚里士多德所著的《气象学》中所谓的“潮气”。穆斯林炼师们采用了古希腊的四元素说，并设想改变构成金属的元素的量就可使一种金属转变成另一种金属。在实验方面，可注意的是阿拉伯炼师们使用了天平，并开始用定量方法来研究化学变化过程。他们还知道古希腊人所未发现的化学物质，如矿物酸以及他们名之为“中国学”的硝石。

伊斯兰教国家从中国得来而传给西方的技术之一是造纸术。阿拉伯人于公元751年在撒马尔罕与唐人作战时，俘虏了几个中国造纸匠人，他们把造纸术教给了阿拉伯人。^①伊斯兰教国家第一个纸坊于公元751年在巴格达建立。公元900年造纸术传到埃及，公元1100年传到了西班牙，从西班牙又传到北欧，基督教国家的第一所纸坊于公元1189年在法国埃罗建立。

塞拉柱突厥人原来参加阿跋斯哈里发的雇佣军，后来夺取了这个东哈里发国家的政权，而使巴格达在文化上的重要性逐渐衰减。在突厥人统治下，部分的学者如波斯诗人和数学家奥马尔·伽亚谟（Omar Khayyam，公元1123年卒）依旧进行工作，他发展了阿尔-花刺子模的数学；后者只研究过二次方程，他却研究了三次方程。另外一些学者则东迁至穆斯林统治下的印度，如波斯人阿尔白鲁尼就定居在当时属于印度（现属于阿富汗）的加兹尼，并写成了他的印度史。可是大部分穆斯林学者都西迁到埃及的开罗，特别是在法提玛（Fatimid）哈里发王朝〔中国史书称之为“绿衣大食”〕的阿尔-哈基姆（Al-Hakim，公元990—1020）统治时期去的人很多，因为阿尔-哈基姆于公元955年建立了一所科学院。

从巴斯拉来到埃及的学者中有以研究光学著称的阿尔-哈金（Al-Hazen，公元965—1038）。他反对欧几里得、托勒密合其他古人关于眼睛发出光线以观察客体的学说。哈金认为光线来自所观察的客体，而光是以球面形式从光源发射出来的。他对放大镜的实验研究使他接近了关于凸透镜的近代理论。在光的一般折射现象上，他指出托勒密的定律，即在给定的界面上入射角和折射角成正比，只在角小时是正确的。

另外一个在哈基姆统治时期在开罗工作过的人，是天文学家伊本·尤尼（Ibn Yunis，公元1009年卒）。他汇集了两百年以来天文观察的数据，并根据这些数据制成了“哈基姆星表”，以报答哈基姆对他的知遇。在尤尼之前不久，开罗的阿尔-马苏第（Al-Masudi，公元957年卒），写了一部百科全书式的博物志，其中首次出现了关于风车的描述。这种风车有垂直的旋转轴并装有船上那样的帆。

在艾优比特苏丹（Ayyubide Sultans）王朝取代法提玛哈里发王朝之后，科

^① 按：这是指唐天宝十年（公元751年），石国（即今塔什干）引大食人来攻，唐大将高仙芝远征出击，在怛罗斯（Talas）打了一仗，大败而归的那次战役。原书作公元704年，实误。可参考唐代杜佑著《通典》，第一百九十三卷，“石国”和“大食”二节，特别其中所引的杜环《经行记》中几段文字。杜环是《通典》作者杜佑的小辈，天宝十年曾随高仙芝西征，为大食人所俘。后被释放，搭商人船舶经广州而回。他所著的《经行记》，除杜佑在《通典》中所引的几段外，现已失传。——译者

学研究还继续在埃及进行。犹太哲学家迈蒙尼德（Maimonides，公元 1135—1204）从阿拉伯人占领下的西班牙的科尔多瓦去到埃及，做了艾优比特王朝开国之君萨拉丁（Saladin，公元 1174—1193）的御医。迈蒙尼德主要是哲学家，但他对医学问题颇感兴趣，并对盖仑的学说进行了批判。后期来到开罗的还有一个叫做伊本·阿尔—纳菲（Ibn al—Nafis，公元 1210—1288）的医学家，他从大马士革来开罗主持那西里（Nasiri）医院。他对盖仑学说进行了更积极的批判，指出心脏的隔膜很硬，不象盖仑所设想的那样有细孔可以让血液通过。因此，他认为血液必须要通过肺从右心室流到左心室。这样，纳菲就提出了一种血液小循环的理论，但他的学说并未产生什么影响，因为他的著作直到本世纪才被人发现。

第三批穆斯林科学家出现在西班牙。大马士革的前倭马亚王朝被阿拔斯哈里发王朝覆灭之后，倭马亚王朝的一个后裔逃到西班牙，于公元 755 年在安达卢西亚建立了后倭马亚王朝，到了十世纪这个王朝又自称为科尔多瓦哈里发王朝[中国史书也称之为“白衣大食”]。科尔多瓦在公元 970 年建立了图书馆和科学院，不久在托莱多也建立了同样的机构。在此期间，科尔多瓦哈里发王朝的一个御医阿布卡西斯（Abulcasis，约公元 1013 年卒）写了一部医学著作，共三十卷，最后一卷是以前穆斯林医书较少论及的外科医学。

西班牙哈里发王朝最早的天文学家是科尔多瓦的阿尔—查尔卡利（Al—Zarkali，公元 1029—1087）。他在公元 1080 年编制了“托莱多星表”，对托勒密的天文体系略加修正，以一个椭圆的均轮代替水星的本轮。西班牙的穆斯林天文学家对托勒密体系颇有微词，因为他们企图建立的是一个符合物质世界实际的宇宙体系。他们深受亚里士多德派思潮的影响，这种思潮在阿维罗伊（Averroës，公元 1125—1198）的哲学著作中的到了体现。西班牙反对托勒密学说的人以萨拉戈萨的阿芬巴塞（Avempace，公元 1139 年卒）开始，并由格拉纳达的阿布巴克儿（Abubacer，公元 1185 年卒）和阿尔白特鲁基乌斯（Alpetrugius，约公元 1200 年卒）为其继承者。他们反对托勒密的本轮假说，理由是行星必须环绕一个真正物质的中心体，而不是环绕一个几何点运行的。因此他们就以亚里士多德所采用的欧多克斯同心圆体系作为他们的基础，企图搞出一个在物理学上讲得通的宇宙体系。但是他们在这方面并未获得成功，因为欧多克斯过去也没能解释行星的前进和逆行，而现在需要解释的天体的运动要多得多而且更加复杂了。

科学在西方哈里发王国的兴盛时期，恰好是在基督教徒侵入穆斯林西班牙之前不久。但在基督教徒所占领了的一些城市里，特别是在公元 1085 年被攻克

的托莱多，穆斯林科学仍旧很发达，因此当时西班牙就成了古代东方科学传入西方的一个主要通道。虽然西班牙并没有把许多实用的技术传到欧洲，但中国的造纸术确实是由这条通道传到西方的。在蒙古人入侵欧洲以前，穆斯林好象并不知道中国有火药和火炮，中国的印刷术他们也知道得相当晚。波斯学者阿尔—巴那卡提（Al—Banakati）约在公元 1200 年才首次提到中国的印刷术；公元 900 年至公元 1350 年间在埃及才首次刻板印刷书籍。

蒙古人在东方灭了南宋并在西方征服了东哈里发王国以前，比起早期的阿拉伯人来说是更未开化的民族，但是他们后来却达到了他们所征服的国家的文明水平。蒙古远征完成以后，东西方的交往就比以前更加畅通无阻了。马可·波罗（Marco Polo，公元 1254—1324）能够去中国，并在元朝的盐运署担任要职，而中国人玛尔谷·牙哈巴刺哈（Marco Yahaballaha，公元 1244—1317）^①还

^①玛尔谷（Marco）也可以音译为马可，这是基督教徒、包括景教徒在内的一个普通的教名。关于牙哈巴刺哈，可参考：冯承钧译《多桑蒙古史》，第六卷，第二章，第 23 页；萨尔顿（Sarton）著《科学史导论》（Introduction）

于公元 1281 年到了西方做了警教（亦即基督教聂斯脱利派）的总主教。

蒙古入侵中国是由成吉思汗公元 1214 年^①开始的。在公元 1233 年蒙古大将领速不台攻下汴京（今开封）以后，缴获了中国的一个军火库，他赦免了那些制造军火的中国人，使他于公元 1235 年远征欧洲时能用到火药和榴弹，或许还用了火炮。所以火药和火炮可能是由蒙古人带进西方的。关于中国印刷术的设想大概（而不是技术上的细节）也很可能是这样传入欧洲的，因为在蒙古第一次西征以后不久，中国已有的用木板印刷的纸牌也就在欧洲出现，一般都认为这个玩意儿来自东方。差不多与此同时，欧洲也出现了独轮车和铸铁方法，不过这些可能是在欧洲自行发展起来的。作为一种回礼，眼镜和经过蒸馏的烧酒也通过蒙古人于十三世纪传入中国。

蒙古人把中国文明几乎全盘接受过来，利用了原有的官僚士大夫机构，但是让一些“色目人”或外国人象马可·波罗那样，担任教高的职位。蒙古人在北京设立了一座天文台，在那里工作的有中国人，也有从西方来的穆斯林科学家。当时所制造的一些天文仪器，例如浑天仪和挂在墙上的象限仪现仍保存在中国。在巴黎，现在还藏有一本扉页上有汉字也有阿拉伯字的著作，表明这是公元 1362 年由撒马尔罕的阿本·啊哈马（Abn Ahmad）所编制并进呈元朝皇帝的一份太阳表。

在西方，成吉思汗的孙子旭烈兀汗于公元 1258 年攻下了巴格达，结束了东方的阿拔斯王国。旭烈兀汗在阿塞拜疆地区，大不里士之南的马腊格（Maragha，今属伊朗）建立了一座天文台，并任命他的首相同时也是天文学家的纳索埃丁（Nasir ed-Din，公元 1201—1274）指导这个天文台的工作。在马腊格还设立了一个藏有 400,000 卷书籍的图书馆，并延聘了一些远从中国和西班牙来的天文学家襄理天文台的工作，其中有安达鲁西亚的阿尔—马格里比（Al-Maghribi）和中国人傅曼齐（音译）^②前者写过一部关于中国人和维吾尔人的历法和纪年法的著作。后来经过十二年的经常天文观测，纳索埃丁和他手下的天文学家制订了“伊儿汗（Ilkohan）星表”。在公元 1294 年间大不里士印刷了一批有汉字和阿拉伯字在上面的纸币，过后没有几年波斯医生拉希得丁（Rashid al-Din，公元 1247—1318）就写了关于中国印刷术的详细说明。最后，在公元 1420 年跛子帖木儿（Tamerlane）的孙子乌鲁贝格（Ulugh Beigh，公元 1394—1449）在撒马尔罕建立了一座天文台，这是鞑靼人的科学所发出的最后光辉。天文学家在这里重新测定和描绘了星辰的位置，补充和改正了古希腊希帕克的一些缺点和错误，可以说代表了十六世纪第谷·布拉赫以前的最准确的天文观测。

to the History of Science），第二卷，第 1069 页，关于 Bar Sauma 的一节；李约瑟（Joseph Needham）著《中国科学技术史》（Science and Civilization in China），第一卷，第 221 页。冯承钧认为牙哈巴刺哈可能是生于中国山西的维吾尔人或汪古都人（Ongut），即内蒙古之“白鞑靼人”。——译者

^① 成吉思汗于公元 1211 年和公元 1215 年两次向金进攻，这是蒙古人入侵中国的开始，原书作公元 1214 年，实误。——译者

^② 原书中作 Fu Mang-chi。法国人多桑（d'Ohsson）所著的《蒙古史》（有冯承钧中译本，名为《多桑蒙古史》）中作 Fao-moun-dji。此人姓名究竟是哪三个汉字则不知道。冯承钧以为 moun-dji 二字或为“蛮子”的对音（元代蒙古人称南宋人为“蛮子”），其人姓鲍或包；但这也只是一个猜测。可参考冯承钧译《多桑蒙古史》，第四卷，第五章，第 94 页；萨尔顿著《科学史导论》，第二卷，第 1005 页；李约瑟著《中国科学技术史》，第一卷，第 218 页。——译者

第十章

中古欧洲的工艺和手工业传统

从罗马陷落(公元455年)时起,到教皇西尔韦斯特二世(公元999—1003)西方第一次学术复兴,这一段时间称之为欧洲的“黑暗时代”,传统上都认为是欧洲文明史上比较贫乏的时期。这在自然哲学的领域内确是如此,但是在几个世纪里都出现了若干根本性的工艺革新,为多数人的生活方式提供了一个优于古代希腊、罗马时期的物质基础。条顿蛮族侵入四分五裂的罗马帝国之后,带来了许许多多为我们今天还熟悉的事物:诸如裤子代替了古罗马式的长袍,牛油代替了橄榄油,毛毡的制造方法改进了,以及雪橇和木桶、木盆的制造。更重要的是这些蛮族传来了裸麦、燕麦、小麦和蛇麻草(现亦称为“啤酒花”)的种植,骑马用的脚蹬,尤其是为发展农业三圃制^①提供了条件的重轮犁,奠定了中世纪地主庄园生活的基础。

古代使用的旧式犁从青铜时代起,基本上就没有怎样改变过,只有犁嘴从公元前十世纪起一般用铁代替了木头。由于缺少轮子,老式的犁在耕田时就得由犁田人提到一定的高度,这种操作需要相当大的气力,犁出来的沟垄既不怎么直,也不怎么深。土地仅仅划了一下,因此要犁过两遍,在犁第二遍时要和第一遍的方向形成直角。在实行二圃制的地中海地区又松又干燥的土地上,一年种地,第二年休息,旧式犁照理还是合用的,但是在土壤比较厚实和潮湿而且肥沃的北方,就不适合了,而新式犁就显出它的长处。

这种新式犁,蛮族在公元前一世纪就已经使用。它有个轮子控制犁地的深度,这就使犁地的人省力。新式犁有面犁刀划土和一个模板翻土,这样犁出来的沟就又深又整齐,使得南方采用的十字犁田法变得多余了。由于上述原因,新式犁就使人们按照北方的三圃制把土地耕成许多长条田,而不按照阿尔卑斯山脚和卢瓦尔河流域所采用的二圃制把土地耕成一块块方田。这个革新于公元765年第一次被人提到时,是在按照传统办法冬季播种之外,再在春季播一次种。一个典型的循环是第一年冬季种一次小麦,第二年春季种一次燕麦、大麦或者豆类,而在第三年让土地休息。因此如果土地单位面积的生产量是同样的话,北方的三圃制就比南方的二圃制的生产多出三分之一。

新式犁比旧式犁要重,拖起来需要相当大的力气,因此一个村子里的农民在十世纪和十一世纪通常用马耕田之前,都合伙用牛来犁地。古代很少用马耕地,因为当时知道的挽具形式要使马浪费一半气力。古代驾马的挽具是根据驾牛的颈轭制造的,使得马在最需要用力时不能用双肩来拖犁。扼驾在马的颈背上,用一根皮带绕过前颈栓着。这样一来,马只要一使劲向前拖,就会把自己勒得透不过气来。再者,古代人也不懂得一前一后的驾马方式以增加马的拉力,而且不知道采用马蹄铁,其结果是马时常在石头多的田里踏伤蹄子。

到了九世纪和十世纪时,北欧用马耕田的方法已经使用得相当有效了。马颈

^①指中古时期农田三年种两次的一种耕作制,两年种一次则叫二圃制。——译者

圈可能是从亚洲传过来的，因为马颈圈的条顿语和斯拉夫语，即英语 **hames** 一词来自中亚西亚。串联挽具和马蹄铁也传进来了，其结果是使马的有效拉力比在古代时要大三、四倍。这时人就用马来耕地，不过一般只是用在三圃制的欧洲北部，因为那里有多余的稻谷可以饲马。在产量比较差的南部地区，大体上还是用牛，因为牛可以用稻草饲养。牛吃得省，而马则节省时间和劳力。

另一个节省人力的设计是水轮，这在黑暗时代被广泛用来磨谷子。罗马人 维特鲁维斯（**Vitruvius**）约在公元前 16 年曾经记述过一种立式水轮，而卧式水轮可能更早就已经有了。但是古代磨谷物一般都用人或者牲畜推磨或拉磨，水磨坊只在黑暗时代才通行起来。到了中世纪，欧洲多数的农村都有自己的磨坊了。公元 1086 年的《舆地志》^①列出当时英国的磨坊有五千个左右，表明英国人口中每四百人差不多就有一座磨坊。在十二世纪时，风车出现了。第一次见于记录的是公元 1180 年诺曼底的一个风车，这种风车有一个卧式的主动轴和垂直的帆翼，所以很可能和十世纪有垂直主动轴的东方风车无关，而是欧洲人自己发明的。

这种创新的结果，是大多数劳动人民在这时摆脱掉一些体力劳动上的粗活，象在古代所要求于他们的那样，而且能生产一部分超出养活庄园人口所需要的多余粮食。这些多余粮食使城镇和城镇的手工业与商业有了发展的条件，并为十一世纪到十三世纪间那些著名的创举，如十字军远征、教堂的建筑和大学的建立，提供了财富。大城市里手工业者和学生借以养生活命的多余粮食来自当时交通条件极为困难的地区。那些建筑教堂的工人也是如此，一个美国作者估计过法国人在公元 1170 年至公元 1270 年的一百年间建造的八十座教堂，所花费的人工和材料按照现在的价值等于十亿美元。

黑暗时代引进的技术革新的另一个后果是，文明的中心从地中海转移到欧洲北部来了，因为许多进步技术在欧洲北部利用得较有成效。在十一世纪和十三世纪间，多余粮食和手工业产品的贸易发展特别显著，尤其是在欧洲北部，通过波罗的海和北海进行的商业交易在数量上和地中海可以抗衡。这种发展可以从公元 1241 年各商业城市成立的“汉撒同盟”这事件上看得出来。当时的主要汉撒城市是吕贝克（德）、科隆（德）、布雷斯劳（波）和但泽（波），不过这个同盟还有特约城市，远到诺夫哥罗德（俄）和伦敦。

伴随着贸易扩展的是航海技术上的新发明，诸如船尾舵和牙樯。据说这些在欧洲第一次出现在十三世纪汉撒同盟的那些商船上。古代欧洲人驾驶船是靠船尾旁边的一只桨来划，就象用桨划独木舟一样。再大船上用这种方法驾驶，效果不是大的，这就限制了大船的航行动作，特别是当逆风行驶时更要把船驾驶得很灵活。船尾舵克服了这种限制，而牙樯则容许主帆的前下角拉倒船头外面，使船舶可以逆风行驶。纵帆装置本身就是黑暗时代的产物，它使船舶可以迎风转向。这种纵帆装置的最早形式即三角帆，先是在南巴勒斯坦的穆斯林教堂的壁画上发现的，后来又在九世纪一个拜占庭的彩饰画上看到。

这类航海术上的发现也有助于节省人力，例如节省囚禁在船上划桨的船奴的劳动力，而且大大扩大了海运的范围。现在可以打造较大的船舶，驾驶自如，横贯大洋行驶，而不需要象早期那样沿海岸航行。在十三世纪，磁针罗盘在欧洲出现，船舶在阴天飘洋过海时，非靠它来测定方向不可，因为这时既看不见天体，也望不见陆地。在这方面，北方又一次抢在前头，因为在地中海里了望还是容易的。到了十五世纪，佛兰德的罗盘制造商纠正了罗盘所指北方和真正北方之间的

^①英国威廉一世所编得英国陆地测量手册。——译名

差异，但是南部热那亚的商人却没有改正。

商业所依靠的那些手工业，也有类似的技术改进。在纺织业上，纺纱车在十三世纪发展起来了，而织布机是几时改进的则不能确定。约在同一时期，水利也被用来研布，这是一种在水里敲打布匹使布收缩的操作，使布加厚和耐用。敲打先是用手操作，但是到了十二世纪的下半叶，用水车推动的桩锤就被用来研布了。这一后不久，水力推动的桩锤又被用来压碎染坊用的菰蓝和制革业用的树皮。这以后，有不少行业都依靠水力而建立起来。十三世纪时，水力被利用来锯木头和推动铁匠煅炉的风箱，十四世纪时用于铸锤和磨石，十五世纪时用水泵于开矿抽水。水力利用上最重要的一项目可能是发动煅铁炉的风箱，用风力提高冶炼温度使铁砂熔融，以能浇铸。铸铁或生铁是于十三世纪在欧洲出现的，不过鼓风机直到十五世纪方才普遍推广。

其他的一些技术革新是由穆斯林教徒，也可能是蒙古人从中国带到欧洲来的。最初是造纸术，这在公元 1150 年穆斯林教徒占领西班牙时已经很发达了。没有多少年，于公元 1189 年，基督教国家里的第一座纸厂在法国的埃罗建立了。到了公元 1276 年，造纸术传到意大利的蒙特法诺，公元 1391 年传到日耳曼的纽伦堡，而英国的第一座造纸厂则在公元 1494 年建立。至于印刷，可能是蒙古人把中国的印刷术，也许是一些样品，带动欧洲来的，而技术上的细节则是欧洲人自己重新研究出来。中古时期的许多稿本上印的复杂大写字母，是公元 1174 年恩格尔堡修道院里用木块雕出来的，比蒙古人侵略欧洲和穆斯林教徒叙述中国印刷术的时间略早一点。欧洲木板印刷的最早记录是公元 1289 年在拉文纳进行的。接着很快地就改为活字体和金属板印刷，这些印刷板的样品于公元 1381 年在法国的利摩日，公元 1417 年在尼德兰的安特卫普，公元 1435 年在尼德兰的哈勒姆，都曾经出现过。最后在日耳曼美因兹的古登堡（Gutenberg）于公元 1436 年到公元 1450 年间使早期的近代印刷术臻于完善。

火药于十三世纪首次在欧洲出现，第一次提到火药的是罗吉尔·培根在公元 1249 年写的一封信，那是在蒙古人侵入欧洲之后几年内。火炮首先在公元 1325 年被人提到，而第一次被人家已论述则在公元 1327 年。公元 1327 年所描绘的火炮，表明早期的火炮是一种瓶子式的设计，射出一个有箭头的炮弹。可能第一个火炮是跟据中国人使用的“震天雷”做的。这种“震天雷”是一只装满火药的铁罐子用投石机发射的，现在的铁罐只装了一部分火药，而从喷射口发出炮弹。后来欧洲的火炮则用若干铁条箍成筒形，但是不久便采用浇铸方法，先是用铜，后来就改用铁。

中世纪末期的印刷术和火器，与青铜时代末期发明字母和铸铁所产生的影响很相近。印刷术，和字母的发明一样，提高了人类的文化水平，并使历代积累下来的人类文明记录能更广泛传播。它促进了地方性文献和工艺文献的兴起，工匠在历史上第一次把他们这一行业世代相传的有价值的经验记载下来。印刷术使《圣经》更加容易被人们弄到手，使他们能够如宗教改革家所建议的那样，根据自己对《圣经》的体会寻求宗教真理，从而有助于新教徒宗教改革运动的兴起。

火药与火器结束了披甲武士的时代和他们的设防城堡，就如同铁武器淘汰了青铜时代的武士和他的战车、铜剑一样。可是火器开头并没有铲除人的好战性，因为大炮摧毁了瑞士的方形阵，而这种方形阵直到十六世纪为止对骑士还是一种有效的应付方法。再者，当时火药制造和熔铸大炮的控制都操在王侯手里，而军事力量也集中在这些人手里。这一来，火器的发展就促进了十六世纪和十七世纪拥有绝对权力的王朝的兴起。

中世纪不但出现了新工艺的发展，也出现了手工业技巧上的进步和手工业的分化。机械时钟出现于十三世纪。根据记载，在公元 1232 年至公元 1370 年之间，有三十九座时钟被造了出来。这些最初制成的机械钟既大且重，而且制作粗糙，只用于大型公共建筑、修道院或者教堂。但是造钟的技巧进步的很快，到了十六世纪时，纽伦堡就造出怀表来了。同样，再建筑上，地板面积和周围支壁总横切面的比例在中世纪也由四比一增加到八比一，表明在节省建筑材料和建筑技巧上都有所进步。随着这类技巧的精练化出现的是手工艺的分化。工程师、工具制造者和车匠、铁匠分家了，雕刻家、画家和石匠、装饰工分家了。专业手工艺人中技巧比较高明的能够读书识字了，并能把他们的技艺经验记载下来；到了后来，这些人还吸取了学术传统中的一些学识，对近代科学的发展作出了贡献。

远从公元 1250 年起，我们就有了砖瓦匠大师维拉·德·奥尼古尔（Villard de Honcourt）的笔记。他到处游历，在蒙古人侵略之后去匈牙利重建教堂，并把自己看到的事物记了下来。他画的生物非常真实，而且是根据观察来的，他特别指出他的狮子是根据活狮子画的，不过他的狮子图仍然是纹章上看到的那种模样。另一方面，那些学者们画的动植物则是从早期的稿本上临摹来的，所以真实性很快就丧失，生物学插图成了形式主义和公式化的了。一部约在公元 550 年写的法文《草木志》里象草莓的植物，经过多次传抄而不参考植物本身，在公元 1050 年的一部《莱茵草木志》里看上去倒比较象黑莓了。

表现手工艺传统价值的最早的著作，是一部关于绘画的手册，这是佛罗伦萨派画家詹尼尼（Cennini）于公元 1500 年前后用意大利方言写的。在这部书里，开始出现了一种实验态度，因为詹尼尼叙述了怎样制造颜料和绘画技巧。作者声称他将“记下经他亲手做过的事情”。在詹尼尼的手册里，行会传统感很突出。他告诉我们，他写这部书的目的是为了向他的老师们致敬，并使从事这门行业的学徒们受益。

詹尼尼建议的主题又为后来的手工艺作者发展了。哥特式建筑大师马梯阿斯·劳立沙（Mathias Roriczer）于公元 1480 年写了一部建筑学的书，在书中列出一些他自己发明的几何构造式样。他写这部书的目的比詹尼尼的还要广泛，不仅仅为了改进自己这门手艺，而是为了“把任何需要做得好些的事情做得好些，并矫正和说明各种艺术”。但是这种评价是不合于学术传统的，因为经验考察在学术上不受到重视，而古代的自然哲学体系则被认为是人类智慧的最高成就。

最后，到了文艺复兴时期的艺术家而兼工程师的那些人问世时，我们就看见手工艺传统中那些比较熟练而且有才能的人把学者们的学问都吸收过来了。波提切利（Botticelli，公元 1444—1510），丢勒（Dürer，公元 1471—1528），迈克尔·安吉洛 Michael Angelo 公元 1475—1564）和列奥纳多·达·芬奇 Leonardo da Vinci，公元 1452—1510）这些艺术家全都通过了解剖的实践，研究了人的生理构造。波提切利和丢勒研究了光学，丢勒制定了图画上比例法则而丢勒和列奥纳多又观测了天体；列奥纳多的活动范围还涉及当时已知的好多门科学和工艺。

手工业在这时候的分化程度可能讲得过头一点，因为多数的文艺复兴时期的艺术家都仍旧通晓好几个方面。列奥纳多·达·芬奇不但是画家和雕刻家，也是个发明家和土木兼军事的工程师。文艺复兴时期艺术家的兴趣是多方面的，所以他们的活动具有一种无所不包的性质。也许因为这个缘故，所以他们的工作没有一定目标而且多少不够踏实，而他们没有作出什么重要的科学发现。

可是他们确实发展了科学方法上的经验主义一面。阿尔布莱希特·丢勒在公元 1525 年出版了一本几何学著作，他在书中提到，由于多数的日耳曼画家不大懂得几何学，所以他写这本几何学，使画家读了这书之后“不但能有一个好的开始，而且通过日常实践对几何学理解得更好些；他将会进一步钻研并且找到比我现在指出的更多的东西。”

列奥纳多·达·芬奇对科学方法上的经验主义一面，体会得还要充分。在一段论科学方法的注解里，他写道：

“在研究一个科学问题时，我首先安排几种实验，因为我的目的是根据经验来决定问题，然后指出为什么物体在什么原因下会有这样的效应。这是一切从事研究自然界现象所必须遵循的方法……

“我们必须在各种各样情况和环境下向经验请教，直到我们能从这许多事例中引伸出它们所包含的普遍规律。这些规律有什么用处呢？它们将引导我们对自然界作进一步的研究和进行艺术创造。它们防止我们自欺欺人，使我们不至于向自己保证取得那些得不到的结果。”

后来那些属于学术传统的人也发展了科学方法的经验主义一面，并对经验过程在科学上的地位取得类似看法。但是达·芬奇的这段话要比他们早好长一段时期。不过，那些学术界人士创立了文艺复兴时期工匠们所没有能够提出的新科学思想，并且赋予数学方法以科学上应有的地位。

第十一章

中世纪的学术传统

中世纪的学术复兴是随着十一世纪到十三世纪间的其他许多重大发展而出现的。这些重大发展包括工艺和商业的扩大，营造教堂和建立大学。希腊知识的复兴说不定比这次复兴还要早些，因为托莱多在穆斯林教徒占领西班牙期间，自始至终还是一个基督教的大主教管区。诚然，早期人们企图把希腊科学传到西方来，可能受到抑制，因为一个九世纪的教会人士曾经对西班牙的基督教徒研究阿拉伯著作这一事实表示心焦。看上去从阿拉伯著作转译希腊科学的机会虽然存在，但是缺乏鼓励。这正如公元 1204—1261 年间十字军占领君士坦丁时有机会直接翻译希腊著作，但没有充分利用这个机会一样。

西方十字军征讨西班牙穆斯林教徒的结果，使托莱多在公元 1085 年陷落。从那时起，阿拉伯文的希腊科学著作译本才被翻译过来，翻译的最活跃时期是在公元 1125—1280 年间。西班牙是穆斯林教徒和基督教徒进行接触的最重要的中心，因为西班牙有懂得两种语言的摩萨拉伯人（Mozarabs），即被穆斯林教徒同化了的基督教徒，以及摩迪迦人（Mudejars），即被基督教徒同化了的穆斯林教徒，同时又有大批的犹太人，他们里面有些人懂得三种语言。雷蒙德大主教在托莱多陷落之后不久，就办了一个翻译学校，欧洲各地的学者纷纷来到这个学校学习穆斯林教的科学。最重要的一个翻译家是克雷莫纳的杰勒德（Gerard of Cremona, 公元 1114—1187）。他从意大利到托莱多来寻找托勒密的天文学著作，即被穆斯林教徒称之为《伟大论》的书。杰勒德在公元 1175 年把《伟大论》译了出来，此外，到他逝世时还翻译了八十部著作之多，把各种穆斯林教的科学都包括了进去。

和穆斯林教科学的第二个接触地区是西西里，它是在穆斯林教徒统治了 130 年之后，于公元 1091 年被基督教徒攻下来的。这里的居民不但能说拉丁语和阿拉伯语在该地方的方言，也能说希腊语；有些人，主要是犹太人，则连三种语言的书写文字也很熟悉。迈克尔·司各脱（Michael Scot, 公元 1235 年卒）就是在西西里得到西西里皇帝腓特烈二世的宠幸，翻译了亚里士多德的生物学著作和许多穆斯林教炼金术书籍的。当时北非洲和西西里也有商业的联系，有些阿拉伯著作就是从这条通道传到欧洲来的，其中最主要的是比萨人列奥纳多（Leonardo of Pisa, 公元 1170—1250）带来的数学著作，和非洲人康士坦丁（Constantine the African）传来的医学著作。

列奥纳多于公元 1202 年写的《计算书》，说明了穆斯林教数学的不同来源，偶尔也有关于我们自己的数学来源。他首先从新的印度—阿拉伯数字的读音和书写开始，称之为“新印度数字”。接着是算术和关于货物价格、商品交换、合股经营和混合法的问题。其次他讨论了各种数学问题，其中一个问题有两个出处，一个在巴比伦时代早期，一个在希腊时期，原文都是用亚述的楔形文字写成，被他几乎逐字逐句地抄了下来。后面是盈不足术，或者如列奥纳多称作的“regulis

elchatayn”（中国算法）。古埃及人当然早就懂得了盈不足术，但是看来欧洲人懂得它还是由穆斯林教徒从中国介绍过来的。

基督教的翻译家并没有把穆斯林教徒收集或发现的全部知识介绍到西欧来。他们看上去比较喜欢罗马和希腊作者，因为这些作者通过罗马世界的直接知识传播，对他们来说是相当熟悉的。例如伊本·阿尔-纳菲关于小血液循环的发现，在本世纪以前一直不为人所知晓，而且许多阿拉伯和波斯著作的确至今还没有翻译出来。新学术就这样大体上扩大了旧学术，而且很快地被收在大学课程里。最重要的一项革新是亚里士多德的著作，现在全部都为人们获悉了，这样经院派哲学家的亚里士多德哲学就代替了教会神父的早期柏拉图哲学倾向。

那些大学是从教会办的师徒结合的行会性质学校发展起来的。在十一世纪时，“大学”一词和“行会”一词同样被用来形容行业公会，但是到了十三世纪时，“大学”一词就被用来专指一种学生团体。大学主要有三种。第一种是教会创办的，学生和教师在一个校长领导下形成一种密切配合的团体，象巴黎、牛津和剑桥等大学那样。第二种是公立大学，由学生选举出来的校长总揽校务，如波伦亚和帕多瓦等大学那样。第三种是国立大学，由帝王征得教皇认可而建立的，如西西里的腓特烈二世成立的那不勒斯大学，和卡斯蒂拉的斐迪南三世成立的萨拉曼卡大学都属于这一类。

随着大学的建立和从阿拉伯文中把古代科学翻译过来，十三世纪的欧洲涌现出一个短时期的实验风气，这种风气被炼金士在某种程度上一直保持到近代的初期。这次运动中最杰出的人物是罗吉尔·培根（Roger Bacon，约公元 1214—1294），他是牛津大学的一个法兰西斯派僧侣。当时有些学者根据有名无实的权威或者习俗的支持发表自己的意见，并靠空言争辩遮盖自己的愚昧。罗吉尔·培根就看不起这样的学者。他说真正的学者应当靠“实验来弄懂自然科学、医药、炼金术和天上地下的一切事物，而且如果一个平常人或者老太婆或者村夫对于土壤有所了解，而他自己反而不懂得，就应当感到惭愧”。培根自己就根据阿尔·哈金的著作做过光学实验。他研究过平凸镜片的放大效果，并且建议可以用这些镜片制成望远镜。培根通过实验进行科学研究之后，认为人应当能够造出自动舟船和车辆，也可以造出潜水艇和飞机那类的东西。可是他这种见解并不受人欢迎，原因是培根遭到谴责，而且受到自己教团的监视。法兰西斯派教团的总管朋那凡杜拉（Bonaventura）曾经说过：“科学之树欺骗了许多生命之树，或者使他们受到涤罪所的最剧烈痛苦。”

另一个著名的实验家是一个贵族，皮埃尔·德·马里古特（Pierre de Maricourt），他可能是罗吉尔·培根的一个朋友。约在公元 1269 年，他写了一本描述他所作的磁力实验的小书。他在书中说，研究磁学的人必须“勤于动手”以改正理智的错误。他把磁石作成一个小圆球，用短铁丝研究它的磁性，从而发现磁子午圈，这些他都用了粉笔线标了出来。他懂得异性磁极相吸，同性磁极相拒，也懂得一根磁针断为两半时，每一半又都变成一根磁针。可是他相信磁针指向北极星，而不指向地球的北极，而且球形磁石能够自转。

蒙丁诺·德·卢西（Mondino de Luzzi，约公元 1275—1326）^①在解剖学方面也进行了实验研究。他写了一本解剖的书，描述自己解剖两具女尸的过程。这部书在中世纪的医科学校里都用作解剖学的主要课本。解剖工作在中世纪一直都在进行，特别是尸体解剖，有时候也用在医学教学上。可是在蒙丁诺之后，解剖工作都由一个不识字的理发师开刀手在医生指挥下进行，医生自己并不亲自

^① 原文蒙丁诺的生卒为约公元 1275—1290，有错，已改正。——译者

动手。还有，为了便于把当时十字军的尸体运回家乡，常将尸体支解和煮烂，因此教廷的旅行委员会便于公元 1163 年宣布禁止，声称“教会厌恶流血”。这句格言对人体解剖也起了相当抑制作用。

炼金术也是十三世纪时在欧洲重又兴起的另一种实践活动。由于炼金术的推广，出现了许多新化学制品，如矿石酸，是由一个法国的法兰西斯派教徒维塔·德·福尔（Vital du Four）在公元 1295 年第一次提到的；还有由蒸馏葡萄酒和啤酒而制成的酒精，是由一个叫做萨勒诺斯（Salenus）的医士（死于公元 1167 年）第一次加以描述的。酒精被称为“生命之水”，并被认为是仅次于炼金术者的长生药。酒精的性质好象在僧侣和修道士中间被人广泛的进行研究。在有些情况下可能做得过头了，因为公元 1288 年意大利里米尼的多米尼加的神甫教团就禁止会员拥有酒精蒸馏器。可是修道院仍旧继续研究并制造了若干名酒。

在教皇约翰二十二世于公元 1317 年颁布的一道训令里，炼金术一般是禁止的。这项禁令表明当时搞炼金术的人一定相当普遍。中世纪炼金士在理论上并没有多少新的东西。他们认为金属是雄性的硫和雌性的汞所生出的，而贱金属可以通过一种死而复生的过程变为贵金属。无机物一般都是活的，由身体和灵魂或者物质与灵气组成。物体的成分可以用加热分解，这时灵气便上升为水气，在某种情况下仍可凝成液体。物体的特征和性质是由灵气决定的，同样用蒸馏法取得的液体含有物体的浓缩精华。这种液体因此是高度活跃和有力的作用者，赋予陈旧物体以新的生命，赋予低贱物质以贵重性质。因此，在理论上，高贵金属的灵气可以转移给低贱金属的物质，而促成一种变化。可是在各种金属中，只有汞可以蒸馏，并产生一种可以隔离的“灵气”。根据炼金术者的理论，汞气使贱金属的表面变成银的，所以汞被看作是银的灵气、金属的祖先，而且事实上是万物的本原。这样一个以汞为中心的理论体系，是由雷蒙德·拉尔（Raymond Lull，约公元 1232—1315）提出的，他是一个炼金士和一个神秘主义者；他的基督教同人把他看作有点象提倡邪教的人，而当他企图说服穆斯林教徒改信基督教时，就被穆斯林教徒杀掉而成了殉道者。拉尔声称上帝制造汞，汞然后象在回流蒸馏中那样地周转，并分化为各种别的东西。原始的汞的最精细部分首先分出来，形成天使天神的身体，而次一等精细的部分则形成天体和天层。粗糙的部分形成四大元素和第五元素精英，由此而产生地上万物。四大元素合成地上物体的身体，精英形成它们的灵魂。照拉尔的说法，精英并不是如亚里士多德所设想的，仅仅天球才有。它是一种灵气，即纽玛。它是作为上帝的一种直接和普遍的表现形态而充斥整个宇宙。拉尔因此非常反对穆斯林教哲学家阿维罗伊，因为阿维罗伊和他的先师亚里士多德一样，把上帝，或者原动者，放在宇宙之外，比恒星层还要高。

拉尔和其他炼金术者一样，认为地上万物的精英或者灵气可以隔离并通过蒸馏使其浓缩。他觉得酒精是一种重要的但是不能炼的灵气。如果加以回流蒸馏，拉尔认为酒精就会分为两层，上面一层是天蓝色，下面一层是混浊色，就象汞的原始周转分为天地一样。这样上面一层就是酒精的纯灵气。拉尔和他的信徒们都相信，一种灵气会吸引另一种灵气，因此他们就用酒精把物体的精英，特别是植物的精英，味、香和药性分离出来。他们把这种用酒精提炼出来的制剂用作医疗之用，所以拉尔的信徒们愈来愈重视炼金术在医药方面的研究。与此同时，他们对正统的盖仑派医学愈来愈不满意，并形成一种运动，而以十六世纪帕拉塞尔苏斯的医疗化学为其顶点。

大学里面的中世纪学术主流对那些炼金士都不予理会，也许是因为他们一方面和神秘主义宗教有关系，另一方面和实用的手工艺活动有关系。经过十三世纪昙

花一现的实验运动之后，学术传统的发展都靠理性的讨论，而不靠经验的探索，整个中世纪从头到尾都和手工艺传统不相闻问。也许是由于这些缘故，中世纪的学者们很少有什么真正新颖的立说，不过一些古代科学家为反对亚里士多德而提出的一些命题总算得到了充分发展。

亚里士多德的哲学被阿尔伯特·马格努斯（Albertus Magnus，约公元 1206—1280），特别是被托马斯·阿奎那（Thomas Aquinas，公元 1225—1274）拿来和天主教神学综合起来。这些人并没有越出亚里士多德的宇宙论。他们说，宇宙是一个天球，球里面充满了物质；真空是不可能的，因为一切活动在推动力和被动体之间都少不了要有一种直接或间接的物质接触。阿奎那证明上帝存在的第一条是天球的运动需要一个原动者，即上帝。上帝的活动并不直接显示在天球上。天体的运动根据五世纪狄奥尼修斯的假说，是由不同等级的天使般的神祇在中间掌管的。

这样一种安排在中世纪某些大学里并不是无条件接受的。在牛津大学，奥铿的威廉（William of Ockham，约公元 1295—1349）掀起了一个重要运动，否定阿奎那关于上帝存在的第一条证明的正确性。他论证说，一个运动的物体不一定需要一个推动者的连续物质接触，因为举例来说，磁针就可以使一块铁动起来而不碰到它。这是一个超距作用的例子，可以设想在真空中也能发生。既然空中不需要装满物质就能传导物理效应，真空就是可能的。奥铿的威廉恢复了约翰·斐罗波诺斯的冲力说，它是通过穆斯林教徒再传回中世纪欧洲来的。斐罗波诺斯曾经设想，力给予物体一种冲力使物体运动，冲力是一种逐渐消逝的属性，因此物体最后会停了下来。奥铿的威廉同意斐罗波诺斯的飞矢能穿过真空的主张，并用来反对亚里士多德。而且他同意斐罗波诺斯的设想，说上帝可能开头给予天体一种不随时间消逝的冲力，因此不需要假定有各种各样的天神天使推动天球。奥铿的威廉声言，“用较少的即可做到，用较多的反而无益”，这样就提出他的“剃刀”原理。冲力的讨论在牛津大学继续进行着，主要有沃尔特·伯利（Walter Burley，公元 1275—1357）、理查德·许撒斯（Richard Suiceth，约公元 1345 年）和沃尔特·海德斯伯利（Walter Heytesbury，活动于公元 1330—1371），不过这种学说很快就失势，到了十五世纪时，牛津的学者大多数都讲授亚里士多德的物理学了。

冲力说在巴黎大学有了进一步的发展，首先是琼·比里当（Jean Buridan），在公元 1327 年任巴黎大学校长。亚里士多德论述运动的物体是因为前面排出的空气为了防止真空，又从后面挤进来而将物体推动的。比里当提出两条重要的论证反对亚里士多德的这个论题。他说：第一，陀螺旋转而不改变位置，所以不可能由排出的空气推动的。第二，一根尾端切平的标枪并不比一根两头尖的标枪走得更快些，而如果是空气推动的话，就应该走得快些。比里当认为在这种情况下，保持运动的力都是冲力。他觉得一个物体从一种力所获得的冲力，是和物体的密度、体积及其开头的速度成正比的。比里当追随奥铿的威廉和斐罗波诺斯，否认有天神、天使推动天体周转，设想天体的周转是由开头受到的冲力推动的。由于天上没有空气的阻力，这种冲力将永远不会减退。比里当声称：

“我们不可能在《圣经》里找到什么神灵负责使天球作正规运动。由此可见，并没有假定有这种神灵存在的必要。事实上，我们不妨说，上帝给予每一天球以一种冲力，使天球从此就一直走动。”

继比里当后尘的还有萨克逊的艾伯特（Albert of Saxony），于公元 1353 年任巴黎大学校长。艾伯特把运动分为三种：均匀运动，即物体以经常速度走动；

不均匀运动，即物体的速度有规则地逐步改变；不规则运动，即不符合上述两种定义的运动。他考察了落体速度随坠落时间增加的见解，以及落体速度随坠落距离增加的见解。这两种见解都被他否定了，因为这两种见解都导致物体经过无限时间或无限距离后，速度就会达到无限大的结论。相反地，他认为引力赋予落体的冲力与空气阻力相比，随着速度而增加得较慢时，自由落体就达到限定的速度。

巴黎冲力说学派的最大代表者是尼古拉·奥里斯姆（Nicolas Oresme），在公元 1362 年任纳瓦拉学院院长，公元 1377 年任里苏的主教。奥里斯姆创立了一种用图解表现速度的方法。他用一条地平线代表运动物体所走的距离，再在地平线尽头画一根和地平线垂直的线，代表物体在这已知点的速度。把垂直线的上端联接起来，就形成一个几何图形，是长方形就表明是均匀运动，是三角形就表明是不均匀运动，是曲线就表明是不规则的或“不均匀地不均匀的”运动。

奥里斯姆还恢复了地球每日在自身轴上旋转的观念。他坚称，“没有任何经验能够证明是天体每日周转，而不是地球每日周转”。他设想完善和尊贵在于宁静，从而得出下述看法：如果地球有一种周日自转运动，每一天体的速度就会和天体的不完善程度成比例。地球由于是宇宙中最卑下的物体，所以每日周转一次，“月亮每月周转一次，太阳每年周转一次，火星每二年周转一次，其他星体也同样如此”，剩下的是仅有些微运动的完善恒星天层，以此说明分点岁差。他觉得这些看法“有利于维护我们的信仰”。

奥铿的威廉、比里当和艾伯特全都同情过地球的周日运动说，但是奥里斯姆是第一个公开采纳这种说法的人，并把他和力学上的冲力说联系起来。他论证说，地球的旋转就和天体的运转一样，将会在创世时给予它的原始冲力下无限期地继续运动下去，因为没有阻力使它停下来。冲力说者也赞成宇宙无穷无尽的见解，认为世界之外还有其他和我们一样的世界。

古萨的尼古拉（Nicolas of Cusa，公元 1401—1464）明确提出了这些见解。他在公元 1450 年任蒂罗尔城布里克森的主教。尼古拉认为地球每日在其轴上自转，是由于宇宙开始时赋予它的冲力所致。天球并不比地球更为完善，因为他说，整个宇宙是由同样的四大元素组成的。还有，天体上也有和地球上相似的生物居住着，这一点也和地球一样。他说这样的宇宙是无限的，因为

“一个人不论在地球上，或者在太阳上，或者在别的星体上，从他的眼中看去，他占的地位总是不动的中心，而其他一切东西则在运动着。”

在中世纪的大学里，那些主张冲力说的人只形成了一个少数派。他们的见解在任何一个时候都没有广泛地为人们接受，正统的学说是狄奥尼修斯和托马斯所发展起来的基督教化的亚里士多德体系。在这种体系里只有一个无限的宇宙，中心是一个基本不动的地球，有许多越来越完善的天层环绕着，这些天层都由天神天使的活动使其继续保持运动。近代早期科学家要斗争和推翻的就是这个体系和它的许多细节，而不是冲力学派的体系。在冲力说的体系里，地球是在一个无限大的宇宙里作周日运动，而且引起运动的神灵和无形的手全都在这个宇宙里消失了。

冲力说事实上到了十五世纪时已经有点变质了，不过冲力说在十六世纪初叶还有人讲授。这个学说的衰退是从英干姆的马昔里（Marsile of Ingham）开始的，他于公元 1379 年在巴黎大学任教，后来做了海德堡大学的校长。他设想冲力就象热一样。物体离开运动来源的最远部分，冲力最弱，就象一根棍子离开热源最远的一头最冷一样，物体离开其推动者后，冲力就平均分布到全身的各个部分，就象棍子离开火之后，热就平均分布出去一样，最后冲力逐渐衰退，就象棍子的

热散掉一样。

十六世纪初在巴黎讲授冲力说的是两个苏格兰人约翰·马鸠里斯（John Majoris）和乔治·洛卡特（George Lockert），都在蒙特古学院任教。他们的学生里面有人文主义者伊拉斯谟（Erasmus，约公元 1466—1536）和琼·路易·维夫斯（Jean Luiz Vives），后者认为冲力说不是一个有启发的见解，而是对人类知识的一种束缚。当维夫斯在卢万大学就任讲座时，他写道：在巴黎

“人们看见一大堆立说和矛盾的定理被提了出来，谈什么均匀运动，非均匀运动，均匀变化的运动和不均匀变化的运动。众口哢哢，毫无结果，他们讨论的都是自然界里找不到的东西。”

拿他自己来说，他赞成工艺传统所积累下来的知识，这些都是真实而有用的。他写道：

“那些人从最有经验的人那里收集了有关每一种工艺的各种题材，并写成文字，他们给人类带来多少智慧财富啊……通过对生活各个方面的这类观察，实践的真知几乎增长到令人不能置信的程度。”

关于冲力问题的讨论在十五世纪时也蔓延到帕多瓦来，但是意大利人讨论的内容并没有超出前一世纪巴黎人所取得的成果。公元 1404 年帕多瓦大学被威尼斯接受过来，而威尼斯当时是带头反对教会和教皇的一个国家，因此容许学者们提出非正统的见解。帕多瓦大学主要是一个医科大学，大学里讲授自然哲学是为了说明当时的科学方法。所以在十五、十六世纪，帕多瓦大学都有人讨论科学方法。动力因逐渐被看作是自然哲学家主要应当解决的问题，而且进行观察的必要性也得到强调。可是有目的行为和目的因在自然哲学里仍被看作是合法的解释原则。在帕多瓦学者们的手里，实验在科学上的作用仍然没有获得发展，直到伽利略的时候才有所改变。

学者和工匠以不同方式促进近代科学的产生。近代早期的科学革命，有两个主要因素：第一是一种新研究方法的兴起，即科学的方法；第二是一种理智上的变化，即产生一种对世界的新看法。工匠在近代科学的实验方法方面作出了贡献，而属于学术传统的那些人开头则是在理智方面的贡献较多，采用的仍是传统方法，如我们将要谈到的哥白尼就是一例。可是科学革命的这两个因素最后都得依靠工艺和学术传统的合流和相互渗透，如我们看见的维夫斯和达·芬奇都表现了这种情况。维夫斯是个学者，但很重视实用工艺；达·芬奇是个工匠，但对冲力说感兴趣。这样一来，机械的类比概念就从工艺中引伸出来，后来成为看待事物的新方式的一部分，而学者们的数学则被纳入科学方法里面来。

第 三 部 分

十六、十七世纪的科学革命

第十二章

哥白尼的世界体系

十五世纪观测天文学的复兴和航海技术有关系，也和旧儒略历的改革有关系，这个旧历法已经跟不上太阳年了。这个天文学的复兴运动是以维也纳大学的乔治·普尔巴赫（George Purbach，公元 1423—1461）开始的，特别是还有他的学生约翰·缪勒（Johannes Müller，公元 1436—1476）。缪勒曾经去过意大利从希腊原文学习托勒密的天文学。缪勒在纽伦堡定居下来后，和他的朋友兼赞助人柏那德·瓦尔特（Bernhard Walther，公元 1430—1504）一起进行天文观测；瓦尔特是个富商，而且造了一座私人的天文台。瓦尔特还有他自己的印刷所，所以两人一同编印航海历书，他对西班牙和葡萄牙的航海者有极大的帮助。缪勒是第一个改正天文观测中光线通过大气的折射差，也是第一个在天文学上使用机制钟的。后来他去罗马想要改革历法，但是还没有改革成功就去世了。他的那些天文观测工作由瓦尔特和他的一位艺术家朋友阿尔布莱希特·丢勒继承下去，所以在尼古拉·哥白尼（Nicolas Copernicus，公元 1473—1543）开始他的工作时，就已经有相当大的一部分准确的近代观测资料供他采用了。

哥白尼是一个殷实商人的儿子，他父亲在维斯杜拉河托伦城的老汉撒镇还担任过市政官吏。可是哥白尼到了十岁时父亲就死了，由他的舅父卢卡斯·瓦采尔罗得领养过来。瓦采尔罗得在公元 1489 年当了艾姆兰的主教。哥白尼在公元 1496—1506 年间赴意大利求学，回来后在波罗的海边的佛劳恩堡担任牧师职务；公元 1512 年，他舅父死了。哥白尼在佛劳恩堡三十年中的活动是多方面的，涉及医学、财政、政治和宗教事务等方面，但是他最关心的好象就是世界的新体系问题。这个问题在他还是个年轻人时——可能就是在意大利求学的时期——就已经想到了。

他的新世界体系把太阳放在宇宙的中心，并规定地球有三种运动，一种是在地轴上的周日自转运动，一种是环绕太阳的周年运动，还有一种是用以解释二分岁差的地轴的回转运动。哥白尼写了一本叫做《短论》的小册子，阐述他的学说，这书约于公元 1530 年起便以手抄本的形式在他的友人中传阅。知道他学说的人逐渐多了起来，并吸引了维腾贝格一位数学家乔治·莱蒂克斯（George Rheticus，公元 1514—1576）的注意。莱蒂克斯和哥白尼一同研究了两年，并在公元 1540 年第一次将哥白尼学说印成书本形式出版。到了公元 1543 年，哥白尼自己出版了他的主要著作《天体运行》。

这本书是在纽伦堡印刷的，主持这件事的先是莱蒂克斯，后来是一个路得派的牧师安德莱斯·奥席安德（Andreas Osiander）。奥席安德在哥白尼这部书前面添了一个短短的前言，说这种新学说不一定就对，但是在解释天体的表面运动和预言它们的未来方位上，不失为一种方便的数学方法。哥白尼本人并不同意这种见解，他认为自己的世界体系是真实的，因为他讨论的一些问题，如关于反对地动说的物理学理由等，都不属于数学性质；如果他的学说被认为是假说性质，这类问题就不需要加以考虑。

哥白尼用以支持他的学说的论据，主要属于数学性质。他认为一个科学学说

是从某些假说引伸出来的一组观念。他认为真正的假说或者定理必须能够做到下面两件事情：第一，它们必须能够“解释现象”，就是说明天体所观测到的运动。第二，它们必须不能违背毕达哥拉斯关于天体运动是圆周的和均匀的论断。在哥白尼看来，一个和观测结果不符的假说的缺点，再没有比违反天体运动是圆周的和均匀的论断更严重的了。

哥白尼认为托勒密的体系“不够绝对，不够使人欢喜”，因为托勒密违反了毕达哥拉斯论断的严格意义。为了解释某些天体的运动，托勒密曾经假定它们沿着圆周运动；这种圆周运动的角速度对它们圆周的圆心而言是不均匀的，而只是对这些中心以外的点来说是均速的。哥白尼认为这种解决方式是整个托勒密体系的一个严重缺点。但是这还不是他的主要论点。哥白尼对古代天文学家的最重要批评是，就算他们的“物理学公设”和“解释现象”的必要性是对的，他们或者是没有能够说明天文观测的结果，或者毫无必要地使他们的宇宙体系变得复杂。在谈到他的前辈时，哥白尼写道：

“因此在证明的过程中——也就是我们叫做的方法——他们的做法是，或者略去一些本质的东西，或者承认某些外来的而且完全不适当地东西。”

哥白尼把批评集中在后一点。在他看来，古人为了建立一种地球处于宇宙中心并停止不动的体系，把地球的三种运动都加给每一个天体。这样一来，为了从地球静止的观点来解释天层的表观运动，在古希腊人宇宙的几何体系里，每一个天体都被加上三个圆，或者圆的体系。哥白尼认为这类的圆使希腊人的宇宙体系不必要的复杂化了。他假定地球在其本身的轴上每天自转一周，并每年环绕太阳一周，从而把那些圆都废除了，哥白尼就是这样把托勒密体系用以解释天层表观运动的繁琐的圆从八十个左右减为四十八个。这个体系是他在《天体运动》中提出来的，而在《短论》中，他只采用了三十四圆；在《天体运动》中哥白尼比在《短论》中更详细地解释了行星的运动。他的门徒莱蒂克斯在谈到这里提出的地球绕日运动时说：

“既然我们看出地球的这一运动能够解释差不多无数的现象，难道我们不应承认大自然的创造者上帝具有普通造钟者的技巧吗？因为这些造钟人都很谨慎地避免在钟的机件里加进一个多余的轮子，或者只要稍微改变一下另一个轮子的位置，其机能就可以发挥得更好。”

实际上哥白尼为希腊人提出的怎样用圆周和均速运动解释天体表观运动的问题，提供最简单的答案。他的方法并没有什么新奇的，是从毕达哥拉斯以来就被天文学家所采用过的。哥白尼在采用古希腊的这些见解时，把古希腊的世界体系推翻了。可是有一个见解却是他没有采纳的，事实上是被他的体系大乱了，即认为天界是神圣的而地球是不完善的。

在哥白尼的体系里，地球和别的行星一样环绕太阳。地球和别的天体一样具有同样的均速和圆周运动，而在旧的体系里这种运动只能是完善和不朽事物的特征。还有，哥白尼强调指出地球和天体全都具有引力，因此并无不同之处。这种引力的作用并不通过空间生效。它只是在物质聚集的内部存在，如地球和天体里面，提供一种束缚物质的力量，并使物质集成一个完善的球形。他的论证是有目的的和带有目的论色彩的。

“我觉得引力只是一种自然倾向，是出于宇宙创造主的神意，赋予物质的各部分，俾使它们能形成圆球，从而建立它们之间的统一性和完整性。很可能日、月和行星也具有这种感应力，使它们能靠这种引力的作用保持球形。”

哥白尼的体系比托勒密的体系简单得多，漂亮得多。根据旧的体系，天体既有由东向西的运动，又有相反方向的转动。现在地球和所有的行星都以同一方向环绕太阳，运转的速度是离太阳愈远的愈慢。太阳处在宇宙的中心，恒星则是处在宇宙的边缘，而且是不动的。现在可以看出，为什么行星看上去有时向地球行来，有时又离地球远去。这是因为行星有时和地球同在太阳的一面，另一个时候则处在太阳的另一面。哥白尼靠了本轮的一种巧妙组合，解释了月亮的视直径相差并不大，而托勒密所假定的本轮则要求月亮的视直径相差到四倍。

哥白尼的体系由于在计算上用到数量较少的圆周，使天文学上的测算变得容易一点，但在预测行星方位等方面却并不比托勒密体系更准确到哪里去。两个体系都含有百分之一的误差。而且，哥白尼体系还存在着严重的物理学上的困难。其中一件事实在当时也许并不怎样严重，就是宇宙的中心并不完全处在太阳的位置。哥白尼把中心放在地球绕日轨道的中心，这离开太阳还有一段距离，原因是这样才能解释四季长短不等的现象。有些哲学家要求宇宙的运转中心应当是真实的物体，但是人们都广泛承认，为了适应这个目的，一个几何性质的中心就够了，如本轮本身的设计就是这样的。还有，当时的亚里士多德派认为引力是指向一个几何性质的点，即宇宙中心，而且在他们的体系里并不一定就是地球的中心。

更严重的一条反对理由是，如果地球在转动，空气就会落在后面，而形成一股持久的东风。哥白尼对这条反对的理由提出了两条答复。第一条答复是属于中世纪性质的解释，即空气含有土微粒，和土地是同一性质，因此逼得空气要跟着地球转动。他的第二条解释比较现代化。空气转动时“没有阻力是因为空气和不断转动的地球是连接着的。”一个类似的反对理由是，一块石子向上抛去，就会被地球的转动抛在后面，而落在抛掷点的西面。对这条反对理由，哥白尼只给了中世纪性质的答复，“由于受到本身重量压力的物体主要属于泥土性质，所以各个部分毫无疑问和它们的整体保持同样的性质。”

另外还有一条反对理由，就是如果地球转动，它就会因离心力的作用变得土崩瓦解。哥白尼的回答是，如果地球不转动，那末恒星的那些更庞大的球就必须以极大的速度转动，这一来恒星就很容易被离心力拉得粉碎。这条论证在当时并不真正站得住，因为天层在当时被认为是完善和没有重量的第五种元素——精英——组成的，所以不受到离心力这类地上作用的影响。可是亚里士多德原来的精英观念在中世纪已经变得粗劣了，天层被看作是坚硬、透明和晶莹的，这就使哥白尼的论证得到支持。他还找到解决这里困难的另一种方式，就是指出离心力只在非天然的人为运动中找到，而在天然的运动中，如地球和天体的运动中，则是找不到的。他论证道：

“自然统治的事物和暴力统治的事物，二者所引起的效果是相反的。受到外力和冲击的东西必然要解体，而且不可能存在一个很长时间；但是自然创造的东西则是秩序井然的，而且保持其最好的组成状态不变。托勒密害怕地球和地上万物可能因自然的作用在运转中解体，因此他是错了。”

显然，哥白尼既不接受亚里士多德的运动理论，也不接受冲力的运动理论，因为他认为推动者和冲力的作用都是不自然和人为的。他认为沿圆周的旋转和均速运动，是完善的几何球形的自发的和天然的属性，这也就是地球和天体的形式。所以哥白尼并不遵照公认的狄奥尼修斯对亚里士多德—托勒密体系的修正，运用一种天使等级制度来推动天体沿着它们的轨道运转，较高天层的天使指挥那些较低天层的天使。天体有其各自的自发天然运动。莱蒂克斯告诉我们：

“如我先前解释过的，我的老师的假设是承认星层是界限。根据他这一

假设，每一行星层都依照自然给它指定的运动以均速前进着，而且在完成其周期时并不因较高星层力量的影响而强使速度快慢不均。再者，较大的星层运转较慢，而那些靠近太阳的则运行得较快，因为太阳是运动和光的来源，所以这种情况是完全合理的。”

就这样，一套崭新的天体贵贱观随着哥白尼出现了。处于宇宙边缘的原动天不再是重要的了。处于宇宙的中心太阳则是诸天的统治者。哥白尼自己写道：

“太阳在万物的中心统驭着；在这座最美的神庙里，另外还有什么更好的地点能安置这个发光体，使它能一下子照亮整个宇宙呢？……事实上，太阳是坐在宝座上率领着它周围的星体家族……地球由于太阳而受孕，并通过太阳每年怀胎、结果。我们就是在这种布局里发现世界有一种美妙的和谐，和运行轨道与轨道大小之间的一种经常的和谐关系，而这是无法用别的方式发现的。”

当时亚里士多德派强调处在宇宙边缘的原动者的力量，而哥白尼则尊崇处在宇宙中心的太阳。介入两者之间的则是古萨的尼古拉，他在讨论空间的无限性时，曾主张宇宙的实际情况是“中心和周围合而为一”。可是哥白尼的改革要彻底得多。宇宙的权力不再是由原动者派遣了许多不同等级的天使来执掌，从宇宙边缘到宇宙的中心地球基地；权力由太阳绝对执掌着，太阳统率着地位大致相等的星体，包括地球，也包括行星在内。它们都同样具有引力和圆周运动。

哥白尼当时感兴趣的是提倡这种新的贵贱观，因为如果他仅仅想要提出一个比较简单的世界体系，很可能后来第谷·布拉赫（Tycho Brahe，公元 1546—1601）采用的设计也会被他想到。在第谷的体系里，行星环绕太阳，而太阳和诸行星作为一个整体则环绕处在宇宙中心不动的地球。这样一个体系和哥白尼的设计在数学上是相等的，而且并不引起哥白尼体系所带来的因地动而出现的物理学问题。但是这种设计大部分保持了旧的天体贵贱观，而哥白尼可能是为了这个理由而主张他的日心说。

古怪的是，哥白尼的天体贵贱观和宇宙见解虽则那样新奇，但是在方法上却是保守的。他一生中始终坚持古希腊人的天体运动必然是圆周和均速的运动，因此他的体系虽则比托勒密提倡的体系简单得多，但是和约翰·刻卜勒（Johann Kepler，公元 1571—1630）后来创立的体系一比，就显得复杂了。哥白尼用三十四个圆周解释天体的表观运动；和哥白尼相反，刻卜勒只用七个椭圆就解释了。正如刻卜勒说的，哥白尼并没有觉察到他伸手就可以取得的财富。哥白尼知道几个圆合并起来就可以产生椭圆，但是他从来没有用椭圆形来描述天体的轨道。还有，他在少年时，对古代所作的天文观测非常尊敬。有个天文学家维尔纳（J. Werner，公元 1468—1528）曾经提出，普尔巴赫和缪勒新近所作的观测，比托勒密作的那些观测要准确些，他就写了一封措辞强烈的信给维尔纳。事实上，这些观测比托勒密的观测要准确到三倍光景。

近代早期天文学上最重要的观测工作，是由第谷·布拉赫进行的，他的那些观测比缪勒作的观测要准确到五十倍光景，几乎达到肉眼观察所能达到的极限。第谷是一个丹麦贵族。丹麦国王腓特烈二世给了他一笔俸金，并把哥本哈根海峡的赫芬岛拨给他进行天文学研究工作。他在岛上造了一座宫堡，一些车间，一个私人印刷厂和一座天文台。他在这里和许许多多的助手从公元 1576 年到公元 1597 年一起工作，搜集了大批的准确观测资料。他说没有一个世界体系理论的指导，就无法进行观测，所以他采用了上述的修正过的地心说体系。不过他主要感兴趣的是天文观测，而他擅长的也在这一方面。腓特烈二世逝世后，他的继承

者并没有继续对第谷给予资助和支持，所以第谷·布拉赫于公元 1599 年去布拉格，由奥皇卢道耳夫给了他一份津贴。第二年，年轻的德国天文学家约翰·刻卜勒也来参加他的工作。刻卜勒主要是一个接受哥白尼传统的数学家，父亲是符腾堡的一个陆军军官，母亲是旅馆主人的女儿。刻卜勒在图比根读书，受到图比根大学的天文学教授迈克尔·马斯特林的影响而信奉哥白尼的学说。刻卜勒和第谷·布拉赫在布拉格的合作时间很短，因为第谷在公元 1601 年就逝世了，死前他把自己所有的天文观测资料都赠给刻卜勒。刻卜勒继续留在布拉格，为主子编制星行表，并联系这项工作进行他自己对行星轨道性质的研究。他的《卢道耳夫星行表》于公元 1627 年问世，比当时通行的星行表都要准确得多，如公元 1551 年赖恩霍尔德（Reinhold）根据哥白尼学说编制的《普鲁士星行表》和十三世纪根据托勒密体系编制的《阿尔斗索星行表》。这些早先的星行表准确程度都差不多。《卢道耳夫星行表》比以前出版的这些星行表都要准确，因为它根据的是第谷·布拉赫的精确观测，和刻卜勒从这些观测所建立的关于行星轨道的一种新观点。

刻卜勒在宇宙论方面的最早著作《宇宙的神秘》于公元 1596 年出版，是一部相当带有神秘性质的书。他想在哥白尼体系的行星轨道之间寻找一种数学的和谐，发见五种正多面体正好用来形容行星包括月亮轨道之间的天层。在他获得了第谷的观测资料之后，他的工作就变得更加踏实起来，不过有很长一个时期他为天体运动必然是正圆和均速的而苦恼着。可是他发现这种观念，不论在哥白尼体系里，在托勒密体系里，或者第谷的体系里，都不能以同样准确程度预测第谷所测算到的结果。因此他就放弃这种观念，并试图用别的几何图形来解释。到公元 1609 年他发现椭圆形完全适合这里的要求，能做出同样准确的预测。行星的运动现在不再是正圆的或均速的了，因为他在公元 1609 年发表的关于行星运动的两条定律是：（一）每一行星沿一个椭圆轨道环绕太阳，而太阳则处在椭圆的一个焦点中；（二）从太阳到行星所联接的直线在相等时间内扫过同等的面积。九年后，他又发现了第三条定律，即行星绕日一圈时间的平方和行星各自离日的平均距离的立方成正比。

在他于公元 1618—1621 年间写的《哥白尼天文学概要》中，刻卜勒阐述了天文学的方法，和哥白尼的方法迥然不同。刻卜勒说天文学分五个部分。第一，观测天象；第二，提出解释所观测的表观运动的假说；第三，宇宙论的物理学或形而上学；第四，推算天体过去或未来的方位；第五，有关仪器制造和使用的机械学部分。刻卜勒主张，在第三部分即宇宙论的形而上学里，象行星运动必须是均速和正圆的这样古希腊见解，对于天文学说来，并不是必要的。如果他的假说能容纳在一种形而上学的体系里，那当然很好，如果容纳不了，那就得把这种形而上学体系抛弃掉。刻卜勒说，假说的唯一限制是这些假说必须是合理的，而一条假说的主要目的是“说明现象，及其在日常生活中的用途”。

刻卜勒接受了而且的确发展了哥白尼的天体贵贱观。他也认为太阳是宇宙的统治者，太阳的世界灵魂指挥着行星环绕它们的轨道。刻卜勒觉得太阳是唯一的这样一个天体：

“如果至高无上的上帝高兴要一个物质居所，并选择一个地方和他那些有福的天使住在一起的话，在我们看来，只用太阳才配得上上帝居住。”他认为，整个宇宙就是三位一体的现象和模式。圣父是中心，圣子是环绕中心的星球，而圣灵则是宇宙间的那许多复杂关系。

由于刻卜勒的贡献，太阳系的空间位形终于澄清了，而且根据机械力的动力

平衡来阐明天界的模式，这扇门是打开了。这是早期近代科学的伟大成就。古希腊人主要关心的是宇宙的静态模式，运动只是在运动均匀地重现并且描出几何图形时，方才加以研究。由于他们的这些先入之见，古希腊人的世界体系模式始终是复杂的，哥白尼抛弃了一个先入之见，即天与地的质的差别，获得了一个简单得多的体系；刻卜勒把其他许多古希腊先入之见都丢掉，就找到了最简单的世界体系。在这样做时，他们为以地上力学说明天体运动开辟了道路。这个发展，对于古希腊那些主要的学派，就算他们掌握了一种动力科学，也无法想象得出，何况他们当时并不掌握这门科学呢。

第十三章

吉尔伯特、培根和实验方法

存在于工匠传统和学者传统之间的障碍，一直把机械技术和人文科学隔离开来，这种障碍到了十六世纪就开始崩溃了。行会的秘密消失了，工匠把他们的传统记录了下来并吸收了学者们的一些知识，有些学者还开始注意到匠人的经验和方法。在这种风气下，一件值得注意的事是意大利一个冶金工人比林古邱（Biringuccio）于公元 1504 年出版的《论火法》一书。他后来当了教皇属下开矿和军事工程的总管。这本书谈到冶炼金属，铸造大炮、炮弹和钱币，以及火药的制造。公元 1556 年在日耳曼哈尔茨山矿区的一个学者和医生乔治·鲍尔（George Bauer）也写了一本类似的著作，还加上一些关于开矿方法的描述。

此后，新的技术上的发明和科学上的发现，在工匠技术的书中都有所记载。如罗伯特·诺曼（Robert Norman），伦敦的一个退休海员和罗盘制造者，在公元 1581 年出版了一本小册子《新奇的吸引力》中，就谈到他发现磁针的下倾现象。他发现一根磁针用绳子在半中间吊起来，不但指向北方，而且跟水平形成一倾角，这就叫磁倾角。诺曼还把磁化以前和磁化以后的铁屑称过，看磁力是否有重量，并得出否定的结论。他又把一个装在软木上的磁针浮在水平面上，发现磁针仅转动到指向南北而不是向南方或北方移动，从而得出磁力只是一种定向力，而不是运动力的结论。他说，这些现象是通过“经验、理性和证明这几项学术根据”而发现的，他讨论了和航海有关各种磁力的问题，特别是在不同地方罗盘磁针和正北方的偏离问题。他说，这种偏离并不如有些航海的人所相信的那样，随地点不同而有规则地变动，那些人“虽然游踪甚广，但在这些问题上却相信书本而不相信经验”。至于磁力的理论，他承认自己提不出任何建议——“我不愿在这许多论点上和逻辑学家进行争论，因为看来在自然原因的解释上他们远远超过了我。”

所以，十六世纪的工匠传统虽然产生了象诺曼那样作了实验的人，但不能产生科学理论家。可是当时的学者们却能做到这一点，而那些对工匠著作有兴趣的学者们则为工匠提供了他们所缺乏的理论。在磁力问题上，当时最杰出的人物是伊丽莎白女王的御医，科尔切斯特的威廉·吉尔伯特（William Gilbert of Colchester，公元 1540—1605），他的著作《磁石论》发表于公元 1600 年。吉尔伯特接受了并发展了罗伯特·诺曼和十三世纪作者皮埃尔·德·马里古特的实验工作。他按照马里古特的办法，制成球状磁石，取名为“小地球”，在球面上用罗盘针和粉笔划出了磁子午线。他证明诺曼所发现的下倾现象也在这种球状磁石上表现出来，在球面上罗盘磁针也会下倾。他还证明表面不规则的磁石球，其

磁子午线也是不规则的，由此设想罗盘针在地球上和正北方的偏离是由大块陆地所致。他的试验大部分都不是什么新鲜玩意，同时有很大一部分都属于定性性质。但也有些例外，如他发现两极装上铁帽的磁石，磁力大大增加，他还研究了某一给定的铁块同磁石的大小和它的吸引力的关系，发现这是一种正比关系。

吉尔伯特根据他所知道的磁力现象，建立了一个相当重要的理论体系。根据他的磁石球实验，他设想整个地球是一块巨大的磁石，只是浮面上为一层水、岩石和泥土遮盖着。他认为磁石的磁力正如身体中的灵魂一样，产生运动和变化。所以对马利古特的磁石球会自转的理论，他也很向往，但他加上一句话，“至今我还没有看见过这种现象”。他相信地球在自己轴上作周日运转；他说，地球这个巨大的磁石“由于磁力亦即其主要的特性而有自身的运转”。他认为地球的磁力一直伸到天上并使宇宙合为一体。引力，在吉尔伯特看来，无非就是磁力，吉尔伯特把他的书献给那些“不在书本中而在事物本身中寻找知识”的人，即属于新传统的人。他否定老的学术传统，他说属于这个旧的传统的学者们“盲目信仰权威，是白痴、咬文嚼字者、诡辩家、小讼棍、坚持错误的庸人”。吉尔伯特自己站在工匠和对工匠传统有兴趣的学者们一边。他称哈尔茨山区的医生鲍尔是“科学上杰出的人物”。马利古特就他的时代来说是有学问的。他还称赞诺曼为“航海专家和天才的技师”。因为诺曼发明了“航海者和远途旅行者所需要的磁力仪器和方便的观察方法，并公诸于世”。

吉尔伯特和诺曼的工作，是工匠学问和学术知识结合的范例，是用实验方法探索自然界和从理论上解释自然界这两者结合的范例。诺曼并没有超越旧的工匠传统，因为他不能给自己的发现提出解释。同样，吉尔伯特也没有能够避免他所否定的旧学者传统的影响。虽则他的理论是建立在实验上面，但仍然是思辨性质。此外，正如弗兰西斯·培根后来指出的，吉尔伯特没有用他的假说来指导进一步的实验，他在完成他的实验以后提出他的理论，但并没有打算进一步作些实验来证实他的理论。

十七世纪初期，现代科学已开始兴起，不过进度仍不太平稳，而且人们也还没有完全看出它的新特点。在整个十六世纪，工匠传统和学者传统逐渐结合起来，产生了一种新的研究方法，但是很少有人认识到这样发展预兆着什么，更少有人觉察到这种新科学方法的性质，以及它的各种可能应用。在第一批意识到科学的历史意义以及它在人类生活中可能扮演的角色的人当中，詹姆士一世手下的大法官弗兰西斯·培根（Francis Bacon，公元 1561—1626）就是一个。他觉得自己看到的倾向是好的，并企图通过分析和确定科学的一般方法和表明其应用方式，给予这种新科学运动以发展的动力和方向。

培根主要是一个哲学家，而不是科学家。他一开始就探索实验方法的各种可能性，用他自己的话来讲，要做科学上的哥伦布，同时要引起别人的注意，使他们能把这些可能性变为现实。他的第一步书是公元 1605 年出版的《学术的进展》，这是解释他的见解的最早的一部通俗读物。他的主要著作是《学术的伟大复兴》，这部书的一部分发表于公元 1620 年，实际上到他死时还没有写完。培根原意是把此书分为六个部分。首先是导论，他说这部分有了《学术的进展》就行了。第二部分，亦即书中最完整的部分，是对科学方法的分析，培根名之为《新工具论》。第三部分原定是一部分关于工匠学问和实验事实的百科全书。第四部分没有找到，他打算说明怎样运用新方法来分析这些事实。第五部分计划讨论过去和现在的科学理论。第六部分预备谈新自然哲学本身，也就是把从各方面的事实提炼出来的假说和现有的科学理论最后加以综合。

这个庞大的写作规划，培根完成的只是很小的一部分。《学术的伟大复兴》只讲到了他对科学方法的分析，但这一部分在十七世纪英国和十八世纪法国影响都极大。在方法论上，培根努力把学者传统和工匠传统的方法结合起来，以便导致他所说的：“经验和理性职能的真正合法的婚配；由于两者被粗暴地和不幸地隔离开来，所以人类大家庭才陷入混乱。”在估计这两个传统在当时所处的情况时，培根把工匠技术日积月累的成长和哲学发展的错误路线作了一个对比。他写道：

“虽然致力于机械技术的早期的人们工作粗糙，笨拙不灵，但不久他们就获得了新力量和新才能。古代哲学生气勃勃，但后来就一蹶不振。对这种相反境遇的最好解释是，机械技术往往是许多人共同努力而产生的单一结果，而哲学上则往往是一个人才毁掉许多人才。许多人屈服于一个人的领导……从而不能作出什么新的贡献。因为哲学一旦和使它发育成长的经验隔离开来，哲学就变成死的东西了。”

在培根看来，当时的学术传统是贫乏的，因为它和经验失去接触；同时工匠传统在科学上也没有充分发挥它的力量，因为它的许多东西都没有记载下来。因此，他说，“一旦有经验的人学会读书写字，就可希望有更好的东西出现。”这些“更好的东西”就是新的科学原理和新的技术发明。正如吉尔伯特接受了十三世纪马里古特的实验一样，他也把十三世纪和他同姓的人罗吉尔·培根的理想接受下来。罗吉尔·培根预见到实验方法的运用会使将来产生许多伟大的技术发明。弗兰西斯·培根也有同样的憧憬。他写道，对自然的理论解释和实际控制将导致“一系列和一大堆的发明，而它们将在一定程度上征服人类所感到的贫乏和苦痛”。

但是，培根决不是在狭隘意义下的功利主义者。他认为对自然的科学理解和对自然的技术控制相辅相成，两者都是运用科学方法的结果。培根对印刷、火药和罗盘磁针的发明非常重视。他以这三种发明为例，证明近代人比古希腊人的知识高明得多。他注意到以上的发明都是根据新的原理获得的。印刷绝不仅是快速的写字方法，枪炮也不仅是把陈旧的抛石机改进一下，而是体现了一些原理，同以前运用在这些技术上的原理性质上完全不同。不但如此，正如从罗盘磁针发展起来的马里古特、诺曼和吉尔伯特的工作所表面的那样，这种原理总是具有相当重大的科学意义的。

培根论证说，因此促进科学和技术发展的新科学方法，首先要求的就是去寻找新的原理、新的操作程序和新的事实。这类原理和事实可在技术知识中找到，也可在实验科学中找到。当我们理解了这些原理和知识以后，它们就会导致技术上和科学上的新应用。他认为，有很多原理蕴藏在工匠和日常操作中，所以这些操作方法是科学知识的可贵源泉。特别值得注意的是这些操作方法对自然界事物具有主动的作用和实验的性质，它们能使自然起变化或者转化。在变化时，自然界就把其自身的隐蔽方面暴露出来，迫使人们注意。但在被动地察看自然界的时候，譬如对动物和植物作观察时，人们总是太容易把支持自己先入见解的事实拈了出来。培根写道：

“有一种是为了其本身而进行的对自然的研究，另外还有一种是为了对理论提供情况以便建立哲学的对自然的研究。二者确有许多不同之点，特别是前者所表明的是事物的各种自然性质，而后者则涉及对事物的机械或实验作用。正如在社会中，每一个人的能力总是最容易在动荡的情况下而不是在其他情况下发挥出来，所以同样隐藏在自然中的事情，只是在技术的挑衅下，

而不是在任其自行游荡下，才会暴露出来。”

在这方面并不是所有工艺操作方法都是一样的。使自然的隐蔽方面暴露出来，是那些“揭露、改变和配制自然物体和材料的工艺”，而不是那些主要依靠“手工或工具的灵巧动作的工艺”。

培根列出了一张他认为是值得研究的一百三十个课题和操作方法的表。他请求詹姆斯一世颁布命令去搜集这些方面的知识，但是没有结果。把大量事实搜集起来是他的方法的首要要求，事实上他认为只要有一部篇幅六倍于老普林尼的《自然史》那样的百科全书，他就可以解释自然界的所有现象。有了这样的资料，他深信只要把有关每一课题的事实加以排列分类，就能对任何学科的研究取得成果。首先要有关某一现象所有“正面事例”，即出现这一现象的事例列举出来。譬如说，在考察热的性质时，太阳光和火焰等等就是这样的事例。其次，还需要把“反面事例”，即不存在这一现象的事例列举出来，譬如说热就不存在于月光、空气、水等里面。最后，要注意到“程度的比较”，如由于运动强弱而在动物身上产生的不同程度的热和由于摩擦程度不同而产生的不同程度的热等等。有了这些表，再经过各种假说的提出，把不合乎事理的假说排除掉，而对可能的假设进一步种种实验，就可得到科学的知识。为了实现这个目的，还可以用另外一些“事例”把各种对立的假说区别开来，如用“分离”的事例，即把所要研究的现象和混杂在一起的其他现象隔离开来，和用“显著的事例”即用最突出的有关现象的存在的事例，来说明问题。

培根用以上方法来比较关于热的各种不同假说，而得出热的本质就是运动的结论，因为有热的情况出现时，总有运动。他并没有把他的见解用摩擦生热这个明显得方式提出来。他认为产生可感觉的热效应的原因是现象下面的“物体微粒的运动”。培根主张在可见的自然界后面，有许多结构和作用由于我们感观的限制，而使我们觉察不到。

这种结构和运动过程他叫做自然界的“潜在结构”和“潜在作用”，而科学家的任务就是发现这是些什么。

培根自己感到自然界的这种“潜在结构”具有原子的特性，而热的“潜在作用”则是这种原子和微粒的运动。

培根认为，从各种事实表中求得假说的方法，可以应用到假说本身，以求得具有更大概括性的公设。但在每一阶段对假说、公理和理论都必须作实验的考查，并且适当地用来解决人类的一些问题。这样就可以用归纳方法在事实的百科全书基础上牢固地建立一座科学理论的金字塔，并从它的每一阶段都引伸出许多科学的应用。但在科学的应用问题上，金字塔的各级并不都产生相等地效果，因为培根认为只有处于中间阶段的那些概括出来的原理才是最有用的。培根写道：

“最低一级的公设和简单的经验没有多大分别，而那些最高级的最概括的公理则是概念化和抽象性的，因而不具体。但处于中间的公设则是真实的、具体的、活生生的，人类一切事务和命运都依靠它们。”

这样的概括可以说是相当接近真理。吉尔伯特概括出来的磁力把宇宙合为一体的概念，在技术或科学方面并不能派多大用处，但是他的“中级公理”，即磁子午线的歪曲是由于地球上大块陆地所致，虽然是错误的，却为科学和航海技术所采用，并促进了进一步的科学探索。

培根的科学方法观是以实验定性和归纳为主。他对科学方法上使用的数学和演绎法采取不信任态度。他并不是不知道数学是科学的一个有用工具，但他认为数学已经有了很大的发展，不过“和逻辑学一样，它过去并没有成为科学的侍

婢，而是统治着科学”。伽利略把现象从它们自然的环境中孤立开来，只研究现象的可测量方面，然后根据研究的结果建立庞大的数学理论，培根对伽利略发展的这种方法是反对的。培根要人们去考虑手边问题有关的一切事实——如哥白尼布认为是重要的天文学中天体的物理特性，伽利略所忽视的落体现象中空气阻力的作用，都应在考虑之列。

培根研究了天文学上所有的事实以后，得出了一个在当时并非完全不合理的看法，即“那些以为地球是在运转和那些坚持有所谓原动天和老一套的宇宙结构的人，都差不多同样地而且无所轩轻地得到了现象的证实”。要在哥白尼体系和托勒密体系之间进行选择，他认为还要做大量的科学研究工作，特别是在一些物理问题上，如哥白尼归之于天体的“自发运转”的性质问题。在这里，他很反对亚里士多德的天体和地球属于不同物质的说法。在谈到亚里士多德的哲学时，他说：

“仔细考查一下这种哲学，我们就会发现它提出了一些立意摧残科学探索的观点，如说太阳的热和火的热不同，或说人们只能排列事物而只有自然才能使事物相互作用。”

培根也否定古希腊人认为天体运动必然是圆形的和均匀的看法。这种看法“只是出于杜撰，是为了对计算方便和有利而提出的”。培根就这样否定了古希腊人的天体优于一切合天体作圆周运动的方法论公理，不过他也承认他们天文学的某些内容，如地球处于宇宙的中心见解。大体上，培根只是在他提倡的方法上有他的独创之见，但这些独创之见也没有立即得到应用。十七世纪科学的进步主要依靠伽利略所发展的和笛卡儿所发挥的数学演绎方法，只是到十九世纪由于地质学和生物学中进化论的发展，培根的定性—归纳方法才受到人们的重视。到了那时，大量的主要属于定性性质的事实从地球上各处被收罗起来，而归纳的推理方法才被应用来使地质学和生物学的理论更加完备。

在应用科学方面，培根感兴趣的主要是工匠的技术和工业生产过程，他实际上被称作是“工业科学的哲学家”，但他对当时兴起的商业和航海术并不十分关心。在这方面，他的计划也是到了十九世纪才得到实现，虽则他的发展技术的方案在十七世纪引起过很大的注意。培根比较着重发展工匠传统的价值及其操作过程，而不重视学者的传统。笛卡儿的方法，如我们下面将要看到的，则更多地表现了学者的而不是工匠的传统观点。所以这两个在十七世纪从事分析和制定科学方法的人，都没有能够把这两个传统充分结合起来，把“经验的合理性的职能”统一起来。因此，在他们之后，工匠和学校之间的老障碍的残余仍然存在，事实上直到现在为止，实验科学家与数理科学家之间，纯理论科学家与应用科学家之间，在地位上仍然存在着区别。

第十四章

伽利略与力学

天文学从远古一直到近代，都和僧侣团体与学术传统有联系的。天文学一直都谈不上有什么象样的技术传统。到了地理大发现时期，船舶在海中望不见陆地，需要决定经纬度时，天文学才被介绍进航海术里来。因此，我们发现近代的早期天文学家都采用了旧学术传统的数学方法，他们拿出的理论是新颖的，但在方法上则是保守的。哥白尼和后来的刻卜勒都没有把数学看作仅仅是一种知识工具，一种发展科学理论而不影响这种理论内容的方法。他们的数学属于一种形而上学性质，包括有毕达哥拉斯和柏拉图许多先入见解在内。天体必然是球形，它们的运动必然是圆周形的。天文观测必须适应这些先入的见解，因为数学形状、形式与和谐决定宇宙的构造，而且是一种先于感观知觉的实在。笛卡儿在公元 1628 年写道：

“当我想到，为什么古代的那些早期的哲学先驱拒绝让那些不懂得数学的人研究学问，……我就怀疑到他们所拥有的那种数学知识和我们现在流行的数学是很不相同的，我越想越觉得如此。”

到了十七世纪，数学已经成为科学方法的逻辑的一部分了；数学是研究事物性质的一种中立的工具，而不是事物性质的一种先天的决定因素。笛卡儿就是看出了数学在地位上发生的这种深刻变化的人。这种变化主要并不是出现在天文学上，而是在力学上。在力学上长期以来存在着一种技术实践和学术讨论的传统，而科学的实验—数学方法就在力学上出现的。力学的科学和数学的实验方法与十六世纪先在意大利北部发展起来，这在当时的欧洲恐怕是工艺上最先进的地区，因为它拥有很多的名建筑师和工程师。相反地，英国在技术上虽说进步较慢，却产生了磁力科学和定性的归纳方法，而德国人则运用旧的方法发展了天文科学。

当冲力学说在大学里显得沉默之后，力学在十六世纪的发展主要是由工程师负起的，不过学者们仍在继续进行冲力的讨论，而且这门科学终于在大学教师伽利略的手中以近代面目出现了。工程师们很快在方法上超出了那些冲力理论家，他们进行了许多实验，而不把自己限制在讨论范围以内。还有，他们的实验都属于定量性质。他们测量并联系他们研究的那些变数，并求得经验性的物理定律。艺术家兼工程师列奥纳多·达·芬奇通过实验研究了种种建筑上的问题。他使用小型的模型研究栋梁所能支撑的重量是怎样随着栋梁的粗细和高度或长度变化的。他的实验结果使他得到一个结论，由一定材料构成并具有一定高度的柱子，其载重力和柱子直径的立方成正比，而横梁的载重力则和它的粗细成正比，和它的长度成反比。

这类实验表明列奥纳多很懂得定量的实验在科学方法上的重要性，而且对数学的价值也不是没有认识。他写道：“科学上没有什么肯定的事情用不上一门数

学科学的。”他觉得力学是最高贵的科学，“原因是通过力学，一切能够动的生物都能作出所有的动作”。列奥纳多的理论见解，并没有超出冲力说者的研究成果，不过他把力学的范围从物理学扩大到生物界。动物的骨头和骨节，他认为属于杠杆系统，是由肌肉的力量来操纵的。

随着火器的发展，一个力学问题变得重要起来了，那就是抛射体运动的性质问题。古希腊人过去只能说明处在同一直线上的不同的力或者不同运动的合并，或者如杠杆那种例子的平衡力或者运动。抛射体的运动一直是一个没有解决的问题，因为这类运动是射力和引力的共同产物，而这两种力很少是直线的或平行的。中世纪的亚里士多德派认为，抛射体先是沿一根倾斜的直线上升直到射力耗尽为止，然后在引力下垂直地下落。所以他们并不把射力和引力合并起来；他们认为这两种力一先一后。冲力说者认为引力有可能在抛射体的冲力耗尽之前，就开始起少许作用，所以射出轨道的最高点并不形成一个尖角，而是带一点圆。列奥纳多采纳了这种见解。他觉得一个抛射体的射出轨道有三个部分：一，在冲力下的直线运动；二，在引力和冲力混合下的一种曲线位形；三，在引力下的垂直坠落。

继列奥纳多做这方面研究的是达塔格里亚（Tartaglia，公元 1500—1557）。他是一个自学出身的工程师、测量师和会计员，在数学和力学方面都写过书。他在公元 1546 年出版了一本论述兵法、火药和射击学的书，在书中明确指出抛射体的冲力和引力在抛射体的整个射程中，都对抛射体共同起着作用。因此，一个抛射体的轨道从头到尾都是曲线的，原因是“总有某些部分的引力在把射弹拉离它的运动路线”。达塔格里亚还发现一条把大炮射程和倾斜角度联系起来的经验法则。他说，炮身的倾斜度在四十五度时射程最远；而且随着倾斜角度的增加或者减少，射程就会缩短，开头较慢，后来就缩得非常之快。达塔格里亚对提倡数学和力学的研究极其关切。他是第一个把欧几里得几何学译成意大利文的人，而且在公元 1543 年第一次出版了阿基米德的力学。在他看来，数学只涉及到科学方法，并不代表科学理论必须适应的那些形而上学真理。“一个人研究几何学的目的”，他写道，“总是竭力用材料制造出他所要制造的东西”。这就是说，数学只是在它能应用在具体事物上时，对科学方才有用。

和达塔格里亚同时的还有吉罗姆·卡当（Jerome Cardan，公元 1501—1576）。他是一个家资富有的学者，在米兰的柏拉图学校任教。和达塔格里亚相反，卡当主张几何图形和算术和谐决定事物的特性，数学知识给予人控制自然的神秘力量。在力学的领域内，他并不是一个实验主义者，至少他不用实验方法来考验他的那些立论，因为他声称在一个倾斜面上使物体保持不动的力和倾斜角度成正比，这一立论对于稍微大点的角度，通过实验就会被否定掉。

这以后不久，班纳蒂（Benedetti，公元 1530—1590）在帕多瓦大学继续进行冲力说的讨论。他的《力学论》（公元 1585 年）一书主要是对亚里士多德学说的批判。班纳蒂否定了亚里士多德关于物体越接近宇宙中心速度越快的见解，声称这样一个自由坠落的物体离开其起点越远，速度就越来越增加。班纳蒂觉得如果把一块石头扔进贯穿地球的井穴，石头将不会如亚里士多德所设想的停止在地球中心，因为它获得的冲力将使它越过中心，并且在中心的上下反复摆动直到冲力耗尽为止。但是班纳蒂相信同样形状和大小的物体，其坠落的速度和它的密度成正比，物体愈重坠落得愈快。

在意大利以外，这一时期的一个著名的力学家是布鲁日的西蒙·斯台文（Simon Stevin，公元 1548—1620）。和达塔格里亚一样，他一生的事业是从会

计员和军事工程师开始的，但是斯台文遭遇较好，做到拿骚的莫理司公爵的技术顾问，晚年任荷兰的军需长一直到死。斯台文开头也是自学出身，但是受到的教育比达塔格里亚多，三十五岁时进了卢万大学。公元 1586 年斯台文出版了一本论力学的著作，内容包括有几件重要的研究成果。他做了一项实验，否定了亚里士多德的重物体比轻物体坠落得快的见解，这一实验曾经被人错误地说成是伽利略做的。斯台文写道：

“反对亚里士多德的实验是这样的：让我们拿两只铅球，其中一只比另一只重十倍，把它们从三十呎的高度同时丢下来，落在一块木板或者什么可以发出清晰响声的东西上面，那末，我们会看出轻铅球并不需要比重铅球十倍的时间，而是同时落到木板上，因此它们发出的声音听上去就象是一个声音一样。”

斯台文还对力的平行四边形有一种直觉的领会，即寻出两种并不处在同一直线上或者平行的力合并之后的作用。这个方法是由牛顿和瓦里尼翁在公元 1687 年第一次明确陈述出来的：即从同一点画出两根直线代表两种力的方向和强弱；另外画两根与上两根直线平行的线形成一个平行四边形，这个四边形的对角线就代表合成力。我们该记得，古代的力学对既不处在同一直线又不平行的两种力的合并，是从来没有法子解决的。

在造船方面，斯台文推进了流体静力学。他在阿基米德的浮力原理之外加上一条定理，就是浮体在流体中的位置，其重力中心和浮体所排除流体的重力中心一定处在同一垂直线上。他也是一个十进制的热心提倡者，不论是在秤锤、量尺和币制上，都主张用十进制。在方法上，他是一个十足的实验主义者和一个实用科学家。他说，实验“是建立工程技术的坚实基础”。他还主张许多人通过合作，共同从事一项科学研究规划，理由是这样一来，“一个人的差误或者疏漏就可以为另一个人的正确抵消掉”。

在力学上和磁学上一样，我们发现工匠和工程师能够发展科学方法和新的实验，但不能发展新的理论体系。在磁学和力学上，提出新理论的是那些对工艺传统感觉兴趣，并且反对旧学术传统的那些学者。古代力学的推翻和近代力学的建立是由帕多瓦大学和比萨大学的伽利略·伽利莱（Galileo Galilei，公元 1564—1642）那样的人担当起来的。伽利略出生在比萨，在比萨读书并且在比萨的大学里教了一个短时期的书。他于公元 1592 年转到比较自由开明的帕多瓦大学任教，在那边待了十八年之久。他在力学方面的一些比较重要的研究都是在这个时期进行的。在公元 1610 年，他移居到佛罗伦撒，任托斯干大公爵的哲学和数学首席供奉，并在佛罗伦萨用望远镜进行天文观测和研究。最后，当他的天文学著作受到教廷谴责之后，他又重新研究起力学来了。

伽利略的两部巨著是公元 1632 年出版的《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》，和公元 1638 年出版的《论两种新科学》。两书都是采用对话形式，参与对话的是支持他的两个朋友，沙格列陀和萨尔维阿蒂，与一个亚里士多德观点支持者辛普利邱。伽利略想要用这种对话形式使他的著作能拥有广大的读者，从而能有效地否定掉亚里士多德的力学和宇宙论。伽利略在力学上的工作，和列奥纳多、达塔格里亚、斯台文三人的工作一样，是被工程上所碰到的问题激起的。他在公元 1632 年写给马昔里的一封信中，就特别提到抛射体的射程问题，使他开始从事研究物体重力坠落的。还有，在他那本力学著作《论两种新科学》中开头的一幕是威尼斯兵工厂，当时萨尔维阿蒂就说：

“在你们这座有名的兵工厂里，你们威尼斯人所表现的这种经常的活跃

场面，使有钻研头脑的人不禁感到这是一个广大的研究领域，特别是那部分需要用到力学的工作。因为在这一部门里，各种类型的机器和仪器都一直由工匠制造出来，其中一定有些人一半靠传统的经验，一半靠自己的观察，在解释现象方面变得极其内行的。”

但是伽利略说，尽管这些工匠懂得很多，他们的知识并不真正是科学的，因为他们不熟悉数学，所以，他们不能从理论上发展成果。伽利略非常重视数学在应用科学方法上的重要性，特别是实物与几何图形符合程度到多大的问题。在关于天文学的那部对话中，那位亚里士多德派学者辛普利邱指出，几何学的球体和平面在一点上接触，而实物的球体则和一个平面在几点上接触，事实上是接触到一整片，因此看来数学和自然界之间并不符合。萨尔维阿蒂回答说，虽然有这种情况，人们还可以想象一种一个不完善的几何学球体和平面在几点上接触。由此可见，数学可以使其适应实物，并用来解释自然，这两者之间符合与否是由“选择得当的实验”来判断的。任何不符合的地方都是科学家的过错，——“因此错误既不在抽象性，也不在几何学，也不在物理学，而在计算者；是计算者不懂得怎样算帐。”

伽利略为自己提出的第一套力学问题，是那些牵涉到尺度效果的问题。为什么大型机器和小型机器一样完全按照同样几何比例造出来，但是小机器耐用而且使用起来效果很好，而大机器则是时常出毛病并且垮掉。几何图形的性质和图形的大小是没有关系的， π 的值对一切圆周都是不变的，但是大船和小船按照同样比例造起来的，小船可以开得很安全，而大船在造船架上就会垮掉。还有，看上去数学和自然界之间并不相互符合，但是伽利略坚称，只要物体所含的物质数量能够作为一种数学上的量对待，只要物质被认为“好象属于单纯的数学”，这个问题是可以解决的。因此如果一部机器的尺寸加倍以后，它的重量就得提高八倍，但是机器各个零件力量的增加比例则要小些，因此支持不住那样大的重量。伽利略和列奥纳多一样，证明一条横梁所能支撑的重量，实际上是随着横梁的加长而减少，因此即使所支撑的是同样重量，也必须粗得多。同样，一幢大房子比一幢小房子在比例上需要粗得多的柱子，才能支撑屋顶的重量。他还有一点和列奥纳多一样，就是他也把自己的力学搬到生物界里来，指出象腿在比例上要比虫豸的腿粗得多，才能载得了自己的重量。他发现空的圆柱形比含有同量材料的实的圆柱形坚固得多，并且暗示着说明动物的骨头里面是空的而且大致上是圆柱形的，因为这种形式使骨头的重量最少而支撑力最大。

伽利略认为选择得当的数学证明可以用来探索任何牵涉到可量属性的问题，也就是几何学传统题材如长短、面积、体积等空间尺度之外的那些属性。在考察尺度效果时，伽利略就是以这个方式来研究物质的数量，即后来叫做质量的量，后来又以同样方式探索了牵涉到时间测量和速度测量的动力学问题。在这方面，伽利略所研究的中心问题就是在重力影响下的落体运动问题。他首先论证了亚里士多德关于重物比轻物坠落较快的见解。他问道，如果把一件重的东西和一件轻的东西束在一起，从高处抛下来，那将会是什么情形？按照亚里士多德的观点，坠落的时间可以是两个物体各自坠落时间的平均数，也可以是一个具有两个物体重量总和的物体从同一高度落下来的时间。“这两个结果的互不相容”，伽利略写道，“证明亚里士多德错了”。为了找出物体在引力下坠落时的实际情况，伽利略作了一项实验来测量光滑金属球沿倾斜平面滚过一定距离所需要的时间。这是由于物体在引力下的自由坠落太快了，没法直接观察，所以伽利略就“冲淡引力”，设计了倾斜平面的方法，使他的金属球在引力下坠落时速度可以测量。

通过这样的实验，他就发现一切物体不论轻重都以同样的时间经过同样距离坠落，距离和坠落时间的平方成正比，或者换一种说法，落体的速度随时间均匀地增加。

根据亚里士多德的物理学，保持物体以匀速运动的是力的持久作用。但是伽利略的实验结果证明物体在引力的持久影响下并不以匀速运动，而是相反地每次经过一定时间之后，在速度上就有所增加。物体在任何一点上都继续保有其速度并且被引力加剧。如果引力能够截断，物体将仍旧以它在那一点上所获得的速度继续运动下去。这种现象在伽利略的金属球滚到斜面尽头时就可以观察到：金属球以匀速继续滚过一片光滑的平桌面。从以上这些观察结果就得到了惯性原理。这个原理阐明物体只要不受到外力的作用，就会保持其原来的静止状态或匀速运动状态不变。

从惯性原理，伽利略就发展了抛射体的飞行轨迹理论，从而表明数学证明在科学上的价值。他考虑了一个球以匀速滚过桌面，再从桌边沿一根曲线轨道落到地板上的动作。在这条坠落轨道上的任何一点，球都具有两种速度：一个是沿平面的速度，根据惯性原理始终保持匀速，另一个是垂直的速度，受引力的影响而随着时间的加快。在地平的方向，球在同等时间内越过同等距离，但是在垂直的方向，球越过的距离则和时间的平方成正比。这样的关系决定球走出的轨迹形式，即一种半抛物线，一个从大炮发出的抛射体，其轨迹因而是一条全抛物线，当炮身的角度抬高到四十五度时射程就最远。这样一来达塔格里亚从观察中所发现的一事实，就由伽利略根据他的斜面实验而在理论上推算出来了。关于这一点，伽利略写道：

“通过发现一件单独事实的原因，我们对这件事实所取得的知识，就足以使我们理解并肯定一些其他事实，而不需要求助于实验，正如目前这个事例所显示的那样，作者单凭论证就可以有十足的把握，证明仰角在四十五度时射程最远。”

这样一种发展对科学说来是具有无比的重要性的。在这以前，新现象只是碰巧或者偶然被人们发现，而对立的假说，如冲力说和亚里士多德的力学，由于除掉逻辑外没有其他标准可以在它们中间作出抉择，则可以世代代并存下去。现在伽利略表明，从已知的现象怎样地可以证明“可能是从来没有被观察到的事情”；证明为那些现象提供解释，而通过实验发现所预言的事实则证实了这些解释。在达塔格里亚看来，大炮抬到四十五度的仰角时射程最远，是一件无情的事实；在伽利略看来，这是抛射体所具有的两种速度的性质的合量。他的解释是由所预言的事实实际上出现了而得到证实的。同样，伽利略知道一事实，即一个摆的摆动，不管摆动的幅度多大，时间都是一样的，这一事实后来为荷兰的惠更斯从数学上证明这是引力的一致性一个必然结果。

科学的数学—实验方法在伽利略手中达到成熟的阶段。他把几何学上的长短、面积、体积等题材撇开，而把几何学用来研究其他可测量的性质，即时间、运动和物质数量，俾能发现它们之间的关系，并推算这些关系的后果。为了把数学以这种方式应用到物理现象上，考察的范围就得缩小到只观察那些可测量的质。数学不能用在不可测量的质上，所以那些无法测量的质只好不去管它。伽利略还得丢开一些关系不大的可测量现象，俾能简化他的研究工作，并抓住问题的根本。他满知道空气的阻力在原则上是可测量的，而且影响物体在引力下的坠落，但是他不理睬这个问题，伽利略尽量把他的实验条件做得完善和符合“数学要求”，如采用磨得很光的平面和光滑的金属球。只有这样，他才能获得超越这一

特殊实验本身条件的知识，获得描述一切物体在引力下坠落时的基本运动的知识。由此就可以运用数学证明，提供一个抽象理论的结构，并预言一些可以进一步用实验试行验证的后果。

有一条界限是数学—实验方法是无法越过的。它对付不了那些不可测量的现象，如使两个生物相互区别的那些质。在这里，培根的定性—归纳法就显示了它的效应，不过还得等过一个时期。在十七世纪时，数学—演绎法受到广泛的采用；实际上，它被看作是一种哲学。物质的不可测量性质，不但数理科学家不予理会，而且逐渐被人们看作是不真实的了。物质的可测量的主要质和不可测量的次要质之间存在着明显的区别。可测量的主要质，如质量、运动、大小，都被看作是实在的客观的物质属性，而不可测量的质如色、香、味，则被看作是感觉器官的主观产物，这些就其本身而言在外部世界中是没有真实性的。

随着数学—实验法的兴起的另一发展，是测量仪器的制造变得精密了，使得数学能伸进到现象里面。伽利略广泛地应用了那些传统的测量仪器，如算尺、天平和滴漏钟，而且发展一些别的仪器。他制造了第一个温度表来测量温度，而且用摆来测量时间，先在医学上用来计算脉搏率，后来又把它制成一种普通形式的摆，留给后代人来制造第一座完全用摆行走的钟。伽利略还发展了望远镜，并广泛地使用望远镜进行天文观测。不过古怪的是，他的多数天文观测都属于定性方面。

公元 1609 年，伽利略听说荷兰米德尔堡的眼镜商造出了“望远镜”可以将远距离的东西放大，特别是汉斯·立帕席在公元 1608 年将这一发明注了册。伽利略研究了合成镜片的光学性质，造了几具改进的望远镜自用。他用这些望远镜检视天空，发现了一大堆新事实。他发现天体一点不象传统的亚里士多德见解所暗示的那样比地球完善而且优越。太阳的面上就有黑子，而月亮看上去则非常之象地球，上面有许多火山，伽利略从它们投出的影子长度测算了它们的高度。他发现银河是由许许多多的恒星形成，并且和别人一起观测了在仙女星座的星云。伽利略还发现金星的面目很象月亮，从新月形逐渐变为满月，而木星则有四个月亮，他觉得根据哥白尼的体系这很象太阳系的一幅小型图画。

伽利略早就是一个哥白尼世界体系的拥护者。在公元 1597 年写信给他的朋友约翰·刻卜勒时，伽利略说他自己“多年以前就已经拥护哥白尼的学说”，是由于这个学说说明了“许多现象的原因，而按照人们通常接受的观点都是无法理解的”。在十六世纪时，哥白尼体系并没有广泛为人们接受，因为它在预测行星方位上，并不比托勒密体系所作的预测更为精确，而它所包含的假说，从传统力学的观点看来则是不正确的。还有，它不过是在某一特殊方面和亚里士多德的完整自然哲学存在分歧，它还不是关于整个世界的一种连贯见解的一个部分。

但是天文学上的发展逐渐对哥白尼的学说有利起来，而伽利略的发现则相当助长了这一倾向。在公元 1572 年，一颗明亮的新星出现了，可能是一颗超新星，经过第二年整整一年，到公元 1574 年方才消失。还有，公元 1577 年出现了彗星，它的轨迹由第谷·布拉赫、迈克尔·马斯特林等人进行了观察和测量，他们都指出彗星环绕太阳的运动是通过太阳系的。亚里士多德曾经主张，彗星的出现只是一种地球范围的现象，发生在月层下面，而天界则是完善和不变的，是不生不灭的。这两个教条都被十六世纪七十年代所见到的天文现象否定了，现在伽利略又加上了太阳黑子的证据和月亮上有山岭，说明天界是不完善的。而且，人们很早就指出，如果哥白尼的学说是确实的，那末金星就应当象月亮那样有圆有缺。金星用肉眼看去的确一直是只圆球，但是伽利略通过望远镜却证明人们所

指望金星的这种面貌变化确实存在。还有，以前曾经有人争论说，宇宙间只能有一个环绕的中心，既然月亮环绕地球，其他的天体也就只能环绕地球运行。伽利略现在证明，不管人们对太阳系的布局采取什么看法，世界上的环行中心肯定不止一个，因为木星就有四个月亮环绕着它。

伽利略的天文发现多数都是在十七世纪第二个十年中发表的，这些发现对支持哥白尼的学说有很大的影响。当这种新天文学的证据正在兴起时，反对新天文学的人就变得强硬起来，因为已经不再能够斥之为一种无足轻重的意见了。邻近的教会人士驳斥伽利略的见解是异端，而比萨的经院哲学家则宣称他的意见是错误的，而且是违反亚里士多德的权威的。他们说太阳黑子只是环绕太阳的一些云，也可能是望远镜出了毛病，而木星不可能有月亮环绕，因为古书上从来就没有提到过。公元 1615 年伽利略受到罗马宗教法庭的传讯，在法庭上他被迫声明和哥白尼学说决裂。地球在地轴上自转并环绕太阳的定理，被正式宣布为错误的，是异端邪说；到了公元 1616 年，哥白尼的著作被列在禁书目录里，一直到公元 1835 年方才取消。

但伽利略并不放弃自己的见解，因为十六年后他征得佛罗伦萨宗教法官的许可，出版了他的《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》。这本书一开头就对亚里士多德关于天体的组成和性质完全不同于地球的学说，直接开了仗。新星的出现，彗星、太阳黑子和月亮上的山岭，全被引用来作为反证。伽利略还进一步驳斥了那种古代传流下来的见解，即不变是高贵和完善的标志。他提出了一个后来变得很重要的见解，即运动并不是一种变化，它并不导致生长或毁灭，用他自己的话来说，那是“部分和部分之间的简单移动，即不消灭什么，也不产生什么新东西”。这样一种见解后来就成了力学哲学的一部分，即认为宇宙和宇宙中的一切过去如此，现在如此，将来也还是如此，既没有新的东西出现，也没有旧的东西消失，自然界的一切过程只是物体的机械动作和它们动量的交换。

在为哥白尼体系辩护的论证中，伽利略着重回答了那种根据常识的力学反对意见。他重复了哥白尼对这些反对意见的答复，但是这些回答现在却有力得多，因为它们是根据伽利略的新力学来的。根据惯性原理，大气层天然是和地球一起运转，它并不象亚里士多德力学所提示的，需要有一个持久的推动力。物体从高处坠落，不会落到西面，因为物体也参与地球的运动。同样地伽利略也提示说，一只船走动时从桅杆顶上抛下一个石子，将会落在桅杆脚下，而不会落在桅杆后面，因为石子也参与船与船中各物的总运动。在十七世纪四十年代中，法国人伽桑狄进行了这项实验，实验的结果证明和伽利略所预期的一样。

伽利略就是这样地不但攻击了旧宇宙论的天文学，也攻击了这种宇宙论的力学。他提供一种新的连贯的看待事物的方式，来反对亚里士多德的那个同样形成了一个完整体的见解。在《对话》的第三卷中，他承认这两种见解辩护各自提出的论据，差不多同样确切，但是他认为他在第四卷中讨论的潮汐学说，可以为哥白尼体系提供十足的证据。他以为地球的两种运动，周日的自转和周年的绕日公转，产生了颤动，而使海水来回冲击，就象盆里的水一样。他否定了太阳和月亮引起潮汐的想法，因为这样说意味着天体比地球高一等并能影响到地球上的事件，这种学说是他极其反对的。但是谈他的理论要求一天有一次潮汐，而不是如人们所观察到的两次。还有，这种理论和他的惯性原理也是矛盾的，因为根据惯性原理，地球上的物体应当参与地球的运动。

所以弄到后来，伽利略并没有能够最后确立哥白尼的学说，虽则他给予这个学说以有力的支持。他的这部书所针对的读者要比专业的天文学家和数学家广

得多。首先它是用意大利土语写成的，并采用日常谈话的对话体，而且论证删繁就简，通俗易懂。他只讨论两种世界体系，即托勒密体系和哥白尼体系，而把一些大同小异的体系则略而不谈，如第谷·布拉赫的体系，还有威廉·吉尔伯特的体系，它和第谷的体系差不多，所不同的只是地球在地轴上每天自转一次。还有，他对自己朋友刻卜勒的体系也不加评述；这个体系把哥白尼的理论大大推进了一步，为专业天文学家和数学家提供了支持日心假说的强有力证据，不过对一般读者也许不大适合。

伽利略论两大世界体系的巨著出版于公元 1632 年，已经在刻卜勒发表他的三条关于行星运动定律的第三条之后约摸十三年了。但是伽利略不理睬他朋友的成果，一直坚持着行星的轨道是正圆形，而不是如刻卜勒在公元 1609 年所证明的椭圆形。按照伽利略的惯性原理，如果地球表面极端光滑，一个在地面上流动的球将会无限期地继续环绕地球运动。因此他认为物体只要不受到外力影响，沿圆周的匀速运动将是一切物体的天然运动。这样的天然运动既属于地面物体，也属于天上的星体，而且在他看来行星的轨道既然是正圆的，那末关于天体的运动就不存在着什么问题；这些运动，正如哥白尼以前认为的那样，是完全自然的。

由此可见，伽利略并不存在着惯性运动是直线的匀速运动的观念。如果他存在有这种观念，他可能会证明太阳的引力把行星的天然直线运动弯曲为一个椭圆，因为他已经证明过地球引力把抛物体的惯性运动轨道弯成一条抛物线。这两个问题，即炮弹轨迹的问题和行星的轨道问题，是同样性质的问题，后来牛顿就把它当作同一问题对待。但是伽利略在这一点上却没有做到，因为他始终被一个他从来没有克服的古代观念约束着，认为天体的运动是圆周的和匀速的。他的天文学思想由于无视刻卜勒的成绩，也受到限制，还由于他在天文学上采用了一种定性的非数学方法，而这种方法在地面科学上他是很反对的，因为他曾经批评过威廉·吉尔伯特在磁学方面的工作就缺乏数学证明。

伽利略和刻卜勒形成一个强烈的对照。刻卜勒也听到荷兰眼镜商造的新望远镜，并且研究了望远镜构造的光学原理。他设计了一种新型的望远镜，和伽利略所发展的那种望远镜在原则上很不一样，但是他并不把这种仪器用在天文学研究上；事实上，他好象从未制造过它。刻卜勒一心从事的是整理第谷·布拉赫所作的那些定量观测，而不关心定性的望远镜观测所发现的事实，而伽利略则恰恰相反。刻卜勒主要关心的是使天文学在技术上变得更加精密准确，而伽利略的主要兴趣则是宣传哥白尼说发动的思想革命。刻卜勒对宣传日心说也关心，实际上他给日心说提供了最强硬的证据，伽利略同样地在天文学上也做了一些属于技术性质的定量观测。他编制了木星四个月亮的月食表，供航海者测算经度之用。但是推动哥白尼的革命对伽利略说来则是他的主要目的。如我们已经谈到的，伽利略在他的这部天文学著作里一开头就攻击亚里士多德派，而不论述航海中所碰见的那些有趣问题，但是他的力学著作则以威尼斯兵工厂的机器研究开始，讨论机器研究中产生的问题。

伽利略的兴趣所在，有助于说明为什么他在天文学上放弃了数学方法，而专心从事定性的望远镜观测。任何人用一架望远镜都能够看见木星的月亮，金星的圆缺和月亮上的山岭，但是只有熟练的数学家才能被刻卜勒的发现说服，承认日心说基本是正确的。由于这个缘故，从历史上看伽利略在他的同时人中间传播哥白尼体系，比刻卜勒的成绩大；他使更多的公众看到了比较简单的证明。他的反对者很懂得这一点，所以在公元 1633 年伽利略又被押到罗马宗教法庭受审，虽则他这部书已经得到佛罗伦萨的当地宗教法官的批准。他又被逼得表示和哥白

尼假说决裂，但是这一次他却判了宣传异端之罪，从此就被居留在佛罗伦萨附近一所村舍里度过他一生中的最后九年。他在这里写成他的力学研究；由于他的著作在意大利禁止出版，这些书是被人私下带到国外于公元 **1638** 年在阿姆斯特丹出版的。

第十五章

笛卡儿：数学方法和机械论哲学

在十七世纪，科学的中心已从中世纪商业繁荣和文艺复兴的文化中心德国和意大利北部，转移到受地理大发现好处的大西洋沿岸地区，如法国、荷兰和英国南部。刻卜勒和伽利略标志了在德意志和意大利早期现代科学成就得高峰，而上述这两个地区直到十八世纪才重新在科学上出名。随着十七世纪科学中心在地理上的变更，从事科学的人也起了变化。刻卜勒和伽利略都是专业科学家；两人都受到王公的庇护，从他们的经历来讲，他们都在不同时期在大学或研究院中工作过。但后来法、英、荷兰的新型科学家们却主要是业余科学家。在英国这样的人出身于富裕的地主和商业家庭，他们多半是那时代的暴发户，如罗伯特·波义耳和威廉·佩第爵士。在这里，牛顿是一个例外，他在剑桥大学任教，所以是一个专业科学家，同时也不富有。在法国，出生于政府官员家庭的学者们在科学上地位都很高，特别是出生于法官或律师职务家庭的学者们在科学上的地位更高。

要说明科学中心的变迁，可以举出十七世纪上半叶出现在新地区的两个企图对科学方法作全面分析的人：英国的弗兰西斯·培根和法国的勒奈·笛卡儿。笛卡儿（René Descartes，公元 1596—1650）是法国布列塔尼（Bretagne）地方法院法律顾问的儿子，他一生过得都很优裕，对科学有业余的爱好。在自然哲学方面，他预备做的是两件事情。第一是研究并推广当时在力学科学中发展起来的数学方法；第二是提通过这种方法树立一个能说明自然界作用的一般机械图景。由于当时法国知识界的气氛对科学研究相当不利，笛卡儿于是在公元 1628 年去荷兰，在那里于公元 1637 年出版了他的《方法论》。这本著作由两个部分组成：第一部分是数学—演绎法的分析，第二部分阐述他对物质世界的大致看法。后一部分的内容后来在他公元 1644 年出版的《哲学原理》中又加以扩充，并在十七世纪起着极大影响。

笛卡儿读过培根关于科学方法的意见，并对其目标表示同情，不过他认为培根把本末倒置了。培根从自然界的经验事实出发，而不是从为演绎研究提供基础的一般性原则出发。笛卡儿对物理科学中发展起来的数学方法很向往。他看到，正如研究力学的学者们把观察的范围限制在可测量的事实上一样，他也必须尽量砍掉可能提出的种种理论，而仅仅留下那些可用数学加以发展或论证的理论。同样，并不是所有可测量的性质都具有同样重要性；为了简化研究，有些必须略去，

就象伽利略在研究落体时把空气阻力略去一样。还有，笛卡儿认为并不是所有能作数学处理的观念都同等重要；只有“直观给予”的观念，才能为数学性质的演绎方法提供最可靠的出发点。运动、广延、上帝就是这样的观念。上帝这个观念是笛卡儿体系的主要基础，因为上帝创造了广延，并把运动放进宇宙。由于运动只是在创世时一下子赋予宇宙的，所以世界中运动的总量必然是个常量。用这样的论证法，笛卡儿就得出他的动量守恒原理。

笛卡儿就是这样深信，从不可怀疑的和确定的原理出发，用类似数学的方法进行论证，就可以把自然界的一切显著特征演绎出来。至于事物性质的细节一定存在某种不确定性，因为从同一命题可能演绎出不同的结论，因而在这种情况下就要引进实验，在两种对立见解中决定取舍。不过笛卡儿对他的方法的这一方面并不十分强调；他关心的主要是从基本原理推出事物的总的图式。他还认为实验只是用来说明那些从直观所给定的原理推演出来的观念，他并不象伽利略那样，认为实验可以用来决定一些原理作为演绎方法的出发点。伽利略从斜面下落球体的实验中得出他的惯性原理和物体由引力而下落的原则；并从这些实验得到的原理出发，用数学的方法，演绎出抛射体的轨迹以及其他等等。

荷兰的科学家惠更斯后来说过，培根不了解科学方法中数学所起的作用，而笛卡儿则忽视了实验的作用。在这个意义上，这两个哲学家的工作是相互补充的，培根保存了工匠传统的经验方法，而学者传统的思辨倾向则为笛卡儿所保持下来。他们都不能把这两种传统完全结合起来，尽管他们都接近了这个目标。培根也意识到数学在科学上所能起的作用。他说：“当物理学由数学来限时，对自然界的研究就能很好地进行”，但他并没有对这一点作进一步的发挥。同样，笛卡儿把“分析”（即发现事物的实际方法），和“综合”（即同样的事物可从基本原理演绎出来的理论方法）区别开来。综合“单独为古代几何学家在他们的著作中所使用”，他说：“但这种方法不如另一种方法令人满意，也不能满足好学的人，因为它不告诉人们事物是怎样被发现的。”譬如说吧，阿基米德通过实验发现他的力学原理，但他把这些原理说成是从直观的公理演绎出来的结论，因而我们不知道他实际上作过什么样的实验。相反，伽利略却说明了自己的实验。所以笛卡儿的方法更近乎阿基米德的方法而不近乎伽利略的方法，虽则他对后者方法的优点也颇为欣赏。

古代毕达哥拉斯学派认为数学的思考决定宇宙的结构，并提出完善的天体必须具有完善的球形，而且它们的运行也必然是圆周的和均匀的。笛卡儿并不喜欢这种见解。对笛卡儿来说，天体的形状和运行，甚至自然界的一切运动，都是机械地决定的。他认为数学只是科学方法上的一种手段，他并不同情纯粹数学家的主张，他说：“没有什么比埋头于空洞的数字和虚构的图形更无聊的了。”同培根一样，他把付诸实际应用作为科学的一个重要目标。笛卡儿说，运用他的方法，我们就能认识自然力的性质，“如同我们明确了解各行各业的手艺一样，而且通过把这种知识应用在适当的地方，我们就会使自己成为自然界的主人和占有者。”

在发展他的数学方法时，笛卡儿在数学技巧方面赢得了显著的进展，特别是发明了坐标几何学。伽利略依靠几何的论证来证明他的力学命题。他把几何的范围扩大到其他可测的量方面，如质量、速度、时间等。但在这里，几何的应用还是相当勉强和不够灵活的。代数才是更灵活的和更普遍的数学技巧，能更好地解决涉及质量和运动的问题，但在当时，代数还是一门比较新的学科：它很抽象，而且与那个年代数学家头脑中占统治地位的几何思维方式相距很远。即使这样，在十六世纪和十七世纪，代数领域还是有重要的发展。达塔格里亚首次提出了三

次方程代数解，它不同于先前求解这种方程的几何方法。弗兰索瓦·维特（François Viète，公元 1540—1603）改进了代数的记号，他的结果后来又为英国的数学家、天文学家兼测量师托马斯·哈略特（Thomas Harriot，公元 1560—1621）所发展；维特和笛卡儿的父亲一样，也在布列塔尼地方法院任职。笛卡儿继哈略特之后，把几何学代数化了；他用代数方程来表示几何图形。后来，牛顿和莱布尼茨又用代表一个几何点运动的代数方程来描述几何图形，微积分就这样地生长了出来。这种方法有助于分析质量和运动之间的关系，而且是直到本世纪科学家们所惯用的数学技巧中比较重要的方法。

笛卡儿还发展了质量、时间和空间的三个量纲一样重要的、世界的基本量纲这个见解，他写道：

“不只长度、宽度、深度是量纲，重量也是一个量纲，用它可以估计对象的轻重。同样，速度也是运动的一个量纲，而这样的例子是无穷无尽的。”但是笛卡儿没有发挥这一见解，一直到公元 1822 年傅立叶才提出了用基本量纲质量、时间、长度表示速度和加速度等等来求得这些物理单位和基本量纲之间的关系。笛卡儿回到了广延和运动是组成世界的基本量的这种说法。和伽利略一样，他倾向于把物质和容积等同起来，就是说和三维的广延性等同起来。只不过笛卡儿改进了伽利略的说法，认为自然运动是采取在一条直线上的而不是伽利略所设想的在一个圆周上的匀速的形式。这样，笛卡儿就成为第一个提出近代惯性原理的人。

笛卡儿认为用广延和运用概念就可以用他的方法演绎出宇宙活动的主要轮廓。他写道：“给我运动和广延，我就能构造出世界。”笛卡儿认为按照自然规律，原始混沌的物质必然会发展成为我们现在所处的这样的世界。不管宇宙最初的形式如何，它必然会形成现在的式样，而且任何为物质和运动所组成的其他可能世界，也必然会形成我们现在这样的世界。由于笛卡儿把物质和容积等同起来，他就否认有所谓真空或空洞，并且否认物质是由中间有空隙的原子组成。物质弥漫整个空间，因此在太初时期原始物质只能经历旋转运动，这样，宇宙就成了一个庞大的旋涡，带着大块原始物质转动，并因摩擦而逐渐损耗。不管原始物质原来的形状怎样，他们总是逐渐磨损成为尘状的东西，这就是第一物质，另外的一些则磨损成球状，这就是第二物质。第一物质亦即宇宙尘就是火元素，太阳和恒星都由之形成。第二物质就是气或以太元素，是构成星际空间的原料。还有第三物质，即还没有磨成尘状而只是磨去一些棱角的大块物质。这些大块球状物质就是构成地球、行星河彗星的土元素。

在宇宙的发展过程中，环绕每一个物质团还形成次一级的旋流。地球周围就有一个旋流，地球在它的行程中带着月球；环绕木星也有这样一个旋流，它保持四个卫星在其轨道上运行；而地球和其他所有的行星又都纳入围绕太阳运转的一个更大的旋涡之中。在这些宇宙旋涡里，重的物质向着旋涡的中心靠拢，而轻的物质则朝着边缘散开。因此重物总是落向地面而火则离地上升。

笛卡儿指出，在他的体系中，所有运动其实都是相对的，他写道，运动无非是“物质的一个部分，或一个物体，从与之直接接触的并被我们看作是静止的一些物体的附近，转移到另外一些物体的附近”。正因为如此，所以地球可看成是处于它自己的旋涡中心不动。根据这种看法，地球就是静止在世界的中心，正如传统说法所要求的那样。不过笛卡儿的运动相对性理论并没有能够保护他的著作不受到教会的谴责。公元 1663 年他的著作在罗马和巴黎被列入禁书之列。后来，在公元 1740 年，禁令在巴黎被解除了，那是为了对当时在法国流行起来的牛顿

世界体系提供一个替代的东西。

笛卡儿的自然哲学在内容上和建立在亚里士多德学说上的传统世界观是完全对立的。在笛卡儿的体系中，所有物质的东西都是为同一机械规律所支配的机器，动物、植物和无机物如此，人体也是如此。这样他就排除了那种认为自然界总是按照一定的等级制度构成的传统概念；排除了那种认为世间万物形成一条巨大的链条，这条链条从处在宇宙边缘的至善至美的上帝开始，经过天上等级高低不同的天神天使，直到地上各种不同等级的人、动物、植物和矿物为止的观念。在笛卡儿看来，无机界和有机界是由在质上相同的物体组成的一个同源的机械体系，其中每一物体都遵循着为数学方法的分析所揭示的在量上的机械规律。这个世界并不象经院哲学家们所说的那样是异质的，是由各种不同的物体安排而成的，其中每一物体通过纯粹的定性分类法，根据其不同的灵魂（生殖灵魂、感觉灵魂或理性灵魂），在这宇宙体系中找到一定的等级地位。除了机械的世界外，笛卡儿认为还有一个精神的世界，其中人只是属于靠着他的灵魂才参与的物质实在。在笛卡儿哲学取得优势以后，认为宇宙万物都是处在一个垂直阶梯上的那种传统看法逐渐消失了，而为另一种概念所代替，那就是宇宙是由两个不同的平行的侧面（一个是机械的，另一个是精神的）所组成，只有人才同时有这两个侧面。从笛卡儿的时候起，这种二元论就成了欧洲人思想里的一种根本看法。

在近代以前，人们认为自然界的一切变动过程是由惯例，因果报应原则，以及合目的性、意志和计划的行为所统治着，而不是由自然规律和机械力所支配的。笛卡儿却假定自然在整体上由规律支配，而他把自然规律和机械原理看成是同一回事。“自然规律”，他说，“也就是机械规则”。事实上，笛卡儿是第一个一贯地用“自然规律”这一名词和概念的人；和更早期流行的“惯例”及“因果报应”等概念一样，“自然规律”也是在人类社会的实践基础上进行类比而得来的一个概念。古希腊人很少用“自然规律”这个名词。他们所发现的定量规则被称为“原理”，如“杠杆原理”和阿基米德的“浮力原理”。伽利略称他的定量规则为“原理”、“比率”或“比例”，虽然在他的《两种新科学》一书的英文一本中这些词都翻译成了“定律”。伽利略的“惯性原理”和牛顿的“运动的第一定律”是一回事，牛顿常说到“自然规律”，在当时这已是平常的话了，虽则还有人反对用这个词。如罗伯特·波义耳就认为这是一个“不恰当的和比喻性的表达方式”。当箭从弓弦上射出去的时候，“没有人会说它的移动是由于规律，而不是由于外来的推动力”。

笛卡儿设想上帝完全通过在太初时确定下来的“自然规律”来统治宇宙。一旦宇宙创造出来，神就不再干涉他所创造出来的这部自动机器了。世界上物质的总量和运动的总量是常量，是永恒的，“上帝所赋予自然的规律”也是如此。中世纪的人们认为上帝在参预宇宙日复一日、年复一年的活动，上帝委派各种等级的天神天使推动天体运行，同时还不断观察并指导地球上的一切事件。异常事变，如奇迹或彗星出现那样的不祥之兆（当时认为恒星的出现是神或魔鬼对宇宙过程的正常运动所进行的干扰）特别引起当时人们的注意。但十七世纪的人们则对进行事件的正常活动感觉兴趣，想要发现它们具有“规律性”的运行方式。异常事变，如公元 1572 年的新星和公元 1577 年的彗星，当时就被看作是科学的问题而不是神学上的宣讲事例。而这些异常事变导致那些不能解释它们发生原因的理论体系遭到人们的抛弃。

研究“自然规律”这一观念的历史学家^①曾提出这个术语出自两个主要来源；

^①见《哲学杂志》(Philosophical Review) 1942 年，51 期，245 页支尔塞尔 (F. Zilsel) 的文章

首先出自以十六、十七世纪的一些专制君主采用成文法来统治国家的以实践为根据的类比；其次是犹太人在基督教中把上帝作为宇宙中的神圣立法者这一概念（这个概念从古代巴比伦专制制度那时传了下来）。“自然规律”这个术语在古代最常为斯多噶派哲学家们采用，这个学派受到巴比伦人的观念，特别是他们的占星术的影响，这个学派起于亚历山大大帝那时，并盛于罗马帝国时期，在整个古代专制时代都很流行。中世纪的人们都不大用这个术语，因为那时市民社会更多地是由习惯法而不是由成文法来维持秩序，一个君主总是把他的权利委派给封建秩序中各个不同的等级，每个等级有它传统的权力和义务。十六、十七世纪的专制君主权力更大，他们用自己所创立的成文法来统治臣民。让·布丹（Jean Bodin）在十六世纪晚期主张应该进一步发展成文法的立法和司法制度，这种制度当时在布丹和笛卡儿的祖国法兰西完成得最彻底。支尔塞尔写道：“笛卡儿的上帝是宇宙立法者，这一感念是让·布丹提出他的国家主权论后四十年发展起来的，这并非偶然。”约在布丹以前的四十年，另一法兰西人约翰·加尔文（John Calvin）在神学中已形成一个概念，即上帝是宇宙的绝对统治者，他用太初时就由他确立下来的规律来统治世界，这也绝非偶然。正如我们将在下一章中所阐明的，在加尔文教派和科学革命时期人们之间对宇宙的观念，意见往往是一致的。事实上，当时对科学感兴趣的加尔文教派也特别重视笛卡儿的哲学学说。在十七世纪，加尔文教派的荷兰大学以及清教最流行的英国剑桥大学就讲授笛卡儿的学说，而在法国，可以说是天主教内部的加尔文教派即詹森教徒（Jansenists），也拥护笛卡儿的理论。但十七世纪的天主教神学家却不喜欢笛卡儿的哲学，因为笛卡儿哲学对于构成天主教神学的亚里士多德的宇宙观作了有效的反抗。笛卡儿有力地提出了对亚里士多德的方法论和宇宙论取而代之的学说，虽然比起亚里士多德来，笛卡儿的工作并不是那样地成功，因为笛卡儿未能在他的自然哲学里把当时所有意义的各种思潮融会贯通起来。培根举出了和笛卡儿不同的科学方法论，而伽利略和刻卜勒则在他们的学科范围内更恰当地为科学完成了笛卡儿提倡的数学方法。继笛卡儿之后，还得由牛顿提供对十七世纪说来可算是最后和影响最悠久的宇宙体系，这采用的却是伽利略的方法而不是笛卡儿的方法。

“自然规律这一概念的由来”（The Genesis of the Concept of Physical Law）。可能，特别是那种定量的“自然规律”观念有另外的来源，就象汉萨同盟那样的国际贸易商协会，它们具有自己的一套超国界的有关度量衡的规则。日拉德·马林尼（Gerard Malynes）在他公元1622年出版的《商业法规》一书中就说到：“真正的法则代表正确的自然理性，它在处处都是适合的，在所有国家中传布，它永远是始终一贯的、明白制定的度量衡，区别和分配你我各自应该享受的利益和权利。”

第十六章

科学革命和新教徒的改革

公元 1873 年法国的一个植物学家阿尔方斯·德·堪多（Alphonse de Candolle）在他的《科学与科学家的历史》中指出，从巴黎科学院于公元 1666 年建立以来的两个世纪内，有九十二个外国人当选为该科学院的成员，就他们的宗教信仰而言，其中七十一个是新教，十六个是天主教，其余五个是不定的或者是犹太教。德·堪多把这些数字与法国之外的相应的宗教人口——一亿零七百万天主教徒和六千八百万新教徒——联系起来，说明在法国之外科学上很杰出而足以选入巴黎科学院的新教徒要比天主教徒大六倍以上。这种对比关系没有把法国的科学家计算在内，因此德·堪多检查了公元 1829 年和公元 1869 年两个时期内伦敦皇家学会的外国成员的宗教关系，因为这个时期比其他时期包括了更多的法国科学家。他发现在这两个时期里，皇家学会大约有同样多的天主教和新教的外国会员，而联合王国之外却有一亿三千九百万天主教徒和四千四百万新教徒。这些数字证实了他的看法，即在近代欧洲的大科学家中间新教徒往往比天主教徒占优势；后来研究近代科学家的宗教关系的人，如 R·K·默顿^①在他关于清教与十七世纪英国科学的关系中，证实并发挥了德·堪多提出的立论。

在近代欧洲大科学家中间新教徒所以比天主教徒占优势，除了新教国家里没有一个宗教法庭这一点之外，可以归之于三个主要因素：第一，早期新教徒的风气是与科学态度相一致的；第二，运用科学达到宗教的目的；第三，新教徒的神学宇宙观与早期近代科学的理论相一致。第一个因素在两次主要的新教运动中都存在，因为在早期的宗教改革中，瑞士和德国的改革者曾教导说，人们应该拒绝天主教神父的指导和权威，并且应该在自己的宗教经验里寻求精神的真理：按自己的意愿去解释圣经。同样，早期的近代科学家也不理会古代哲学家和中世纪经院学者的体系，而从自己的经验中寻求科学真理：按自己的理解解释世界。新教和早期近代科学之间这种目标的一致，在公元 1667 年出版的托马斯·斯普拉特的《皇家学会史》中，曾经很好地表达出来。他指出“皇家学会现今的目的与我们的教会创始时的目的之间的一致性”。

“他们都同样可以自称是改革口号的提出者：一个把改革放在宗教里，另一个通过哲学达到改革的目的。他们都以相似的方式去实现这个改革。每一方都丢掉谬误百出的副本而向完善的原本寻求教益；一个求教于圣经，另一个求教于自然界这本巨著。他们都被他们的敌人不公正地控诉犯了同样的罪，说他们抛弃古代的传统，标新立异。他们都同样设想他们的祖先可能错了，但对他们还保持相当的尊敬。他们都遵循使徒的伟大箴言，考验一切事物。这些就是他们在兴趣和气质上的一致。”

^① R·K·默顿：“十七世纪英国的科学和技术”，《奥撒里斯》[古埃及主神] 1938 年，第 IV 卷，第 360 页。

斯普拉特属于加尔文教派传统，但看来早期的路德教派与科学态度也是一致的，因为新的哥白尼宇宙学说的第一个技术发展就来自宗教改革中心维滕贝格大学的两个学者。维滕贝格大学的数学教授莱蒂克斯曾去弗劳恩堡在哥白尼指导下学习，并于公元 1540 年出版了关于日心说的第一次书面论述，后来还努力把日心说用来说明火星的运动。他的合作者，维滕贝格大学天文学教授赖恩霍尔德在哥白尼学说的基础上制成了第一个天文表，即于公元 1551 年发表的《普鲁士星表》。

第二个因素与近代欧洲大科学家中新教徒占优势的情况有点关系。为了宗教的目的而运用科学被十七世纪加尔文教派看成是一件重要事情，尤其是英国的清教徒总强调宗教的职责是做“有益的事情”，并把科学活动看做是一种对人类有益的工作。路德和加尔文都没有怎样强调做有益的事情在宗教上的重要意义。因为在路德看来，内心的虔诚足够使人类得救，而在加尔文看来，有若干优秀的人是注定会得救的；人类的工作不论在前一种或后一种情况下对于他们的来生都没有多大影响。然而，加尔文的拥护者迫切要知道他们是否命中注定得救，所以加尔文的原来学说经过苏格兰、荷兰和英国的加尔文派教徒陆续修改之后，到了十七世纪中叶，清教徒一般都承认只有不断地做有益的事情才能表示出一个人得救了。在清教道德所认可的有益事情中就有科学研究在内。一个移居到美国的清教徒神学家约翰·科顿在公元 1654 年写的文章中甚至宣称研究自然是一个真正基督徒的责任。

“研究上帝创造一切的性质、进程和运用，是上帝赋予所有人的责任；从坐在宝座上的国王到工匠……

“理由一：在上帝创造的万物中见到上帝的庄严华贵……

“理由二：为了我们本身的利益；为了身体的健康而获得许多医药的知识；为了可以从万物中知道许多使灵魂得到教导的知识；为了在我们知道每个事物的价值和应用后可以获得财产……

“通过观察和参加会议去研究万物的性质，人们将会相互了解，扩大我们对上帝的爱戴，增长我们利己和利人的技能……的确，那些学者仅仅研究事物的一般原因和性质，如自然物体的原理以及它们的运动、时间、空间、计量等等，而忘记把它们的研究应用到地上的万事万物的性质和运用上，是不能原谅的。”

关于新教徒在近代欧洲科学家中占优势的情况，在上面讨论的两个因素中，第二个因素的份量可能还要重些，因为它在十七世纪加尔文教派中间甚为突出。早期新教徒和近代科学家所共有的反权威主义和经验主义，至多在科学和它们的宗教之间造成一种融洽关系，而后来的加尔文教派提倡做有益的事情，则积极地推动了科学活动。在这方面有必要提出，在伽利略和刻卜勒之后，科学活动的主要地区已经从天主教的意大利和路德教派的德国转移到特别受加尔文教派所影响的国家：英国和它的清教徒以及改革的英国教会，荷兰和它的许多加尔文教派，法国和它的胡格诺教徒以及属于加尔文教派的詹森教派的教徒。在公元 1662 年伦敦皇家学会建立和公元 1666 年巴黎科学院建立后，英国和法国在往后的一个半世纪内在科学领域里保持着杰出的地位，而当加尔文教派的早期故乡荷兰在十八世纪失去了它的地位时，瑞士和苏格兰在同一时期里却以它们的科学家而闻名于世。但是德国和意大利一直到十九世纪才再次出现象刻卜勒和伽利略那样才智的科学家。

有助于说明新教徒在近代科学家中间占优势的第三个因素，即新教徒的神学

宇宙观与近代科学新理论的一致，并不是一个明显的因素，原因是路德和加尔文基于哥白尼天文学和圣经中的词句相抵触，都曾反对过它。然而中世纪的世界观是由神学和自然哲学密切组成的一个整体，所以它也同时在瓦解，不过这种瓦解是一步一步来的，一方面由新教的革新者攻击它的神学部分，另一方面由科学家攻击它的宇宙论部分。实际上人们可以看出，加尔文教派和科学家的攻击是沿着相互类似的路线进行的，他们都以十八世纪相当流行的牛顿学说为基础，为一种新的包括机械论和神学的世界观开路。

新教徒的革新者，尤其是加尔文教派和早期近代科学家，特别反对中世纪世界观的中心思想即等级观念；这个观念的一个根深蒂固的看法是，宇宙间布满一连串等级不同的人 and 物，从处在世界边缘的上帝直到地上最不完善的实体，都是这样组成的，并假定自然界的等级具备物质的和精神的两个部分。地上的四大元素（土、水、气、火），直线的自然运动，具有逐步升级的完善秩序；而天体则由更完善的第五元素所组成，它以圆周运动形式自然地运行着。精神的等级分得更加精细，植物、动物和理性灵魂这些主要分类中都存在着许多等级。在这种布局的基础上，自然界被认为是由万物中存在着的等级控制所管辖的，上级统治着所有的下级，又听命于再上级。植物和动物为人服务，而人为上帝服务。上帝授权天神天使，执掌各个天体的运动，并观察和指导尘世事件。这是古代自然哲学和中世纪神学形成的一个重要结合。因为五世纪时伪托的狄奥尼修斯把天神天使分为九级，而中世纪的经院学者则把它们看作是九个天球的推动者；天球的秩序是高级的天球和它们的推动者控制着低级天球的运动。

伪托的狄奥尼修斯借助于他的天神天使在天上的等级，为地上教会政府的教会等级进行辩护，对于这一点，新教的革新者，尤其是加尔文提出了最强烈的抗议。加尔文写道：

“这样建立的政府，有人称之为等级制——在我看来这个名称是不恰当的，肯定圣经里没有用过。因为神圣的神认为没有一个人应当妄图操纵教会的统治。”

对于伪托的狄奥尼修斯所提出的理由，加尔文的回答是“对于天上和地上的等级进行微妙的哲学比较是没有根据的”。而且他断言人们不可能知道天上的等级是否存在。加尔文在这些问题上提出了他自己的观点，他削弱了天神天使在宇宙统治中的作用，而把对世界的更直接和绝对的控制归之于上帝。说到上帝和天神天使之间的关系时，加尔文宣称：“只有上帝高兴怎样做，上帝就撇开他们而且只要点一下头就完成了他要的工作，他们远不能帮助上帝解决任何困难。”此外，根据加尔文的说法，上帝靠创世时制定的天条就预先决定了世界上一切的事情。

“我们认为上帝是万事万物的支配者，从开天辟地起就按照他自己的智慧规定了他要做什么，现在则根据他的威力执行他规定下来的事。因此，我们认为根据上帝的意旨，不仅天和地以及无生命的东西，而且人们的意志也是这样被支配着，完全依照上帝注定的进程行动着。”

加尔文教派的世界就是这样有秩序地和完全预先注定地运行着。剑桥大学伊曼努尔学院的清教徒院长约翰·普雷斯顿（John Preston，公元 1587—1628）在公元 1628 年写道：“上帝不改变自然规律”，天神天使失去了他们的权力和在宇宙格局中的最后地位，而违反自然规律的奇迹事件就不再是想象得了的了。某些加尔文派教徒对这一点虽然有点懊悔，但承认情况确是如此，一个长老会神学家理查德·巴克斯特（Richard Baxter，公元 1615—1691）当他在世的最后一年发表的著作中写道：

“这是反常的反对教皇制的一个可悲的事例，是从一个极端走向另一个极端。试看多数的新教徒对我们从天使那里得到很大好处表现得多么无动于衷，我们很少听到他们为天使对他们的管理和帮助而在公开的或私人的场合感谢上帝，更谈不上向上帝祈求这些了。”

巴克斯特承认他从未碰到过许多关于天使服务的事例，他谈的多数故事都是关于邪魔的活动。然后，甚至邪魔魔鬼在当时受教育的英国人眼中已经消失了。传记作家约翰·奥布里（John Aubrey，公元 1626—1697）告诉我们：

“当我还是小孩时，因此还是在内战以前，年老的妇女往往在晚上讲述神鬼出行的荒诞故事。这是从拥护神圣教会的僧侣遗留下来的。因为教士们说‘你否认鬼神，就是一个无神论者。’当内战起来后，也带来了良心的自由和质询的自由，鬼怪就消失了。”

在内战以前，关于神鬼的存在好象已经引起某些疑问，因为医生兼哲学家的托马斯·布朗（Thomas Browne，公元 1605—1682）大约在公元 1635 年就已提到，这对他来说是一个谜，“怎么有这么多有学问的人竟然会忘记他们的哲学，毁掉万物的等级和尺度，以至于对神灵的存在表示怀疑。”加尔文的神学把天神天使从宇宙的统治中开除出去，的确是对宇宙由各种不同等级神祇统治思想的一种冲击，或者说是这种思想的核心等级观念的冲击。上帝不再通过授权大大小小的神祇来统治宇宙，即每一个神都有一定权力，等级越低权力越小；而是作为一个绝对的统治者，依靠创世时所制定的天条直接统治宇宙。这些天条无异于自然规律，这一来神学上的宿命论就为机械决定论的哲学开辟了道路。

当加尔文教派在神学上从等级的宇宙统治观念转到绝对的宇宙统治论时，早期近代科学家在自然哲学方面也形成了不无相似的改革。哥白尼至少是暗地里否定了地上元素的等级，因为他把以前作为天体的特权的圆周运动也给予地球了。他并且研究了天体具有土和水的引力特性，而这个特性先前被认为是专属于地上两种最低元素的，这就进一步强调了地球和行星的相似性。而且，按照他的学生莱蒂克斯所说，他否认了高级的天球统治低级天球运动的等级观点。莱蒂克斯写道：

“在我的老师的假说里，每个行星球体由于自然给予它的等速运动前进着，而不需要靠高一级的天球强力加给它的任何不平等就能完成它的周期。”

哥白尼发展了太阳绝对统治太阳系的概念：“太阳就象坐在国王宝座上那样管理它的孩子——行星，这些行星围绕着它。”在十六和十七世纪提出的许多重要的新的世界体系里，太阳在宇宙秩序中占有特别重要的地位。甚至在第谷·布拉赫的保守体系里，尽管太阳和几个行星作为一个整体围绕静止的地球在动，但行星仍沿着轨道环绕太阳而动。威廉·吉尔伯特采用了第三种体系，即除掉地球在轴上自转外，和第谷的体系差不多。但是他的宇宙观与哥白尼是一样的。吉尔伯特认为，太阳是宇宙中最贵重的东西。“因为它使行星在它们的道路上前进”，是“自然界运动的主要发动者”。地球的地位与其他行星一样，因为“地球的运动和其他天体的运动一样不吃力，也并不比其他行星低下”。吉尔伯特实际上好象已经意识到否认等级概念在神学与自然哲学之间存在着某种关系。吉尔伯特坚持说：

“太阳并不是火星天层推动的（即使火星真有天层），火星也不是由木星天层推动的，木星也不是由土星天层推动的。高级的并不压制低级的，因为哲学和神父的天界必须是温和的，快乐的，宁静的，而且是不会改变的。”

到了刻卜勒，这种关系就变得更加明显了，因为他在太阳系的物质统治力量上为神学的世界统治者安排了住处。刻卜勒写道：

“太阳凭着它的尊严和力量，显得只有它适合于负起这种推动的责任（即使行星运行），并无愧为上帝之家。”

医师、哲学家罗伯特·弗拉德（Robert Fludd，公元 1574—1637）和约翰·巴帕梯斯特·范·赫尔蒙脱（John Baptist van Helmont，公元 1577—1644）都同样把上帝的住所放在太阳上面。

宇宙观上的这样一种变化，好象对那个时期称呼君主的比喻有着某些影响。过去习惯于把君主在其领土内的地位比作处在宇宙边缘上的原动者，但现在处于中心的太阳则被用来作为君主的形象和比喻了。一位测量师兼牧师的约翰·诺登（John Norden，公元 1548—1626）在他公元 1600 年出版的《基督徒家常乐事》中就把女皇伊丽莎白一世描写为英国的原动者。

“女皇陛下正如原动者一样，不论什么运动必须从她那里开始，必须由那里指挥所有别的运动，就象车轴一样，推动着国家的一切政事。”

弗兰西斯·培根在他的《叛乱论》中也采用了同样的类比，但是当威廉·哈维于公元 1628 年发表他的血液循环论时，他把他的书献给查理一世，尊查理一世为“共和国的心脏，世界环绕着的太阳”；而在公元 1660 年路易十五成年时，他并没有被欢呼为法国的原动者，而被欢呼为“太阳王”。

早期近代科学家们的新宇宙观念对新教徒的一个教派——有死派的神学也有影响。这个教派所以叫做死派，是因为他们主张人的灵魂随其肉体而死亡，而在基督的第二次来到时随同人的肉体重新复活。这派最著名的信徒是诗人约翰·弥尔顿，而有死派神学的主要代表人物是理查·奥弗顿，他是英国内战时期社会平权运动的领袖之一。奥弗顿认为，上帝一定住在宇宙中的最高贵的部分，既然科学家认为太阳是最高贵的天体，那末上帝必然住在太阳里，或者说太阳必然是上帝的本体。奥弗顿认为：

“耶稣基督是从地上升到天上天体的某些部分，所以他无疑是在天上最完美、最光荣、最神圣的部分，而这部分就是太阳，亦是整个宇宙最完美的一块，……而且根据著名的哥白尼和第谷·布拉赫的学说，太阳是处在整个宇宙中的最高地位……至于天文学家为上帝的住所发明的最高天层，我知道更没有比哲学家德鲁摩多图斯在《腐儒裴丹丘》中为了证明魔鬼存在所举的理由更好的了：如果对跖点，那就有魔鬼；如果有天层，那就有净火天或最高天层。”

有死派的中心学说，认为人的灵魂随着肉体而死亡的观点，更有利于进一步抨击等级观念，这是由加尔文教派和近代科学家发动的。加尔文和天文学家曾怀疑过天上等级是否存在，但是有死派现在则怀疑到地上植物、动物和人的等级是否真实。奥弗顿论证说，如果人类是有死的，那末人与动物就没有本质上的区别，因为动物也将如人类一样，最后会以肉体形式复活。查理二世复辟之后，有死派好象在英国消失了，但它在英国可能还有一段存在的历史。因为在十九世纪它曾以不信灵魂不灭说的教派从美国又回到英国来。在这个时期，随着天文学的发展，上帝的住处又被转移到未知的宇宙的中心。恒星天文学的一个倡导者，达勒姆的托马斯·赖特（Thomas Wright，公元 1711—1786）好象是第一个设想上帝的住处是在未知的宇宙中心的人。公元 1750 年他提出太阳和银河系的恒星围绕一个共同中心运动，形成一个巨大恒星系的假说。赖特假定在这个中心，“上帝本身或某个尽善尽美的主宰的法身直接统驭着宇宙”。

上帝的住所从宇宙的边缘移到宇宙的中心，并不是使新教神学和早期近代科学结合的重要因素——有死派毕竟只是一个小教派。更有重要意义的是宇宙无限

大的思想：每一恒星都是一个有行星环绕的太阳，行星上面都居住着和地球上一样多的生物。多世界说，就其最狭隘的形式来说，即假定我们太阳系的行星，或者单是月球上面有生物居住，就意味着与传统的等级观念相违反了。因为这是从各个天体与地球具有相同性质的见解引伸出来的，而且给这种见解火上加油。法国论文家蒙田（Montaigne，公元 1533—1592）写道：“妄自高大的人竟敢想象自己处于月层之上，而把天界置于脚下。他靠同样狂妄的想象，竟敢把自己与上帝等同起来，把自己奉为神圣一样，把自己同其他生物区别开来。”多世界说的扩大形式则设想宇宙内有无限的可居住世界，这就倾向于把一切有限的事物都放在同等地位。巴斯卡（Pascal，公元 1623—1662）在他放弃科学而信奉宗教后写道：

“与所有这些无限相比，所有有限的都是同等的，我看不出有任何理由把我们的想象固定在这一有限或另一有限上面。只把我们自己与有限作比较，对我们来说这是痛苦的。”

留在科学运动中的其他人则发现这个学说令人鼓舞，而不是令人沮丧。后来成为巴黎科学院秘书的丰特列尔（Fontenelle，公元 1657—1757）于公元 1686 年写道：

“当天空成为一个小的蓝色的穹形，嵌着许多星星，我觉得宇宙是太狭窄了：我几乎要闷得透不过气来。但是现在宇宙在高度和广度方面都扩大了，包含着成千的旋涡。我的呼吸开始舒畅起来，而且觉得宇宙比起以前要壮丽得多了。”

十七世纪绝大多数的自然哲学家都接受多世界的学说。第谷·布拉赫、刻卜勒和伽利略认为太阳系的诸行星上有人居住，而笛卡儿则相信宇宙间有许多有人居住的太阳系。

多世界说帮助把加尔文教派的神学和十七世纪的近代科学理论调和起来。调和的最大障碍是要承认圣经的一字一句都是真实的，而这个趋势在十七世纪四十年代的英国，随着科学运动的一贯和有组织的开展，明显地衰退了。清教徒牧师约翰·威尔金斯（John Wilkins，公元 1614—1672），哲学学院的领导人，在这个发展中是一个杰出的人物。大约在公元 1644 年左右，许多科学家就在哲学学院经常聚会。公元 1638 年威尔金斯发表了《一个新世界的发现》。这本书企图证明月球上另有一个具有生命和理性的生物世界。在这方面，圣经上并没有什么与他相左的话，实际上有些话还是对他有利的，但是这些话他也拒绝引用。威尔金斯在这本著作中并没有维护哥白尼的理论，但他努力建立从哥白尼的理论引伸出来或附属于哥白尼理论的学说。他引证了许多天文学家指出月球上有山和明显的海以及太阳面上有黑子的研究工作，肯定“天体并不是由任何这类纯物质所构成的，天体并不能够免除象低级物体会遭到的类似变化和毁坏。”既然月球与地球特别相似，我们可以一般猜想到在那个行星上也有些人居住：“否则上天为什么给那个地方提供这一切居住的方便？”威尔金斯还指出，从哥白尼的信徒所采取的日心说，也得到类似的结论：“如果（照他们的说法）我们的地球是行星之一，为什么另一个行星不可能是一个地球呢？”威尔金斯于公元 1640 年发表的另一著作《关于一个新行星的论述》是一部完全维护哥白尼理论的著作。这部书的大部分，实际上大约有一半的篇幅，都试图把哥白尼的理论和好象有利于天体周日运动或反对地球转动的圣经文句调和起来。这里他再一次反对逐字逐句地解释圣经，并宣称圣经并不是一本哲学著作，而是一部通俗的大众读物。在支持哥白尼的理论方面，威尔金斯把加尔文教派的神学和当时的自然哲学综合起

来。在讨论中世纪的天体运动理论时，他排斥了宇宙统治的等级概念，采纳加尔文的观点，认为天神天使大多是多余的，上帝直接统治宇宙。威尔金斯写道：经院哲学家是不讲理的，

“他们使天神天使具有和他们的理性和意志完全一致的推动天球的能力，因此，如果一个天使只要停止一下他们推动的意志，天体运动必然会停止；相反，只要他的意志要天体运动，就足够使天体在它们各自形成中运动起来。既然任命天使去做这些事是不必要的，上帝只要根据自己的意志就可以把这些事情做掉了。”

威尔金斯这里的论据为他的一个更广泛的原则提供了例证，即支配自然界作用的经济原则。他感到这是合乎上帝的智慧的，自然“从来不用任何麻烦而困难的方法去做那些用简易方法就可以完成的事情”。这种思想可能是近代科学发展中的各种“最小量”原则的根本概念。这里有费尔玛关于光在反射和折射中走花时间最少的路程的原理（公元 1662 年）；莱布尼茨关于光走阻力最少的路的原理（公元 1682 年）和莫泊丢用于各种物理现象的最小作用量原理（公元 1744 年）。

威尔金斯一方面认为宇宙里一切变化过程都通过最小力的道路，另一方面却相信世界上万物具有最大的多样性。他写道：

“除去世界上已知的那些物种外，可能还有许多其他的物种。这可能是上帝在创造万事万物时尽可能多一些，俾能从他的能力和智慧的事迹中更全面地颂扬他自己。”

这样的观点并不新奇，因为它根据的是世界为一系列等级不同的生物所居住的传统概念。中世纪晚期的神学家雷蒙·德·塞彭德以同样的方式论证了必然有各式各样和为数广大的天神天使。塞彭德写道：

“我们必须相信，天使是惊人地和不可想象地多，因为一个国王的荣誉就在于他的臣僚众多，而他的不光彩和耻辱就在于他的臣僚之少……但要记住，切不要把它们众多想象为混乱的；相反，在这些神祇中，巧妙地显示出一种可喜的次序。”

但威尔金斯和塞彭德不同，他把生物的一环仅仅看作是完善的尺度，而不是权力的等级，因为后一概念是加尔文教派和早期近代科学家所反对的。乔尔丹诺·布鲁诺（Giordano Bruno，公元 1548—1600）是使多世界说在近代开始流行起来的人。他曾表明，把世界上的一切生物在完善上分为各个等级的传统观念，与撇开世界的最高主宰而认为一切生物能力相等的新观念，怎样可以调和起来。他设想最高主宰给予每个生物一种内在能力的源泉，从而使一切生物都能自主，而脱离传统的统治和服役的相互关系。威尔金斯就倾向于这种观点。他在大自然的活动中观察到，“自然确实寻常地运用着某些内在地原理。”另一个更为一般人们采用的观点导源于笛卡儿的哲学：根据笛卡儿的哲学，只有一种力掌握物质事件，那就是机械运动，它从外部使一切生物动起来。所有的生物都是机器，只是根据它们的机构的复杂性和组织程度的完善性而相互有所不同。

在这个存在着最大多样性的生物，并以用力最小的途径进行运动的世界上，不可能有根本的变化或改进，因为自然已经达到永不改变的完善状态。威尔金斯写道：

“最机智的人也不可能在这本世界巨著里找出任何污点或错误，就好象这个世界里有什么事物开头是一篇没有完成的文章，以后需要修改似的。不是如此，万物从创世以来就是这样继续下来的。”

德国哲学家莱布尼茨也是这个观点，认为我们的世界是最好的世界，它是“根据

最大和最小的原理来的，也就是说，以所谓最小的费用获得最大的效果。”因此太阳系是一个自动的机器，而各种生物则以最初被创造出来的多种多样形式永远固定下来。在这个问题上，新教徒的神学和近代科学之间的联盟终于破裂了，因为十九世纪的进化论结束了世界和世间万物从亘古以来就是现在这样的观点。这一来科学不再与新教的神学融洽一致了，而且在十九世纪新教徒的国家里，宗教对进化论反对得很强烈。

可是，这个联盟却延续了一个半世纪之久，在这期间知识界一般地都接受牛顿的物理学—神学体系。由于威尔金斯及其同代人遇到英国教会抵制新天文学的冲击，并阐明了科学革命与加尔文教派改革明显一致的特征，牛顿的理论在英国很少遭到宗教的反对。十七世纪英国的科学和宗教都采用了培根提出的在“解脱人类状态”上作出贡献的目标，前者通过科学的应用，后者则通过做有益的事情，使两者统一起来。在观念领域里，近代科学和加尔文教派的神学都撇开了宇宙统治的等级概念。一种专横的因素已经露出苗头，并导致一种绝对统治的宇宙理论：根据这个原理，各种事物都服从于一定的和不可改变的规律。在这些规律中，最突出的是，为了保持世界完善不变的模式，而规定作用量应是守恒的、或在所有运动中应是最小的那些规律。所谓各种事物存在着最大多样性并形成一条连续的环节，也是为同样的目的服务的。把生物按层次分为等级，主要是作为分类原则而保存下来，即根据动物、植物和其他实体的某些固定特征进行分类，诸如它们组织结构的复杂性，但已经不再是支配自然界运动和作用的一个原理了。然而，拉马克和其他人很快地设想动物和植物的环节并不是一个不变的层次，而是一个进化系列的分支；这样一来，天主教和新教的神学，以及古代自然哲学和早期近代科学的一个共同的概念，就宣告了它的历史终结。

第十七章

万有引力论

古代的引力观念和近代的引力观念有很大的不同。从十七世纪起，科学家把引力主要地看作是物质的一个属性。一物体吸引另一个物体的力量大小，视物体所含物质的多少和隔开它们的距离而定，这种力量是相互作用的。在古代和中世纪，引力多多少少被认为是位置的一种性质，而不是物质集聚的性质。在亚里士多德的宇宙里，万物都有其指定位置，如果脱离原位，就要争取回去。石头落地是因为石头希望回到原来在宇宙中心的位置，而宇宙中心刚好和地球中心符合，或者几乎符合。但是即使地球不在宇宙中心，土和水形成的物体也会向宇宙中心落去，就象气和火形成的东西会升向它们在月层下面的原来位置一样，尽管除掉它们的指定位置外，并没有什么东西“吸引”它们。

这种引力观念给哥白尼的学说带来不少困难。石头显然是落向地球，但是地球如果沿着周年轨道环绕太阳运转，它就不可能处于宇宙的中心。哥白尼因此设想每一物体，太阳、月亮和各个行星，都有自己的引力体系，这样空中的一块石头就会落向它最近的天体。哥白尼认为引力是物质集聚的一种趋向，不管把它放在哪里，不一定非要宇宙中心不可，都会聚成圆球的形状。但是他仍旧认为引力的中心是一个几何性质的点，不过这类点子现在只能是物质球的中心了。哥白尼写道，“地球的元素是最重的，所有的重东西都被驱向地球，并力图达到它的最内在的中心。”

哥白尼没有认为太阳系的各个天体靠它们私有的一套引力系统而相互产生影响。天体的格局和它们的运动并不是由引力或者任何其他力学原因决定的。天体的运动完全是天然的，而它们的格局则是由行星的速度和行星轨道大小之间的数学和谐所决定的。哥白尼没有公开表示过他对行星际空间问题的看法，但是刻卜勒在他之后却声称，哥白尼相信天体嵌在坚硬晶莹壳子里，这些壳子一个套着一个转动，并载着天体运行。

公元 1577 年第谷·布拉赫和别人追踪一个彗星通过天空的轨迹，并指出它通过太阳系，穿过旧的亚里士多德宇宙论的所谓坚硬晶莹的壳子。这一来这种观念只得放弃了，而给天体的布局 and 运动另求解释。第谷·布拉赫写道：

“我现在看得很清楚，坚硬的天层是没有的，而那些被作者们设计来装饰门面的天层，只在想象中存在，其目的是容许人们的头脑能够领会天体所描绘的运动。”

但是，如果晶莹的天层不存在的话，那末问题就来了：实际上推动天体运行并保持其正规格局的是什么呢？一个可能性是天体自顾自地运行，各不相关，而且没一个正规秩序。弗兰西斯·培根写道：

“关于天体的第一个问题是，究竟有没有一个体系，也就是说，究竟世界或者宇宙合成一个具有中心的圆球，还是地球和星体那些特殊圆球都分散

开，每一个都各自独立，没有任何体系或者一个共同中心。”

可是早期的近代科学家多数都觉得，太阳、月亮、地球和行星的确形成一个有共同中心的体系，而且这个体系是由一条单一原理联系在一起的，这一原理也是天体的各种不同的有规则运动的基础。公元 1600 年威廉·吉尔伯特提出磁力可能是维持太阳系存在的原理。如我们在前面已经谈到的，吉尔伯特根据他的磁石球实验，设想地球本身是一块庞大的磁石，上面盖了浅浅一层的岩石和土壤。由于磁石对一定距离内的铁器物有相当大的力量，吉尔伯特设想引力就是地球这块庞大磁石作用于周围物体的磁力，而且遍及整个太阳系，成为宇宙的外膜。

吉尔伯特在他的一项实验中证明，磁石对一块铁的吸力大小视磁石的大小而定，磁石越大，对铁块的吸力也越大。还有，吸引是互相作用的，磁石吸铁，铁也同样吸引磁石。因此吉尔伯特所研究的磁力性质，为近代引力观念提供了一个模型。引力的中心并不是什么几何点，而是具体的一堆物质，它的力量随着物质数量的增加而增加。

和第谷·布拉赫一样，吉尔伯特认为行星环绕太阳，而太阳和行星则作为一个整体环绕处在世界中心的地球。但他又和第谷不同，同意哥白尼的恒星不动和地球在地轴上每日自转的假说。由于地球、太阳、月亮和诸行星都是磁性物体，它们都在空间里自己定向，就象罗盘在地球上有着它自己的方向一样，所以太阳系的星体全在同一平面上运动，它们的轴都是平行的。用吉尔伯特自己的话来说，“它们按照整体的规律在宇宙中各自就位”。因此地轴永远指向北极星，这是地球磁力的定向效果所致。吉尔伯特认为太阳系的所有天体通过磁力的相互作用都相互影响，而且并没有什么原动者从外面控制它们的动作。他写道，“自然界的万物都自然地运动，各由其本身的力和他物的制约推动，行星体的圆周推进就是这样，每一行星都遵照着并推动着别的行星运行。”

吉尔伯特的这些理论有一个时期很有影响。约翰·刻卜勒就接受过来，用以解释为什么行星在椭圆轨道上运动。刻卜勒还发展了吉尔伯特的引力观念，假定引力“是和磁力类似的东西，是同性物体之间的一种相互感应，企图结合或联系在一起。”这样一种介于两个物体之间的引力，是视物体的大小而定的。地球是月亮的五十三倍，所以：

“如果月亮和地球不靠其自身的活力或者什么别的相当力量把它们保持在各自的轨道上，地球就会向月亮上升，而月亮则会向地球坠落；地球会上升到地球和月亮之间距离的五十四分之一，月亮则会坠落到余下的五十三分距离。”

从这段话中我们附带可以看出，刻卜勒并没有什么惯性观念，要保持太阳系天体运动着，必须有一种活力或者什么别的相当力量。

为了说明行星的运动，刻卜勒设想太阳发出磁力流，就象轮辐一样在行星周转的平面上照着太阳的旋转方向转动着。这些磁力流靠一种切线力推动行星周转。因此几个外行星比那些靠近太阳的行星走动得都慢，因为它们都重些，而且因为磁力流达到它们时，因距离关系已经减弱了。为了解释行星的椭圆轨道，刻卜勒设想太阳是一个只有一个极的庞大磁石，而行星则是具有南北两极的磁石。行星的轴在空中始终保持定向，所以行星在轨道上运转时先是北极朝着太阳，然后是南极朝着太阳。这样行星就会轮流受到太阳的吸引和排斥，而它的正圆轨道就会歪曲为椭圆形。刻卜勒认为地球的自转主要是由于地球自身的磁力；地球的转动一年中有三百六十天是由于它自身的磁力，只有五天是受太阳磁力的影响。和吉尔伯特一样，刻卜勒承认哥白尼的宇宙价值。地球和别的行星大致一样，而

太阳则统治着宇宙，具有一种特殊的磁力，推动行星周转，并把它们的轨道由正圆形改变成为椭圆形。

如我们在前面已经看到的，刻卜勒同意旧的力学见解，即运动体需要不断增加推动力，才能保持走动；而他的朋友伽利略则坚持旧天文学的先入观念，认为行星的运动是正圆的和均速的。但他们并未相互配合，因此两个人虽则都有可能把天文学和力学综合起来，但是谁也没有做到。在伽利略看来，天体的格局和运动是不存在问题的。他的惯性原理规定天然运动都是均速和圆周形的，而且由于他认为行星沿着正圆轨道以均速运动着，他就假定它们的运动是天然的和自行维持的。伽利略提示，上帝开头可能把行星从一个很高的地方扔下，使行星向太阳落去，逐渐增加速度。当他们达到目前的速度时，行星就被拨进圆周轨道，从此就无限期地运行下去。伽利略说，这个见解他是从柏拉图那里得来的，但是，剥去了它的“面具和诗意的外衣”。

伽利略在天文学上，以及他后面的笛卡儿在一般科学上，所主要关心的是宣传科学革命的新的普遍见解，而不在于解释晚近科学发现的详细内容。笛卡儿和伽利略一样，相信行星沿圆周轨道并以均速运行，而不是如刻卜勒发现的那样，沿椭圆轨道以变速运行。还有，笛卡儿也反对在集聚的整体物质之间有一种引力能隔开空间起作用的想法。他批评伽利略没有先弄清楚物体能否自由，就定出物体的自由坠落规律。在笛卡儿看来，物质和广袤是毗连的，因此空间充满物质，没有任何东西能够“自由”坠落。石子落地是由于包围地球的物质的旋涡的吸引效果引起的。同样，行星的圆形轨道是由于包围太阳的旋涡状物质的吸引效果引起的，这种吸引效果大乱了行星在惯性力下的天然直线运动而成为圆周形。笛卡儿的这些见解很有影响，而且在当时使人们不再去注意引力问题的研究。他的信徒之一克里斯提安·惠更斯（Christian Huygens，公元 1629—1695），荷兰的一个绅士兼业余科学家，在公元 1669 年作了一项实验，好象证实了笛卡儿的物体坠地学说。他在一碗水里搅起一个旋涡，发现碗内的卵石都被拉到碗底正中的旋涡的中心来。惠更斯因此认为引力不过是“以太的作用；以太环绕地球中心，力图离开中心，并迫使那些不参与它的运动的物体各自保持在原来位置上。”惠更斯在研究摆的摆动时，于公元 1659 年就已经发现，保持物体的圆周运动需要一种向心力，并证实了支配它的规律。但是在行星的问题上，他却没有看出这种力量来自引力的，其所以如此，可能是由于他拥护笛卡儿当时的见解。在天文学上，笛卡儿的体系比刻卜勒的体系说明的问题少，特别是没有能解释行星的椭圆轨道，而且使刻卜勒的有发展前途的引力观念湮没了。刻卜勒认为，引力是两物体通过空间作用着的一种力，而力的大小则视物体所含物质的多寡而定。

刻卜勒的学说在公元 1666 年为阿尔方斯·博雷利（Alphonse Borelli，公元 1608—1678）重又提了出来。博雷利是比萨大学的数学教授和佛罗伦萨实验学院的院士，该学院的组成人员都是伽利略的学生和门徒。博雷利提出，行星的椭圆轨道是两种相反力量平衡的合成；第一个是把行星吸向太阳的引力，第二个是一种使行星离开太阳的离心力，就象石子用吊索旋转起来所受到的力量一样。博雷利坚持力学上的冲力说，因此和刻卜勒一样，设想行星的运转是受太阳的力的推动，各种力就象光线一样被太阳射出来，而且象轮辐一样随太阳转动。他认为物体的天然倾向是走直线，而不是如刻卜勒和伽利略认为的走成圆周，因此来自太阳的引力必然把行星约束在闭合的轨道中运行。但是博雷利没有能找出：引力究竟需要多大，才能把行星的天然直线运动弯曲为人们所观察到的椭圆轨道，所以他的行星运动说始终只是一种揣测。

博雷利的思想是理论物理学在十七世纪意大利的最后一闪的火花，而在荷兰和法国则是笛卡儿的学说占优势。所以天体力学的问题整整兜了一个大圈子。从吉尔伯特的以定性为主的哲学思想开始，引力问题又回到英国来，由后期斯图亚特王朝的科学家们提供了具体的答案。这一派的主要人物是伊萨克·牛顿（Isaac Newton，公元 1642—1727），不过其他一些人，如罗伯特·胡克（Robert Hooke，公元 1635—1703），克里斯托弗·雷恩（Christopher Wren，公元 1632—1723）和爱德蒙·哈雷（Edmund Halley，公元 1656—1742）的贡献，也都是相当重要的。

伽利略的近代惯性原理内容是，物体不受扰动时以均速沿直线运动。这一原理一经成立，用力学解释天体运动的问题，就成为这样两个问题了：第一，使这种惯性运动弯曲为圆形或椭圆形运动，需要向心力，现在要导出支配这种向心力的规律；第二，证明引力能提供约束行星沿闭合轨道运动的向心力，这就需要导出支配引力随吸引物体间距离变化的规律。英国皇家学会的干事罗伯特·胡克，热心地从实验上来研究第二个问题。他倾向于相信吉尔伯特的见解，即认为引力是和磁力类似的东西，而且，由于吉尔伯特已经从实验上证明，两物体之间的磁力视距离远近而异。胡克觉得也可以证明引力同样是如此。在公元 1662 年和公元 1666 年，胡克作了些考验这项假说的实验，把在深井或者矿井里量得的物体重量，和地面的重量以及高山上的重量进行比较。但是，用他自己的话说：“什么都没有落实。”在公元 1664 年，胡克和雷恩讨论了那一年出现的彗星的轨道。雷恩的看法是，彗星在惯性的影响下走一根直线；但是胡克指出彗星靠近太阳时轨道是弯曲的，并且表示这种弯曲是太阳引力作用的结果。差不多在同一时候，胡克企图通过研究弧形摆的运动，发现支配物体保持沿圆周运动的力的关系，但是他没有发现向心力的决定性规律。

牛顿也在研究这些同样的问题。在公元 1665—1666 年的大瘟疫时期，牛顿离开剑桥大学，住在格兰赛姆附近自己家里的乌尔斯绍普庄。根据牛顿三十年后所作的一项声明，他当时既发现了向心力规律，也发现了两个物体之间的引力随物体之间距离的平方而减少的关系。看上去牛顿是从刻卜勒的行星运动第三定律推演出向心力规律，并由此导出引力的平方反比定律。这些定律的正确性可以用计算来证明，即根据平方反比定律和落体实验测量出来的地面引力已知值，计算地球对月亮的引力。根据月亮的速度和月亮轨道的大小，就可以算出把月亮约束在它的轨道上所需要的向心力。如果计算出来的向心力的值和引力值在数量上吻合，那就证明是地球的引力提供了维持月亮在轨道上的向心力。

如果说牛顿在乌尔斯绍普庄时作了这些计算，但他并没有把计算的结果公布出来。他为什么在公元 1666 年没有发表这些成果，人们提出了好几条理由。其一，据说牛顿的向心力和引力的计算值并不符合，因为当时人们对地面和地心的距离知道得并不准确。后来又有人设想，牛顿在当时没有能证明，地球这样整个物质所产生的引力场，就象在地球的几何中心点所产生的引力场一样。比较晚近的设想是，牛顿在公元 1666 年事实上并没有发现向心力定律和平方反比定律，原因是没有任何文件记录支持这种说法，而牛顿三十年后的回忆在若干别的事情上都记错了，可能在这件事情上也记错了。再者，牛顿在公元 1666 年和公元 1667 年之间还是根据一种假想的以太介质从天上到地球的循环流动，而发展了一种引力学说，并认为以太带着有重量的物体下降。在公元 1679 年，他设想太阳和行星说不定是“由它们的旋涡中以太所具有的某种隐蔽的互不影响原则”所排列的，这种说法意味着牛顿是比较倾向笛卡儿的见解的。

到了公元 1679 年，其他的科学家都已经找到向心力定律和引力的平方反比定律了。荷兰的惠更斯作了摆的运动实验和一般圆周运动的实验，根据这些实验，他在公元 1673 年推算出向心力定律。有了这条定律，那就有可能从我们前面讲过的刻卜勒的行星运动第三定律推论平方反比定律。惠更斯并没有这样作，但是胡克、雷恩和哈雷作了，于公元 1679 年找到平方反比定律。那一年胡克写信给牛顿，问他能不能根据向心力定律和平方反比定律，证明行星沿椭圆轨道运动。胡克在信中指出，困难在于太阳和行星都是广袤物体，然而在理论上却不得不把它们的质量看作好像是集中在它们各自的中心点上来处理。牛顿没有回答胡克的问题，但是在公元 1684 年雷恩为解决胡克向牛顿提出的这个问题，提出一笔奖金。胡克自称解决了这个问题，但是据哈雷说，雷恩对解决并不满意。第二年，这个问题又向牛顿提了出来，这次是由哈雷提出的，后来牛顿就送给哈雷一项证明，说明行星在太阳的引力场影响下将会沿椭圆轨道运动。哈雷力劝牛顿把证明详细写出来，并公布于世。牛顿现在已能证明广袤的球体，诸如地球或者太阳，如果全部质量集中在球体中心，其引力场将保持不变，所以可以把天体当作质点看待。这时候，地球半径、太阳离地球的距离和太阳系的其他一些测算的较准确数值，都已经找到了，所以牛顿靠了这些就能够证明，地球的引力完全可以提供保持月亮留在所观察到轨道上的向心力。同样地，牛顿也证明太阳的引力场能说明人们观察到的行星遵照刻卜勒定律的运动，以及彗星大致沿抛物线轨迹环绕太阳。牛顿并且进一步发展了自己的理论，认为每一行星由于其自身的旋转运动，应当在两极扁平，而在赤道上突出。这样一个扁平球的形状，在望远镜中窥见的木星就是如此；至于地球则是从地球的引力场在赤道较小，在靠近两极地区较大，而推论出来的。既然地球并不完全是正圆形，牛顿就指出太阳和月亮的引力摄动将不会通过地球中心，因此将使地球的轴作一种缓慢的圆锥运动，这就说明了二分点的岁差现象。最后，牛顿又把潮汐的产生归之于太阳和月亮对海洋的引力效应的差异，证明高潮总是在新月和满月时发生。因为这时太阳和月亮的引力一同起作用，而低潮则在上下弦月时发生，因为两种引力会相互抵消掉一些。

这些证明都被牛顿收在他在公元 1686 年尾完成的《数学原理》里。皇家学会要出版这部书，但是凑不出适当款子，而皇家学会的干事胡克则声称引力的平方反比定律是他首先发现的，所以爱德蒙·哈雷就自费出版了牛顿的书。胡克在公元 1693 年又提出他首先发现平方反比定律的声明，这次是在皇家学会的会议上提出的。这事发生后不久，牛顿就患了神经系统的疾病，直到复原以后，才第一次发表声明，说他在公元 1666 年基本上就发现了向心力定律和平方反比定律。牛顿毫无疑问在万有引力论上作出了他个人的最主要的贡献，不过正如后来他和莱布尼茨激烈争吵谁先发现微积分的问题一样，牛顿只是当时解决引力问题的若干科学家中的一个。这些人全都在研究同样的问题，并且独立而同时地在解决引力问题上作出了贡献。

在研究太阳系力学的问题上，胡克和牛顿采用的方法是有点两样的。胡克属于共和国时期达到成熟阶段的一代科学家，这一代受培根科学哲学的经验主义和功利主义影响最深。牛顿属于王朝复辟时期达到成熟的后一代科学家，他采用的是一种比较演绎的方法论，有点象伽利略和笛卡儿采用的方法。胡克努力通过测算物体在地面以上和以下不同高度的重量，从实验上找出两物体之间引力和距离的变化，而牛顿大概是从向心力定律和刻卜勒的行星运动第三定律演绎出引力的平方反比定律的。他在讨论科学方法时，牛顿采纳的观点是，物理—数学演绎的起点应当是从实验所观察到的效果或者规律，而演绎则应当导致其他可观察效果

的解释或者预测。在《数学原理》的序言中，牛顿写道：“哲学的所有困难好象就在这里：从运动的现象研究自然界的各种力，然后从这些力再来证明其他现象。”

牛顿因此特别强调，作为自然哲学中数理证明的起点的，应当是观测到的效果和力学运动的那些规律。笛卡儿也提倡同样的观点，设想自然现象应当用机械名词来解释，因为我们对机器的作用和其他机械设计的東西最熟悉，而且必然以已知解释未知。这种以已知解释未知的方法在牛顿的著作中非常明显。他把行星轨道比作抛射体的轨迹时，在两者之间建立了一种伽利略所没有能建立的联系。他写道：

“如果我们想一想抛射体的运动，就可以很容易地理解到为什么行星可以保持在某种轨道上：因为一个射出的石子是由于它本身重量的压力而逼得离开直线轨迹……并在空中描出一条曲线，经过这条弯曲的路线最后落在地上；而且射出的速度愈快，它在落地前就射出愈远。所以我们可以设想它的速度增加得非常之快，以至非要经过好多里的一段弧线才会落到地上，而且最后还会超出地球的界限，从地球边上就掠过去了。”

由此可见，如果月亮可以比作一个抛射体时，它就应当遵守同样的定律，而且它的运动就应当符合伽利略对抛射体运动所作的分析。也就是说，月亮的曲线运动应当可以分解为两种简单的直线运动，每一种运动都受力学定律支配。牛顿的方法事实上和伽利略采用的方法非常之象，不但总的方面相似，如数学证明要根据实验上已知的原理，而且在细节上也相似，如把复杂的曲线运动分解为简单直线运动的方法。

可是牛顿不同于伽利略的是，他严格区别于实验所提供的原理和直觉所提供的原理。笛卡儿认为直觉为不受蒙蔽的心灵提供确实和无可置疑的思想，而科学证明就是以这种所谓确实和无可置疑为根据的。牛顿对笛卡儿的这种方法并不喜欢。在牛顿看来，这些思想只是假说，他并且声称自己不采用假说。牛顿当然也曾提出一种思辨性质的假说，并且根据这些假说进行论辩和证明，但是他坚称这类思辨和他的实验哲学是分开的并且与之全然不同。由于这个缘故，牛顿在自己的后期著作《光学》（公元 1704 年）中把他的实验哲学和思辨性的自然哲学作了分别的阐述，在介绍他的光学实验工作那一部分的末尾，以若干条《询问》的形式附带地谈了他的思辨性自然哲学，所以他这部书分为两个部分，不妨说一部分是采用伽利略的方法，一部分用的是笛卡儿的方法。

别的科学家，如惠更斯和莱布尼茨，觉得很难赞同牛顿所作的实验哲学和假说性思辨之间的区别。他们暗示，牛顿把引力说成是物体之间遥远作用着的一种力，这种观念等于恢复了新近被自然科学所否定了的神秘性和精神力量。牛顿回答说引力只是给所谓物体坠地、行星沿闭合轨道环绕太阳等现象的原因起的一个名称，实验哲学由于没有适当的观测可以进行，无法定出这个原因是什么。实验哲学家只能指出引力怎样起着作用，表明物体坠地时在给定时间内速度增加多少，等等，正如伽利略发现物体的坠落不断加速时所做的一样臆测引力的“原因”，把引力说成是一种神秘的力或者是宇宙以太的旋涡，对实验哲学说来都毫无价值，因为所有这类解释都属于假说性质。牛顿写道：

“告诉我们任何事物都具有一种神秘的特殊性，而事物就是靠这种特殊性起作用，并产生明显效果，这样说等于白说。但是从现象推出两三条运动的普遍原理，并且在事后告诉我们一切有形体的东西的性质和作用都是根据这些明显的原理来的，那就是在哲学上前进了一大步，虽则这些原理的原因

还没有发现。因此我考虑下来，还是提出上述运动的那些原理来的好，因为这些原理包括的范围非常之广，还是让别人去发现他们的原因罢。”

牛顿当然没有把自己的活动限制在他规定的实验哲学方面。他建议用思辨性的假说来解释为什么人们所观察到的力学定律不可逾越。特别是提出给有形东西之间所观测到的引力找一个物理“原因”。在牛顿的时代，亚里士多德的引力现象学说已经不再有什么地位了；这个学说设想四大元素不断努力回到其在宇宙中的规定位置。比较有影响的还是笛卡儿的引力学说，即行星际和恒星际空间都挤满了一种物质，这种物质以一种旋涡式的运动环绕着地球和每一个天体。这些旋涡具有一种把有形体的东西拉向中心的性质，因此以地球上重的东西为例，就有一种落地的倾向，而较大天体诸如太阳周围的旋涡，则把地球和行星等小天体带着转，使它们沿闭合轨道运行。牛顿在他的后期著作中，否定了笛卡儿的这个学说，理由是它不能说明刻卜勒的行星运动诸定律的确切形式，而且和彗星穿过太阳系的运动这类天文现象不符。牛顿提出了几种不同的学说代替笛卡儿的观点来说明引力现象，其中最成熟的是收在《光学》附录《答客问》里的一种说明。在这里，牛顿设想整个空间都充溢着一种静止的以太介质，类似包围地球的大气，但是精细得多。这种介质由极小的微粒组成，微粒相互排斥，也受到有形体东西的微粒的排斥。由于有这种排斥存在，以太介质在庞大物体诸如天体的间隙里很少找到，而密布在环绕这些庞大天体的空间里；而且离天体愈远，密度愈大。这一来，一个重物体和地球离开一定距离，物体里面的以太介质在其背离地球的部分就要密些，在其朝向地球的部分就要稀些，而由于以太介质的排斥作用，物体将向地球坠落。

牛顿计算过，如果以太介质的平均密度是空气密度的七十万分之一，而且如果成比例地较空气更有弹性，那末介质对物体通过它时的阻力就会很小，事实上只有水的阻力的六亿分之一，因此行星的运行就是经过一万年，也不会因摩擦阻力而有多大改变。但是经过很长的时间之后，行星将会逐渐慢下来，而且因摩擦作用，运动一般将在宇宙中消失。由此可见，宇宙中的运动量不可能如笛卡儿所设想的那样，永远守恒，而世界整个说来是不可能成为一个完善的自动机器的。牛顿因此设想上帝经常补充宇宙内因摩擦而丧失的运动，并改正因行星和彗星打乱相互的轨道而引起的那类干扰。在牛顿看来，上帝是无所不在而且是万古长存的，所以不管宇宙哪里出现混乱，上帝都会看到并改正它。牛顿写道：

“上帝永远存在而且到处都有，并凭自己的永远和普遍存在构成时间和空间……〔上帝〕统驭万物，熟悉万物，并懂得一切可做的事……我们靠自己意志挪动自己的肢体，上帝由于无所不在，更能靠自己的意志挪动处在他的无边而统一的感观内的物体，从而形成并改造宇宙的那些部分。”

在这段话里，牛顿的观点很接近荷兰哲学家斯宾诺沙（Spinoza，公元 1632—1677）所提倡机械泛神论观点。在神学上，牛顿是比较脱离正统的，因为他是个一神论者，同早期近代科学传统上的其他知名人士，如塞尔维特（Servetus，公元 1509—1553）、约翰·洛克（John Locke，公元 1632—1704）和约瑟夫·普里斯特列（Joseph Priestley，公元 1733—1804）一样，都反对神是三位一体的学说。

牛顿总是自称在实验哲学上不用思辨性假说的，但在上帝构成时间和空间这种学说里，和整个空间充溢着一种静止的以太介质的理论上，他的这些假说就影响和决定了他的科学面目。这些假说促使他假定时间、空间和运动都是绝对数量，在原则上可以根据宇宙内某种固定不变的东西计算出来。在牛顿看来，宇宙中静

止和不动的实体就是上帝，上帝的存在构成时间和空间，以及弥漫一切空间的以太介质。他写道：

“天父是不动的，宇宙间没有一个地方除掉因自然界的永恒需要而变得有虚有实外，天父是不会变得更虚空一点或者更充实一点的。宇宙中其他万物则都在到处移动。”

这种认为时间、空间和运动是绝对量的见解一直持续到二十世纪，因为在往后所有涉及充溢一切空间的以太介质的学说里，宇宙间都有一套体系和观察者，在原则上能够测量绝对速度，也就是那些在宇宙以太中处于静止状态的体系和观察者。

第十八章

十七世纪的光学

十六和十七世纪实验科学的成长，推动了人们对光的研究。因为一切观察主要是靠光进行的，而且为了扩大肉眼观察能力也要发展光学仪器。文艺复兴时期的艺术家，为了取得自然主义的表达效果和提高他们绘画的透视感，曾经研究过光学问题。后来人们就寻找比已有的眼镜和放大镜更强的仪器，这个运动约在十七世纪初，因荷兰密德堡的眼镜商汉斯·立帕席和沙加里亚斯·詹森（**Zacharias Jansen**）发明了望远镜和复合显微镜而达到高潮。当时的学者们，特别是伽利略和刻卜勒，把这些手工艺的发现拿过来，并且研究了它们所包含的理论原理。在十七世纪，人们的注意力都集中在望远镜上，因为它在天文学和航海上用处都非常之大，而且它的缺点不象早期显微镜的缺点那样严重。可是，显微镜仍然造了出来，而且被当时的科学家采用了。伽利略约在公元 1610 年时曾用显微镜研究了昆虫的生理解剖结构，他的这项工作由英国的胡克在十七世纪六十年代继续进行下去。到了十七世纪末期，一个兴盛的显微镜学派在荷兰就发展起来了。

伽利略不论在光学理论或者光学仪器方面都没有作出多大贡献。他的望远镜原则上和荷兰眼镜商造的一样，由一块凸透镜片和一块凹镜片合成，虽然他在望远镜的操作上作了改进。相反，刻卜勒则设计了几种新望远镜，特别是用两块凸透镜片的天文望远镜，而且就象伽利略奠定近代实验力学的基础和吉尔伯特奠定近代磁学基础一样，刻卜勒则奠定了近代实验光学的基础。刻卜勒看到光从已知光源以球面辐射出来，直觉地提出了光度随距离减弱的平方反比律。托勒密的折射定律大致上假定光的入射角和折射角之间有一种直接比例；刻卜勒研究了光线在两种透明介质的界面的弯曲现象，指出托勒密的这条定律只适用于小于 30° 的角度。刻卜勒觉得介质的折射力和介质的密度成正比，但是英国数学家哈略特向他指出，油比水的折射率大，但是油比水的密度小。

正确的光的折射律是由莱顿的一位数学教授威里布里德·斯涅尔（**Willebrod Snell**，公元 1591—1626）在公元 1621 年发现的；斯涅尔发现对于介于两介质的给定界面说来，入射角的正弦和折射角的正弦总是相互保持同一比例，这个比例就叫做这个界面的折射率。这个定律在公元 1637 年第一次被笛卡儿公诸于世，因为笛卡儿设想光由微粒形成并且走的是快速直线运动，现在他企图用这种微粒说来解释斯涅尔定律和其他光学现象。笛卡儿认为光的反射只是微粒根据力学定律从一个弹性面上弹回来。同样，光从密介质进入稀介质的折射可以比拟为球穿过一片薄布一样。球速和布面成直角的分力因布的阻力而减弱了，但是和布平行的分力则照旧不变。因此球的全部速度将会减弱，而它的轨迹将会向布弯去，就象光从密介质通向稀介质时弯向界面一样。这个比喻暗示光在密介质中比在稀介质中走得快。笛卡儿说，如果我们记着球沿着硬而重的桌子滚动比滚过一块软而轻的地毯容易得多，我们对这里的效果就满可以懂得了。

笛卡儿还有一个关于光的第二种理论，根据这种理论，光是一种作用或者压力，是物体通过为物质塞满的空间向眼睛所施的作用或压力。他设想光就象物体通过盲人的手杖传到盲人手中的压力。笛卡儿深信，是日光的压力保持太阳系的旋涡顶住太阳系外面恒星旋涡的压力。因此宇宙旋涡的离心力只不过是这些旋涡中心地带所发出的光压。光的各种颜色是由空间物质的不同转动速度造成的，红是由最快的速度造成，青是由最慢的速度造成。笛卡儿学派发展了光是空间的以太传播作用的学说，而牛顿和他的信徒则采纳了光的微粒学说。

笛卡儿推论光在密介质中一定比在稀介质中走得快，被比埃尔·德·费尔玛（Pierre de Fermat，公元 1608—1665）提出疑问。费尔玛是法国图卢兹地方法院的一个法律顾问。费尔玛的论证是根据经济原则提出的，这个原则设想自然界的作用总是尽可能以最少的时间完成。他然后阐明，如果光在密介质里比在稀介质里走得慢些，那末光的反射定律和折射定律就是遵守最少时间原理的必然结果。这样一个结果和笛卡儿的微粒说是相反的，而且实际上和一般的光的发射说都相反，但和假定光是以太介质的传播作用那个学说相合拍，诸如惠更斯所建议而为其他笛卡儿派所发展了的光的波动说。

光的波动说是由意大利波伦亚大学的一位耶稣会派数学教授弗兰彻斯科·格里马第（Francesco Grimaldi，公元 1618—1663）首先倡议的。格里马第察觉光并不完全走直线，因为他发现影子比假定光走直线的应有的大小要稍为大一点。再者，他察觉影子的边缘往往带上颜色，所以他设想光是一种能够作波浪式动作的流体，不同的颜色是波动频率不同的结果，就象声音振动的音一样。他说，如果光的流体的动作是波浪式的，那末影子的边缘就应当是模糊的和有颜色的，因为水波碰到障碍物时很容易就绕过去。

格里马第在公元 1655 年设想他的光流体以极快的速度运动，始终都在波动着。惠更斯在公元 1678 年和公元 1690 年提出的理论比较接近正统的光的波动说。他设想传光流体或者以太是静止的，光是由这种介质传播出来的纵波。惠更斯在巴黎科学院的同事奥劳司·雷默（Olaus Romer，公元 1644—1710），一位丹麦天文学家，在公元 1672 年到公元 1676 年这几年间曾经发现光行有一定速度。他发现木星的几个月亮当地球离开它们时比地球向它们走近时的周转期较长，而且月食次数较少。雷默把这些现象理解为光行有一定速度的结果，光横贯地球轨道的时间需要十一分钟。惠更斯把光行有一定速度和光是一种波动的假说合并起来。他设想有一种延续的发光的以太通过整个空间，这种以太是由有弹性的硬粒组成，能传送冲力而本身不被冲掉。所以每一微粒都在一个平均位置上振动，并把运动传给邻近的许多微粒，这样一来，来自任何光源的骚动都将以固定速度球面地向空间传送出去。他认为，一切透明物体都充满着这种以太，所以光能够透过它们。但是光波得绕过透明物体本身的微粒，因而慢了下来，这样就说明了光的折射现象。

在公元 1670 年，丹麦的伊拉斯谟·巴塞林（Erasmus Bartholin）发现光线能被冰洲石的结晶体一分为二——一束是所谓寻常光线，遵守折射定律，另外一束异常光线则不遵守这个折射律。惠更斯给这种现象的解释是，冰洲石的微粒可能是椭圆形的，因此光线向这一方向绕过微粒，可能比向另一个方向绕过微粒的路程要长些。这样一道光线在透进这种晶体时，就会根据路程的长短分裂为两半。可是他发现，把两块这样的结晶体随便地放在一起时，会发出四道光线，而且把两块结晶体摆成直角地位时，寻常光线和异常光线就会相互调换。这些现象他都没法解释，同时他也不能解释影子边缘和薄薄的油层、空气和玻璃的彩色。

牛顿是因为近代镜片望远镜制作不够完善，给出有彩色的和歪曲的影象，因而研究起光学来的。这些毛病是由于光透过弯曲玻璃即镜片的缘故，所以牛顿认为镜片望远镜的这种毛病可以补救。因此他在公元 1668 年就设计和制造了第一座反光望远镜，用一只凹面镜把光线集中起来。他接着在公元 1672 年用几块表面并不平行的玻璃，继续研究白光分为颜色的现象。他用三棱镜把白光分解为光谱上的颜色，再把每一种颜色孤立起来，他用第二个三棱镜表明这些颜色都有它们各自特殊程度的折射性，而且不能再行分解。牛顿开头倾向光的波动说，但在公元 1704 年出版的《光学》里，他采用了光的微粒说，不过仍旧保留光的波动说的一些要点。他设想光的微粒走纵向运动时，在周围的以太激起振动，可以加强或者阻碍光的微粒的动作。牛顿认为这就可以解释为什么光经过两个介质的界面时一部分反射而另部分折射的现象，加强的微粒具有穿过界面的必要冲力，而受阻尼的微粒由于缺乏这种冲力，就反射出去。当一个双凸镜和一个平凸镜的平的一面放在一起时，就产生了一圈圈明暗相间的同心圆，牛顿对这些同心圆也作了同样的解释。当这两种镜片之间的距离有所改变时，牛顿觉得光线会被伴随光线的以太振动交替加强或者阻尼，其情况视镜片之间的距离是波长的整数与否而定。这样一来，光线就会交替地从其接触点通过透镜的表面而反射出来，从而产生一连串的明暗圈。在解释从冰洲石所观察到的双折射现象时，牛顿设想光的微粒有“面”，因此光线就象一根具有矩形横截面的棍子一样。他觉得冰洲石的微粒具有同样的双重性，所以光线通过这种晶体时要经过两条途径。

牛顿以后，光学总有一个世纪没有取得什么进展。多数的科学家都采纳了光的微粒说，不过瑞士的笛卡儿派学者约翰·贝努力（John Bernoulli，公元 1710—1790）和利昂纳德·欧勒（Leonard Euler，公元 1707—1783）却采用光的波动说。柏林科学院的一个法国数学家，比埃尔·莫泊丢（Pierre Maupertuis，公元 1698—1759），把费尔玛的最小量原理给光的微粒说保留下来。他假定最小量是光线的作用量，即速度乘距离，而不是时间，即速度除距离。根据这个假定，光应如牛顿所主张的和笛卡儿的光的微粒说也主张的那样，在密介质中走得快些。

牛顿认为透镜望远镜总会产生有颜色的象，这个看法受到了大卫·格雷戈里（David Gregory，公元 1661—1708）的责难。格雷戈里是爱丁堡大学的数学教授，后来又任牛津大学的数学教授。他说人的眼睛就是一个透镜系统，然而眼睛并不产生透镜望远镜的那些色象差。因此，制造一种消色差透镜应当是可能的。他的叔父詹姆斯·格雷戈里（James Gregory，公元 1638—1675）在他以前也任爱丁堡大学数学教授，对同一问题感到兴趣，而且先牛顿几年在公元 1663 年设计了一种反光望远镜，但没有制造出来。消色差透镜望远镜的制造方法，是由伦敦的一个法国胡格诺教徒出身的仪器制造商约翰·多兰（John Dolland，公元 1706—1761）在公元 1758 年公布的。这之前，公元 1733 年一位业余科学家切斯特·摩尔·霍尔（Chester More Hall）第一次制造了一具没有色象的望远镜。

第 十 九 章

医学和血液循环的学说

天文学和医学是中世纪和近代早期学者们从事自然科学研究的两个主要学科。在这两门学科中，医学尤为重要，因为它同神学和法学一样，是中世纪大学学生可以读到博士水平的三大学科之一，而天文学则只是初级的学士的课程之一。专业医生是比较多的，而且由于受到他们时代的最好训练，在科学革命的领导人中是相当杰出的。在英国，磁学的学者威廉·吉尔伯特是伊丽莎白女王一世的御医，而最先提出关于血液循环完整学说的威廉·哈维则是查理一世的御医。

医学职业对近代科学发展可能有重要意义的另一特点，是在医学业务上工匠与学者之间有十分密切的接触，但在其他科目中这两者几乎是完全隔绝的，例如在中世纪的水车匠与从事力学理论研究的学者之间便不相闻问。如我们已经看到的，在近代以前，天文学里并没有多少工匠传统值得一提，但在医学里却存在着两个这样的传统，即理发师—外科医师的传统和药剂师的传统。这些工匠们同医学学者们有一定的接触，因为受过大学训练的医生们的处方要由药剂师来配方，有时候他们还指挥理发师进行手术。还有，受过大学教育的医生，他们的训练比其他学者的训练要稍为更接近实际经验一些，因为医科学生需要学习解剖学并观察解剖过的尸体。即使这样，在最早出版的医学著作中所描述的关于医科学生的训练，好象还是有点抽象和带有教条气。一个讲师或者副教授从古代作家诸如希腊人盖仑的书里宣读一些章节，而教授则坐在讲台上阐述这些章节。一个实验的讲解员指出课文中所描述的东西和由解剖所显示的人体各个部分之间相符情况。解剖本身是由一个理发师—外科医师进行的，他在讨论问题时无所事事，尽管他可能是一个熟练的解剖者并对人体解剖构造有详细的理解，因为课堂讨论是用拉丁语进行的，而在理发师—外科医师中间，拉丁文的知识可能是少见的。

这样一种训练方法并不能增进解剖知识，因为动手解剖人体的人缺乏关于古代作者的知识，而那些阅读医学权威著作的人并不进行实际解剖。但是在十六世纪时期，学者与工匠的传统之间的障碍在医学上同在其他方面一样，开始打破了。药剂师与理发师—外科医师变得更加有文化和有学问了，而医学的学者们则开始亲手从事起实际解剖来。在这些人手里，解剖知识和外科实践出现了显著进步。在意大利北部，通过实际解剖使解剖学的复兴最为显著。在十五世纪转折期的意大利，文艺复兴时代的艺术家如列奥纳多·达·芬奇及其同时代人，解剖了许多动物和人体，把他们所见到的事实绘成精密和正确的图画。后来帕多瓦的医科大学教授们自己也开始解剖起来，并继承了艺术家们的传统，在他们的解剖学书籍中加上精美的插图。

在十六世纪的新医学发展中，医学专业的工匠与学者之间有些旧的分界仍然存在，因为解剖学知识主要是由学者们，特别是由帕多瓦的医学教授们如安德烈·维萨里（*Andrea Vesalius*，公元 1514—1564）、哥伦布（*Realdus Columbus*，公元 1516—1559）和海尔龙尼姆·法布里克斯（*Hieronymus Fabricius*，公元

1537—1619)加以发展的,而外科技术的进展则主要是由理发师—外科医师例如法国人安布罗斯·巴雷(Ambrose Paré, 公元1510—1590)取得的。当公元1529年巴雷初到巴黎的时候,他只是一个农村理发师的学徒,但是他在著名的巴黎大医院——上帝医院——的工作,以及他在法国宗教战争中担任外科军医职务的时候,他就成为十六世纪第一流的外科医师。他虽然是个胡格诺教徒,但他名声很大,所以在公元1572年圣巴托罗缪节前夜对胡格诺教徒的大屠杀中,他因得到了国王的赦罪谕而幸免。巴雷在外科技术上作出四项主要的贡献。第一,他证明医治枪伤最好敷镇痛药,而不必照传统方法用沸油来治疗,因为和当时流行的信念相反,他认为枪伤本身是没有毒的。第二,他发现断肢以后出血,最好扎紧割开的动脉来止血,而不用当时通常使用的烙铁烧灼方法。第三,他发现某些难产的例子可以在分娩前使胎儿转变位置而顺利生产。第四,他发明了能够机械地作许多动作的精巧假肢。此外,巴雷还把帕多瓦学者维萨里的拉丁文解剖学巨著写成法文提要,将它介绍给法国的理发师—外科医师。

弗兰德斯人维萨里于公元1543年在帕多瓦出版了他的主要著作《人体的构造》,也就是哥白尼发表他关于天体运动的新学说的那一年。天文学家哥白尼用一种旧时学者的传统方法即逻辑的论证,得出和古代科学家不同的见解,但是属于具有较为实际传统的医务行业的维萨里,却用一种实验的探讨方法得出同样和旧传统相反的结果。在中世纪解剖学与生理学中占权威地位的古代医学作者盖仑认为,在人体里面,血液从右心室通过中膈流入左心室。维萨里于公元1543年指出,心脏的中膈很厚并由肌肉组成,所以在他的主要著作的第二版(公元1555年)中否认血液能透过中膈。维萨里写道:

“在不久以前,我不敢对盖仑的意见表示丝毫的异议。但是中膈却是同心脏的其余部分一样厚密而结实,因此我看不出即使是最小的颗粒怎样能通过右心室转送到左心室去。”

虽然维萨里证明了盖仑关于血液通过中膈而流动的说法不正确,但他并没有提出另外一种解释,说明血液怎样能从右心室流入左心室,或者一般地说来,血液怎样能从静脉流入动脉。在维萨里去帕多瓦之前,曾在巴黎大学医学院和迈克尔·塞尔维特共同工作过。塞尔维特是近代最先提出另外一个解释的人,他认为血液是通过肺而从右心室流入左心室的。塞尔维特主要是一个宗教改革者,所以在他的著作里,科学革命与新教徒的改革恐怕表现了最直接和最密切的结合。他的巨著《基督教的复兴》(公元1553年)主要是阐述反三位一体的一神教派教义,但他在六页左右的短短篇幅里提出了心肺之间血液小循环的学说。塞尔维特发表他的学说,不仅是为了科学的理由,而且是为了宗教的理由,他的特殊神学使他能克服在血液循环学说道路上所碰到的某些困难。对血液循环观念发展的思想障碍,主要来自盖仑的学说,因为盖仑主张人体在生理上受三种分立的和不同等级的器官、液体和灵气的支配,以及亚里士多德主张只有天体才能天然地产生一种环行运动,而天然的地上运动则具有开端和终结的直线运动。盖仑认为人体的生理机能分三个等级。第一,吸收营养和生长的植物性机能,它位于肝脏,并通过暗红色的静脉血及其自然灵气起作用。第二,有运动与肌肉活动的动物性机能,它位于心脏,并通过鲜红的动脉血及其活力的灵气而发生作用。第三,有管理身体应激性与感受性的神经机能,它位于脑髓,并受神经液及其动物性灵气支配。

在古代后期以及中世纪的世界观中,将生物及其机能排列为三个等级是很普遍的。居住在宇宙间的一切物体总是属于三类中的一类:即物质的实体如矿物、

植物及动物；精神的实体如天神天使；以及既是物质的又是精神的实体，这就是人。三类物质实体中的每一种，又再分为三种：动物或为鸟，或为鱼，或为地上野兽；而这三种亚类又可再分为三种。对于人以及在人之上的天神天使而言也各有三个等级，而处在宇宙间万物等级之上的便是至高的三位一体的神。

塞尔维特在神学上最重要的非正统见解在于他的一神教教义，他抛弃了神的三位一体的教义。他否认圣子与圣父是永恒共存的，而主张圣灵只不过是神的呼吸，也就是说只是充斥于天地间的“纽玛”。正象他否定至高无上的三位一体的神那样，塞尔维特也否定了人体中所谓自然的、活力的、和动物的灵气三个等级，宣称“在所有这一切里面，都有着神的唯一灵气力量和神光的力量”，特别是不存在有分别含着自然灵气与活力灵气的两种不同血液，而只有一种血液，因为血液里面只有一种灵气，而“从动脉到静脉的联结处所传递的就是活力，这里面也就是叫做自然的東西。”塞尔维特设想血液的单一灵气就是人的灵魂，或者用他的话说来，“灵魂本身就是血液。”当塞尔维特在日内瓦被加尔文逮捕而以异端罪被审讯时，对他提出的罪状之一就是主张灵魂是血液，因为这意味着主张灵魂随肉体死亡这样一种非正统的观点。

人体内具有三种不同的生理液体，其中的两种是不同血液的这种传统见解，对于血液循环学说的发展是一个很大的障碍，因为血液循环学说要求假定血液的运动是从动脉到静脉大量的来回运动，而这就意味着当时被认为两种十分不同的具有各自分立功能的液体完全混和起来。静脉血与动脉血一旦被认为是同一的，通向血液循环学说的道路便很平坦了，不过塞尔维特本人肯定提出的仅仅是血液从右心室通过肺流入左心室的小循环学说，因为他主要关心的是血液与大气的关系。他认为：“神圣地气息是在空气里面”，而且在肺里吸入的空气就同经过肺进行循环的血液混合起来，血液这样就净化了，而灵魂同时也因参与在神圣的灵气之中而得到了补充：“正如上帝用空气使血液变成红色一样，基督也使灵气发光。”塞尔维特观察到联接右心室与肺的肺动脉很粗，而且运送的血液量比仅仅为了肺的营养所需要的大得多，所以这样大的血液量的流动一定是为了其他目的。他以为这种目的就在于使暗红色的静脉血在肺内转变为鲜红的动脉血，血液在肺里摄取了吸入的空气并排出不净的东西。从那里，净化了的血液通过肺静脉流入左心室，完成小循环。作为他的学说的进一步的证明，塞尔维特指出，在不呼吸空气的胚胎里面，血液的小循环就不发生作用。

公元1553年，塞尔维特因异端的罪名而被加尔文处了火刑，他的多数新印出的书籍也随同被烧毁了。几年以后，帕多瓦大学的解剖学教授哥伦布于公元1559年再一次提出了血液小循环的学说。可能哥伦布听到过塞尔维特的论点，因为哥伦布也把呼吸当作是一种使血液净化与活化的过程，而不象当时流行的说法那样，认为是使血液冷却的过程。当时塞尔维特的著作是大逆不道的，所以不能引用。事实上只是到了十七世纪晚期在英国比较宽容的气氛中联系到血液循环学说时，才第一次有人提出塞尔维特的名字。哥伦布为小循环学说所提供的证据纯粹是解剖的和生理的。他论证说，既然心脏的中膈是坚实的，那末血液也一定要通过唯一的另一条途径，就是说通过肺，从右心室流到左心室。而且，肺动脉是粗大的并运送比肺的营养所需要多得多的血液，而通过肺静脉从肺流入左心室的血液则是鲜红和有活力的。所以血液在心脏里不可能靠一种“烟气”而得到活力，或者靠从肺里通过肺静脉所运送的空气而得到活力，如同当时人们所普遍相信的那样，而是肺本身就是产生活力的器官，这个过程就要求心与肺之间有血液小循环运动。

在哥伦布以后，几乎达半个世纪之久，血液循环的学说很少有进一步的实验证明，不过作为当时学术革命的一部分，这个学说还是由当时好几位作者作为一种纯粹的推测提出来的。我们在上面已经看到，从事科学革命和从事宗教改革的人，都离开旧的关于统治宇宙的等级观念，而倾向于宇宙有一个绝对统治者的观点，这不仅在物理科学上是如此，在生物学上也是如此。心脏和血液在人体内占有同样的优先地位，就和太阳在新的世界体系中所占的地位一样。塞尔维特曾经写道：“心脏是第一个活着的东西，它是身体内部热的来源。”这样一种想法也得到后期的血液循环理论家的赞同，例如哥伦布的学生契沙尔比诺在公元 1571 年发表的一本著作里就提出了这样的观念；乔尔丹诺·布鲁诺在公元 1584 年以后所发表的好几本著作中也提出了血液循环的设想；尤其是威廉·哈维（William Harvey，公元 1578—1657）则在 1628 年最后建立了血液循环的学说。哈维写道：

“心脏是生命的开始，它是微型宇宙的太阳，正如太阳是世界的核心一样，因为使血液发生运动，成为完善，促进营养，并且防止腐败和凝固的正是靠的心脏和脉搏；它是家神，在执行它的职能时，滋养、抚育和促进整个身体的成长，而且的确是生命的基础和一切活动的源泉。……心脏如同国王一样，在他的手中握着主要的和最高的权力，它统治着一切，而且是一切力量所产生的本原和基础，在动物体内的一切力量都离不开它。”

奇怪的是，在这里亚里士多德的主张又恢复了，因为亚里士多德曾把人体内心统治力量归之于心脏。他的这种主张和盖仑的学说是対立的。盖仑假定了一个通过脑、心及肝的三个等级以及和它们相关联的液体和灵气而起作用的较为分散的统治力量。但是近代早期的发展比亚里士多德更进了一步，生物学家把被认为是天体独特的圆形运动现象归之于血液，正如哥白尼派的学者们在天文学上把圆形运动现象归之于整个的地球一样。为了这样的目的，生物学家采纳了古代关于人是整个世界中的一个小宇宙的观念，因为如果对之作出适当解释的话，整个概念就意味着循环也应该是小宇宙的一个特点，正如它是大宇宙的一个特点一样。契沙尔比诺、布鲁诺和哈维还引用了亚里士多德所举的关于地球范围内天然循环运动的一个例子。哈维指出，正是这个例子启发了他提出血液循环运动的想法。哈维写道：

“我开始想到究竟会不会有一个循环运动，如同亚里士多德所说的空气和雨模仿着天体的循环运动一样：因为潮湿的大地经太阳加热而蒸发；向上移动的水蒸气又凝结起来而以雨的形式降落使大地潮湿；由于这样的安排便产生了一代代的生物；风暴和流星也由于循环运动以及由于太阳的接近或后退而产生。因此，通过血液的运动，循环运动也在体内进行着，这是完全可能的。”

哈维似乎确实在经常搜寻地上物体的循环运动例子，以便说明地上万物和高高在上的天体具有同等地位。在他后来的一本著作《论动物的繁殖》（公元 1651 年）中，他提出：组成一个物种的个体的延续，也是模仿天体运动的一种循环运动过程。

“这是一种使普遍家禽的种类得以永久保持下去的周而复始运动，这时候是小母鸡，另一个时候又是鸡蛋，这个系列永远地持续下去；从脆弱和将要死亡的个体里产生了一个不灭的物种。由于这些以及类似的方式，我们看到了许多较低的或地上的物种也在模拟着天上星体的永久存在。”

血液循环学说以及人体心脏至上的学说因此成为十六世纪的一种新思潮的

特殊应用。这种思潮认为无论小宇宙或大宇宙，都是由“绝对统治者”所管辖，连同大宇宙或小宇宙里一切其他实体都在上帝权力下享有同等的地位。但是，血液循环的学说不仅仅依靠十六、七世纪的科学革命来的，因为哈维力求从实验证明他的见解，并且发现了支持血液循环的确实证据。在青年时代，哈维曾从法布里克斯学医，法布里克斯在公元 1565 年到 1619 年是帕多瓦大学的医学教授。

法布里克斯于公元 1603 年有一项重要的发现，即静脉中有瓣膜，使血液只能朝心脏的方向流动。法布里克斯并没有看出他的发现的真正重要意义，因为他同意盖仑的说法，认为血液离开心脏在静脉中往返流动，而瓣膜的作用仅仅是防止血液积聚在身体的肢端并减少血液的流动，俾使血液所含的营养能够被组织有效地吸收。他的学生哈维是第一个注意到静脉中的瓣膜使血液只能从静脉流入心脏，而心脏里的瓣膜则使血液只能流入动脉，因此只有血液从静脉通过心脏而流入动脉的单向运动。哈维论证说，正由于此，所以血液必然要从动脉回到静脉去，以完成这个循环，因为血液不可能不断地在静脉的末端制造出来，而又在动脉的末端不断地被破坏掉。为了使他的论据更有说服力，哈维计算了在一小时内血液通过心脏的量，表明它超过一个普通人的全身重量。这样的血液量不可能于一小时内在静脉的末端形成而在动脉的末端破坏掉，因此同一血液一定是继续不断在环行全身。哈维通过解剖考察了血液循环的大部分进程，不过他没有看到静脉与动脉联结起来的毛细血管，因为他没有使用显微镜。但是他证明这样的联结一定存在，因为用一个止血器压在上臂上，那时离开心脏的这一边的手与前臂就会发生充血现象。靠近手臂表面的静脉被止血器闭住了，从而血液只能从较深的部位的动脉进来并通过联接静脉到动脉的毛细血管，在正常情况下完成血液循环。

哈维在批评传统公认的盖仑观点时指出：血液不能通过心脏的中膈，不仅是因为中膈太厚而且因为两个心室都同时收缩和舒张，从而在任何时候都没有一种推动血液通过中膈的压力。并且，中膈有它自己的动脉和静脉系统，而如果血液确实通过它的话，便没有这种需要了。最后，哈维切断了一只狗的左心室，证明并没有什么血液通过中膈从右心室流出来。

哈维在有血动物里观察了大约四十种不同的动物，包括蠕虫、昆虫及鱼类的血管，这样就确证了血液循环的普遍性。冷血动物的研究特别重要，因为这种动物的心脏跳动得很缓慢，容许对心脏运动作详细的观察，而且当心脏从动物体内移出来以后，它还会继续跳动若干时间。哈维观察到如果把一只动物的心脏握在手中，我们会感到，当它收缩时变硬，就象一块肌肉收缩时一样。因此他把心脏当作是一个中空的肌肉组织，肌肉的收缩担任着血液运动的工作。以前，在盖仑的学说里，甚至在象布鲁诺那样一位近代人物的学说里，血液中的灵气被认为是血液流动的原因，心脏这一器官的主要作用只在制造生命的灵气并对于灵气所产生的运动作出被动的反应。哈维也认为，心脏制造了生命的灵气，这种灵气同人的灵魂相同。他和塞尔维特一样也主张“灵魂本身就是血液”，但是这种观点对于他的体系并不重要，因为血液里的灵魂或灵气不再是循环的原因。实际上，哈维是第一个把血液的运动归之于机械原因即心脏的肌肉收缩的人。他首次于公元 1616 年在皇家医师学院作的讲演中发表了他的学说，讲演的记录至今还保存着。哈维在这里把心脏比作一个水泵。他用拉丁文及英文混合着写道：W. H. [哈维姓名的缩写]证实了血液借助于心的结构经过肺传递到整个主动脉中，象用一个水泵啪啪两下使水提高上来一样。”使用学者式的拉丁语和工匠所用的民族语言的混合做法，在当时并不少见。例如伽利略就用意大利文写出他的实验，而用拉丁文写出他的学说，这种作法反映了学者传统与工匠传统之间已经开始结合起

来。

在公元 1628 年出版的《论心脏与血液的运动》一书中，哈维进一步证明了心脏的肌肉收缩是血液循环的机械原因。他指出，当心脏收缩时动脉立即出现了扩张，这一定是由于血液从心脏排出而不是由于心脏内在灵气的冲击下血液的自我推动所致。而且，靠近心脏的动脉很厚，因此它们能够抵得住心脏搏动的直接冲击，而且动脉一般都比静脉厚，因为动脉受着从心脏涌出来的血液的压力而静脉则不然。从心脏排出的血液又总是流入动脉而不流入静脉，即使在静脉血以这样方式被输送时，也就是从右心室输送到肺动脉的情况下，也是如此。在心脏跳动缓慢的冷血动物如蛙的例子中，哈维观察到心脏上面的心耳是在下面心室收缩之前发生收缩：他并且从心脏瓣膜的排列探索了血液循环的详细情况。他证明，右心耳把血液从静脉挤到右心室，然后右心室又把静脉血通过肺动脉排入肺内。在肺里，静脉血转变为鲜红的动脉血而被左心耳从肺经过肺静脉排入左心室，再从左心室排入动脉系统。因此，看来比左心室肌肉较薄的右心室似乎主要是与心肺之间血液的小循环有关系。这样一种观点为如下事实所证实：没有肺的动物如鱼类只有一个心室，这个心室是和有肺动物的左心室相符合的，他担负着全身的血液循环作用。

哈维的学说对新的机械论哲学作了重要的增益，因为他表明心脏静脉和动脉构成一个运输血液的机械系统。把活的有机体及其各个部分当作机械系统来对待，这主要是从达·芬奇开始的，他证明动物的骨骼如同杠杆一样发生作用，而这种论点又为伽利略所继承。伽利略用他的关于材料力学的学说去说明为什么大象必须有和昆虫纤细的腿相反的粗重的腿。笛卡儿概括了生物是机器的观点，阿尔方斯·博雷利在一本《论动物的运动》（公元 1680 年）的遗著中用许多例子详细地应用了这种见解。博雷利论述了行走、跑、跳、滑冰以及举重时进行的机械动作。他以同样的方式论述了鸟的飞翔、鱼的游泳以及蠕虫的爬行动作。在转到人的内部器官的机械活动时，博雷利计算了如果心脏象一个唧筒里的活塞那样发生作用的话，在一次心搏动的时候，它必须施加一个大约相等于 135,000 磅的压力。同样地他把肺当作是一对鼓风箱，而胃则是一种研磨器。

在实用方面，哈维留下了许多没有解决的问题，这些问题在十七世纪才得到澄清。特别是哈维表示过一定存在着有联接动脉与静脉的毛细血管，虽则他当时没有能够看到它们。波义耳于公元 1663 年用注射有色液体和有色的溶蜡找出了毛细血管。马尔切洛·马尔比基（Marcello Malpighi，公元 1628—1694）用显微镜于公元 1660 年成功地看见了蛙的肺部毛细血管。最后安东尼·范·列文霍克（Antony van Leeuwenhoek，公元 1632—1723）于公元 1688 年在蝌蚪的尾巴中和在青蛙的脚里看到了血液通过毛细血管的实际循环过程。有了这些发现，血液运动的力学问题终于解决了，这就使现代科学家有可能对血液循环起什么作用进行研究。特别是化学家现在已经能够研究肺里暗红的静脉血怎样转变为鲜红的动脉血，并探讨这种变化的生理学意义。

第 二 十 章

从炼金术到医学化学

古希腊的生物学家和医学家从来没有用专门化学方面的语言来考虑人体的生理。当时人们认为有生物基本上由四种元素所组成，但是为了医疗的目的，身体的活动又用不同的生物物质的特性：四种体液即血液、黄胆汁、黑胆汁和粘液；三种功能的体液即动脉血、静脉血和神经液；以及起支配作用的灵气即活力的、自然的和灵魂的灵气来进行分析的。疾病的发生，不归之于外界实体侵入人体，而归之于四大体液比例的内部失调。因此就没有疾病本身这样的东西，而只有身体的病态。更早一些时候，在希波克拉底的时期，人们主张人体本身具有使失调的体液恢复平衡的能力，因此病人不必为药物而过分烦恼。但是到了盖仑的时期，试用药物去恢复体液平衡的做法已成为习惯，而且体液既然被认为主要是有机物质，所以这些药物大都取自植物和动物。穆斯林们增加了盖仑所用的药物使药剂更加复杂化了，因而在中世纪时，使用综合的多到六、七十种不同成分的万灵药方成为标准的治疗方法。这种药物成分仍然主要取自生物，而且往往含有一些毒质。例如，公元 1818 年最早的伦敦处方书中就列有胆汁、血、公鸡冠以及木虱作为口服的药物。

这些药物中很少取自矿物，因为古希腊哲学家和中世纪学者们对于化学物质及其特性都不大感兴趣。但是，在古代后期及中世纪，炼金士曾研究了化学问题，其中有些人如我们在前面已经看到的对炼金术在医学上的应用发生了兴趣。这样一种趋势，在帕拉塞尔苏斯（Paracelsus，约公元 1493—1541）那时达到了顶点，这个瑞士医生企图把医学和炼金术结合起来成为一种新的医学化学科学或当时称之为的医疗化学。历代炼金术一方面同化学工艺有联系，另一方面又与神秘宗教有联系。因此，在一个宗教动荡的时期，当时也是工艺传统正在逐渐成熟的时候，在炼金术领域里的这种发展，与同时代的哥白尼的革命，新教徒的改革，以及血液循环学说的最初提出同时兴起，这也许是不足为奇的。

帕拉塞尔苏斯是苏黎世一个名叫冯·霍恩海姆医生的儿子，而他自称为帕拉塞尔苏斯，则因为他自认为他比罗马医生塞尔苏斯更加伟大的意思。公元 1514 年左右，他在南部日耳曼财政家兼炼金士西基斯蒙德·富格尔的矿地和冶金工场工作。然后在瑞士巴塞尔大学学医，在那里后来又教了两年书。他打破了传统，不用学者们的拉丁语而用日耳曼方言讲授；实际上他是第一个在大学里这样做的人，他邀请了巴塞尔的药剂师和理发师兼外科医师的人来听他讲课，使医学职业的工匠们与学者们联合起来。而且，他还用焚烧为一般人们所公认的医学权威盖仑和阿维森纳的书作为他开讲的仪式，正象路德烧掉罗马教皇的训谕一样。帕拉塞尔苏斯敬仰路德是一个“学识渊博”的人物，而路德则对炼金术深感兴趣，因为炼金术使贱金属变为贵金属，是一种死而复活的过程，这里就包含着一个准宗教的概念。

帕拉塞尔苏斯给炼金术下的定义是：把天然的原料转变成对人类有益的成品

的科学。它是一个包括所有化学工艺和生物化学工艺的定义。冶炼工把矿物变为金属是一个炼金士，所以厨师和烘面包的人从肉类和麦子里制造出食物来也是炼金士。帕拉塞尔苏斯自己对于从矿物或植物的天然物质里制造药物特别感兴趣，因为根据他的定义，药剂师和医生同样都是炼金士。他采取了炼金士的基本观点，即矿物在地下生长并发展成为更完善的形式，而人在实验室里却能够人工地模仿地下天然发生的東西。他对这种见解的解释是很广泛的，因为他主张一切物质都是活的并且自然地生长，而人能为实现自己的目的而加速或改造这种天然过程。

在医学上，帕拉塞尔苏斯摒弃了人体健康由四种组织体液所决定的观点，提出人体本质上是一个化学系统的学说。这个化学系统由炼金士的两种元素即汞和硫同他自己所增加的第三种元素盐所组成。在早些时候盐就被认为是一种基本的物质，不过在帕拉塞尔苏斯以前还没有普遍地被当作一种基本的化学元素。在帕拉塞尔苏斯看来，疾病可能是由于元素之间的不平衡引起，正象盖仑派医生们认为疾病是由于体液之间的失调所引起的一样。但帕拉塞尔苏斯的学说指出平衡的恢复可以用矿物的药物而不用有机药物。帕拉塞尔苏斯的信徒们，也就是所谓医疗化学家，偶然也发现很好的无机药物，虽然常常根据的是异想天开的理由。例如，他们给贫血的病人服用铁盐，因为铁是同红色行星火星相联系的，而血和铁的战神则又是同火星相联系的。但是，人体为一化学系统这样的总观点，比古老的体液学说终究要有些用。

帕拉塞尔苏斯的学说中另一个有用的因素，是认为疾病的行为具有高度的特殊性，而且每一种疾病都有一种特效的化学治疗法。因此帕拉塞尔苏斯反对旧时的含有许多成分的万灵药而主张服用单一的物质作为药剂。这样一个转变促进了对于专科疾病的研究，并有助于把有益和有害的药物加以区别。只要复合的万灵药还被继续采用，便难于作出这样的区别，因为许多成分中间的任何一个成分都可能是有益的或者有害的。帕拉塞尔苏斯关于疾病的特殊性学说似乎根据这样的见解来的：自然界万物都是自主的活体。他认为上帝起初创造了一种原始的物质，然后许多种子又在它里面生长起来。每个种子在预定的时间内发展为一种特殊实体，然后实体本身死掉而种子则继续活着并开始一个新的生长周期。帕拉塞尔苏斯写道：“上帝创造万物。他从无到有地创造了某种东西。而这种东西便是种子，其用途和功能从一开始就存在于种子之中。”因此，每一实体的发展都是由包含在种子内的一种内在模式和一种力量所形成的。万物的生长都是自发的，不受外界力量的影响，因为“任何东西决不能从不是这个东西的自身中产生出来”。每个种子内促进生长的力量，是一种生命力或灵力，帕拉塞尔苏斯称之为“阿契厄斯”(Archeus)。人体内的‘阿契厄斯’把所摄取食物中的有益东西和无益东西区别开来，并把营养改变为人体组织成分，它仿佛是在人体构造的实验室内一个缩小的炼金士。不同的“阿契厄斯”以不同的方式改变和安排物质，产生无限多的、形形色色的生物，各有其自身的特殊个性。“因为上帝一开始就仔细地区分了他所创造的万物，对不同的东西决不赋予相同的形状和结构。”

帕拉塞尔苏斯设想疾病是一种具有特殊性和活力性的力量，就象一个“阿契厄斯”或者一个种子一样。它侵入身体和身体内的“阿契厄斯”作战，或者同专门器官附属的“阿契厄斯”作战，并可以由矿物或植物所提供的特殊的“阿契厄斯”所制服。就这样，帕拉塞尔苏斯的疾病观和传统的疾病观形成了对照；传统观念把疾病说成仅仅是身体的病态，而帕拉塞尔苏斯则几乎把疾病看成是实物本身。帕拉塞尔苏斯于公元 1531 年发表了他的关于疾病的论点，几年后吉罗拉摩·法拉卡斯托罗 (Girolamo Fracastoro, 公元 1484—1553) 于公元 1546 年提出

了一个类似的学说，认为疾病本身是种子一般的实体。法拉卡斯托罗是原子论的信徒，因此在说明某种疾病是接触性或媒介性传染的这样一个久已周知的事实时，他认为有各种疾病的原子或种子存在，它们能够自行繁殖，并通过接触或空气由一个人传染给另一个人。这样，帕拉塞尔苏斯和法拉卡斯托罗在总的方面便预见到后来的疾病细菌学说，不过他们的观点不明确，而且完全没有实验证据的支持。

帕拉塞尔苏斯并没有从原子论吸取什么，因为他的观点和文艺复兴时期恢复的古代哲学没有多大关系，倒是和当时的宗教改革的观念关系比较密切。他把他的医学体系看作是一种宗教启示，它的使命是要恢复希波克拉底医学的纯洁性，正象宗教改革家把他们的神学教义当作是恢复原始基督教纯洁性的启示一样。帕拉塞尔苏斯写道，盖仑派的医生们“对于自然的伟大秘密是完全无知的，而这些伟大秘密却是在耶稣降世后的最近日子里，我从上天那里获得启示的。”我们前面已经看到，加尔文教派的一般思想与机械论哲学家们的思想有某些相同之处，而帕拉塞尔苏斯的活力论哲学则与路德的日耳曼宗教改革思想有相同之处。帕拉塞尔苏斯把自己与日耳曼的关系联系得特别深，为他自己挣得了“化学中的路德”称号，而他的医疗化学体系在德国比在其他任何地方更加享有盛名。帕拉塞尔苏斯写道：

“正如阿维森纳是阿拉伯人最好的医生而盖仑则是彼尔加蒙最好的医生一样，日耳曼也最幸运地挑选了我作为她的不可缺少的医生。”

炼金术和医疗化学都和神秘宗教结合起来，而日耳曼从爱克哈特（Eckhart，约公元 1260—1327）时代到伯麦（Boehme，公元 1575—1624）的时代都以他们的神秘主义而见称。我们下面将会看到，实际上，在伯麦的著作中新教的神秘主义与医疗化学的学说是融合在一起的。

科学革命与新教徒改革的一些人物对于中世纪团体等级性的世界观，从两方面进行了反抗。我们已经看到，加尔文教派和机械论哲学家离开了宇宙统治的等级概念，而倾向一种宇宙统治的绝对主义论，认为万物都是机械地均等的，在至高无上的主宰统治下享有同等的权力。路德教派和活力论哲学家，特别是医疗化学家，不承认在世界上生息的各种生物之间存在着支配与奴役关系这种传统观念，而主张宇宙间万物都是独立自由的，从一种内在原因取得它们的自主性。帕拉塞尔苏斯就是这样看，认为自然界每一个实体都是在它自己内部活力的推动下不依赖其他实体而发展起来的。神秘主义者过去总是个人主义者，把他们自己心中所感到的个人幻想放在首位。日耳曼人使他们的改革运动染上了神秘主义宗教传统的色彩，路德和神秘主义者一样，都强调人的精神自主性。在路德看来，人的得救是通过他内心的精神信仰，而不是如加尔文所教导的，由于上帝从外面给人注定的命运。人本身是一个小世界，在精神上是自由的和自主的，万象皆包罗其中。路德写道：

“所有其他的生物只能认识上帝的足迹，但是人，特别是亚当，他是真正地而且充分地认识上帝，因为在亚当身上能见到智慧和正义以及关于万物的知识，所以他当然可以称为一个小宇宙或者自成一个小世界，因为他了解天、地和全部的创造。”

医疗化学者同样把人理解为一个自主的小宇宙，因此与早期炼金士的看法不同；后者认为人这个小宇宙是由大宇宙的天体所统治的。在帕拉塞尔苏斯看来，人的自由和解放存在于精神的领域里。帕拉塞尔苏斯写道：

“正象苍天及其一切星座自成一个整体一样，人本身就是一个自由和强

大的苍天；苍天自己作主而不受任何生物统治，人和苍天一样也不受其他生物统治，他独立自主而不受一切的束缚，思想是自由的，并且不受任何法则的支配；人的自由就依靠自由的思想。我们发明的每一个东西都有其精神的起源。因此我们不必关心万物是怎样来的，只要坚信任何事物都是受命于上帝的。”

医疗化学家和路德一样，根据这一立场，对采用逻辑的探讨方法是不信任的。帕拉塞尔苏斯写道：“希腊人的自然科学便是这样地只从所见到的事物推演出来，不承认精神实验有什么玄妙之处。”对医疗化学家说来，知识是通过玄妙的洞察和类比进行经验探索而获得的，特别是通过人这个小宇宙与整个世界这个大宇宙之间的类比。帕拉塞尔苏斯写道：通过二者之间的类比，“懂得了雷霆、风雨和暴风起源，人便懂得腹痛和动脉扭塞是怎样来的”。而这种洞察和类比在实践中的失败只能归之于实验者的不当，而不能归之于这种观念缺乏真实性。帕拉塞尔苏斯写道：“炼金术中的全部缺点和困难的原因完全是由于操作者缺乏技巧。”医疗化学家的另一个知识来源是圣经和当时的宗教思想。帕拉塞尔苏斯感到世界的基本物质一定具有一种三重复杂性，因为创世主是三位一体的。因此他在旧时炼金术所假定的硫和汞二元要素之外，还增加了一个第三元要素盐。帕拉塞尔苏斯写道：“这三元素是基本的物质，并且只有一个名称：第一位的物质就是上帝，而正象神是三位一体的，所以地上的物种都各自有其分别的职能，但这三种职能都包括在第一物质的唯一名称的下面。”

在十六、七世纪期间，帕拉塞尔苏斯的学说有很大的影响，并逐渐和盖仑的学说相匹敌。帕拉塞尔苏斯的学说在大学里一般是禁止传授的，但是他的学说在大学里却似乎很受欢迎，因为在十六世纪后期，在巴黎和海德尔贝格发生了抗议禁止帕拉塞尔苏斯学说的学生运动。但是，医疗化学对药剂师比大学的医生更有吸引力，因为它给药剂师的技术提供了一种理论，并使他们可以根据这种理论按自己的考虑去进行医疗实践。在英国，药剂师的地位在十七世纪相当地提高了。他们于公元 1608 年从原来药商所属的杂货商公司分出来，成立了他们自己的药剂师公司。愈来愈多的人开业行医，而在公元 1665—1666 年大瘟疫期间，他们在伦敦坚守岗位并做得很出色，而许多盖仑派医生则逃走了。终于在公元 1703 年一个考验的病例使药剂师们完全得到了行医的权利，这个权利直到十九世纪以前还没有被取消。

医疗化学本身由布鲁塞尔的一个贵族约翰·巴帕梯斯特·范·赫尔蒙脱进一步加以发展。他的主要著作《论医学的发展》在他死后于公元 1648 年出版，不过他生前也发表过好几种阐述了同样见解的次要的著作。赫尔蒙脱追随帕拉塞尔苏斯，摒弃了大学里讲授的亚里士多德逻辑和演绎推理。他写道：“逻辑是无用的，因为数学的法则或从论证得来的学问，与自然格格不入的。”他把神秘主义者通过冥悟所获得的知识当作是神圣的，而把逻辑与论证所获得的知识看作仅仅是人间的和十分拙劣的。与帕拉塞尔苏斯一样，赫尔蒙脱的论据很多依靠类比，特别是把他的见解建立在天上物体与地上物体之间的所谓相似性上。他写道：“地上的东西的确表现出它们和天上东西相似或相称。”赫尔蒙脱比帕拉塞尔苏斯更是一个实验主义者，并且更加一贯地把他的思想付诸实践。他认为大学应当把化学列入教学，“不是光靠讲课而是靠用火的操作证明……用蒸馏，润湿，干燥，烧成石灰，溶解，一如自然那样地进行”。

赫尔蒙脱不承认帕拉塞尔苏斯把基本物质说成是盐、汞和硫三元素的论点，但是他同帕拉塞尔苏斯一样以神学的方式进行论证，并主张水一定是基本的物

质，因为圣经中提到水是在其余的东西创造以前就存在的原始浑沌。这个见解他觉得已为一个精心设计的实验所证实了。他在一只装有二百磅泥土的盆内，种了一根五磅重的柳树截枝，并在五年中给截枝不断浇水，后来它就长成一棵重一百六十九磅的柳树，盆内泥土的重量则始终不变。赫尔蒙脱论证说，既然柳树里面只加进了水，树增加重量一定是由于同化了的水分变成了树木。进一步的实验使他相信水可以变成土，所以土是一种派生出来的元素，而不是基本的元素。在当时制造粗糙的玻璃容器中煮沸的水，留下了沉淀物，这是因为一部分玻璃溶解而产生一些沉淀的缘故。赫尔蒙脱则把沉淀物当作土，并把这种现象认为是水变为土的一个例证。传统的四大元素的另一个火，在赫尔蒙脱看来，只是燃烧着的烟，根本不是一种元素。但他觉得空气可能是个独立的元素，因为他发现不管他把一筒空气施加多大压力，它都不会压缩成“水”或液体状态，这与水蒸气及其他蒸气不一样。

赫尔蒙脱和帕拉塞尔苏斯一样，都认为自然界各种不同的实体都是从基本物质中的各种种子生长出来的。每一粒种子或酵素都含有一种活力或灵气，为种子生长起来的实体规定一种独特的发展模式和行为。因此自然界是由各种各样的自主物体组成的，每一个物体都是由其内在的活力自我决定的。赫尔蒙脱写道：

“物体有两个主要的起因或最初的起源，即水的元素或（物质的）起源和酵素或糍子或种子的起源。……酵素为一种形式的创造物，从世界创始时就在它自己的王国里形成了。（它）含有它本身所要做的事情的各种类型或模式，如形状、运动、时刻、方面、倾向、适宜、相等、平衡、疏远、缺点和日常发生的任何事情，以及传宗接代和治理国事等。”

甚至一个实体各个组成部分，例如人体的不同器官，都有它自身的生命和存在，源自支配那一部分的灵气或生命冲动。疾病乃是从外面侵入人体的有生物，并盘踞在某一特殊器官上，霸占着器官的生命过程。范·赫尔蒙脱写道：“疾病是一个陌生的客人”，因为每一种疾病都含有“它自己的有效动因和它本身的内在物质”。因此，每一种疾病都有其特殊的起因、效果和部位，而且必须用特殊的药物治疗——这种药物应是一种简单的无机物或植物——而不是旧时的复合万灵药。赫尔蒙脱认为古代的医生把疾病同疾病的症状混为一谈，而且只图治除病状而不治除病因。他写道：“治病往往是去掉乘机而入的病因，决不是仅仅去掉症状”。

在化学领域内，赫尔蒙脱是第一个区别与空气元素的人。在他以前，而且实际上在他以后若干年内，气体都被认为是空气元素的各种不同形式，或者是空气同各种不纯杂质的混合。但是赫尔蒙脱认为各种气体根本上各个不同，也不同于空气和可凝结的气体。炼金士以为物体由物和“灵气”所构成，并设想在某些情况下能够使物体加热，凝结发出的气体而把灵气分离出来。这样他们变得到酒精即“酒的灵气”和盐酸即“盐的灵气”。同样地，赫尔蒙脱认为每一个实体由物体所共有的基本物质和该物体所特有的活力即灵气所构成。他力图分离出这些灵气，不仅使用传统的高热技术，也使用酸对物质的作用，他还发现在某些情况下有些放出来的蒸气或灵气不能凝结。他把这些蒸气叫做“气体”，而且他想把既然一种物质的灵气都是物质所特有的，因此他主张气体相互之间因起源不同而各自不同。这样一个观点使赫尔蒙脱分离和鉴别了好几种气体，特别是碳、氮和硫的氧化物。根据赫尔蒙脱的理论，气体既然是各种物质的纯灵气，或活力，他认为气体本身是强有力的作用者；为了说明这种论点，他引证了火药爆炸以及由于压缩气体使容器发生破裂的例子。

在十七世纪，不仅医疗化学家和活力论者研究医学和化学的问题，机械论学派的哲学家们也研究。总的说来，医疗化学家认为无机物质都是活的，由于内部的活力引起变化，而机械论哲学家则认为物质是死的，不能动的，只在受到外界机械力时才发生变化。在十七世纪，这两种观点用在化学上都有其局限性，不过机械论哲学最后显得比较有用。力学的定律是高度普遍的，对于所有的各种各样的物质都规定了同样的变化，因此力学定律就不能很好地说明化学反应的特殊性，而医疗化学只提供了关于化学特殊性的一种虚假的说明，它把它归之于特殊化的活力。

最早提出化学变化机械论学说的化学家之一，是十七世纪前半叶的詹·雷伊（Jean Rey），法国冶金学者。人们久已知道，金属在空气中加热会增加重量并形成灰渣。为了说明这种现象，雷伊于公元 1630 年提出空气具有重量并在加热时被金属吸收的说法。他没有想到这个过程是空气与金属的化学结合，而把它看作是一种机械的混和，如同干燥的沙吸收水分而变得更重一样。雷伊写道：

“重量的增加来自空气，空气和金属灰相混合（经常的搅动起着帮助作用）并变得附着在它的最小的微粒上面；这无异于把沙倒在水中搅动，水润湿了沙并粘附在最小的沙粒上，使沙变得更重一样。”

一个更著名的自称为机械论哲学家的化学家是罗伯特·波义耳（Robert Boyle，公元 1627—1691）；他是早期英国斯图亚特王朝新贵族科克伯爵第二代的一个小儿子。波义耳对医疗化学家的工作，特别对他们依靠经验的观察感到兴趣，但是他认为这些观察应当用机械论哲学来说明。在波义耳看来，机械论哲学就是物质由运动的粒子或微粒组成的理论。他断言他不指望会“看到任何一种比微粒说所提出的更为全面并易于了解的原理了”。笛卡儿概括了机械论观点，摒弃了原子论学说，因为他相信真空不可能存在，但是波义耳则认为借助抽气唧筒可以产生真空。还有原子论学说在整个十六世纪都复兴起来，在十七世纪又被几个作者加以阐述，最著名的有法兰西学院的数学教授比埃尔·伽桑狄（Pierre Gassendi，公元 1592—1655），从而使原子论学说逐渐成为机械论哲学的一部分。

波义耳感到这样一个观点很容易用在他的物理学研究方面。他发现气体的压力与其体积成反比，并且看到这一定律可以通过假定气体的微粒或者是微小的静止的弹簧，或者是作无规则运动的小球体来加以阐释。后来，牛顿证明波义耳的气体定律是从第一个假设推来的，而贝努力则证明它是从第二个假设推来的。但是当波义耳碰到化学的问题时，他发现机械论哲学很难应用得上。在谈到化学物质的个别性质及其反应的特殊性时，波义耳写道：“我建议的关于特性本源的微粒说，其重大的困难就在于自然物体中实际见到这样种类繁多的特性会起源于这样少的两种因素，而且简单到只是物质和位移运动，这是不能令人置信的。”波义耳指出盐能溶于水而不能溶于油或汞，但金子却溶于汞而不溶于水或油，硫又溶于油而不溶于水或汞。他设想这些特性或许可以用“物体中的变异原理”来说明，根据这个原理假定物质的基本原子有各种不同的形状和大小，并以不同的方式运动，或者相互固定在各种不同的次序和排列上，并在它们的细孔里保持着某种“微妙的流出物”或“散发物”。在波义耳看来，这些“物体中的变异原理”，如同各个字母一样，可以各种不同方式联结在一起形成各种不同的组合，每一个组合代表一种化学物质所具有的一套可能的特性。但是波义耳没有能够根据他的“变异原理”被观察到物质的化学特性作出成功的解释，因为他的理论没有把当时分散的化学事实加以系统化，也没有能用实验来证实。

在其他方面，波义耳通过改进当时采用的化学步骤和这个课题的一般公理对

现代化学的建立作出贡献。作为培根的一个信徒，他要求化学必须建立在大量实验观察的基础上，他特别要求对化学变化要作定量研究。波义耳指出用纯净和均一的物质进行研究的重要性，并在这方面提出了一个关于化学元素的现代定义。波义耳写道：

“我指的元素是某些不由任何其他物体所构成的原始和简单的物质，或完全没有混杂的物质……一切称之为真正的混合物都是由这些物质直接合成，并且最后分解为这些物质。”

但是，波义耳倾向于这样的见解：水、空气和火是元素物质。他认为存在有一种“火的物质”，当金属在空气中加热而形成灰时，使金属的重量增加的就是火。雷伊曾经认为金属烧成灰时吸收了空气，赫尔蒙脱也认为气体是单独的化学物质，而不是空气元素的各种形式或是被杂质污染了的空气，这两个人的学说波义耳都没有继承下来。

在生理学方面，波义耳，特别是他的信徒们如罗伯特·胡克、理查德·洛厄（Richard Lower，公元 1631—1691）和约翰·梅奥（John Mayow，公元 1645—1679）进一步证明了在肺内暗红色的静脉血变成鲜红的动脉血，是由于摄取了一部分空气的原因，而这样被吸收的空气在体内起了一种类似化学燃烧的作用。帕拉塞尔苏斯以他独特的类比方式进行论证时，曾认为空气是被肺所吸收的一种营养形式，正象食物被胃吸收一样。波义耳同意这样的观点，因为他发现动物在缺乏新鲜空气的供给时不久便会断气；并且当放在用他的抽气唧筒所产生的真空中时几乎立即死亡。一枝蜡烛的火焰同样需要空气，所以胡克认为呼吸起着一种类似燃烧的生理过程。波义耳发现在封闭容器内的动物同蜡烛火焰都吸收了它们所能够利用的一部分空气，他认为这个部分可能就是与元素空气相混合的一种“生命的精华”。胡克发现火药会在真空中或者在水下燃烧，因此他假定，呼吸和燃烧所需要的那种空气中的“生命的精华”是“硝灵气”，它在火药混合物的硝石中也有。胡克和洛厄一起发现了暗红的静脉血在同空气一起摇动的时候变成鲜红的动脉血，而洛厄本人又发现见在窒息而死的动物体内的全部血液都是暗红色的，而在一只用风箱把空气打进肺内的动物里，其全部血液都是鲜红色的。洛厄因此认为肺内血液摄取了空气中的生命所需要部分即“硝灵气”，这样，暗红色的静脉血液就转变为鲜红的动脉血，而后动脉血便载着“硝灵气”运行全身，供应各种生命过程。例如，一个不能进行呼吸的胚胎就是以这种方式从母体的动脉血里接受了生命所必需的“硝灵气”的。

公元 1674 年出版的约翰·梅奥的《医学自然科学五论》综述并扩充了波义耳、胡克和洛厄的研究工作。梅奥认为呼吸和燃烧所不可缺少的空气中的生命所需要的部分是由某种“氮—空气微粒”组成的。这些微粒存在于硝石中，因为火药没有空气也会燃烧。硝酸中含有这些微粒，因为锑用硝酸处理后或者在空气中加热时会产生相同的物质。在两种情况下所得到的产物都比原来的锑为重，这种重量的增加是由于吸收了“氮—空气微粒”的结果。这种微粒在呼吸时也被血液所摄取，并且同血液中的“硫的”不可燃烧的微粒相结合而产生动物体热。梅奥不认为空气是两种气体的混合物，即他的“氮—空气微粒”同其他惰性微粒的混合物。他把空气设想为一种元素物质，而“氮—空气微粒”则附着在空气的微粒上面。空气的微粒就象个小小的弹簧，而当“氮—空气微粒”因燃烧或呼吸而从微粒上去掉之后，空气微粒就丧失了某种弹性，体积因此缩小。梅奥关于“氮—空气微粒”在化学和生命过程中所起的作用的见解，与现代关于氧的化学与生理作用的概念有些不同，但人们有时却把他说成是曾经预言过这个概念。他是机械

论哲学的信徒，对于他来说，“氮—空气微粒”的活动大部分是机械的，而不发生我们称之为特殊的化合作用。铁的生锈是由于“氮—空气微粒”的机械摩擦所致，而肌肉的收缩则来自微粒在肌肉中的迅速运动，饥饿则是由于这些微粒压迫胃壁所产生的痛觉。热与光是“氮—空气微粒”的迅速运动，而冷及蔚蓝的天空则是这些微粒处于静止的状态所致。就这样，梅奥把他的“氮—空气的”灵气或微粒子提高到普遍元素的地位，类似炼金士与医疗化学家们的元素。实际上，他的许多观点都是活力论医疗化学学说的机械论翻版。和医疗化学家们一样，他认为自然界有三大基本元素，即氮—空气的灵气、硫和盐，他的氮—空气的灵气代替了炼金士的汞。正象炼金士认为金属是由汞与硫的相互作用所产生的一样，梅奥也认为化学变化一般地说是由氮—空气的灵气与硫相互作用所引起的。他写道：

“氮—空气的灵气与硫相互间进行着持久的斗争，而实际上万物的一切变化似乎都产生于它们碰上时的相互斗争，以及它们交替败亡所产生的不同状态。”

十七世纪英国医疗化学学派的研究工作，实际上以梅奥为结束。斯蒂芬·黑尔斯（**Stephen Hales**，公元 1671—1761）在某种程度上继续了这个学派的传统，但是它没有生存下来，而现代化学却在别的地方即十八世纪末的法国，建立起来了。波义耳已经得到了关于化学元素的一个合理的定义，并提出了一个化学方法上有价值的见解。他和他的学派达到了这样的结论：空气在燃烧与呼吸中起着生命所需要的作用，在这些过程中，一部分的空气被吸收了。这些见解，以及赫尔蒙脱关于气体的概念和雷伊的关于金属煅烧的学说，在一个继起的医疗化学的新浪潮以燃素说形式在德国出现并蔓延到全欧洲的时候，它们即使不是完全消失，也在某种程度上被埋没了。

第 二 十 一 章

近代初期的一些科学应用

科学最早的应用，主要是在青铜时代利用天文学和数学来记帐、测量、绘制地图和制订历法。希腊人和阿拉伯人曾把这些科学上的应用加以改进，但是一直到近代初期，科学才被应用到崭新的领域里来。这是因为当时的地理大发现为航海术提出了新的实际问题，而这些问题是一向没有现成的解决办法的。在大蒙古帝国终结之后，直接和东方的陆地贸易变得愈来愈困难，而欧洲的贸易潜力则增加了。所以欧洲人就企图改由水路通往东方，因为他们现在拥有可以航行远洋的船舶。第一批探索这条航线的是热那亚人，因为他们被威尼斯人从勒旺岛那条贸易航道赶了出去，但是他们的成就不大，不久就被葡萄牙人取而代之。不过热那亚的仪器制造者和领港员在今后一个时期还是相当有名气的，其中就有哥伦布和卡波特父子。

从十五世纪开始，葡萄牙人就已经到达西非海岸，所遵循的仍旧是中古世纪的沿海岸航线。葡萄牙的亲王“航海家”亨利（Henry，公元 1394—1460），于公元 1420 年前后，在圣文生特海角上的沙格立山建立了一个航海研究所和一座天文台。托勒密和古代其他作家的天文学和地理著作都被搬到研究所来，用来进行探测。但是正如亨利的一个船长指出，“尽管我们对有名的托勒密十分敬仰，但是我们发现事事都和他说过的话相反。”天文台和研究所的人员里有德国的数学家和意大利的地图绘制者，他们从十五世纪的五十年代起就进行海陆探测并绘制航海图。那些数学家们重新计算了地球的周长，采用了波昔东尼斯和托勒密对它上面一度的长度的低估计值，就获得一个令人乐观的短的估计值。根据这个估计值，他们在公元 1474 年绘制出一条由西方环绕地球的航线。

葡萄牙人向东面探寻新航线，公元 1486 年巴托罗摩·迪亚士绕过了好望角，公元 1497 年瓦斯科·达·伽马就由这条航线到达印度。西班牙人则向西探寻，公元 1492 年哥伦布航抵西印度群岛。哥伦布和伽马都得横渡望不见陆地的广大洋面，为了使他们的航路可以重复行驶，就需要绘制海洋图和测定船舶在海中位置的方法。绘制海洋航路图和一般广大地区的地图，涉及测定地面上各个地方的相对位置 and 把圆形的地球表示在一个平面上的问题。测定船舶在大海中的位置和新发现的陆地的方位，则要求测量各地的经纬线。一个地点在赤道北面或者南面的纬度多少容易测定，这只要测定一下太阳在白天的平纬度，或者如果在北半球的话，测量一下夜间北极星的平纬度就行了，如希腊人所熟知的那样。可是两个地点之间的经度差距就比较难测定。这种距离可以靠测定这两个地点的当地时间的差异来计算；例如，在英国是日中时，在西伯利亚是日落，而在美国则是破晓，根据这些时间差异，这些地方的相对距离就可以测定出来。某一地点的当地时间可以靠太阳，例如用一只日规，或者在夜间靠拱极星的表现运转，如大熊星座的那些星，很容易就测定出来；这些大熊星座的星星就被人们称为“时钟星”了。

但是要获得两个地点在时间上的差异，却要求对当地时间的测量，根据一件可以为不同地点的观察者同时看得到的事情来进行，有如一次日食或者月食，或者某一人定的标准的时间尺度，如现在的格林威治的平均时间，来进行测算。古代和中世纪知道的唯一测定经度的方法，就是根据同时观测日食或者月食和不同地点的当地时间，但是日月食的次数太少了，所以这个方法对十六世纪的航海家说来没有多大用处。

这类问题，以及老的测量和制订历法问题，在十五和十六世纪都有人进行研究，主要是在德国南部、荷兰和意大利南部。如我们已经知道的，约翰·缪勒和他的赞助人纽伦堡富商柏那德·瓦尔特在瓦尔特的私人天文台进行天文观察，目的就是为了获得改革历法和编订西班牙人和葡萄牙人用的航海历书的资料。稍后在公元 1524 年，彼得·班纳威兹（Peter Bennewitz，公元 1495—1552），一个因戈尔施塔特大学的数学教授和西班牙皇帝查理五世的朋友，建议测定经度的标准时间可以用观察月亮在恒星之间的方位来决定。班纳威兹还发明了一个适用于广大陆地面积地图的投影方法。他把地球的纬度都画成平行线，把经度的子午线画成圆周的一个部分，圆周的曲率从成一直线的本初子午圈曲率起越来越大，这样世界的地图就分为三十六个弓形，其在赤道的宽度都相等。另一个南德意志人，马丁·瓦尔德西米勒（Martin Waldseemüller），斯特拉斯堡的一位数学家，在公元 1522 年前后发展了一种初具雏形的经纬仪，用来测量和观察天象。

在荷兰，佛兰芒人早就是和热那亚人旗鼓相当的欧洲最好的罗盘制造者，他们改正了磁针和真正北方向之间的偏离，而热那亚人则没有做。在荷兰，盖玛·弗里修司（Gemma Frisius，公元 1508—1555），卢万大学的数学教授和查理五世皇帝的御用天文学家，于公元 1530 年建议测量经度的标准时间不妨用一具准确的机器钟来决定，钟走的是本初子午线的当地时间，就象现在的格林威治时间一样。公元 1533 年，弗里修司公布了三角测量法，以代替当时流行的用步行测量距离的吃力办法。他提出先随便测定一段距离作为底边，然后从这条线的两端测量遥远目标的张角，从这些测量就可以用三角法算出测量目标的距离。他的学生盖拉德·麦卡托（Gerard Mercator，公元 1512—1594），也是一个佛兰芒人，是十六世纪最杰出的仪器制造者、测量者和地图绘制者之一。在公元 1569 年，他出版了一份根据他自己发明的设计绘制的世界地图，它作为航海家的航海图最为理想。麦卡托把经度的子午线都画成等距的平行线，把纬度画成和子午线垂直的平行线。纬度线之间的距离在接近两极的地区逐渐加宽，这样纬度弧度和经度弧度就完全以同等比率加大。这种设计使测绘航道的工作大为简化，因为在麦卡托的地图上，一条船沿着一个固定不变的罗盘方位的航道，看上去永远是一根直线，而不是如别的一些设计那样，成为一根复杂的曲线。

麦卡托就这样解决了应航海术的需要把球形地球画在平面地图上的问题。可是在大海中测定经度的问题仍然存在，因为班纳威兹和弗里修司建议的那些方法还实行不了。公元 1598 年西班牙的腓力普三世悬赏一千克朗征求测定经度的方法；约在同一时期，荷兰联省共和国的执政也同样悬赏一万佛罗林征求人们解决测定经度的问题。以后不久，伽利略用他的望远镜观测到木星有四个月亮，并指出这些月亮时常出现的月食，可以为测定不同地点的标准时间提供一个好办法。因此他就列出一张木星月亮的运行表，并把这张表送到荷兰和西班牙去。可是伽利略的这张表并不十分准确，而且这个办法在大海中无法采用，因为船的动作使船上的人无法用望远镜进行稳定的观测。伽利略另外还有一个发现，使人们后来得以用弗里修司的方法解决经度问题。他发现在摆的摆动幅度不大时，其摆动的

周期不变，并且遗留下一些用这样的摆来调节的机械时钟的设计图样。接着荷兰的惠更斯就试着一些在海上保持标准时间的摆式计时钟，但都没有成功，原因是船身的摇动干扰了钟摆的摆动。

上述的这些发展有一个突出的地方，就是位于伊比利亚半岛那些国家的人在解决这些问题上都没有什么贡献可说。西班牙人和葡萄牙人在进行地理大发现和地理探索上跑在最前面，而且对这些有关航海术的问题感觉也最灵敏，然而他们在利用科学或者发展科学本身来解决这些问题上，却做得很少。十六世纪和十七世纪初期，在科学发展上贡献最大的是意大利北部、德国和荷兰的那些人。德国人和意大利人，由于有一个年深月久的文化和商业传统，既发展了基础科学，也发展了应用科学。不过到了十七世纪中叶，他们的繁荣时期结束后，科学也就停滞不前了。荷兰人有比较新近的文化和工艺传统，他们的科学活动开头都以实用为主。在佛兰芒人的贡献没落之后，布鲁日人西蒙·斯台文在荷兰人反对西班牙争取独立时期，就转而效忠荷兰。他在力学问题上的研究，虽则主要是实用性质，却标志着荷兰理论科学的开始。到了克利斯提安·惠更斯和十七世纪后期的荷兰显微镜学派，理论科学就达到成熟阶段。因地理大发现在工艺和商业上都得到好处的其他国家，主要是英国和法国，都差不多在同时开始发展纯理论科学和应用科学，他们的科学传统也在十七世纪中期达到成熟。

西班牙和葡萄牙，这两个从事地理大发现的国家，并没有发展什么科学传统，而它们的商业和工业也都衰退了。西班牙人自以为他们在新世界找到金银就是发财致富，但是他们从美洲带回这些珍贵金属，只起了刺激别国工艺和商业发展和搞垮西班牙本国工业的作用。更由于西班牙排除了土生土长的商业分子，如犹太人和新教徒，而外国工匠和外国发明家又大都不能发挥作用，西班牙的工业就进一步衰退了。“航海家”亨利在葡萄牙发动的科学航海运动，在十六世纪开始取得积极成就，但这些成就都只是昙花一现。葡萄牙的犹太人，巴特卢·冷尼斯（Pedro Nunez，公元 1502—1578）设计了一种绘制海洋航图的圆锥面投影，并发明了一种能读出天文学和其他仪器标尺上的精细分度的装置。但是犹太人的地位使他站不住脚，所以他离开了葡萄牙。冷尼斯以后，伊比利亚半岛不论在基础科学或者应用科学方面，都没有什么重要的发现。有些好的技术手册编了出来，如科特司（Cortez）的《航海术》（公元 1550 年）和巴尔巴（Barba）的《金属工艺学》（公元 1640 年），但是很少有新的内容。伊比利亚半岛的商业、工业和科学就这样衰落了。更由于西班牙的霸权一蹶不振，那些在十六世纪早期由于他们和西班牙关系的鼓励而研究实用科学问题的人，主要是佛兰芒人和南德意志人的科学成就也衰退了。

在别的国家里，特别是在英国，则采取了一种相反的政策，工业建设起来，外国的工匠都受到欢迎。商业繁荣了，英国很快地首先发展了一个实用科学传统，接着又发展了基础科学传统。和西班牙一样，英国开头依靠的是热那亚人的领港员，突出的有卡波特父子和外国的数学家，如法国人詹·罗兹（Jean Rotz）就在公元 1524 年被任命为亨利八世的御用水文学家。但是当航海和贸易发展起来时，本国的领港员和数学家不久就出现了。英国最早的著名数学家有罗伯特·雷考德（Robert Recorde，约公元 1510—1558）、里奥纳德·狄格司（Leonard Digges，公元 1571 年卒）和约翰·第（John Dee，公元 1527—1606）。雷考德发表了几本关于天文学和数学的书，著名的有《知识之宫》（公元 1556 年），是为英国驶往中国的海员写的，和《智力的砥石》，一本献给莫斯科公司^①总经理

^①公元 1554 年英国成立的专管由俄国扩展到中亚和波斯的贸易的商业机构。

的书。雷考德死后，他在莫斯科公司和中国航线担任的顾问工作就由约翰·第继任。在十六世纪的英国，数学和商业是密切关联的，而实用科学则受到商人和贸易公司的提倡。约翰·第在他的航海术著作中提到“自己应公司之请，为我们的两个莫斯科公司各领港员发明的”两种罗盘。莫斯科公司还批准约翰·第的一个学生理查德·艾登翻译科特司论航海术的西班牙文著作。

约翰·第在卢万大学攻读数学，曾经师事过盖玛·弗里修司和盖拉德·麦卡托，他自己后来又成了英国十六世纪多数重要领航员的老师。理查德·钱塞勒在他代表莫斯科公司于公元 1533 年探寻一条通往俄国和中国的东北航线之前，就受过第的教诲。马丁·弗罗比席尔于公元 1576—1578 年探寻通往中国的西北航线，第也教过他，还教过钱塞勒的后继者史蒂芬·布劳和威廉·布劳。第不但是一个数学教师，也是一个从事实际工作的天文学家和杰出的著作家。他和钱塞勒制造了一个大十字杖，由第用来作天文观测，准备改革历法，他的警卫员兼学生托马斯·狄格司（Thomas Digges，公元 1595 年卒）就用这具仪器去观测公元 1572 年的新星。狄格司关于这颗新星的测算，其准确性仅次于第谷·布拉赫的那些观测。公元 1570 年约翰·第为欧几里得几何学第一个英译本写了一篇重要的序言，阐述了数学在哲学上的任务和实际效应；这个英文本的译者是他的朋友亨利·毕林斯莱，一个富有的衣帽杂货商人，后来在公元 1595 年当了伦敦市长。约翰·第在这篇序言中写道：

“世间万物过去和现在都可以一般地分为三类。它们或被认为是超自然的，或者是自然的，或者属于第三种……后者有一个特别名称，叫做数学的东西。这些数学的东西，（在某种程度上）属于超自然和自然之间，既不象超自然的东西那样绝对和完善，也不象自然的东西那样低下粗糙，而是非物质的东西，然而多少却要靠物质的东西体现出来。”

第接着说，因此我们可以靠数学的东西对超自然的东西有所理解，并安排自然的东西。我们可以把数学用于商业簿记，用于建筑、占星术、音乐、地理、天文、航海术、医术、战争上的各种问题。这些数学的应用在十六世纪的英国，好象并没有执行得很好。第接着又说：

“这些（数学的）技术里面就有几何学，或量地学，在测量陆地、森林和海洋上比较巧妙。我只说比较巧妙。可是天知道，在这以前，英国和爱尔兰境内，当代的靠不住的测量犯了多么大的错误，造成多么大的损害啊；是不是由于不懂得每一细节，或者出于欺诈，我也说不清楚。”

第坚称，改良测量方法所节省下来的钱，足可以在两个大学里各设一个数学讲座。

英国的商人，就象第的朋友毕林斯莱一样，对提倡数学的研究特别关心，主要是有关航海的问题和那个时期土地大转手中牵涉到的测量问题。以托马斯·史密斯为首的伦敦商人于公元 1588 年英国受到西班牙敌舰队威胁时，在伦敦设立一个数学讲座来训练航海人员和民兵中的船长。史密斯后来在公元 1600 年当了东印度公司的第一任总督。那些商人任命他们里面一个商人的儿子托马斯·胡德（Thomas Hood）担任讲座，继续了两年之久。后来东印度公司接办了爱德华·赖特（Edward Wright，公元 1560—1615）的数学讲座；赖特在公元 1599 年解决了麦卡托的绘制地图设计中的数学问题。这类数学讲座并没有维持多久，可是托马斯·格雷山姆爵士（Sir Thomas Gresham，公元 1519—1579）却建立了一个比较重要和持久的教育机构；他是麦塞斯公司的一个阔老板，把自己在伦敦的房地产和宅第遗赠作建立一所以科学为主的学院之用，这个学院后来就叫做格雷山姆学院。他的遗嘱规定这所学院不象大学一样由教会人士管理，而要由麦塞

斯公司和伦敦市长及参议员管理。在格雷山姆的妻子于公元 1597 年逝世后，他的遗嘱就由上述那些人执行了。格雷山姆的遗赠规定学院要设七个教授，每星期讲授两次，一次用拉丁文讲授，一次用英语讲授，讲课有神学、音乐、天文、几何、医学、法律和修辞学，所有伦敦市民都可以自由听讲，不收学费。在他的遗嘱里，格雷山姆规定天文学教授的职责如下：

“天文学的讲授者应当在他的庄严讲稿里，先讲述天层的原理、行星的学说以及望远镜、观测杖和其他通常仪器的使用，以增进海员的能力；讲授了或者开讲了这些以后，教授应当每一年以一个学期左右的时间通过讲授地理和航海术，将天文学加以应用，”

格雷山姆学院成立之后，立即成为十七世纪上半叶英国科学活动的主要中心。学院之外还有些集团，诸如以瓦尔特·拉莱爵士和诺坦普兰伯爵为中心的那个集团，主要成员中包括有托马斯·哈略特、罗伯特·修斯和罗伯特·沃纳，他们被称为“诺坦普兰伯爵的三贤”，尤以哈略特最为重要。哈略特曾和拉莱一起去美洲，在那边测绘了弗吉尼亚的地图。哈略特并和刻卜勒通信，讨论天文学和光学问题，在数学上他也先见到了笛卡儿解析几何里的一些内容。另一个集团以约翰·威尔斯和他的儿子为中心。威尔斯的儿子在十七世纪上半叶是德特福皇家海军仓库的保管员。在威尔斯父子家里聚集了许多造船名手，如菲尼亚斯·佩特、爱德华·史蒂文斯、休·莱雅德和亨利·高达德，即后来任格雷山姆学院医学教授的乔纳森·高达德的父亲。德特福集团和格雷山姆学院的天文学、几何学教授的联系相当密切，因此并不能把它看作是和格雷山姆学院那些人有显著区别的一个集团。

格雷山姆学院的第一任几何学教授是亨利·布立格司（Henry Briggs，公元 1556—1630），他的交游里包括有爱德华·赖特、威廉·吉尔伯特、马克·里得利和威廉·巴洛。里得利是吉尔伯特的医科同事，曾经做过在俄国的英国商人的医生，巴洛是一个牧师，后来当了温彻斯特的主教。所有这些都作磁学的实验，其中最主要的是吉尔伯特做的那些实验。英国的航海人员对发现一条可能通往亚洲的东北或西北航路非常关切，这些探索要求驶过北极地区，而罗盘磁针所指的北方和真北方向的偏离很大而且拿不准。因此磁学对英国人来说特别重要，他们在这方面的研究也最为领先。哥伦布曾经发现罗盘磁针方向和真北方向的偏离随地面上不同地点而异。撒巴司钦·卡波特和詹·罗兹在为英国人服务时曾经设想过，这种现象说不定可以用来测定各地的经度，但是罗盘的差距不但随地而异而且太不规则了，无法加以采用。还有，吉尔伯特后来逐渐看出，根据他的磁石球实验，罗盘磁针在某一个地点与真北方向的偏离是由整块陆地的存在所引起的，和这个地点的经度毫不相干。吉尔伯特还设想，由北面通往印度的海路，走东北方向可能比走西北方向容易找到，因为沿着前一条路线走，罗盘针的偏向较小，而根据他的学说，这就表明陆地的阻隔较少。吉尔伯特虽则否定了罗盘针的偏向和任何一个地点的经度有关系的可能性，但是他觉得磁针的下倾说不定和地球表面各个地点的纬度有联系。因此他设想下倾的磁针可以在阴天看不见天体时用来发现纬度。吉尔伯特预言磁针的下倾到了北极地区将会变成垂直，后来赫德森在公元 1609 年驶往北美洲的航程中发现情形果然如此。

布立格斯的另外一个朋友，苏格兰麦彻斯顿的约翰·耐普尔（John Napier，公元 1550—1617），为了改进算术计算的技巧，约在十六世纪末发明了对数。耐普尔的对数是给天文学家使用的角度计算对数，布立格斯加进十的基数，并计算了三万个常用对数，达到十四个小数位，从而扩充了这项发明。布立格斯在格

雷山姆学院的同事、担任天文学讲座的爱德蒙·冈特（Edmund Gunter，公元1581—1626）为了使计算更加方便，制作了一根对数尺；公元1632年一个业余数学家，威廉·奥屈德（William Oughtred，公元1575—1660）把冈特的两根对数尺联在一起，使其能并排移动，这样就造出了计算尺。

布立格斯、冈特和冈特在格雷山姆学院天文学讲座的继任者亨利·盖里布兰德（Henry Gellibrand，公元1597—1637），全都和造船家、航海家以及当时的商人有交往。事实上，布立格斯本人就是佛吉尼亚公司的一个股东。前面提到的在德特福任海军仓库保管员的约翰·韦尔斯，他的周围就聚集了一群造船家和其他对航海术感兴趣的人，而格雷山姆学院那些人和这个集团的关系特别深。公元1609年英国两派造船家为菲尼亚斯·佩特所提出的一项革新曾经发生争执，布立格斯就当过争执的裁判员。冈特在公元1626—1628年曾和韦尔斯一起工作，寻求改进计算船只吨位的方法，后来在公元1635年，盖里布兰德比较了他在德特福韦尔斯住宅的花园里测量的磁偏角，和冈特在十二年前与威廉·布劳约在半世纪前所作的同样测量，发现磁针和针北方向的偏向不但因地点不同而有变化，也因时间不同而有变化。盖里布兰德的发现最后打消了从地球磁性现象测定经度的一切希望，因为现在已经很明显，地面各个地点的特征不能由磁偏角或其他磁量度的时间不变值表现出来。

在十七世纪的第二个二十五年中，英国的科学运动发展得更加互相配合和更有组织性了。下面我们就会看到，这个运动以公元1660年皇家学会的成立达到高峰。这个时期英国科学家的目光也变得更广阔了，已经超出利用数学来测量航海等等的范围，而把大陆上发展起来的科学革命的理论内容和把科学应用于工艺过程和工业技术的可能性，都包括进来了。十六世纪的英国科学家，除掉威廉·吉尔伯特那样的一些突出的人不算外，比较关心的都是新天文学的技术方面，而不是新天文学的观念方面；比较关心把科学用来解决航海和商业上的问题，而不用来解决属于机械性质或化学性质的工业问题。例如罗伯特·雷考德不但是莫斯科公司和驶往中国的航海家的技术顾问，而且也是皇家矿业和财产的监事。在前一职务上，他的工作是无可非议的，但在后一职务上，就有人指摘他在筹建英国的矾石工业上表现得无能。还有雷考德关于哥白尼的学说的讨论，都比较属于技术性质，很少带有哲学性质。可是半世纪后，吉尔伯特就相当注意到为天体运动提供一个理智的物理解释的问题和一些技术性问题，而不仅仅从数学上“说明现象”。吉尔伯特在他的《磁力论》（公元1600年）里，有十分之一讲的是宇宙学说，又有十分之一讲开矿、冶炼和铸铁，另外四分之一讲航海术和航海仪器，其余部分是他的磁学研究工作。

吉尔伯特之后，有弗兰西斯·培根，他特别注意的是科学在工艺和技术上的应用和建立一种新的自然哲学，而不是科学在商业和航海术上的应用和“为了计算方便而编造和假设出来”的学说。在培根看来，工艺和技术是人类文明的基础。培根写道：

“试想想，在欧洲任何文化高度发展地区的人类生活，和新印度群岛某些草莽和野蛮地区人类生活之间，存在着多么大的差别：这个差别不是土壤，不是气候，也不是体力。而是技艺造成的。”

英国早就吸收了大陆上采用的许多工艺和技术。在伊丽莎白一世时，从西班牙、意大利和荷兰移居来的熟练工匠受到鼓励，金属拉丝和青铜铸造工业都建立起来了，德国人用水泵抽水的办法在采矿上也被采用了。培根想要把用他的新方法取得的科学知识给这种新趋向再添一把劲，来发展崭新的工业和工艺技术。在他的

遗著《新大西岛》（公元 1627 年）中，培根建议成立一所科学院，他称之为“智者之家”，来推动科学的发展和应用。这个学院不能仅仅是个学术团体，而是一个研究和教学的组织，配备有实验室、种植园、图书馆、工作场和动力间。科学院的成员要从国外，从书本里，从工匠那里，和从他们自己的实验和观察中，收集知识和资料。这样收集来的知识和资料应编成百科全书形式，使人们可以从其中引伸出一个新的自然哲学体系，这个新体系在满足人类的共同需要上将有极大的用处。培根写道：

“建立这样一个学院的目的，是为了取得关于原因和万物内在运动的知识，和扩大人类王国的范围，从而影响一切可能影响的事物。”

培根建立科学院的倡议，和他的其他计划一样，在他生时并没有引起多大重视，但是他的著作在十七世纪中期却受到人们的欢迎，特别影响到那些创办皇家学会的人。

第 二 十 二 章

十七世纪的科学社团

在十七世纪的第二个二十五年中，如我们在前面指出的，英国的科学运动逐步变得更加有配合和范围更广阔了。连英国的通俗历书制订者也对这个新文化潮流有所反应，他们里面比较重要的一些人，从公元 1640 年前后起就抛弃了托勒密体系，约在公元 1680 年时，都普遍采用了哥白尼的体系。对历书制订者改变观点有相当影响的一部著作，是一个清教徒牧师约翰·威尔金斯写的《新行星论》。他广泛宣传新天文学，并把它和加尔文派神学调和起来，做了不少工作。还有，早期英国科学家只着眼于商业和航海术上的科学应用，威尔金斯则与他们相反，很关心利用科学来推动工艺和工业的发展。他的《数学魔术》（公元 1648 年）主要讲的是机器的力学原理。他写道：“学习这些原理可以使人得到不少真正好处；特别是那些把自己财产用来从事花费和风险很大的矿井排水、煤矿排水等等企业的先生们，可能从这里学到引擎的主要根据和性质。”威尔金斯在十七世纪中叶的科学组织活动上也是带头的一个。他是一群年轻科学家的领袖，这些人自称是“哲学学院”，从公元 1644 年底起就经常在伦敦集会。这个集团包括有清教徒神学家约翰·威尔金斯和约翰·沃利斯（John Wallis，公元 1616—1703），格雷山姆学院的天文学教授塞缪尔·福斯特（Samuel Foster，公元 1652 年卒）和医学教授乔纳森·高达德（Jonathan Goddard，公元 1617—1675）这四个医生，从公元 1646 年起又增加了罗伯特·波义耳和威廉·佩第（William Petty，公元 1623—1687）。这些人每星期都要聚会，进行实验和讨论科学理论问题，先是在棋卜赛德的牛首酒店，后来在主教门的格雷山姆学院。在这个“哲学学院”的十名已知人士中，在内战时期肯定都是清教徒和议会派，只有一个国教派和皇党。高达德是克伦威尔的医生，而威尔金斯则在公元 1656 年成了克伦威尔的妹夫。威尔金斯为议会军队把皇党所用密码译了出来，而福斯特则因拒绝跪在圣餐台前，于公元 1636 年被格雷山姆学院解除教职。看来格雷山姆学院不但是科学家的聚会场所，也是清教徒的聚会场所。因为安东尼·伍德说过，福斯特的前任亨利·盖里布兰德在格雷山姆学院“因清教徒一些秘密会议被拘禁在自己宿舍里（而他本人就是个清教徒）”。盖里布兰德事实上曾被当时的伦敦主教劳德唆使人逮捕过，原因是盖里布兰德在公元 1631 年印行了一本历书，把历书里通常收进的天主教圣徒和询教士的名单全都删掉了。

从公元 1642 年起，查理一世就把牛津当作他的首都，并把几个牛津大学的清教徒和议会派教授解聘。在一个热衷皇党的天文学教授约翰·格里夫斯的唆使下，查理解除了纳山尼尔·布伦特爵士的默顿学院院长职务，改派他的御医威廉·哈佛担任。公元 1646 年牛津被克伦威尔攻陷，两年后成立了一个议会委员会对牛津大学进行改革，排除皇党，而代之以议会派的人士。伦敦“哲学学院”集团的成员纷纷被调来填补空缺。约翰·威尔金斯任瓦丹姆学院院长，约翰·华里士任几何学教授，威廉·佩第任天文学教授，布伦特被复职，而乔纳森·高达德在

布伦特于公元 1651 年退休后继任默顿学院院长。这些变动大多数出于政治原因，但是有一个好象是出于意识形态的原因。被排除的天文学教授约翰·格里夫斯是一个皇党，但是新任的天文学教授塞思·沃德也是个皇党，过去曾因同情皇党被剑桥大学解聘过。但是格里夫斯是牛津最后一个支持托勒密学说的人，而沃德则是第一个支持哥白尼学说的人。

约翰·威尔金斯吸引了好几个杰出的学生到牛津大学来，并且在牛津成立了一个“哲学学会”，直到公元 1690 年方才解散。当时住在瓦丹姆学院的有克里斯托弗·雷恩、托马斯·西德纳姆、约翰·梅奥、劳伦斯·鲁克和托马斯·斯普拉特，他们全都是新“实验哲学”的热衷者，克里斯托弗·雷恩除掉他的建筑师工作外，还以解剖学家和天文学家闻名于世，并在公元 1657 年被聘为格雷山姆学院的天文学教授。托马斯·西德纳姆在医疗实践方面作了不少改革，挣得了“英国的希波克拉底”称号。约翰·梅奥是化学家，和罗伯特·波义耳一起工作，波义耳是和“哲学学院”其他成员一起来牛津的。劳伦斯·鲁克是一个天文学家，从剑桥大学来参加威尔金斯的集团，后来于公元 1652 年离开牛津去格雷山姆学院任天文学教授，接着又任几何学教授。托马斯·斯普拉特写下了皇家学会的第一部历史，于公元 1667 年出版，详细叙述了成立这个学术组织的情况及其原因。

公元 1660 年查理二世复辟以后，由于共和国任命的许多科学家都离开牛津大学，或者被解聘，伦敦重新又成为英国科学活动的主要中心。在共和国时期，对科学感兴趣的人数大大增加，人们现在觉得应当在英国成立一个正式的科学机构。因此伦敦的科学家于公元 1660 年十一月某日在格雷山姆学院克里斯托弗·雷恩一次讲课后，召集了一个会，正式提出成立一个促进物理—数学实验知识的学院。约翰·威尔金斯被推选为主席，并起草了一个“被认为愿意并适合参加这个规划”的四十一个人的名单。这以后不久，查理的近臣罗伯特·莫雷带来了国王的口谕，同意成立“学院”，莫雷就被推为这个集会的会长。两年后查理二世在许可证上盖了印，正式批准成立“以促进自然知识为宗旨的皇家学会”，另一个近臣，布隆克尔勋爵当上皇家学会的第一任会长，第一任的两个学会秘书是约翰·威尔金斯和一个在大陆上有广泛联系的商人亨利·奥尔登伯格。皇家学会的会员在公元 1660 年创立时约为一百人，到七十年代时就增加到二百人以上，但是在十七世纪快要终了时，人们对科学的兴趣开始下降了，所以在公元 1700 年时只剩下一百二十五位会员。这以后会员人数又增加起来，到公元 1800 年达到五百人，但是五百人里真正谈得上是科学家的还不到一半，其余都是名誉会员。十七世纪时皇家学会的会员里当然也有人在科学理论或者科学实验上没有作出什么新贡献的。我们就没有把威尔金斯和他的学生斯普拉特的名字，和什么著名的发现联在一起，但是他们在提倡科学组织、科学应用和科学传播方面是不遗余力的，而十八世纪那些名誉会员，一般说来，在这些方面都做得很少。

早期皇家学会的会员都深受弗兰西斯·培根著作的影响，而且相当紧密地奉行培根建议的那些政策。威廉·佩第编写了造船业、成衣业和染坊业的“历史”，威廉·波义耳则把涉及化学过程的工艺所采用的方法作了一个总评述。公元 1663 年皇家学会干事罗伯特·胡克起草学会章程的建议中就充溢着培根的影响。胡克写道：

“皇家学会的任务和宗旨是增进关于自然事物的知识，和一切有用的技艺、制造业、机械作业、引擎和用实验从事发明（神学、形而上学、道德政治、文法、修辞学或者逻辑，则不去插手）；是试图恢复现在失传的这类可用的技艺和发明；是考察古代或近代在任何重要作家在自然界方面、数学方

面和机械方面所发明的，或者记录下来的，或者实行的一切体系、理论、原理、假说、纲要、历史和实验；俾能编成一个完整而踏实的哲学体系，来解决自然界的或者技艺所引起的一切现象，并将事物原因的理智解释记录下来。”

培根的影响也反映在那些参加皇家学会几个委员会的会员人数上面，这些用来考察专门问题的委员会是在公元 1664 年成立的。研究机械问题的委员会最受欢迎，有六十九个委员。其次是贸易“历史”委员会，委员有三十五人，农业委员会，委员有三十二人；相反，天文学委员会只有十五个委员。可是培根对皇家学会会员的影响到了十六世纪的七十年代就下降了，而被一种“伽利略式”的倾向取而代之，这种倾向在牛顿的著作中特别显著，而牛顿是在公元 1671 年当上皇家学会会员的。例如在皇家学会的《会务记录》中有关实用科学的论文在论文总数中的百分比，由公元 1665—1678 年的百分之十点三降至公元 1681—1699 年的百分之六点六。后来到了十八世纪，十七世纪八十年代间的数学趋向也转而降落了，而皇家学会的会员和英国科学家的工作也一般地变为经验主义和大体上实验的性质了。

皇家学会在公元 1664 年成立那些委员会，表明英国人对实用科学的兴趣，在这时已经越出了商业上的航海术问题，而把工艺、工业、甚至农业的问题都包括了进去。可是看上去商人在科学运动上仍旧是一个相当大的推动力，正如罗伯特·胡克在他的《显微学》（公元 1664 年）序言中说的，商人在成立皇家学会上起了相当大的作用。胡克写道，学会的会员

“有一个特殊的长处，是别人所没有的，那就是他们里面有许多人都遨游广阔而且有自己经营的事业，这是一个很好的预兆，说明他们的努力将使哲学由空言转为行动，而商界人士在学会成立时有过很大的贡献。”

托马斯·斯普拉特在他的《皇家学会史》（公元 1667 年）中也以类似的口气说：“我们商人的高尚和求知品质在促进科学发展和成立皇家学会上作出了不少贡献，学会会员主要谋划了航海术的进步。”斯普拉特还表示，贵族对科学的兴趣要看他们的商业化程度而定，或者通过和城市居民结亲，或者平民发财致富后变成贵族。斯普拉特写道：

“然而我们仍有理由指望，如果我们的大人先生们肯更加放下架子去经营一点商业，并关心自然哲学，这种变化将会进一步变得更好。”

在王政复辟时期令人不安的宗教和政治气氛中，皇家学会许多年长会员的早期清教徒关系，是一个相当微妙的问题。如我们前面已经提到的，胡克在他建议的章程里，就特别提到神学和政治是学会不去插手的两门学科。根据原有的资料，公元 1663 年皇家学会六十八名会员中，约有四十二人在内战时期是清教徒和议会派，二十六人是皇党。这种以前清教徒特别多的情况，被反对皇家学会的人用来大肆宣传，尤以一个沃里克郡的医生亨利·斯特布（Henry Stubbe，公元 1632—1676）反对得最厉害。他在公元 1670—1671 年出版了一连串的小册子攻击学会所代表的一切。斯特布是在共和国时期被聘任为牛津大学教授而在复辟后被解职的清教徒实验科学家。因此他就翻了脸攻击他以前的同党，为亚里士多德和盖仑的体系辩护，而反对新科学，斯特布把皇家学会的会员形容为“奥利弗的反对者”，即反对克伦威尔的人，并暗示他们在削弱那些大学和破坏现形的宗教。斯特布写道：“要维护我们的旧宗教，我们有绝对必要保持我们的旧学说。”可是英国的宗教已经改变了，而一般为教育界人士所接受的对自然哲学的看法也改变了，英国的国教已经不再是一个独立自主的加特力教会，如在亨利八世时期那样，

因为它已经渗进了加尔文派教义，特别是象在伊丽莎白一世和共和国的统治时期那样。现在人们觉得新科学和新宗教完全融洽，而且大体上代替了英国的旧宗教和旧学术。

参与皇家学会成立的多数会员都接受王政复辟时期的英格兰教，即英国国教。一度曾经是清教徒的约翰·威尔金斯，以罗却斯特主教的身份终其一生，他的学生斯普拉特，则成了罗却斯特的主教。有些人仍旧保留他们的非正统信仰，如伊萨克·牛顿和约翰·洛克都是一神论者，但是他们不把自己的见解宣扬出去。十七世纪的英国科学家很少属于“不奉国教者”，因为根据信仰划一法（公元 1662 年），那些“不奉国教者”都要从大学和教学机构里排除出去。但医药化学家理查德·洛厄和威廉·惠斯顿是特殊的例外。洛厄是个教友派，而惠斯顿则因他的非正统信仰被剑桥大学解除数学教授职务而参加浸礼会。由于被排斥在大学之外，那些不奉国教者就建立自己的教育机构，在这些机构里，科学教学占有很重要的地位。下面我们将会看到，这些不奉国教者到了十八世纪时都成了英国科学界的杰出人物。

在十六世纪和十七世纪，大陆上和英国一样，科学社团也建立起来了。那些在十六世纪有科学活动的旧地区，如在德国和意大利，成立的科学团体都只是昙花一现，而在十七世纪新科学中心的伦敦皇家学会和巴黎科学院，则比较稳定持久。最早的科学社团是意大利的那些组织。第一个值得一提的是十六世纪五十年代间的自然秘密协会，集会的地点就在协会会长那不勒斯的巴帕第沙·达拉·包尔塔（Baptista della Porta，公元 1538—1615）的家里，但是不久就以私搞巫术的罪名被封闭了。其次是罗马的猞猁学院，在菲带里岳·凯西公爵的赞助下，从公元 1601 年到公元 1630 年都很活跃。学院有三十二名院士，包括伽利略和达拉·包尔塔在内，但在公元 1615 年因谴责哥白尼的学说分为两派，到了公元 1630 年因学院的赞助人逝世，学院也就完结了。当时意大利最后的一个重要科学团体是齐曼托学社，即实验学社，于公元 1657 年到公元 1667 年间在麦迪奇弟兄、斐迪南大公和里奥波尔德的赞助下在佛罗伦撒集会。学社约有社员十人，其中最著名的是维维安尼（Viviani，公元 1622—1713）、博雷利和雷第（Redi，公元 1618—1676）。维维安尼曾和伽利略的学生托里塞利（Torricelli，公元 1608—1647）合作过，和他一起制成了第一具水银气压计。雷第是个生物学家，他证明昆虫和通常所设想的相反，并不是自动地从腐烂物质中生长出来的。由于哥白尼学说受到教廷谴责，学社的活动主要是研究一些实验项目，只有博雷利敢于进行理论力学研究，另外一些社员测定声速，并创制了各种科学仪器，诸如气温表和测量大气压的水银气压计。公元 1667 年，里奥波尔德·麦迪奇当了主教长，学社就解散了。

当时德国的科学团体比意大利的更加不景气，艾勒欧勒狄卡（Ereunetich）学社是植物学家约齐姆·容格（Joachim Jung，公元 1587—1657）于公元 1622 年在罗斯托克成立的，而实验研究学会则是由克里斯托弗·斯图姆（Christopher Sturm），一个阿尔特道尔夫（Altdorf）大学的数学教授，于公元 1672 年创办的。可是这两个组织在它们的创办人死后就解体了，而德国一直到十八世纪才有一个稳定的科学社团。主要是由于科学家兼哲学家莱布尼茨（Leibniz，公元 1646—1716）的努力，普鲁士的选侯腓特烈一世于公元 1700 年建立了柏林学会；也由于莱布尼茨的影响，彼得大帝于公元 1724 年建立了圣彼得堡学会。这两个学会成立后并没有立刻取得成绩。因为科学当时在德国和俄国都没有深厚的基础。这些学会第一批出色的会员都是为了充实学会人员分别聘请到柏林和圣彼得堡来

的外国科学家。在十八世纪时，柏林学会的著名成员都是法国的学者，诸如莫泊丢，被普鲁士的腓特烈二世任命为学会秘书，拉美特利（Lamettrie，公元 1709—1751），伏尔泰（公元 1694—1778），后来还有拉格朗日（公元 1736—1813）。事实上，法文在公元 1745 年已被指定为柏林学会的正式语言了。同样，圣彼得堡学会的人员开头都是些瑞士科学家，著名的有尼古拉·贝努利（Nicolas Bernoulli，公元 1687—1759），丹尼尔·贝努利（Daniel Bernoulli，公元 1700—1782）和利昂纳德·欧勒。

在法国，科学团体的发展过程大致和英国一样，不过也有重要的不同点。法国科学比十七世纪的英国科学更多地依靠赞助人的支持，而且地点不大集中在大城市。巴黎有一个类似伦敦格雷山姆学院的组织，就是弗兰西斯一世为了给人文主义找一个安身之所，于公元 1518 年成立的法兰西学院，当时很受到巴黎大学的反对。法兰西学院的一位数学教授，奥隆邱司·芬纳伊（Orontius Finaeus，公元 1494—1555）绘制了新发现陆地的地图并给探险家进行指导，就象他的同时代人雷考德在英国做的那样。后来法兰西学院的教授们，如伽桑狄和罗伯法耳（Roberval，公元 1602—1675）都是科学运动中的杰出人物，就和格雷山姆学院的那些教授一样。法国最早的著名科学家集团于公元 1620 年在埃克斯城克劳德·德·皮雷斯克（Claude de Peiresc，公元 1580—1637）的家里集会，皮雷斯克是一个富有的教会人士和普罗旺司地方法院的法官；伽桑狄在迁往巴黎之前，是亚斯的一个大学教授，也是皮雷斯克集团的一个成员。在巴黎，一个象伽桑狄一样的法兰西斯派道士马琳·麦山尼（Marin Mersenne 公元 1588—1648）的修道室，成了科学家们集会场所和交换科学通信的中心。麦山尼和伽利略、笛卡儿、霍布斯都通过信，同时在他的修道室和费尔玛、罗伯法耳、伽桑狄、巴斯卡会面。后期的集会就在巴黎哈巴特·德·蒙特摩（Habert de Montmor，公元 1600—1679）的家里举行，蒙特摩当时是国务会议的参事。这些集会约在公元 1654 年就变为正式集会了。

蒙特摩学会的经费逐渐变得困难起来，所以到公元 1663 年他们就象路易十四的大臣柯尔伯特求援，理由是科学的进步将使法国在经济上得到好处。柯尔伯特很理解科学的应用会对他扩展国家工商业的政策有利，但是他决定在法国国王的赞助下成立一个新的科学团体。公元 1666 年巴黎科学院成立，约有二十名院士，全由国王发给薪俸。院士都是专业的科学家，作为一个集团共同研究那些皇家大臣交给他们解决的问题。与此相反，英国皇家学会则是一个自给自足的业余科学家团体，自己要研究什么问题就研究什么问题。柯尔伯特对巴黎科学院采取一种开明的政策，只作些一般的指示，但是他的继任者卢弗瓦则命令院士们把研究工作应用于狭窄的、甚至烦琐的目的，诸如有关皇家喷水池和宫里玩的赌博问题。卢弗瓦也是取消南特敕令（公元 1685 年）^①的策动者，把胡格诺教徒科学家赶出国外。许多胡格诺教徒逃往瑞士，有些则逃往英国，其中主要有数学家德·穆阿佛尔和物理学家帕潘。公元 1692 年卢弗瓦由蓬夏特兰接替，他把科学院交给他的侄儿比尼翁主持。科学院从成立以来已经相当扩大了，在公元 1666—1699 年之间，又任命了三十个院士，现在又加以扩充和改组。比尼翁把院士的人数增加到七十名，并把他们的职位分为不同等级，使院士享受的待遇和权利差别很大。和以前一样，院士的薪俸任由国王支付，学院整个说来是由皇家大臣控制的。巴黎科学院的组织形式始终就保持着这样，一直到法国革命才重新改组，并有了一

^① 法王亨利四世于公元 1598 年宣布天主教为国教，但允许信仰新教的胡格诺教徒有信仰新教的自由、召集新教的宗教会议和担任国家官职的权力。——译者

个平等的章程。

巴黎科学院和皇家学会一样，早期颇受培根著作的影响，主要是通过该院的荷兰院士惠更斯的介绍。他采纳培根的建议，编写自然现象和技艺过程的“历史”，共同收集一部动植物的博物史，后来又编了一个机械的发明的庞大的目录。他们还着手绘制法兰西的地图，并在大海中测定经度的问题上花了不少功夫。就象皇家学会的情况一样，培根对巴黎科学院的影响下降得相当快，主要是在卢弗瓦掌权时期，因为他把绘制法兰西地图和测定经度问题都搁起来了。后来笛卡儿的见解就比较流行起来，因此法国人的科学兴趣就由实用方面转到科学理论和哲学方面来。这种趋向在丰特列尔的著作中第一次显示出来，丰特列尔从公元 1699 年起就是巴黎科学院的秘书，一直当了四十年之久。

在十七世纪和十八世纪早期，法国外省也成立了几个文学的和科学的组织，到了公元 1760 年时外省成立了约三十七个重要团体。以科学研究为主的社团多在法国南部：蒙彼利埃的学会于公元 1706 年成立，波尔多的学会于公元 1716 年成立，图卢兹的学会于公元 1746 年成立，它们都和巴黎科学院有密切联系。在十八世纪时，法国外省的这些学会都进行了可贵的科学研究工作，但是法国革命中发生的许多事情使这些学会失去了重要性，到了十九世纪时巴黎就成了法国科学的主要中心。在英国，情况恰好相反。伦敦愈来愈不成为英国科学的主要中心，在十八世纪后期和十九世纪还出现了一些地方性的文学团体和哲学团体。

第四部分

十八世纪的科学：民族科学传统的兴起

第二十三章

十八世纪的科学应用

十七世纪末，从海上船只测定经度的问题仍然没有解决。英国皇家学会的会员对这个问题相当注意，但是正如学会的理事会在公元 1663 年声称的那样：“航海的问题是国家的事务，学会不宜过问。”这个原则，当公元 1685 年塞缪尔·皮卜斯（Samuel pepys）要求查阅学会记事中一切涉及航海的问题时，还重申过。经度问题和其他航海术问题是国家的重要事务，因此应当成立一个国家机构来处理，这样就在公元 1675—1676 年建立了格林威治天文台。格林威治天文台建立之前，先成立了一个委员会，研究班纳威兹根据月亮在恒星间的方位来测定经度的方法有没有可能性。委员会的成员包括有兵工厂的测量师约拿·穆尔爵士、克·雷恩、罗伯特·胡克和一些别的人。他们在公元 1675 年征求了一个剑桥大学的年轻天文学家约翰·弗拉姆斯蒂德（John Flamsteed，公元 1646—1719）的意见，问这个方法是否可行。弗拉姆斯蒂德表示了这样意见，认为当前的恒星表和月球运行表都太不准确，不能达到所要求的目的。在听到这项意见之后，查理二世就宣布他要把恒星和月亮的方位“重新观察、检查和改正，以供他的海员使用”，并任命弗拉姆斯蒂德为御用天文学家。弗拉姆斯蒂德在开始进行工作之前，认为得把格林威治天文台用的仪器装备起来，根据他自己的估计，用来配备这些仪器的费用大约有两千镑来自他的私囊。在格林威治天文台工作的四十四年中，弗拉姆斯蒂德制订了月球运行表和恒星方位表。以上这些表都是他死后于公元 1725 年发表的。这些表比以前的表精确得多，但达不到在海中测定经度的精确程度。

巴黎科学院作为一个国家机构，也在公元 1667—1672 年间建立了自己的天文台，一个意大利的土木工程师兼天文学家詹·多曼尼哥·卡西尼（Jean-Dominique Cassini，公元 1625—1712），于公元 1669 年被任命为巴黎天文台长。他在这里也研究经度问题。他企图用伽利略的方法来解决它。他制定了更精确的木星的四个卫星的运行表，不过他的研究结果派不了实际用场。另一个巴黎科学院的成员，荷兰的业余科学家惠更斯，企图用弗里修司的方法解决经度问题，即使用一台机械钟记录标准时间。惠更斯第一个设计了一台用摆来调节的计时器；在设计和制造过程中，他研究了各种式样的摆的性质和沿曲线轨道运动的一般性问题。公元 1659 年，惠更斯造成一台可以在海上使用的计时器，但是船身动作干扰了钟锤的摆动，使它不能维持准确时间。后来惠更斯和罗伯特·胡克各自单独发现一根螺旋式弹簧丝的振荡是等时的，所以他们建议这种弹簧丝可以用来调节计时器。

但是胡克和惠更斯好象都没有制出用弹簧丝调节的计时器，而且总的说来，十七世纪在解决经度问题上的努力都没有取得实际结论。因此英国于公元 1714 年成立了一个经度局，悬赏一万镑到两万镑的奖金，征求不同精密程度的经度测

量法，而法国于公元 1716 年也照样悬赏十万里弗征求解决经度问题的办法。英国的经度局将第一笔奖金奖给了德国人托比耶司·迈尔（Tobias Mayer，公元 1723—1763），他是哥丁根天文台的台长。他在公元 1753 年制订了一张相当精密的月球运行表，可以运用班纳威兹的方法在海中大致测量出经度来。这些表都印在航海历书中，由格林威治天文台从公元 1767 年起开始发行。迈尔改进的班纳威兹测量法，其精密度顶多只能达到二十英里以内，而且每一次测定经度都得花费好多钟点的计算时间，所以在准确的机械钟出现后，他的方法不久就被淘汰了。

为了在海上测定经度，十八世纪有好多人人都努力制造准确的计时器，其中最杰出的有约克郡的制表商人约翰·哈里森（John Harrison，公元 1693—1776）和法兰西国王的御用制钟者皮埃尔·勒·鲁瓦 Pierre Le Roy，公元 1717—1785）。哈里森在公元 1728—1770 年之间连续制造了五台计时器，完全靠机械技术，而且一台比一台造得准确，它们本身的缺点也逐渐减少。开头造的计时器都是庞然大物。第四台计时器重六十六磅，但是准确到每天的误差只有一秒的十分之一，所以使哈里森在公元 1765 年获得经度局的奖金。他的第五台计时器只有一只大杯表那样大小，然而却和他的第四台计时器一样准确，这就是说，如果以距离来计算经度，只有一英里又三分之一的误差。与此同时，法国的勒·鲁瓦也完成了他的航海時計，于公元 1763 年进行试用。勒·鲁瓦采用了和哈里森全然两样的方法。他不象哈里森那样靠机械技术减少机器的缺点，而是企图靠考察制表的基本原理全部消灭这些缺点，并设计一种不带有原来计时器的动作所固有的那些弱点的新机械装置。哈里森的成就是一个掌握了技巧的工匠的成就，而勒·鲁瓦的工作则是比较科学的，实验和理论计算都兼而有之。

由于哈里森的努力，尤其是勒·鲁瓦的努力，在海上测定经度的问题终于解决了，不过航海用的计时器的大量制造，还得等相当一个时期。现在有关商业和航海的基本技术问题，多数都已清楚了，但是就在这时候工业范围内的问题却变得比较尖锐起来。工业上一个最重要的问题是矿井抽水问题。在十六和十七世纪，由于木材的缺乏，煤作为一种燃料变得愈来愈重要了。木柴在这以前是高热工业，如把皂业、玻璃制造业和冶金工业所用燃料的主要来源。这样一来，英国木柴的价格在公元 1500 年到公元 1640 年间就上涨了八倍，而一般物价只上涨了三倍。造船业在十六和十七世纪对木柴有较大的优先购用权，因此那些高热工业在这个时期就尽量改用煤为燃料，并在十八世纪完成了这种转变。这种由用木柴改为用煤作为燃料的后果，使高热工业由英国南部转到产煤的中部和北部来，并且大大刺激了煤矿的开采。因此煤矿大为增加。而且矿井开得愈来愈深，从而使排水愈加困难。在公元 1561—1668 年间，英国发给的专利许可证有四分之三都是直接或间接和煤矿有关；而这些专利许可证里面，又有百分之三都是专门用来解决矿井排水的。

解决矿井排水的问题，基本上是一个寻找廉价动力来源的问题。提水的设备，如水筒链、吸水泵、压力泵，在古代就已经为人们所熟悉了。水可以用一连串的水泵从极深处引上来，但要开动这些水泵需要相当大的动力。在十六世纪和十七世纪时，煤矿抽水的动力主要靠的是马，因为风车和水车都不怎样可靠，而且要看地点适当与否，诸如靠近河口或者多风的地方，而这些只是偶然和矿地联在一起。乔治·鲍尔在公元 1556 年记述德国一个金属矿使用的水泵设计，需要九十三匹马去拖它；到了十七世纪末，英国某些矿地用来拖动水泵的马甚至增加到五百匹之多。

火和热的物质的动力是人们早就知道的，而且曾经被利用作为能量的一种次要来源。在古代亚历山大里亚的希罗就曾经利用热空气和蒸汽的动力来开动他的机械玩具，而列奥纳多·达·芬奇在文艺复兴时期曾遗留下一个用蒸汽开动的大炮图样。在十六世纪快结束时，巴帕第沙·达拉·包尔塔描述一种用蒸汽压力提水的设计。这件器械是一只封口瓶装有一根通进蒸汽的管子，管子就把瓶子里的水从另一根管子里喷出来，这另一根管子的头浸在水里，另一头则通到外面空气。法国的苏罗门·德·考司在公元 1615 年描写了一种类似的设计，而英国的大卫·拉姆齐则于公元 1630 年以一项“用火从深矿井抽水”的发明向查理一世请求到专利许可证。所采用的也是同样方法。与此同时，伍斯特伯爵爱德华·萨默塞特开始他的“制水引擎”的研究，据说他的引擎在十七世纪五十年代试用时曾经把水喷到四十英尺的高度。塞缪尔·莫兰爵士，查理二世的御用机械师，在七十年代设计了一种类似的机器，最后还有托马斯·萨弗里上尉，一个达特默思的工程师，在公元 1698 年根据达拉·包尔塔的原理，制造了一具蒸汽泵在矿地进行试验。萨弗里的引擎是一只封闭的容器里插进三根管子，一根管子伸进水里，另一根管子接着蒸汽锅炉，第三根管子通向上的排水口。蒸汽引进容器后就使它冷缩。这样产生的部分真空就把水从下面管子里抽进来，下面管子装有一记扇只能向一面开的阀门，这样水就流不回去。现在再将蒸汽打进容器，蒸汽的压力就把水从放水管里排了出去，放水管也装有一扇只能向一面开的阀门。这样一个循环操作过程可以由管理蒸汽锅炉的工程师反复地做。萨弗里的蒸汽泵并没有成功，原因是要把水排到放水管那样高度需要用到很大的蒸汽压力，有引起蒸汽锅炉爆炸的危险。而且，蒸汽泵必须放在靠近矿井底的地方，低到至少离低水位三十英尺不到，所以如果蒸汽泵失效，它就会很快地被水淹没，弄得无法修理。

研究用热产生机械力的问题还有另一条途径；从十六世纪开始，开矿工程师观察到用吸水泵吸水最高只能达到三十英尺。伽利略觉得奇怪，为什么自然厌恶真空只到一定限度为止，而且设想如果这个限度是固定的话，别的液体也只能吸到一定高度，高下依密度轻重而定。他的学生托里塞利和维维安尼在公元 1643 年发现情形确是如此，水银的密度比水重十四倍，升起的高度约为二十九英寸。托里塞利和维维安尼在一根一头封闭的管子里装满水银，并把管子开口的一头倒转过来浸在一碟水银里。他们发现管子里的水银开始下降，一直降到比碟子里的水银高约二十九英寸时为止，而且不管管子是垂直或者偏向一边，这个高度始终不变。维维安尼设想管子里水银的高度是二十九英寸，是由于大气对碟子里水银面的压力所致，这个见解到了公元 1648 年就被巴斯卡所证实了。巴斯卡带着托里塞利和维维安尼的仪器登上法国南部的多姆山，发现登山愈高，水银柱就愈加下降。根据这项实验，巴斯卡设想水银的压力是被大气对碟中水银面的压力所平衡的，而登上山之后，大气的压力就减少了。

德国马格德堡有个酿酒商兼工程师奥托·冯·格里凯（*Otto von Guericke*，公元 1602—1686），他对上述意大利人和法国的研究并无所闻，但于公元 1635—1645 年间却根据同一线索进行了类似的探索。格里凯企图用一只吸水泵把水从桶里抽出来而形成真空，但是发现桶子漏进空气，后来他就设法直接从一只铜球里把空气抽出来，这一次终于成功地创造了真空。格里凯发现真空，或者毋宁说大气的压力可以发出巨大的机械动力。他证明两个金属半球凑合在一起并抽掉空气后，用十六匹马都拉不开来，而圆筒抽掉空气盖上活塞后，大气在活塞上的压力用二十个人都揭不开活塞。所以根据格里凯的实验可以看出，如果能用某种非机械的办法创造一个真空，那就可以从大气的压力获得相当大的机械动力。

格里凯的实验在英国经罗伯特·波义耳和罗伯特·胡克反复研究并加以扩充。他们用抽气泵作了无数实验，证明一定数量空气的压力和它的体积成反比。后来法国的一个新教徒物理学家但尼斯·帕潘（Denis Papin，公元 1647—1712）到了英国，有一个时期做波义耳的助手。在他当助手的时期，帕潘发明了压力煮器，或者如他自己叫做的“消化器”和“消化器”的一个主要部分安全塞。帕潘指出，机械动力说不定可以靠真空的作用而通过一根管子传送到相当远的距离。胡克则认为这里所需要的真空可以通过蒸汽冷凝产生出来，并在他逝世前不久（公元 1703 年）和达特默思的一个铁匠托马斯·纽可门（Thomas Newcomen，公元 1663—1729）进行接触，因为纽可门正在研究这个问题。纽可门的详细研究情况，现在已无法知道，但是约在十八世纪头十年中，他发展了自己的空气蒸汽机，这是第一部大规模地把热变为机械能的有效机器。

纽可门的引擎，按照一般用于开矿井排水的机器式样来说，是一个用一只活塞封闭的圆筒式汽缸，活塞借一根活塞杆和一条链条紧系在一根摇动的横杆的一头，摇杆的另一头则连着排水泵。低压的蒸汽先引进汽缸，然后喷洒少量的水使其冷凝。这样就在汽缸里造成局部真空，使大气的压力作用于活塞，活塞就把摇动横杆向下拉而使排水泵动起来。然后再重复这一操作。打开活塞等等必要的操作都由接在摇动横杆上的机件自动完成。纽可门的引擎比萨弗里的蒸汽泵优点要多。它是放在矿井上面，而不是放在矿井底下，因此不会被水淹；它用的是低压蒸汽，机械动作靠大气压来操作，所以没有引起锅炉爆炸的危险。还有，纽可门的引擎是一个广义上的把热变为机械力的原动机，而不象萨弗里的机器只是一具专门的蒸汽泵。纽可门的引擎很快被普遍采用起来。从公元 1720 年起，全英国的煤矿和金属矿都装置了这种引擎，公元 1720 年后还销往国外。

纽可门在蒸汽机方面的研究，与约翰·哈里森在航海计时器方面的研究一样，好象大部分都是依靠经验。这些人由于掌握了必要的技巧，所以能把绅士业余科学家的建议付诸实践。在十八世纪后期，这些工程师和仪器制造家吸收了较多的科学方法，就自己应用起科学来了。这个运动的一个最早的重要人物是约翰·斯米顿（John Smeaton，公元 1724—1792），他被称为近代的第一个工程学家。斯米顿设计和建造了许多桥梁、海港、运河、磨坊、蒸汽机，足迹遍及全英国，而且用机器模型在实验室内进行试验，以便改进和他有关的那些大规模机器的操作。在公元 1752—1754 年间，斯米顿造了一些旧式的原动机、风车和水车的小模型，改变它们的各个组成部件，试图发现它们赖以发挥效率的那些因素。他就是这样地通过实验，发现上击水轮比下击水轮的效力大两倍，而理论科学家的说法则各个不同，认为上击水轮的效力可以大六分之一倍到十倍等等。

后来斯米顿以类似的方式研究了纽可门的蒸汽引擎。他在公元 1769 年把当时在英国使用的大约一百种大气蒸汽引擎的大小和操作情况列了一张表。他自己造了一部引擎的模型，于公元 1769 年到公元 1772 年间用模型进行了近一百三十次的实验，逐一地对每一种影响引擎操作的因素作了检验。通过这些实验，斯米顿找到了关于引擎汽缸长度的直径的最好数值，活塞每分钟的击动次数、锅炉需要多大、以及煤的可能消耗量，以此作为制造从一匹马力到七十六匹马力的引擎的根据。通过这次定量的实验方法，斯米顿大大改进了他研究的这些机器，但在理论上没有引进什么新的东西。他并没有运用任何新的科学知识，而他以后的一个伟大工程学家詹姆斯·瓦特就和他不同了。

詹姆斯·瓦特（James Watt，公元 1736—1819）是格里诺克一个商人的儿子。他在伦敦学习机器制造业，并于公元 1757 年在格拉斯哥大学担任机器制造

的职务。在他任职期中，约在公元 1763 年，他发现纽可门式的小型引擎不及大型引擎效力来得好，这个现象他拿来和格拉斯哥大学的医学教授约瑟夫·布莱克（Joseph Black，公元 1728—1799）进行讨论。在这以前不久，布莱克曾经发现不同物质吸收热的容量各有不同，即所谓不同的“比热”；而物质由固体状态变为液体状态，或由液体状态变为气体状态时，尽管温度仍旧保持不变，但仍要吸收大量的热，即所谓“潜热”。布莱克和瓦特看出，纽可门式的引擎浪费相当大的一部分蒸汽，是因为汽缸在前一次冷凝中冷了下来，所以每次重新灌进蒸汽先得给汽缸加热。瓦特根据蒸汽变为水的潜热和汽缸材料的比热，计算了各种大小引擎的蒸汽耗用量，证明小型引擎的消耗最大，因为汽缸面积对汽缸体积的比例小的比同样的大型引擎的这个比例要大些。

为了防止蒸汽的消耗，瓦特把蒸汽引擎的主汽缸始终保持在同一高温上，而用一个保持在低温的冷却器里冷凝蒸汽，这样每次动作就不用着重温汽缸而损失蒸汽。布莱克介绍瓦特去见他的朋友约翰·罗巴克（John Roebuck，公元 1718—1794）。罗巴克于公元 1760 年在苏格兰的卡隆开办了第一座大规模的炼铁厂，而且对制造新蒸汽引擎颇感兴趣。他和伯明翰也有关系，公元 1740 年曾在那里创办一座硫酸厂，采用他自己发明的铅室法制造硫酸。当公元 1775 年罗巴克破产时，他在瓦特蒸汽机制造业上的股份就被马休·博尔顿（Mathew Boulton，公元 1728—1809），一个制造轻金属品的伯明翰商人买了过来。从公元 1776 年起，博尔顿和瓦特合伙在伯明翰制造这种新机器，为提高机器的效率，使机器作出旋转的机械动作进一步改进了设计。

在瓦特改进蒸汽机之后很久，纽门的引擎在煤矿仍被人们使用着，原因是在煤矿区用煤的节约并不是什么大的问题。但是康沃尔的锡矿开采者，由于要把煤从南威尔斯运来，瓦特的蒸汽机一问世就被采用了。那些炼铁厂的老板也同样采用，因为他们需要一种强有力的原动机来开动鼓风机，为高炉提供风力。还有纺织业也需要一种可靠而有效的机械力来开动他们在十八世纪发展起来的复杂纺织机，而瓦特的引擎在改为转动式之后，就满足了这个要求。十八世纪的新纺织机和炼铁上的革新，在工艺上都是重要的发明，但是蒸汽机的发展，由于和科学内容和科学方法的关系太密切了，恐怕是十九世纪以前最重要的一项科学应用。

第二十四章

十八世纪的科学背景

经度问题和矿井排水问题方面的工作有一个主要的特点，就是十七世纪和十八世纪早期的那些业余科学家没有能给他们的建议找到一个成功的实际结论，造出航海计时器和蒸汽机的却是那些属于工匠传统的人。十七世纪的科学家有许多是学识渊博的人，对纯科学和实用科学同样感觉兴趣。在这两方面，他们也都有相当大的成就，在科学实用方面发展了温度计、气压计、望远镜、显微镜、抽气机、电机、摆钟之类的仪器。但是在蒸汽机和航海计时器两个重要问题上，在将近十七世纪末问题的解决已经在望的时候，他们却有点松劲了。胡克和惠更斯并没有把他们设计的带有平衡弹簧装置的计时器制造成实用的样式，而大气压引擎的发展则落到铁匠出身的纽可门身上。当时的科学家也意识到他们没有能实现自己早先提出的培根纲领。在十八世纪开头的一年，英国皇家学会的理事会灰溜溜地在学会记录上写道：

“大人物们的令人沮丧的忽视，无知人们的激烈反对，和不讲情理人们的责难，很不幸地阻挠了他们进行一连串有益发明的长期打算。”

这种松劲情况并不限于实用科学方面。它也扩展到自然哲学本身。因为我们发现，十八世纪上半叶和它以前及以后的一个时期比较起来，在科学思想史上是一个毫无生气的时期。这种使人不安的情况在这个世纪的一开头就被人们看出来。在皇家学会公元 1698 年的《哲学会报》里，德国哲学家莱布尼茨和原来“哲学学院”当时唯一在世的成员约翰·沃利斯，讨论了他们称做“当前哲学界萎靡不振状态的原因”。他们注意到科学讨论的标准有显著下降，而且在他们看来，在那些比他们年轻的同时代人当中“很少孜孜不倦地进行自然观测”。

在十六和十七世纪商业发展和十八世纪的农业和工业革命之间的一个时期，科学活动好象松弛下来了。如我们在前面看到的，英国的商人和海外的贸易公司早期在提倡科学上做了不少事情，而工业革命对后期的科学也不无影响。这中间有一个重新适应和重新定向的时期，科学在这个时期大部分靠自己已经建立的传统维持着，很少有什么外力的推动。到了十八世纪，那些曾经靠地理大发现得到好处的投机事业全都不行了。英国发生了一连串的危机，最后导致了公元 1720 年震动一时的南海公司的倒闭。在法国，西印度群岛的约翰·罗公司差不多在同时垮台，而荷兰在稍早一点时期也出现了一连串类似的商业崩溃。农业和工业则表现为另一种而且比较稳定的企业形式，在英国约在十八世纪中期这些方面的活动反而加快了。那些大都信奉国教的乡绅地主采用了引起农业革命的谷物轮种制和改进的牲畜饲养法，而在城市里地位相当卑贱的人们，其中以不信国教者的势力最大，则发动了工业革命。在法国，人们对这些担风险的事业讨论得很多，但是做得很少，原因是法国政府在这些方面控制非常之严。这一来，这类的讨论就转过来成了对“旧王朝”的批评，从而为法国革命开辟了道路。

随着十八世纪下半叶的新运动发展，科学也复兴了，不过现在有了一些新的特征。最突出的特征之一是科学沿着民族倾向在科学方法论上的分裂。十七世纪多数的科学家都同样关心科学的实验、理论和实用方面。例如牛顿在光学上作过杰出的实验，发展了万有引力学说，并发明了一种反光望远镜和一具航海用的六分仪。但是在十八世纪，英国的科学家主要是些实验家，法国人则主要是理论家；而实用科学则从业余科学家的手里转到英国的仪器制造者和工程师的手里，法国也一样，不过程度上比英国差些。英国御用天文学家布德雷（Bradley，公元 1692—1762）和马斯基林（Maskelyne，公元 1732—1811）作了杰出的经验观测和发现，而法国科学家拉格朗日（Lagrange，公元 1736—1813）和拉普拉斯（Laplace，公元 1749—1827）则发展了力学和天文学理论。同样地，拉瓦锡（Lavoisier，公元 1743—1794）利用英国科学家们，主要是约瑟夫·普里斯特列的实验上发现，提出了化学革命的理论。这种分裂，如我们前面已经看到的，甚至在哈里森和勒·鲁瓦在航海计时器的工作上也多少反映了出来。

这种沿着民族倾向的分裂在培根和笛卡儿两个人的哲学里已经有所预示了。他们各自有所强调，培根强调科学方法的经验性质，笛卡儿则强调科学方法的演绎性质。英国科学家和法国科学家的研究工作有所不同，在十七世纪后期已经逐渐为人们觉察到了，不过当时还不怎样显著。奥尔登伯格在一次大陆旅行中，写信给波义耳指出，“法国博物学空谈多于实际或实验”。到了十八世纪，这种分裂也许可以说是反映了这个世纪两个民族所关心的国家大事各自不同：在英国是工业革命，在法国是许多事情导致了政治革命。英国科学家和工程师发展实验的和实用的科学，给予工业技术以一种直接的推动力。如我们在前面讲到过的，布莱克研究比热和潜热的实验，立刻被实际应用到瓦特发展的新蒸汽机上。在另一方面，法国除掉某些奢侈品生产，诸如用于织花布的手工提花织机外，在工业革命的技术配备方面，很少得出什么来。法国人只是一心一意从理论上批评当前教会和国家的学说，并传播“启蒙”哲学。这个运动的理论的倾向，或者毋宁说不实际的精神，也感染了法国科学，因为对教会和国家进行批判是以科学名义进行的；而启蒙哲学，无非是牛顿的思想体系及其扩展。

法国启蒙运动主要是从丰特列尔开始，他广泛宣传了笛卡儿的哲学；而这个运动又被伏尔泰（Voltaire，公元 1694—1778）发展了，伏尔泰是把牛顿的思想体系介绍到法国来的。这个运动的最重要的成果是公元 1751 年到公元 1777 年间出版的法国《百科全书》，共二十二巨册。十八世纪中出现了许多百科全书，英国和法国的这类著作表现了这两个国家在兴趣上的分歧。英国的百科全书开头主要是技术性的，诸如哈里斯的《技术词典》（公元 1704 年）和钱巴斯的《工艺与科学词典》（公元 1714 年），但是后来范围就扩大些了，最后出版了《英国百科全书》，它的第一版是于公元 1771 年在爱丁堡发行的。另一方面，法国的那些百科全书开头主要是批判性和理论性的，象《历史与批判词典》，这是一个法国胡格诺教徒逃亡者皮埃尔·贝勒（Pierre Bayle）于公元 1695 年在荷兰阿姆斯特丹出版的。

十八世纪除掉法英两国在科学上表现的理论与实验的分歧外，科学活动的中心也有显著的转移，而且科学家的社会出身也起了变化。除掉耐普尔和格雷戈里叔侄来自苏格兰外，英国十七世纪的多数重要科学家都是来自塞文河到瓦西河这条线以南的地区。现在十八世纪的下半叶，苏格兰、工业的英格兰中部和北部，都有科学家出现了。过去的科学家大都和贸易公司或者地主阶级有关系，象罗伯特·波义耳就曾经担任过东印度公司的董事，或者象皇家学会的第一任会长布隆

克尔勋爵，就是一个“暴发户”，由查理二世封为贵族的。现在科学家已经不再是这类人，而是象约瑟夫·普利斯特利和约翰·道尔顿（John Dalton，公元 1766—1844）那样的纺织工人的儿子；或者象亨弗利·戴维（Humphry Davy，公元 1778—1829）和迈克尔·法拉第（Michael Faraday，公元 1791—1867）那样的艺徒。再者，这些新人里面有许多都是不信国教的，而不是英格兰教派的教徒。普利斯特利是一个一神派牧师，道尔顿是教友派，法拉第是山地门教派。还有，这些人主要感兴趣的是化学和电学，对成为十六、十七世纪的主要注意中心的天文学和力学，都关心得较少。

和英国一样，十八世纪的大陆上也出现了新的科学活动地区，不过大陆上科学家的社会出身却没有英国那样的显著变化。法国科学家主要仍旧来自和国家的官僚阶层有关系的家族。不过法国法院人士中在科学上不象过去那样出人头地，可能是因为这时候法院的重要性已经大大降落了。可是出身律师家庭或者受过法律教育的人，象丰特列尔和伏尔泰，在科学运动上仍旧占重要地位。瑞士在十八世纪成了一个重要的科学活动中心，可能是因为那么多新教徒科学家都离开天主教国家逃亡到瑞士的缘故。象贝努利家族的那些数学家就是离开佛兰德而定居在巴塞尔的。法国的一些胡格诺教徒的人家，如特伦布莱、索修尔、堪多，则在日内瓦住下。瑞典由于拥有丰富的铁矿和广大的木材储备，在十八世纪成了一个重要的产铁中心，同时也出现了一些科学家。这些人也和英国的一样，出身都相当微贱，象林耐（Linnaeus，公元 1707—1778）和伯齐力阿斯（Berzelius，公元 1779—1848）都是牧师的儿子，而席勒（Scheele，公元 1742—1786）则是一个药剂师。

早先的一些科学中心，主要是伦敦和巴黎，在十八世纪仍旧很活跃，不过荷兰的科学则和它的繁荣一样变得停滞了。英国皇家学会失去了它在十七世纪时期的蓬勃朝气，但仍旧保有一些属于绅士业余传统的杰出科学家，如亨利·卡文迪许（Henry Cavendish，公元 1731—1810）。总的说来，来自北部工业区的不信国教派的许多新型科学家都当选为学会会员。其实，当选为皇家学会会员的教友派人士的增长数，是不信国教派教徒中科学兴盛的一个很好的标志。十七世纪时，皇家学会只有四个教友派会员。在十八世纪有十四个，在十九世纪是三十六个。在十七世纪时，当选为学会会员的英国教友派和国教派人数差不多，在十八世纪教友派是国教派的四倍，在十九世纪是三十倍。这些出身于不信国教派家庭或者工匠家庭的新型科学家，开头觉得皇家学会的空气有点不愉快。有些人，象亨弗利·戴维，一方面使自己适应学会的传统，同时又设法把学会从一个伦敦俱乐部改变为促进英国科学的一个国家组织。另外一些人，象约瑟夫·普利斯特利，则撇开学会不管，在中部和北部另行成立自己的科学团体来满足他们本地区的需要。

那些拒绝服从公元 1662 年信仰划一法令的各个新教派别，曾经是早期清教徒运动的左翼，或者是从左翼发展起来的。那时候他们的非宗教活动主要属于政治性质，而且成员也是来自各方面，不过即使在当时，这些教派的组织成分已经倾向于比较寒微的阶层。在十七世纪后期和十八世纪初期，那些不信国教的教派，特别是教友派，在组织成分上更突出地显示了中下层阶级的特征，而且把它们的非宗教活动转到发展工艺方面来，在工业革命中起了主导作用，由于大学对他们不开门，不信国教者就成立了他们自己的教育机构，有些在十八世纪达到了大学的教学标准。许多国教派宁可进这些不信国教派的学院而不进大学，因为这些学院开设一些近代课程，特别是有许多科学课程。不信国教派的学院里的教师，有

些成了杰出的科学家，如约瑟夫·普利斯特列就在瓦林顿学院教书，还有约翰·道尔顿，则是曼彻斯特的新学院的教师。

不信国教者在发展重工业如炼铁工业上特别出色。在十八世纪，教友派几乎把这门工业全部包了下来，因为国教派的炼铁业老板总欢喜购置田产，做拥有土地的乡绅，而把炼铁工业丢给教友派的人去办；教友派人士本来反对贵族世袭原则，所以并不想参加地主贵族的行列。教友派炼铁人家中比较重要的一个是煤溪谷的达比一家，他们发明用焦炭代替传统的木炭炼铁，因为木炭在当时已经缺乏而且价格昂贵。达比家还发展了用沙模铸铁的方法，而且从公元1724—1760年拥有铸造蒸汽机汽缸的专利权。其他不信国教的发明家中有长老会派的詹姆斯·瓦特，他的第一个合伙者罗巴克是个独立派；还有约翰·威尔金森（John Wilkinson），瓦特的蒸汽机能够在商业上有销路，靠的就是威尔金森发明的精密钻孔机。

工业地区的那些人，依靠不信国教者学院里受的科学教育和自己的工艺兴趣，建立了提倡本地区工艺和科学的学术组织。最早的一个是太阴学会，是马休·博尔顿于公元1766年左右在伯明翰成立的。它的成员包括有博尔顿和瓦特、化学家约瑟夫·普利斯特列、伊拉斯谟·达尔文（Erasmus Darwin，公元1731—1802）。伊拉斯谟·达尔文是医生、诗人兼博物学家，而且预见了他孙子查理·达尔文进化论的某些内容；詹姆斯·基尔（James Keir，公元1735—1814），布罗威治一家化学厂的老板；塞缪尔·高尔顿，一个铁器制造厂厂主，由于制造枪炮被教会驱逐；约翰·巴斯克维尔（John Baskerville，公元1706—1775），曾经改进过印刷字体；威廉·默多克（William Murdoch，）公元1754—1839），是博尔顿-瓦特工厂的一个工程师，曾发明煤气照明和一种蒸汽机车；两个伯明翰的医生，威廉·威塞林（William Withering，公元1741—1799）和威廉·斯莫尔（William Small，公元1734—1775）；还有两个文人，托马斯·戴伊（Thomas Day，公元1748—1789）和理查德·罗维耳·埃奇沃思（Richard Lovell Edgeworth，公元1744—1817）。太阴学会每月在一个会员家中聚会一次，时间都在月圆之夜，使会员回家路上方便，所以取名太阴学会。这个学会一直都很活跃，但是到了公元1791年伯明翰煽起了一次反对不信国教者和支持法国革命者的暴动，也包括学会的几个成员在内。普利斯特列的家被捣毁，他的科学仪器和藏书也全部毁掉了。这以后不久，普利斯特列就移居美国，还有些别的人也离开伯明翰，从此太阴学会也就宣告结束了。

另一个在同一时期建立的重要地方性科学团体，是曼彻斯特文学与哲学学会。在这以前，科学家和工业家常在瓦林登的不信国教者学院集合，这样就成立了曼彻斯特学会。学会的会议从公元1781年起每次都有记录，会议上宣读的或者送交学会的论文，从公元1785年起都印发出来。它是一个比太阴学会较大的组织，约有四十名左右的基本会员，而且比较稳定，一直到今天会务还很发达。曼彻斯特学会的主要创办人和第一任会长是托马斯·珀西瓦尔（Thomas Percival，公元1740—1804），曾从约瑟夫·普利斯特列在瓦林顿学院受业，并在曼彻斯特做开业医师。学会的另一个创办人兼学会第一任秘书是一个曼彻斯特的药剂师托马斯·亨利（Thomas Henry，公元1734—1816），他的儿子威廉·亨利（William Henry，公元1774—1836）在公元1803年发明了以他命名的气体定律。^①

早期的曼彻斯特学会非常关心化学，这门学科对当地的纺织品的漂白和染色

^① 即气体在稀溶液中溶解度与气压成正比的气体溶解定律。——译者

的关系具有相当大的重要性。和学会关系最早的一个杰出科学家约翰·道尔顿就是一个化学家，他从公元 1817 年到公元 1884 年都任学会会长。连学会的会章里也强调化学的重要性，把它列为可以和一般自然哲学区分开的单独讨论的项目。会章每八条写道：“讨论的题材包括有自然哲学、理论和实验化学、文学、民法、一般政治、商业和各种工艺。”会章还表明学会并不反对讨论法律、政治和商业，而这些项目是皇家学会宣称不要乱碰的路。和太阴学会一样，曼彻斯特学会也有几个支持法国革命的会员，实际上有两个会员，托马斯·库珀和小詹姆斯·瓦特，他还当选为法国制宪会议的代表。其结果是曼彻斯特学会在公元 1791 年的“国王与上帝”暴动中也碰到一些困难，但和太阴学会不一样，顶住了那次风暴。在十九世纪中叶，曼彻斯特学会成了英国的一个重要科学组织，并成为其他地方性文学和哲学学会的典范。类似的学会在维多利亚时期以每十年一个、五个、甚至十个的比率纷纷成立起来。

在苏格兰，爱丁堡哲学学会于公元 1732 年成立，从公元 1783 年左右获得执照后就变得重要起来。学会的会员有哲学家大卫·休谟 (David Hume, 公元 1711—1776)，经济学家亚当·斯密 (Adam Smith, 公元 1723—1790)，格拉斯哥大学的医学教授，又继任爱丁堡大学医学教授约瑟夫·布莱克，公元 1785 年在学会宣读了一篇关于地质演化理论论文的詹姆斯·赫顿 (James Hutton, 公元 1726—1797)，还有爱丁堡大学的自然哲学教授约翰·普莱费尔 (John Playfair, 公元 1748—1819)，他和一个业余科学家詹姆斯·霍尔爵士 (James Hall, 公元 1762—1831) 一同扩充并阐述了赫顿的学说。

苏格兰的长老会派大学，就象英格兰的不信国教者的学院一样，在十八世纪都以科学教学闻名。事实上，爱丁堡大学从那时起就以医科出名。苏格兰的科学家，和英格兰的不信国教的科学家一样，也与他们当时的工业发展保持接触。赫顿后来开了一个化学厂，而布莱克则曾帮助瓦特在发明蒸汽机上提过意见，并介绍他认识工业家罗巴克。可是十八世纪后期的苏格兰科学家有一个方面和他们的英格兰同行不同；他们比较重视理论科学。赫顿地质发展理论的研究工作显然就是如此，而普莱费尔则批评英国科学家对德国在力学和天文学方面的理论工作缺乏反应。但是在十八世纪快终了时，英国的科学总的来说又变得比较重视理论起来。从公元 1801 年起，托马斯·杨 (Thomas Young, 公元 1773—1829) 重新提出光的波动说，而约翰·道尔顿则于公元 1803 年把原子论引进化学里来，这两个人都出身于教友派家庭。法国科学家约在同一时候则相对地变得比较着重经验，并且他们被拿破仑军队的需要推到实验科学和应用科学方面来了。

第二十五章

天文学和十八世纪的牛顿哲学

牛顿在公元 1687 年出版了《数学原理》之后，万有引力理论总有半个世纪之久没有什么发展，而且又过了一百年才出现和牛顿有同样才干的人。有些和牛顿同时研究引力问题的人，特别是牛顿的朋友爱德蒙·哈雷，曾经把引力学说用在特殊问题的研究上，例如用来研究那个就以他的姓氏命名的彗星问题，但是在往后的几代里，天文学方面就很少有什么重要的理论家。这个时期的英国科学家普遍接受牛顿的学说，而且在剑桥大学由牛顿的继任人威廉·惠斯顿讲授，在爱丁堡大学由大卫·格雷戈里讲授。可是笛卡儿的学说在剑桥大学仍很流行，因为惠斯顿写道，他在公元 1693 年上剑桥大学专门是为了研究

“数学和笛卡儿哲学。因为当时在我们中间，笛卡儿哲学最时髦。可是不久我就独自努力地十分热心地从事研究牛顿爵士的伟大发现。”

牛顿的学说大体上是为国教会人士承认的，不过他的有些信徒则遭到疑忌。爱德蒙·哈雷在公元 1694 年送给皇家学会一篇论文，在论文中他设想那个现在为我们称做的哈雷彗星量，曾经有一个时候接近过地球，并在地球上引起过巨大的浪潮，这就是挪亚的洪水。他一直到公元 1724 年才发表这篇论文，因为他“害怕这可能会引起教会方面的谴责”。惠斯顿在公元 1696 年提出一个类似的学说，为了这个学说和其他异端，他于公元 1701 年被罢免教授职务。哲学家乔治·贝克莱主教（George Berkeley，公元 1685—1753）认为这些设想触犯了宗教，并且提出了一种看法，认为牛顿学说只是一种语法的迂腐之谈。贝克莱在公元 1709 年写道：

“正如读别的书一样，一个聪明人将倾向于把思想集中在意义上，并把意义付诸实用，而不会用语法上关于语言的话来陈述这些思想，同样，在浏览自然界这部大书时，要求做到把每一特殊现象都精密无误地归结于普遍法则，或者说明一个特殊现象怎样从普遍法则引导出来的，这好象是贬低心灵尊严的事情。”

贝克莱觉得，牛顿的《原理》是对自然的“语法式”研究的最坏范例。

在公元 1734 年贝克莱在一部叫做《分析家：或者向一个不信正教的数学家的进言》攻击了牛顿发明的微分学，而这个数学家就是哈雷。微分研究的问题是通过取曲线的一小段并在数学上把它缩为一个点，找出曲线在这一点上的斜率从而得到全曲线的斜率。贝克莱认为这种办法是站不住的，因为他坚持一个点不能有斜率。在把数学和宗教作比较后，贝克莱还写道：

“数学家难道不服从权威，不靠信念接受意见，并相信不可思议的论点吗？他们难道没有自己的神秘，甚至自己的嫌忌和自己的矛盾吗？”

这样的一种攻击也有其积极的一面，因为它推动英国数学家去探索微分的逻辑基础，并把一种显然有用的数学技术放在更扎实的基础上。贝克莱的《分析家》

出版后的一年中，牛顿的几个信徒都发表了对这位主教的答复，而且的确还相互批评了对方的答复。最后，爱丁堡大学的数学教授柯林·马克劳林（Colin Maclaurin，公元1698—1746）在公元1742年为微积分找到了一个相当正确的根据。

在大陆上，人们接受牛顿的发现要慢得多。在巴黎科学院，笛卡儿的学说直到十七世纪后期都受到歧视。可是巴黎科学院在公元1699年改组时，笛卡儿的最大提倡者丰特列尔当了学会秘书，并且任职四十年之久。在这个时期，笛卡儿的学说在科学院里占了优势。科学院为纪念牛顿在公元1734年第一次悬赏征文，而最后一次悬赏征求研究笛卡儿的论文则在公元1740年。由于丰特列尔的提倡，我们发现当时开始出现一种把机械论哲学从物理世界扩大到人的世界的趋向，这种趋向后来在十八世纪的法国变得很是突出。丰特列尔在1699年写道：

“几何学精神并不是和几何学紧紧捆在一起的，它也可以脱离几何而转移到别的知识方面去。一部道德的，或者政治的，或者批评的著作，别的条件全都一样，如果能按照几何学者的风格来写，就会写得好些。”

这种“几何学精神”，按照丰特列尔的理解，就是笛卡儿机械论哲学的观点。

丰特列尔开始的运动又被伏尔泰推广了；他比丰特列尔更不满意现行的教会制度和政治制度，而且把牛顿的比较“开明的”哲学带到法国来，并广事宣传。伏尔泰曾因批评活动第二次被关进巴士底监狱，出狱后从公元1726年到公元1729年在英国住了一个时期，因而对英国的思想和制度都熟悉起来。回到法国以后，伏尔泰在公元1734年出版了他的著名的《哲学通信》，书中包括各式各样的题材，如培根和洛克的哲学，教友派，英国政府的特点，以及新近由玛丽·霍尔特莱·蒙塔古夫人从中东引进来的种痘术。但是对法国科学更为重要的是，伏尔泰以四章的篇幅广泛讨论了牛顿的自然哲学，他很赞许地把这种哲学和笛卡儿的哲学体系相比。伏尔泰对英国一切事物的赞扬，等于对法国思想和制度的一种批评，因此他这部《哲学通信》被列为禁书，并且遭到焚毁。伏尔泰本人和德·夏特莱公爵夫人逃到洛林的封地，两人合写了一部阐述牛顿学说的通俗读物，于公元1738年出版。

在十八世纪的三十年代，因为巴黎天文台的指导员卡西尼一家猛烈反对牛顿的学说，在巴黎科学院引起了一次激烈的论争。这一家的第一个人詹·卡西尼（Jean Cassini，公元1635—1712）是路易十四在公元1668年从意大利请来的。这是个支持旧的地心说的人，他的儿子和孙子都反对牛顿学说的某些方面。一个在公元1673年派往几内亚卡宴岛的远征队发现，靠近赤道的秒摆长度比巴黎要短些：这两个长度是990厘米和994厘米。牛顿曾经把这种现象解释为由于赤道处的引力比两极附近引力小的缘故，这就是说地球是一个扁平的球，在两极较平，在赤道则凸出来。他设想这个形状是地球还没有完全凝固时在地轴上自转的结果。到了十八世纪三十年代，牛顿的自然哲学传到法国来时，卡西尼家的第二代雅克斯·卡西尼（Jacques Cassini，公元1677—1756）反对牛顿关于地球形状的理论。卡西尼根据在法国北部敦刻尔克和南部佩皮尼昂测量的一度经线的长度，得出相反的意见，说地球在两极处凸出，而在赤道较平。

在三十年代引起地球形状问题的争论时，有人指出要测量一度经线，需要在更北和更南得多的两个地点进行，才能准确地弄清地球的真正形状。因此路易十五世就授权巴黎科学院派出两个远征队去拉普兰和秘鲁测定这些地区经线的一度弧长。秘鲁远征队于公元1735年出发，拉普兰远征队在一年后出发。当秘鲁远征队的领队人在公元1744年回来时，他们发现牛顿基本上是正确的，秘鲁经

线的一度弧长是 110, 600 公尺, 在拉普兰是 111, 900 公尺。拉普兰队的领队莫泊丢本来怀疑牛顿的见解, 现在完全信服了。最后是拉普兰远征队的另一成员, 克雷洛根据牛顿学说从数量上说明了地球在两极平坦的原因。

在法国最早接受并发展了牛顿学说的是阿里克西斯·克劳德·克雷洛 (Alexis Claude Clairault, 公元 1713—1763) 和詹·拉·龙德·达兰贝尔 (Jean Le Rond D'Alembert, 公元 1717—1783)。克雷洛是巴黎大学一位数学教授的儿子, 达兰贝尔是法国一个将军的私生子, 在婴儿时被弃在约翰·拉·龙教堂的石阶上为人发现的。大陆上另外的一些提倡牛顿学说的人属于巴塞尔派, 其中有丹尼尔·贝努利、约翰·贝努利和利昂纳德·欧勒。欧勒特别重视牛顿和莱布尼茨发现的微积分, 自己也发展了这门科学并根据牛顿的原理把微积分用在天文学分析上。牛顿自己采用的是欧几里得几何学, 这在他同时代的人是比较容易领会的。这些人特别关心的是联系经度问题对月球的运动进行分析。事实上, 英国政府在公元 1755 年悬赏征求人们测定经度时, 迈尔得以获奖的月亮运行表就是根据欧勒的月球计算来的。

这些人掌握了微积分之后, 就对牛顿当初只能涉及一下的一些问题, 进行了详细研究。这些问题之一是三体问题: 如地球、太阳和月亮在各自引力场的相互影响下, 它们的运动该是怎样的? 就两个星体来说, 问题很简单, 但是就三个或者更多星体来说, 问题就变得复杂了, 而不得不采用各种逐次近似法。克雷洛有一个时候 (公元 1747 年) 对引力论感到怀疑, 因为他发现理论上月亮接近地球的最近距离只抵观察到的距离的一半, 但是在改进他的计算方法之后, 他在公元 1749 年就发现牛顿的学说和观察的结果是吻合的。

克雷洛和达兰贝尔的接班人, 拉格朗日和拉普拉斯把牛顿关于太阳系学说的分析进行得更加仔细。拉普拉斯是诺曼底半岛一个农民的儿子。他在公元 1767 年到了巴黎, 把一篇关于力学原理的论文送给达兰贝尔看。达兰贝尔对论文印象很深, 便给拉普拉斯在巴黎军事学校里找到个教职。在他教过数学的学生里面就有拿破仑·波拿巴。拉格朗日是意大利图林一个法国军官的儿子。他先是在柏林科学院当研究员, 后来进了巴黎科学院。拉格朗日和拉普拉斯的工作从公元 1770 年开始一直持续到他们两人逝世。拉格朗日的主要贡献是力学理论, 而拉普拉斯的贡献则在天文学方面。

他们工作的主要结果是证明太阳系是一个完善的自行调节的机械结构, 在这个结构里, 一切不规则的情况都会自行改正。牛顿曾经观测到土星和木星的运动有出规现象; 为了这个和其他原因, 他曾经认为上帝一直在宇宙里面改正这些不规则现象。但是, 拉普拉斯声明他并不需要这样的假说。他首先证明月亮运动的视加速是一种自行矫正的现象, 大约过了 2400 年之后就会倒转过来。后来他又证明, 木星和土星速度上的那些大的变动是它们引力的相互作用结果。最后, 他证明所有这些不规则现象都是自行调节的。按照他的说法, 原因是:

“行星和卫星的运动走的都几乎是圆周, 而且朝着同一方向, 并处在相互倾斜得很少的平面上, 单是根据这条理由, 这个体系将会围绕一种平衡状态摆动, 并且只以极少数量偏离这种平衡状态。”

从拉普拉斯在研究工作看来, 宇宙是没有历史的, 宇宙是一部完善的自行调节的机器, 这部机器在过去的无限的长时期中一直开动着, 而且还将无限期地继续开下去。可是拉普拉斯还设计了另一种比较定性的宇宙图景, 并结合了在他的定量宇宙模型中所没有的演化的思想。他注意到所有的行星都朝同一方向环绕太阳, 它们的轨道大都处于同一平面。而且, 太阳的自转, 和七大行星及其十四个

卫星的自转，全朝着同一方向，所有这些星体和它们离开最近恒星的距离比较起来，可以说都非常接近。

拉普拉斯的看法是，太阳系的这样一种布局不可能是偶然的結果，所以他设想太阳、行星和它们的卫星全都发源于庞大的原始大气，并以此来解释太阳系和形成。他设想原来炽热的星云大气开头环绕自己的中心转，后来逐渐冷却并凝缩起来。凝缩之后，星云物质的转动速度就加快了，原因是星云的总角动量始终不变。旋转率的增加引起了一个星云圈和星云赤道部分脱离开，这个过程重复了好几次，从而引起了好几个处在同一赤道平面的同心圈。每圈破裂后重新形成圆球，也就是一个行星，而剩下的星云核心部分则形成太阳。每一行星也照样抛出一个或几个圆圈，这此圈子就凝固为球形的卫星，只有土星例外，它的圈子到现在还存在着。

这个叫做星云假说的理论，当时就碰到责难。因为一个星云照拉普拉斯说的那样裂开，会凝成几个星体，而不只是一个星体；还有，根据这种理论，太阳系角动量的分布，也不能得到满意解释。尽管如此，这个假说在整个十九世纪都非常风行，可能是因为它和这个时期的总的演化观念相适应。对拉普拉斯说来，以及对一般科学家说来，更为重要的还是他在太阳系稳定性方面的研究。牛顿关于引力随距离平方的反比变化律，逐渐被看作是宇宙的根本定律，而且是其他定律的原型。光和辐射热的强度好象都是与光源和热源距离的平方成反比；到了十八世纪末，人们发现磁力和电力的吸引和排斥也服从平方反比律。拉普拉斯写道，“力的平方反比律是全都象光那样来自一个中心的发射律。”

力遵照平方反比律在物质微粒之间穿过虚空的空间作用着，这样一种模式在十八世纪的末尾好象在自然界是普遍性的。世界看上去完全可以用牛顿类型的定律来理解，而且是完全确定的。所以拉普拉斯在公元 1812 年提出了他的著名神圣计算者的观念，这个计算者只要知道世界上一切物质微粒在某一定时刻的速度和位置，就能算出一切过去和未来。这样一个观念说明了当时法国科学的理论倾向。神圣计算者就是放大的数学物理学家，一个好象置身在所考察体系之外，并把世界当作一出戏来看的人，从眼前的事件推算出以前以后的动作。的确，拉普拉斯相互本人就声称，天文学的问题必须看作是“一个大的力学问题，重要的是把一切经验主义尽量地从天文学里面赶走。”

生物学家邦尼特稍早一点在心理学领域内也曾提出过类似的观点。他说，如果有什么神灵能够分析出荷马脑子里所有纤维的作用，他就能照这位诗人所想象的一样把《伊利亚特》描述出来。可是数学家孔多塞（Condorcet 公元 1743—1794）看出把这种观念扩大到人的范围是有缺点的。他在公元 1782 年写道：物理的、有机的和人类的世界：

“在一个非我族类的人看来，原则上是等同的；他研究人类社会就象我们研究水獭和蜜蜂一样……但是在这里，观察者却是他所观察的社会的一部分，而真理只能通过判决、监禁或者贿赂来找到。”

古怪的是，差不多就在拉普拉斯提出他的神圣计算者见解的同时，人们已经看出观察既离不开观察的对象，也离不开观察者。从十七世纪以来，天文学上就知道不同的观测者观测同一实体，得到的结果常会有少许差异。英国的皇家天文学家内维尔·马斯基林曾经辞退他的一个助手，因为他们的观测总有那一点细微的差异，而他认为是这位助手弄错了。到了十八世纪末，人们开始懂得观察者和仪器本身都存在着误差，所以设计一些方法把几次观察结果平均起来，以取得最准确的测量结果。其中一个最有名的叫做最小二乘方，是勒让德尔（Legendre，

公元 1752—1833) 在公元 1806 年和高斯 (Gauss, 公元 1777—1855) 在公元 1809 年发展起来的。高斯和拉普拉斯试行证明这个方法将不受任何观察者的影响, 而获得真正“客观的”测量, 但是他们在这个问题上没有能得出任何可靠的结论。

当法国人在发展天文学的理论时, 英国人则致力于重要的观测和实验工作。法国人当然也有他们的观察家, 但是他们的工作不及英国人的工作那样重要。按照哥白尼的学说, 因地球的运动, 恒星的相对位置应当有所移动; 英国的第三任皇家天文学家詹姆斯·布拉德雷为了发现这种位移, 作了无数次的观测。他没有找到这种位移效应, 但是他在公元 1728 年却发现所谓光行差, 即由于地球的公转和光从恒星到达地球需要一定的时间, 所以每恒星一年走的是一个小小的视椭圆。后来在公元 1748 年, 他又发现所谓地轴的章动, 即地轴在空间的一种旋转的摆动, 这种摆动被加上较大的岁差摆动, 这就又使恒星的方位产生一种视变化。

第五任的皇家天文学家尼维尔·马斯基林在公元 1774 年测量了地球的质量。他在珀斯郡一座相当陡峻的花岗岩山的两面, 测量了测锤线因山的引力吸引而偏离垂直线多少。马斯基林从山的体积和花岗岩的密度算出山的质量, 这样再比较地球和山对他的测锤线的拉力, 就能得出地球的质量。他发现地球的平均密度大体上的水的 4.5 倍。这同样的问题还由一位富有的业余科学家亨利·卡文迪许通过实验作了研究。他采用的方法是剑桥大学的一位教会人士约翰·米歇尔约在公元 1750 年向他建议的。卡文迪许把两只小铅球分别系在一根直棍子的两头, 并用一根细线把棍子从当中吊起来, 他然后用两只大铅球去靠近小铅球, 并通过对细丝所引起的扭曲, 来测量大球与小球之间的引力吸引。把这样测量来的力和地面的引力比较, 卡文迪许就得到了地球的质量和密度数值。他找出地球的平均密度是水的 5.3 倍, 这个数字和近代的估计是相近的。

在这以前, 天文学家主要研究的是太阳系组成星体的运动和布局, 而那此恒星则被看作是一种使行星运动测量起来方便的球形天图或者背景。但是在近代的早期阶段, 人们对恒星的性质、布局和可能运动的研究, 越来越多地注意起来。到了十八世纪, 恒星天文学这个新领域的扩展就达到了高潮。哥白尼曾经为了说明没有恒星视差, 而不得不把传统的第八重恒星天放在离太阳系星体很遥远的距离。托马斯·迪格司在公元 1576 年阐述哥白尼的学说时, 放弃了第八重天的观念, 而设想恒星天界是无限的, “点缀着无数的光线, 并且升至无穷尽的高度”。布鲁诺后来则设想无限的天空中有数不尽的恒星, 每一颗恒星都是一个行星系而恒星就是太阳。这个见解在十七世纪流行得最广。温索尔城的一位牧师威廉·德勒姆在他的《天文神学》(公元 1715 年) 中写道, 关于宇宙一般公认的学说:

“在太阳和行星的体系上和哥白尼的学说是一样的……但是话又说回来, 哥白尼的假说设想恒星界是宇宙的界限, 而且离宇宙的中心太阳都是同等的距离, 而现在的新体系则设想除掉我们居住的太阳系之外, 还有许多别的太阳和行星形成的体系; 也就是说, 每一颗恒星都是一个太阳, 有一个行星体系环绕着, 包括一级和二级的行星在内。”

如果行星环绕太阳形成一个体系, 那末分布在宇宙空间的恒星说不定形成体系, 或者形成一系列的体系, 看来是可能的。这样一个见解首先是由德勒姆的业余天文学家托马斯·赖特在公元 1750 年提出来的。赖特设想太阳和银河系的恒星形成一个巨大的恒星系, 全都环绕一个共同的中心运行。赖特认为恒星系的中心说不一定有一个很大的天体, 就象太阳在一个小得多的规模上是太阳系的中心一样。赖特的学说为德国哲学家伊曼努尔·康德 (Immanuel Kant), 公元 1724

—1804)所发展。康德在公元1755年提出星云是象银河一样的庞大星系,而且宇宙内所有的恒星系可能都环绕一个共同中心运动,并组成一个更加广大的体系。康德设想宇宙开始时是处于混沌状态的物质微粒,微粒具有吸引和排斥的特性,通过吸引而凝成天体,又通过排斥使天体以旋涡式运动起来,从而形成太阳系、恒星系,并在最后形成广大的宇宙体系。

这些假说引起了某些观测天文学家的注意,其中最著名的是威廉·赫舍尔(William Herschel, 公元1738—1822)。赫舍尔生在德国汉诺威城,后来到了英国,于公元1757年定居下来,在汉诺威卫队的乐队的里工作。他很快就在天文学上出了名,到公元1782年乔治三世给了他年俸,令他担任御前天文学家。赫舍尔在制造望远镜方面很精巧,制作了在当时称做巨型的望远镜,有些出售,有些自用。赫舍尔靠这类仪器系统地研究了恒星在空间的运动和分布,这在当时还是个崭新的领域。他把自己年得见的半部天空分为若干区域,详细勘察,记下每一区域恒星的数目和特点。这类的勘察赫舍尔共作了四次,他称之为“巡天表”。在制订第二张表时,他于公元1781年在土星之外发现了另一颗行星,就是天王星。他在这张表里还记载了269对相互环绕的恒星,这好象表明引力在恒星系里和在太阳系里同样地在起作用。他的最完全的表,即第四张表,于公元1783年开始制定。在这张表里,赫舍尔假定所有恒星的本身亮度都是一样的,因此一颗恒星的视亮度可以看作是离开太阳远近的测量。赫舍尔观察半部天空不同区域里恒星的数目和亮度,后来发觉恒星不论在距离或者方向上都不是对称地分布在空间里的。在空间的某些地区有恒星团,其中最显著的就是银河,它的形状就象个饼子或者盘子。赫舍尔设想银河系的恒星都环绕一个共同中心转动。他发现太阳相对别的恒星是在运动着,因为他观测到太阳系前面群星的分布在散开,而太阳后面群星的分布则相互在会集拢来。

赫舍尔认为多数的恒星,除掉双星系外,都有其行星系,而多数的星云都是象银河系一样的恒星系,或者是处在恒星系形成过程中。赫舍尔遵照康德的设想,把自己观察到的两千个星云分为四类,以显示一种演化程序。照赫舍尔的说法,最初形成的是不规则的、明亮的弥漫星云,它的成分是“某种我们不知道的发光流体”而星团就是从这些流体凝固起来的。这些星团又演变为饼状或盘状的星云,就象我们的银河系,而最后由于引力的吸引,这些星云也将会变为球形。

威廉·赫舍尔在恒星天文学方面的研究往往是单独进行的。那些购买他的望远镜的人,大部分都不去研究恒星,这可能是因为他们主要都属于十七世纪所树立的业余天文爱好者的传统,而且都在这个时期所开辟的望远镜行星天文学的领域内进行工作。恒星天文学从十九世纪中叶起才吸收越来越多的观测者,但在当时,赫舍尔的工作主要是由他的儿子约翰·赫舍尔(John Herschel, 公元1791—1871)继续下去。约翰从公元1834年到公元1838年在开普敦观察了他父亲所没有看到的南部天空的恒星。

第二十六章

燃素说与化学革命

当自然哲学在将近十七世纪末开始表现出停滞不前的状态时，新生的化学科学遭到了严重的倒退。波义耳以及十七世纪六十和七十年代兴盛起来的英国医学化学家学派，都没有能建立起一个化学传统，他们的成就也没有能引起紧接在他们之后的时代应有的注意。威廉·沃顿（William Wotton）在他的《古代与近代学术回顾》（公元 1694 年）里曾注意到医学化学受到当时科学衰退的影响最大。沃顿写道：

“对于这些东西（各门科学）的‘时代心情’同二、三十年前的情况显然有所改变……才智之士的讥讽大大挫折了那些富有的人和爱好学问的人的热情，从而使生理学的研究开始在医生和工匠中间缩小了。”

当时的“才智之士”对于科学的衰退丝毫不负责任，因为他们对皇家学会的讥讽，远不及较早时期斯特布从政治上和意识形态上对科学家的攻击严重，而斯特布的攻击也收效甚微。而且，在有丰特列尔那样作家支持科学运动的法国，科学的衰退也同样显著。

当英国的化学学派在将近十七世纪末衰落下来时，德国的医疗化学学派却复兴起来，产生了燃素学说。医疗化学家们曾经设想化学物质含有三大元素：硫为易燃的元素，汞为流动性和挥发性的元素，盐为固定和不活动的元素。美因茨大学的一个医学教授约姆·贝歇尔（Joachim Becher，公元 1635—1682）略微修改了医疗化学的学说，于公元 1669 年主张固体的泥土物质一般含有三种成分：第一、“石土”，存在于一切固体中的一种固定的土，相当于早期医疗化学家的盐元素；第二、“油土”，存在于一切可燃物体中的一种油性的土，相当于硫元素；第三、“汞土”，一种流动性的土，相当于汞元素。贝歇尔主张一切可以燃烧的物体含有硫质的、油性的“油土”，它在燃烧过程中从它与别的土的结合中逃了出来。

燃烧和锻烧的过程因此牵涉到化合物分解为其组成部分的过程，在最简单的情况下也就是分解为硫质的“油土”和固定的“石土”。在理论上，简单的物体不能发生燃烧，因为含有“油土”和另一种土的物质必然是化合物。德国哈雷大学的医学与化学教授格奥尔格·恩斯特·斯塔耳（Georg Ernst Stahl，公元 1660—1734）于公元 1703 年把贝歇尔的“油土”重新命名为“燃素”，这就是“热的运动”或“火的运动”，也就是“硫质的元素”和“油性的元素”。金属是灰碯与燃素的化合物，加热释放了燃素而剩下灰碯。总的说来，燃素为一切可燃物体的根本要素，油、脂、木、炭及其他燃料含有特别多的燃素。当这些物体燃烧时，燃素便逸出，或则进入大气中，或则进入一个可以与它化合的物质中如灰碯，从而形成金属。

这样一种锻烧和燃烧的理论，包括了大量早期的医疗化学家以及他们以前的

炼金士的基本见解，那些人都认为物质一般为物质与灵气所构成，可以用火炼的方法而使其分离，当物质加热时，灵气便从物质中逸出。十六世纪时，人们清楚地看出，在某些情况下，特别在金属锻烧的情况下，残剩的物质或被称为“死的物体”，都比原来的物质要重。在解释这种现象时，人们假定物质的灵气根本没有重量或甚至具有正的轻量，因此当物质丧失其挥发的或灵气的部分时，便变得更重了。毕林古邱在他的《烟火制造术》（公元 1540 年）中提出这样一种见解：

“铅在用火除去其水和空气成分之后……就象一个只剩它自身而完全死了的东西一样倒下来，因而变得更加重了，这就象死去动物尸体所显示出来的一样，它事实上比活着时要重得多。”

燃素说以一种更加复杂的形式对金属的锻烧成渣现象提出一个类似的解释。燃素说者假定金属为化合物，在锻烧时分解为其组成部分，即重的灰渣和气体的燃素。燃素说是因斯塔耳而流行起来的，但斯塔耳并没有把燃素说的这种含义明白表示出来，即燃素具有一种负的重量或正的轻量，如同亚里士多德宇宙论里的气元素和火元素那样。但是他的一些信徒却这样说了。法国南部了科学社团特别是迪戎和波尔多克斯的那些学会，都广泛讨论了燃素说，它在蒙彼利埃的医学院特别有影响。十八世纪六十年代，蒙彼利埃医学院的教授加勒里尔·文耐尔（Gabriel Venel，公元 1723—1775）公开宣称燃素具有一种正的轻量。据传他曾经说过：

“燃素并不被吸向地球的中心，而是倾向于上升，因此在金属灰渣形成后，重量便有所增加，而在它们还原时重量就减少。”

这样一种思想，表明化学在十八世纪中叶同物理学及机械论哲学离得多么远，因为在物理学上人们通常承认地球上的一切物体都被引力吸向地球中心。

在十八世纪的下半叶，英国的化学家，特别是约瑟夫·布莱克、亨利·卡文迪许和约瑟夫·普利斯特列普遍都接受了燃素说，不过他们进行的实验工作却注定要推翻燃素说和古希腊关于自然物质是由土、水、气、火四大元素所构成的学说。土已经不再被普遍认为是一种元素了，因为人们认识到有多种土。但是水、气、火仍然广泛地被当作是元素，实际上燃素有时被当作就是火元素，或者更广泛地被当作是火的激发素。早在十七世纪，赫尔蒙脱就把气体想象为不同于空气的元素物质，但是他的后继者却把气体当作仅仅是元素空气的各种不同形式，例如波义耳曾经称之为“虚构的空气”。现在到了十八世纪中叶，布莱克证明有一种气体，二氧化碳，或他叫做的“固定空气”存在，其化学性质和空气不同。他于公元 1754 年证明碳酸镁加热后失去重量及大量气体，并且证明同量的碳酸镁溶解于种酸液里，也会丧失同等的重量和气体。布莱克进一步还证明碳酸镁加热后所剩下的残余，即氧化镁，象碳酸镁一样，在加酸后产生同样的盐，但又与碳酸镁不同，并不放出气体。还有，他指出氧化镁的酸液里产生一种可溶性碳酸盐的沉淀物，例如苏打，它与最初制造氧化镁所用的碳酸镁在重量及成分方面都相同。因此，看起来碳酸镁以及一般碳酸盐好象都是一种碱，例如象氧化镁同有重量的气体即“固定空气”的化合物。在加热时，碳酸盐所失去的并不是无重量的和不可捉摸的燃素，而是一种十分明确的化学物质“固定空气”；它具有重量并可以分离和研究。布莱克在考察“固定空气”的性质时，发现它被苛性碱吸收而空气则不被吸收，而且它并不有助于燃烧和呼吸，而空气则能帮助燃烧和呼吸。

布莱克的研究引起了其他英国化学家对气体的化学性质问题的注意。亨利·卡文迪许于公元 1776 年发表他用稀酸液对金属的作用制出他称做的“可燃空气”，即氢，以及用强硫酸和硝酸分别作用于金属制出“硫气”和“硝气”。卡文迪许为了分离这些气体，发展了集气槽，这种集气槽早些时候曾经被其他人特别

是黑尔斯采用过。他用一只瓶装满了水，把它倒置在水槽中，而把气体的气泡放进瓶内，使气体将水排出并把瓶子装满然后加以封闭。如果气体能溶解于水，卡文迪许就用水银作为槽内和瓶内的液体，这种方法由他的同时代人约瑟夫·普利斯特列作了显著的发展。普利斯特列于十八世纪七十年代发现了好几种气体并用集气槽分离了它们，如氨、氯化氢、一氧化二氮、一氧化氮、二氧化氮、氧、氮、一氧化碳和二氧化硫。瑞典的药剂师卡尔·席勒也在同时独立地沿着同样的途径进行研究，比普利斯特列略早一点发现了氧气。席勒是最先认识到这种发现的重要性的一个。他于公元1777年指出空气不可能是一种元素物质，因为它由两种气体即“火空气”或氧同“浊空气”或氮所组成，其体积据他的估计为一比三。然而，席勒仍坚持燃素说。在席勒看来，“火空气”或氧的功用在于摄取燃烧物质所给出的燃素。能够这样被吸收的分量是有限的，因此在密封的空间里，当氧为燃素所饱和的时候，它就不再有助于燃烧了。

这时在法国，安东尼·拉瓦锡正在沿着颇为不同的途径进行研究。他系统地批评了传统的化学理论。拉瓦锡是十八世纪法国的一个典型科学家。他得过一个法学学位并精通好几门学科。他当过法国税务总局的税务员，后来被任命为国家火药厂的管理人。拉瓦锡最早的化学研究从公元1769年开始，当时他证明同范·赫尔蒙脱以及他的前辈的信念相反，水不能转变为土。这一信念是根据煮开水的玻璃瓶内积有一层土一般的沉淀这一事实来的。拉瓦锡证明煮水的玻璃瓶丧失了重量，而丧失的重量恰好等于沉淀的重量。因此类似土的沉淀来自玻璃瓶而不是水里。后来在公元1772年拉瓦锡重复了一些在燃烧方面所作过的实验，证明非金属如磷以及金属如锡在空气中燃烧后增加重量。在拉瓦锡看来，重量的增加可能是由于吸收空气的缘故。他于是读遍并查阅了他的前辈们有关吸收气体或放出气体实验的著作。他看出不同的作者对于同一系列事实往往给以不同的解释，从而产生了这样的见解，认为现在应当批判地重复许多以前的实验，才能在不同解释之间作出抉择，或者用一种崭新的理论去代替它们。拉瓦锡在他的《日记本》里写道：

“在我叙述了空气从物质中释放出来以及空气与物质结合的全部历史后，这些（解释上的）不同就会充分显示出来。这个目的重要性促使我全面地从事这一工作，因为我觉得这注定要在物理学和化学上引起一次革命。我感到必须把以前人们所做的一切实验看作只是建议性质的；为了把我们关于空气化合或者空气从物质中释放出来的知识，同其他已取得的知识联系起来，从而形成一种理论，我曾经建议用新的保证措施来重复所有的实验。”

拉瓦锡的这一条写于公元1772年或后一年，表明他在开始他的关于这个问题的主要实验工作若干时间以前，就已经在化学理论上计划着一个全面的革命。这一条也表明他企图借重复过去人们做的实验工作，而不象卡文迪许、普利斯特列和席勒那样冒昧地开辟新的领域。拉瓦锡已经证明赫尔蒙脱认为水可以变土是错的。现在他于公元1773—1774年又着手否定波义耳关于金属在锻烧时重量增加是由于吸收了火微粒的论点。他重复了波义耳在一只瓶内使锡加热的实验，瓶子和瓶中的东西在加热前和加热后都过了秤。但是拉瓦锡在实验前先将瓶子封闭，发现加热后，虽然锡已化成灰渣，但重量却没有变化。因此，锻烧过程不可能如波义耳所设想的是吸收有重量的火微粒的过程。在打开瓶子时，拉瓦锡发现空气冲了进去，这样瓶子和瓶里东西秤起来就加重了。空气进入瓶内所增加的重量，和锡锻烧后增加的重量相等，因此灰渣看来是金属同空气的一种化合。

普利斯特列于公元1772年发现，在封闭空气中的金属在锻烧后至多吸收被

封闭空气体积的五分之一。拉瓦锡同样地发现当金属被锻烧时只吸收一部分空气，他认为这一部分在性质上不同于未被吸收的那一部分空气。当时拉瓦锡所知道的密度上与空气不同并为化合后所吸收的唯一气体是布莱克的“固定空气”或二氧化碳。拉瓦锡发现铅加热后吸收一部分空气而产生密陀僧（即一氧化铅），而密陀僧在与木炭一起加热后又重新变为铅，并放出一种他证明是“固定空气”的气体。他设想密陀僧放出的气体就是铅所吸收的气体，因此大气中助燃的成分就是“固定空气”。可是拉瓦锡发现磷不能在“固定空气”中燃烧，而且这种气体一般不助燃。因此他不得不放弃“固定空气”是导致燃烧和锻烧的大气成分的假说。拉瓦锡本人并没有比这更前进一步，虽则大气在燃烧中究竟起什么作用的问题仍然存在。

这个问题并没有因拉瓦锡开头只采用了重复旧的实验并加以改进的办法而得到解决；为了解决问题就得用卡文迪许、普利斯特列和席勒的新发现。普利斯特列于公元 1774 年访问巴黎，告诉拉瓦锡他发现一种他称之为“脱燃素的空气”它是将氧化汞加热后获得的。这种“脱燃素的空气”或现在叫做氧气，就是拉瓦锡一直在寻找的那个大气中的活泼成分。蜡烛在氧气中比在普通空气中燃烧得更亮，而动物也生活得更加长久。金属在锻烧时吸收了全部体积的氧，但只吸收空气体积的一部分。拉瓦锡在公元 1775 年开头认为氧是不含有通常污染大气杂质的纯的元素空气本身。但是席勒于公元 1777 年证明空气含有两种气体，即助燃的氧和不活泼的氮。拉瓦锡接受了席勒的见解，并于公元 1780 年提出大气体积是由四分之一的氧和四分之三的氮所组成。普利斯特列根据他所作金属在锻烧时吸收部分体积的空的实验，得出了更加精确的比率，即五分之一的氧和五分之四的氮。

最后拉瓦锡于公元 1783 年宣布了他在十年前所计划的化学理论的革新。拉瓦锡夫人仪式性地焚烧了斯塔尔和燃素说者的书籍，标志新化学的开始，就象帕拉塞尔苏斯约在两个半世纪以前焚烧了中世纪那些医学权威的书籍以开辟医疗化学的时代一样，拉瓦锡认为燃烧和锻烧的过程在任何情况下都是可燃烧物质同氧的化学结合，因为所形成物质的重量毫无改变地等于原来所用物质的重量。燃烧与氧化过程不能归之于所谓燃素的逸出，因为旧的学说要求燃素应当在某些情况下具有重量，在其他情况下则没有重量，而在另外一些情况下却具有一种正的轻量。过去曾经把热和光当作是燃素逸出的表现，因为在燃烧及锻烧过程中常有热和光放出来，但是由于热和光是不可称量的，发热和发光便是燃烧与锻烧化学过程之外的事情，这从反应过程中的重量变化就可以看出。物质在燃烧或锻烧过程中重量上的变化完全是物质同氧反应的结果。

拉瓦锡的化学革命并不很完备，因为他按照医疗化学家的方式，把氧提高到可作普遍解释的“本原”的地位，许多没有得到实验证实的性质他都归之于氧。按照拉瓦锡 看法，氧是成酸的本原，一切酸都是由氧和一种非金属物质结合而成。亨弗里·戴维证明这样一种假设是不正确的，因为他在公元 1810 年证明盐酸并不含有氧。拉瓦锡于公元 1784 年改革了化学上的命名以扩大他的革命，提出化学物质的现代名称。他在命名上改革同样是不彻底的，因为化学物质的名称虽则现代化了，但旧时炼金术的符号仍保留了下来。

在英国，苏格兰人约瑟夫·布莱克从一开始就讲授新化学，但是卡文迪许和普利斯特列这些英格兰化学家却始终燃素说。卡文迪许于公元 1781 年对于大气的组成作了一个精确的测量，他的测量结果与现代的估计十分相近，但他继续把空气当作是一种元素，不是如“席勒和拉瓦锡所设想的”为氧和氮的混合物。但

是普利斯特列在研究了氧以后，却接受了现代的观点。普利斯特列于公元 1775 年写道，虽然空气的元素性质是一个哲学上的公理，但是他的实验使他确信“大气里的空气不是一成不变的”。普利斯特列于公元 1781 年把氢与氧混合在一起使之发生爆炸，发现这些气体都用尽了，只剩下一点露水。卡文迪许重复了这一实验，发现一个体积的氧同 2.02 体积的氢结合就产生水。他的实验结果意味着水是氢与氧的化合物而不是一个元素，但是卡文迪许却拒绝接受这种关系。他假定水是一种元素，氧是去掉燃素的水，氢或则是燃素本身，或则是含有过多燃素的水。根据普利斯特列的实验，詹姆斯·瓦特单独地并且差不多在同时提出一个类似的关于水的性质学说。

这时候拉瓦锡正在寻找一种根据他的学说就由氢即一种非金属同氧相结合而形成的酸。他没有找到这样的酸，但是卡文迪许的助手布莱格登 (Blagden) 于公元 1783 年访问巴黎并告诉拉瓦锡，英国化学家从氢和氧获得了水。拉瓦锡草草进行了一次实验，证实了卡文迪许和普利斯特列关于水的组成实验研究的主要成果。拉瓦锡没有证明这两种气体结合的重量同所产生的的水的重量相等，但是他说：既然“整体等于其各个部分，在物理学和在几何学上都同样是正确的……我们觉得下这样的结论也是对的，即这种水和重量与用来形成水的两种气体的重量相等。”

拉瓦锡从他的实验得出了现代的结论：水不是一个元素而是氢和氧的化合物。现在拉瓦锡已经能够应付在他的新学说开始提出时所碰到的一个严重难题了。一种金属如锡或者铁在酸中溶解，就放出氢而形成一种盐。这种金属的灰渣溶解于酸而形成同一种盐，但并不放出任何气体。因此，当时人们普遍认为氢就是燃素或者是水同燃素的结合。酸使燃素从金属中释放出来但不从灰渣中释放出来，因为金属被设想是由灰渣和燃素所组成的。开头拉瓦锡不能根据他的新学说说明这些现象，但一旦弄明白水由氢与氧所组成之后，他就提供了另一种解释来代替燃素说。一个溶解于稀酸液中的金属摄取了存在在水里的氧，形成它的灰渣或氧化物，这种氧化物与酸结合而产生一种盐，同时释放出水中的氢。

现在，拉瓦锡的学说在概括化学的已知事实上远比燃素说要满意得多，因此燃素说很快就失去地位。土、水、气、火不再被当作是元素了，因为土有许多种，火可以分为热、光和烟，空气被证明是由氧和氮所组成，而水则由氢和氧所组成。拉瓦锡在代替传统观念给化学元素下定义时，比波义耳讲的更加确切：元素“是化学分析所达到的真正终点”。在他写的第一本现代化学教科书《化学纲要》(公元 1789 年)里，拉瓦锡以此为基础列举了大约二十三种可信的元素物质。但是，他在无机界元素中间也包括了一种他称为“卡路里”的物质，即所假定的没有重量的热质。

关于热的性质问题，英国化学家卡文迪许比拉瓦锡更接近近代，因为卡文迪许是很旧式的并且赞成十七世纪的学说，如他所指出的按照“伊萨克·牛顿爵士的意见”热不是一种物质而是组成物体的微粒的机械运动。总的说来，卡文迪许是十八世纪后叶英国化学家中理论上最保守的一个，而且由于不能使自己适应在他的实验帮助下建立起来的新化学，他在公元 1785 年前后就放弃了化学研究。普利斯特列同卡文迪许不一样，他不属于当时大体上保守方面的绅士业余科学家传统；他属于新的较为激进的不信国教者企业家的传统，但是他从来没有完全放弃燃素说。普利斯特列接受了空气不是元素而是一种混合物的见解，并且有一个时期认为水可能是一种化合物而不是一种元素物质，但是另一个燃素说学者詹姆斯·瓦特却把他拉回到传统的见解上去。当他于公元 1785 年发现氢，或他所设

想的燃素，作用于金属灰渣而产生水的时候，他对整个燃素说的支持曾经有一度动摇过。但是他假定氢是燃素与水的化合物而不是燃素本身，就把这项发现纳入燃素说里面了。最后，他在美国的晚年生活中，写了一篇捍卫燃素说的文章。

十八世纪晚期英国化学家许多理论上的保守主义，好象都是由于他们工作上的显著经验主义所致。他们作的实验向拉瓦锡证明空气与水不是元素，并且证明燃烧与锻烧过程基本上是物体和氧的反应。但是他们并没有从他们的工作中得出这样的结论，而当他们的实验的理论意义被人提了出来放在这些英国化学家们的面前时，他们却不能接受。在另一方面，拉瓦锡并没有作出什么有实质性的新实验而有所发现，甚至在这个问题上没有作出多少工作之前便计划了化学理论一整套革命。他重复了赫尔蒙脱和波义耳的实验，并比他的前辈从这些实验作了更多的推论，但是一直到普利斯特列告诉他关于氧的发现，而且一直等到他获悉卡文迪许关于水的成分的研究之后，才发表了他的理论。在重复英国同时代人的工作时，拉瓦锡使用的实际方法都显然不及卡文迪许和普利斯特列所使用的方法，但是他却在这些成果的基础上建立了一个崭新的理论体系。

这些人都相互看到对方工作的片面性，但是似乎都不能克服自己的缺点。拉瓦锡把普利斯特列的《关于不同空气的观察》（公元 1772 年）描写为“一本几乎不受任何种推理干扰的实验设计”。普利斯特列在一个或许是较为温和的答辩里，把拉瓦锡描写为一个“在许多方面是世界上的哲学界应当非常感谢”的人。普利斯特列在化学革命的插曲中也许是最古怪的人物。在早年时期普利斯特列写道：“我感到几乎在每一个问题上都有理由去接受通常被称作异端的那一面”。然而在化学上他却坚持传统的燃素说一直到死，而不赞成靠他的氧的发现而建立起来的那些新学说。实际上，除了化学外，他在政治上和宗教上都是反正统观念的，弄得他不得不于公元 1794 年离开英国到美国去安身，而在同一年，拉瓦锡这个化学革命家，却因为同法国政治上的保守分子，和税务总局以及旧政权的其他机构有牵连而被送上了断头台。这是何等的嘲弄啊！

第二十七章

十八世纪机械物质世界的进步观

生物有机体从简单的形式演化为复杂的形式，这一理论和人类从简陋的起源进步到文明社会的概念，看来在历史上总是相互联系着的。这两种见解都是更为普遍的发展哲学的特殊表现形式。象在前苏格拉底时期的希腊人阿拿克西曼德和德谟克利特的哲学中，以及古代晚期伊鸠鲁派的哲学中，都把人和其他有生命的东西看作起源于同样简单的有机体，或者把人类进步看作是生物进化的继续。同样，人类已达到其发展的极限的观点，在历史上则总是和生物物种大致上固定不变，而它们现在的形式是由一个有智慧的第一因创造出来的思想，联在一起的。这两种总的观点并不一定是对立的，因为德谟克利特和伊壁鸠鲁派都把宇宙中的每一世界和生息其中的生物看作是处在一个进化、退化然后又重新形成的过程中，因而宇宙的整个过程可以说是在一个固定的水平上摇摆着，而否定一个贯彻始终的进化的过程。

上述两种不同观点的一些因素，事实上在古代晚期已经结合成一种直到近代还为学者传统的一些人普遍接受的见解。这种见解认为人与自然从古到今大致都是一样，二者都根据同一的标准作周而复始的运动。人类的成就已达到了极限，动物和植物从智慧的第一因创造它们的那天起，就象今天一样。公元 121—180 年的罗马皇帝马可·奥里略（Marcus Aurelius）谈到人类的理性灵魂时写道：

“涉猎整个宇宙和环绕宇宙的虚空，看到宇宙的布局，展向无限的时间里，领会到万物的循环更始运动，对之作总的估计，于是觉察到，正如我们的祖先见到的东西不会比我们见到的更多一样，我们的子孙也不会见到什么新东西。”

一千多年以后，意大利佛罗伦萨的哲学家尼可洛·马基雅维里（Niccolò Machiavelli，公元 1469—1527）也表达了同样意见，他写道：

“上帝的意旨决定了世界上的一切都是时起时落的：一旦它们到达了完善境界而不能再上升时，它们必然要下降，相反，当它们已落到了最低程度时，它们就又会重新升上去。”

在普通人思想中，人类今不如昔的观念是很突出的，希腊语 *Presbiteros* 和拉丁语 *antiquior*，意思不但指“更古”也指“更好”，这种见解由于基督教的人类因原罪而堕落的教义而更为加强了。另一方面，匠人、工程师和对技术感兴趣的学者，看来对工艺的进步，甚至对科学知识的进步，是有相当明确的认识的。亚里士多德有对技术发展早已完成的看法，但亚历山大里亚的工程师，拜占庭的斐洛（Philo Of Byzantium），却注意到军事机器到他的时代已有相当大的改进，“这一部分是通过向早期的制造者学习，一部分是通过观察后来的试验而取得的。”罗马哲学家塞涅卡（Seneca，公元 2—65）很反对学者们贬低匠人的作用，他说：“波昔东尼斯几乎声称，即使是鞋匠的手艺也就是哲学家的发明”，他也认为即使是彗星的秘密，也必然有一天会为人们解释清楚。在近代的初期，当匠人们越来越有了文化而学者们越来越对技术感到兴趣时，这样的看法也就越来越突

出了。

在这些学者当中，最突出的是弗兰西斯·培根，他和他的前人一样，把火药、印刷术和罗盘针的发明看作是近代文明比古代文明进步的标志。我们前面已经讲过，培根还想应用他的新方法所获得的科学知识更加促进这个发展过程。培根认为技术可以不断向前发展，但科学知识却不是如此。新的自然哲学应是一种封闭的完善体系，和它注定要代替的古代自然哲学体系并没有什么不同。培根相信只要收集足够的事实，他本人就能建立一套完整无缺的自然哲学。他写道：

“单就理智的工作来说，我或许靠个人的力量可以完成它，但是供理智进行分析的资料范围非常广泛，用一个商业方面的比喻来说，必须有代理人和行商从各方面收集这些资料并输入进来。”

只要办到了这一点，“对自然以及所有科学的探索工作不用几年就可以完成”。

笛卡儿对科学也有同样的看法。事实上他认为他自己已经形成了一个崭新的自然哲学体系，因为他在结束自己的《哲学原理》时写道：“在这本论著所作的解说中，没有一个自然现象被遗漏掉”。他还把他的方法论准则当做科学方法的最完备的陈述。他不认为“人类理智还有什么别的途径可以发现一些更好的方法”。培根由于更加接近匠人传统，感到科学总是经过积累才有进步，并不认为自己提出的那些规则是最齐全的。培根写道：

“我只是声明我的一些规则会使科学研究完成得更快和更可靠。我的意思从来不是说它们不能有所改进。这完全不是我的思想方式。我不仅考虑心灵的职能，也考虑心灵和事物的密切关系。因此，我得承认发明技术（即科学），会象发明的进展一样地取得进展。”

笛卡儿只认为实际事物有进展。他说：他愿

“引导有才智的人们，按照自己的倾向和能力，为必要的实验作出贡献，并把研究的结果公诸于世，以促进科学的发展。这样，前人所做的事业就会有人接下去做，而把众人多的生命和工作联接起来，我们会比起个人的努力来共同前进得更远。”

近代初期科学运动中的哲学家，就是以这些方式，既表达了老的学者们所主张的体系的完整性，也表达了工匠传统积累的经验性。由于培根更接近工匠传统，所以比笛卡儿有较多的进步观念，他的方法反映了工匠的经验主义，事实上也没有完成他宣布过的新的自然哲学体系。笛卡儿由于倾向学者传统，的确完成了一个新的自然哲学体系，在内容和形式上有些地方都可以和古代哲学家媲美。初看起来，笛卡儿的宇宙好象是一个在进化过程中的宇宙：巨大的宇宙旋涡根据力学法则作用于宇宙的原始物质，直到宇宙具有我们今天所观察到的结构。但笛卡儿所强调的是，任何可能的原始物质世界必然会形成我们今天世界的那种结构，并且会以那种结构稳定下来，因为力学规律总是以同一方式在起作用。这样，任何可能的宇宙体系都注定要产生我们现在这样的世界：事实上也是唯一可能的世界。莱布尼茨更进一步，坚称这是一切可能的世界中的最好的，而且看不出有任何改进的可能。十八世纪英国哲学家波林勃洛克（Bolingbroke）和英国诗人蒲柏（Pope）把这种感情改写道道德家的格言，肯定地说“任何存在的事情都是合理的事情”。

十八世纪英国哲学传布到欧洲大陆时候，当时人们都认为牛顿最后建立了培根和笛卡儿所宣传的宇宙新体系的最完备形式。伏尔泰同意这种说法，在给英国的霍勒斯·沃波尔（Horace Walpole）的一封信中，伏尔泰说：“牛顿把他的工作推到人类思想从未达到的最大胆的真理。”在同一世纪，稍后的法国数学家拉

格朗日提到牛顿时说：“只有一个宇宙，而且恰巧历史上也只有一个人是这个宇宙规律的解释者。”笛卡儿不把宇宙看作是演化发展的产物，牛顿更是如此。对牛顿来说，上帝创世时所造出的世界完全和它现在一模一样，而且只是在创造为现在这样时，力学规律才发挥其维持宇宙机器的作用。牛顿认为有些天文现象不能用力学规律解释，但如我们前面说过的，拉普拉斯已经把这些缺漏都补齐了。

在十八世纪的这种机械宇宙里，没有什么东西是历史地逐渐发展起来的，地球上所有居住的人和生物从一开始就以现在的形式出现。伦敦的医生切恩（Cheyne）在公元 1715 年说：

“如果动物和植物不能从物质和运动产生出来，而且我已证明它们的确不是如此，那末动物和植物就必然从亘古以来就有了。”

动物和植物是机器，但是它们不能从物质和运动中自然产生出来。同整个宇宙一样，动物和植物一开始就由上帝创造出来，并且具有现在的形式，而且一切未来的后代也是现在这样的形式。当时人们都广泛地认为创世时的一切动物和植物都在它们自身里包含了同他们自己相似的小像，就仿佛是一个套着一个的盒子，包括所有的后代在内，每个新生的生物都是早先形成的小像的放大。

这样，世界和世界上生物的形成，和历史上的科学革命一样，在十七、十八世纪都被看作是一次就创造出来的，而且一旦完成之后，就永世长存，万古不变。当时，对人类社会形成也有类似的看法。布丹、霍布斯、洛克、卢梭虽各有各的说法，但都设想最初只有孤立的个人，后来他们集合在一起，立约以组成社会，从此永远如此相处。布丹于公元 1577 年，孟德斯鸠于公元 1748 年，又把这种机械论的思想推广到其他社会理论方面。他们声称一个地区的地理位置及其气候对一个民族的性格起决定性作用。处于北方的人精力充沛，但思想比较迟钝；越往南方走，人越来越聪明，但体力则越来越弱。人类不能逃避这些情况，因为这些都是环境从外面加诸于人的决定因素。

在这样的世界中，就不可能想象有人类进步和物种演化。但是把这种机械论的观点应用到另一领域即心理学以后，却有助于产生进步的观念，并促使后来的一些科学家去发展进化观的学说。机械论的哲学当时以两种方式应用到心理学方面。第一是认为人的精神活动由人体内部的生理活动所决定，这就意味着随着医学的进展，人类可能有所进步。其次是人类意识为外部条件的力量诸如教育所决定，所以改革教育，人类也就会进步。

第一种思想的流派起源于笛卡儿。他抽象地认为，一方面有物质和运动的机械世界，另一方面有包括人类灵魂在内的精神世界，这两都大体上是相互独立的，在人身上只是通过松果腺，两者才有所联系。但是谈到细节时，笛卡儿认为人的精神主要是由身体内部的机械作用所决定。在《方法论》里，笛卡儿告诉我们：

“心灵是如此密切地倚靠身体器官的条件和关系，以致要发现什么方法使人类变得比现在更加聪明和才智，我相信只有在医学中去寻找。”

这种论证的方式后来为十八世纪一个曾做过军医和柏林科学院院士的法国最早的唯物主义者拉美特利采用了。在他公元 1748 年出版的《人是机器》一书里，拉美特利说他观察到病人的心情常常取决于他身体状况，而且他说即使是砍了头的动物也能进行一些动作，正如缺少一个部件的机器还能进行不完全的运动那样。因此他主张正如肝脏分泌胆汁，脑子也分泌思想。他也相信人类的进步有赖于医学的进展。

这种理论的应用范围并不广，因而不象十八世纪另一种心理学学说在当时那样流行。这第二种应用于心理学上的机械论学说发展在十七世纪。洛克在公元

1690 年出版的《人类理解力论》就是这种学说的主要表述。洛克把人初生时的心灵比作一张还没有写字的白纸，感觉和外界的刺激在纸上留下印象和痕迹，这样就产生思想。他说：

“让我们假定心灵好比一张没有任何记号、没有记下什么观念的白纸。它是怎样才有了内容的呢？人的忙碌而不受约束的幻想是怎样千变万化地、在它上面画上那许许多多的思想呢？它从何获得理性和知识的全部材料呢？我用一句话来答复这些问题，那就是它是经验得来的。”

洛克的这种主张和机械论哲学完全合拍。伏尔泰曾经说：“没有人比他（洛克）更好地证明人不需要求助于几何学，就能具有几何学的精神。”

洛克的心理学学说引起三个重要问题的提出，这些问题十八世纪的哲学家们曾进一步加以研究。首先是从五个感官得来的视觉、听觉、味觉、触觉和嗅觉各种不同的印象怎样会结合起来成为一个单一感觉的问题；其次是如何把感觉转换为观念的问题；然后是观念的联系问题；洛克的朋友、都柏林三一学院的导师威廉·莫利纽克斯（William Molyneux），以及莫利纽克斯的同事乔治·贝克莱在他的公元 1709 年出版的《视觉新论》中都讨论过这第一个问题。莫利纽克斯和贝克莱，研究了许多先天失明后来又恢复了视觉的人的病例，他们发现最初恢复的视觉还很混乱，只是后来才逐渐识别到事物的形状大小和远近，这些人在眼睛的时候主要是根据触觉来对这些进行判断的。因此，他们两人得出了视觉不是先天和触觉相联系的看法，两者只通过经验才连起来，混合为单一感觉。

在法国，也有人同样研究失去一种或几种感官作用的人的病例，特别是后来做了《百科全书》主编的德尼·狄德罗（Denis Diderot，公元 1713—1784）。他在公元 1749 年发表了《论盲人的书信集》在公元 1751 年发表了《论聋哑人的书信集》。他写道：“我的目的可以说是分解一个人，看一看他能从他被赋予的每一种感觉器官中获得些什么。”和当时英国的那些心理学家一样，狄德罗也认为人基本上是通过触觉判别物体的空间关系，因此在看有一定距离的东西时，我们看到的形状就是我们以前用触觉识别到的形状。狄德罗对每一种感官作分别研究的计划为他的同时代人埃坦·孔狄亚克（Etienne Condillac，公元 1714—1780）继续做下去。孔狄亚克是格勒诺布尔市的一个官吏的儿子，他的著作《感觉论》发表于公元 1754 年。他把人设想为一具有五种感官之一的雕像。假定这只雕像只有嗅觉器官他就能接受嗅味感觉，他就会有嗅味概念，这种感觉印象的持续过程就会构成记忆，而这些概念的组合就会形成知识。因此他下结论说，在获得关于外界的知识方面，所有感官都是等价的，而只要具备一种感觉器官，“人就和具有五个感觉器官一样，产生各种理解能力”。别的感觉器官并不能为心灵增加新的任何其他属性，而只能使理解的范围有所扩大。从各种不同感官得来的印象，通过以经验为基础的机械混合作用而联系起来，但是这样产生的感觉及与之相应的观念，只是在程度上而不是在性质上不同于一个单一印象所产生的感觉和观念。

关于观念如何组合起来产生思想的问题，答案是各种观念由于内容相似而联系在一起，或者因为看来好象具有因果关系而连了起来，或者只是因为它们的时间或空间上恰巧先后出现或相互邻近。英国哲学家大卫·休谟在公元 1739 年出版的《人性论》一书中写道：“观念的联系只有三个原则，即相似性、时间或空间上的邻接性，或因果性的原则。”这样的心理原则，他认为和物理学的力学原则相应。他说联想作用“是吸引作用的一种表现，吸引作用在自然界也和在精神界一样，会产生一些非常的效果，并以各种不同的形式表现出来。”

对感官的印象如何变成观念的问题，英国医生大卫·哈特莱 David Hartley, 公元 1705—1757) 在公元 1749 年出版的《对人的观察》中曾试图提出一种解说，他认为作用于感官的一些刺激引起神经的振动，这种振动传到脑中就产生观念。这种振动在刺激消失后还持续于脑内，因而感觉和观念被记了下来。脑中一些剩余的振动也会联在一起，如果与之相应的一些感觉总是同时或一道产生，那末过了一些时候只需要这些感觉中的一个感觉，就能引起与之联系的整个一组感觉的剩余振动。这样，一个单一感觉就能在脑中导致整个一系列的联想观念。哈特莱相信他的这种学说可用在日常生活中改进人类的经历。他写道：

“对道德和宗教有特别重要意义的，是把情感和激情分析为合成它们的简单成分，其方法是把形成情感和激情的联想作用的步骤反过来进行分析。这样，我们就会懂得怎样去鼓舞那些好的情感和激情，同时去制止并根除那些有害和不道德的情感与激情。”

当时这种心理学的理论在法国也相当受到欢迎，并被用来作为改进人类命运的打算。法国的哲学家认为，人出生时的心灵要是如洛克所设想的是象一张白纸，那就意味着人在出生时都是平等的，而只是由于后天的教育和非服从不可的法律不同的社会环境影响，才成为不平等的。一个法国总税局的职员、哲学家爱尔维修 (Helvetius, 公元 1715—1771) 在他公元 1758 年出版的《精神论》中说到，他赞成洛克的感觉心理学，而不赞成笛卡儿的医学心理学，因为后者无法解释人的心灵为什么会有差别。另一方面，他说洛克的感觉心理学把“心灵的不平等归之于一个已知的原因，这个原因就是所受的教育不同”。爱尔维修因而认为要改进人类，只消改革立法和教育制度就行了：人类要“获得幸福和力量，唯一要做的事就是改进教育科学。”

十八世纪的法国哲学家就这样从当时的感觉心理学得出一个结论：人类的见解是受他们社会的立法和教育制度所支配的。但是他们也抱一种与上述命题相反的看法，即社会制度是受人类的见解所制约的。总之，用当时的一句话来说，就是“见解支配世界”。这样的看法也有其必然性，因为如果社会制度或社会环境完全支配人类见解或思想，那末所有的人就都会完全适应他们的社会制度，而社会改革就成为不必要的了。但是法国哲学家认为改革社会制度是可取的，所以又主张人的见解对社会制度的独立作用。在法国哲学家的理论中，是见解支配世界还是世界支配见解，这两种思想的矛盾始终没有能够解决。爱尔维修和狄德罗有一个时候感到可能有一个既支配社会制度又支配人类见解的第三种因素，不过他们没有能找到。一般的说，他们设想只要有一个“贤明君主”，他既能改正自己的见解又能改革自己国家制度，就摆脱掉困难了。因此他们就企图游说当时所谓的“开明专制君王”如腓烈大帝和喀德林二世，但不包括法国波旁王朝的君王在内，因为后者是专制而不开明的君王。爱尔维修把他公元 1772 年出版的第二部著作《论人》献给了俄国的女王喀德林琳二世，而狄德罗则亲自去圣彼得堡做她的顾问，同样，伏尔泰、拉美特利以及其他一些人也聚集在柏林腓烈大帝的周围。当然这些法国哲学家实际上同时应用了他们的两种观点。他们在《百科全书》里写文章提倡人的见解支配世界的思想，而当他们掌握了政权时，如在公元 1774 年做了路易十六世的财政大臣的杜尔阁 (Turgot)，他们就企图改革支配人的见解的社会制度。

在十八世纪，人的见解支配世界的理论是同进步的观念在法国同时发展的。两者都是反对我们这个世界是一切可能世界中最好的世界这一说法的表现，也是和通过启蒙运动促使人类前进的社会思潮有联系的。上面我们已经看到，用改革

教育制度来促进人类进步这一观点，是从十八世纪的静止的机械论心理学引伸出来的，而与之对立的观点，即认为人类进步取决于开明见解的进展和传播，则是从当时的机械论社会学引伸出来的。有些学者，如布丹和孟德斯鸠，深信民族特性为地理和气候条件所决定；另外一些人，特别是休谟，认为一个民族的特性是由其社会制度所决定；但他们的看法有一点是一致的，那就是除掉一些细节不算外，人类和世界作为一个整体一样，在任何时候和任何地点都是差不多的。休谟声称：

“人类在任何时候和任何地点差不多都是一样的，因此历史并不能在这方面告诉我们什么新东西。历史主要的用处只是发现人性的普遍原理。”

根据这种观点，丰特列尔就论证说，人类一定是由于千百年来知识积累才取得进步的。他认为我们没有理由设想古代的树木要大些，所以自然和人类在整个过去的时代都是一成不变的。既然如此，在现代人中必然有象荷马和柏拉图那样高大的人物，而且他们还能够更有所进步，因为他们可以从古人走完的地方开始。所以他写道，人类文明必然是不断前进的，因为至少“所有能提出的错误理论都已经被古人提出来了，在这一点上我们应该感谢古人。”

伏尔泰继丰特列尔之后号召人们要批判传统信仰，传播新发现的自然知识来努力促使人类进步。伏尔泰在公元 1756 年出版的《从查理大帝到路易十三的逝世》一书中，指出他这本书的主要内容是讲“技术和科学的进步”。他写道：我们可以相信，

“人类理智和工业将越来越进步，实用艺术将不断改进，使人陷入痛苦的罪恶以及造成人类灾难的有害匪浅的一切偏见，也将在所有国家统治者身上逐渐消失。”

法国鼓吹启蒙运动来促进人类进步的最重要出版物，是在公元 1751 和 1777 年间发行的大《百科全书》共二十二巨册。《百科全书》的主编狄德罗在公元 1750 年发表的编辑百科全书计划中提出这部书的目标是：

“把世界上所有分散的知识收集起来，构成一个普遍的思想体系，使过去人类所做的工作不致废弃，使我们的后代更有教养，并成为更有道德和更幸福的人。”

《百科全书》出版后，立刻产生巨大的影响，所以，哲学家们认为这一点就说明见解支配世界的论点。法国的首席检察官塞吉埃（Seguier）在公元 1770 年供称“哲学家们改变舆论，从而动摇了王位，并推翻了神坛。”

最后当公元 1789 年法国发生了政治革命的时候，哲学家都认为人类不断进步的前景已在眼前。孔多塞这个支持革命而为革命毁灭了的人，在公元 1794 年自己躲避起来时写了《人类精神进步史》，在书中声称：

“我的书末了将以推理和事实来说明人类的改善程度实际上是没有完的，这种改善程度今后将不受任何想要阻止人类进步的势力的影响，而且除了自然让人类住在地球上的期限而外，没有任何其他限期。当然这种进步可快可慢，但永远不会倒退；只要地球在宇宙体系中总占有同样地位，只要这个体系的普遍规律不在地球上导致总的毁灭，或产生一些变化，使人类不再能保存自己，不再能运用同样的能力，不再能寻找同样的对策，人类至少是不会倒退的。”

拉普拉斯早已指出太阳系在力学上是稳定的，因此看来人类的不断进步已经得到了保证。进步的概念看来在社会哲学方面已经牢固地建立起来了，而且它仍以演化论的面貌进入了各个领域。拉普拉斯在公元 1796 年提出了太阳系的演化

理论，而医生比埃尔·卡巴尼斯（Pierre Cabanis，公元1757—1804）又从公元1796年起发展了一种心理学理论，把人的精神能力看作是“人类发展史的产物”。公元1804年詹·巴帕梯斯特·拉马克（Jean Baptiste Lamarck，公元1744—1829）提出他叫做的《动物哲学》体系，这是近代关于生物进化的第一个重要学说。拉马克完全属于法国十八世纪的传统，事实上他被称为“法国十八世纪的最后一个哲学家”。他认为动物是根据“进步的规律”从低级形态演化为高级形态的机器。但是下面我们就会看到，他的体系很复杂，因为它包含了许多扎根于古代自然哲学的许多概念。和它相反，拉马克在英国的同时代人，比拉马克年长的伊拉斯谟·达尔文所提出的生物进化学说，更加是当时情况的直接产物。

在英国，进步概念的发展，是和这一概念在法国的成长平行的，不过在英国这一概念采取了神学的外表，丝毫没有反对教会的意味。基督教关于人类因原罪而堕落的教义，并不能导致人类在历史上的进步这一概念发展。但是另外还有一个教义，那就是认为有福之人死后所居住的天堂比地上世界无限优越，这一教义世俗化了以后就成为当时英国学术界的进步概念。弗兰西斯·培根曾经认为由于人类堕落而产生的一些坏结果，可以通过把他的方法应用到人的一般实际生活上而得到补偿，并且预见到工艺和技术即使不是无限的也有相当大的进步。我们前面已经说过，英国的皇家学会在早期曾采纳培根的发展科学计划，可是到了十七世纪末，皇家学会的人不得不承认“他们实现一系列的有益发明的计划已经遭到挫败”。

在这个时候，莱布尼茨的这个世界是一切可能世界中最好的世界的概念开始在英国流行起来。蒲柏的诗句“任何存在的事情，都是合理的事情”，就是这一概念的体现。当时技术进步的概念大致上已经破灭了，但一般的进步概念并未消失，而是宗教化了。英国散文家约瑟夫·艾迪生（Joseph Addison，公元1672—1719）于公元1711年间在他主编的杂志《旁观者》中写道：

“依照人类现在情况来看，一个人生在世上仿佛只是为了传种。他一旦后继有人，就立刻让位给他……（但是）无限智慧的上帝创造了显示他的光辉的人类，难道只是为实现这样卑下的目的吗？……如果我们不把这个世界看作只是为了进入身后世界的准备，并且相信世代相传、生死相继的有理性人类，只是在这个世界上接受初步的生存，今后还要转移，并在永生中昌盛，我们又怎样能从上帝创造人的工作中发现他的智慧的光辉呢？在我看来，一切宗教的思想，没有比人的灵魂可以无止境地逐渐进于完善境界这一思想，更令人心快，更使人有胜利感的了。……不但如此，看到了自己的创造日趋完美并逐渐接近他，而且在更大程度上近似他，面对着这种远景，上帝也会感到高兴。我认为有限精神能逐渐进步的这一思想本身足以消除一切低等人的妒嫉心理和一切高等人的蔑视心理。”

这样的概念当时在英国是很风行的。心理学家大卫·哈特莱（前面我们已谈到他的见解），在剑桥大学读书时就放弃神学，而转到医学方面去，因为他不能接受有罪恶的人要永受惩处的教义。他认为即使是这些人也必然在某一时候可以参预一切灵魂死后的普遍进步行列。在他的《对人的一些观察》一书的第二部，主要是谈神学的部分，他找出了有罪之人死后要暂时受到惩处的原因。他设想坏习惯在脑子中引起振动，这些振动会在灵魂中留下痕迹。这些痕迹会在死后一定的时期里持续下去，使灵魂“在有肉体时所做的恶事，得到罪有应得的惩处”。但这些痕迹终究会消失掉，因而“很可能所有的人最后都将得到幸福”。

哈特莱对伯明翰太阴学会成员的影响相当大，普里斯特利就印行了哈特莱

《对人的一些观察》的节本。太阴学会好像是十八世纪英国中部工业革命的参谋总部，它的成员对当时的技术进步和人类的总进步感受很深，它的两个成员，伊拉斯谟·达尔文和约瑟夫·普里斯特利因此把前面说的神学的进步概念世俗化了，达尔文把它应用到生物学方面而普里斯特利则应用到人类事务方面。普里斯特利在公元 1771 年出版的《政治基本原理》一书中，提出了和二十年后孔多塞的人类进步观极为相似的理论。他写道：

“人不需要几年功夫就能了解某一学科或科学整个过去的发展情况，而在人余下来的一生中，在他智力还很充沛的时候，他就可以进一步扩大这种了解。如果这样还感到一门学科或科学范围太大，对之了解不易……那还可以再详细地划分为若干子目。这样一切知识都可以分门别类，而由于培根说过的知识就是力量，人的力量事实上就会扩大；自然界，包括自然界的一切物质和自然规律，将会越来越服从于人的意志，人类的处境也会越来越舒适，人类的寿命可能会得到延长，生活会日益幸福并更能（而且我敢说更愿意）使别人也享受这种幸福。因此，不管世界开始时怎样，它结果必将成为一个我们现在还想象不出的乐园。”

伊拉斯谟·达尔文于公元 1794 年出版的《生命学》一书中，也应用了类似的概念来解释动植物种类的发展。达尔文写道：

“才智的哈特莱医生以及另外一些哲学家都认为，我们的不朽灵魂在现世生活中养成的某些行动和思想习惯永不改变，死后还将在未来的存在状态中继续下去……我要把这一卓越的概念应用到胚胎的发生或产生上面，应用到那些非常类似它们父母的形象或倾向的新生动物上面。”

这就是说，动物活着时所养成的习惯可以遗传给后代，并引起物种的发展。几年以后拉马克提出了一个类似的但更加充实的关于获得性状遗传的理论，认为一切有机体和人类一样，都将通过经验和积累而有所进步。伊拉斯谟·达尔文也和拉马克一样，认为在每一个有机体中都有一种内在力量促使生物演化为更高级的形式。达尔文写道：

“是不是可以大胆地想象，所有温血动物都是从一个有活力的纤维发展出来的，这个纤维由伟大的第一因赋与生气，赋与获得新的肢体的能力；这些肢体具有新的行动倾向，并受到应激、感觉、意志和联想的左右；这样，这些动物就具有了通过自己内在活动来继续求得进步的能力，并把所取得的进步一代代传下去以至无穷。”

伊拉斯谟·达尔文有一个概念是拉马克所没有的，那就是有机体是由于竞争和适者生存而演化的。和他的孙子查理·达尔文一样，他认为雄鸡发展了后爪，雄鹿发展了叉角是因为它们争夺母鸡或雌鹿而相互竞争所致。同样，植物是“为了永远要夺取地上的阳光和空气，并吸收土里的养料和水分”才发生变化的。这一具有经济学上放任主义气味的概念，后来为查理·达尔文所发展了，在维多利亚女王时代中叶的英国大为流行，并取得成果。

第二十八章

进化和生物的巨大链条

近代的生物学家从古代继承了关于有机世界的两个相当矛盾的观点，这两个观点都曾经为亚里士多德加以发展过。一个观点是把物种看成是不同等级的生物，在等级之间存在着比较大的不连续性，例如亚里士多德的动物等级只分十一类或者纲。另一个观点则是把各种动植物看作是一大串生物链条中的许多个环节，它们之间的层次不易察觉而且连续无间。在哲学上，这两种不同概念可以通过假定一个纲里面的最高动物，直接衔接着上面那个纲里面的最低动物而加以调和。但是在生物分类的实践中，这两个概念却是不能调和的，从而产生了两种不同的分类方法，即所谓“人为的”和“自然的”分类法。

人为的分类法采用少数几个、甚至仅仅一个特征，例如对生殖器官的性质，来进行分类，把有机体的物种分为不连续的和界限分明的类群。在另一方面，自然的分类法则着眼于把不同的生物种分为各个自然的科，生物之间存在着连续性，尽量地对一切可以找到的许多特征进行研究，以便确定某一个科之内物种的亲缘关系。这样的分类方法在对待已经发现的日益增多的动植物种时，是十分必要的。古代的狄奥弗拉斯图知道大约五百种植物，稍后的底奥司可里底斯举出了六百种。提出双名植物命名法的瑞士植物学家卡斯巴·鲍兴（Casper Bauhin，公元1560—1634）公元1623年描述了他自己知道的大约六千种植物。在下一世纪，瑞典人林耐自己分类的植物约有一万八千种，而在十九世纪初，居维叶在法国宣称当时已知的植物有五万个不同的种类。

在十六、十七世纪，强调有机界物种不连续性和等级次序的人为分类法，在天主教国家里较为流行，例如意大利的契沙尔比诺和马尔比基，而强调物种连续性和亲缘关系的自然分类法，则在新教的国家里较为流行，著名的有荷兰的洛比留斯（Lobelius，公元1538—1616），瑞士的鲍兴和英国的约翰·雷（John Ray，公元1627—1705）。在十八世纪这些倾向却倒了过来，瑞典的路德教徒林耐采取了人为的分类法，而法国博物学家们特别是布丰则采用了自然分类法。这样一种变化可能和下面的事实有关系，即路德教派的思想逐渐吸收了较早神学的一些成分，包括等级性概念，而十八世纪的法国哲学家则采纳了机械论哲学，把所有现象全都降到同一机械一致性的水平。

安得烈·契沙尔比诺（Andrea Cesalpino，公元1524—1603），是比萨大学的医学教授，后来成为教皇克莱门特八世的御医，他在公元1583年出版的一本《论植物》的著作里提出了第一个重要的人为分类法。契沙尔比诺采取了亚里士多德的观点，认为植物的最重要特点在于只有一个生殖灵魂。生殖灵魂起的作用是有机体的营养和繁殖，营养通过植物的根吸收，繁殖则通过果实器官。所以契沙尔比诺论证说根和果实器官应当在植物分类中视为主要特征，因为它们表明植物所具有的生殖灵魂的性质，这个灵魂把植物放在有机体等级的正确类别上。他

认为，苔藓和菌类没有生殖器官只有根；因此它们具有最低下的生殖灵魂，应当放在植物等级的最下层，是植物与矿物之间的一个环节。

马尔切洛·马尔比基在意大利的许多大学里当过医学教授，后来担任教皇英诺森特第十二世的御医，他在十七世纪时试图找出一个把一切有生物都纳入垂直尺度的分类方法。马尔比基对于哈维的血液循环学说以及由血液循环引起的呼吸作用问题感到很大的兴趣。他利用显微镜于公元 1660 年第一个看到蛙肺内连接静脉与动脉的毛细血管。然后他又对其他有机体的呼吸系统进行观察，发现丝蚕布满着许多管子，蚕就是通过这些管子吸进空气。他发现植物充满了螺旋状的空气小管，认为这些就是植物呼吸器官的一部分。根据这些发现，他认为生物呼吸器官的大小，同这个生物在有机自然界阶梯上的完善程度成反比。他把植物放在阶梯的最下层，因为植物遍身都是空气小管；其次是具有许多空气通道的昆虫；然后是具有较小的但仍然复杂的鳃系统的鱼类，最后是人和高等动物，居于阶梯的最上层，因为他们只具有一对比其他器官体积较小的肺。马尔比基的分类法并不怎样通行，关于动物的第一个重要分类是由约翰·雷于公元 1693 年按照亚里士多德的路线而完成的。

另一方面，契沙尔比诺的人为植物分类法的影响却非常之大。它所以吸引人，不但因为把物种看成是一个分为等级的生物阶梯在形而上学上有其正当的根据，而且也因为采用起来简单有效。契沙尔比诺的分类法只需要考察植物的一两个器官即根和果实。自然分类法的合理性在于它更多地反映了植物的客观亲缘关系，但是这些关系并不那么简单，需要考察和比较一切器官和特征——茎、叶和花以及根与果实器官。人为的方法因此更加广泛地得到采用；在公元 1692 年以后，当一个伦敦医生纳希米阿·格鲁（Nehemiah Grew，公元 1641—1712）发现植物进行有性繁殖的时候，契沙尔比诺的分类法便被普遍地采用了。继纳希米阿·格鲁的发现之后，一个图宾根大学的植物学教授卡默拉留斯（Camerarius，公元 1665—1721）于公元 1694 年指出，植物的雄蕊是雄性器官，而雌蕊则是雌性器官。因此，从植物雄蕊和雌蕊的性质和数目，就使得契沙尔比诺根据植物生殖器官分类的方法应用得更加地细致了。

这样一个分类方法被十八世纪最伟大的植物分类学家卡尔·林耐最广泛地加以应用。他是一个路德教派牧师的儿子，从公元 1741 年起在瑞典乌普萨拉大学担任植物学教授。林耐的自然观一个原始基督教虔信派信徒的自然观，而且他大部分时间都处于机械论科学思潮主流之外。他的主要著作《自然系统》于公元 1735 年出版，并在他的一生中重版了十二次。第一版几乎完全没有机械论概念，不过在最后的一版里他终于认为动物在原则上都是机器。林耐以毕生的精力从事当时被人们发现并从全世界带到欧洲来的大量新植物的分类。他把他所知道的植物分为纲、目、属、种，并用鲍兴所建议的双名制加以命名，以一个名称代表属，而以另一个名称代表种。雌蕊的数目决定一株植物应归入的目，而雄蕊的数目则决定它的纲，林耐就用这个方法把已知的植物分为二十四纲。虽则林耐主要是根据植物生殖器官这一个特征进行人为的分类，他对以许多特征为依据的自然分类法也感到兴趣。公元 1738 年他发表了关于这种自然分类的一个片断，不过他的主要影响是在物种的人为分类方面。

林耐对分类有一种热爱。他的自然系统不仅包括不仅包括动物与植物的各种序列，而且也包括不同的矿物和疾病。他甚至把过去的和当代的科学家按照军级进行分类，而由他自己任总司令。他按照十七世纪约翰·雷以及在他之前的亚里士多德的主张把动物分为六类，即四足类、鸟类、两栖类、鱼类、昆虫类和蠕虫

类。在他的著作的早期版本里，他把鲸列入鱼类，但是无论是约翰·雷或是亚里士多德都意识到鲸属哺乳类。他设想矿物是生长在地下的活物体。在《自然系统》的最后一版中，他用这样的话来概括他认为是有机界等级性层次的实质：“矿物生长、植物生长和生活，动物生长、生活和感觉。”

林耐是一个有影响的人物。他吸引了许多学生，他同他的学生到处旅行，探索一些偏僻地方的植物区系和动物区系。当时每一个勘探远征队通常都有它自己的博物学家。科克船长在他公元 1768—1771 年第一次航行时带着曾经跟林耐学习过的索兰德同行。在公元 1783 年林耐丧子以后，林耐的图书和搜集品都卖给一个伦敦医生史密斯，史密斯同两个朋友于公元 1788 年成立了目的在于研究自然史的林耐学会，而林耐的图书和搜集品终于归这个学会所有。

在法国有一股强烈反对人为分类的倾向；这种倾向特别表现在巴黎皇家植物园园长乔治·布丰（Georges Buffon，公元 1707—1788）和特里亚农皇家植物园园长贝尔纳德·德·朱西厄（Bernard de Jussieu，公元 1699—1777）的工作上。朱西厄把他管理下园内的植物按照一种自然系统排列，这种自然系统是他从林耐发表的断片发展起来的。他本人没有发表什么东西，但是他的侄子安东尼·劳伦特·德·朱西厄（Antione Laurent de Jussieu，公元 1748—1836）继续了他的叔父的工作，在公元 1789 年发表了这种分类法的详细内容，表示怎样将较小的植物类群分为自然的科，如草类、棕榈、百合等等。朱西厄叔侄的工作在十九世纪由一位日内瓦胡格诺教徒的植物学家奥古斯特·德·堪多（August de Candolle，公元 1778—1841）同他的儿子阿尔方斯·德·堪多继承了下去。

当朱西厄叔侄在研究植物的自然种族时，布丰和他的助手道本顿（Daubenton，公元 1716—1800）也在用比较解剖结构的方法研究动物的亲缘关系。布丰认为一切人为的分类都是“形而上学的一个错误”。他写道：

“错误在于不了解自然的过程，这种过程总是循序渐进的……我们能够使人无法觉察地逐渐从最完善的生物逐渐下降到最不具备形状的东西……我们将发现许多中间物种以及一半属于这一类，一半属于那一类的物种。这种不可能指定一个地位的东西，必然使得建立一个普遍体系的企图成为徒劳。”

他把这些话写在他的主要著作《自然史》的导言里，这部书的头三册于公元 1749 年出版，陈述了他的总论点。从公元 1753 年至公元 1767 年他发表了关于四足类动物的部分共十二册，而从公元 1781 至 1786 年又出版了关于鸟类和矿物的部分共十册。最后他的学生贝尔纳德·拉塞佩得（Bernard Lacepede，公元 1756—1825 在由布丰逝世后于公元 1788 年至公元 1804 年间又出版以另外八册关于蛇类和鱼类的部分

布丰认为在自然界没有不连续的纲、目、属、种，这些都是人的思想创造而且完全是人为的。自然界只有个别的物种，而且相互之间只显出极其微细和连续的层次。但是他发现把号称不同的物种进行杂交一般是不育的，所以他接受了一个物种是一群可以相互受胎的个体的见解。在研究动物物种之间存在的类似性和亲缘性时，布丰逐渐地看出现在的不同物种可能是从一个共同的祖先传下来的。在讨论他所知道的两百种不同的四足兽时，他提出这样的意见，既然它们之间有许多非常相似，可能它们全部是从大约四十种原始类型传下来的。后来他认为它们可能全都起源于一对亲体。他论述道：

“在动植物里面，且不说有好几个物种，即使只有一个物种，是通过直接遗传过程从别的物种产生出来的，只有这个论点一旦成立，……那末自然

的力量便不再能加以限制了，而且只要有足够的时间，大自然就能够多一个原始的类型发展出一切其他的生物种类来，这样设想应当是没有错了。”

布丰并不是一个现代意义上的进化论者；他并不认为比较复杂和完善的动物是从简单和原始的种类逐渐发展起来的。相反，他相信各个不同的生物物种大都是—种或几种较为完善的原始类型退化的结果。驴子是退化的马，猿猴是退化的人。猪腿上有它并不使用的侧蹄，布丰认为这表示猪是从一个曾经使用过的这种侧蹄的较为完善的类型退化来的。

生物物种可能通过退化过程而发生变化，这种思想一点也不新奇，柏拉图就提出过这种见解，而且在人类堕落的教义中得到神学的认可。但是，在十七世纪晚期和十八世纪初期，这种见解是不受欢迎的；还有，认为任何物种可能绝种的想法也是如此。人们相信，物种从创世以来必然就固定不变，因为任何进化、退化或绝种都会使生息在世界上的巨大生物链条中留下空隙或者重复的等级，从而破坏世界的完善性。约翰·雷于公元 1703 年说，假如化石是绝种动物的遗骸的话，“那就可以推论，有许多种类的介壳鱼类在世界上绝灭了。这是哲学家们至今都不愿意承认的事，认为任何物种的灭亡都会使宇宙残缺并成为不完善的，然而他们相信，和神圣的上帝对于保全和维护创造物是特别关注的。”莱布尼茨的流行格言，认为我们的世界是一切可能的世界中的最好的，同样意味着没有一个物种能够发生退化或者绝种。莱布尼茨自己并不否认化石是以往生物的遗骸，但是他设想地球上灭绝的物种在别的行星上或在别的行星系上仍然在繁殖，以此摆脱困境。

前面我们已经看到，十八世纪中叶的法国哲学家否定了世界是完善的任何想法。他们感到至少在社会范围内可以提出某些改进，而且人类的进步则是事实。有些法国哲学家还反对物种形成一个生物分级阶梯的想法，因为他们反对这里面包含着的等级概念。伏尔泰在公元 1764 年出版的他的《哲学辞典》中写道：

“当我第一次阅读柏拉图的观点，读到存在着这种万物从最轻微的原子直到上帝的等级时，我感到十分钦佩。但当我更仔细地加以考察时，这个巨大的幽灵便幻灭了。……开头我看到从无生物到生物，从植物到植虫，从植虫到动物，从动物到妖怪，从这些赋有一种轻如空气的身体的妖怪到无形的物体，最后到天使，不知不觉地一步一步地过渡，我的想象是十分愉快的。这种等级性使那些善良的人们很喜欢，因为他们幻想从这里看到教皇和他的红衣主教们，在看到红衣主教下的大主教，和主教看到再下面的教区长、牧师、副牧师、主祭、副主祭，然后是僧士，最后到托钵僧为止。”

伏尔泰认为宇宙间不可能有一个连续的生物链条，因为在天体之间不分等级。在中世纪的世界观里，天体及其天使推动者当然都是按等级排列的，但是早期的近代天文学以及加尔文主义者都各自推翻了天体的等级性，因此伏尔泰现在可以引用天体的一致性作为反对等级宇宙整个概念的论据。

那些怀疑亚里士多德把物种分为直线等级并主张进步思想的法国哲学家，为了找他们的进化论思想根源，越过了亚里士多德并追溯到苏格拉底以前的希腊人贝奴亚·德·马耶（Benoit de Maillet，公元 1656—1738）。在公元 1749 年出版的一本遗著中提出了一个同阿那克西曼德相类似的学说，他设想一切陆地动物都由鱼类改变习惯和环境影响而来。鸟类来自飞鱼，狮子来自海狮，而人则是人鱼变的。莫泊丢于公元 1751 年恢复了原子论者的说法，认为各个不同的物种起源于生命单元或原子的不同的偶然结合。狄德罗接着在公元 1754 年提出了恩培多克勒学说的翻版；根据这个学说，各种不同的动物器官如头、四肢等等都是偶

然地凑合在一起的，因而产生一些形怪状但不能长久生存下去的动物，以及今天显得更能生存的物种。但是，法国机械论学派哲学家的主要兴趣却不在生物学方面。他们没有能得出一个满意的机械理论来说明物种的发展，也没有对他们的进化学说作出任何详细的阐述。

尽管有些法国哲学家否定了生物种构成一串等级的生物链条，这种想法在天主教法国仍然是很顽强的，而且被结合到一些十八世纪的进化学说里面。进步的概念被嫁接到进化的概念上，使人们逐渐地把生物的链条终于不再看成是物种的一个静止等级，而是物种随时间进化的一个由下而上的阶梯。首先创立这个说法的是詹·巴帕梯斯特·罗比耐（Jean Baptiste Robinet，公元 1735—1820），他一度是耶稣会教徒，后来转攻自然哲学并发表了一部关于自然哲学的五大册著作（公元 1761—1768）。

罗比耐坚认生物物种形成一个充实和完整的生物直线阶梯，没有任何的空隙和级次上的重复。他写道：造物主“造出所有能生存的植物品种；动物界一切微细的级次，都尽量地塞满了动物。”但是这根链条并不是一个静止的垂直阶梯，一切生物，他断言道，都“依靠其内部力量所能够给予其自身的，或者由外物对于它们的作用，而有所增益。”他认为这种内在的自我分化力量是“生物最本质的和最普遍的属性……是一种变好的倾向。”这样一种内在的力量是精神之火，这种生命力在人类中间表现在统治世界的开明见解的进展上。罗比耐写道：

“人的心灵必须受普遍法则的支配，我们看不出有什么东西能阻止它的知识进展，或者阻止它的发展，或者窒息这种精神活动，它一切都是火啊！”同样，动物从外物所受到的增益，就如同人受他的环境影响一样；法国哲学家们的这种学说是根据他们的心理学学说来的。

象布丰一样，罗比耐没法不回过头来从下到上地看一下这个生物阶梯。他不象布丰那样认为生物的变化是从高级到低级的一种退化，但是他却在最低等生物里面寻找人的形态和属性。他写道：“鉴于个体的序列是生物朝着人类演化的若干阶段，我们将把这些阶段的每一个阶段同人作比较，首先是把人的高等能力即他的理性作比较。”罗比耐因此设想人的物性以种子的形式存在于整个的生物阶梯中，在最不具形态的物质里都有生命和灵魂。跟那些根据进化论思考问题的莫泊丢、狄德罗以及其他的人一样，罗比耐认为甚至宇宙的基本原子都具有生命和灵魂。这样一个见解使他们的进化学说简化了。无机物既然是活的，便很容易产生生物来。不同物种不过是这些活的原子的不同结合而已。

另外一个进化的学说是由查尔斯·邦尼特（Charles Bonnet，公元 1720—1793）发展起来的，他是定居在日内瓦的一个胡格诺教徒家族的后裔。邦尼特在年青时代是一个活跃的博物学家，于公元 1749 年发现雌蚜虫或木虱能不经受精而生育活的后代。后来他的视力变坏了，就转向生物学理论的研究，于公元 1770 年发表《哲学上的新生论或关于生物过去和未来的一些想法》。他的雌蚜虫不经受精而生育幼蚜的发现，使他认为每一物种的雌性本身都含有这个物种未来一代的雏型。这样一种见解在当时流行得很广。它意味着物种永远是固定的。因为一切未来的动物早已在胚种里就存在了。但是，邦尼特认为世界是陷在周期性的大灾难中，而最后一次大灾难便是摩西的洪水。在这些大灾难中，所有生物的躯体都毁灭了，但是它们未来后代的胚种却继续存在，而在大灾难退去以后复活起来。不但如此，新的复活了的物种比大灾难以前的物种在生物阶梯上都要高等一点，在等级上就好象升了一级似的。为了支持他的学说，邦尼特指出那些化石骸骨和介壳为例，这些他相信都是过去灾难所杀死的动物遗骸。他预料世界还将发生另

一次大灾难，而且在这次大灾难以后，石头将具有生命，植物将会自己走动，动物将发展理性能力，而人则将变为天使。这样，他写道：“在猴子或大象中间将发见一个莱布尼茨或牛顿，在海狸里面将发见一个培罗或一个沃邦。”^①

一度是耶稣会教徒的罗比耐把进化看成是生物阶梯上的不断上升；而胡格诺教徒邦尼特则把生物界的变化看作是大灾难招致变化的结果，这两个人都表达了往后半个世纪里流行起来的两种进化论类型，并表明了这两种观点各自的宗教信仰根源。新教徒思想家倾向于灾难观，而自然神论者、怀疑论者、不可知论者以及无神论者，特别是那些原先是天主教出身的人，都倾向于不断进化说。邦尼特认为生物在完善程度上的升级，是通过灾难性的死亡和随后的复活而实现的，这种想法在很大程度上是宗教思想的世俗化。类似的见解也贯串在英国伊拉斯谟·达尔文的生物学推论里，不过对他说来，后代代替了复活的生物，胚胎则具有最先思想家归之于死去亲体灵魂中的那些改良品质。

罗比耐和邦尼特的学说及其分歧点，在十九世纪早期分别为拉马克和居维叶加以发展。詹·巴帕梯斯特·拉马克出身于皮卡迪的一个小贵族家庭。家庭希望他从事教会事业，他并且在亚眠耶稣会学院受过教育，但是他放弃了宗教事业，在陆军和商业界混了一个时期以后，于公元 1782 年获得巴黎皇家植物园的植物学家的职位。在法国大革命期间，皇家植物园于公元 1790—1793 年关闭，在此期间拉马克写了几本小册子，主张对皇家植物园的人员编制进行改革。他的建议大部分为国民议会所采纳，公元 1794 年国民议会重新开放皇家植物园，拉马克被任命主持无脊椎动物的工作。另一方面，乔治·居维叶（Georges Cuvier，公元 1769—1832）则出身于定居在巴塞尔附近蒙贝利亚尔的一个胡格诺教徒的家庭。他当过诺曼底的一个新教徒的家庭教师，并在那里研究海洋生物。他的研究使他于公元 1795 年获得植物园（皇家植物园的改名）的比较解剖学职位。拉马克从罗比耐那里继承了生物不断进化的学说，而居维叶则采纳了邦尼特的大灾难学说，但是，两人的研究最后都归结到生物物种可以按直线系列排列的概念，这个概念无论是在罗比耐或是在邦尼特的臆测里都已经包括了。

拉马克从研究植物过渡到研究低等动物，他的研究工作所以说是从古老的生物级次开始着手的。他转到无脊椎动物学方面来时已经五十岁了，不过他在这个以前被人忽视的领域里的进展很快。从亚里士德的时代到林耐的时代，无脊椎动物或则被列在昆虫类，或则被列在蠕虫类。布丰在攻击林耐的体系时，曾指出当时通行的无脊椎动物分类很不恰当。他认为把虾同昆虫放在一类简直荒唐。拉马克研究了这个问题，在公元 1800 年左右把昆虫和蠕虫的两类无脊椎动物分为十个不同的纲，他的分类成了现代分类的基础。

拉马克看到他的无脊椎动物的十个纲表现了构造和组织上的级次，而在公元 1802 年他又按照一条直线次序把它们排列起来，接着脊椎动物的四个纲，即鱼类、爬虫类、鸟类和哺乳类，以表现动物界的级次阶梯。他然后把这个阶梯看作是动物从简单的单细胞机体过渡到人类的进化次序，并于公元 1809 年发表了他的《动物哲学》，在这部著作里他谈了自己是怎样认识到这种进化的由来的。今天人们纪念拉马克，主要是就他的获得性状遗传学说，即动物器官的构造和机能上由环境引起的变化可以传给后代。但是这种思想在拉马克的学说里只是个次要因素。跟罗比耐一样，他认为每一生物都有一种内在力量为物种的改进不断地起着作用。假如这种力量不碰到阻碍，它就会导致一个纯粹直线的生物系列，一个从简单的单细胞生物一直到人类的不断上升的生物链条。拉马克不愿承认在自然

^① 培罗，法国十七世纪文学家；沃邦，法国十七世纪攻城和筑城术家。——译者

界看到的生物阶梯有什么不完善的地方。例如，他拒绝相信任何物种会变得灭绝，因为一个物种的灭绝会使地球上的生物巨大链条缺掉一环。他认为有些较大的动物诸如乳齿象可能会被人类消灭，一些较小的动物可以在生物的阶梯上似乎是缺少了，但存在于地球上某处而有待于人们的发现。但是拉马克从自己知道的大量动物学事实。不得不承认自然界的巨大生物链条并不是完全连续的，所以他提出获得性状遗传学说，以说明直线阶梯的偏离。拉马克写道：

“构造上愈来愈复杂，表现了环境在动物的总系列中的一些异常影响。”有机体因环境的影响而获得的特征有两类。第一类是由环境的直接作用而产生的残缺和类似残缺的情况，这是不能遗传的。第二类是由环境引起的动物习惯上的变化，特别是器官的较多或较少的使用，这是能够遗传的，并导致物种的永久性变化。长颈鹿就是这样为了吃到高树上的叶子而发展了长颈，鼯鼠则由于世代生活在地下而丧失了使用眼睛的能力。

认为物种形成一个生物阶梯的思想从两方面歪曲了早期的生物进化学说。第一，人类被放在阶梯的首位，从而使各种动物的系列看上去都是人类的一步步退化。其次，进化的系列被看作是一条直线阶梯而不是象后来生物学家所想象的那样一棵分支的系谱树。但是，认为动物种类是退化的产物的思想被进步的概念冲淡了，而经验事实的压力则导致生物学家把生物阶梯看作不是直线的。拉马克指出在他以前所作的动物分类都是递降式的，从人类和高等动物开始沿着阶梯逐渐下降。他自己则按照“自然的实际次序”将动物进行分类，从简单的生物开始逐渐上升到高等动物。但是拉马克在选择他的分类标准时，却不得不由上而下地看，把代表高等动物的特征作为整个动物界的分类标准。他认为神经系统是动物分类的最重要特征，因为“它产生动物最高的能力，而且是肌肉运动所少不了的。”作为分类的一个次要标准，拉马克选择了动物的呼吸与循环系统，但是在他的十个纲的最下面四个纲里，都不存在这些特征。如果他自下而上地选择他的分类标准，他可能会选中消化系统，因为这在他的无脊椎动物十个纲的上面九个纲内都存在。

认为生物的链条是一条直线系列的概念，也在拉马克的进化学说中留下痕迹，不过他比他的前辈与更能摆脱这个概念。邦尼特和罗比耐都认为矿石合成植物，植物合成动物，这样形成一个直线的上升阶梯。拉马克从一开始就否定了这个概念。拉马克写道：

“一切已知的生物，根据动物与植物的主要差别，严格地分为两个特殊领域，而且尽管如上所述，我相信这两个领域实际上没有任何地方可以混淆起来。”

拉马克认为矿物、植物和动物都有一个共同的起源。他说最初是胶质和粘液的粒子，加上热和电的兴奋力量。这些力量使胶质粒子发展为动物，使粘液粒子发展为植物，同时又把动物和植物排除的废物变为矿物。起初，简单的有机体为维持其生命并转变为高等生物所需要的热和电，完全来自环境。但是愈沿着阶梯上升，有机体就愈加会自己发热发电，这样来维持自己的生命并且提供自身的进化力量。环境的热和电也促使有机废物的腐坏，沿着退化的序列先化为血，然后化为胆汁、尿和骨头，继之成为介壳、大理石宝石、金属，最后成为岩盐。拉马克把岩盐看作是地球的基本物质。

拉马克最初把动物排成一个严格的直线系列，但是动物学的经验事实促使他愈来愈脱离他的进化直线而形成一棵系谱树。在他的《动物哲学》一篇附录里，拉马克假定从原始胶质粒子开始，主要有两条进化线。一条线从单细胞原生动物

导向具有辐射状对称性的动物如水螅和海盘车。另一条线导向一切左右两侧对称的动物，从蠕虫一方面分为昆虫、蜘蛛和甲壳类，另一方面分为环虫、蔓足动物和软体动物。脊椎动物是从软体动物分出来的，先是鱼类，然后是爬虫类。在这里，链条又分了出去，从爬虫分出了鸟类和两栖类。最后两栖类又发展为具有四肢和五趾的哺乳类，其侧支一方面通向鲸一类的动物，另一方面则通向有蹄类动物。在公元 1816—1822 年出版的拉马克的最后的著作中，他甚至更进一步打破他的分支链条，承认他不能在脊椎动物与无脊椎动物的系列之间发现任何进化的联系。在这些后来的分类表里，原来的生物直线阶梯大部分抛弃了。矿物、植物和动物不再形成一个衔接的系列。它们现在有了一个共同的起源，但是动物的阶梯分为一个系谱树，不过比起后来达尔文主义者的进化树来仍然比较僵硬和带有直线性质。

拉马克在写《动物哲学》时，怀有两个主要目的：第一，他想要表明动物种类形成一个近乎直线的进化系列；第二，他希望解决法国哲学家的两个对立学说所造成的矛盾，其最通俗的表达形式就是“见解支配世界”和“世界支配见解”。拉马克把这个问题表达为一种比较专门的和心理学的形式。他问，在多大程度上心灵是受物质环境控制的，而心灵又在多大程度上转过来支配物质环境。拉马克写道：

“（心理学家们）早已认识到物质对精神的影响，但是据我看来，精神对物质的影响则似乎未给予足够的注意。”

在拉马克看来，毛病在于过去的心理学家和生物学家研究人类的肉体和精神是和别的动物隔绝的，缺乏一个历史的、进化的观点，因此不能发现意识的生物学起源，并且把精神活动仅仅归因于从物质环境受到的刺激。拉马克写道：

“在人体的组织结构被很好地研究之后，而且确是研究得很好，但是为了探讨生命的、肉体和精神感觉的起源而考察人的组织结构则是一个错误。……应当对最简单的动物到组织结构最复杂、最完善的人体所提示的组织逐渐复杂化的情况加以考察。应当从动物逐步获得不同的专门器官，并从而获得与器官数目相同的新功能中看出这种进展情况……我还可以附带说，假如采用这个方法的话，……人们就决不会说生命是靠各种不同器官或其他方式得到的感觉而作出运动的结果；也决不会说一切生命的运动都是由于身体的有感觉部分受到印象而产生的。”

认为动物和人的活动是受环境给予的印象和刺激所支配，这种见解来自把生物看作是机器的思想。拉马克认为这种想法只有在说明生物机器的推动力量上是站得住的。例如最低等的动物，它的热和电的推动力就是来自环境，因此这些动物完全受外界因素的支配。但是沿着进化阶梯上升时，生物就在愈来愈大的程度上自己发出推动力量，从而获得愈来愈多的自主性，这到了人类就得到最充分的表现。环境是有机体的一个经常的外来决定因素，因此心理学家认为人类受他的周围世界支配在某种程度上是正确的。但是那些认为人通过自己的理智控制环境的理论家们也许在一个更重要的意义上也是正确的，因为生物的自我决定能力在进化的阶梯上是一个演进的因素。拉马克写道：

“假使大自然只限于使用她原来的方法，也就是说，限于使用一种对动物说来纯粹是外来的和异己的力量，她的工作将始终是很不完善的；动物将只是被动的机器，而大自然将永远不会在这些生物身上造出感受性、生存的亲切感、行动能力，最后还有观念这种种奇异现象，尤其是观念，大自然靠了它创造出最惊人的现象——思想或智慧。”

拉马克就是以这样的方式表达并研究了在十八世纪晚期占首要地位的许多问题，并把进步的概念以及关于人与其环境的关系等难题带进了生物学领域。人们把他描绘为十八世纪最后的法国哲学家、法国的思辨家之一，因为他关心的问题就是他们讨论的问题，并以同样思辩的方式思考这些问题。与拿破仑时代的新倾向相配合，拉马克的研究比起那些哲学家来，经验主义要略为多一点，他的关于无脊椎动物的实际分类法在动物学系统里占有永久位置。他的进化学说从他立说时候起也有其支持者，不过拉马克主义在科学界永远属于少数人的意见。

第二十九章

德国的自然哲学

刻卜勒的时代以后，德国科学就进入停滞状态，到了十八世纪下半叶德国人对自然界的研究才又重感兴趣。十八世纪后期德国自然科学家们发展了他们特殊的自然哲学，因为他们发现当时科学思想的主流是他们的口味不十分投合的机械论和唯物主义。德国诗人兼自然哲学家歌德（Goethe，公元 1749—1832）说过，当公元 1770 年霍尔巴赫发表了《自然体系》时，在德国就没有引起多大的反应。人们感到这部著作的理论部分与其说是错误的，倒不如说是不得要领，它既不符合德国人的经验，也不符合他们的理想。歌德写道：

“我们没有一个人把这本书读完，因为我们发现自己打开这本书时的期望受了骗。这本书宣称要提出一个自然体系，因而我们希望从它懂得一点自然界——我们所崇拜的偶像……但在这忧郁的、无神论的一片朦胧中，大地的景色和天空的星辰全消失了，使我们感到非常空虚和失望。剩下来的只是亘古以来就在运动中的物质，而且只要靠这种向左向右和向一切方向的运动，而不需要任何别的东西，就可以产生出无穷尽的存在现象来……我们固然承认我们离开不了日夜区分、季节变换、气候影响、物质和生命条件等等的必要因素；但我们内心里仍然感到有某种象是完全自由的意志，同时又有某种企图平衡这种自由的力量。”

德国哲学家们在解释自然现象的方法上，不同于法国人。十八世纪的法国哲学家们用机器作为他们的基本形象，把宇宙设想为一座庞大的机器，把宇宙中万物设想为许多较小的机器。在法国人看来，人们的心灵能力在原则上可以分析为在运动中的物质，这些能力为外来的力量（如身体的生理过程和外界刺激）所决定。德国人则比较着重内省的方法。他们对人的心灵的主动性深感兴趣，用歌德的话来说，他们既从内心深处感到有类似自由意志的东西，又感到有限制和平衡这种自由的某种力量。德国哲学家认为自然界为同样的精神活动所渗透，因此自然界的一切过程应该用心灵的内在活动来比拟和解释，而不应当用纯粹外在的、运动中的物质来解释。

这两种自然观，德国的和法国的，起源于十六、十七世纪两种不同的自然哲学，即活力论和机械论。其中占优势的是为笛卡儿和牛顿发展了的机械论的思想学派。尽管笛卡儿和牛顿派有很多不同，但是他们都把物质看作主要是被动的物体，只是由于外部机械力量的作用才有运动。当然，和物质世界分开的还有一个精神世界，这起码在原则上也会对物质世界起一定的主导作用。但是，要找出这两个世界的任何逻辑上或经验上的联系，是感到有困难的，其结果是在十八世纪中法国的唯物主义哲学家抛弃了精神世界，而贝克莱主教和他的信徒则抛弃了物质世界。不过，在十八世纪，机械论哲学在法国和英国还是占上风，因为即使是贝克莱的世界，在某种意义上，也是牛顿世界的镜象。当时苏格兰的贝克莱哲学

批评者之一，托马斯·里德（Thomas Reid）就指出贝克莱构成宇宙中万物的观念无非是原子论哲学所假设的物质微粒的唯心主义翻版；而贝克莱在苏格兰的另一个批评者大卫·休谟也指出，支配观念联系的那些原则就等于牛顿的引力作用的原理。

另一种自然哲学是帕拉塞尔苏斯和赫尔蒙脱的医药化学理论，它可以说是代表十六、十七世纪少数派自然科学家的意见。在医药化学家看来，根本没有什么被动的物质。所有物体，即使是矿物和化学化合物，都是活的，因为它们都为一种生命力所渗透，这种力是事物成长的原因，也是决定事物成长的形式。自然界每件事物因此都是自主的，是它自己的内在生命力使它成长并运动，而不是外来的能量。医药化学派当时在德国的势力特别强，因为这一学派的两个主要人物都来自德国的边疆，帕拉塞尔苏斯来自马塞尔，赫尔蒙脱则来自布鲁塞尔，而次要人物多数都是德国人，正如受到医药化学影响的哲学家伯麦和莱布尼茨都是德国人一样。

雅可布·伯麦这个格尔利茨的皮鞋匠，是一个神秘主义者，他用医药化学派的语言和形象把他自以为靠慧眼看到的宇宙发展过程表达出来。和帕拉塞尔苏斯一样，伯麦认为人是宇宙的具体而微小的整个翻版，并认为人是由人的内部精神力量支持的。人因此可以说是一个自主的小宇宙，自身就是一个小世界，正如大世界也自成一个完整的世界，由作为宇宙的灵魂或自然界的精神的上帝所支持一样。由于人好象是自然界的写真而且靠精神力量才有生命和活动，所以伯麦感到人本身的精神发展过程也可比拟为宇宙发展的过程。伯麦曾经深刻地体验过路德叫做的“上帝之子的思想斗争”，也就是以自我为中心的肉体欲望和否定自我的精神意向之间的心理斗争。这种斗争拿伯麦来说，是通过他的神秘经验而得到解决的，他在这种神秘经验中看到一些形象和形式，为他提示了上帝在自然界中的作用，并给他以精神上的宁静，用他自己的话来说，就是精神上的再生。作为小宇宙的人的发展是如此，作为大宇宙整个世界的创始和发展也应当是如此。伯麦设想，在太初，自然界的精神亦即上帝，就其自身而论，是万有也是无有，因为任何与之对立的東西，上帝都能通过它显示自己。这样，在作为宇宙精神的上帝那里就产生了一种倾向于自我显示的离心欲望，从而又产生了这种欲望的对立面或者补充，即有意识地控制自我的向心意志。在这种矛盾斗争的运动中，向心意志制服并同化了离心欲望，产生一个精神形象；这种精神形象的外化就成为自然界。伯麦写道：

“没有自然界，上帝就是一种神秘，因为没有自然界就是无，亦即永恒的慧眼；永恒的慧眼立于无中，或者说在无中观看；这同一慧眼也是一种寻求无的意志，即意识到一种显现其自身的欲望；但是现在当着意志面前的是无，意志不会在无中发现什么，也不会无中找到什么安息之所，因此它就要进入自身，通过自然界去发现自己。我们从还不存在自然界的神秘中可以理解到原始意志有两种形式：一种形式是永恒的慧眼为了显现自我而趋向自然界，另一种形式是从这第一种形式产生的，就是追求德行和力量的欲望。而且我们是这样理解的：这种欲望是向外的，而向外的正是意志和欲望的精神，因为精神就是运动，而欲望则在精神中产生一种形式（形象或肖像）……而这个看得见的、可理解的世界，其外在性质就是内在精神的显现或内在精神的外化。”

医药化学家和炼金士所用的象征形象和概念充斥在伯麦的著作中。他的通过对立面矛盾和矛盾和解决的正、反、合发展规律，是用医药化学的三种本原说表

达的：代表精神的自我显示欲望的硫，代表由这种欲望所产生并与之对立的控制自我意志的汞，以及代表由于两者的矛盾的解决而产生的实体或物，亦即作为两者合力的外化形象的盐。炼金士过去还有一种看法，认为所有金属都是由两种对立的本原，即阳性的、火态的硫和阴性的、液态的汞的相互作用和化合而产生的。帕拉塞尔苏斯扩大了这一概念，声称在医学中也象在炼金术中一样，“我们必须把物和物对立起来，使各物都成为其对立物的夫或妻。”伯麦则把这一概念中的性的因素减到最低限度，而突出了通过精神领域中对立的矛盾和矛盾的解决，世界才有发展的思想。和炼金士一样，伯麦也强调在发展中的事物，由于新陈代谢才有不断进展的突变。炼金士曾经认为贱金属可以通过这一过程变为贵金属。帕拉塞尔苏斯说，死亡和衰朽“使新生或重生的事物形态有千万倍的改进”。在伯麦看来，对立矛盾的解决就是矛盾的消灭，也是使万物得以向更高形态发展，使事物脱胎换骨的先决条件。

伯麦用他的神秘化了的医药化学语言，把德国人关于自然界变化发展的辩证法思想首次比较系统地提了出来。事实上他对自然界的发展比对世界和万物的构造感兴趣得多；关于后者则是莱布尼茨后来谈得比较充分。莱布尼茨也受到医药化学家理论特别是赫尔蒙脱的理论的影响；他和赫尔蒙脱的儿子是朋友，因而对赫尔蒙脱的学说很熟悉。赫尔蒙脱主张构成世界上万物是无数的自主体，它们每一个都靠自己的内在活力而发生发展和自我决定。即使是一个合成体的各个部分，如人体的不同器官，也各自有其生命，而这种生命是由一种特殊的、个别的、有活力的精神，亦即赫尔蒙脱所谓的“始基”（Archeus）所支配的。

莱布尼茨的自然哲学和赫尔蒙脱的自然哲学极其相似，不过前者更为抽象，也更加逻辑系统化。莱布尼茨假定世界有许许多多的“单子”，它们是活力的和非物质的活动中心。和赫尔蒙脱的“始基”一样，莱布尼茨的单子是自主的东西，相互没有物质影响。虽然如此，它们也不是一堆盲目的、自我决定的、处在无政府状态之中的东西，相反它们都发源于一个造物主，而造物主早就预先安排好它们的和谐一致了。同样，在赫尔蒙脱的世界中的万物，以及构成这些事物的个别部分之间也存在着感应的“一致性”。赫尔蒙脱的“始基”对于“它自身所要完成的事情的类型或样式”有一种模糊的意识，因而才有行动，正如莱布尼茨的单子变化是由单子的“微知觉”所致一样。牛顿的世界是由许多物质的、被动的、全都一样的单位或原子所组成；莱布尼茨的世界则是由许多单子组成，这些单子是纯精神活动力量的中心，它们分为高低不同的无限个等级，没有两个是完全一样的。单子间的区别正如“一条曲线上的许许多多的坐标”之间的区别一样，它们形成一条连续不断的链条，按照等级和完善性排列。它们之间的等级区分是连续不断的，但这些单子和“始基”一样还是可以分为三类，大体上等于植物、动物、理性的灵魂这三个传统的范畴。虽然每个单子在完成程度上各有其不同的限度，但每一单子都是一个小宇宙，整个宇宙都在它身上反映了出来。由于单子是精神活动力的中心，它们必然会导致变化，但是由于它们在物质上是相互隔离的，它们所导致的变化只能是它们自身的内部变化。单子因此和始基一样，在其他单位的集合中向着自身的完善发展着，在自身完善的过程完成后，集合就解体了，而单子就进入新的集合并开始新的生长周期。

伯麦和莱布尼茨的观点所以对当时科学思想没有产生很大的直接影响，或许是因为德国对近代科学的贡献在十七世纪早期由于刻卜勒的研究早已经过了第一次高潮。不过，到了十八世纪末叶，在德国出现了一个主要以弗里德里希·谢林（Friedrich Schelling，公元 1775—1854）和洛伦兹·奥肯（Lorenz Oken，

公元 1779—1851) 为首的“自然哲学”派。他们实际上是企图证明, 用伯麦所设想的生成发展辩证法的规律作为依据, 就导致一个象莱布尼茨哲学所阐述的那种宇宙万物的结构和安排。在“自然哲学”派以前, 一些德国哲学家和科学家已经对伯麦和莱布尼茨的一些思想加以发展。如伊曼努尔·康德就在他的物理科学的一些论著《天体发展史概论》(公元 1775 年) 和《物理学的形而上学基础》(公元 1786 年) 中, 提出了对立的引力和斥力的相互作用是万物存在的先决条件的学说。康德论证说, 如果只有斥力的作用, 物质就会分散在无限的空间中, 而如果有引力作用, 所有物质就会聚拢在一点上。因此有限的物体必须由这两种力量的相互作用和平衡来安排。

在生物科学方面, 康德的学生约翰·赫尔德(Johann Herder, 公元 1744—1803) 表述了“条顿哲学”中死亡和再生的概念, 在公元 1744 年提出生物的阶梯式体系是一个历史发展的进程; 低级生物的大规模毁灭, 是高级生物发展的必要的先决条件, 因为高级生物就是由组成低能生物的物质形成的。

赫尔德之后, 谢林在公元 1797 年至 1800 年间给德国自然哲学作了一个扼要而简单的叙述, 到了公元 1810 年又由奥肯在《自然哲学原理》中加以发挥。奥肯的思想对十九世纪上半叶的生物科学起了相当大的影响。谢林和奥肯综合了伯麦和莱布尼茨的主要观点, 并输入另一概念, 即宇宙是历史发展的产物, 这一思想早在赫尔德的著作中, 而且多少在康德的早期著作中都出现过, 德国思想中相当有力量的一個概念, 即人是整个宇宙的缩影, 谢林和奥肯采纳了这一思想, 并进一步提出人是最完善的小宇宙的学说, 因为人是宇宙发展的最后产物, 人本身也概括了以前各个发展阶段的内容。他们认为人所以是最完善的小宇宙, 还因为宇宙精神在自身发展进程中把自己外化为自然界以后, 还在人的心灵中最后充分体现了自己。所以自然界的发展必须通过人的心灵活动来理解, 因为后者必然要反映前者。奥肯写道:

“人是上帝的完全体现。人是自然界发展的顶峰, 因此必然把以前的一切囊括在自身之内, 正如果子把果树以前的各个发展阶段包括在自身之内一样。一句话, 人必然是代表整个世界的小像。既然在人身上体现了自我意识或精神, ‘自然哲学’就必须证明精神的规律和自然界规律并无不同, 两者是相互描绘和相似的。”

正如在伯麦的体系里, 宇宙精神本身就是万有的同时又是无有的一样, 在体现自我的欲望出现时, 也出现了与这种欲望相反相成的自主意志。这样就产生了对立两极的斗争, 并从而产生了运动、发展和自然界生命的初始原因, 即趋向于个体化的、以自我为中心的原则, 和趋向普遍化的、以外界为中心的原则之间的对立。奥肯写道:

“上帝的活动或活力, 在于永恒地体现自我, 永恒地静观其自我是一又是二, 永恒地分为二, 同时又总是一……两极性是世界上出现的第一个力。如果没有分为两极的力, 就没有世界、没有一切。……因果律也就是两极性规律。因果就是生殖的行为。性就植根在这种世界的原始运动中。……所以说万物都有两种过程, 即本身个体化并具有生命的过程, 和使其本身普遍化并毁灭的过程。”

宇宙精神内部的这种矛盾斗争和解决矛盾过程, 在其内部运动的每一阶段, 都通过自然界的一个事物体现其自身的外化。每一事物都概括了它以前的一切发展, 奥肯写道: “前一阶段的最后产物总是后阶段产物的基础”。所以每一事物都是一个小小宇宙, 在它的发展阶段的限制范围内反映整个世界; 实际上它的完善程

度可由其反映整个宇宙到什么程度来衡量。奥肯说：“一个事物愈能把宇宙的多种多样性备于自我，它也就愈近似永恒。”

永恒，宇宙精神或世界精神，绝对观念，这些都是德国自然哲学家们给与推动世界发展的力量的名称，其特点是：它是自主的并由其自身决定的，它是一个包括整个世界在内的一个整体。因此，一个特殊实体的完善程度可以就其自我决定的程度来衡量。自然哲学家认为自然界主要有三个发展的等级或阶段。首先是机械实体，如太阳和行星，这些构成一个体系，不过只有最低程度的自我决定性；其次是具有更大个体性和自我活动性的化学物质，因为许多化学作用都是自发的和高度特殊化的；最后是生物，这些都是具有自备结构的、自我发展的个体。每一等级的实体，除了它自身所特有一些属性而外，还具有比它较低级的存在物的一切属性，因此化学物质具有机械属性而生物则既有化学属性也有机械属性，而处在一切生物阶梯上的人则是一个小宇宙，具有整个宇宙的所有事物的一切属性。

但这三个等级的实体以及它们的一切子目或分类，并不是在时间上先后发展起来的，因为三个等级都是孤立的、不相关联的。只有在宇宙精神内部的自我发展过程中才有历史的演化过程；宇宙精神通过自我矛盾的解决产生出一系列的形象、形式和计划，而自然界中的万物就是根据这些来的。有生命物体的阶梯就是宇宙精神内部自我运动的一系列个别外化的表现，因而一切生物都以宇宙精神为其共同来源，但是彼此并无物质上的或历史上的联系。不过，各种不同的生物还是相似的，因为高级生物除具有其本身的属性外，还具有低级生物的属性，而且由于万物同源，所以每一生物在它的胚胎发生过程中好象也应当经历一些处于它下面的低级生物所经历的发展过程。这样的看法，即胚胎发生阶段的重现规律，是由斯图加特（Stuttgart）大学的生物学教授基尔迈耶（Kielmeyer，公元 1765—1844）在公元 1793 年提出来的。基尔迈耶设想，每一动物在其发生过程中都要经过一切生物的发展阶段，然后进入自己这一物种的发生发展阶段，譬如拿人来说，人在胚胎状况时就要经过植物阶段，然后是运动阶段，最后才是理性动物的发展阶段。基尔迈耶写道：

“看来各个系列的物种都是在地球上分别出现的，各种生物的结构和形式实际上都有关联，即使他们是分别发展起来的。物种彼此间的相似性，以及它们的相异，都存在于它们的来源中，就好象它们是一个父亲所生一样。”

照自然哲学家们看来，各种不同的生物所以相互联系着，还可以为这样的事实所证明，即它们都是由同一的物质单位，即活的细胞，或为奥肯在公元 1805 年称之为草履虫般的粘液囊泡所组成。奥肯和赫尔德很近似，认为物种不能彼此演化而产生，因为一种物种的死亡和衰朽是另一物种产生的先条件。一个生物分解为构成它的单位后，就为建立在不同的理想方案或形式上的另一种生物提供原料。奥肯写道：

“个别生物的变化过程也就是它们的破坏过程；死并不意味着毁灭，而只意味着变化。死只是向另一种生命的过渡，而不是灭绝……就肉体来讲，所有个体也都来源于绝对，而不是相互产生的。事物发生的历史也就是向有机的绝对或者有机的混沌（粘液）的后退，并从其中发生出新的个别有机体。”

奥肯认为无机界发源于以太的混沌中，它是两极力量如电和磁等等的相亲相拒的组织影响所致，而当无机的两极性间的矛盾获得解决并出现一定的秩序以后，一种草履虫般的粘液囊的混沌就随之出现，并为新的和更高的有机发展阶段提供基础。奥肯写道：

“正如整个自然界只不过是以太不断稳定下来的结果。所以有机界也是草履虫般的粘液囊泡不断稳定下来的结果。粘液也就是以太，就是有机界的混沌。……在地球的演变结束时，也就是在地球成功地集合并甄别了所有地元素，并使它们都在一道并在同一时间出现在每一个点上的时候，草履虫般的粘液就出现了。”

粘液囊泡是组成所有生物的单位。它们不妨说是具有物质的形状的莱布尼茨单子。粘液囊泡有两种生命：它们有自己的生命，这是主要的，其次是作为有机体的组成部分的生命，和单子一样，粘液囊泡并不随着有机体的死亡而死亡，而是继续活着以形成另一种新有机体的材料。粘液囊泡的理论导致了细胞的理论，而当十八世纪三十年代消除色差的新型显微镜发明以后，生物细胞也就被人们看见并描述了。

德国自然哲学家们还在不同生物物种中认识到另一种关系，就是整个生物物种中都存在着一种统一的方案的结构。他们把各个不同物种设想为一个宇宙建筑师即宇宙精神所建造的许许多多大厦；宇宙精神制订了若干总的理想方案和设计，而生物的各种形式和结构只是这些总方案和设计的不同变化。不同的生物都是由同样的砖块即粘液囊泡构成的，在它们的早期发展阶段都极其相似，但是当各种不同的理想方案越来越显现出来时，它们的成长就分化了。所以宇宙建筑师的观念和 design 有一个演化的过程，但是产生出来的生物结构则是分别的创造，只是由于计划相似而有所联系。

在十八世纪八十年代中，歌德不断探索植物的原始类型，即植物发展的总方案。在公元 1786 年歌德致赫尔德的一封信中说：

“原始类型的植物将是世人所看见过的植物中最稀奇的东西，而大自然本身也会因为我发现了它而羡慕。有了这样一个模型，而且掌握了打开它的秘密钥匙，人们就能构造出无穷无尽的植物种类来。这些植物将是严格的合乎逻辑的植物。换句话说，尽管它们并不真正存在，但它们是可以在的。”

各种不同的生物物种都可以说是它们共同类型的合乎逻辑的变化，因为宇宙精神是在人的思想中充分体现了的，而人类理性的逻辑推理运动也因此应当反映出自然界的发展。在公元 1790 年，歌德设想植物的原始类型方案是若干典型的叶子形，从这些可以得出植物除了茎干不算的一切结构。从种籽生出的叶子形状很简单，但后来长出的叶子就逐渐分化，变得越来越复杂，发展了一根主脉和锯齿的边，等等。最后出现了花和果，按照歌德看来，花瓣和果子的组织部分都只是变形的叶子。

在动物界，奥肯于公元 1807 年设想，原始的脊椎动物只有一根一般化的脊骨，由一定数目的脊椎骨节单位所组成。他注意到较原始的脊椎动物如鱼的骨骼仅是一根简单的分为骨节的脊椎，而且高级动物的早期胚胎形式也是如此。奥肯因而假定动物身体的基本结构就是一定数目的脊椎骨节及附属于它们的肋骨和四肢骨，而较高级动物的其他骨骼形式不过是脊椎单位的变形。他提出了哺乳动物的头骨是由四个这样的脊椎骨节构成的理论，下颞骨是变形的肋骨和四肢骨；脊椎骨节变大了并改变它的原形，但在一定程度上还保存它原有的特点，譬如说头骨就是沿着骨缝的线而分为若干单位的。

以上就是德国自然哲学的主要信条，以及它对生物科学在那些方面所起的影响，特别是研究生物个体发展的胚胎学，研究生物形式和构造的形态学和细胞学。在十八世纪末期和十九世纪初期，胚胎学主要是德国的科学，而细胞学则差不多

完全是在德国发展起来的。自然哲学在德国以外也有影响，特别是法国的居维叶和圣提雷尔（St. Hilaire，公元 1772—1844），英国的理查德·欧文（Richard Owen，公元 1804—1892）都研究了形态学。在物理科学方面，德国自然哲学家的影响并不大。他们反对统治英国和法国的物理科学的机械论观点，但是在这里他们自己却提不出什么建设性的东西。他们认为他们的同胞刻卜勒早期的具有神秘意味的玄想比牛顿的天文学理论高明，还认为牛顿的光学是非常错误的。歌德就认为白光并不是由光谱各色所组成，相反，颜色是由白光和与之相对的黑暗相互作用而产生的。作为一个证据，歌德指出要是一个人对太阳看了一些时候然后进入暗室，他就会看到太阳的有色余象。这种眼睛里产生的生理现象和客观的光学现象同样真实，因为，歌德指出，“光学的错觉也就是光学的真理”。

在物理科学的其他方面，自然哲学家特别感兴趣的是电力和磁力，它们的对立两极性好象完全证实了自然哲学家们的自然界中对立力量普遍斗争着和相互作用着的学说。下面我们就要讲到，有一个名叫奥斯忒的德国自然哲学家在这方面作了重要的发现。在化学方面，自然哲学家们假定化学物体的化合是电力所致，这种学说后来发现了它的实验证据后，相当得到人们的拥护。

总的说来，德国自然哲学家们都有高度的思辨的头脑。把逻辑结构赋予谢林和奥肯的理论的黑格尔，非常藐视英国人用来形容科学实验器具的“哲学工具”这一名称。在黑格尔看来，自然哲学所需要的唯一工具是一套正确的理性概念。虽然到了十九世纪二十年代时德国科学已变得更加注重经验和实验，但在此后几十年中德国的科学研究和从这种研究得出的理论，还继续表现出自然哲学的影响。就是在十九世纪末期，在德国还出现了建立在自然哲学家们的一些观念上的反对达尔文主义的生物进化学说。

第三十章

胚胎学：个体有机物的发育

近代胚胎学可以从威廉·哈维于公元 1651 年出版的《动物的发生》开始。哈维研究了鹿的胚胎的生长以及在孵卵中鸡的发育。他发现两者相当类似，并作出这样的结论：哺乳类的胚胎在其囊中是同鸟类及其他卵生动物的卵一样的。哈维因此作出了这样的结论：一切动物来自卵生。虽然他承认低等和不完善的动物有自然发生的可能性。哈维采纳了亚里士多德的胚胎渐成说，主张动物胚胎总的说来从不定形的与同质的物质逐渐发展为一个由分化的和异质的各部分形成的综合有机体。相反，机械论学派的科学家则大部分采纳了预成说；按照这个学说，有机体在其种子内就已经分化并完全形成了，胚胎的发育不过是预成的微型动物的扩大，没有任何分化，或增加新的部分。

公元 1672 年一个荷兰医生赖尼尔·德·格拉夫（Reinier de Graaf，公元 1641—1673）观察到鸟的卵巢同兔子卵巢的滤泡十分相似，这大大支持了哈维的一切动物来自卵生的观点。实际上，德·格拉夫认为滤泡是真正的哺乳动物的卵。另外一个荷兰人简·施旺麦丹（Jan Swammerdam，公元 1637—1680）观察到蝴蝶在蛹的阶段就已经完全成形了；从这一发现，他假定蝴蝶在较早的毛虫期甚至在卵中已经预见成了。施旺麦丹把预成论发展到一种极端形式，设想卵含有其种类的一切未来世代的预成微型，就象一个套着一个的盒子一样。施旺麦丹写道：

“自然界没有发生，只有增殖，即各个部分的生长。这样原罪便得到了说明，因为所有的人都包含在亚当和夏娃的器官之内。当他们的卵的储藏完结时，人种便终止了。”

荷兰德尔夫特地方和一个亚麻布商安东尼·列文霍克于公元 1677 年用显微镜发现了男性精子的存在。同属于荷兰学派的尼古拉·哈特索克（Nicolas Hartsoeker，公元 1656—1725）紧接着这一发现，发表了预成人或微型人的图画，自称这是他用显微镜在精子里面看见的。因此到了十七世纪末叶，预成论就以两种形式被人提了出来，一种认为后代在女性的卵里已经完全成形，主张此说的有施旺麦丹、马尔比基以及后来的邦尼特、冯·哈勒和斯巴兰让尼；另一种认为预成的微型人存在于男性精子里，主张此说的有列文霍克、哈特索克、莱布尼茨和博尔哈弗（Boerhaave）。

预成论往往与在这一时代的机械论学派相联系，不过也有莱布尼茨那样的活力论者主张预成说，和莫泊丢那样的机械论哲学家相信渐成说。机械论哲学家们主张动物与植物都是机器，但无疑是复杂的机器，它们怎样能光靠物质和运动的合成物形成起来是很难理解的。乔治·加登（George Garden）于公元 1691 年写道：

“到现在为止，一切已发现的运动规律实际上只能对于植物或动物的形

成提供极其蹩脚的说明。当笛卡儿开始把这些规律用来说明这个（发生的）问题时，我们看到他弄得多么狼狈：动植物是由人类尚未知晓的规律形成的。”

因此有机体被设想在种子内就已经完全形成，并通过机械地扩大的过程而发展着。这个问题的更加完善的解决是假定物种一切未来世代都在上帝创世时第一次创造的成年有机体之内就预先形成，全部预成的种子都由最初的双亲传给后代，和那些直接后代的种子毫不相干。正如伦敦医生乔治·切恩于公元 1715 年所指出的那样：

“假如动物和植物不能从这些（物质与运动）产生出来，而且我已经清楚证明它们不能，那末它们就必然是亘古以来就有了；因此一切现有的或将要出生的动物和植物实际上都已包含在每一物种的第一代里面了。”

机械论哲学家倾向于认为：有机体在它们的种子里就已经在形体上预成了，而最早以医疗化学家为代表，后来又以德国自然哲学家为代表的活力论者，则倾向于唯心主义的预成说，主张有机体种子内的生命力按照预先决定了的发展模式导致胚胎的生长。据赫尔蒙脱的说法：“在发育的事情上……种子的有效因子包含着由它单独完成的事物类型或模式。”莱布尼茨采纳了这种学说，而燃素说的提出者斯塔耳也是如此，不过附带一些修改。但是一个有机体靠它自身特殊的生命力而理想地预先形成，这种观念就意味着有机体胚胎的生长中应当可以在经验上观察到一个真正的肉体发育过程，亦即形体上的分化。这样一种涵义，即胚胎的渐成说，于公元 1759 年由一个德国人卡斯巴尔·弗里德里希·沃尔弗（Caspar Friedrich Wolff，公元 1738—1794）提了出来；他是哈雷大学斯塔耳的继任者，后来是圣彼得堡科学院的一个成员。

在沃尔弗以前的几年里，一个英国天主教牧师约翰·特布尔维勒·尼达姆（John Turberville Needham，公元 1713—1781）就对预成论提出了怀疑，他在公元 1748 年力图证明在经过消毒并加以密封的肉汤会自发地生出单细胞的动物来。尼达姆论证说，如果动物能自发地产生出来的话，它们一定是从无定形的物质里而不是从预成的种子里逐渐形成的。但是意大利人斯巴兰让尼（Spallanzani，公元 1729—1799）于公元 1767 年证明，他的肉汤消毒得并不彻底。沃尔弗最初从哲学上批评预成说，他的《发生论》（公元 1759 年）几乎完全是理论性的。沃尔弗写道：预成论的拥护者“并没有说明有机体的发展而只否认它的存在”。沃尔弗论证说，假如有机体是在卵中或种子中早就预先形成，那末我们应能在胚胎里看到成年动物形状的肢体和器官。他指出，事实并不是这样，一个胚胎的四肢和器官在它们达到成年动物形状以前，经历许多不同的形态，并用小鸡血管的逐渐发展来支持这一论点。沃尔弗把胚胎的生长归之于生命力量对同质有机物质的作用。这种物质是一种清澈的、粘性的营养液体，开头没有任何组织。当发展在进行着的时候，液体中产生了腔穴，而且周围也要变得硬起来；如果腔穴是圆形的或多边形，就产生细胞；如果腔穴拉长，就产生脉管。这样便形成细胞组织，并进一步被生命力分化为器官；整个发展完全不依赖外界影响。

瑞士人阿尔布莱希特·冯·哈勒（Albrecht von Haller，公元 1708—1777），一个新建立的哥丁根大学的医学教授，批评了沃尔弗的观点。哈勒认为小鸡及其血管一开始就以覆盖着卵黄的一种细得看不见的组织网形式存在于卵中。受精作用发动了生长过程，这仅仅是使看不见的预先形成的结构看得见而已。心脏搏动起来，血液被喷入细胞组织的细网，细胞组织通过吸取血液运载的食物而使细网扩张并成为看得见的。哈勒反对渐成说使用最多的论证，就是卵或种子内预成的

有机体最初是看不见的，它的各个不同部分是在不同时期变为看得见的。哈勒承认预成说就当时而言是不完备的。他写道：

“虽然不容易用机械论观点去说明每一事物，（渐成论者们）所提起的那些困难并不能推翻这些已经真正证明了的事情，虽则还剩下某些事情，在人类知识还是这样幼稚的时期，可能我们还不能给予完全的答案。”

哈勒采取了预成说的极端的衔接的说法。他写道：

“一个女性祖先的卵巢将不仅包含她的女儿，也将包含她的孙女、她的曾孙女以及她的玄孙女，而如果一旦证明一个卵巢能包含许多世代的话，那末宣称它包含着她的一切后代，这是没有什么不合理的。”

这个“衔接起来”的观点也得到了另一个瑞士人，日内瓦的查尔斯·邦尼特的拥护。邦尼特于公元 1740 年发现雌的树虱能够不借雄性受精而产生生活的后代，因此他下的结论是生物物种的雌性动物含有一切未来世代的种子。

沃尔弗于公元 1768 年在一本叙述他的关于小鸡肠子形成的实验研究著作中，重新提出了他对于预成说的批评。他证明小鸡的肠子不可能是卵中的一个预成构造，因为它是在胚胎发展的过程中从一片简单的组织发展起来的，这片组织最初沿着它的长度折起来形成一条沟，然后卷起来形成一根管子。在高等动物里，他发现了一个器官，一种叫做沃尔弗氏体的原始的肾，在胚胎的生长过程中最先发生然后却不见了。这些发现证明一个动物的器官不可能是在卵内或种子内预先就有形体，而一定是由简单、均匀的组织分化成为较复杂和异质的结构而发展起来的。但是，预成说的势力十分顽强，渐成说在科学界里只是缓慢地取得它的地位。

由于有了沃尔弗，德国自然哲学的一些典型学说初次和世人见面了。沃尔弗认为自然界充溢着一种生命力，它把简单的同质的材料铸制为复杂和分化的结构，植物的发展和动物一样，在它各式各样的产物里都依照同一个总方案。在生命力的冲击下，植物从泥土中吸取水分，将水分运送到各个生长点，使水分凝聚并浓缩以形成新的组织。植物和动物一样，一边发育，一边分化。一株植物的最初的叶子构造是简单的，但是后来的叶子就较为复杂，生出一根中央叶肋和锯齿状的边，而最后的叶则转变为花瓣。沃尔弗在寻找动植物的共同形状时，设想植物的液汁导管与动物的血管同功，并认为植物的叶子同源於动物的四肢。他又把植物的叶子拿来和动物胚胎中所形成的最初简单的组织片相比较，称这些组织片为小叶或层。在动物界，沃尔弗注意到不同物种的胚胎之间比成年动物之间要近似得多，并且以十分相似的方式发育起来。

沃尔弗的学说有相当一个时期没有进一步发展。拥护这些学说的人有哥廷根的约翰·布鲁门巴哈（Johann Blumenbach，公元 1752—1840）、斯图加特的弗里德里希·基尔迈耶以及哈勒的约翰·迈克尔（Johann Meckel 公元 1781—1833）。基尔迈耶在沃尔弗指出不同物种的胚胎比成年动物相互更加近似之后，认为在高等动物的胚胎发育与成年动物在完善阶梯上的地位之间存在着生理上的平行关系。每一个有机体沿着阶梯朝上发育直到它的物种这一级为止，例如人的胚胎最先只有植物性的机能，然后具有那些能运动而不能感觉的低等动物机能，而最后才具有既能运动又有感觉的高等动物机能。奥腾里特（Autenrieth）于公元 1797 年认为也存在着解剖上的平行关系，一个胚胎的构造在达到成年的过程中，也经历与低等动物相类似的解剖形态。迈克尔于公元 1811 年设想一个物种可能从另一个物种进化而来，而高等动物的胚胎在生长过程中则在解剖上及生理上重演了它们物种的进化发展。

德国浪漫主义的自然哲学这时正处在发展的高峰，它对赞成渐成说的论点有一种奇怪的偶然影响。机械论哲学家倾向于采取一种标准化和简单化的自然观，把世界以及世界上的万物当作都是彻头彻尾的机械性质。例如，预成说强调每一有机体物种里世世代代都是固定不变的。浪漫主义哲学家相反地则强调个体的独特性，抬高新奇的甚至怪异的东西。在这样一种思想的指导下，他们提出了反对预成说的一个有力论点——怪胎的产生。沃尔弗曾经使用过这一论点，现在则特别被人强调。布鲁门巴哈于公元 1789 年描述了象蛙一样的畸形人胎，而迈克尔则于公元 1812 年叙说了具有低等动物如鱼那样器官的其他怪胎。沃尔弗曾经认为怪胎是由于胚胎发育受到阻碍所致，迈克尔也附和着他，认为人的胚胎沿着生物阶梯在发育着时可能受到阻碍，从而生出了具有低等动物器官的畸形婴儿。为了确立渐成说，法国人乔弗洛伊·圣提雷尔于公元 1826 年设法撕裂胚胎，在部分孵卵上涂蜡，以及用把鸡蛋上下颠倒过来或摇动鸡蛋的办法，来人工地产生畸形小鸡。

在德国，继布鲁门巴哈、基尔迈耶和迈克尔的多少是臆测性论述的，是重要的实验性研究。这些人里面有先在道帕特大学后在科尼茨贝格大学的马丁·拉特克 (Martin Rathke, 公元 1793—1860)，里加大学的海因里希·潘德尔 (Heinrich Pander, 公元 1794—1865)，特别是恩斯特·冯·贝尔 (Ernst von Baer, 公元 1792—1876) 的重要研究。冯·贝尔是科尼茨贝格大学的生理学教授，后来象在他之前的沃尔弗一样成了圣彼得堡科学院的院士。潘德尔于公元 1817 年证明小鸡胚胎的发育过程是通过三个原始的组织层（或他跟沃尔弗一样叫做小叶）的形成而进行的。从这些层的这一个或另一个层形成了小鸡的各种器官。最里面的一层里发展了食官，正如沃尔弗所证明过的那样，从次一层里产生了肌肉、骨骼和排泄系统，从最外一层里形成了皮肤和神经系统。拉特克于公元 1829 年发现鸟类和鱼类的胚胎经历了象成年的鱼一样具有鳃裂的阶段，当肺发展起来时，这些鳃裂便消失了。他把这个发现当作是对迈克尔的生源说定律的良好证据，这个定律认为有机体的胚胎在其生长期间复演了它的物种的发展。

冯·贝尔继续并扩展了他的朋友潘德尔和拉特克的研究工作。他于公元 1827 年描述了从一只狗的卵巢滤泡内分离出来的真正哺乳类的卵。德·格拉夫在十七世纪认为他在兔子向上发现的卵巢滤泡就是卵本身，但是冯·贝尔证明哺乳类的卵是从滤泡里面产生出来的。在脊椎动物的胚胎发育中，冯·贝尔发现有一个叫做脊索的暂时性的细胞杆，一种原始的脊柱，它在真正的脊骨形成后就消失了。后来在某种低级动物特别是蛞蝓的成年动物里也发现有脊索，也有沃尔弗所发现的原始的肾，即沃尔弗氏体。

冯·贝尔扩展了潘德尔的研究，证明在许多种类动物胚胎的生长中，最初重要的发展是四个组织层的出现，而且在不同动物体内的相同的器官，是从胚胎中同一特殊组织层产生的。最外层形成皮肤和中枢神经系统，第二层形成肌肉与骨骼系统，第三层产生主要血管，而最内层则形成食道及附属器官。冯·贝尔把胚胎发育分成三个主要时期。第一，原始的分化或四个层的形成；第二，组织上的分化或在这些层次之内不同组织的形成；以及第三，形态上的分化或不同的组织构成器官或器官系统。一般说来，不同动物的相同组织和相同器官，产生于相同的层，因此不同的动物里的对应构造可以借比较这些动物的胚胎发育而得到验证。不同动物中具有相同机能的同功结构，如昆虫的气管以及鸟类和哺乳类动物的肺，可以从同源结构加以区别，这些结构有相同的起源，但会有不同的功用，如鸟的翼与哺乳动物的前肢。同源结构产生于胚胎的相同部分，而同功结构，除

非也是同源的，则是从胚胎不同部分产生。在这一方面，胚胎学家比只研究成年生物的比较解剖学家更有利，因为冯·贝尔说，后者是“根据一个确定的直觉”而把同功体与同源体相混淆了。例如，比较解剖学家认为哺乳动物的头骨是由四个脊椎节形成，因此与脊骨是连贯的、同源的，但是胚胎学家却证明脊椎骨是从胚胎中围绕脊索的分节结构发育起来的，而大多数的头骨则起源于脊索以外的一个不分节的板。

冯·贝尔同样地认为动物的分类以及对其所属一般类型的鉴定，最好根据比较胚胎学所提供的证据，而不根据比较解剖学所提供的证据。他指出，虽然一切动物胚胎都以单个受精卵开始，但以后却发生差异，表现出四个主要发育类型中的某一个类型。第一，有表现为双重对称性的脊椎动物胚胎，四个胚层形成两个管子在脊索下面，两个管子在脊索上面；第二，环节动物的胚胎，在其卵黄中围绕着原纹而变为对称性的；第三，呈现一螺旋状发育的胚胎，例如蜗牛和其他软体动物的壳；以及第四，辐射状发育的胚胎，如星鱼。这四种发育的模式区分为四种主要动物，即脊椎类，环节类，软体类及辐射状类。在某一类之内，所有动物的构造都是根据一个共同的总方案来的，随着动物之间的递变，这个方案在胚胎发育的过程中变得愈来愈显著了。四个主要的动物类型是相互独立的，虽则不同类型的胚胎在极早阶段都很相似，所有胚胎都以单个的卵开始，并经过一个简单的细胞球阶段。在某一个类型之内，不同的动物的胚胎，在此后的各生长阶段继续相似，只在后期逐渐发生差异，但是它们绝不类似于其他动物类型的分化了的胚胎。

冯·贝尔因此否定了迈克尔的生源说定律，按照这个定律，高等动物的胚胎，被认为经历着生物进化阶梯上成年低等动物相类似的阶段。他否认生物物种形成一条单线的阶梯，并否认它们都是一种动物过渡到另一种动物先后演化而来的。在自然哲学家的影响下，冯·贝尔主张物种乃是有一个共同起源的各别产物，有四种主要的不同类型，每一类型都根据一个共同的总方案来的。为了说明不同动物的胚胎之间观察到的类似之处，冯·贝尔提出了下面四条定律：

“1. 胚胎所属大类的一般特征在发育中比特殊特征出现得早些。与此符合的是（单细胞的）小胞状是最普遍形状这一事实，对于一切动物说来，还有什么比里面和外面的对立在更大程度上相同的呢？

2. 最一般性的构造关系形成之后，才形成一般性较差的构造关系，并依此类推，直至最特殊的构造关系出现。

3. 任何一种动物的胚胎，并不经历其他动物的具体状态，而是这些状态区别开来。

4. 高等动物的胚胎基本上和另一个成年动物从不相似，而只与它的胚胎相似。”

冯·贝尔很近似一个自然哲学家，不过他的著作比谢林和奥肯的著作较少臆测性。他认为自然界生长与发育的主要目的在于产生独立自足和自我运动的个体。他写道：“从全面来看，发育的主要结果在于发育中动物的更大独立性。”这样一个目的或创造思想充溢着整个宇宙。冯·贝尔写道：

“就是这种思想在宇宙空间里把分散的碎块聚成球体并在太阳系内将它们结合在一起，就是这同一思想从金属性质的行星表面上的雨打风吹的尘埃里产生出各种生命的形态，而这种思想恰恰就是生命形式的本身；而生命表达自己的言词和音节，就是生物的各种不同形式。”

冯·贝尔根据德国自然哲学提示给他的某些观念，从实验上加以证明，其成就是

相当大的。实际上，他几乎把自然哲学在胚胎学领域里所能取得的成果，穷究完了，因为胚胎发育的学说，直至达尔文主义提出新的探索途径时，很少再有什么进展。后来是恩斯特·海克尔以一种新达尔文主义的形式，复活了早先认为个别生物的个体发育重演其种族历史的观点，从而促进了胚胎学的研究。

第三十一章

活的有机体的结构和机能

在十七和十八世纪期间，生物学家所关心的主要是动物和植物的分类。人为的分类法，只依据少数几个特征甚至一个例如植物的性器官特征，比自然分类法便于应用并获得较大的成功。因为自然分类法要求对所研究的生物的全部特征进行考察。但是，人们感到自然分类法由于把动植物放在它们天然科属的地位上，比采用多少有点牵强和专断范畴的人为分类法，在阐明有机体的相互关系上要清楚些。十八世纪的著名植物分类学家林耐于公元1764年写道：

“自然的次序使我们认识植物的性质，人为的次序使我们识别植物。自然的次序，缺少一把钥匙，不成为一种方法；方法应当在没有师傅的情况下获得的。”

在林耐看来，自然的方法没有一把确实的钥匙，而他的关于植物性质和起源的理解是凭直觉得来的。林耐于公元1751年写道：

“一个实际的植物学家一眼就会辨别出地球上不同地区的植物，然而靠什么标记看出来的，他却无从说起。”

属于某一自然科属的动物或植物都有一个共同的普遍结构类型的变化这一思想，为掌握自然分类次序提供了一把钥匙。这种思想一部分是根据成年有机体结构的比较研究来的，因为象脊椎动物这样大类的动物之间在结构上表现了相当大的相似性。法国皇家御医维克·达泽尔（Vic D' Azyr，公元1748—1794）于公元1784年注意到：“大自然似乎总是按照一个原有的总方案行事，她对越出这个方案而感到遗憾，而且我们到处可以碰到它的痕迹。”人们最初认为这个原有的总方案便是人体的结构，因为当时关于其他动物解剖的知识比较贫乏，而人体结构则因与医学有关而研究得比较充分。人体结构是总方案的概念，以及整个有机自然界贯彻着一个总的结构型式的思想，也起源于在德国很强烈的哲学思想，即认为人是宇宙的缩影，因此就总括了有机自然界的一切特征。德国哲学家赫尔德于公元1784年写道：

“从石头到晶体，从晶体到金属，从金属到植物，从植物到禽兽，并从禽兽到人，我们看到了组织形式的上升，而且随着这种上升，动物的能力和倾向就变得越多种多样，直至它们全都统一在体的结构里。……通过这一系列的存在物，我们观察到……它们的基本形状具有一种显著的相似性，这种基本形状尽管有各种各样的变异，却愈来愈接近人的形状。”

我们已经看到，赫尔德以后的德国自然哲学家认为，人乃是一切生物特征的缩影，而生物的结构形状是由“世界精神”的自我发展而产生的，这种“世界精神”在人里面得到了全面的体现。但是，他们却寻找比人体结构更加一般的形状作为有机世界的原型方案。歌德于公元1795年设想植物世界有一种原型方案，动物世界有另一种原型方案，这些都可以借考察现在动物和植物的结构来发现。

奥肯不把人类这个最高等的物种的结构作为他的模型，而把脊椎动物这个最高等动物的纲的结构，作为他的模型。他于公元 1807 年假定一个抽象的脊椎是动物界的原型方案。原型柱是由一系列典型的单元脊骨的分节及其肋骨和四肢附属物所组成，在各不同动物的属和种里以不同的方式变化着。例如，哺乳类动物的头骨是由四节脊骨组成。

奥肯的原型概念没有推广到头骨的脊椎学说范围以外，因为他按照一个自然哲学家的风格涉及到各种各样的题材，而且都以一种相当散漫和思辨的方式对待每一题材。但是在科学研究较接近于经验主义的法国，巴黎自然历史博物馆的脊椎动物学教授乔弗洛伊·圣提雷尔详细地提出作为一切动物物种共同的脊椎型式方案的设想。在他的公元 1796 年最早期的著作中，圣提雷尔认为大自然是按照一个单一的计划而创造一切生物的。不同的动物具有相同的器官，有些夸大了，如象的躯干或长鼻，有些则变成退化器官，如有蹄兽的发育不全的侧蹄。圣提雷尔接着就寻找不同动物中的同源器官，以便从错综复杂的动物界中揭露这个总的方案。他于公元 1807 年开始进行鱼类与高等脊椎动物的比较研究，于公元 1818 年出版了他的《解剖哲学》，在书中概述了他的研究。

圣提雷尔把他对不同动物同源结构的探索放在他所谓“联结原则”的基础上。他注意到高等脊椎动物的前肢能适应各种不同的功用如跑、爬、游泳或飞翔，但是前肢骨能的排列却总是一样的。人手同四足兽的对应器官前足，两者都是背脊骨向外前肢的第四部分，因此不同动物的对应部分可以由相对于这些动物其他部分的位置而加以识别。圣提雷尔说，某一个器官可以加大、萎缩甚至截断，但是不能相互换位。在不同的动物身上，某一器官总是安置在相对于其他器官的相同位置上。

正如圣提雷尔所指出的，这一观点意味着一切动物在原则上都由相同数目的结构部分或者他称做的结构单元所组成。因此，在动物物种千变万化的结构后面，既有一种组成上的统一性，又有一种计划上的统一性。圣提雷尔写道：

“大自然倾向于以相同的数目和相同的关系去重复相同的器官，而仅仅无穷无尽地变化其形状。从这一个观点看来，不存在有不同的动物。只有一件事实统率着，那就是好象只出现了一个生物似的。这是一个抽象的生物，蕴藏在动物性里面，以各种不同的形状接触我们的感官。”

对圣提雷尔说来，动物形体的组成单元是一块骨头，而这些单元在一切动物中都是按照总的脊椎方案安排的。圣提雷尔从各种脊椎动物中获得他的抽象原型方案。他的关于某一特定部分的原型模式，是根据这一部分在某一动物中已达到最高发展阶段来定的。因此，在总的原型中，每一个器官的潜力都得到了充分的实现，原型表明在实际动物中可能发生什么样的器官变化。一切构造的单元，即原型的个别骨头，在一个动物内是看不出的，因为骨头已经连接、融合或消失掉，从而混淆了动物与动物之间的同源体。圣提雷尔因此考察了处于胚胎状态的动物，因为在胚胎状态时骨头尚未连接和融合，这就使动物与动物之间的构造单元及同源体比较容易看出来。他力图用这个方式从总的脊椎原型推演出诸如龙虾和蟹这类无脊椎动物。他的原型的脊椎节主要由形成一环的四块骨，以及形成环的附属物的八块骨所组成。圣提雷尔发现幼蟹和幼龙虾的壳由节所构成，每一个节的组成都由原始的四块后来融合在一起的，而且每一个节都具有相应于脊椎附器的附着物。他又进一步发现龙虾翻转来时，其内部器官的排列，与脊椎动物的内部器官相对应。于是他下结论说，蟹和虾的脊骨都是生在外面的，而且内脏是倒转过来的脊椎动物。在奥肯主编的《繁殖之神》的杂志上，圣提雷尔于公元 1820

年写道：“每一动物，它的脊柱或是生在外面，或是生在里面。”

圣提雷尔假定各动物之间有组成上的统一性和计划上的统一性，这就碰上各个不同形态的起源问题。他设想动物形态的变异是由补偿的定律调节的。根据这个定律，动物的某一部分的发展为另一部分的萎缩所平衡，因为组成整个动物的物质数量是有限的，因此鸟类的巨大胸骨的发展就伴随着胸腔骨的萎缩，而在别的脊椎动物中胸腔骨则很突出。圣提雷尔追随拉马克，认为自然环境的变化导致动物形态的变异。在时间进程中，碰到适宜的环境条件时，原型的潜在力量愈来愈充分地行到实现，从而使各种不同的动物物种形成一条大体上单线的进化阶梯。圣提雷尔写道：

“（动物的）组织仅仅等待着有利条件的产生，从最初形成的简单动物，增加各个部分，而达到处于阶梯顶上的复杂动物。”

但是，圣提雷尔并不象拉马克那样相信动物内部有主动的进化力量，也不认为动物中由于环境变化所产生的新习性反过来导致结构上的变化。圣提雷尔主张动物的习性和机能都是由动物结构决定的，但是动物的结构大部分和动物的习性没有关系。动物结构上的可能变异是由有机物质的内在特性决定的。环境可能会促进结构的变化，但是这种变化所采取的形式则决定于结构的物质单元和原型方案，正象在无机世界中一个化学变化的过程决定于有关化学原子的特定性质一样。假如环境发生变化，动物物种或则改变它们的结构形状，从而改变它们的习性和机能，或则被淘汰掉。而且这种变化并不如拉马克所设想的那样是逐渐的，而是突然的、突变的。圣提雷尔认为爬虫类不可能逐渐进化而成为鸟类，一个全面的变化一定是在大约一个世代以内发生的。圣提雷尔引述了畸形怪物的诞生作为突变的证据，并于公元 1826 年力图用扰乱鸟卵孵化的办法促成畸形鸟的形成。圣提雷尔把胚胎发育的正常进程当作是物种进化的良好证据，因为他认为个体的发育重演了种族进化的历史。他写道：

“一个两栖类动物最初是以蝌蚪为名的一条鱼，然后是以蛙为名的一个爬虫。在这个观察到的事实里，实现了我们上述的假设，即一个有机的阶段转变为直接处在它上面的阶段。”

圣提雷尔和拉马克的见解遭到了他们的同事、巴黎自然历史博物馆比较解剖学教授乔治·居维叶的强烈责难。虽然居维叶曾在德国跟自然哲学家基尔迈耶学习过，而且当时德国正流行着一种关于物种发展的唯心主义学说，后来又在有机体的唯物进化学说具有相当势力的法国工作，他却坚信传统的学说，认为物种从一开始就已经是目前的固定形态。但是在生物的结构形状方面，他却和当代的生物学家有着共同的兴趣，把各种动物的形状当作是它们固定特征的一种表现。公元 1871 年在他的《动物界》一书中写道：

“植物与动物在物种上的符合，并不表现在实质上而是表现在形状上。也许没有两个人、两棵橡树、两株玫瑰树，在它们躯体组成元素的比例上是相同的——甚至这些元素也会发生无穷无尽地变化。它们并不处在那个我们叫做形状的抽象图形的空间中，而是在里面循环周转：可能在几年之内，构成我们今天肉体的东西连一个原子都不剩了——只有形状持久不变，只有形状在其本身的繁殖中持续下去，由我们叫做世代的神秘作用而传递到一个无穷的个体的系列中去。”

圣提雷尔认为动物的结构决定它的机能和习性，居维叶则和他相反，主张动物的习性和机能形成它的结构形式。具有自我运动能力的动物必须有胃装食物，以及搜集或捕捉和分裂并消化食物的器官。静止不动的植物不需要胃而用根来代

替。居维叶写道：“总之，具有少数能力的植物只有一个很简单的组织”。在动物里，消化的首要功能需要一个循环系统以分配食物，不过某些很原始的动物则没有循环系统。除了最简单的动物外，所有动物都有各种各样的循环系统，而这些系统反过来又需要一个呼吸器官，例如肺或鳃。因此在动物里面，机能和执行这些机能的器官存在着一个合理的次序。为了能够自我运动，动物需要一个神经-肌肉机构和一个消化器官，而且后者一般又需要一个循环系统，循环系统往往又需要一个呼吸系统。

居维叶认为动物各个器官在机能上的相互依存性，在动物的分类上，具有重要意义。自然分类法要求考察不同动物的所有器官，但所有器官对这一目的说来显然并不具有同等重要意义，而每一器官的所有变异也不是同样重要。居维叶因此认为动物的自然分类法主要应当以考察执行动物躯体基本机能的器官为基础，因为执行次要机能的器官都依靠它们，而且在整个动物物种的形形色色变化中，它们在结构形式上也是最稳定的。居维叶把基本机能区分为两种：称之为“动物性”的感觉机能和“植物性”的消化与分配食物的机能。居维叶写道：“心脏和循环的器官是植物性机能的中枢，正象脑和脊柱是动物机能的中枢一样。”

居维叶主要根据神经和循环系统对动物物种进行自然分类，于公元 1817 年区分了四个主要类群或类型。第一，脊椎动物类型，包括哺乳、鸟、爬虫和鱼四类，全都有脑和脊髓。第二，软体动物类型，包括六类动物，如章鱼、蜗牛和牡蛎，具有由各别神经质块组成的神经系统。第三，有关节动物类型，包括海虾、蜘蛛、昆虫和一些蠕虫的四个类，全都有一个由两个腹索所组成的神经系统，并且表现为从前两个类型的血管循环系统到气管系统的过渡。第四，辐射状类型，这是一个混杂类型，包括有辐射状对称性的动物如星鱼同以上三种类型的两侧对称动物成为一个对照。第四类型的动物既无循环系统也无神经系统，不过也具有发育不全的动物性机能和植物性机能。冯·贝尔几乎在同时单独地区分了动物界的同样四个主要类型。我们在上面已经看到，冯·贝尔是根据对不同动物胚胎发育的比较研究来进行分类的，而居维叶则是比较成年有机体的解剖结构。居维叶和冯·贝尔二人都主张不同类型的动物相互毫无关联，但属于相同类型的动物则是从一个共同结构计划变化来的。

居维叶选择有机体较主要的普遍特征进行分类的方法，被称为“特性的从属原则”。这一原则曾经为安东尼·德·朱西厄于公元 1789 年同他的植物自然分类法一发表过，并为奥古斯特·德·堪多所继承。居维叶和德·堪多假定：属于某一自然科的所有生物都是根据单一的原型或原始方案来的，这可以通过特性的从属原则而抽象出来。有机体的重要的和根本的部分，只能有少数几种可能的组合，居维叶认为动物界只有四种组合，但是不太重要的部分变化则大得多。按照它们的重要性的递降次序，可以在某一结构类型之内区分纲、属和种。德·堪多写道：

“有机生物的自然分类在于重视促成变化的环境并进行抽象，从而发现每一类群的真正对称性类型。……对称性假定有一个原始方案或原型，而对称性的证据就是总的次序的证据。”

德·堪多和居维叶在采用自然分类法时，很反对生物物种形成单线生物链条的概念，因为这一概念是与生物的人为分类法相联系的。德·堪多把这个概念描绘为“一个滑稽的形象”，而居维叶则否认某一类型的动物和这一类型内属于单独一个纲的动物会形成一个直线的生物阶梯，更不用说整个动物界了。在居维叶和德·堪多看来，各个生物物种都是它们所属类群的原型方案的各别变化。一个

生物类群的原型方案是一种规定性和保守性的原则。它规定了物种变异的可能限度。因此有机世界的多样性是由某种别的东西引起的，但这个别的东西到底是什么，居维叶和德·堪多却提不出任何理论来，因为他们主张物种是固定不变的，而把生物的多样性归之于一个原始的创造行为。德·堪多写道：“我们必须把不同的物种当作是固定不变的东西来研究”，因为这“比积累许多可疑的事例来支持物种的非永恒性”，对科学家说来更有价值的工作。

虽然居维叶没有关于某一原型的各种变化起源的学说，他表明动物的特殊结构形状是和该动物的特殊习惯的机能联系着，而且是依赖后者来的。居维叶指出食肉类动物出于其本性，必须具备能消化肉食的消化道，而吃草的动物则必须有一种消化植物的不同消化道。食肉动物为了捕捉小动物并把它们撕裂开来，就必然要有爪和利齿。它们必须具备能适应这些牙齿的颚，以及适合这种颚的骨骼和肌肉系统。因此食肉动物从来没有象食草动物那样的蹄或扁平的臼齿。居维叶认为一个动物的整个结构、机能和习惯都可以从它的一个部分，例如一根骨头或一个器官，合理地推论出来。实际上他把这种推论当作是和数学证明那样具有同样确定性。居维叶写道：

“一个动物的所有器官形成一个系统，它的各部分合在一起并相互作用和反作用；一个部分发生变化必然会使其余部分产生相应的变化，……决定动物器官关系的那些规律，就是建筑在这些机能的相互依存和相互协助上的；这些规律具有和形而上学规律或数学规律同样的必然性……牙齿的形状意味着颚的形状，肩胛骨的形状意味着爪的形状，正如一条曲线的方程式含有曲线的所有属性一样。”

但是居维叶的相互关联说并不全都是合理的。已知一个蹄的形状，他可能推论出这个蹄所属动物的特征，表明它是食草的，但是他不能表明为什么反刍的食草动物具有偶蹄和前角。偶蹄和前角同反刍动物的联系是纯粹根据经验来的，不象蹄同食草动物的一般关系那样可以讲出理由。

居维叶根据他发现的动物各个部分之间合理的和经验的相互关系，企图从绝种动物的化石骸骨复制出绝种动物的结构形状。有了一根骨头，他就去寻找这个动物曾经有过的其他骨头，而以他在研究活的动物所应有的形状和大小时所形成的观念作为指导。他以这种方式构造了一个绝种动物的骨骼，并从骨骼推论出这个动物的柔软部分，从而推出其机能和习惯。居维叶首先研究了化石象，于公元1800年证明绝种的长毛同印度象之间，比印度象同非洲象之间更为接近。后来在公元1812年居维叶出版了他的《化石骸骨的研究》，复制出约一百五十种绝种的哺乳类动物。

居维叶发现绝种动物与活着的动物是根据同样的一般结构方案构成的，它们全都属于他给动物界区分的四个主要结构类型之一。但是它们愈是古老，便愈与今天活着的动物种类不同；它们在地球历史上出现得愈早，在结构上就愈简单。因此现存的物种和沿时间上溯上去的绝种动物，形成了一个由四个主要分支组成的动物历史序列，每一个分支包括根据共同的一般结构方案的全部绝种动物和现存动物。居维叶并不把他的动物界的四大分支当作是由进化而来的系统树。他采取了邦尼特的学说，认为地球表面一再遭受重大灾难，因而使大部分当时生存的生物物种消灭了。在每一次大灾难之后，一个新的物种就在地球上出现，而这些新的动物属于和以前物种同样的一般结构方案。居维叶设想过去至少曾经有过四次这样的大灾难，最后一次也许是五六千年前的摩西洪水。随着古生物学研究的进展，绝种物种的结构、大灾难的次数和新物种的创造都愈来愈多了。居维叶的

学生，巴黎自然历史博物馆古生物学的第一任主持者阿尔西德·道比尼（Alcide d'Orbigny，公元1802—1857）于公元1849年出版了一本著作，列出在法国发现的约一万八千种绝种动物，并提出二十七次大灾难和创造来说明它们。

巴黎自然历史博物馆的三个同事，拉马克、圣提雷尔和居维叶之间存在着相当大的意见分歧。拉马克和圣提雷尔认为动物物种形成了一个大致上直线的进化递升阶梯，居维叶则主张它们是四种主要结构类型的趋异性变化，而且它们一经创造出来，形状就固定不变。拉马克相信进化是渐进和持续的，是生物对改变了的环境条件的主动自我适应起着作用的。但是圣提雷尔则认为进化是突变的，而生物的变异主要并不是由于对环境变化的反应。在圣提雷尔看来，动物的习惯和机能是由它的解剖结构决定的，但是拉马克和居维叶的看法则恰恰相反；拉马克强调外界条件通过习惯的改变而产生器官结构上的适应，居维叶则强调通过动物体内机能引起动物器官的相互适应，而这又是依赖整个动物本身的存在来的。

这些观点上的不同引起三个生物学家及其拥护者们之间的争论，不过拉马克并不活跃，因为他的学生很少而且他年龄也大了，眼睛也瞎了。但是圣提雷尔和居维叶则进行了广泛的争论，于公元1830年达到顶点。在那一年，圣提雷尔在巴黎科学院提出他两个学生写的一篇论文，文章力图证明墨鱼是脊椎动物与无脊椎动物之间在形态和进化方面缺少的一环，理由是假如墨鱼被当作当中弯曲而头尾相接的话，它便表现出脊椎动物的轮廓来。居维叶在科学院借讨论这篇论文的机会对圣提雷尔的观点发动总攻击。他否认一个动物是从另一个动物进化而来的，并否认动物可以排成一个直线阶梯，并表现出一个单一的结构方案，即脊椎动物结构方案的渐进程序。居维叶坚称动物物种固定不变，而且是四个总方案的趋异性变化，这种变化依赖具有这些轮廓的动物的特殊习惯和机能，而不依赖圣提雷尔所主张的那种相反情况。在辩论中，居维叶以胜利者结束，并且成功地在法国把生物进化的思想消灭了数十年之久。

在十九世纪早期，居维叶是一个有很大影响的人物，在科学上为自己赢得“生物学独裁者”的称号。在拿破仑时期，他被任命为法国大学的督学、法兰西学院教授和科学院的常任秘书。虽然出身于胡格诺教派家庭，居维叶在天主教反动时代仍保持自己的地位，公元1814年波旁皇室复辟后，被封为男爵并任新教务部长。很奇怪，公元1830年7月科学院中的辩论刚巧是第二次波旁皇室的废位。实际上歌德和埃克曼在他们的《会话》中就把这两个事件混淆了。一位法国人类学家托比那德（Topinard）后来认为这两个事件并不是完全不相联系的，居维叶把有机物进化学说同社会改革的主张联系起来了。

第三十章

细胞学说

从古代一直到十九世纪，人们追随亚里士多德，假定有机体的组成物质包含着三个主要的组织层。第一个是由四大元素所合成的没有组织化的物质；第二个是未分化的部分或组织；第三个是已分化的部分或器官。十八世纪晚期的新化学并没有真正改变这种分类，因为当时把没有组织化的生物物质当作是拉瓦锡的新化学元素的化合物，而代替了土、水、气、火。但是，随着十八世纪转折期的德国自然哲学而兴起的活力论思潮，导致这种分类的发展和随之而来的改变，有机体的细胞开始被认为是介于未组织化的生物物质层与未分化组织层之间一个居间的层次。

亚里士多德关于生物物质的分类在蒙彼利埃的医疗学派那里显著地发展起来，它受到斯塔尔的活力论观点和十八世纪期间医疗化学家的强烈影响。法国医生格札维埃·毕夏（Xavier Bichat，公元 1771—1802）根据蒙彼利埃学派的研究，于公元 1797 年把人体的未分化部分区分为二十一种不同的组织，如硬骨、软骨、肌肉等等。毕夏指出，一个已分化的部分或器官是由好几种不同的组织所构成，而且几个器官合在一起组成一个器官系统，如呼吸器或消化器。器官系统又联合成两个主要复合体，一个复合体由消化、循环和呼吸系统组成，调节躯体的生长和营养或植物性生活，另一个复合体由脑、神经和肌肉组成，主管自我运动和感觉的动物生活。毕夏设想躯体受内部生命力的驱使，因为生命消失时，组织、器官和器官系统依然存在，所以它们本身不可能构成活的有机体。医疗化学家认为各个器官都有其由内部生命力引起的自己的生命，毕夏发展了这种见解，认为各种组织都各自有其本身的生命。医疗化学家还主张疾病是侵犯特定器官的高度特殊实体，毕夏也发展了这个学说，认为病症位于被侵犯的特定器官的一种特殊组织之中。

这时在德国，奥肯和其他一些人已经发展了他们的自然哲学体系，这个体系的内容之一是描述他们认为是组成有机世界多样性的典型单位。歌德认为叶子是各种不同植物的典型单位结构，而奥肯则主张脊椎节是一般动物原型结构的基本单位。奥肯还进一步认为有机体由粘液囊泡或活的单位所组成，并在它们暂时所属的有机体死亡后继续生存着，形成另一个生物的一部分。在十九世纪早期，这样一种观点相当流行，并且同对动植物结构的显微镜观察结合在一起，导致了细胞学说的发展。

在十七世纪初胡克、马尔比基和列文霍克，都曾用显微镜看到了植物细胞，但是并没有被认为是植物世界的独立的、活的结构单位。在十七、十八世纪之际，植物学家对于植物的分类和整个植物的生理机能比对于植物结构的细节格外感到兴趣，但是在十九世纪初期，植物解剖的研究复活了，若干德国植物学家特别是特雷维拉努斯（Treviranus）和冯·莫尔（Von Mohl）认识到细胞是植物的结

构单位。大概在同时时候，在十九世纪二十年代，意大利的亚米齐（Amici）和其他人制成了改进的消色差显微镜，使人们得以观察到有机细胞的详细情况。一个伦敦医生罗伯特·布朗（Robert Brown，公元 1773—1858）于公元 1831 年观察到植物细胞一般具有一个核，不过他对自己的发现并不怎样重视。捷克人普金叶（Purkinje，公元 1787—1869）在公元 1835 年用显微镜观察了一个母鸡卵中的胚核，并指出动物的组织，在胚胎中是由紧密裹在一起的细胞质块所组成，这些细胞质块与植物的组织很类似。

这些观察导致耶拿大学的植物学教授马提阿斯·施莱登（Mathias Schleiden，公元 1804—1881）于公元 1838 年宣布，细胞是一切植物结构的基本的活的单位和一切植物借以发展的根本实体的学说。施莱登追随自然哲学的思潮，主张考察个别植物的发育；这比传统的植物分类研究和成体结构考察会导致对植物本性更多的了解。施莱登写道，在植物学中，植物胚胎学“一旦是许多新发现的唯一和最丰富的泉源，就继续下去好多年”。施莱登假定在植物的发育中，基本的过程是独立的活的细胞的形成，这些细胞一旦形成之后，便被安放在一个结构模式里，表现了整个植物的统一性，细胞是一个独立自足的单位，并且因此而有两个生命：一个生命是它自己的，这是首要的；另一个生命是属于有组织植物结构的部分，这是次要的。两个生命过程都是“成形力量”的表现，这种力量充满了整个自然界，形成了无机的晶体，构成有机的细胞，并组织这些细胞成为合成的活的生物。关于植物细胞之形成，施莱登要人们特别重视罗伯特·布朗关于细胞核的发现，认为一个新细胞起源于一个老细胞的核，最初形成老细胞的球体的一个裂片，然后分离出来自成一个新的细胞。

卢万大学的解剖学教授泰奥多尔·施旺（Theodore Schwann，公元 1810—1882）于公元 1839 年把细胞说扩大到动物界。和施莱登一样，施旺把细胞学说跟有机体的发育研究或胚胎研究联系起来。他以这样一句话概述了这个学说的内容：“有机体的基本部分不管怎样不同，总有一个普遍的发育原则，这个原则便是细胞的形成。”施旺倾向于这样的观点，即一切动物的受精卵都是单个细胞，胚泡就是核，不管这些细胞是大如鸡蛋或者小如哺乳类的卵，都是一样。因此，一切有机体都以单一细胞开始有生命，并以其他细胞的形成而发育着。施旺和施莱登一样，假定植物和动物受精卵中的新细胞在老细胞之内发展起来，但是他主张在动物发育的后期，从细胞间物质中形成新细胞。在施旺看来，细胞的形成中，有两种力量在起着作用。一种力量是有机细胞所特有的新陈代谢力，它把细胞间物质转变为适合细胞形成的物质。另一种力量是一种吸引力，通过浓缩和沉淀制成的细胞间物质而形成细胞，这一种力量在无机世界也发生作用，并引起晶体的形成。开头是细胞间物质通过晶体化形成细胞核仁，而围绕核仁沉淀出一层物质形成核。更浓缩的物质层产生细胞的浆，浆的外表再凝成细胞壁，这样细胞就完成了。吸引力和代谢力赋予细胞以自主性和它自身的生命。施旺写道：

“生长不是植根在整个有机体内的一种力量所引起的，而是有机体每基本部分都有它自身的一种力量，你也不妨说有它自身的生命：这就是说，在每一基本部分内，许多分子的如此组合以释放出一种力量，使细胞得以吸引新的分子从而生长起来，而整个有机体只是通过各种基本部分的相互作用而存在的。在这种可能发生的事件上，形成营养上的积极因素的是那些基本部分。但根据上述观点，有机体的整体性实际上只能是一个条件，不可能是原因。”

施莱登和施旺关于新细胞由老细胞内部或外部有机物质晶体化而形成的见解，于

十八世纪四十年代为许多研究者加以纠正，特别是植物学家冯·莫尔，耐格里和霍夫迈斯特(Hofmeister)以及动物学家克里克尔(Kolliker)、莱迪希(Leydig)和雷马克(Rimack)，他们证明新细胞是靠分裂形成的，细胞核先在母细胞内分裂为二，然后是母细胞分裂为两个子细胞。

施旺将他的细胞学说用在毕夏的有机体未分化部分的分类上，在细胞的基础上区分了五类组织。他指出：第一种组织是独立和分离的细胞，例如血液细胞；第二种组织是独立而紧挨在一起的细胞，如皮肤细胞；第三种组织是骨和牙的细胞，具有发育得很好的接连在一起的坚固的壁；第四种是被拉成长纤维的细胞，如韧带和腱；第五种是神经和肌肉那样的细胞，施旺认为这里面的细胞壁和腔都已经连接起来了。柏林大学病理解剖学教授鲁道夫·微耳和(Rudolph Virchow, 公元1821—1902)追随施旺，从医学方面发展了毕夏的组织学说。医疗化学家把疾病的部位从整个的身体缩小到特定器官的狭小范围之内，而毕夏又从一个器官缩小到特定的组织，现在微耳和于公元1858年又认为疾病是在细胞的内部引起，并在某一组织里因恶性细胞的形成使疾病扩散开来。微耳和采纳了施旺的观点，认为细胞是自主的活的实体；他把人体当作是“一个国家，其中每一个细胞是一个公民”，而疾病则是一种叛乱或内战。微耳和写道：

“动物都是生命单位的总和，每单位都具有充分的生命特征。生命的性质和统一性，不能在高等组织的某一特定点上，例如在人脑中见到，而只能在每单独基本部分个别表现出来的具体的、经常反复的倾向性中见到。因此，主体即所谓个体的组成，必须比拟为一个社会组织或社会，其中若干个别的存在物都相互依存着，然而每一个单元都有它自己特殊的活动，并靠它本身的力量执行自己的任务。”

微耳和就这样排除了医疗化学家、哲学家认为有机体的生命单位是受赫尔蒙脱的“阿契厄斯”或者莱布尼茨的“中心单子”那样的中心力量支配的想法，以及自然哲学家和形态学家关于动物的理想方案赋予动物一种有机统一性的观点。他也不赞成医疗化学家关于疾病本身是有生命的实体并从外界侵入人体的观念，但这一观念却因巴斯德和柯赫的细菌发现而获得了支持。微耳和不承认疾病的细菌学说，到了八十年代他就转到古生物学和人类学方面去，因为这时候细菌在疾病起因上的作用已经了解得更多了。

施莱登、施旺和微耳和把有机体的细胞大体上是自主的有生命的实体这一观点引向极端。浪漫主义运动(德国的自然哲学就是它的一部分)把个人和自我运动抬高到一个尊严的地位，而有机体性质的基本单位大体上是独立自主和自足的学说，可能就是这个总观点在生物学上的特殊表现。这样一种学说受到了旧派的形态学家如赖歇特(Reichert)的批评，他主张有机体本身从它的构造方案可以看出是一个整体；也受到斯脱劳伯格那样细胞学家的批评，他指出细胞相互之间不可能完全独立，因为它们是由原生质的桥梁连接起来的；还受到谢灵顿(Sherrington)和巴甫洛夫(Pavlov)那样的生理学家和心理学家更为根本性的批评，他们在十九世纪末尾开始在高等动物中证明了神经系统的协调作用。

第五部分

十九世纪的科学：工业和学术变革的促进者

第三十三章

地质学的发展

地质学在十八世纪开始成为一门独立的科学，并在十九世纪早期达到成熟阶段。在此以前，地质学的知识还很零星分散。关于这方面的知识，如从地中开采金属、粘土、煤和盐的一些知识，早已为矿工和有关的人们所知晓，而自然哲学家们则大都脱离这些实践，独立形成自己的思辨性的地质理论。一般说来，从地下开采出来的无机物被认为是具有生命的，受一种内在的塑性力量的推动或日月星辰的外来影响而成长。举例说，当时矿山不时会停工，以便使新矿藏能够成长起来，代替开采了的矿物。普遍认为化石是自然界在产生动植物的过程中出的废品，或者是偶然和生物形态相似的“自然界游戏”。在历史上标志一个崭新时代开始的各个时期，也有一些人提出化石是生物遗体的说法：在苏格拉底前的古希腊人当中有可乐丰的色诺芬尼（Xenophanes of Colophon），在文艺复兴时期有达·芬奇、吉罗拉摩·法拉卡斯托罗和乔尔丹诺·布鲁诺。

但具有这种看法的人在十七世纪是不多的，因为人们指出，如果化石是现已绝迹的生物遗体，那末，构成生物等级的那条巨大链条就不可能是连续和完整的了；当某一物种灭绝以后，这个链条上就有了空档，这样整个世界也就变得不完善了。剑桥大学的牧师和自然科学家约翰·雷就反对化石是动植物遗体的说法，后来虽勉强接受，但还加上一条反对理由，那就是很难想象属于海中生物的贝壳化石会到了高山顶上。他认为这些深深埋藏在高山岩层中的化石，很难用某种地上暂时发生过的大灾难，如摩西洪水来解释它们。他还说，即使如此，洪水退落时，也会把这些化石动物冲下去。伦敦格雷山姆学院的医学教授约翰·伍德沃德（John Woodward，公元1665—1728）在公元1695年发表的《地球自然历史试探》中对约翰·雷作了答复。伍德沃德认为摩西洪水比约翰·雷所设想的灾难规模大得多。他写道：“那时整个地球被洪水冲得土崩瓦解，而我们现在看见的地层都是从混杂的东西沉积而成的，就象含土液体中的沉淀一样。”伍德沃德认为洪水不仅消灭了地上大部分生物，而且还粉碎了地球的表面，并使地面的无机物在水中漂起来。这样，通过沉积的过程，新的岩石层就形成了。动植物的遗体也被卷入这一过程，因此在地层的最深处找到化石。最重的物质如金属、矿物和比较重的骨头化石沉积在最低下的地层中，在它上面是白垩中较轻的海生动物化石，最后在最高地层的沙土和泥土中的就是人和高级动植物化石。伍德沃德就是这样认为化石是一度存在过的生物遗骸，并且声称化石是圣经中摩西洪水的最可靠的历史见证。接受这一看法的伍德沃德的同时代人，主要的有艾·哈雷和威廉·惠斯顿，但他们都不象他那样坚持神学的正统见解。他们提出摩西洪水无非是因哈雷彗星在其运行非常接近地球的时候引起的潮汐巨浪。

虽然如此，伍德沃德的创见在十八世纪还是比较普遍地为人们所接受，从而在整个这段时期引起人们收集化石的兴趣。甚至教堂墙壁上也挂起化石标本，用

这些标本标志“圣经中提到的巨人的骨头”。

伍德沃德和他的那些追随者特别强调水，尤其是摩西洪水在形成岩层及形成岩层中化石的作用。但是当时还有与之相对立的、强调火和火山活动的作用的另一学派。约翰·雷在答复伍德沃德时就提出了山岳和干燥陆地是在上帝的命令下，通过地球内部的火的作用，从海里上升起来的。在那些有活火山的国家中，这种说法似乎比洪水说可能性更大些，所以在公元1749年威尼斯的一个修道院的院长安顿·莫罗（Anton Moro）就提出了地质形成纯粹是地球内部热力所致的理论。莫罗认为摩西洪水只是次要的，在地质学上也不是重要的事件。他认为所有岩层都是由一系列的火山爆发的熔岩流所造成的，每一次火山爆发都把当时的动植物埋葬在新形成的地层中，所以岩层内才有化石存在。

伍德沃德和莫罗两个观点的对立，标志着十八世纪末关于地质形成理论争论的开端，这场热烈的争论，一方是强调形成地层的水的作用的水成说派，另一方是强调火的作用的火成说派。在这次争论以前和以后，这两种观点都被看作是相辅而行的。但是在公元1790—1830年间，因为当时火成说和岩石层是逐渐定演化而来的理论结合在一起，而水成说则和地层是因突然的灾变而形成的理论结合在一起，双方争论尖锐起来，不过当时也有一些人主张火成说同时倾向于突变说。在争论过程中和在争论之前，人们倾向于用纯区域性或地方性的证据来支持这一种或那一种地质理论。如考察过活的或死的火山的地质学家就倾向火成说，而专门从事于沉积岩石研究的人则倾向水成说。

在发生争论之前关于地质学的一些演化论学说已经有人提了出来，便是没有能够引起普遍注意，主要是因为这些理论带有思辨性质。当时关于地球年龄的传统说法主要是根据《圣经》旧约中的人物世系，而作出地球年龄是六千年的估计，但也有一些人认为这段时期要长得多，布丰就是其中之一。巴黎皇家植物园的总管乔治·布丰，在公元1749年提出并在公元1778年加以仔细阐述过这样一种关于地球演化的理论。他假定地球年龄为八万年左右，并可分为七个发展时代。首先是由于太阳和一颗彗星相撞，一些物质从太阳中迸发出来而形成太阳系。地球和其他行星一样，开头也是半液体状态的熔融物，但由于绕轴自转，赤道凸出来而两极则变为扁平，所以地球才成了它现在这样的扁球形状。后来地面形成一层坚硬的地壳，而且随着地球表面温度的逐渐下降，地壳起了褶皱，使地上出现山脉和海床。接着是大气中的水分凝结为浸没整个大地的海洋。地壳的最高部分受到海水的侵蚀，而碎岩的沉积就形成了泥土。化石就是埋藏在这样的沉积物中，它们原都是满布于海中的生物。后来地壳上出现了裂缝，许多水灌进地球内部，留出陆地来，并有植物在陆地上出现。随后又有了陆地动物，最后出现了人。

布丰的理论具有高度的思辨性，不过他也企图把经验的验证方法介绍到地质学中来，用一些铁球进行实验，来估计上述的那个发展过程所经历的时间。但是地质学在这个阶段采用实验室方法是受到限制的；它主要是一门野外的科学，需要从不同的地带把观察到的事实搜集起来。与布丰同时代的法国人，曾任奥良公爵的医生的詹·格塔耳（Jean Guettard，公元1715—1786）和曾任工业总监的尼古拉·德马雷（Nicolas Desmarest，公元1725—1815）就做过这种搜集工作。他们考察的范围遍及法国各地，特别在他们认为是许多死火山的奥汶地区作了大量观察。格塔耳倾向于水成说，在公元1770年提出构成爱尔兰的“巨人堤道”上的“石柱”的玄武岩石是在水中结晶而成的假说。但德马雷在年代悠久的火山的邻近也发现了玄武岩石的石柱，认为它们是由熔岩固化而来的。总的说来，格塔耳和德马雷都结合水成说和火成说，主张在岩石形成的早期阶段，热力和火山

起的作用很大，但是后来水的作用就更重要了。

格塔耳也是最早从事于地质调查的一个人。他注意到地面上的矿物和岩石夹层总是并列存在，而从这些夹层的走向，他就得出结论，认为在法国海岸边陷入了英吉利海峡而似乎是消失了的夹层，应该在英国南部重新出现。进一步的考察证明他这个结论是正确的。后来在巴黎科学院的赞助下，他同化学家拉瓦锡合作调查了整个法国的岩石夹层的分布情况，于公元 1780 年出版一份大型的法国地质图。格塔耳没有看出地面上并列的岩石夹层，在地下是垂线层迭的，这或许是由于当时法国的开矿业还不十分发达，所以难以考察地壳的垂线切面。早在公元 1719 年，英国人约翰·斯特雷奇（John Strachey，公元 1671—1743）对英国的门底普产煤区作了地质调查，弄清楚那里从煤到白垩的岩层情况，随后不久，柏林大学的地质学教授 约翰·勒曼（Johann Lehmann，卒于 1767 年）和医生格奥格·富克泽尔（Georg Fuchsel，公元 1722—1773）也对哈尔茨山脉的产煤区进行了同样的地质调查。

勒曼和富克泽尔把岩石的垂直系列看成是历史的递续现象，每一层都是在下一层的上面逐渐形成的。他们根据年代的远近，把岩石主要分为三类。首先是不含有化石的原始岩层，它们构成山峦的核心；其次是第二层的沉积物，含有简单的海生物化石；最后是第三层的岩石，含有陆上动物和植物化石。勒曼和富克泽尔认为这些岩层都是由海里的沉积物形成的，由于地壳在冷却过程中产生了褶皱，这些岩层也就有了倾斜的情况。他们的观点得到在俄国女王喀德琳二世下面任事的德国人彼得·帕拉斯（Peter Pallas，公元 1741—1811）的支持。帕拉斯于公元 1768 到公元 1784 年间在乌拉尔山脉一带进行过广泛的地质调查，观察过乌拉尔山区的岩层有显著的倾斜现象，较近的由于沉积形成的山顶岩石受了风化侵蚀，使得它下面的原始岩层露了出来。

下一个重要的德国地质学家是阿伯拉罕·维尔纳（Abraham Werner，公元 1749—1817）建立了一个纯水成说的学派，上述的演化论观点并未受到他的注意。他出身于一个矿业家庭，三百年来都和采矿工业有着联系。他继承了家庭传统，从公元 1775 年直到逝世，都是弗赖堡矿业学院的校董。维尔纳没有发表过多少著作，但是他是一个很受欢迎的教师，从欧洲各地吸引了许多学生到弗赖堡学院来。事实上，他的见解是通过讲课而传开的，而他的许多学生则在十九世纪初期使水成说成了主要的地质学说。维尔纳的地质学理论是伍德沃德早期洪水说的一个通俗化了的增订本。他认为地球最初为一片原始的海洋浸没着，所有岩层都在海中通过结晶化、化学沉淀和机械沉积而形成的。

维尔纳认为首先出现花岗岩那样的原始岩石，这是在原始海洋中通过结晶化而形成的：原始岩石里完全没有化石。然后是所谓“过渡性”的岩石如石英、板岩等等，其中只有少数化石，这些是在海洋中由于沉淀而成的。其次是沉积岩，由水中沉积的固体形成，如煤和石灰岩，含有大量化石。最后是次积岩或导生岩，如沙石和粘土等，它们在其他岩石经过风化所产生的碎屑形成的。维尔纳认为火山是煤在地下着了火所导致的，它产生的热熔化了附近的岩石，因而不时爆发，喷出熔岩。因此，对维尔纳来说，热力并不是一种重要的地质力量：由于煤的燃烧而引起的火山爆发只是一种较晚的、辅助的岩石形成因素，是在主要岩层都已形成以后才出现的。

维尔纳在世是正处在德国“自然哲学”最昌盛的时期，看来也受到这种思想流派的影响。他关心的岩石的可能起源问题，认为他假定的原始海洋是所有岩层的共同来源。和维尔纳同时代的其他地质学家对岩石的终极来源并不关心，他们

所关心的是今天还在起着作用的地质力量，并设想这些力量自有地球以来就已存在，并可用来解释岩层形成的原因。维尔纳也把他的四类岩石作为岩石的基本类型：所有岩石都可纳入四类中的一类，而无论是哪一类都是通过结晶化、沉淀或沉积的作用而形成的。同样地，当时德国的生物学家也把生物物种看作是来自一个来源，所有动物和植物只不过是少数原始类型的变形。在实用的问题上，维尔纳强烈地受到他在采矿方面的兴趣的影响，事实上在某些方面他的地质学是从属于矿物学的，因为他是根据岩石所含有的矿物而不是根据岩层中的化石来对岩石进行分类。后一种方法后来成为岩石分类的标准方法。维尔纳的实地观察主要局限于萨克森和波希米亚，这些都是采矿区域，矿藏特别丰富。维尔纳根据岩石含矿情况对岩石进行分类，因此很有用，但并不象根据化石进行分类的方法能指出岩层年代的顺序。不但如此，这种方法还不能随便用于萨克森和波希米亚以外的、含有不同种类的岩石和不同顺序的岩层。但是维尔纳学说的一个最重要的缺点，是它没有解释岩层形成以后原始海洋为何不见了。维尔纳的学生、爱丁堡大学的博物学教授罗伯特·詹姆逊（Robert Jameson，公元 1774—1854），在公元 1808 年发表的《地质学纲要》一书中阐述了维尔纳的理论。詹姆逊在书中讲到原始海洋的消失问题：

“虽然我们还不能很圆满地答复这个问题，但是水量减少和消退的说法还是一种可能性很大的解释。我们相信这是真理，而且事实上就是如此，虽则我们还不能解释它。根据观察知道一个重大现象曾经发生过，这同肯定它是怎样发生的，绝不是一回事。”

维尔纳的理论就是建立在这样的假定上。他把岩石的来源原则上归之于没有观察到的原始的海洋，并且假定原始海洋完成其作用以后，就由于某种莫名其妙的原因消失了。爱丁堡的一位业余科学家詹姆斯·赫顿就反对维尔纳理论，提出只能用现在还在起着作用的地质力量来解释岩石的形成过程。赫顿受过医学训练，但从未行医。他参加了当时的农业和工业活动，把他在诺福克郡学到的农业生产新方法用在贝里克郡自己的田产上，并开办一个制造铵盐的工厂；这使他获得足够的收入，能安心从事于科学和技术的研究。公元 1785 年，他在爱丁堡的皇家学会宣读了一篇论文，扼要地阐述了他的地质学理论；十年后他又出版了他的主要著作《地质学理论》，更加充分地发挥了他的论点。和维尔纳相反，赫顿强调了地球内热的地质作用，不过也承认水的地质形成作用。他在诺福克郡发现沿海岸许多含有石砾砂土和泥土的岩层，在地下一一直伸到内陆的田地下面，这些都是河水把山上风化了的碎屑冲到海里积累而成的。他认为凡是沉积岩，都是通过地球的内热结合地面陆地和海洋的压力作用于这样积累起来的砂石和泥土而形成的。沉积岩是非晶质的，但他发现构成苏格兰山脉的岩石则是晶质的，因此他设想这些结晶岩是由于融岩的固化而直接形成，而不象维尔纳设想的那样，是矿物在水溶液中结晶的产物。

赫顿主张地球内部是熔融的岩石，地球的坚固表面就仿佛是作为它们的容器，容器封闭得很紧，只有一些火山算是安全的活门。他认为，熔融岩石时而从地下的裂缝中迸发出来，使上面的沉积层发生倾斜。熔融岩石接着就固化了，从而形成结晶岩层如玄武岩和花岗岩等，这样山岭就具有结晶层的核心和沉积层的表面。在有些山的脚下，他发现在倾斜的沉积层上面还有一些水平沉积层，于是得出结论，认为从倾斜岩层的形成到新的水平岩层的积累经过很长的一段时期。事实上赫顿不认为地球的地质形成过程有什么起点：地球的年代无限长，而且一直都是由现在还起着作用的那些力量在形成、毁坏、再形成构成地壳的那些岩

层。赫顿和那些认为人类不论在何时何地都非常相似，并从而得出进步观念的十八世纪法国机械论哲学家一样，也是从自然界的力总是守恒这一概念出发，引伸出他的地质发展论点。法国机械论哲学家认为人的生理和精神力量总是守恒的，因而人才能为人类积累经验并起着进步作用；赫顿和这些法国哲学家一样，也认为由于地质力量总是守恒和始终一样，所以才出现岩层的历史顺序。这时候太阳系是机械的稳定并能永远保持其自身运动的理论已经确立，赫顿就是根据这一理论来提出他的地球上岩石形成力量总是不变的观点的。他写道：

“从行星的周转来看，人们可以得出结论说，行星还会按照一定的体系继续周转下去。但是如果在自然界体系中世界是周而复始的，那末要在地球起源之上再去寻找什么，就是白费了。因此，我们的研究结果表明，即无一个开始的迹象，也无一个结束的前景。”

赫顿的理论得到他的两个友人，爱丁堡大学的博物学教授约翰·普莱费尔和爱丁堡的一个业余科学家詹姆斯·霍尔爵士的支持，并由他们加以发展。普莱费尔在公元 1802 年出版了《赫顿学说的例证》，把赫顿的学说说得比赫顿本人还要清楚，并在书中提出了普莱费尔自己的见解，认为冰川曾经是地质上的一个主要力量，因为冰川把大块岩石从一个地方带到另一个地方。霍尔在公元 1790 到公元 1812 年间进行了一些支持赫顿理论的重要实验。维尔纳的学生和追随者反对赫顿，他们认为：第一，熔融的岩石不会因固化而变得结晶化，只会象火山发出的熔岩那样，变为玻璃状的东西；第二，有些岩石如石灰岩受热后就会分解。霍尔在利斯的一个玻璃工厂中看到，如果让熔融的玻璃非常缓慢地冷却，它就结晶化并变成不透明体，而如果让它很快地冷却，它就会变成透明的玻璃状态。他假定熔岩也应该是如此，于是从维苏威火山和埃特纳火山弄到了一些熔岩，放在铁厂的高炉中熔化。如他所料，如果让熔融岩石慢慢冷却，它就变成象玄武岩那样的结晶质，如果让它很快冷却，它就变成玻璃状的东西。霍尔还进一步表明，如果把石灰石放在一个封闭的容器中加热，它并不象水成说派所说的那样分解掉，而是象赫顿所提示过的那样，在冷却后变成大理石一类的东西。在另外一些实验中，霍尔发现如果把散沙放在一个装满海水的铁壶中加热，它就会变得象沙岩一样坚硬结实，而这也支持了赫顿的观点。

尽管霍尔作了许多实验，赫顿的理论开头并没有为人们普遍接受，因为这些理论被看作对传统宗教，甚至当时社会的一切传统秩序起破坏作用的。爱丁堡的约翰·威廉斯，一个曾对煤炭层作过重要研究的地质学家，在他公元 1789 年出版的《矿物界的自然史》一书中，就对赫顿进行攻击，说他是主张无神论的。威廉斯说：

“赫顿关于地球的永恒性的狂妄和牵强的见解，首先把人引向怀疑论，最后把人引向十足的反正统信仰和无神论。如果我们一旦相信世界是永恒的，并能继续产生不断进步的万事万物，我们就会认为不需要有一个统治力量来干预一切；而且因为我们无从靠肉眼看到至高无上的主宰……我们就会把一切都归之于盲目的机会。”

他还以肯定的口气说，一切叛逆行为“都终久要陷入无政府状态、混乱和苦难，而学术性的背叛也必然会如此”。夏洛特皇后御用的《圣经》宣读员德鲁克也提出类似的批评。他在公元 1809 年出版的《地质学导论》一书中，说地质学的知识对当时的神学家们已经是少不了的了，因为

“没有任何自然科学的结论，比牵涉到《创世纪》对于人们更加重要的了；因而把这样的书列入神话之类，就会使人们对他们所需要的那一部分

知识变得蒙昧无知；而这一部分知识就是关于人的由来、人的天职和人的命运的。”

诸如此类的批评使赫顿的理论在当时非常不受欢迎，直到三十年代才又一次被提出而被人们广泛地接受。在此之前地质学有了许多技术上的进展，从而为赫顿观点后来的复兴和扩充提供了经验基础。公元 1807 年成立了以发展地质学知识的英国地质学会。这个学会早期的大部分成员是水成说派，也就是维尔纳的追随者，但是一个苏格兰的会员麦卡洛克（MscCulloch）却支持赫顿学说的火成说观点。学会开会不时发生理论上的争执，不过在十八世纪三十年代以前，争论主要是环绕赫顿的进化说进行的。顺便提一下，地质学学会的成立说明了在十八世纪和十九世纪早期，英国自然科学界中的不信国教的人数是相当可观的：地质学学会十三个会员当中就有四个是公谊会教徒和一个一神教派的牧师。

公元 1790 至公元 1830 年这一段时期被称为“地质学的英雄时代”。在这个时期，在考察岩层顺序以及岩层所含矿物和化石上，人们做了大量工作。工作方法的一大进步表现在用根据化石内容来进行岩层分类。这种方法布丰早就提出过，但加以广泛应用的则是英国的土地测量工作者威廉·史密斯 William Smith，公元 1769—1839）和法国的生物学家乔治·居维叶。史密斯被雇用来勘测索默塞特运煤的运河，为此他曾走遍英国去看别的运河是怎样建成的。在从事这项工作以及其他排灌水利工程时，他发现英国的各种不同岩层，从煤层到白垩层，都可根据其所含化石的不同加以区别。史密斯设想，具有同样化石的不同地方的岩层都属于同一年代，虽则他对岩层的形成没有提出理论。他在公元 1799 年发表了他的岩石分类法，并在公元 1815 年绘制成份表明横贯整个英国地面的岩石夹层的地质图。接着在公元 1817 年，他又出版了一份表明英国地下岩石层的纵切面顺序图表。史密斯主要关心的是简单的海生动物的遗体，特别是贝壳化石，因为他的主要兴趣是对含有这种化石的岩层进行分类。居维叶更关心的则是陆上动物的遗体，因为他的兴趣在于根据这些遗体把现已绝迹的动物复制出来，而这个问题就脊椎动物来说比其他动物更容易解决些。他还很重视化石在地质学上的重要性，所以在公元 1812 年出版的、主要论述绝迹动物复原的《化石骨骼研究》的导言中，他提出了一个关于地球地质发展过程的理论纲要。

正如我们论及居维叶对拉马克主义的态度时所说的，居维叶非常反对生物学中的进化理论，同样对赫顿的地质演化说也表示反对。他认为自然界现在还在起作用的那些力量并不足以解释岩石的成因，因为岩层与岩层之间并不显示连续性。不同的岩石层之间有很明显的分界标志，而每一岩层也有其特殊的、别处找不到的化石遗体。这就表明每个岩层都是由某一种特殊的强大动力所造成的，而不是由现在还在起作用的微小力量所造成的。他认为造成岩层的主要力量是一系列的洪水灾变，这样的洪水的最后一次泛滥，就是五、六千年前出现的摩西洪水。每一次洪水泛滥都把地球上的生物几乎扫荡净尽，并冲蚀地球的表面，而当洪水退却之后，就通过沉积而出现了含有生物遗体的新岩层。这些灾变还动摇了以前所有洪水所产生的各个岩层，使它们产生歪曲和偏斜的现象，而这也就是早期的岩层比晚期的岩层更加弯曲和偏斜的缘故。居维叶的影响有几十年之久，他不但在法国反对地质的演化说思想，并且反对生物的演化说思想。居维叶本人是水成说者，但他的信徒们并不都认为形成地质岩层的灾变是由洪水所致。巴黎矿业学院教授爱理·德·博蒙特（Elie de Beaumont，公元 1798—1874）在公元 1829 年提出一种火成说的理论，认为地质灾变是由地球内部的液体冷缩，而使坚实地壳突然发生裂缝所致。在德国，维尔纳的学生利奥玻尔德·冯·布赫

(Leopold Von Buch, 公元 1774—1852) 也持有类似的见解, 不过他和博蒙特都不能接受地球地质的缓慢演变的发展说, 因为这一观点代表了当时英国火成说的见解。

当时在英国, 接受维尔纳和居维叶的地质学说的人很多, 因为这些学说不象赫顿的理论那样和当时的神学有抵触。英国的两个地质学教授, 剑桥大学的亚当·席基威克 Adam Sedgwick 公元 1785—1873) 和牛津大学的威廉·巴克兰 William Buckland, 公元 1784—1856) 都是牧师, 并且都是热心水成说的。巴克兰于公元 1823 年出版的《洪水遗迹》是企图把神学和地质学结合起来的最后一部书。他假定有一个“前亚当的时代”存在, 这个时代从创造天地开始到《创世纪》的第一天为止, 约有几百万年。在这段前亚当时期中, 巴克兰认为, 出现了维尔纳和居维叶设想的那些主要的地质变化。席基威克最初也属于水成说派。在公元 1819 年当他被任命为剑桥大学的地质学教授的时候(剑桥的地质学讲座是伍德沃德设立的), 他写道, 他“满脑子都是维尔纳的思想, 甚至准备牺牲自己的见解, 接受维尔纳所有的信条——做一个维尔纳的奴隶”。虽说如此, 席基威克和他的一位乡绅友人罗德里克·麦其生(Roderick Murchison, 公元 1792—1871) 一同进行地质学研究, 最后却把维尔纳的地质学体系推翻了。威廉·史密斯曾经对含有化石的那些晚出的岩层进行研究, 他研究的最下岩层是煤的岩层。席基威克和麦其生研究了在威尔斯地区发现的早期岩层, 这些都是含极少量的完全不含有化石的原生岩层, 其成因很难说是由于水的化学作用或机械作用。席基威克发现了寒武纪的地质层, 麦其生发现了志留纪的地质系, 他们两个人还一同发现了介于志留纪和煤岩层之间的泥盆岩。然后他们周游欧洲大陆去考察与这些岩层近似的其他地方的岩层, 并在公元 1829 年得出结论, 原生岩层不是象维尔纳设想的那样是在水中结晶而成的, 而是熔融岩石的固化或凝固化的结果。席基威克声称他由于追随维尔纳, 白费了两年的时间, 不过他现在只准备接受赫顿的火成说, 而不接受赫顿的进化理论。

但是, 巴克兰的一个学生查理·赖尔(Charles Lyell, 公元 1797—1875) 单独地得出了赫顿学说的部分结论, 而且后来又对赫顿的著作进行了研究。赖尔本人在地质学上并未作过什么重大的实际发现, 他的巨大贡献主要在于把许多分散的地质学知识联系起来。他的游踪甚广, 考察了欧洲许多不同地区的岩层, 能够运用赫顿所没有用过的大量事实来支持地质的进化理论。他的主要著作《地质学原理》出版于公元 1830—1833 年间, 书的副标题是《以现在还在起作用的原因试释地球表面上以前的变化》。在书中, 赖尔重述了赫顿的主要理论, 即只能用现在还在起作用的地质力量去解释地球过去的发展, 而且为了这一点, 必须假定这段时期是极其漫长的。赖尔写道:

“比起任何其他的先入之见来, 认为过去的地质年代在时间上是有限的看法, 对地质学的进展起着阻碍的作用; 除非我们习惯于把过去的地质年代看作可能是无限漫长的……, 否则我们在地质学上就有陷入极端错误观点的危险。”

维尔纳从一个具体的但是假设性的岩层成因, 即从原始海洋出发, 向前推论下去。赫顿和赖尔则从现在还在起作用的地质力量出发, 往后追溯上去。赫顿和赖尔的理论被称为“不变说”, 因为它假定以前起作用的地质力量和现在的地质力量一直是一样的。早期的机械论哲学家假定自然界是物质体系(包括太阳和生物体系)在整个地球历史时期是守恒的。现在的着重点改变了, 认为守恒的不是自然界的物质体系而是自然界的那些力量。所以地球上的物质通过不变力量的作

用改变着，因此只要把过去的那种非历史性的机械论世界观扩大一下，就可以推论出地质的进化论思想。

赖尔开头是一个坚定的均变说者，除了岩层的依次积累外，很不愿意承认地球的情况还有过什么重要变化。他承认地球历史上虽有过气候变化，并把其原因归之于陆地和海洋的分布情况不同；但是他开头拒绝承认地球的生物种类有过什么变化，正由于此，所以他在十九世纪二十年代拒绝接受拉马克的生物进化说。但是岩层中化石的顺序很明显地表明，如果有一个地质演化过程存在，那末生物也就必然有一个演化过程。因此，三十年代中赖尔在这个问题上就改变了他的原来见解。在公元 1836 年写给约翰·赫舍尔的一封信中，赖尔说道：

“关于新物种的由来的问题，我很高兴听到你认为可能是由于居间原因的干预所致。这样的思辨性结论我宁可不讲明它而让读者自己去推论出来，因为我认为不值得因此而激怒一些人。”

在那些反对赖尔理论的老一辈地质学家看来，这里的涵义也是非常明显的。亚当·席基威克，老派地质学家当中最精明的一个，在公元 1831 年任地质学会会长的就职演说中指出，赖尔理论的一个主要困难就是它意味着生物物种的进化。席基威克说：

“我可以提醒你们，在我们追溯地质历史的过程中，当我们跨出最初一步时，我们就碰上一大批现已绝迹的动物和植物形式。我现在要问，难道这些东西不是表明有一种变化和调节的力量存在，而且绝不同于我们通常所理解的自然规律。我们是追随上世纪的博物学家们，说这些东西只是自然界出的废品呢，还是采纳自然发生和物种变化的说法，并且接受上两种说法的各种荒唐的结论呢？”

当达尔文在公元 1859 年出版他的《物种起源》时，赖尔就是最先接受这一理论的一个。在公元 1865 年席基威克又说：

“赖尔会把这种学说全部吃下去，我并不奇怪，因为没有这种学说，赖尔阐述的那套地质学理论就不合乎逻辑了。……不管他们怎样去粉饰这种理论，物种变化说十之八九总是论为荒唐的唯物论的。”

赖尔的理论为英国地质学会当时的一些主要成员如席基威克、巴克兰和麦其生所反对，这些人所提出的理由都是象上面所引的一段话那样，而不是什么认真的科学责难。不过赖尔遭到的反对不及十九世纪初赫顿学说的支持者所碰到的反对那样厉害。公元 1831 年赖尔被聘为伦敦皇家学院的地质学教授，皇家学院当时是英国国教所设立的一个新的学校。聘请赖尔的委员会都是由一些在美国圣公会任圣职的人所组成，其中兰达弗主教对赖尔的观点就表示担心，虽然如此，赖尔还是受了聘。可是，到了十九世纪三十年代，地质学的地位比在这个世纪初期有了很大的改变。关于世界各地，特别是欧洲，岩层的性质及其发展的历史，积累得越来越多了。不但如此，整个学术界的气氛也有了改变，人们对人类的历史进步这一概念有了较深刻的印象，这看来对演化理论的发展是有所推动的。事实上，赖尔就指出了在地质学考察和历史研究之间有些相似之处：据说赖尔的均变说老实说就是受到英国宪法的逐渐形成过程的启示的，正如法国人的灾变说理论可能是受到法国的动乱近代史的启发一样。赖尔还宣称，地质学的研究，严格说来和人类历史的考古学研究很相似，他后来也研究了这方面的问题，并在公元 1863 年发表了他的《古代人类遗迹》一书。

赖尔的学说并未广泛地为他同时代的科学家们所接受。明显的例外是，物理学家约翰·赫舍尔和做过国会议员的地质学家鲍勒特·斯克洛普（Poulett

Scrope)。斯克洛普为《地质学原理》一书写了一篇书评，使赖尔的书大为畅销；在此以前，三个月内只销了三百五十册左右，书评一出，很快就销售了一千五百册。在下一代的科学家当中，赖尔的观点更被普遍地接受，席基威克和赖尔本人所预见到的这个学说所蕴涵的那种结论，就为这一代科学家中最杰出的代表查理·达尔文发展了。达尔文早期的研究就是在地质学方面，正如达尔文在他的《自传》中所说的，地质学诱导他去得出物种演化的理论，虽则他是从另一来源即马尔萨斯关于人口理论的论文那里，得出促进演化过程的原因的。在老一辈的地质学家们拒绝赖尔理论的同时，中产阶级的一些人对这种理论都表示热烈欢迎，而中产阶级对进步的信仰也正是最突出的。当时撰写通俗政治和历史文章的女作家哈里埃特·马蒂诺（Harriet Martineau）在十九世纪四十年代曾以夸大的口气写道：“中产阶级一般人士宁愿买五本价钱很贵的地质学书籍，而不愿买一本当时流行很广的小说。”狄士雷利（Disraeli）于公元 1847 年在他出版的小说《谈克雷特》中，也描述了在上层社会中地质学所起的影响，不过这些人看来是以较复杂的心情来接受这种新学说的。

第三十四章

十九世纪时期的物种进化学说

十八世纪末，德国、法国和英国都出现了各种不同形式的生物进化学说。在德国有自然哲学派，认为“世界精神”通过内在自我运动走向人的注定目标，这种自我运动要经过若干各自分立而不相关联的阶段，而生物物种就是“世界精神”在各个阶段的物质体现。在法国有拉马克，他把动物物种看成是一个接一个递传下来的，动物凭借一种内部的扩张力和从环境获得的遗传下来的新特性而进化着。在英国伊拉斯谟·达尔文，他提出了与拉马克类似的关于生物进化的见解，但又增加了一个古怪的具有英国气的、并且后来极有成果的观念，就是生物为了维持生存或者为了争夺雌性而发生进化。在十九世纪期间，生物学说上的这些民族差异，在很大程度上仍继续下去，不过也有一定的交叉和若干丰富的混合学说出现。每一个不同的学说，都是它自己的民族思潮的一部分：在德国，是把历史作为当务之急以及神秘主义的炼金术传统；在法国，是具有政治目标的关于进步的心理的和社会学的学说；在英国，是关于经济和社会进步的自由放任主义思想，主张在人与其他人的竞争中，应该让其自由追求自己的快乐和自己的个人目的。

伊拉斯谟·达尔文尽管把关于个人与个人之间竞争的典型英国观念应用到生物学上，但他象伯明翰太阴学会的其他成员一样，也受着十八世纪法国哲学家的影响。象早年的自由放任主义理想家如经济学家亚当·斯密和道德哲学家杰勒米·边沁（Jeremy Bentham）一样，老达尔文也相信进步。但是在他们之后却有罗伯特·马尔萨斯（Robert Malthus）同法国哲学家及其英国的信徒如威廉·葛德文（William Godwin）的学说相对立。马尔萨斯用个人之间相互竞争的观念证明人类进步是不可能的。马尔萨斯在公元 1798 年出版的著作《论影响未来社会改良的人口原理，兼评葛德文先生、孔多塞先生和其他作者们的臆说》里发表了他的观点。马尔萨斯在这部著作中写道：

“我想我大致可以作出两假定。第一，对于人类的生存，食物是必需的。

第二，两性之间的情欲是必需的，并且将以近于目前的状态而持续下去。”

事情既然是这样，他就论证说：

“我以为人口的增长率比地球为人类生产食物的增长率要大上无限倍……（因为）人口如果不加限制，就会以几何的比率增加，而食物则仅仅以算术的比率增加。只要稍微熟悉一些数字，便可看出第一种增长率比较第二种增长率要巨大得多。”

因此对于全人类说来，从来就不可能有足够的食物，因为农业上的一点点进展会立即被大量活到成年的儿童所抵消掉，从而使生活水准始终一样。马尔萨斯写道：

“所以，假如这些前提是正确的话，反对人类完善性的论据是完全站得住的。”

马尔萨斯持有人类的生活是整个有机世界不可分割的一部分的观点。他写道：

“在整个动物界和植物界，大自然用最豪爽宽大的手到处散播生命的种子。在它们成长所必需的地面和养料方面，她却是相当吝啬的。植物的种类和动物的种类在这项巨大的限制法则下减缩了。人种也不可能依靠任何理性的努力逃脱这项法则。在动植物中间，其后果是种子的浪费、疾病和死亡。在人类中间，其后果是苦难和罪恶。”

就是这种概念为查理·达尔文（Charles Darwin，公元1809—1882）提供了他的生物进化过程：生物为了食物供应有限而相互竞争，只有那些具备有利的变异的生物得以生存下去并繁殖其种类。但是，达尔文从地质学的研究中深信，在他能用这一过程来说明物种进化之前，就已经有了物种的进化了。查理·达尔文是施鲁斯伯里地方一个医生的儿子，又是伊拉斯谟·达尔文的孙子和陶工乔赛亚·韦奇伍德的外孙，他们两人都和伯明翰太阴学会有关系。小达尔文于公元1825年到爱丁堡去学医。在那里，维尔纳的学生罗伯特·詹姆逊还在疯狂地攻击赫顿的地质学说和一般的岩石火成论者。他感到詹姆逊的讲课乏味到令人不能置信的程度，因而决定永远不再“读一本地质学的书，也决不去研究这门科学”。但是达尔文放弃了学医而跑到剑桥去，目的在于取得牧师的圣职。在剑桥，席基威克和亨斯洛（前者为地质学教授而后者为植物学教授）引起了 he 重新学习地质和自然历史的愿望，他还伴随着席基威克参加他的威尔斯地质考察队。达尔文很受老师们的赏识，他们推荐他在政府派遣到南太平洋远征航行中担任博物学家的职务，他接受了。亨斯洛劝达尔文带一批书在路上看，包括刚出版的赖尔的《地质学原理》，但是劝告达尔文“切切不可接受书中的观点”。

公元1831年12月远征队乘着“贝格尔”号军舰出发了，在广泛地考察了南美洲与太平洋群岛的海岸之后，于公元1836年10月回到英国。在航海期间，达尔文不仅接受了赖尔的观点，而且扩展了这些观点。他在家信说道：

“我已成为赖尔先生在他的书中所发表的观点的一个热诚信徒了。在南美洲进行地质调查时，我总尝试把书中的部分观点比赖尔推到更大的范围中去。”

在五年的航海期间，达尔文采集了很多地质的、植物的和动物的标本，其中最重要的是地质方面的东西，因为他自认当时他在生物学方面的知识很少，不能够恰当地描述他看到的各种生物。达尔文回家后的最早著作是在地质学方面，特别是公元1842年出版的《珊瑚礁的结构和分布》。在这本书里他提出了一个学说，以为珊瑚礁和珊瑚环岛是由于大块陆地或岛屿逐渐下沉所致，珊瑚虫造礁是为了高出洋面以求生存。

但是，他在“贝格尔”号的航程中所观察到的生物现象，已经使他的心思转到生物物种进化的可能性方面来了。当他沿着美洲大陆南驶时，他看到物种是多么密切地互相联系着，并且看到加拉帕戈斯群岛上的物种和南美洲的物种非常相似，然而甚至在一个岛和另一个岛之间也有着轻微的差异。他在《自传》中写道：

“象这样一些事实显然只能以这样假设来说明：物种逐渐起了变化。这个题目常常使我不能忘怀。但是同样明显的是，有无数事例说明每一种生物都很美妙地适应它们的生活习惯，而这些事例即不是周围环境的作用，也不是生物的意志（特别是植物）可以说明和了的。……在我回到英国以后，我想也许按照赖尔在地质学上的先例，以及搜集一切有关动植物在人工培养下或在自然状态下变异的事实，会对整个问题有所阐释。我的第一本笔记是于公元1837年开始的。我根据真正的培根原则进行工作，并且在没有任何学说偏见的情况下大规模地搜集了事实，尤其是关于人工培育的成品，通过书

面同熟练的培育者和园丁交换意见，以及广泛的阅读，……我不久就看到选择是人造出有用的动物和植物种类的成功关键。但是选择怎样能用到生活在自然状态中的生物上，在相当长的时间内对于我依然是一个谜。”

达尔文就是这样把赖尔的方法和观点从地质学扩充到生物学上来，并得出这样的结论：生物物种是逐渐进化而来的。但是完成这个进化作用的过程，他却是从另一个来源得到的。他写道：

“1838年10月间，也就是开始我的系统探索的十五个月之后，我为了消遣偶然读到了威尔逊的人口论，而我由于长期不断观察动植物的习惯，对这种到处都在进行着的生存斗争，思想上早就容易接受，现在读了这本书立刻使我想起，在这些情况下，有利的变异往往易于保存，而不利的变异则往往易于消灭。其结果就会形成新的物种。这样我终于得到了一个能说明进化作用的学说了。”

以后达尔文费了二十年的时间搜集资料，以充实他的物种通过自然选择进化的学说，并阐述其后果和意义。

与此同时，另一个英国自然学家阿尔弗勒德·拉塞尔·华莱士（Alfred Russel Wallace，公元1823—1913）独立地也得出了自然选择的结论。华莱士访问了马来半岛，在那里他观察到邻近岛上生息着亲缘很近的但是不同的物种，正象在他之前的达尔文在加拉帕戈斯群岛所观察到的一样。就在这里华莱士想到自然选择的学说，正如达尔文从马尔萨斯那里引伸出这个观念一样。华莱士在自己的自传里记载道：

“在公元1858年2月……我正盘算着（进化的）问题，而一些东西使我想到马尔萨斯在他的《人口论》中所描述的积极的制裁；这本书我在几年前读过，并在我心中留下一个深刻和永久的印象。这些制裁——战争、疾病、灾荒等等，我想一定既作用于人类，也作用于动物。于是我想起了动物的大量和迅速的繁殖，使得这些制裁在动物中间比在人类中间更加发生效力；而当我在模糊地思索着这个事实时，我脑子里突然掠过最适者生存的念头——即被这些制裁所消灭了的个体，总的说来，一定是比那些生存的个体为劣。我写出了我的论文草稿……并把它交给下一班信差送给达尔文先生。”

达尔文将华莱士的论文同他自己的一篇论文一起发表，并在次年，即公元1859年发表了的伟大著作：《论通过自然选择或生存斗争中保存良种的物种起源》。

在这本著作里，达尔文为生物物种的进化学说，从两个主要方面提出论据：第一，是已死绝物种在时间上的分布，这是他从地质学和古生物学方面搜集而来的；第二，是活着的物种在空间上的地理分布，这是他乘“贝格尔”号航行期间所接触到的，并从其他旅行家和地理学家特别是亚历山大·冯·洪堡（Alexander von Humboldt，公元1769—1859）的著作中补充得来的。他在某种程度上也依赖于冯·贝尔的胚胎学研究，他把胚胎学理解为生物个体在它从单个细胞到成体动物的生长中经历了它的种族进化史。但是，达尔文总的说来很少从法国人和德国人那里引用证据。在《物种起源》的四百页篇幅里，只有十页用以讨论胚胎学，只用五页讨论动物的形态结构，而细胞学说则很少受到注意。达尔文不同于法国进化论者和德国自然哲学家，他不依赖于动植物的分类系统，也不依赖成体动物解剖结构的比较来拟定他的进化系列。再者，他不相信不同的生物形成一串动物的直线进化链条，象法国人所设想的那样：也不相信它们是从一个中心的理想原型向四面八方发生的变化，如德国人所假设的那样。

达尔文其实是第一个认为生物进化系列是由系谱树递传下来，并把这种想法

彻底加以发挥的人；有关的动物种类从共同的亲体分支出去，有些种类已经灭亡，而别的种类则在地球上的不同地区留下活的后代。他从化石动物在地质上的连续性，草拟出他的系谱递传树，并证明个体动物的胚胎发育往往大体上遵照化石遗骸所提揭示的种族进化发展的路线。动物和植物的地理分布事实支持了这样的进化系谱树。在为地理障碍所隔开的岛屿及其他地区，发现有长久以前曾经普遍存在的生物物种如澳洲的袋鼠和其他有袋动物；他们是由于隔离而保存下来的活化石。达尔文写道，如果我们假定过去曾有过生物进化的话，

“我们就可以看出为什么生物在整个空间上的分布和生物在整个时间上的地质连贯性，会存在这样突出的类似关系：因为在这两种情况下，生物都是由普通生育的关系连接着，而导致变化的手段又是相同的。”

当他开始考虑生物进化的活动过程时，达尔文先是指出某一特定生物物种各个个体之间的变异是一个观察到的事实。一窝仔畜各自不同，有些比较突出地具有家畜饲养者意欲培育的那些特点；饲养者于是将这些动物挑出来，并用这种方法培育出我们熟悉的各种各样的家畜。在自然界，就由自然选择的过程来替代培育者：那些具有有利变异的动物生存下来并繁殖其种类，而那些具有不利变异的动物则灭亡了。达尔文认为通常不能相互受胎的动物，只不过是能够相互受胎的动物的变种。因此产生新的品种的自然选择或人工选择的过程，长时间之后就产生出新的物种，最终并产生生物的新的属和新的目。作为生物界到处存在差异的进一步证据，达尔文指出一个事实，即多产的和散布较广的物种产生为数较多的变种。这些变种是处于形成中的新物种，变种分布得很广，而且中间状态的物种消失后，便发展成为新种。因此在新物种的形成过程中，隔开变种的地理障碍的出现，和变种经过漫长时间后的逐渐歧异性，是特别重要的因素。

达尔文的学说并不要求用任何作用来说明动植物变异的产生；差异可以认为是一个当然的经验事实。但是他在这件事情上作了臆测，设想气候变化、食物和其他环境原因，特别是影响生殖器官的原因，导致动物和植物的变异。他觉得这些变异很轻微而且更动不大，所以进化是逐渐的和持续的。他写道：

“由于自然选择只是靠积累轻微、连贯、有利的变异而起作用，它就不能产生巨大的或突然的变化；它只能一点一点地而且缓慢地发生作用。”

当达尔文的思想有了发展之后，他开始接受拉马克的见解，认为器官的使用或不使用会产生遗传的变化。在《物种起源》第六版里，达尔文用以下的话总结了她的论点。他说进化

“主要是通过许许多多连续的轻微变异进行自然选择而发生效果的；还有些辅助因素：如身体各部分的使用和不使用通过遗传发生效果，这是个重要方式；另外则是就生物过去或现在的适应构造而言，外界条件的直接作用，和由于我们的无知而认为是自发性的变异，则都是不重要的方式。”

但是达尔文从来没有接受拉马克和他的祖父的学说，认为每一生物体内有一种内在的驱使力量，倾向于使生物朝着较高等和更加完善的形式发展。他声称拉马克的观点只使他感到惊异，而在他读了他祖父的著作以后也“不发生任何影响”。相反，达尔文却强调生物进化的被动性质：它是由于选择的外在作用发生的，不是由于向往较高级生命的内在努力。他设想人类的进步也是如此。公元1871年出版的《人类的由来》的结尾的一节里，达尔文写道：

“人类对于自己上升到生物阶梯的顶峰（虽然不是通过他自己的努力）而感到有些骄傲，这是可以原谅的；而他已经上升到那里而不是最初被安置在那里的这事实，可能使他希望遥远的将来会更上一层楼。”

所以进步是客观事实，但是进步的出现是不管人的努力与否的。它是一个自主的过程，正象赫伯特·斯宾塞所说的那样，是受“最适者生存”的调节的。在这一信念上，达尔文、华莱士和斯宾塞完全是卷在早期维多利亚时代的“自由放任主义”思潮里面。他们都是在十九世纪第二个二十五年中达到成熟阶段的人，这时候，英国的政治经济学家和功利主义哲学家的学说，也和进步的观念、进化的观念一样，在英国人的舆论中变得根深蒂固了。马尔萨斯以最粗糙的最接近生物学的形式表达了竞争的观念，也许是由于这个原因。他对达尔文和华莱士是一种特殊的影响，而进步和进化的新感受则引导他们扭转马尔萨斯的悲观结论，并把有机世界以及人类世界的个体之间的生存斗争，看成是一种进步的而不是保守的力量。赫伯特·斯宾塞（Herbert Spencer，公元1820—1903）开头多少是一个拉马克主义者，但是和达尔文与华莱士一样，他受了马尔萨斯学说的影响，并从这些学说里引伸出进步的观念。在达尔文的著作出现之前，斯宾塞于公元1852年在他的《从动物能育性普遍法则推论人口学说》中写道：

“从一开始，人口的压力就已经是进步的近因。全人类也多少受着上述的考验：人类可以在人口的压力下前进，也可以不前进，但是按照事物的性质来说，只有那些在人口压力下确实前进的人会最后获得生存。”

在达尔文的《物种起源》于公元1859年出版的时候，斯宾塞就将自然选择的学说扩大到人类社会，把“最适者生存”不仅看作是生物进化的过程，而且也是人类进步的方式。特别是，它使斯宾塞觉得这些是中期维多利亚时代的“自由放任主义”政策的一个例证，并为这种政策找到正当借口：自由贸易和经济竞争都不妨说是自然选择的社会形式，篡改它们便会干扰宇宙进化的过程，并将使人类进步的车轮发生故障。

这样一种用自由主义时代思潮有字眼去解释达尔文主义，有助于在中产阶级范围内树立起这个学说的威望。根据科学的、社会的和神学的理由，对达尔文学说提出批评的很多，但是这种学说在英国很快地就被接受了。在科学上提出反对的，最主要的是理查德·欧文，他是肯辛顿的自然历史博物馆馆长，也是英国第一流的比较解剖学和化石骨骼的学者。欧文是德国自然哲学家奥肯的学生，他把各种的生物物种看作是自然界的一种理想生命力作用的结果。他写道：这种力量

“使属于相同物质和生物具有各式各样的形状，这种形式上的多样性是不能用任何已知的物质属性来加以说明的。”

公元1860年在一篇为《爱丁堡评论》写的不署名文章里，欧文严厉地批评了达尔文的《物种起源》。他重复了自己的观点，认为一种自我分化的生命力导致生物物种的产生，他提出的证据是：单细胞动物随时随刻都在自然地发生，既然如此，高等动物就不可能从单细胞动物沿一个单独系列递传下来。达尔文还认为，欧文也为牛津主教塞缪尔·威尔伯福斯（Samuel Wilberforce）在《每季评论》中以及在公元1860年“英国科学促进协会”牛津会议上对达尔文的书进行攻击时提供材料。在这次会议上，伦敦矿物学院的地质学教授托马斯·亨利·赫胥黎（Thomas Henry Huxley，公元1825—1895）为达尔文有力地进行辩护，并因为这次辩论为自己赢得“达尔文的斗犬”的称号。在这次辩论以后，达尔文主义在英国就为受过科学教育的人们所普遍接受，但是欧文和天主教徒动物学家圣乔治·米伐特（St. George Mivart，公元1827—1900），仍旧坚决反对，还有神学家威尔伯福斯和政治家乔治·坎贝尔（George Campbell）和威廉·格莱斯顿（William Gladstone）也是如此。

达尔文主义在英国仅得到了普遍的承认，而且也扩展到生物学以外的领域。

进化思想被应用到化学、天文学、语言学和人类学上去，但是自然选择的完整学说则主要被用在社会哲学与伦理学上，产生了“社会达尔文主义者”的学派。这一学派的学说随着世界大事而变化着。第一个“社会达尔文主义者”赫伯特·斯宾塞从自然选择的学说引伸出中期维多利亚时代的价值说，这已见前述。后期维多利亚时代的发展，如在南非战争中所显示的民族之间的斗争事例，使斯宾塞满怀厌恶，因为在他看来只有个人的和平勤劳的竞争才是社会进化的主要动力。但是新的发展也同样适当地可以用达尔文学说为之辩解，实际上历史学家兼经济学家华尔特·白高特（Walter Bagehot，公元 1826—1877）在他的论文集里已经多少预料到这些新的发展。他的《物理与政治，关于应用自然选择和遗传原理于政治社会的我见》于公元 1872 年出版，在这部著作里白高特认为“最强的民族总是征服较弱的民族”，而使原始文明中所需要的最好的品质得以传播而保存，就是靠这些办法，因为“最好战的品质大抵倾向于成为良好的品质”。人类社会的进化，正如达尔文曾经设想物种的进化那样，是逐渐的、连续的而且实际上是同样自主的。“犹太改变了内心思想，正象罗马改变了外部权力一样”，白高特写道：“每一改变都是连续的、逐渐的并且是良好的”。卡尔·毕尔生（Karl Pearson，公元 1857—1936）于公元 1900 年在伦敦大学学院写了一篇《从科学的观点论民族生活》的论文，在文中发表了类似有见解。毕尔生坚称，世界上始终存在着“一个人种反对另一个人种，一个民族反对另一个民族的斗争”。他断言：

“那个告诉我们说他爱左道者，（穆斯林给基督教徒的称呼）如同他爱他的兄弟一样，或许在欺骗他自己，如果他不是欺骗的话，那末我们只能说，有着这样的人的一个民族……是不会维持多少代的：在民族的斗争中它不能生存下去。”

十九世纪末，这样对于达尔文主义的解释很流行，而且至今还没有完全失去它的吸引力。

一般说来，生物学家们自己并不赞成这样的解释。达尔文在他的，《人类的由来》里，从人类的进步和进化中看到了合作的本能对于自私的本能愈来愈占优势。他断言：较为持久的“社会的本能征服不那么持久的本能”。达尔文的信徒赫胥黎非常反对社会达尔文主义的结论，并在一系列的论文中和这种见解进行斗争。在公元 1893 年发表的《进化论与伦理学》的演讲中，赫胥黎主张人类的进步并不在于“模仿宇宙演化的过程，更不在于逃避它，而在于同它作斗争”。与达尔文无关而独自得出自然选择学说的华莱士，在公元 1900 年出版的《科学研究与社会研究》里，从自然选择学说引伸出“基督教社会主义者”的教义。他主张，在社会的生存斗争中，谁也不应该在财富或教育上享有不公平的优先权；我们大家必须平等地出发以求得人类的充分进步。他写道：

“唯一对身体的、精神的和道德的品质同样都能发生作用的自然选择模式，将在一个给予人人在文化、教育、闲暇和快乐上以均等机会的社会制度下发挥作用。这种对通常在动物界起着作用的自然选择原理的扩充，我敢说是完全新的，也是我贡献给世界是最为重要的新观念。”

所以弄到后来，差不多任何一种人类进步的学说都可以从达尔文主义推论出来，不过在英国同在其他地方一样，比较有影响的解释还是那些强调人类社会竞争中因素的解释。

在英国以外，达尔文主义引起最广泛并且实际上最剧烈的争论是在德国。在法国和美国，自然选择的学说并没有得到很多公众或科学上的拥护。这些国家的科学家们最初大部分反对达尔文主义，而当进化的理论于十九世纪八十年出现

时，这些理论在形式上总倾向于拉马克学说。在法国，居维叶的追随者爱理·德·博蒙特、米尔恩-爱德华（Milne-Edwards，公元1800—1885）以及其他人都反对达尔文的学说；生理学家克劳德·贝尔纳（Claude Bernard，公元1813—1878）和微生物学家路易·巴斯德（Louis Pasteur，公元1822—1895）也是如此。在美国，哈佛大学的地质学教授路易斯·阿加西斯（Louis Agassiz，公元1807—1873）非常反对达尔文主义，不过植物学教授阿沙·格雷（Asa Gray，公元1810—1888）是达尔文的朋友而且接受了他的观点。阿加西斯出身于瑞士的一个法国胡格诺教徒家庭，并受业于德国的好几个自然哲学家以及巴黎的居维叶。他对活的化石的鱼类，也对冰川的地质作用，做过一些重要的研究。所以他是一个有相当影响的人，而他就把这个影响用来反对达尔文主义者，认为物种是由上帝创造的而且永远固定不变，象在他之前的生物学中别的新教徒分类学家林耐和居维叶一样。

但是，下一代的科学家中间，却有了进化论的理论家，特别是法国的布朗-赛卡尔（Brown-Sequard，公元1817—1894）和阿尔弗雷特·贾尔（Alfred Giard，公元1846—1908）以及美国的爱德华·科普（Edward Cope，公元1840—1894），他们全都倾向于拉马克的学说而不倾向于达尔文的学说。布朗-赛卡尔做了一些实验，他把一只豚鼠的脑损坏了，使足趾丧失感觉和双目混沌。这只豚鼠咬掉了丧失感觉的足趾，于是布朗-赛卡尔就宣称混沌的双目和足趾的丧失是遗传给后代了。这样的实验没有得到证实，关于断肢遗传的信念也被人抛弃了，实际上拉马克本人就否定这样获得的特征可以遗传的想法。布朗-赛卡尔只接受拉马克的获得性状遗传的学说；美国的科普也接受了拉马克认为每一有机体内有一种内在的驱使力量，使得有机体朝着高等动物发展这样的见解。科普没有象拉马克那样把这种力量说成是热和电，他主张这是一种与人的心理活动相类似的精神力量。在这一程度上，他的学说是法国的拉马克主义和德国的自然哲学的一个杂种体系。

在德国，达尔文的学说引起了很大的争论，一部分是因为它跟自然哲学家的观点相反，一部分则是因为它牵涉到这个时代的政治。十九世纪中期和后期的德国自由主义者本身就有分歧，一伙人要求同普鲁士贵族党合作以建立民族的统一，另一伙人则把推翻普鲁士贵族党作为他们的主要目的。达尔文主义的反对者以及一些拥护者把达尔文主义同自由主义者中的后面那一伙较为激进的人联系起来，而自然哲学就其后来较为唯物的和较为经验主义的形式而言，则倾向于同前面一伙人有关系，不过也有些自然哲学家、达尔文主义者和科学家想把两种学说合并起来，并置身于当时政治冲突之外。

当达尔文的《物种起源》于公元1860年传到德国时，他的学说受到了大多数老一辈科学家的排斥，这些人一般说来都是受早期自然哲学家影响的。这些人中间有胚胎学家冯·贝尔和克里克尔，动物学家莱迪希以及植物学家布朗（Braun），还有最早接受达尔文学说的细胞学理论家施莱登。年轻的生物学家们对于达尔文主义比较同情，而且力图把这个学说同胚胎学、比较解剖学等学科以及细胞学说结合起来；这些学科在德国自然哲学的影响下已经进行了很多研究，但没有被达尔文广泛讨论过。在这一发展中，第一个重要人物是卡尔·盖根鲍尔（Carl Gegenbaur，公元1826—1903），他是耶拿大学的一位教授；在十九世纪初奥肯也曾在耶拿大学教过书。奥肯曾经把各种不同的生物物种看成是少数理想的种类或原型的变化。盖根鲍尔现在则把这些理想的原型看作是真正的祖先类型；它们是物种一个接一个地传递下来的几个阶段，而不是在大自然造物主的思想中

的几个阶段。他特别注意脊椎动物手和足的骨骼的发展，坚称它们来源于原始鱼类的鳃裂器官，从这些器官进化成为高等鱼类的鳍和陆地动物的四肢。他想，在高等陆地动物的胚胎生长过程中也有一种类似的发展，这些动物经历了象鱼类那样具有鳃裂的阶段。

盖根鲍尔的最著名的学生是恩斯特·海克尔（Ernst Haeckel，公元 1834—1919），也在耶拿大学任教授。海克尔属于自由主义者的急进派，特别是他使得达尔文主义成为德国哲学上急进主义的武器。他在生物学方面的主要的实验工作是关于放射虫目的研究，他描述了约一百五十种之多。这个研究发表于 1862 年，使他获得了耶拿大学的教授职位。此后他就从事于传播一种改变形式的达尔文主义，发表了一系列的著作，在体裁上从最通俗的一直到经院式的都有。他的第一本主要著作是《普通形态学》于公元 1866 年出版，在书中他把达尔文主义同来自拉马克学说与自然哲学的成分结合起来，比达尔文更加强调了在环境影响下获得性状的遗传说，并且象自然哲学家一样，把自然界的多样性产物归之于单一宇宙力量的作用。海克尔酷爱分类，而且就象谢林、黑格尔以及奥肯一样，到处寻找自然界的三分法。他声称一切物体都具有三个属性：物质、形状和能量。所以有研究物质的化学科学，研究形状的形态学以及研究能量的物理学。这些科学每一门又可以再分为三个分支，例如，形态学可以再分为关于动物、植物以及简单单细胞动物、原生物的研究。他说形态学的目的在于给具有结构的生物找出原因上的说明，这些说明是一元论的，也就是对于自然界的一切等级，包括无机世界的以及有机世界的，全都是正确的。因此他认为盐的结晶同有机的细胞在其生长方式上，以及在其组成和形状的对称性上，是完全类似的，因为两者都是同一物质与同一宇宙力量的产物。这样一个观点意味着在自然界的心理的、生物的以及物理的等级之间并没有质的差别，而无机的自然界一定具有高等动物以及人类本身的性质，至少潜伏着这些性质。实际上，海克尔断言：“不能设想会有无精神的物质，也不能设想会有无物质的精神。”因此到最后，海克尔把早期自然哲学家的“世界精神”带回到生物学里来，不过他把这种精神看作是一元的宇宙力量或者能量本身。他写道：“每一个原子一定有一个灵魂，因为它具有某些能量。”这样一种思想使得海克尔能说明获得性状的遗传仅仅是由于组成后代种子的原子的记忆所致。其他倾向于拉马克主义的人特别是赫伯特·斯宾塞（当然还有伊拉斯谟·达尔文）也都赞成这种看法。

海克尔继续了盖根鲍尔把有机物种分类为进化系列的工作，草拟了好几个系谱树，以说明各种不同的属和种的遗传路线。他也把德国胚胎学家们的研究融汇到达尔文的体系里去，特别是在他的《人类的历史》（公元 1874 年）一书里。在这本著作中，海克尔恢复并扩大了迈克尔的生物发生原理，即认为个体生物在其胚胎发育过程中经历了它的种族进化的几个主要阶段。海克尔引用了许多材料去支持这个原理。他指出，人从一个单细胞的卵而开始生命，因此最早的动物一定是象单细胞的原生动物。卵发育成为一个球状的细胞群，如团藻属；它在进化的系列中一定是第二个出现的。细胞的球然后内陷进去而成为环状的双壁原肠胚，类似某些海绵的成体形状，因此出现在团藻属之后。原肠胚拉长了，它的里面形成肠腔的初始状态，并在细胞的外层即外胚层与内层即内胚层之间，产生了新的细胞层，即中胚层。这三个细胞层接着生出成年动物体的各种器官，内胚层形成肠管，中胚层形成肌肉，而外胚层则形成结缔组织和神经系统。生物发生原理规定个体生物重演其种族的历史，促进了胚胎学的研究，不过海克尔陈述的这种形式，却不再为人们接受。譬如说，植物界就没有观察到有这样的一种重演。但

是，海克尔和其他许多人作出了一件有价值的工作，即把德国人关于形态学、胚胎学以及细胞学说的研究融汇到达尔文体系中去，因为达尔文本人仅仅接触到这些学科，而他的许多见解主要是以死绝物种的地质分布以及活的物种的地理分布为根据的。

在十九世纪的著名的德国进化论者中间，海克尔也许是最接近达尔文原来的观点的一个。自然哲学当时在德国仍然很有力量，而且导致了其他进化学说的出现，其中有一个学说的影响很大。这个学说是由卡尔·耐格里（Carl Nageli，公元 1817—1891）提出来的，他先后在弗赖堡、苏黎世和慕尼黑等大学担任植物学教授。他在奥肯和黑格尔门下学习过自然哲学，并在日内瓦跟德·堪多学习过植物学。耐格里虽然爱了达尔文主义的影响，但他从没有忘掉他早期老师们的一些观点——只不过给他们加上较为唯物主义的打扮。他于公元 1884 年出版了一本叫做《力学-生理学的进化论》的著作，把他早在公元 1844 年和公元 1865 年所提倡并发表过的观念加以发挥。耐格里主张植物和动物的细胞不是有机生命的一个基本单位，因为细胞具有一个已经分化了的结构。细胞由更小的单元即他叫做的“分子团”所组成，它们类似无机物的结晶体。无机物质与有机物质之间因此不存在有真正的差别。“分子团”通过物理的吸引力而聚在一起，并在有水存在时形成活的细胞。活的东西就是以这样的方式始终都在自然发生着，而且借一种具有机械性质的内在完善力时化成为高等动物。可是从一个物种到另一个物种之间并没有真正的过渡；猿在任何意义上都不是人类的亲属。人在很久以前就首先以一个简单的自然发生的单细胞动物开始。猿稍后一点也以同样方式开始，而猴则更加后些；今天的原生动物只不过是刚刚自然发生的。今天是猴子的动物将来就是人，而人到那时则会有更进一步的发展。耐格里以这样的方式表达了自然哲学家们的观点，即认为生物物种具有一个共同的起源，但此外并无任何物质联系。一切生物起源于分子团，应该根据生物的内部历史发展离其起源的远近，而不应该根据其外表的相似，来对它们的特性进行判断。

耐格里认为达尔文没有圆满地说明，为什么具有一整套范围广泛和特征优良的高等动物会起源于低等动物。他觉得单独一连串的微小的有利变异还不够，有机体内部必须有某种内在的驱使力量才能产生这样显著的变化。耐格里并没有把这种内在驱使力量看成是生命的灵气，认为只是一种物理-化学的力，类似力学中的惯性。一个球将一直滚到它碰到障碍为止，而一个有机体也将以同样方式演化着，直到它碰到自然选择的障碍为止；自然选择砍掉了那些没有遵照进化的主要路线前进的物种。假如没有生存斗争的话，生物内部的自我分化力量将会产生大量的不同生物种类，使地球居住不下，但是通过自然选择的作用，只有那些能活命的生物种类才被保存下来。耐格里认为进化不是一个渐进的和连续的过程，生物的内在力量按照黑格尔辩证法的范畴运动着，它是在飞跃。所以进化是不连续的，它是一系列的突变。实际上十九世纪末荷兰植物学家雨果·德弗里斯（Hugo de Vries，公元 1848—1935）就是从耐格里那里获得关于生物突变的概念的。

在遗传学研究的另一点上，耐格里提出了又一个重要的建议，他指出两个亲体对于它们的后代的贡献都是均等的，但是雌性的卵总是比雄性的精子为大。因此只有一部分的卵会是决定遗传的物质，他把它叫做“细胞种质”（*idioplasm*）。耐格里主张“细胞种质”由串成链索的分子团所构成，而且是成年生物所具形状的唯一决定因素。因此进化主要是有机体内部力量作用于细胞种质而产生的不连续性变化，自然选择将不能活命的物种淘汰了。奥地利的植物培育家格里哥·孟德尔（Gregor Mendel，公元 1822—1884）发现他的关于豌豆遗传学研究支持了

耐格里的遗传粒子说，并把他的研究成果送给耐格里。但是耐格里说孟德尔的公式似乎是“依靠经验而不是依靠理性的”，所以不予理会。耐格里虽然比早期的自然哲学家较接近唯物主义，但几乎同他们一样都富于思辩的倾向。他宣称他的学说是合理的和德国式的，而达尔文主义只不过是英国经验主义的一个事例而已。

耐格里的有别于普通体质组织的遗传物质或细胞种质的学说，由弗赖堡大学一位动物学教授奥古斯特·魏斯曼（August Weismann，公元1834—1914）继承下来并加以发展。公元1892年魏斯曼发表了《论遗传及有关生物学的问题》，在这篇著作里他严格地区分了他称之为负责传递遗传特性的种质（germplasm），也就是耐格里的细胞种质与体质之间的差别。他指出，简单的单细胞动物通过本身分裂为二以进行无性生殖，因此，除掉不测的事变而外，它们是不死的。在高等动物里，身体是要死的，而只有由一代传给另一代的种质是不死的。在魏斯曼看来，种质是有机体的重要部分，它决定体质的形状和特征，而体制则供给种质营养使它自行繁殖。可是驱体本身对于种质没有影响，因此驱体在环境影响下所获得的性状不能传给后代。魏斯曼试图用割断若干代老鼠的尾巴来证明这种情形，指出鼠的后代生下来时都有尾巴。他把这项实验来批驳拉马克的观点，虽然拉马克本人就说过断肢是不能遗传。

魏斯曼驳斥了耐格里关于有机体内部的生命力量愈来愈完善的变异理论。他认为变异是由两个不同的种质，一个来自母体，另一来自父体，结合而产生的。但是后代不可能有任何一个亲体双倍的种质，因此他早在公元1887年就主张每一个亲体的种质在形成卵或精子时分裂为两半。这样一个卵和一个精子的结合就给予后代与其任何一个亲体同样多的种质。这一种关于成熟分裂现象的预言，是在用显微镜从经验上充分考察出来之前许多年就作出的。魏斯曼还进一步主张种质是包含在性细胞核内的线状染色体里面的，种质由叫做定子的单元所构成，每一单元掌管有机体的一个特定特征。这一建议又是在染色体负责遗传特性获得不少证据之前若干年作出的。

魏斯曼的见解受到新拉马克学派特别是英国的赫伯特·斯宾塞反对，他们主张雄性和雌性种质的各种不同结合不会在后代产生重要的变异，尤其是不能产生新的质的变异。斯宾塞认为这种变异只可能由在环境变化影响下获得的新特征通过拉马克的遗传过程产生。我们已经看到，斯宾塞属于中期维多利亚时代，他对进步有着坚定的信念。魏斯曼则属于这个时代的晚期，而且属于另一个国家，在那里，进步信念并不那么显著。他的学说强调“种质的连续性”，完全是建立在有机体已经具有的特征的保存上面，而不是建立在斯宾塞感到兴趣的新的有利变异的起源上面。魏斯曼写道：

“最可惨的一件事是，几乎没有一个例子可以使我们说某一种变异空间究竟是有用还是无用。看来我们没有一点指望能够做到这样。”

魏斯曼的学说在德国普遍得到承认，甚至这些学说在实验上没有得到许多支持之前就已如此；有些作者把这一事实归之于魏斯曼的见解同当时德国流行的种族学说正好合拍的缘故。生物学家帕特里克·格迪斯（Patrick Geddes，公元1854—1932）在他同另一个生物学家阿瑟·汤姆生（Arthur Thomson，公元1861—1933）合写的《进化》一书中，于总结十九世纪的发展时谈到，每一个关于生物进化的主要学说似乎都是“时代的社会变革”总体的一部分。他写道：

“因此在法国政治革命达到顶峰，在英国工业革命达到全盛期，这两个事件通过拉马达和达尔文而表现出来，比这两位思想家中的任何一位所梦想

的，或者他们各自的阐释者和信徒们所认识到的，都要更清楚些。……拉马克所解释的关于用与不用的效果，他之坚决强调有机体有实现其最大限度能力的内在自由，只不过是社会进步通过废除陈腐社会秩序所采取的新步骤，是开展在新社会秩序前的新自由。‘职业解放才能’（‘La carrière ouverte aux talents’）是纯粹的拉马克主义；拿破仑英雄诗篇中的光辉的过分自信就这样又出来了：‘每个法国士兵在他的背包里都带有元帅的指挥棒’[意指每一个士兵都具有将帅的才能]，但是典型的英国式思想里的那种比较冷静的实事求是观点，却克服了这种政治上和军事上的夸大；机械的效率，个人的成就，以及发财致富等理想，象他们经常做到的那样，超越了自由志愿和皇室勋绩之上，……既然‘竞争是贸易的生命’，为什么竞争不也是‘生命’的贸易呢？然而尽管进化具有这一切经济应用上的新鲜气息和生命力，人们对这些自然学者的发现的社会根源，大体上还普遍存在着，而且现在还存在着一种天真的忽视。这同样地存在在新达尔文的时代里。对于魏斯曼有着共同的以及真正的敬仰，我们两人中间的一个曾经一再充当他的著作的翻译者和编辑者，另一个则敢于提出了那位广博和公正的思想家从未料到的少数批评之一，即他自己的种质学说同他当时的德国思潮，也同普鲁士的胜利及霸权，同德国贵族新提出的要求，特别是普鲁士的从政治上和人类学上携手起来的种族学说，同这些之间存在着的平行关系。戈比脑伯爵（Count Gobineau）的广泛传播的学说，是有意识的和自供不讳的生物-社会学说；这个学说在普鲁士的凌驾一切的行动世界和魏斯曼在思辨倾向、生物学扶摇直上的地位之间采取了一种中间措施。所有这些运动全都在霍斯顿·斯图尔特·张伯伦（Houston Stewart Chamberlain）的文章里有其雄辩的但决不是科学的吐露；张伯伦的文章之所以在德国这样风行一时，就是这样获得并得到说明的。”

戈比脑伯爵是一个法国人，他于公元1853年发表了一篇《人种不平等论》。霍斯顿·斯图尔特·张伯伦是英国人，不过是在德国长大，并且用德文写了《十九世纪的原理》，于公元1899年出版。这两个人持有这样的意见：各个不同的人种是固定不变的类型，相互之间有很大的差异。他们相信雅利安人是最优秀的人种，是这个种单独建立文明社会，他们是其余人类的天然统治者。他们主张，雅利安人种同低劣的人种的混种繁殖将导致人种的退化。这种观点被认为是得到魏斯曼学说的支持的，因为每一个种的特性，据说都具备在其成员的不死种质之内永远存在下去。还有，魏斯曼强调达尔文学说中的竞争因素，即他称做的“自然选择万能”——这就使得强的民族和种族统治弱的民族，作为最适者生存的一个例子，就成为理所当然了。在魏斯曼的教导中很少强调进化和进步的，他主张，除非自然选择不断淘汰亲体种质的病弱结合，一个物种便将发生退化。在十九世纪的最后十年里，人们对于进步的信念开始普遍衰退，而皮特-里弗（Pitt-Rivers）将军早些时候的一句格言：“历史是进化，而科学是有组织的常识”，到今天仍然被我们以怀疑眼光来看待。达尔文并没有完全在他的那一代的思想范围内活动，特别是他曾经指出过：寄生虫和退化的动物同高等动物一样是进化的产物，它们对于它们的多少有限制的环境是完全适应的。这个观念现在被强调了。在英国，雷·兰克斯特（Ray Lankester）于公元1890年发表了一篇关于《退化，达尔文主义的一章》的论文，在荷兰则出版了樊迪文（Vandervelde）于公元1895年写的《机体的及社会的寄生状态》的著作，以及德莫尔（Demoor）和其他人于公元1894年所著的《生物学上和社会学上的萎缩进化》。

科学学说的社会根源在历史上具有很大兴趣与重要性，但是一个科学学说本身的价值，则依赖于它和经验知识的符合程度。拉马克利用了十八世纪法国心理学家和社会学家的一些观念，取得某些成绩，这是对拉马克重要性的一种衡量。他把人与动物世界之间形式上的类比，加进了一个真正经验主义的内容。耐格里和魏斯曼的思辨性学说的重要意义，在于他们的一些观点给遗传科学提供了一个知识体系。达尔文的天才引导他利用他当时的英国的思想，或者更加明确地说，用马尔萨斯的观念去解释比拉马克所知道的要多得多的大量事实，并且在思想上多多少少超越了他的时代局限。在这样做的时候，达尔文提出了一个更具有根本价值的学说，因为这个学说能够把在其他国土上所进行的研究，以及在以后时间内作出的发现，都融汇进来。

第三十五章

十九世纪法国和英国的科学团体

在十八世纪，法国和英国的自然哲学家们站在科学界的前列。正如我们在上面讲过的，他们的活动是相互补充的：法国人倾向于自然界的理论探讨，英国人则倾向于实验研究方面。但到了十九世纪，这两个国家在科学方法论上的分野基本上已经消失了，虽然这种分野的遗迹还继续存在着。在十九世纪最初的几十年中，法国人是世界科学的领导者，但他们的努力没有能维持多久，到了十九世纪五十和六十年代，英国人又一次领先。只不过英国人也不能保持他们的领先地位，因为到了十九世纪末叶，德国在科学方面已经超过了法国和英国。

法国科学性质上所起的变化，以及它在十八世纪后半叶的迅速成长，和法国大革命所发生的一切关系极大。法国科学家们把他们的活动引向实际目标，这好象使他们对实验的兴趣比以前更大了，同时他们在十九世纪早期还创立了一些科学团体，使科学家的才能得以培养并发挥出来。法国革命家向法国科学家提出的第一个实际问题，是在法国全国范围内统一度量衡的问题。在十八世纪，法国的度量衡往往随地区的不同而不同，譬如说，一米在巴黎是 100 厘米，在马赛是 98 厘米，在利尔是 102 厘米，在波尔多是 96 厘米。由于塔列兰提出了要求，巴黎科学院在公元 1790 年成立了一个由拉普斯、拉格朗日、拉瓦锡、蒙日和他人所组成的委员会研究这个问题。次年，这个委员会向法国国民议会提出了一份报告，建议米的自然标准是地球圆周四分之一的一千万分之一，而一克的重量应规定为一立方厘米的水在摄氏四度时的重量。于是国民议会设置了一个统一度量衡总局去实现这些建议，以便“结束度量衡的骇人听闻的混乱情况”。天文学家德朗布尔（Delambre，公元 1749—1822）和梅尚（Mechain，公元 1744—1804）用三角测量术测定了敦刻尔克和巴塞罗纳之间的距离，以便来量度地球圆周的四分之一的弧线，他们的测定完成于公元 1799 年。

吉伦特派被推翻而雅各宾派在公元 1793 年上台以后，法国大革命变得更激进了，旧的团体和组织，包括巴黎科学院在内，都被封闭。许多和旧政权有关的人或吉伦特派中人都被处死，特别象管理税局的拉瓦锡或反对雅各宾派的巴黎市长、天文学家巴伊（Bailly）那样的人。巴黎科学院秘书孔多塞，因反对国王和其他革命行动，本来也在被捕之列，但他在拘票未到来之前就自杀了。审判拉瓦锡的法院副院长柯芬荷尔声称“共和国不需要科学家”，而另一个法官杜朗·德·迈兰也认为在法国“学者已经太多了”。在离开现在一百五十年前的时候提出对科学这样的看法，已经不现实了，正如写法国科学院历史的莫里在公元 1864 年所写的：

“当时，用于国防的一切资源和材料如火药、枪炮和战备物资等等都很缺乏。兵工厂是空的，钢材已停止进口，硝石好久没有从印度运来。而正是那些被禁止活动的科学家们，能为法国满足这种需要。”

也正因为这样，所以国民议会后来又重新向科学家们提出解决这种技术上的需要问题。盖帕德·蒙日（Gaspard Monge，公元1746—1818）在此之前已经发展了在纸上绘出立体图形的投影几何学，这时对大炮的铸炼和钻孔技术进行了研究，并被任命为海军部部长。蒙日的友人、数学家拉扎尔·卡诺（Lazare Carnot，公元1753—1823）当了陆军部部长，他在任内赢得了“胜利的组织者”的称号。化学家富克鲁阿（Fourcroy，公元1755—1809）做了火药制造局局长，继承了拉瓦锡从粪便中提出硝石的实验工作。经管国家印染业的拜特洛（Berthollet，公元1748—1822）用他发现的氯酸钠作为硝石的替代品，还和另一个化学家莫尔沃（Morveau，公元1737—1816）发现了用氢氧化化的方法人工合成硝石。

上述的各种贡献表明科学能够解决当时科学上的技术问题；为了促进科学的发展，法国人就改组了老的团体，并创立新的团体。公元1794年旧的皇家植物园改组为自然博物馆，原来植物园中不同级别的职位改为等级相同的九个教授职。公元1795年巴黎科学院改组为法兰西学院所属的三个部门之一，其余两个部门是文学，以及政治和道德科学。原来科学院的院士会议是由在贵族中指定的十二个名誉会员组成，只有他们才能当选为院长或副院长；此外还有十八个由科学院雇用的会员，他们和名誉会员一起共同负责新会员的提名和科学院的一切事务。另外是十二个院长助理，他们和许许多多的业余会员、退休会员和外国籍会员，都各有不同的权利和义务。法兰西学院的自然科学部门由六十名院士组成，他们对院务同样有发言权，只不过和老的科学院会员一样，他们仍然由国家付给薪金。

国民会议在公元1794年开设了一些军事学院和医学院，以及一个技工学校，后者是一个技术学校和博物馆。同时，国民会议还创办了一个名为“多种工艺学院”和一个名为“高等师范学院”的学校，两者在整个十九世纪中成为科学教育和研究的最重要中心。高等师范学院成立了四个月之后就关了门，直到公元1808年拿破仑重新开办了它以后，才变成一个重要的高等学府。但多种工艺学院从开办后就一直没有停过。公元1794年创办时它有四百名学生和由当时一些知名科学家所组成的教师队伍。数学物理由拉普拉斯和拉格朗日任教，蒙日担任几何学，拜特洛担任化学。在这些人的学生和继承者当中有物理学家如马吕斯、阿拉戈、彭色列（Poncelet）、泊松、柯西、萨迪·卡诺和化学家如盖-吕萨克、泰那尔德（Thenard）、福克林（Vauquelin）、杜隆和珀替等。在拿破仑时代，化学家同时也是教育部部长的富克鲁阿还设立了一些不那么重要的军事、医学和技术学院。拿破仑本人对有用的发明也设立了奖金制度来鼓励实际应用科学。他对那些继承了早期唯物论传统的思辨科学家如心理学家卡巴尼斯却不加以鼓励，甚至于公元1803年把作为他们据点的法兰西学院的政治和道德科学部门也封闭了。在拿破仑时代，法国科学变得更加注意应用和实验，也正是在这个时代，法国工业的技术有了突飞猛进的发展。

随着公元1814年波旁王朝的复辟，法国政界和时髦人士中兴起了一股明显的反科学思潮。这股思潮特别反对法国科学的唯物的和数学的传统，从而使以数学物理学家出名并取得一定的革命声誉的多种工艺学院于公元1815年被政府停拨经费。德·斯塔耳（de Stael）夫人和夏托布里昂（Chateaubriand）都喊出了他们对“整个一大窝数学家”的厌恶。诗人拉马廷（Lamartine）也写道：“数学是束缚人的思想的锁链，但我只要呼一口气，锁链就断了。”德国唯心主义和浪漫主义的“自然哲学”在法国相当流行，但是除了在生物学方面，它对法国科学并没有什么重大影响。多种工艺学院及其数学物理学家在整个王朝复辟时期照

旧活跃，而在十九世纪法国得以保持下去的正是他们的传统。

法国国民会议在公元 1794 年创立的科学组织，使法国科学全集中在首都巴黎的学校里。十八世纪时，法国外省已经兴起了一些科学研究的组织，但是在十九世纪，巴黎却成了首都及来自外省的青年科学家的圣地。这样一来，外省的科学人才就越来越贫乏，为了使科学不致集中在巴黎一个地方，人们采取了一些措施，特别是在公元 1870 年成立了全国性的“法国科学促进协会”。另一方面，英国外省地区的科学活动则越来越突出，这主要表现在十九世纪地方性科学研究团体的创立。正如我们在上面讲过的，英国第一个这样比较历史悠久的团体是曼彻斯特文哲学会，这个学会的会议记录是从公元 1781 年开始的。随着是法国大革命和拿破仑战争的动荡不安年代，伯明翰的太阴学会就在这个时期垮了。但到公元 1812 年又成立了利物浦文哲学会，同样名称的学会也于公元 1818 年在利兹成立。四年以后在谢菲尔德也成立一个学会，而一个名为约克郡哲学学会的重要科学团体也差不多在同时诞生，后者不是地方性的而是全约克郡的组织。自此以后，各地区的科学和哲学学会每十年就要增加五个、十个、十五个、甚至二十个；结果在十九世纪终了时，英国各地总拥有一百多个这样的科学社团，每一个主要城市都有它自己的科学组织。这些团体大部分是由一些业余科学家、工业家和自由职业者所组成，他们都热中于促进知识进展和科学应用，尤其是要借助科学来发展他们地区的经济和文化。

设立于英国各地的科学社团，都各自拥有一百至五百个会员，这和十七、十八世纪的皇家学会会员的数目差不多，在那些年代里，皇家学会会员不但包括大部分对科学感兴趣的英国人，也包括了一些其他的人。因此，我们可以说，到了十九世纪，英国对科学积极而感兴趣的人至少增加了一百倍。此外还有一些专业和科学学会，如成立于公元 1788 年的林耐学会，以及地质学会（公元 1807 年）和化学学会（公元 1840 年），这些专业学会的会员和一般性的科学学会的会员很可能是交叉的。皇家学会的一些领导人对这种新的专业学会的成立侧目而视。当公元 1806 年有人提出要组织一个首都化学学会时，皇家学会会长约瑟夫·班克斯（Joseph Banks）就不以为然。据说他曾经说过：“我看得很清楚，这些时髦的学会最后将要剥夺掉皇家学会的一切，使这个老太婆连一块布都没得穿的。”英国当时虽不缺乏业余爱好者的组织，但在十九世纪上半叶，训练科学家的机构好象还不存在。十八世纪成立的一些由不信国教者创办的科学和技术学校，在这方面起了可贵的作用，但到了十九世纪，这些学校大部分都转向狭隘的神学教育和训练。直到十九世纪五十年代，由于皇家调查委员会在公元 1850—1851 年间的努力，国会才通过改革牛津和剑桥大学教育制度的法案，同时在另外一些地方也成立了一些新的大学，这些大学主要是由当地的文哲学会培植起来的。伦敦大学和达勒姆大学分别在公元 1826—1828 年间和公元 1832 年成立，但是那些年代在英国进行科学教育的重要组织看来却是一些“技工学校”。比牛津和剑桥成立较后的苏格兰的大学具有更新的传统，早在十八世纪后期（公元 1760 年起），科学教学和研究就在格拉斯哥大学和爱丁堡大学，特别由约瑟夫·布莱克和他的学生们开展起来。公元 1817 年格拉斯哥大学化学教授托马斯·汤姆生在格拉斯哥大学设立了第一个供教学实验用的化学实验室，而后来被封为凯尔文勋爵的威廉·汤姆生，则于公元 1817 年就任格斯多哥大学的自然哲学系教授时，建立了第一个为物理学教学之用的实验室。凯尔文实际上是为科学教学奠定了新的方向和方法的人；他把实验当做训练科学家工作的一个组成部分。“技工学校”也发源于苏格兰。格拉斯哥大学自然哲学教授约翰·安德森（John Anderson），约在

公元 1760 年为一些技术工人开办了科学讲座，他在公元 1796 年逝世的时候，把一部分遗产捐赠出来建立一所技工学校。直到公元 1804 年，这个组织的物理学教授一直是乔治·伯克贝克（George Birkbeck）博士；公元 1804 年他去伦敦大学教授自然科学。并且在 1823 年成立了伦敦技工学校。同一年，格拉斯哥技工学校开学，这个学校的教师队伍是由脱离了格拉斯哥大学的一些教员所组成的。在公元 1825 年，伯明翰也成立了技工学校，其他一些技工学校也在其他一些大城市随即建立了起来，结果到公元 1850 年左右，全英国就有了六百个这样的学校，学员总数达十万以上。多数的技工学校教育水平都相当高，事实上有人甚至说“它们在自然科学教学方面远远超过了牛津和剑桥”。伦敦技工学校后来作为“伯克贝克学院”达到了大学地位，而多数的技工学校则变为技术学院，或为技术学院所代替。

法国在公元 1794 年也建立了一个规模颇大的类似于技工学校的机械学校，这个学校还获得“具有巴黎大学水平的工业学校”的称誉。一个出身于美国的科学家和军人，在美国独立战争后来到英国的伦福德伯爵，认为这样的学校值得提倡并推广。伦福德在英国成立了一个名为“鼓励工业发展并谋取穷人福利事业协会”的组织。公元 1799 年他向这个协会的理事会提出应建立一个“公共团体，来传布并介绍有用的机械发明和技术革新的知识，并通过科学讲演和实验来进行与生活的共同目的有关的应用科学的教学”。捐款募得后，他在公元 1800 年就在伦敦创办了大不列颠皇家学校。公元 1801 年康瓦尔的一个药剂师的学徒亨利·戴维被任命为这个学校的化学讲师。在这个学校的实验室里，戴维进行了他的有名的电学-化学实验。和巴黎技术和工业学校不同，大不列颠皇家学校是靠私人捐助维持的，这种捐款开始并不易筹得。但是戴维有意使他的讲课迎合那些捐款的富翁，还为一些有影响的团体进行一些实验工作，使这个学校终于办了下去。在公元 1802 年和公元 1812 年间，由于农业部（这个部是在法国大革命后英国为解决进口粮食和副食品减少的问题而于公元 1793 年设立的）部长阿瑟·杨（Arthur Young）的要求，戴维在这个学校中开了农业化学课并在这方面作了实验。在“研究和防止矿井爆炸事故协会”的请求下，戴维发明了矿工用的安全灯。这样一来，大不列颠皇家学校的性质就改变了。它不再是伦福德所计划的那样的学校，而成为一个专业的科学研究组织，它举行的讲演主要是为了普及科学而不是为了科学教学。伦福德坚持要贯彻他的原来计划，但是其他理事不同意他的意见，经过几次争吵之后，伦福德就离开英国，移居到法国，并终老在那里。

大不列颠皇家学校为英国的科学发展增添了一股泉源，但是规模不大，在它开办后的三十年中，只有两个科学家和他们的助手在工作。这时候科学已变得越来越复杂，不大容易为一般人所理解，而实验工作也开始需要使用一些价格昂贵的仪器。科学和工业发展过程的关系也更加密切了，人们开始感到需要为科学教育和科学研究多提供一些方便。最先引人注意到这个问题的是对科学上的有关问题都很敏感的苏格兰人。爱丁堡大学自然哲学教授约翰·普莱费尔在评论拉普拉斯于公元 1808 年写的《天体力学》一书中就说到，当时在英国能够阅读拉普拉斯这本著作的人还不到一打以上。他指出在过去六、七十年里，差不多没有什么英国人发展了天文学的理论，这方面的工作完全为法国人所垄断。他写道：

“没有其他什么东西阻止英国数学家们去参预与航海事业密切相关的月球理论研究，只是人们都意识到，他们在高等几何知识方面赶不上他们大陆上的弟兄。”

在十九世纪早期，英国人教授的数学并没有怎样超出牛顿时代的成就。在微

积分方面，英国人还是坚持用牛顿的那种笨拙记号，对莱布尼茨提出并由法国数学家们所改进了的记号法则弃置不顾。约翰·赫舍尔、查尔斯·巴伯奇（Charles Babbage）和其他一些人，在剑桥大学做学生时，为了把大地上的数学介绍到英国来而成立了一个数学分析学会，他们的意图就是要纠正这种情况。巴伯奇建议这个学会又可叫做“为反对‘点-主义’（点是牛顿用的符号）并拥护‘ α -主义’（ α 是莱布尼茨用的符号）而奋斗的学会”。当赫舍尔和巴伯奇等人在剑桥大学毕业后，他们还继续做这种批判工作。约翰·赫舍尔是第一个对当时英国科学作出全面批评的人，戴维后来也加入了他的行列，他并且预备写一部书谈这个问题，但在公元 1828 年没有写完这本书就逝世了。可是他和赫舍尔的主张还是传播开来，并为当时已担任剑桥大学的数学教授的查尔斯·巴伯奇在公元 1830 年出版的《论英国科学的衰退》一书在加以支持。巴伯奇认为，问题的根源在于英国科学研究大部分还只是一种业余活动，既没有得到国家帮助，也没有成为一种专门职业。他写道：“和其他国家不同，科学研究在英国还没有成为一种特殊的职业”，因为“在英国最能吸引人才的职业是法律”，所以“人材就被糟蹋掉了，弄得我们把一个渊博的科学家换成一个勉强过得去的律师”。他认为这种陈旧的业余传统是非常不适应的，因为数学现在“要求人们对它付出所有的精力，只有那些闲暇不受任何别的事情干扰的人才能进行研究”。巴伯奇号召成立一个关心科学发展的人的组织，并要求政府也注意这件事情。

巴伯奇的书引起人们纷纷议论，并受到批评英国科学现状的苏格兰学者们所欢迎。这些批评者写了好几篇讨论这个问题的文章，寄到公元 1830 年的《爱丁堡科学杂志》上发表，文章要求改革大学教育制度，因为据说法兰西学院的十九个英国通讯院士就没有一个在大学里任职。人们指出法国内政部每年付出的约一百五十万法郎作为科学和文艺团体的经费，但是英国政府却一个钱也不花，甚至把以前给科学家们的少量养老金也停止了。为此，他们对英国政府极端不满，《爱丁堡科学杂志》的主编科学业余爱好者、后来并被任命为爱丁堡大学副校长的大卫·布儒斯特还重复了以前人们提出的建议，认为应该把对科学感兴趣的人组织起来，以促进英国科学的发展。

英国的内政大臣罗伯特·皮尔（Robert Peel）爵士对这种批评感到很尴尬。他在伯明翰为詹姆斯·瓦特树立雕像的揭幕典礼上，竭力否认英国科学有衰退的现象，并一再声明英国政府对科学的进展并不是漠不关心的。他说，皇室预备对业余科学家所进行的实验进行补贴。对天文学家詹姆斯·索斯（James South）爵士，英国政府已付出了三百镑奖金，表明“国家是愿意为詹姆斯·索斯爵士的科学研究分担一部分庞大的费用的”，同时还表明“政府并不是对科学事业漠不关心”。

虽然如此，人们都感到这样的补助只碰到问题的皮毛，对发展英国科学算不上是什么重要贡献。因此人们就采取步骤成立一个把全国科学家组织起来并发展科学的团体。在这方面的首倡者还是大卫·布儒斯特。他在公元 1831 年说服了英国当时最大和最有影响的地方性科学研究团体之一的约克郡哲学研究会的理事会，召开一个名为“科学之友”的全国性会议。这个会议于公元 1831 年 9 月在约克郡召开，在会上成立了一个名为英国科学促进协会的组织。这个组织的第一任书记是化学家和在约克郡大教堂担任牧师职的弗农·哈考特（Vernon Harcourt）。哈考特当时提出，这个协会的目的在于：

“为科学研究工作提供更强大的推动力和有计划的指导，使国民更加重视科学的目标，并排除一切阻碍科学进步的绊脚石，同时使国内国外科学家

的交流日益增进。”

成立这样一个协会的想法，部分地是受到一个德国全国性的科学家会议的启发：公元 1822 年在德国自然哲学家洛伦兹·奥肯的倡议下，一个每年轮流在德国各个城市集会讨论该年科学进展的组织成立了；巴伯奇于公元 1828 年在柏林列席了这次会议。在会上他就想到英国也应该有这样的集会组织。英国科学促进协会的另一一些发起人似乎是受到弗兰西斯·培根著作的推动，因为在第一届会议上许多人都提到了培根。培根在公元 1626 年出版的《新大西岛》一书中，曾经建议成立一个促进科学和技术发展的国家团体，这个团体的成员应该“巡视王国的各个城市”，而英国科学促进协会后来就这样做了。十七世纪时英国皇家学会的建立也是受到培根提示的影响的，但皇家学会后来逐渐失去它早期的生气，以致于公元 1831 年弗农·哈考特就敢于说：

“先生们，我们必须承认皇家学会已经不再象我们现在这样，用各种努力来促进自然科学的发展了。作为一个组织，皇家学会已经简直不工作了，也不想去指导别人的工作。”

英国科学促进协会每年在英国的主要城市集会，有时也在英国属地的一个城市开会，每一届会议平均有两千人出席。在会议期间各个专业性学术研究会以及各地区的科学团体的成员得以建立联系，许多专业性和地方性团体都成为协会的集体会员，协会每年的年会上都有这些团体的代表出席。这样，英国科学家们就能够在更广泛的范围内对科学发展的问题得出比较一致的意见。这些问题有的是关于科学本身进展的，有的是关于发展科学所急需的外部条件的，如扩大科学教育和为科学研究筹备经费等等。关于科学本身的进展的讨论，对每一年的科学发展的全貌作出分析，这在十九世纪是起了重大影响的，因为这种分析不但指出进一步科学研究的出发点，并且有时还指出最有成功希望的科学研究的新方向。关于发展科学的外部条件的问题，协会主要的努力在于呼吁改革高等教育制度，这在公元 1850 年以后是收到一定成效的，但在使政府补助科学研究计划的问题上，协会的成绩并不大。直到公元 1914 年—1918 年第一次大战时，政府才对后一问题加以注意，于公元 1917 年成立了科学和工业研究部。

协会本身对科学研究工作也作了一些小规模资助，资金大都来自会员的捐献。捐款数目当然有限，因而需要对资助的研究课题仔细进行选择。我们发现某些学科得到的资助比另外一些学科更多一些。由于协会最能代表十九世纪英国科学发展的倾向，我们不妨把分配给各个学科的补助金数目，看作是当时对各种学科兴趣高低的约略指数。在成立后的一百年中，协会对科学研究的补助金共付出 92,000 镑，其中 36,000 镑用在物理和数学问题的研究上，18,600 镑用在植物学和动物学方面，10,000 镑用在人类学方面，7,500 镑用在地质学方面，化学和工业各得 4,000 镑，至于生理学、心理学、经济学、地理学、教育学和农业科学的补助金则更少了。大部分补助金是用在物理和数学上，这事情并不奇怪，因为这两门学科在十九世纪起过、并且在当时看来还会继续起最重要的实际作用。此外，这两门学科都是从技术的科学研究中发展出来的，它们的原理和理论往往对技术和工业革新起了决定性影响。譬如说，蒸汽机导致热力学的诞生，反过来，电的理论又使电气工业成为现实。生物学科所得到的补助金数目也很大，仅次于物理和数学，其主要课题是物种的分类和新物种的发现，以及对动植物的解剖学、生理学、生态学等方面的研究。在这里，兴趣几乎纯粹是在理论方面，当时的主要研究课题是物种是创造的呢，还是演化而来的。十九世纪不大注意系统生物学的应用，很少根据实际需要来推动生物学的发展。当然，医学、农业和

发酵工业也刺激了生物学的有些部门，特别如人类生理学、生物化学和微生物学的发展。地质学和人类学一起，在补助金的清单上名列第三位，人们对于这两门学科感到兴趣，原因是多种多样的。在十九世纪中叶，地质学成为一门相当重要的科学，首先是由于有了地质学的研究，才奠定了进化论的基础；同时地质学在勘探煤矿、金属矿物以及其他工业用的无机物方面，用处也极大。为了这种目的并为了保护国家在矿区采掘权方面所享受的利益，英国早在公元 1835 年就建立了大不列颠地质调查机构。至于人类学，在当时已牵涉到进化论的问题，原始人类的社会组织被看做是文明社会以前的发展阶段，关于这些阶段的研究，还和关于石器时代人类发展的考古学所得到的资料结合了起来。但是到了二十世纪初，一些人类学家却放弃了考古学的研究，他们在研究原始社会组织时把原始社会组织看成静态的不变的“社会结构”，而不看作是是人类历史发展的一个阶段，因而心理学、而不是考古学，就成了人类学的辅助学科。在实用方面，人类学被利用来作为了解和控制殖民地人民的工具，特别是十八世纪八十年代以后，当对殖民地的投资数目越来越多时，更是如此。英国科学促进协会在公元 1881 年组织了一个专门研究人类学的部门，并且从公元 1886 年起对埃及、印度、澳大利亚以及其他地方的土著民族的研究进行了补助。比起物理学、生物学，甚至人类学来，协会对化学的补助并不算多。比起工程学来，协会对农学的补助更少。当协会在公元 1831 年成立时，它就设置了一个工程学研究的部门，在十九世纪，协会对它的补助金共付出 4,000 镑之多，但直到公元 1912 年协会才设置了一个农学部门，在此以前，协会在农学研究方面的补助金一共只付出 5 镑。这里的一个有趣事实是，直到二十世纪开始，英国农业以及需要进行连续不断的研究工作的精细化学工业是比较落后和薄弱的，譬如说，英国那时十分之九的染料都是从德国进口的，虽然在公元 1856 的年英国人珀金就第一次发现了人工合成染料。

最后，我们还可以指出，由于它自身的努力，皇家学会在十九世纪三十至四十年代中也有了一定的改进。在十八世纪，皇家学会越来越象一个社交俱乐部，非科学家的院士人数增加了，以致在十九世纪初期，皇家学会中的科学家和非科学家是一半对一半。不但如此，非科学家还控制了这个学会，这种情况一直继续到十九世纪二十年代中戴维被任命为会长并增加了科学家院士名额时为止。不过，接替戴维的是律师柯尔彻斯特（Colchester）勋爵，后来又为乔治三世的王子塞萨克斯（Sussex）公爵继任。直到公元 1847 年，皇家学会院士才以科学家为主。公元 1874 年起规定贵族不享受参加皇家学会的特权，公元 1902 年规定枢密院顾问不得享受入会的特权，最后到公元 1945 年皇家学会才开始接受女院士。

第三十六章

化学和物质的原子论

拉瓦锡的《化学纲要》在公元 1789 年问世之后，化学科学割断了与古代炼金术所保留的联系，而以近代科学的面目出现了。拉瓦锡强调化学进行定量研究的重要性，并与之相关联地引入了物质不灭原理；这一原理声称在化学的过程中，物质既不丧失，也不多出来，化合物的重量和原料的重量相等。他还恢复了前人的那种见解，即化学原素就是不能用化学方法分解为更简单的东西的那种物质；他说元素是“化学分析所达到的真正终点”，并把自己知道的二十三种可信的元素列为一张表。

拉瓦锡的新观点导致人们努力地在化学上得出几条经验定律。第一条是当量比例定律，是杰里米亚·李希特（Jeremiah Richter，公元 1762—1807）于公元 1791 年提出来的，他是波兰布雷斯劳采矿公司和柏林烧瓷厂的一个化学师。李希特是哲学家康德的学生；他和自己的老师一样，认为一切自然科学都是实用数学的分支。根据这条铭记于心的原则，他发现和一块已知数量的物质 **B** 化合的一块物质 **A** 的重量，如果完全和同等重量的物质 **C** 化合，那末物质 **C** 也将与同样已知数量的物质 **B** 化合。经过这一发现之后，人们就列出一个当量表，说明化学元素相互化合的相对数量。

第二条定律，定组成定律，是由法国人弗灵契曼·普鲁斯脱（Frenchman Proust，公元 1755—1826）于公元 1797 年

提出来的。普鲁斯脱是马德里大学的化学教授。他发现不管一种化合物是怎样形成的，它所含各种元素的重量比总是一样，其比例就是元素的当量。法国多种工艺学院的化学教授拜特洛对这条定律的正确性争执了好几年，他认为化学化合物的成分变化无穷，并不是固定的。拜特洛比较注意的是化学变化的过程，而不是化学变化的产物；在钻研他自己关心的项目上，他预见十九世纪六十年代物理化学家的一些发现。他指出某些化学反应是可逆的，而另外一些反应的产物的产率则视化学反应中原来所用的反应物的数量，和反应物与产物的相对溶解度或挥发而定。根据这些事例，拜特洛就总结说，一种化合物的组成在化学反应的过程中是逐渐改变的。可是普鲁斯脱却能证明，在化学反应过程中逐渐改变的是化合物的数量，而不是化合物的组成；还有，拜物洛所指的组成变化无穷的化合物，实际上是混合物。普鲁斯脱事实上是第一个把混合物和化合物明确加以区别的人，混合物的成分可以用物理方法分离出来，化合物的成分只能用化学方法来分解。

这些定律使化学家得以鉴别许多新化合物和新元素，并使他们由此导致了原子论，因为原子论为如何服从这些自然定律提供了说明。原子论作为一种哲学臆测，从德谟克利特的时期起一直就很流行。这个学说在古代后期和中古世纪并不怎样受到欢迎，但在文艺复兴时期又复活了，并且被结合在牛顿的机械宇宙观里。

可是在十九世纪以前，原子论并没有被人们怎样积极地加以应用。牛顿曾经假定气体原子一般地是静止的，并以一种与距离成反比的力相互排斥，以此来解释波义耳的气体体积与压力成反比的定律。瑞士数学家贝努利于公元 1738 年假定气体原子作不规则运动，气体的压力只不过是原子对盛器壁的冲击，为同一定律提供了现代的解释。可是在十九世纪以前，原子论并没有被应用到化学上来，因为一般都认为化学家所研究的各种各样物质，都是由各方面都很相同的原子组成；正如波义耳在十七世纪注意到的，这种观点说明不了化学变化过程的高度特殊性。

为了适应化学的需要，教友派科学家约翰·道尔修改了原子论，他于公元 1803 年在曼彻斯特文哲学会宣读的一篇论文里，初步地提出了他的理论的纲要，又在公元 1808 年出版的《化学哲学的新体系》中充分阐述了他的理论。道尔顿是从牛顿的气体由原子组成而原子的相互排斥是随距离的增加而减弱的观念开始的。道尔顿和其他一些人认为这种斥力就是热或者是当时所谓的热素，因为他于公元 1801 年就已经发现气体的压力直接随气体加热时的温度而增加。法国的盖-吕萨克 (Gay-Lussac, 公元 1778 年—1850) 于公元 1802 年也观察到同样现象，后来发现法国查理 (Charles) 于公元 1787 年在盖-吕萨克和道尔顿之前就已经先提出了，以后这条气体体积随温度膨胀的定律就象现在这样叫做查理定律。道尔顿很注意气象学的问题，特别是大气性质的问题；在十九世纪初人们已经知道大气是由几种成分组成的，主要是氧、氮和水气。大气是均匀的，但是在道尔顿看来，如果气体相互排斥，空气的各个组成成分就应该分离出来。为了解决这一困难，道尔顿提出不同化学物质的原子并不是一样的：它们形成不同的品种，同一物质的原子相互排斥，但不同物质的原子相互并不排斥。因此他于公元 1802 年写道：

“当两种有弹性的流体 A 和 B 混合在一起时，它们的微粒之间并不相互排斥；A 微粒之间相互排斥，但并不排斥 B 微粒。因此加在一个微粒上的压力或者重量，完全来处与它相同微粒。”

这样道尔顿就得到他的分压力定律，即一个混合气体的总压力是每一种气体各自压力的总和。换言之，混合在一起的同不气体相互没有影响，正如道尔顿的朋友亨利说的：“每一种气体对任何别的气体说来都是一种真空”。

道尔顿的见解对于化学家说来，其重要性在于原子现在有了不同的类型，任何一种元素的原子都是一样，并且都带有这种元素自身的特性，而不同元素的原子则互不相同。道尔顿认为不同元素的原子在大小、重量和每一单位体积内的数目都各自不同，而当两种元素合成一种化合物时，第一种元素的每一个原子和第二种元素的一个或小整数个的原子结合在一起。道尔顿提出后面假设的理由是，他发现当两种元素结合成不止一种化合物时，A 元素和 B 元素化合的确定重量总是简单的整数比。以道尔顿亲自研究的氮的氧化合物为例，他发现氧和一定数量的氮的合成比例总是 1 : 2 : 4。这就是道尔顿在公元 1804 年发表的倍比定律，它使原子论似乎可信了。它还表明一种元素的原子并不总是和另一种元素的一个原子化合；在某些情况下，也可以同两个、三个、四个或更多的原子化合。

道尔顿指出，鉴别不同元素原子的一个重要特征是它们的相对重量，所以他在公元 1803 年以氢元素单位列出第一张这样的重量表。各个元素的当量重量，即对于确定化合物化合时的重量，它们可以由直接测量业决定，而且如果在所有相应的事例里能知道一种元素有几个原子和另一种元素的一个原子化合，就可以从这种测算推出元素的原子量来。当时还没有一种方法能估计出这种化合的原子

数目，所以道尔顿只假定“当两种物体只能有一种化合形式时，那就必须假定这里的化合是二元性的，除非存在着某种与之相矛盾的原因”。也就是说，应当假定这种化合物只含有每一种元素的一个原子；这个假说后来证明不能成立。

盖-吕萨克于公元 1808 年为原子的化合数目给出了一个提示。他发现两种气体化合时，这两种气体的体积形成简单的整数比，而且如果产物也是气体时，它们和产物的体积也是简单的整数比。道尔顿认为两种元素化合时，它们的原子数形成简单的整数比，所以，这样看来很可能两种化合气体体积的比，和组成它们的原子的结合比是一样的。意大利都灵大学的物理学教授阿伏伽德罗（Avogadro，公元 1776—1856）于公元 1811 年更进一步设想同样体积的不同气体，在同样的温度和压力下，含有同等数目的微粒。安培（Ampère，公元 1775—1836）于公元 1814 年也提出同样的假说。阿伏伽德罗的假说引起了一个困难，即一体积的氢和一体积的氯化氢化合时，产生了两体积的氯化氢，这就意味着氢原子和氯原子在化合过程中都分裂为两半。为了克服这一困难，阿伏伽德罗于是假定氢、氯和其他气体的元素微粒都是含有两个元素原子的分子，而当两种气体化合时，这些元素分子就分裂开来，形成每种元素有一个原子存在在于其中的化合分子，就象氯化氢中的氢和氯那样。

阿伏伽德罗的假说很可以为决定元素原子的结合数提供一个普遍的方法，但是直到十九世纪六十年代以前，它并没有为人们广泛接受，因为这个假说要求同一元素的原子应当合成分子。道尔顿和其他一些人都反对这种见解，因为他们坚认同类原子必然相互排斥，而不能结合成分子。还有，道尔顿自己就认为，不同种类的原子不但原子量不同，而且大小以及处于气体状态时每单位体积内的数目也不同。盖-吕萨克的结合体积定律意味着同样体积的不同气体含有同样数目的微粒，但是道尔顿开头却不相信这条定律的正确性。后来实验的证据逼得他接受盖-吕萨克定律，可是他始终否定阿伏伽德罗假说的正确性。

早期的原子论认为自然界的基本粒子是一式一样的，这种思想仍继续存在，甚至通过假定各种化学元素的不同原子全是由同样的原始物质组成和新的原子学说结合起来。伦敦皇家学会的亨弗里·戴维写道：

“古代哲学家认为物质只有一种，物质的各种化学性质就象其机械形式一样，都是由物质微粒的不同排列所致，……这种思想是卓越的，而且得到牛顿的肯定。”

如果以氢的原子量作为一个单位。有若干元素的原子量都接近整数，所以一个伦敦的医生威廉·普劳特（William Prout，公元 1785—1850）于公元 1815 年提出其他元素的原子也是由数目各自不同的氢原子组成。格拉斯哥大学的化学教授托马斯·汤姆生（Thomas Thomson，公元 1773—1852）如此地被普劳特的这一假说吸引住，以致他把自己测定的原子量全都修改为整数。可是瑞典人雅各·柏齐力阿斯和比利时人詹·斯塔司（Jean Stas，公元 1813—1891）的研究，表明元素的原子量并不精确地是氢原子量的整数倍，虽则有些原子量很接近整数。

大约从公元 1820 年到公元 1860 年止，原子论在化学上的地位并不怎样突出。因为绝大部分化学家都愿意采用直接测量出的元素当量，而不采用原子量，因为原子量牵涉到原子合成数不确定的估算。由于人们拒绝接受阿伏伽德罗的假说，化学家就没有一种测定元素原子化合数的普遍方法，可是有些特殊方法却被人们发展出来，而为那些对测定原子量仍旧感兴趣的化学家们所采用，主要是柏齐力阿斯和斯塔司。这些方法使用起来非常有效，柏齐力阿斯在十九世纪三十年

代制定的原子量表，和我们今天使用的非常相似，只有银和碱金属算是例外。盖一吕萨克根据他的化合体积定律提出，碰到气体元素时（但不是它们的化合气体），相同体积应当含有相同数量的原子。柏齐力阿斯接受了盖一吕萨克的原则，并倚靠这条原则给若干化合物定出其化学式，如现在所采用的那样。他认为一个水分子含有两个氢原子和一个氧原子，因为两体积的氢和一体积的氧化合成水。另一方面，道尔顿则认为一个水分子含有一个氢原子和一个氧原子，他根据的原则是把一切化合物都规定为二元化合物，除非有某种好的理由才会出现矛盾。

公元 1819 年，柏齐力阿斯的一个学生米修里希（Mitscherlich，公元 1794—1863）注意到化学式相同的化合物具有同样的结晶形。这就是他的同晶形定律；依靠这条定律，柏齐力阿斯能够决定许多盐类的化学式和它们组成元素的原子量，不过米修里希后来证明他这条定律有许多例外。同年，杜隆（Dulong，公元 1785—1838）和珀替（Petit，公元 1791—1820）在巴黎发现，就若干金属而言，它们的原子量和比热的乘积是一个常数^①；所谓比热是使单位重量的金属升高一度所需要的热量。杜隆—珀替定律，使人们得以大致定出金属的原子量数值，但是柏齐力阿斯没有采用这条定律，认为它并不普遍正确。正由于他拒绝接受杜隆—珀替定律，所以柏齐力阿斯规定的银原子量和碱金属原子量与现代的数值不同，因为他认为这些原子的化合数是二，而不是如今天所认为的是一。柏齐力阿斯象盖一吕萨克及道尔顿一样，也否定可以为他的研究提供普遍准则的阿伏伽德罗定律，理由是他认为同类原子相互排斥，因此不能结合成分子。道尔顿曾经设想每一个原子都被一层热气包围着，使原子排斥相同的原子，但不干扰不相同的原子。柏齐力阿斯主张一种类似的但比较发展了关于原子的相吸和相斥的电荷学说，因为这时候，电化学的新分支已经发展，并为化学的亲合力提供另一种理论。

在十八世纪，电对生物的作用，特别是电激作用，引起人们很大的兴趣；同样，生物所显示的电现象，例如电鳐的刺人，也使人感到兴趣。意大利波伦亚大学的解剖学教授伽伐尼（Galvani，公元 1737—1798）于十八世纪八十年代也研究了这样的课题，注意到蛙腿放在两块不同金属之间时，其肌肉—神经部分就会扭动。他觉得这是生物学上的一种电现象，蛙腿象电鳐一样会发出电来。他的同时代人，意大利帕维亚大学的一个物理学教授伏打（Volta，公元 1745—1827），设想这可能是一种物理的电现象，而蛙腿只是两块不同金属连接起来产生电的一种敏感的验电器。伏打用一对对不同的金属进行实验，发现有些金属搭配起来比别的金属的效应大，这就支持了他的想法。他发现，采用一系列这样的金属对可以产生相当大的电效应，比得上磨擦发电机所显示的电效应，特别是把每一交替的金属对用酸润湿之后，效应更加显著。最后于公元 1799 年伏打发现把两块不同的金属浸在酸液里并把外电路联结起来，就会产生相当大的电流。这样他就发明了靠金属溶解在酸液里的化学作用发电的伏打电池。

在有了伏打电池可以随意发电之后，人们就看出反过来电也可以引起化学作用。在公元 1800 年，两个英国人尼科尔森（Nicholson）和卡莱色尔（Carlisle）用两根金属丝浸在水里通电，发现水就分解为水的氢元素和氧元素。次年，新被聘任来主持皇家学会化学讲座的亨弗里·戴维，着手对盐液和固体化合物类似的电解进行了一系列的研究。公元 1807 年，他电解了苛性碱，获得碱金属钠和钾，

^① 这条定律于公元 1819 年又被杜隆和珀替扩充为元素的原子或分子具有相等的热容量，因此原子量和比热的乘积约等于 6.2，就一切元素而言大都是相同的。但若干原子量低、熔点高的元素，只在高温时才合乎此定律。

后来又得到碱土金属钙、锶、钡，这些全都是新元素。这些和其他一些研究使戴维得出下列的理论，即促使元素形成化合物的化学吸引力主要属于电性的，这也就是柏齐力阿斯从公元 1811 年以来所发展的一种看法。说也凑巧，德国的浪漫派自然哲学家鉴于化学化合物必然是两种对立的实体的联合，也以臆测的方式发挥了同样的见解，认为这两种对立的实体就是带有正电荷和负电荷的物体。戴维的朋友柯勒里奇（Coleridge，公元 1772—1834）于公元 1798—1799 年游历德国，把谢林的学说带到英国，并在皇家学会讲授。戴维本人也多少是一个浪漫派，写了不少的诗，在当时还相当流行。

可是使化学亲合力的电荷学说能支持一个时期的还是戴维和柏齐力阿斯的那些实验研究。柏齐力阿斯注意到，在化学化合物被电解时，一组元素或者化学族——主要是氢、金属和碱类——都跑到电流的负极一头去，而另一组元素氧、非金属元素和酸类则跑到正极的一头去。他称第一组为正电性元素或正电性族，设想它们都带有正电荷，所以被吸引到电解池的负极去，第二组他称为负电性元素，因为他假定这些都带有负电荷。柏齐力阿斯认为化合是一种正电性元素和一种负电性元素的相互电力吸引所致，两者结合之后，两种对立的电荷就有部分被中和了。余下的电荷使这个化学族和另一组类似但电荷相反的化学族形成一个比较复杂然而比较松弛的化合物，这种复杂的化合物比其组成的族更接近于中性。这就是称为化合物二元说的观点；由于它假定有两种基本上不同的元素类型和它们的组合，它和阿伏伽德罗的假说是不相容的；因为同一元素的原子具有同样电荷，并相互排斥，所以同样的原子就不能如阿伏伽德罗所设想的那样形成二元的分子。

化合物的二元说在无机化学领域内并不是不适用的，因为当时知道的矿物化合物都是相当简单的，可以理解为带有相反电荷的元素或者元素组合的结合。无机化学在公元 1790—1830 年间，即地质学的“英雄时代”，发展得非常之快，因为地质学家发现了许多矿物可供化学家去分析。柏齐力阿斯自己就描述了在公元 1810—1820 年的十年间所作的制备、提炼和分析两千种以上的无机化合物的情形。在有机化学的领域内，情形就有点两样了。矿物化合物可以从它们所含元素的相对数量进行鉴别，但是有机化合物从一开头就可以看出是少数几种元素的复杂编排，主要是碳、氢、氧、氮，所以定量分析在鉴别这些化合物上并不能有多大成果。实际上，有些叫做同分异构的化合物，其元素成分完全一样，但性质则非常不同；同分异构体的特性看来并不是由所含元素原子的数目，而是由元素原子的排列决定的。这个问题在原子论于公元 1808 年被人提出的一开始，就被英国化学家武拉斯顿（Wollaston，公元 1766—1828）预见到，但是直到十九世纪三十年代有机化学兴起以前，都没有受到人们太多的注意。

有机化学的发展和德国化学的兴起正处在同一时候，两个德国人，弗里德里希·维勒（Friedrich Wohler，公元 1800—1882）和尤斯托斯·冯·李比希（Justus von Liebig，公元 1803—1873）对这门学科作出了一些早期的重要贡献。在十九世纪早期的一、二十年中，大陆上名列前茅的化学家是柏齐力阿斯和盖-吕萨克。阿比希去巴黎企图进多种工艺学院跟盖-吕萨克学习，维勒则去斯德哥尔摩大学跟柏齐力阿斯学习。李比希和维勒对当时的矿物化学都很熟悉，但是他们研究的问题却接触到有机化学的边缘。公元 1824 年李比希造出一种化合物雷酸银，和维勒制成的一种化合物氰酸银在成分上完全一样，但性质却迥然不同。这种现象在有机化学上发现非常普遍，柏齐力阿斯也碰到同样的事例，所以他于公元 1830 年创造了同分异性一词来描述他在酒石酸盐和外消旋盐中所发现的相似的

情况。

公元 1828 年维勒发现了同分异性的另一事例。他制成一种主要被认为属于无机性的化合物氰铵，但是发现氰酸铵放在水溶液里加热后，却经过重排成为一种熟知的有机化合物尿素。在这以前，有机化合物只能从生物中找到，可是现在看来它们也可以从无机原料中制造出来了；维勒的这一发现使得当时流行的有机化合物只能由生物的活力产生出来的见解变得无力了。柏齐力阿斯直到公元 1819 年还以为有机化合物不遵守定比定律，而不属于正规化学所固有的，因为它们活力的产物。现在有机化学和无机化学变得更加接近了，所以化学家们变企图把化学化合的二元说扩大到有机的领域里来。公元 1832 年李比希和维勒证明用苦杏仁油可以造出一整个系列的有机化合物，这些化合物都含有一个共同的有机基团和不同的无机基团，这种系列从形式上看非常相似于由一种酸和各种碱形成的一组无机盐。可是，看上去这种有机基团或者有机基可以和带正电荷的氢或者带负电荷的氧同样地化合得很好。还有，法国多种工艺学院的杜马（Dumas，公元 1800—1884）于公元 1834 年发现有机基内部带正电荷的氢可以用带负电荷的氯取代，而且基本上不改变有机基或其化合物的化学性质。

二元说在有机化学里推行得愈远，情况就变得愈加复杂和混乱。维勒于公元 1835 年写信给他的教师柏齐力阿斯说：

“有机化学当前足够使人发狂。它给我的印象就好象是一片充满了最神奇事物的原始热带森林；它是一片狰狞的无边无际的使人没法逃得出来的丛林，也使人非常害怕走进。”

维勒自己就放弃了有机化学的研究，而回到他在斯德哥尔摩学到的矿物分析上去。但是李比希则坚持研究有机化学，并且训练了帮助解决这门学科的许多问题的第二代学家，例如本生、霍夫曼、凯库勒和维尔茨等人；为了研究化学，霍夫曼放弃学习法律，凯库勒则放弃了建筑学。李比希还否定了柏齐力阿斯的电荷二元说，而接受和这种学说对立的类型理论；这种理论是杜马于公元 1840 年提出，而为热拉尔（Gerhardt，公元 1816—1856）和罗朗（Laurent，公元 1808—1853）发展起来的；罗朗为了进行教学，在巴黎办了一个小的化学实验室。杜马提出，有机化合物的化学性质是由它们的特殊结构排列或者类型决定的，而不是由于组成它们的元素的电荷特性。他坚持一切具有同样结构类型的化合物应当显示同样的性质：一种元素可以置换另一种元素，但是只要结构排列的完整性保持不变，化合物的性质就不会有很大改变。杜马发现醋酸里四分之三的氢都可以代之以一种很不同的元素氯，然而得出的化合物仍保留醋酸的属性。但是维勒仍旧坚持他教师的二元说，讽刺杜马的理论说，应当可以用氯把醋酸里所有的原子都换掉，既换掉氢，也换掉碳和氧，这样化合物全部成了氯，然而仍保留醋酸的特性。

有机化学家一般都接受类型说，而那些一心想提高化学理论的矿物化学家则接受二元说。总的说来，十九世纪第二个二十五年中的化学家都比较不侧重理论，特别是无机化学家。甚至杜马在发展他的类型说时，也只采用可以直接测量的当量概念，而不采用原子概念。公元 1840 年他写道，具有同样结构类型的化合物，是“那些含有同数当量以同样方式结合起来，并具有同样基本性质的化合物”。但是类型说却重新刺激了化学理论的发展，因为要发现一个化学分子的结构，就必须知道它的组成原子的结合数目。这样一来，决定一种元素的一个原子可以和另一种元素的多少原子结合的问题，又被提到日程上来了，而在十九世纪早期这个问题大体已被人们放弃了。随着这个问题的提出，原子论复活起来了，它在当

时已经退居到化学理论的幕后去了。

计算原子的化合数或者如他们所称的原子价的问题，由李比希的两个学生作了研究，首先是爱德华·弗兰克兰德（Edward Frankland，公元 1825—1899）；他在公元 1851 年被聘任为曼彻斯特新创办的欧文学院的化学教授；另一个则是奥古斯特·凯库勒（August Kekule，公元 1829—1896）；他在海德贝尔格大学、根特大学和波恩大学先后都担任过教职。弗兰克兰德研究了金属和准金属的有机化合物，于公元 1852 年发现每一种金属原子只能和完全确定数目的有机基团化合，这个数目他称之为元素的原子价或价。他看出元素分为具有同样原子价的许多族，例如，铟、砷、磷、氮，一般的化合数都是三或五。有机化合物中最重要的元素是碳，约从公元 1857 年起凯库勒就提出，每一个碳原子可以和四个别的原子或者四个原子团化合。在这个基础上，凯库勒设计了一些有机化合物的结构模型，并用这些模型来解释这些化合物的反应。可是这种原子价和结构的概念并不是恰当的定义，因为迄今为止还没有一个普遍的标准可以用来定出一个原子的化合数。凯库勒在公元 1861 年谈到这个时期时写道：

“除掉关于重量以及气体体积有所谓定比和倍比定律外，化学至今还没有发现什么精确定律……全部的所谓理论概念都只是含有可能性或方便性的一些观点。”

这时候有机化学却发展得相当地快，而这门学科愈来愈需要有一种关于分子结构的理论，所以决定元素的原子价问题就变得非常迫切。德国的化学家，特别是凯库勒，于公元 1860 年在卡尔斯鲁厄召开了一个化学家的会议，企图解决原子价的问题。大概有一百四十名的化学家出席了会议。从法国来了杜马和维尔茨，从英国来了弗兰克兰德和罗斯科，德国是全体出动，李比希、维勒，和他们的几个比较重要的学生，科尔比、本生、凯库勒，从俄国来的是门得列耶夫，从意大利来的是坎尼扎罗。坎尼扎罗（Cannizzaro，公元 1826—1910）充满了当时的民族感，断言他的本国人阿伏伽德罗约在半世纪以前就已经解决了决定原子价和原子量的问题。与会的化学家并不相信他的话，一直到会议结束，问题仍旧没有解决。可是坎尼扎罗印发了一本小册子，充分阐明他的见解，这些小册子代表们都带了回去。坎尼扎罗指出，根据阿伏伽德罗的假说，一个化合物的分子量是化合物蒸汽密度的两倍，在测量时以氢作为相对单位，因为氢分子含有两个原子，而不同气体或蒸汽在同样体积中含有同等数目的分子。蒸汽密度是很容易测量出来的，因此含有同样元素的若干化合物的分子量也可以测量出来。坎尼扎罗论证说，这样某一元素的原子量就是这一元素在其一系列化合物中的最低重量，也是这个元素在其一系列化合物中重量的最低公差。

坎尼扎罗的小册子和遵循小册子进行的研究工作，不久便使大多数化学家相信阿伏伽德罗的假说是普遍正确的。开头人们认为这个假说有些例外，如杜隆和珀替的原子热法则和米修里希的类质同晶定律，但是这些反常现象被发现是由于这些例外的化合物在气体状态时分裂所致。阿伏伽德罗的假说给予元素以确定的原子量；在原子量确定以后，通过元素原子量等于元素克当量和原子价乘积的关系，就很容易确定各个元素的化合数。几种元素原子价的值一旦解决，它们化合物的结构模型就可以构造出来了。这些化合物的化学反应对这些结构提供了验证，而反过来这些结构又指明了可能出现的新化学反应。由于受过建筑师的训练，凯库勒很善于辨识化合物的可能分子结构；苯是六个碳原子和六个氢原子组成的，对于这个困难的分子结构，凯库勒于公元 1865 年提出了六边形环式。公元 1848 年，巴斯德分离出酒石酸的两种同分异构形式，后来又有些其他的旋光异

构化合物发现。为了说明这些，勒贝尔（Lebel，公元 1847—1930）和范霍夫（Van't Hoff，公元 1852—1911）于公元 1874 年同时提出碳原子的四个价在空间里指向一个正四面体的四个顶角，为古典的分子学说作了最后的补充。这些旋光异构的化合物的两种形式的化学性质完全相同，所不同的是一种使偏振光线的偏振面向右转，另一种则使偏振面向左转。勒贝尔和范霍夫指出，在所有这些事例里，一个中心的碳原子可以接上四个不同的基团，而如果碳原子的四个价是指向四面体的四个顶角的话，这些基团就可以有两种不同的排列，这样就说明了同分异构性。

接受了阿伏伽德罗的假设，随着确立了元素的确定的原子价和原子量以后，这不但影响了有机化学，对无机化学也产生了影响。看上去各种同价的元素都形成天然的族或者组，这一事实使化学家开始注意到元素的分类。人们早已知道有些元素相互之间有联系，并形成一类。德国耶拿大学的化学教授约翰·多培赖纳（Johann Dobereiner，公元 1780—1849）于公元 1817 年证明钙、锶、钡的原子量大致形成一种算术级数，而巴黎大学的巴拉（Balard，公元 1802—1876）于 1826 年发现溴时，就根据溴的化学性质预言氯、溴、碘将形成另一个算术级数，后来柏齐力阿斯证明这近似是正确的。在十九世纪的三十年代和四十年代原子论还湮没不彰时，这种根据元素的原子量对元素进行分类的工作并不怎样引起人们太多的注意，只有杜马试行根据元素的性质和反应把元素分为天然的族；他把硼、碳、硅放在一组，把氮、磷、砷放在另一组。

当元素的原子量和原子价最后在十九世纪六十年代被固定下来之后，有好几个把元素分为若干有联系的组的新尝试；主要是法国的坎古杜瓦（Chancourtois）于公元 1863 年，伦敦的纽兰兹（Newlands）于公元 1864 年，特别是德国的洛特·迈耶尔（Lothar Meyer，公元 1830—1895）和俄国的门得列耶夫（Mendeleef，公元 1834—1907）于公元 1869 年发表的那些分类。迈耶尔和门得列耶夫提出了周期律，确定元素的性质随着它们的原子量以周期性的方式变化着；他们并且列出一张元素的周期表来说明这条定律。早期的化学家企图把已知的元素进行全面的分类，纽兰兹就是一个最突出的例子；在这样做时，他们不得不把一些元素硬扯在不规则的关系里。迈耶尔，特别是门得列耶夫，强调指出周期表应当有些空白地位留给未发现的元素，门得列耶夫并且高度准确地预测了这些还没有下落的元素的性质，后来它们全部都被发现了。

周期分类法为寻找新元素提供了第一个理论上的向导。拉瓦锡知道的二十三种元素是依靠用反复地试探研究其特殊化学反应而发现的。实用化学分析变得比较系统化，而在用来分析地质学家所提供的矿石样品时，在公元 1790—1830 年间就发现了三十一新元素。在公元 1830 年到公元 1860 年间，除掉莫桑得尔（Mosander）部分地分离出一些稀土元素外，新元素的分离和鉴定很少取得什么成就；莫桑得尔是柏齐力阿斯在瑞典乌普萨拉大学的继任者。可是在公元 1859 年，化学家本生（Bunsen，公元 1811-1899）和物理学家基尔霍夫（G.R.Kirchhoff，公元 1824-1887）两人都在海德堡大学创制了分光镜。有了分光镜以后，从火焰的特殊颜色就可以检查和鉴别化学物质了。本生用这种分光镜于公元 1860-1861 年发现了新的碱金属铯和铷。在伦敦，威廉·克鲁克斯爵士（Sir William Crookes，公元 1832-1919）于公元 1861 年用分光法发现了铷元素，弗赖堡矿业学院的费丁南·赖赫（Ferdinand Reich）则于公元 1863 年从同样方式发现碘。寻找周期表上空缺元素的尝试提供了下一步的发现。公元 1874 年，法国的布瓦博德朗（Boiabduran）发现镓，即门得列耶夫预言的准铝；而斯堪的纳维亚的

化学家尼尔逊(Nilson)则于公元1879年发现钷,或准硼;最后是弗赖堡矿业学院的文克勒(Winkler)于公元1885年分离出锗,或准硅。

周期表上元素的有秩序排列提醒了某些化学家,各种不同元素可能存在着某种共同的东西;它们可能来自同一根源,或者由同一基本物质的单位组成。普劳特善于不同元素的原子都是由整数个氢原子构成的假说又复活了,而且在十九世纪的最后二十年中,正如威廉·克鲁克斯爵士说的:“在科学界甚嚣尘上”。克鲁克斯在英国科学促进协会公元1886年的会议上提出,元素是由他称作不可分单元的某种原始物质发展起来的。他说普劳特假说含有真理,但是这种真理却为“我们没有能够消除的某些剩余的或者附带的现象遮盖起来了”。在英国,科学促进协会于公元1894年又召开会议时,索尔兹伯里勋爵(Lord Salisbury)断言在元素里面“并列族的发现指明存在着一个共同的来源”。1901年雷利勋爵(Lord Rayleigh,公元1842-1919)指出元素的原子量趋向于更加接近整数,这比指望这些原子量作任意分配的可能性要大到一千倍以上,这使得上述观点更为加强。因此他说:

“比起许多普遍认为有问题的历史性事件来,我们有许多强有力的理由相信普劳特假说稍加修改以后,是一项真理。”

为了考察普劳特假说的正确性,雷利勋爵从公元1890年起在剑桥大学对各种气体的密度作了一系列研究。在进行这些研究时,他于公元1892年发现大气里氮的密度比通过化学方法制得的氮的密度重。在所空气取样中的氮和其他活性气体除掉以后,雷利和伦敦的威廉·拉姆赛(William Ramsay,公元1852-1919)就得到一种少量的新气体;这种新气体在化学上呈惰性而且比氮要重,其比例是20:14。克鲁克斯检查这种气体的光谱,证明它和任何已知元素的光谱都不相同。所以它是一种新元素氩,是发现的第一种惰性气体。公元1895年,拉姆赛从铀矿石获得另一种惰性气体,被克鲁克斯又拿来作光谱检查。他证明这种惰性气体的光谱线和公元1868年日食时法国的詹森和英国的洛克耶两位天文学家在太阳的光球层所观察到的谱线是一样的;他们把这些谱线归之于太阳里的一种元素氦,当时在地球上还没有发现这种元素。最后在公元1898年,拉姆赛又从液体空气部分蒸发后的较重剩余部分里分离出另外三个惰气,氦、氖、氩;这种液体空气是英国的汉普森和德国的林德三年前首次制成的。

惰性气体被分离出来之后,化学元素的八个主要族或者类的发现就告一结束,不过由于这些族里有些元素尚未发现,所以仍留下一些空位。新元素的进一步发现,而且实际上化学的总发展,都愈来愈依靠物理学了。随着光谱学的进展,物理方法已经进入化学,而这门学科的一项发展,即亨利·莫塞莱(Henry Moseley,公元1888-1915)在曼彻斯特采用的X射线光谱学,又最后廓清了一些关于稀土元素和其他重元素可能数目和剩余问题。元素的可见光谱就同它们的化学性质一样被发现为元素原子量的一种周期性函数,但元素的X射线光谱线证明是和它们的原子量,或者毋宁说原子序数(即以氢作为一,元素在周期表上的序数),是线性相关的。公元1913-1914年,莫塞莱把元素直到铀为止的绝对数目定为九十二个,证明有十四种稀土金属,而且有七种比铀轻的元素还没有发现。

安东尼·贝克勒尔(Antoine Becquerel,公元1852-1909)于公元1896年在巴黎发现放射性,好象证实了化学家已经怀疑了有相当时期的一件事情,即元素都是派生地联系着的。新的放射性元素,诸如居里夫人(Mme Curie,公元1867-1934)在公元1900年分离出来的镭,就发现会自动分解为别的元素,而这些元素又会进一步衰变为更轻的元素。这些元素都被用化学分析方法分离和确

定出来，这样就找出自然放射性衰变的三代元素族。可是，放射现象对物理学家说来更具有重大意义，实际上这种现象也主要是通过原子物理学冲击到化学理论上来的。从二十世纪的第二个十年起，理论化学在原子组成和化学化合这两个方面都变得愈来愈和原子物理学分不开了。在实用方面，原子物理学为化学家提供了新的素材，首先是普通元素的放射性形式，用来找出化学作用的变化过程，其次是比铀重的新元素，从而扩大了元素的周期表。

第三十七章

光的波动说

在十八世纪，光学很少有什么发展。大部分人都接受牛顿关于光是由一道直线运动的粒子组成的观点，而对牛顿认为光的微粒的运动激起或者伴随着一种到处渗透的以太振动的看法却被人们遗弃了。由于拉格朗日和拉普拉斯全面地发展了牛顿体系，而光的微粒说又被认为是这个体系的不可分割的部分，所以到了十八世纪末，光的微粒说的正确性好象完全肯定了。可是就在这个时候，德国的自然哲学家开始攻击牛顿哲学，特别是反对牛顿的光学理论。那些自然哲学家认为各种光谱颜色并不合成白光。在他们看来，各种颜色都是光与暗冲突的结果。白光本身并不是由运动的粒子所组成，它不过是以太中的一种张力。这些自然哲学家的想法都带有高度的臆测性，对光学直接的影响很小，但它可能使光学研究从物理学角度转到生理学方面来，因为他们认为眼睛所产生的光学上的错觉和其他光学现象同样真实，而且同样值得研究。

这些自然哲学家的理论可能是牛顿哲学的一种更广泛反抗的征兆，因为惠更斯的光的波动说在公元 1801 年就被伦敦物理学家托马斯·杨重新提了出来，虽然当时并没有什么支持这个学说的新证据。托马斯·杨声称：

“尽管我仰慕牛顿的大名，但我并不因此非得认为他是百无一失的。

我……遗憾地看到他也会弄错，而他的权威也许有时甚至阻碍了科学的进步。”

托马斯·杨和他同时代的科学家道尔顿一样，都出身于教友会会员的家庭。他学的是医，后来在外科医生约翰·亨特（John Hunter，公元 1728—1793）下面在伦敦研究生理光学的问题，托马斯·杨证明眼睛适应不同距离的物体是靠改变眼球水晶体的曲度。他设想眼网膜有几种不同结构分别感受红、绿、紫的光线，并以此说明颜色的感觉和色盲现象。

托马斯·杨继续在爱丁堡、剑桥以及最后在德国的哥廷根从事医学研究，在德国他看出有理由恢复光的波动学说。他在哥廷根的博士论文里，提出一个关于声音和人的语言的论题。在这个题目下，他联系自己早期的光学研究，提出声和光都是波的振动，颜色和不同频率的音是一样的。人们都公认声音是沿着声音传播的方向的空气中的波动，而托马斯·杨假定光也是一种到处渗透的发光以太中类似的纵向振动，正如惠更斯在他以前所主张的那样。他指出一个弱的光源发出的光和一个强的光源发出的光，走得同样快，这一事实用光的波动说来解释要比用光的微粒说来解释容易。人都熟知两道声波或者水波可以相互干预，所以托马斯·杨就作了一项实验使两道光线互相重迭和干预，从而产生交替的黑白条纹，说明一道光线可以加强或者抵消另一道光线。根据波段的间距和仪器的大小，他可以算出光波振动的波长，得到波长约为一米的百万分之一。由于光的振动波长比照见的物体的尺寸小得多，所以他指出光将沿直线走动，并能投出清晰的影子。

他知道光线确能在某种程度上绕过不透明物体的边缘，产生边缘带颜色的影子和相互干扰的效果，这些在十七世纪都曾经为格里马第和其他人研究过，托马斯·杨举出这些现象作为事例以证实光的波动说。在完成了用光的振动说解释当时知道的光学现象之后，托马斯·杨和武拉斯顿证实了惠更斯在冰洲石晶体中所看到的双折射现象的分析是正确的。

光的波动说在英国的复兴。刺激了法国的牛顿学派，并推动了法国对光学问题的研究。拉普拉斯在对托马斯·杨答辩时，于公元 1808 年用光的微粒说对双折射现象作了分析。同年，马吕斯（Malus，公元 1775—1812）在法国多种工艺学院，发现光反射时的偏振现象。这种效应是在光束碰到透明介质如玻璃时发生的，这时光束部分地反射出去，部分地透进去。马吕斯发现被玻璃反射并通过冰洲石晶体所看到的两个太阳影象具有不同强度，而阿拉戈（Arago，公元 1786—1851）在多种工艺学院以同样方式察看透过的光束，也发现同样现象。这个问题后来由大卫·布儒斯特（David Brewster，公元 1781—1868）在爱丁堡作了进一步的探讨，他证明当反射光线和透入光线相互成直角时，两者都偏振得很充分，即是说，不论研究的是反射光线或者透入光线，我们通过冰洲石晶体所能看见的影象只有一个。另外，他还找到了一条普遍的经验定律，描写两种光束相互不成直角时的偏振强度。

光反射时的偏振现象的发现，开头好象对光的微粒说有利。牛顿曾经设想的光的微粒有“边”，以此来说明光束通过冰洲石晶体时分裂为二的现象。现在看起来，好象光的微粒不同的“边”使得有些光透进透明介质，另外一些则在透明体表面被反射出去，从而产生偏振光束。托马斯·杨有一个时期认为这种现象和光的波动说是矛盾的，但是在公元 1817 年他看出如果光的振动不是象声波那样沿着运动方向的纵向振动而是象水波或者拉紧的琴弦那样的垂直于运动方向的横向振动的话，这个问题说不定可以得到解释。相对于光束运动的方向，可能有两种形式的相互成直角的振动，这样光的偏振就可以归之于这两种振动方式在玻璃面处被分开，一种振动方式成为透入光线，另一种成为反射光线。托马斯·杨在公元 1817 年写给阿拉戈的一封信中提到了这个假说。在同一年，巴黎科学院悬赏征求阐述光折射现象的最佳论文，参与竞赛的有一位土木工程师菲涅耳（Fresnel，公元 1788—1827），他和托马斯·杨并无联系，单独地企图恢复旧的光纵向波动说。阿拉戈把托马斯·杨的最近假设告诉了菲涅耳，菲涅耳就以托马斯·杨的假设作为应征论文的基础，在论文中他指出所有已知的光学现象都可以根据光是横向振动的波这个假设予以解释。

新的光波说引起了关于发光的以太，即光振动借以产生的介质的许多问题。菲涅耳在公元 1821 年指出，纵向振动可以通过气状介质传播，如声波通过空气传播那样，但是横向振动，就象胶质的抖动一样，只能在具有固体物质许多特点的介质中才能产生。人们很难设想一种凝固得足以传播横向光波，同时又能容许天体自由运行的以太。还有，巴黎大学的泊松（Poisson，公元 1781—1840）在公元 1828 年指出，如果发光的以太是一种类固体，那末光的横向振动就总会伴随着纵向振动，这样就又增加了一项困难，因为纵向振动和横向振动一样，都将把光源中的能量带走。

大部分固体对压缩、延伸、扭转和弯曲都是抗拒的，而且可以认为固体并不一定同时具备全部这些性质，因此有可能设想一种假想的固体以太，它可以很容易地被压缩或者延伸，以允许天体毫无阻碍地通过；它对扭转或弯曲具有弹性，以容许它传播光波的振动。

公元 1845 年，剑桥大学的乔治·斯托克斯（George Stokes，公元 1819—1903）指出有些众所周知的固体，如沥青和蜡，就硬得可以传播抖动或横向振动，然而又能压缩或延伸。发光的以太只要明显地具备这些综合性质就成了。他设想的另一个类比是一种溶在水里高度稀薄的胶质，这种溶液将容许物体通过，而且同时又能传播振动。公元 1839 年詹姆斯·麦古拉（James MacCullagh，公元 1809—1847）在都柏林设想一种以太，这种以太的元素只抵抗旋转扭动的压力；据此，他就有可能根据力学定律解释一系列形形色色的光学现象。后来在公元 1889 年，凯尔文爵士（Lord Kelvin，公元 1824—1907）在格拉斯哥对麦古拉以太的元素造了一个机械模型。他把四根棍子排成四面，每一个棍子作为以对转向相反的回转仪飞轮的轴。这个模型可以抵御一切转动式的干扰，但抵御不了直向运动。

与此同时，法国多种工艺学院的奥古斯丁·柯西（Augustin Cauchy，公元 1789—1857）提出了两种以太学说，企图根据以太在物体内改变密度或者弹性的假定，来说明光的反射和折射现象。在公元 1839 年，他又提出第三种以太学说，设想以太是易缩或滑动的，具有一种消极可压缩性，企图解决泊松在公元 1828 年指出的横向振动必然伴随振动的困难。柯西指出，在这种以太里，纵向振动的速度将是零，因此它不可能带走横向振动的任何能量。剑桥大学数学物理学派的创始人乔治·格林（George Green，公元 1793—1841）指出这种以太将是不稳定的，它会不断地萎缩下去。凯尔文公元 1888 年重又考察了柯西的以太，设想它很象一种均匀的泡沫，没有空气，靠粘着在坚硬的容器壁上而不致坍下。这样一种以太，他认为，如果延伸到无限的空间，或者有一个坚硬的容器作边界，将不会是不稳定的。

到了十九世纪中叶，光的波动说已经取得很稳固的地位了；看来这个学说的最基本证据是由两个法国业余科学家，斐索（Fizeau，公元 1819—1896）和傅科（Foucault，公元 1819—1868）所提供的；他们在公元 1849 到公元 1862 这几年间测定了光在各种不同介质中的速度。在十七世纪，笛卡儿曾经表明，根据光的微粒说，光在密度高的透明介质中的速度就比在空气中快，而光的波动说则设想光在这种介质中应当走得慢些。斐索在公元 1849 年用一只旋转的齿轮测量光走过某一给定距离的时间，齿轮以一定的速度运动并让光通过某两齿之间的空隙，而在下一个间隙中回来。傅科在公元 1850 年和公元 1862 年用一只旋转的镜子，令镜子以一定的速度转动，使它在光线发出并从一面静止镜子反射回来这段时间内，恰好旋转一周。他们的实验结果都和布拉德雷在公元 1728^①年根据天文学所测量的光速值相符，而傅科的工作表明光在水中比在空气中走的慢，而且其比值等于水和空气的折射率之比，犹如光的波动说所预言的那样。

^①原文为 1827 年，可能是印刷错误，此处予以更正。——译者

第三十八章

电学和磁学的发展

与光学在十八世纪的缓慢发展形成对比的，是电学在这个时期的快速发展。十七世纪时，望远镜和显微镜的发明激发人们对光学问题进行很多研究人，但是在这以后不久就很少有什么新的推动了。与此相反，电学却变得时髦起来，特别是在公元 1745 年发现了电震以及紧接着又弄清楚闪电就是放电之后。人们对电震所能起的活力作用作了过高的医学估价，有的人甚至认为电就是自然界的宇宙活力。例如，我们当还记得拉马克就把电和热看作是驱使生物进化的力量。美以美教派的创始人约翰·韦斯利（John Wesley，公元 1703—1791）宣称“电是宇宙之灵魂”。德国的自然哲学家们也几乎持有这个观点，因为他们对电所显示出来的两极对立现象非常振奋。

电学的近代研究同磁学研究一样，可以说是都是从十六世纪科尔彻斯特的威廉·吉尔伯特的工作开始的。古希腊人已经知道琥珀显示电的性质，吉尔伯特则证明琥珀并不是唯一的这种物质，他发现玻璃、火漆、硫磺、宝石经过磨擦后，也能吸引纸屑和稻草。他指出电和磁是不同性质的力；磁力只对天然磁石和铁起作用，并使它们对着特定的方向；电力则能作用于许多种材料，并且没有一定的方向。在十七世纪，发明抽气机的奥托·冯·格里凯制造了一部可以产生大量电荷的起电机。他安装了一个能连续转动的硫磺球，用手或布片磨擦硫磺球来产生电荷。另一件重要的电学仪器是收集电荷的莱顿瓶，它和电震现象都是莱顿大学的皮得·范·马森布罗克（Pieter van Musschenbroek，公元 1692—1761）在公元 1745 年发现的。马森布罗克将电荷从起电机中用金属线引出来，通到水瓶里，企图将电荷保留在瓶里而不消失。他一手握瓶，另一只手触到金属导线，当他这样做时他感觉到“手臂和身体产生一种无法形容的恐怖感觉，总之我以为我命休矣”。

美国费拉德尔菲亚的本杰明·富兰克林（Benjamin Franklin，公元 1706—1790）利用这些仪器进行了一系列研究，证明闪电是一各电力性质。在公元 1749 年，他指出闪电和电火花两者事实上都是瞬时的，并且产生相似的光和声；它们都能使物体着火，都能溶解金属；它们都能流过导体，特别是金属，并且都集中在物体的尖端；它们都能破坏磁性，或使磁体的极性倒转过来，又都能杀死生物体。他在公元 1752 年进行了那个著名的风筝实验，将雷雨云层中的电荷收集到莱顿瓶里，并且证明了这种电荷同起电机所产生的电荷在效应上是一样的。为了解释他所知道的电现象，富兰克林设想有一种没有重量的电流质，渗透整个空间和一切物质实体之中，如果物体内部的电流质密度同外部的一样，这个物体的电特性就是中性的。如果电流质过多，物体就带正电；如果电流质少了，物体就带负电。富兰克林认为光是充溢整个空间的以太的振动，与支持波动说的其他科学家，如在他以前的利昂纳德·欧勒，和在他以后的托马斯·杨一样，也认为空间

中的电流质说不定和以太是相同的东西。

圣彼得堡科学院的弗兰茨·埃皮努斯（Franz Aepinus，公元 1724—1802）在公元 1759 年指出富兰克林理论中的一个弱点，即如果在空气电容器的两极之间有电流质的话，那末它就会自动放电。埃皮努斯宁愿将电的吸引力看作是一种超距作用，就象万有引力一样。另一种反对意见认为，电荷好象集中在物体的表面，而不是如富兰克林的理论所设想的渗透整个物体。卡尔特修道院的一位领养老金的斯蒂芬·格雷（Stephen Gray，卒于公元 1736 年）在公元 1729 年证明了同样大小的两个橡木方块，一个实心，一个空心，在用同样的办法充电时所显示的电学效应是一样的。这就表明电荷全部集中在木块的表面。约瑟夫·普利斯特列在公元 1767 年做了一个类似的实验，证明空心的带电体对于空腔内部的电荷没有作用力，在这以前牛顿已经证明，如果引力是随着到引力中心的距离平方而减弱的话，中空球状体对于空腔内部的物体就没有引力作用。根据这样的类比，普利斯特列得出电的作用力也遵守平方反比律的结论。在公元 1750 年，剑桥大学的约翰·米歇尔（John Michell，公元 1724—1793）就已发现，同性磁极之间的斥力遵守平方反比律。他把一块磁铁用线悬挂起来，再用另一块磁铁推拒它，从线的扭转程度来测定斥力的大小。法国的工程师库伦（Coulomb，公元 1738—1806）重新发现了米歇尔的扭秤，并在公元 1785 年到公元 1789 年间用它证明电和磁的吸引力和排斥力都遵守平方反比律。至少对于法国物理学家来说，这些发现似乎已经证明电力和磁力，都是与万有引力同类的力，都能通过空虚空间进行超距作用，又都遵守平方反比律。

德国的自然哲学家则是从另一个角度对电与磁发生兴趣，即对极化现象感到兴趣，因为这个例子好象完全证明了他们所假定的两个对立极之间的辩证张力或者使杂乱变为有序的力。因为在他们的哲学中，推动自然界发展的力量只有一种，那就是世界精神，他们认为光、电、磁、化学力都是相互联系的，都是同一事物的不同侧面。谢林的门徒之一，哥本哈根大学的物理学教授汉斯·克利斯提安·奥斯忒（Hans Christian Oersted，公元 1777—1851）在公元 1807 年宣称他正在研究电和磁的关系。富兰克林在公元 1751 年已证明用莱顿瓶中的电荷可以使铁针磁化或退磁。但是莱顿瓶只能供给瞬时的电流，在公元 1799 年伏打电池发明后才为连续电流提供了电源，正是用了这种电源，奥斯忒才得以在公元 1820 年这种电流的磁效应。他证明一根通电的导线会绕着磁极旋转，反之，一个磁铁有绕一根固定的通电导线旋转的趋势。奥斯忒用他的学派所特有的术语写道：

“我们将在导体中和其周围空间中所发生的这种效应称之为电冲突。看来所有非磁性体都能为这种电冲突透过，但磁性体则抗拒它通过，因此它们就能在冲突力量的推动下运动。……从上述事实，我们还可以推出这种冲突呈现为圆形的，否则就不可能发生这样的情形：将闭合导线的一段放在磁极下面时，磁极被推向东方，而放在磁极上面时，就被推向西方。其原因是，只有圆才具有这样的性质，其相反部分的运动方向相反。”

奥斯忒的发现引起人们很大的兴趣，因为当时知道的主要的力都是直线推拉性质，例如引力、电和磁的吸引和排斥，而奥斯忒现在却发现了一种旋转力。这个现象使法国牛顿学派的物理学家特别迷惑不解，因为他们最坚决地认为一切作用都是推力和拉力的超距作用的结果，并且都服从平方反比律。可是法国多种工艺学院的安培于公元 1820 年末证明，通有电流的圆形线圈象普通磁铁一样，有推拉的吸引和排斥作用。根据这一发现，安培在公元 1825 年提出一种假说，认为磁化的微粒中存在着很小的无阻抗的圆形电流，由此而产生磁性。

德国学派的另一个成员托马斯·塞贝克（Thomas Seebeck，公元 1770—1831）曾协助歌德做过科学研究，他致力于寻找热和电的关系。在公元 1822 年他发现，如果加热两种不同金属的接点时，就会产生电势，如果电路是闭合的，就会有电流流过。塞贝克的这个热电源与当时的伏打电池不同，热电源产生的电势很稳定。另一位德国人，后来是慕尼黑大学的物理学教授格奥尔格·欧姆（Georg Ohm，公元 1787—1854）在公元 1826—1827 年间用这种电源研究电路中的电势、电流和电阻之间的关系。欧姆是在傅立叶于公元 1822 年所发表的关于热流过导热体的研究工作的影响下从事这项工作的。欧姆将电势比为温度，将电流的总量比为一定量的热，希望能对电的流动作出类似的分析。

将电效应同其他现象联系起来的最重要的研究是迈克尔·法拉第作出的。他是戴维在伦敦的皇家学会的助手和继承人。法拉第开始是继续戴维的 chemistry 研究，但后来就越来越多地进入到物理学的领域。公元 1826 年他在研究丁烯和丙烯时发现了同分异构体的事实。在公元 1833 年他确定了相同的电量可以分解相同当量的化学物质。这第二个发现表明，如果化学物质是由原子构成，那末电池也应当具有微粒的特性。可是法拉第对于这个前提和结论都否定了，他宁愿采取这样的看法：“物质到处存在，没有不被物质占有的中空地带。”

法拉第的物理研究还有更重要的意义。人们早就知道，磁铁能使邻近的铁块感应带磁，也知道电荷能在邻近的物体中感应出另一种电荷。法拉第认为电流也应当具有这种效应。他从公元 1822 年左右起开始寻找这种效应，他先写下在自然现象之间的一系列可能联系，然后进行侦察，有的确实被他找到了。在公元 1831 年他发现电磁感应现象，证明一个电流可以产生另一个电流，这个现象把机械运动、磁同电流的产生普遍地联系在一起。他发现当一个金属线圈中的电流强弱发生变化时，能在一个邻近的线圈中感应出一个瞬时电流。如果将通有恒定电流的线圈（或者同样用一个永久磁铁也行）在第二个线圈附近移动，也会产生同样的效应。正如奥斯忒发现了电动机的基本原理一样，法拉第也发现了发电机的基本原理。

为了解释当时所已知的电磁现象，法拉第发展了一种具有他个人特点的世界图景。前面已经讲过，他反对物质的原子说，因而也否认力可以通过空虚空间而起超距作用的观念。法拉第认为物质是无所不在的，是一种象以太那样的连续介质，这种介质也就是传递自然界的各种力的媒介。按照法拉第的设想，弥漫全空间的以太是由力的线或力的管子组成的，这些线或管子将相反的电荷或磁极联结起来。在磁场中用小罗盘，或在一张纸上洒上铁屑，就可看到联结相反两极的线，因此组成磁场的线可以标志出来。对法拉第来说，这些力线和力管具有实在的物理意义。每一条力线相应于一个单位的磁性或一个单位的电荷。许多力线组成一个力管，它联结相反两极或相反电荷，力管在任一点的方向就是磁场或电场在该点的方向。力线从它们的源泉——磁极或电荷——发出，力管沿力线伸长方向的横截面先是增加，然后缩小。力管横截面的大小是磁场或电场在这个截面上的强度的量度。沿着力管的伸长方向，场强同截面积的乘积是个常数，其大小是由组成力管的力线多少所决定。法拉第假设力管在伸长的方向有收缩的趋势，而在侧向有扩张的趋势，因此联结异性磁极或电极的力管就有将它们拉在一起的趋势。同性磁极或电极的互相排斥是因为它们所发射出来的力管不能联接，而是相互排斥，这是它们的侧向扩张趋势所致。法拉第还对电磁的吸力和斥力遵从平方反比律提出了一种解释，认为这是因为磁力线和电力线发出后，在几何上随距离平方稀疏起来。在电磁感应的问题上，法拉第提出在一个导体中所感应出来的电荷量

决定于所通过的磁力线数目，所产生的电动势则同切割磁力线的速率成正比。

在发现电磁感应后，法拉第又对物体如何影响电力场进行了研究。在公元1837年，他发现用两块由绝缘材料隔开的导体板组成的电容器，同一个维持恒定电势的电源联接起来，就能取得一定的电量，而电量的大小则视所用的特定绝缘材料而定。当两块板由真空隔开时，电容器获得的电荷量要比用绝缘材料隔开时小。法拉第把电容器在这两种情况下所获得的电荷量的比称为绝缘材料的电容率。为了解释这项发现，法拉第设想绝缘体中的电力线要比真空中的电力线稠密，其稠密程度同绝缘材料的电容率成正比，因此电容板就在电力线的尽头容纳较多的电荷。在公元1845年，法拉第发现物体和磁力场之间也存在类似的相互作用。他发现许多被称为抗磁的物质，在做成条状时，在磁场中的取向就倾向于同磁场交叉，并与磁力线成直角。这种取向不同于铁条和另几种被称为顺磁性物质，后者顺着磁场方向，和磁力线平行。为了解释这些效应，法拉第假定磁力线在抗磁物质中变稀，在铁与其他顺磁性物质中变密。

法拉第是在研究光、磁、电之间的关系时，偶然发现抗磁现象的。他把一块玻璃放在一个强电磁铁的两极之间，看到玻璃取向与磁场正交。在用一束偏振光顺着磁力线透过玻璃时，他发现光的偏振面有了改变。这种磁与光的相互作用使他在公元1846年伸出一个假说，认为光可能是沿力线方向的波动。法拉第问道：

“在某种学说中用来解释辐射和发射现象的振动，是否有可能在力线中发生呢？因为力线连接微粒，所以也就将物质连在一起。如果接受这种见解，那末另一种见解所假定的作为这些振动发生的介质即以太，就不再需要了。”

法拉第提出的问题是向光的电磁学说迈出的第一步。光的电磁说是克拉克·麦克斯韦（Clerk Maxwell，公元1831—1879）在公元1862年提出的。推动这一学说的发展的是一系列对静电和电流关系的研究，特别是对电流速度的估计。伦敦的物理学教授查理·惠斯通（Charles Wheatstone，公元1802—1875）在公元1834年用一个旋转镜研究了长电路两端之间的火花以测量电流的速度。他估计的结果是电的速度相当于光速的一倍半。法国的斐索在公元1850年得出电流的速度在铁线中是光速的三分之一，在铜线中是光速的三分之二。最后，海德爾貝格的基尔霍夫在公元1857年证明，静电和电流是以一个常数相联系，这个常数的量纲是速度。他将两个静电荷的吸引力与他们放电时所产生的磁力相比较，证实了这个常数同光速的数值相同。

克拉克·麦克斯韦先是伦敦大学的自然哲学教授，后来到剑桥大学任教。他努力想将法拉第对电磁现象所作的大体上是定性的解释，改为定量的和数学的形式。麦克斯韦首先发展了法拉第力线观念的定性描述，引进了光的波动说中的以太。麦克斯韦设想力线是绕着自身的轴旋转的以太管，这种旋转的离心力使以太管向侧面扩张，向纵的方向收缩，就同法拉第为了解释吸引和排斥时所设想的一样。但是朝相同方向旋转的两个相邻的以太管，在接触点上的转动将是相反的，这个观念在力学上是不可能出现的。麦克斯韦于是再假设以太管之间存在着微粒层，这些微粒的转动方向与以太管相反，就象滚珠轴承或游轮的情况那样。如果所有以太管都以同速旋转，微粒的位置就不变；否则就有某一个微粒做直线运动，其速度等于管子两侧圆周速度的平均值。这样一来，如何通过某种手段使一个以太管的转动速度发生变化，就会在整个系统中把扰动传播开来，而微粒就会以直线运动从一个以太管滚向另一个以太管。麦克斯韦认为这些微粒具有电的性质，因而设想微粒这样运动起来就成为电流。

相反，如果有一个微粒偏离其正常位置，那就会在邻管上起一种切向应力作

用，由于这些管子具有弹性，它们就将帮助偏离的微粒恢复其正常位置。麦克斯韦设想两块电容板之间的静电场中存在这种应变状态，板上的电荷使电微粒移位，微粒反过来又对两极之间的以太管施加应力。根据他的以太模型中的振动应力和应变的各种可能性，麦克斯韦就从制约这个模型力学的动力学规律推出波动式扰动在以太中的传播速度等于光速。所以，看来光是一种电磁现象，或者象麦克斯韦所说的：“光是引起电磁现象的那种介质中的横向波动。”在其他不同于空虚空间以太介质的物质内部，麦克斯韦证明，电磁波的传播速度应当等于光速和该物质的电容率的平方根的乘积，由于光在透明物质中的速度依赖于其折射率，因此一种物质的电容率看来应当等于其折射率的平方。这个预见后来得到了证实。

麦克斯韦并没有作许多实验来证实从他的理论上引伸出来的各种预见，也没有进一步从定性方面发展电磁以太模型以及假想的电微粒或电子观念。在他的晚期著作中，他抛弃了以太模型，专门研究他为以太中的波动式的扰动所推论出的数学方程式，并将这些方程式应用于光学现象。其他一些科学家，尤其是格拉斯哥的凯尔文勋爵，则以力学模型为基础，用类比的来解释所研究的各种自然现象，他们看到理解麦克斯韦的数学工作中的某些困难，就想用其他的以太模型将光、电、磁等现象总括起来。凯尔文在公元 1884 年写道：

“在我没有能给研究对象建立起一个力学模型之前，我是永远都不会满足的。如果我成功地建立起一个模型，我就能理解它，否则我就不能。因此我不能理解光的电磁说。我希望尽可能理解光是什么，而不引进使我对光理解得更差的东西。因此我坚持要用简单的动力学来解释光，因为在力学上，而不是在电磁理论上，我能找到一模型。”

因此，凯尔文在公元 1890 年就想用麦古拉的光以太来解释光、电、磁的现象，这种以太的元素被假定为能抗拒转动应力，而不抗拒线性位移。凯尔文假定电效应是由麦古拉元素——以太——的平动（**translatory motions**）引起，磁现象是由转动引起，光是波动式的振动引起。可是麦古拉模型暗示着对透明介质施加电场将会改变光在介质中的速度，而这并不符合实际情况。在十九世纪下半叶还出现了许多别的以太模型，它们在解释当时的光、电、磁的多种多样现象上各有程度不等的成功。某些人甚至想将物质的各种性质都装进以太模型里来，例如在公元 1867 年凯尔文设想物质的原子是以太中的涡环，就象是空气中的烟圈那样的东西，但是用这种说法来解释物质的重量和密度却很困难。最后所有的以太模型，包括为这种假想的介质所提供的绝对空间，都不得不抛弃掉，因为后来证明一个物体的绝对速度，即其相对于以太的速度，是一种毫无意义的观念。

从光的电磁说所作出的一个最重要的推论在公元 1883 年为都柏林的自然哲学教授菲茨杰拉德（**Fitzgerald**，公元 1851—1901）所提出。他指出，如果麦克斯韦的学说是正确的，那末用纯粹的电学办法使电路中的电流作周期性的变化，就应当能产生出电磁辐射。在公元 1853 年，凯尔文曾证实莱顿瓶和其他电容器的放电具有振荡特性，电荷在衰退到零时有上下的起伏。因此菲茨杰拉德提出，放电的电容器可以作为产生麦克斯韦理论所预言的电磁波的一个很好的电源，并指出波长越短，所载能量就越大，也就越容易侦测。

这样的侦测电磁波的仪器由海因里希·赫兹（**Heinrich Hertz**，公元 1857—1894）在公元 1886 年发明了，他后来当了波恩大学的物理学教授。他发现，如果将一个导线回路放在一只放电的莱顿瓶或一个正在工作的感应线圈附近，在回路两端的短隙之间就越过电火花。莱顿瓶或线圈中的电磁辐射为回路取得，辐射

转为电流，它通过电火花产生间隙放电。赫兹接着利用这个简单仪器进一步证明这种辐射具有和光类似的特性。在公元 **1888** 年，他证明电磁波在实验室的墙壁上发生反射，在通过硬沥青的三角棱时能够发生折射。此外，电磁波能象光波一样有衍射、偏振现象，在直线传播时，其速度与光速是同一个数量级。赫兹就这样证实了麦克斯韦的光的电磁说中的最重要预见，他所提供的这些基本发现也为以后的无线电广播和雷达的发展奠定了基础。

第三十九章

热力学：能量转换的科学

关于能的各种形式，如热、光、电、磁、化学能和机械能之间关系的科学，是因研究磨擦生热和热通过蒸汽产生机械能而兴起的。在十七世纪，一些自然哲学家，其中较著名的有培根、波义耳、胡克和牛顿，都认为热是物体微粒的机械运动，运动的速度随着温度而增高。随着十八世纪化学的发展，热结果被看作是一种没有重量的物质，称之为热素。固体的融化和液体的蒸发都被看作是热质和固体物质或液体物质之间的一种化学反应。

按照热素说，磨擦生热是由于磨擦的两个物体放出了和它们化学结合或机械混合的物质，由之得出热量和产生热的磨擦量应该成正比。公元 1798 年，从美国移居欧洲的科学家伦福德（Rumford' 公元 1753—1814）在慕尼黑制造炮筒时，观察到产生的热量和钻磨量或多或少是成反比的。钝钻头比锐利的钻头给出更多的热，但是切削反而少，这和热素说恰巧相反，因为根据热素说，锐利钻头应当更有效地磨削炮筒的金属，并从中放出更多的与金属结合的热质。伦福德发现一只简直不能切削的钝钻头，竟能在二小时四十五分钟内使十八磅左右的水达到沸点。这样多的热完全是由机械能产生的，因此伦福德的结论是热本身是机械运动的一种形式。

热的唯动说在当时并没有为人们广泛接受，不过伦福德却找到一个信奉者，那就是后来在皇家学会的亨弗利·戴维。戴维在公元 1799 年做了一个实验，在真空中用一只钟表机件使两块冰相互磨擦，整个实验仪器都保持在水的冰点。他断言有一些冰因机械磨擦结果而融化了，因此戴维根据这个实验设想热是“一种特殊的运动，可能是各个物体的许多粒子的种振动”。托马斯·杨在公元 1807 年提出一个稍为不同的热之唯动说，他根据赤热物体给出的辐射热和光谱红外区的热效应的研究，设想热或许是象光一样的波动。可是热之唯动说在当时很少有人支持；直到十九世纪五十年代，人们多半普遍接受的是热的物质说，即热素说。

与此同时，法国人正在研究控制蒸汽机把热变为机械能的各种因素。这些因素在英国人那里并没有人进行过充分的研究，虽则那时在英国使用蒸汽机已经超过了一百年。瓦特曾经画过一张器示压容图，用图示形式说明蒸汽压力如何随蒸汽机中汽缸的有效容积而变动，但是不论瓦特或者其他的英国科学家，那时好象都没有从这张图推论出什么来。英国的工程师，如瓦特，大都是自学出来的，但是十九世纪早期的法国工程师则是在多种工艺学院和理论科学家一同受到训练的，所以倒是他们比较能够从事蒸汽机理论和一般机器理论的研究。

法国的理论科学家和实用工程师都研究了热的问题，而且一般说来，他们两者都采纳了热物质说，把热素看作是一种没有重量的流体。属于多种工艺学院理论物理学派的傅立叶（Joseph Fourier 公元 1768—1830）在公元 1822 年写了《分析理论》，处理了热在固体中的流动，这是一种新的数学分析方法，也处理了笛

卡儿曾经建议过但没有加以发展的量纲理论。傅立叶主要关心的是热的传导现象，根本不管热的机械效应。傅立叶注意到物体受热而膨胀并产生机械力，“但是当我们研究热的传播定律时，我们计算的并不是这些膨胀现象。”傅立叶事实上认为研究热现象是有别于力学的一门科学。傅立叶写道：

“存在着范围很广的各类现象”，“都不是由机械力产生的，而完全是由于热的存在和积聚的结果。这一部分的自然哲学不能放在力学理论的下面：它有其本身所特具的原则，而且它根据的方法和其他精密科学的方法是相似的。”

另一方面，法国的工程师主要关心的则是热效应和机械效应的关系。在公元1824年，一位法国陆军工程师萨迪·卡诺（Sadi Carnot，公元1796—1832）发表了《谈谈火的动力》，企图分析蒸汽机和一般热机决定热产生机械能的各种因素。卡诺引起人们注意这样的事实，即蒸汽机里的热是从高温部分，即锅炉，流向低温部分，即冷凝器；在这个过程中，通过汽缸和活塞产生了机械功。在这方面，卡诺认为蒸汽机和另一种原动机水车是相似的。卡诺写道：

“我们可以恰当地把热的动力和一个瀑布的动力相比。瀑布的动力依赖于它的高度和水量；热的动力依赖于所用的热素的量和我们可以称之为热素的下落高度，即交换热素的物体之间的温度差。”

两者的类似以及这种类似所根据的热素说，使得卡诺得出一个不正确的结论，即在蒸汽机操作的过程中，热并没有损失或者变为机械能。他认为高温锅炉放出的热量，和低温冷凝器所接受到的热量是相等的。可是这种类似也使他获得有益的见解，即一部蒸汽机所产生的能量，在原则上，完全依赖于锅炉和冷凝器之间的温度差和由锅炉传到冷凝器的热量。这样看来，一切蒸汽机和一切热机，如果在同样温度之间工作，就会具有同样的效率。他指出如果这个结论不正确的话，永动机就将是可能的，以此证明这个结论人，即熟知的卡诺原理。如果两台完善的热机在同样温度之间操作，不具有同样效率，那末效率高的机器就可能驱使效率低的机器反转，把热从低温抽到高温，这一来就会使热的状态保持不变，然而却连续地产生出纯粹多余的机械能。卡诺认为永动机是不可能的，因此他假定一切热机在同样温度之间操作，不管它们的操作方式怎样，或者用来传热和工作的材料是什么，效率都是一样，这就是说，不论这些机器是涡轮机或者是汽缸发动机，也不管它们使用的是蒸汽，是空气或者其他操作材料，效率都是一样。

后来，卡诺在公元1830年，在意识到他把蒸汽机和水车相类似并不确切，有一些热在机器操作过程中转变为机械能，因而就丧失了。因此他就放弃了热素说，而采纳热只是各种物体中许多微粒运动的看法，热和机械可以相互转化和等价的。可是卡诺在公元1832年霍乱瘟疫中病故，而他记在笔记本中的后期见解直到公元1878年方才发表。卡诺的早期根据热素说的研究工作由另一个法国工程师，巴黎桥梁道路学院教授克拉佩龙（Clapeyron，公元1799—1864），加以发展。公元1834年克拉佩龙恢复了或者重新发现瓦特的器示压容图，它表明蒸汽机一次操作循环中压力怎样随着汽缸的容积而变化。他指出压力-容积图的面积为循环变化所作的功提供了估计，而且他提出可以由所作的功和这一循环中所供应的热量之比来给出一台热机效率的测量。

卡诺工作的重要性通过克拉佩龙才被人知悉，直到十九世纪五十年代才普遍被人意识到；在当时，人们的注意力重新转到从机械运动和其他能源产生热的问题上来。在德国，这个问题是通过化学和生物学的观点来趋近的。拉瓦锡曾经证明热量和动物呼出二氧化碳量之比，大致上等于烛焰产生的热和二氧化碳之比。

由此可见，热血动物的热好象并非不可能从它们吃的食物燃烧的化学能产生的。过去在巴黎受过教育的李比希则设想动物的机械能，以及它们的体热，可能来自它们食物的化学能。德国科学家在这个问题上的意见并不一致，有些主张有机体的活动力是与生物所特有的一种活力有关。李比希的一个学生弗里德里希·莫尔（Friedrich Mohr，公元 1806—1879）则采取一种机械观；据此他推出所有各种不同形式的能都是机械力的表现的见解。莫尔在公元 1837 年写道：

“除了已知的五十四种化学元素外，自然界还存在着一个动因，这被称之为力；在适当的条件下可以表现为运动，凝聚、电、光、热和磁……热因此并不是一种特殊的物质，而是各种物体中许多最小部分的一种振动。”

这样的见解在公元 1842 年又被罗伯特·迈尔（Robert Mayer，公元 1814—1878）提了出来。罗伯特·迈尔是巴伐利亚省海尔布隆的一个医生，当他在热带的一艘船上作医生时，他注意到病人的静脉血比他在欧洲看见的颜色要红些。他把这种区别归之于在热带条件下静脉血含有较多的氧，而氧所以多出来是由于提供体热燃烧掉的食物减少的缘故。这种现象看来支持体热来自食物化学能的见解，而且迈尔假定肌肉的机械能也来自同一来源，机械能、热、化学能都是等价的，并能相互转化。在回到德国以后，迈尔又进一步研究了这个问题。从本世纪初开始人们就知道气体向真空中膨胀，并不发生热的变化，但是气体反抗压力膨胀，就要作机械功，就要吸热。迈尔看出在第二种情况下，机械功是由所吸收的热产生的，两者是等价的，并且根据已发表的关于伴随气体膨胀的热变化的资料，他计算了等价于一定数量的机械能的热量。

迈尔的论文和原先莫尔的论文一样，被德国主要物理学杂志的主编波根道夫退回了，理由是论文里没有实验工作。这是波根道夫和其他德国物理学家的一个确定不移的政策，因为他们要避免那个时期自然哲学空论的倾向。迈尔的论文终于在公元 1842 年由李比希和莫尔主编的一个化学杂志上发表了；从他的论文看来，迈尔是有点象个自然哲学家，尽管他的那些臆测取得了肯定的成就。他论证说，力本质上就是因，由于因是不可灭的和转化为果的，所以可以推论力同样也是不灭的和可以相互转化的。迈尔写道：

“运动在许多情况下只不过产生热效应，因而热的来源只不过是运动。”

另一个德国人也是从生物学的现象出发，得出各种不同形式的能可以相互转化和守恒的思想的，是哥尼斯堡的生理学教授，后来是柏林大学生理学教授的赫尔曼·赫尔姆霍茨（Hermann Helmholtz，公元 1821—1894）。为了反对那些活力派学说，赫尔姆霍茨论证说，活的机体如果除掉从饮食取得能以外，还能从一种特殊的活力获得能的话，那末它们就会是永动机。永动机是不可能的，这条原理因而就表明动物完全是从食物获得能的，食物的化学能被转化为等价的热量和机械功。赫尔姆霍茨进一步论证说，如果热和其他类型的能，其本身都是机械运动的各种形式，那末根据十七世纪和十八世纪确立的机械能守恒的定律，就可以得出宇宙总能量是常数的原理。赫尔姆霍茨关于能量守恒原理的第一篇论文，象莫尔与迈尔的论文一样，也被波根道夫退回，但还是在别处发表了。

建立能量守恒原理的实验，在英国是由曼彻斯特的一个酿酒商兼业余科学家詹姆斯·普雷斯科特·焦耳（James Prescott Joule，公元 1818—1889）进行的。焦耳象迈尔以及其他人一样，深信能是不灭的，并能表现为各种形式，但是他和德国科学家不同，竭力想从实验上证明是如此；他系统测量了可以转化为一定数量热的各种形式的能量。他并且有一个全面的机械的物质世界的图景，深信

热是各种物体中许多粒子的运动，因此热基本上和机械能是一回事。他对迈尔的自然哲学家的观点感到不能容忍，因为迈尔强调热的机械当量是一个纯粹的数，它表达了能从一种形式转为另一形式的性质转换，而与热的机械说或任何理论模型无关。

焦耳首先研究的是电。电的研究当时进步得很快，但是焦耳和其他的大电学家戴维和法拉第不同，只集中研究电流的热效应。在公元 1840 年，他测量了电流通过电阻线发出的热，发现在一定时间内发出的热量和电路的电阻和通过电阻线的电流的平方成正比，这种关系就是熟知的焦耳定律。焦耳根据这一实验设想电能因阻力而转化为热了，不过他并没有忘记热有可能是一种物质即热素，并且是由电流从电路的这一部分输送到另一部分去的。公元 1843 年，他通过一台发电机封在盛水器里操作时所耗费的机械功，并以水温的增高测定所产生的热量，从而否定了后一种可能性。在这里，电路是完全封闭的，因此水温的增高是由于机械能转化为电，电又转化为热的结果，而不是由于热素从电路这一部分被输送到另一部分所致。焦耳在确定各种形式的能可以定量地相互转化之后，就精确地测量了用桨轮搅水时机械产生的热量，发现 772 呎磅的机械功产生并等价于使一磅水升高华氏一度的热量。

焦耳的研究并没有立刻引起注意。皇家学会拒绝发表他的两篇论文；对这件事焦耳并不感到奇怪，因为他知道皇家学会那些绅士科学家和工业区曼彻斯特科学家之间，在兴趣和价值观念方面都是不同的。可是到了公元 1847 年英国科学促进协会开会时，威廉·汤姆生（William Thomson，公元 1824—1907）即凯尔文爵士注意到焦耳工作的重要性；汤姆生指出，焦耳研究的结果和法国工程师们精心建立的热机理论是矛盾的。焦耳的实验表明机械能是定量地转化为热，而法国的热机理论则指出这种倒转的变化不会发生的，热在蒸汽机里并不转化为机械能，而只是从高温降落到低温。

凯尔文开头采纳法国人的观点，因为看上去这种观点比较有利。在公元 1848 年凯尔文证明绝对温标可以基于卡诺的完善热机的理论来制定。到那时为止，温度是靠固体、液体和气体加热后的膨胀来测量，用同等膨胀的增量来估计同等温度的增量。可是根据不同测温材料所定的温标相互间并不完全一致。水银温度计和气体温度计就稍有不同，而且显然没有什么理由可以认为这种温度计的测量比别的温度计的测量更加基本。卡诺的理论指出一切完善的热机在同样温差之间开动，不管使用的工作物质是蒸汽，是空气，等等，其效率都一样。凯尔文因此提出在绝对温标上的同等温度增量，可以定义为温度的范围，一台完善热机将在这个温度范围以同等效能操作。后来在公元 1854 年，当热素说普遍被人抛弃之后，凯尔文就建议另一种绝对温标，根据这种温标，同等温度增量是一台热机产生同量功的温度范围；他并且指出这种温标和气体温度计的温标十分密切地符合。

焦耳、迈尔和其他人的观点都被在格拉斯哥的凯尔文和在柏林的鲁道夫·克劳胥斯（Rudolph Clausius，公元 1822—1888）融合在热机理论里。他们注意到，当气体和蒸汽反抗外力膨胀，并完成机械功时，它们损失了热，有些热转化为机械能并在蒸汽机的操作中这样地损失掉。不同形态的能的守恒和相互转变定律的主要障碍现在被克服了，所以在公元 1851 年由克劳胥斯和凯尔文把这条定律作为一个普遍原理提了出来。当卡诺的热机在操作循环中热量减少时，同时却可以看出有一个量在整个循环中保持常数。热机给出的热量小于得到的热量，但是得到的热量除以热源的温度和给出的热量除以散热装置的温度，两者具有同样的数值。克劳胥斯在公元 1865 年称这个量为熵（entropy）。

克劳胥斯指出卡诺的完善热机，正确说来，只是一种抽象，因为在日常经验中，热的物体倾向于自发地冷却，同时冷的物体则会热起来，但是如果天然物体组成一对卡诺热机，一只驱使另一只逆转，那末热的物体将永远是热的，冷的物体将永远是冷的。而在自发的热过程中，例如热传导沿着一根金属棒而下，则热量保持不变，温度却降低了。熵即热量除以温度，因此在自发的自然过程中倾向于增加，而不会如在完善热机里保持不变。这就是热力学第二定律。正如克劳胥斯说的“宇宙的熵趋于一个极大值”，热力学第一定律就是现在熟悉的能量不灭原理，“宇宙的能量恒定不变”。

克劳胥斯和其他人根据物质的原子论，对热力学的定律作了动力学的解释。气体是由运动的分子组成，气体的压力是分子撞击容器壁的结果，这个学说在公元 1857 年被克劳胥斯重新复活。气体的热能归属于气体分子运动的动能，这些分子的速度随着温度的增加而增加。在伦敦，麦克斯韦进一步发展了气体动力论，于公元 1866 年指出气体中分子的偶然撞击，将使少些分子具有比平均能量较多的能，而使另一些分子具有较少的能。他根据概率计算出这样分子系集中比平均能量超出一定数量的能的分子的分数的分数，这个结果后来在许多情况研究中很重要，如在化学反应或从液面与固体面逸出的分子，少数高能的分子就被设想能越过能垒并发生变化。麦克斯韦指出，对于一个能控制个别气体分子的人来说，热力学第二定律就不再保持，因为这样一个“妖”能够把快速运动的分子和慢速运动的分子分开，从而创造一种温差而不费能。凯尔文认为动植物可能包含有这种“麦克斯韦妖”，但是麦克斯韦本人认为生物和无机物体同样都遵守热力学定律。

按照原子论，热力学第一定律可以看作和早先的物体碰撞时动能不灭原理相同，因为热能等于物质分子的机械能。热力学第二定律则被奥地利物理学家路德维希·波尔茨曼 (Ludwig Boltzmann, 公元 1844—1906) 解释为能在自发运动，例如机械能转变为热或热体变冷，所涉及体系的分子倾向把能作混乱分布或麦克斯韦分布。这种分布是取最可几分布，这是最混乱或者是最无序的，而其他比较有序分布的几率比较小。因此一个体系中熵的自发增加，可以和这个体系的分子能的分布几率的增加联系起来，波尔茨曼在公元 1877 年证明熵是和这种几率的对数成比例的。

热力学第二定律和它的分子解释，给予时间的流逝以物理意义和方向，而这是牛顿力学体系一直没有的。原则上牛顿宇宙的力学是可逆的。从理论上说，一颗炮弹在击中靶子之后可以弹回，并循着原路折回到炮筒里来。根据热力学第二定律，这种不测事件完全是不可能的。炮弹的有序、单向的运动将会不断地被空气的磨擦阻力转化为热，这就是说，转化为空气和炮弹分子的混乱和无序的运动，最后在炮弹击中靶子时，有序的直线运动的全部痕迹全被破坏了，有序的运动转化为炮弹和靶子的混乱热运动。这样的变化是不可逆的：机械能在转化为热并且当热消散之后，世界上就永远不再受它的影响了。

能的自发放散率，例如太阳通过持续发射逐渐冷却的过程，就给出时间流逝的测量。凯尔文在公元 1854 年说过：“至于太阳，我们现在可以根据牛顿和焦耳的那些原理追溯和预测它的历史。”法国的鲍伊莱和约翰·赫舍尔于公元 1837 年独立地在好望角测量了太阳每年发出的热量。两人得出的数字非常一致；赫舍尔计算了太阳一年发出的热足以融化几百呎厚包围地球的冰层。迈尔在海尔布隆于公元 1848 年指出，如果太阳是一大块煤的话，那末按照这个速度，它就会在五千年之内烧光；而且他提示落到太阳上面和许多流星和小行星所含的动能，或许会为太阳每年的输出提供足够的热。英国的沃特斯顿在公元 1853 年独立地提

出同样的假设，但是也指出如果同样密集的流星落在地球上，流星对地球的撞击就会使地球永远处在赤热状态。赫尔姆霍茨在公元 1854 年提出一个比较满意的假设，他设想组成太阳的大量粒子间相互的引力吸引，会使太阳收缩，从而使粒子的势能，即相互之间的引力，转化为动能，也就是说，转化为热。只要每年收缩不多的几百呎就可以说明太阳每年发出的热能，但是这一来就确定了太阳的过去和未来可能的年限。根据这个设想计算表明，太阳已经存在了二三千万年，而且还将有一千万年左右的寿命。

根据地球的冷却率，对地球的年龄也可以作出相似的估计。凯尔文在公元 1862 年指出，地球适于居住的年龄至多不能超过两亿年；到了公元 1899 年，他又把年限缩短为二千万到四千万年。这样的估计和地质学家根据按历史顺序排列的水成岩地层的总厚度，和江河三角洲新形成的水成岩成泥的沉积率定出的地球年龄的数值是相反的。地质学家按此估计水成岩的形成至少有两亿年的期限，有些地质学的计算，包括前期水成岩的形成时间在内，总计要达到四亿年光景。有些热力学学家觉得地质学家一定搞错了。公元 1866 年凯尔文在格拉斯哥地质学会一次会议上说：

“地质学理论中一场重大的改革，现在看来变得必不可少的了，目前英国流行的地质学和自然哲学的原理是直接对立的。”

赫胥黎于公元 1869 年在伦敦矿物学院回答说，地质学的证据象物理学的证据一样有效，可能物理学家搞错了。在公元 1900 年，也就是凯尔文把地球年龄缩短估计为二千万到四千万年之后的一年，地质学家詹姆斯·盖基（James Geikie）指出把地壳的压缩归之一亿年冷却的结果，不足以说明阿尔卑斯山褶皱岩石的厚度。公元 1899 年，另一个地质学家张伯伦设想物理学家的那些理论说不定是不完备的，因为原子很可能具有复杂的组织和巨大的能量，并在太阳内部的某些条件下释放出来。

贝克勒尔在公元 1896 年发现的放射现象，导致太阳能学说沿着张伯伦所预言的方向发展，并进一步提供了一些估计地球年龄的方法，这些方法充分证实了地质学家早先的估计。人们发现铀每六千六百万年裂变百分之一，最后成为轻的铅。岩石层的年龄因此可以从岩石层中所含的铀和轻铅的相对数量来决定，结果表明地质学家所估计的水成岩年龄，其数量级是正确的，而且某些矿石早在 1.985 亿年交就已经形成了。

另一个受到热力学影响的领域是科学的哲学。卡诺曾证明热机的操作和构成机器的特殊工作物质毫无关系，后来的物理学家也强调热力学并不需要任何涉及物质特性的猜测或假定，因为这门科学研究的只是能的变化。热力学定律是根据物质的原子物质论来解释的，但是这种解释对热力学说来并不是主要的。热力学没有一个物质本性的理论模型照样行，老实说它不需要假定物质客观存在也照样行。由于这个缘故，某些热力学家，特别是来比锡的化学教授威尔赫姆·奥斯特瓦尔德（Wilhelm Ostwald，公元 1853—1932），设想自然界的各种现象只是能的各种表现和能的各种转变，建立了所谓“唯能论”思潮的学派。奥斯特瓦尔德写道：

“我们听到的，来自空气振动对耳鼓和中耳所做的功。我们看见的，只是辐射能在眼膜上做的化学功，而被感觉为光……根据这个观点，整个自然界显现为一系列在时空中变化着的能；我们从冲击到我们身体的那些部分的能来获得知识，这特别依赖于对专为接受适当能而形成的感觉器官的冲击。”关于物质本性的假说一旦被放弃以后，能的本性的假说显得也就没有什么理

由可以保留了。自然界可以看作是一连串观察到的现象，而科学就只是联系这些现象的一种活动。迈尔指出热的机械当量只是一个联系不同现象的纯粹数字，它与热之唯动说、热素说或任何其他学说都无关；正因为如此，在他看来，这个数字比任何假说都更有价值。迈尔写道：

“一个单独的**数字比一座装了各种假说的奢华的图书馆具有更真实和更永久的价值**；企图用假说来探究世界秩序的内在奥秘，这是象炼金士的努力一样的例子。”

这样一种见解在公元 1872 年被布拉格的物理学教授，后来又任维也纳的哲学教授的恩斯特·马赫（Ernst Mach，公元 1838—1916）加以发展；马赫对当时科学家用理论的机械模型，例如化学中使用物质的原子论，和想出各种以太连续体来解释光、电、磁现象这种普遍趋势加以攻击。他指出在热力学里，并不使用自然的机械模型，观察到的现象可以直接相互联系。他因此设想一切科学的原型是热力学，而不是机械学，而且为了排除科学中的一切假说性的推测和理论结构，热力学的方法论应当用之于其他科学。

马赫认为科学主要由一大堆观察的事实和现象所组成，它们再由若干定律和法则约束在一起。自然规律实际上只是为了记忆事实的方便和经济起见而发展的一些人为措施，因为人的心力太弱了，记不了所有观察到的事情。马赫写道：一条科学定律

“不比许多孤立的事实放在一起多出一点点的事实价值，它的价值只在于方便。它只有功利价值……如果一切独立的事实，一切分立的现象，都能象我们要求关于它们的知识那样，能直接而容易地为我们取得，那末科学就永远不会出现。”

在马赫看来，科学的任务就是根据一般的关系将观察的事实分门别类，这些关系把各领域内的所有特殊事例全都描述到，而不引进任何假说或者理论模型。马赫在公元 1896 年称之为唯象论的物理学的这种研究态度，对热力学领域的某些研究者来说，并不是没有吸引力的，虽则大多数科学家仍旧坚持着他们的理论和他们对自然的机械模型。

对马赫及其学派的最严肃的责难要留待那些原子论的拥护者来作，因为这些原子论者成功地冲进了热力学的领地。马赫声称原子论者曾经企图“造出一个概念来，它的绝对的素朴和粗糙就象在主张物质绝对不变是物理学的基本教义一样”。可是马赫本人也没有完全摆脱原子论的影响；事实上，原子观在某种意义上构成了他的思想体系的基础，因为他认为科学家的世界是一个许多个别观察事实或者作原子理解的河流。他的一个信徒，路德维希·维特根斯坦（Ludwig Wittgenstein）毫不隐讳地说：“现存的许多原子事实的总和就是世界”。这样一种见解所根据的是，现象作为许多独立元素而被感知的那种心理学，而这个学说曾是十七、十八世纪英法自然哲学家所发展的宇宙是原子—机械模型的产物。

马赫的唯象论哲学并没有毫无争议地被通过。波尔茨曼在公元 1899 年抗议说，马赫已经抹杀了形而上学理论和科学理论的所有区别，而且以一维的许多个别观察事实的长流来代替时空概念的结构，使科学的概念变得贫乏了。在捍卫物质的原子论时，波尔茨曼坚持：

“一个学说，能够独立地取得一些不能以别的方式取得和成就，而且，还有这么多的物理、化学和晶体学的事实替它说话，对这样的学说不应当攻击，而是应当进一步加以发展。”

在当时，原子论的确取得了显著的进展。为了说明电流通过盐溶液和通过低

压气体的现象，人们提出有电子，即电的原子。液体中许多微粒的运动，首先是在公元 1827 年被英国植物学家布朗观察到的，使法国物理学家佩林得以确定阿伏伽德罗常数，即两克氢，或者任何其他物质克一分子量的分子的数目。所有这些和其他的发展使得马赫的拥护者奥斯特瓦尔德在公元 1909 年放弃了自己的主张，并接受物质的原子论。

那些以太论者也仍旧坚持他们的连续域模型，因为他们意识到和原子论一样，以太模型也是有用的。这些模型之所以有用，倒不是如马赫所强调的理由，即为了“记忆”观察的现象，而是因为它们导致人们发现新的现象，例如麦克斯韦的以太，从它所列出的方程式就导致辐射波的预言。曾发现麦克斯韦预言的辐射波的海因里希·赫兹，在公元 1894 年为利用理论模型说明自然过程进行了广泛的辩护。赫兹写道：

“科学的首要的，而且在某种意义上是最重要的任务，就是使我们能够预言未来的经验，因而使我们能按照这个目标来指导我们目前的活动。为了从过去推出未来，并因此而获得所期望的预见，我们的步骤总是这样的：我们建立一些外界客体的主观图象或者符号，这些图象或者符号都属于这样的一种类型，即它们从理智角度推出的必然结果，也是在描述物体的本质中不变而重复的必然结果的符号，……我们一旦能够从过去的经验总和中推演出所期望的那类符号，就可以在短期内从这些符号，就象从模型出发一样，发展一些在自然世界中需要经过长时间才会出现的结果，或者能得到好象是我们亲手操作才能取得的结果。”

马赫在他同时代的卓越科学家中很少有什么信徒，但是他的哲学有一个方面在本世纪的某些地方却受到欣赏，那就是否定用理论的机械模型解释自然界的各种过程。理论物理学已经达到了采用数学模型代替机械模型，这个趋向也许可以认为从十九世纪六十年代开始的，即在麦克斯韦放弃他的以太模型，而集中精力去研究由这个模型给予他的方程式的时候开始的。特别是原子物理学家已经摒弃了为原子结构提出机械的模型。海森堡在公元 1945 年写道：

“现代物理学的原子只能通过一个偏微分方程式在一个多维的抽象空间中象征它。它的一切属性都是推论性的；我们不能直接赋予它任何物质的属性。这就是说，我们想象所能臆造的任何原子图景，正是由于这个缘故，都是有缺点的。按照这种直觉的方式来理解原子世界……是不可能的。”

第四十章

科学与工程学

直到公元 1850 年左右，工程学和一般工业上的技术革新并不怎样依赖当时的科学知识。相反，科学却从某些工程问题的研究获得很多好处，如热力学的发展，一部分就是靠蒸汽机的研究。在公元 1850 年之后，把科学应用到工程技术上，就成了工业发展的一个日益重要的因素；到了本世纪，则大多数卓越的技术发明主要都来自科学研究了。在公元 1850 年前，虽然具体的科学知识没有对工业发展起很大影响，但科学的方法却对它产生了影响。前面已经讲过，以斯米顿和瓦特为代表的十八世纪工程师们，在改良机器时使用了小型的模型试验方法，并在蒸汽机的发展中取得了相当大成就。在十九世纪上半叶，法国的工程师卡诺和克拉佩龙研究了蒸汽机工作的科学原理，建立了热力学这门科学。与此同时，英国的工程师布拉默、亨利·莫兹利、约翰·克莱门特和惠特沃思等则继承了早期的英国实验工程学传统，致力于一般机器的技术改进。

英国的工程师们在十九世纪初叶的研究工作，使单台机器的工匠生产方式得以过渡到标准化机器的大规模生产方式面来。工业要实现大规模的生产，要求制造精密而可以互换的标准化机器部件，问题的中心就是精密工程学。改进制造机器的机器，即发动机和工具机，也取决于工程技术的精确程度。十八世纪的纽可门蒸汽机仍然是工匠工艺水平的产物，比中古时代的水平好不了多少。在十八世纪六十年代，斯米顿曾注意到在他的一部蒸汽机中，28 英寸口径的汽缸和其活塞之间有半英寸左右的间隙。为了弥补纽可门蒸汽机的这个缺点，在活塞顶部浇一层水来加以封闭。这个措施使机器多少能够工作，但却降低了机器的效率，因为水使汽缸变冷，造成了一部分蒸汽的浪费。詹姆斯·瓦特在改进蒸汽机时，要求汽缸始终保持高热状态，因而不能用水封闭活塞。瓦特的发明一直到汽缸的精密造型法问世之后方才实现；——是约翰·威尔金森解决的，他在公元 1774 年取得了发明精密炮筒镗床的专利权。

威尔金森的炮筒镗床使得瓦特的改良蒸汽机能大量制造和出售。这种镗床原是为了制造大炮而设计的，这一事实说明精密工程学发展的另一推动力，是适应大量生产标准产品的需要。这种需要首先出现在军事方面，因为军事最需要大量标准化的武器和其他东西。十八世纪末，法国首先实现了用可以互换的同样部件来大量生产步枪。美国的第三任总统杰斐逊记载他在公元 1857 年曾访问制造商勒布朗，在访问时他自己随手拿了几个零件就装成了几支枪。在英国，大规模生产及其所要求的精密工程比较起来是为了民用的需要，不过军事方面的刺激当然也存在。发明家和工程师约瑟夫·布拉默 (Joseph Bramah 公元 1748—1814) 在公元 1784 年发明了倒转锁，在公元 1795 年发明了水压机。他为了大量生产这种锁，就面临着大规模生产的问题。起初他雇了许多工人用手工方式生产锁的部件，使用的工具都是传统的手工工具，即锤子、凿子、锉刀、锯子等。后来布

拉默同他的助手亨利·莫兹利（Henry Maudsley，公元 1771—1831）引进了机械工具来协助手工工具，这样就大大地提高了部件的生产率和精密度。这个发展在后来使莫兹利进一步考虑，是否能制造一般的工具机来生产各种不同类型的标准化机件。

一般说来，机器的各个部分总是具有圆形、方形或圆柱形等特殊几何形状或其组合形状的金属部件。一根真正精密的转轴应当是个完美的圆柱体，理想的螺丝应当是在这种圆柱体表面刻上一条完美的螺旋线。因此如何大量生产标准机件的问题，可以分成分别制造几种工具机的问题；这些工具机要能在金属上加工出真正的圆柱面或平面，并在金属部件上切削出圆孔或方孔。莫兹利在公元 1794 年到公元 1810 年间将旧式车床改造成一种精密的工具机，解决了制造精密圆柱体和螺丝的问题。在这以前，车床与其他多数机器一样，主要都是用木头做的，只有重要的运动部件才用金属做。在工作时，待加工的材料用踏板带着转动，切削的刀具是用手拿着的。莫兹利将车床全部改成铁的，这就解决了由于木头太易变形而使工作件的定中心和校直受到破坏的问题。此外，他又发明了滑动刀架，使刀具同车床的中心轴线的距离保持不变。后来他更将滑动刀架同机器的转动相耦合，使刀架能和中心轴线平行地作直线运动。这样一来，车床上转动的任何材料就能自动地加工成为一只精密的圆柱体。它的大小取决于工具的最初位置，而且只要装置好了，车床就能生产出任何数量的同样的圆柱体来。再利用带动刀架平行于车床中心轴线运动的耦合器具，就能在圆柱体上刻出螺纹，实现标准螺丝的大规模生产。这种发展同军事的关系，可以从下一事实看出来，即莫兹利获得的第一批大量订货是由海军部在公元 1800 年给他的，因为海军部正需要用机械来大量生产船用索具的标准滑车。

除了圆柱体和螺丝以外，平面部件或真正的平面也是少不了的，在改良以前，生产平面的方法是将一个铸件或者锻件的面用凿子修成大体上是平的，然后再用另一个已判定为是平的面来磨它。这种方法会带来极不精密的结果，因为即使两个面在所有点上接触，这两个面也不一定就是平面。同布拉默和莫兹利在一起工作过的约翰·克莱门特（John Clement）部分地解决了这个问题。他在公元 1825 年发明了加工金属的刨床，使待修平的材料作直线运动，这时固定刀具就会作平行的切削。但为了使这个机器及其产品标准化，也需要有一个具有真正平面的部件。这种标准平面由同克莱门特和莫兹利一起工作过的约瑟夫·惠特沃思（Joseph Whitworth，公元 1803—1887）造了出来。惠特沃思认识到，两个在所有点上紧贴的面并不一定是平面，但要是三个面能两两紧贴的话，那它们就一定是真正平坦的。同样三根杆件中的每一对如果在一张平面上能完全贴合的话，它们的横截面就一定具有真正的直角。利用这些真正的圆柱体和平面，惠特沃思在公元 1830—1850 年间制成了能测量出一英寸百万分之一误差的标准螺旋规以及其他的精密车床、刨床、钻床、磨床和牛头刨床，这使他在公元 1851 年的世界博览会上赢得了闻名全世界的声誉。

有了这些工具机之后，标准化的织布机、纺纱机、蒸汽机和其他的重要机器设备，就能大量生产，同时又因为这些机器的机件和构造都精密得多了，运转速度就能提高许多。十八世纪的纽可门蒸汽机每一分钟最多只能作二十个冲程，但十九世纪下半叶的蒸汽机则可以每分钟作二百五十个以上的冲程。机器的精密化和高速度使得一种新的材料占据了重要的地位，这就是钢。生铁太硬太脆，熟铁又太软，都不宜用来制造高速运动的部件。只有钢才具有符合需要的强度和韧性。人们早就能用鼓风炉直接生产大量的含碳很高的生铁。公元 1784 年亨利·科特

(Henry Cort)发明了反射炉,将生铁中的碳在炉中几乎全部烧尽,这样就可以大量生产熟铁。但是一直要到公元 1856 年贝默(Bessmer)发明了转炉、西门子发明了平炉炼钢法时,才有可能大量生产含碳很低的钢。

钢和工具机两者使十九世纪下半叶的工程学发展具有新的特点,即出现了大规模生产的标准机器,它们是用精密加工的钢制部件构造的,并能以高速度运转。同时热力学又为蒸汽机的改良和其他热机的发展提供了理论基础。在发展蒸汽机的热力学方面作出杰出贡献的,是格拉斯哥大学的工程学教授威廉·兰金(William Rankine, 公元 1820—1872),他在公元 1859 年发表了《蒸汽机和其他热机手册》。此外还有德国的佐伊纳(Zeuner)和法国的伊恩(Hirn)。这些人使热力学在工程师中得到普及,但并不能对蒸汽机作很多改良,热力学并没有在这个领域中带来多少帮助,因为蒸汽机还远远够不上是理想的热机,而且多数的理论性建议都已经在实践中达到了。理论表明高压和大膨胀可以提高蒸汽机的效率,但是理查德·特里维雪克(Richard Trevithick)早在公元 1802 年就造成了高压蒸汽机,而乔纳森·霍恩布洛尔(Jonathan Hornblower)甚至更早就发明了大膨胀蒸汽机。

然而热力学理论在其他地方却找到了用武之地。这门科学包括了所有热机理论,无论是正向作用还是反向作用都能描述。凯尔文在五十年代曾经指出,如果将机械能施加到一部热机上,使它的工作向反向进行,那就会使低温处的热抽到高温处去,这样它在低温处就成为致冷机,而在高温处成为暖气机。所以致冷机就是热力学的一个应用;用压缩氨原理的现代型主要致冷机是慕尼黑的卡尔·林德(Carl Linde)在公元 1873 年发明的。但热力学的主要应用还是在正向作用的热机发展方面,从热产生机械能,其中特别重要的是内燃机和蒸汽涡轮机。

第一部有些特殊化的内燃机就是用火药发火的传统大炮,其中机械能来自气缸内部产生的热量。而不象蒸汽机那样来自外部。克利斯提安·惠更斯和他的助手但尼斯·帕潘在十七世纪八十年代曾企图用炸药做燃料制造内燃机,但没有取得进展。实际上,直到煤气工业的发展提供了适当燃料,同时工具机、钢的生产和热力学发展之后,人们才能制造内燃机。公元 1862 年比奥·德·罗克斯(Beau de Rochas)继承早期法国工程师的分析传统,发表了一本小册子,在热力学的基础上提出一种理论上的操作循环,企图制造一部高效率的内燃机。这就是著名的四冲程循环理论,后来被德国人奥托(Otto)采用来制造煤气机,在公元 1876 年取得专利。戴姆勒(Daimler)在公元 1883 年制成了汽油机,普里斯曼(Priestman)在公元 1885 年发明了重油机,但重油机中所引起的问题要到十年后才由鲁道夫·迪色儿(Rudolph Diesel)真正解决。

同样,蒸汽涡轮机的力学原理也是人们早就知道的。在古代,亚历山大里亚的希罗就曾经根据这个原理制造玩具。在十八世纪末,博尔顿曾担心已作出设计的蒸汽涡轮机可能成为蒸汽机制造业的有力竞争者。但是他的同伙詹姆士·瓦特安慰他说:“除非有上帝能使东西以每秒一千英尺的速度运动,蒸汽涡轮机就不会对我们有什么害处。”可是由于具备了钢和精密工程学两项条件,法国的拉瓦尔(Laval)在公元 1889 年造了一部涡轮机,其转子的边缘速度超过每秒 1500 英尺。人们已经知道,蒸汽从涡轮到真空的直接膨胀,可以产生每秒 4000 英尺左右的速度,而要获得高效率,就必须使涡轮机转子的速度相当于这个数字的一半。这样的转子速度仍然比较危险,而且也难以应用。这使机器的用途非常有限。在拉瓦尔的涡轮机中,蒸汽以单级膨胀的方式通过单个转子,这是产生上述不合要求的速度的原因。英国的查尔斯·帕森斯爵士(Charles Parsons, 公元 1854

—1931) 在公元 1884 年获得了一种涡轮机的发明专利; 在他的机器中, 蒸汽经过一系列分级膨胀并通过几个转子, 这样产生的速度就比较便于控制。拉瓦尔涡轮机的转速由每分钟 10, 000 转提高到 30, 000 转, 帕森斯涡轮机的转速则可以低得多, 从每分钟 750 转提高到 18, 000 转。

比起蒸汽机来, 蒸汽轮机更接近于完善的热机, 因此在设计轮机时, 热力学也就起了更密切的作用。蒸汽机的效率不高, 是由于受到往复式运动的本身限制。蒸汽的膨胀使汽缸变冷, 当新的蒸汽再次进入汽缸时, 就不可避免地要耗费一部分热量使汽缸再热。轮机中的蒸汽则是不断地从这一级到下级连续膨胀, 并同时逐渐冷下来。每一级都有其本身的温度, 并使蒸汽通过来保持这个温度不变。这就避免了在蒸汽机中由于热度的周期性变化而引起的损耗。因此在轮机中, 热力学理论能得到更好的应用。

与此同时, 发电机正在发展; 蒸汽轮机的重要用途之一就是带动发电机, 因为两者的转轴速度很容易调整为同一个值。同轮机相比, 发电机更是应用科学和产物; 实际上电气工业的大多数设备都在一定阶段上依赖于相应的科学进步。伏打电池的发明促进了电镀的发展, 其发明专利为科尼希斯贝尔格的卡尔·雅各比 (Karl Jacobi) 和柏林的维尔纳·西门子 (Werner Siemens) 于公元 1839 年获得。伏打在公元 1799 年发明的原始电池不太可靠, 直到供给恒稳电流的电池出现后, 电的早期重要应用才能实现。这种电池是伦敦皇家学院的约翰·丹尼尔 (John Daniel) 在公元 1836 年发明的。他的同事查理·惠斯通应用丹尼尔电池为电源, 又用了斯特金 (Sturgeon) 在公元 1825 年发明的电磁铁作为记录器, 在下一年制成了一个可供实用的电报机。

陆路电报并没有引起多少新问题, 但在公元 1850 年铺设连接多佛和加来的第一条海底电缆时, 发现信号畸变, 速度也很慢。格拉斯哥的凯尔文研究了这个问题。他在公元 1855 年指出, 陆路电报和水路电报所处的环境条件有一个重要差别, 海水是导体, 空气则是很有效的绝缘体, 因此绝缘层包着的海底电缆就同海水组成了电容器, 这使发送信号时电缆的一端充电慢, 另一端放电也慢。凯尔文指出, 如果在具有很高导电率和大截面的电缆中使用小电流, 并且用厚的绝缘材料来保护电缆, 就能够使信号的延滞降低到最小限度。要使用小信号电流就要求用灵敏的记录仪来检测它, 因此凯尔文在公元 1858 年设计了镜式电流计, 在公元 1867 年设计了自动虹吸印码器。在公元 1858 年铺设的第一条大西洋海底电缆, 由于使用强信号电流, 只发送了七百次电报后就毁坏了; 在公元 1866 年铺设第二条电缆时就采纳了凯尔文的建议。

电的进一步应用在德国和美国有突出的发展。这两个国家在一定程度上绕过了作为早期工业革命特征的蒸汽机动力和煤气照明的使用。它们比英国更直接地采用电气照明和电力输送。特别是美国当时人中稀疏, 毗邻村镇之间的距离较远, 用电作为通信手段就显得格外重要。美国的电报出现于公元 1838 年, 比英国只迟一年。发明者是肖像画家莫尔斯 (Morse)。他设计了以他命名的电码来传送信号。肯塔基州的一位音乐教师戴维·休斯 (David Hrghe) 于公元 1854 年发明了自动信号记录器和收报机。在公元 1876 年, 贝尔 (Bell) 和爱迪生发明的电话则完全是美国的产物。

德国发展发电机主要是为电镀工业提供动力, 美国则是为了供给电气照明。虽然丹尼尔电池所供给的少量电力对于电报通讯已经够用, 但对于大量消耗电的电镀工业则是不够的。法拉第在公元 1831 年证明, 使线圈在磁场中运动就能产生电。在公元 1840—1865 年间, 人们按照这个原理制造了好几种电磁发电机,

主要供电镀用电。这类机器是用一个绝缘导线绕成的线圈在一个永久磁钢的磁场中旋转，它的效率很低，因为最好的磁钢也只能提供弱磁场。公元 1866 年柏林的西门子改用强有力的电磁铁代替磁钢，并用机器本身产生的一部分电向电磁铁提供所需要的能量。从此以后，所有发电机都以西门子电机为原型，使用由发电机本身产生的电流供电的电磁铁，效率比早期的电磁机高得多。这就为电气工程的进一步发展开辟了道路。

亨弗利·戴维曾经发现，在两根碳棒之间通过电流时会产生强光。从五十年代起，在灯塔、剧院和其他场所使用了大支光的碳弧灯照明，其电源起先由电磁机供给，后来则由发电机供给。戴维还发现，当电流通过细的白金丝时会发出光度较弱的光，而白金丝则在空气中一会儿就烧掉了。在公元 1879 年，英国的约瑟夫·斯万 (Joseph Swan 公元 1828—1914) 和美国的托马斯·爱迪生 (Thomas Edison, 公元 1847—1931) 根据戴维的原理，同时但各自独立地发明了电灯，他们将一根碳丝放在抽去空气的玻璃球泡内，可以点燃很多小时。爱迪生发明了更多的附加设备，使电灯照明得到广泛使用，因而能够比斯万更好地利用电灯的发明。爱迪生在靠近纽约的门罗公园实验室设计了一种电压恒定的发电机，保证在线路中电灯亮度稳定，不受其他电灯开闭的影响；他还创造了经济配电的三线制。公元 1882 年他在纽约建立了第一个发电站，向公众供电，同时生产电气照明所需的电灯。

爱迪生在公元 1883 年注意到有些电灯泡在使用后逐渐变黑了。他想这是由于从灯丝上放出了某种粒子的缘故。他将一块金属板封在灯泡里，发现当电灯点亮时，金属板带负电荷，如果将正电位与板相连，就有电流通过，但用负电位相连时就没有这个效应。这就是爱迪生效应，它在后来引起了电子管的出现。电子管的发明主要是由弗莱明在公元 1904 年和李·德·福雷斯特 (Lee de Forest) 在公元 1906 年实现的。在本世纪，电子管使得为麦克斯韦的预见和为赫兹发现的电磁波获得应用，先是用在无线电广播和电视上，最近又用于远距离客体进行无线电定位上。最后电子管还促进了许多复杂电子装置的发展，其中特别突出的是电子计算机。电子计算机具有人脑的某些属性，例如记忆、初等判断能力和计算能力。有人认为，在工业中采用电子计算机代替人来做那些要求比较简单判断动作的事，会引起一场第二次工业革命，使人类从比较机械和重复的脑力活动中解放出来。

第四十章

化学与微生物学的应用

化学科学过去主要应用于发展化学工业，而微生物则用于改进农业和医学的一些较老的实践。在所有这些领域中的进步，开头大部分是依靠经验，而且后来仍然如此，特别是在农业和医学上，依靠经验的程度远比机械工程及电力工程要大得多。土地革命的技术改革，特别是杰塞罗·托尔（Jethro Tull，公元 1674—1741）所采用的新的农业机械和汤森德勋爵（Lord Townshend，公元 1674—1738）所施行的农作物轮种的四作制，以及罗伯特·贝克韦尔（Robert Bakewell，公元 1725—1795）的改良家畜饲养，都是完全不依赖当时所知道的科学知识。公共卫生措施也不以“各大镇状况调查委员会”所确定的污秽同传染病之间的联系为根据（这个委员会于公元 1844 年发表了它的调查结果）。同样，化学工业的早期的发展主要是一种反复试验的发明过程。

一直到十八世纪，主要的专门从事化学商品生产的是药商和明矾商，药商小规模地制造供应医药化合物，明矾商则比较大规模地制造明矾供应皮革、纸张及织物的处理和着色之用。化学商业同纺织工业之间传统的关系，在工业革命期间得到了进一步的发展，这时候开始有了化学品的大规模制造。十八世纪期间，象凯（Kay）、哈格里夫斯（Hargreaves）、克朗普顿（Grompton）、阿克赖特（Arkwright）等人所采用的新纺纱机和新织布机使纺织品的产量以巨大幅度增加，从而使布匹的化学漂白以及后来的染色问题突出起来。纺织品漂白的传统办法是把纺织品轮流浸在酸牛奶的酸性溶液以及草木灰的碱性溶液中，然后放在“漂白场”上晒，这一过程占去一年中全部的夏季时间。首先感到缺乏的是天然酸即酸牛奶供应不足，因此人们就试用工业酸来漂白，其中以硫酸最容易得到。硫酸在过去一直就由药剂师在小量地制备着，公元 1736 年建立第一个商业上大规模制造硫酸工厂的，就是伦敦的一个药剂师乔舒亚·沃德（Joshua Ward），他在一个盛着少许水的大玻璃球瓶里把硫磺同一些硝石放在一起煅烧。一个伯明翰的医生约翰·罗巴克于公元 1746 年用铅室代替了又脆又贵的玻璃球，这一革新连同沃德的革新使得硫酸的价格从每磅两金镑跌到每磅六便士。

其次是天然碱的不足，这在英国有相当长的时间并不感觉到，因为苏打是由焚烧海藻大量制造的，而这各海藻在沿海一带，特别在北方都很多。在法国，天然碱的不足比较严重，所以巴黎科学院于公元 1775 年悬赏 12,000 法郎的奖金，征求从食盐制造苏打的方法。这种方法于公元 1789 年为尼古拉·路布兰（Nicolas Leblanc，公元 1742—1806）发明，他是奥尔良公爵的医生。路布兰从食盐和硫酸里得到硫酸钠，又用木炭、石灰石和硫酸钠加热而获得苏打和硫化钙。另一个法国化学家拜特洛，是当时国家染料工业的管理人，发现席勒于公元 1774 年发现的氯气能迅速漂白棉织品。大约在公元 1786 年他这个发现通知了詹姆斯·瓦特，瓦特转告他的与格拉斯哥纺织业有关系的岳父。在格拉斯哥对这种方法进

行了大规模的试验，发现用氯气漂白只需要以小时计算，而过去则要花费许多星期。使用有毒的氯气开头是相当危险的，但是格拉斯哥的约翰·坦能脱（John Tennant）在公元 1799 年将氯气同石灰化合得到一种较为安全而便利得多的试剂，这就是熟知的漂白粉。

在法国大革命期间，法国的政府要求法国化学家尽可能地研究并改进当时的几个化学工业。克莱门特和德索美（Desormes）研究了硫酸制造过程中发生的反应，于公元 1806 年发现把硝石加在燃烧着硫磺的铅室里会产生一种氧化亚氮的气体，从而大大加速了硫酸制造过程。氧化亚氮与空气中氧化合，产生二氧化氮，二氧化氮把它额外的氧给予由于硫磺的燃烧而形成的二氧化硫，这样产生的三氧化硫与水化合，便成为硫酸。克莱门特和德索美的研究减少了硝石的消耗量，使硫酸制造更经济了。燃烧的硫磺不加硅石而是分别地加酸处理以直接产生气体氧化亚氮。后来在公元 1827 年，盖-吕萨克证明氧化亚氮可以从铅室过程的废气中，通过浓硫酸液的吸收而回收。但是盖-吕萨克的研究并没有立即加以应用，直到公元 1860 年人们才找到从硫酸溶液再产生氧化亚氮的方法。在那一年，英国的造酸业主格洛弗（Glover）把燃烧硫磺（或者当时用的是黄铁矿）发出的热气体，通过含有氧化亚氮的酸，使硫酸增浓，并去掉氧化亚氮以供铅室的下一步使用。同样法国的工程师菲涅耳在公元 1810 年发明了一种制造苏打的方法，只用石灰石和普通食盐作为开始原料，而以氨作为中间体，但是由于一些实际困难，他的发现一直到比利时的索尔维（Solvay）兄弟在公元 1865 年建立了一个苏打工厂时才被采用。

法国的科学家还研究了植物生长的化学，不过他们的研究同样未能立即得到应用。德·索修尔（De Saussure，公元 1767—1845）于公元 1804 年证明在封闭容器中生长的植物，从容器中混合气体的二氧化碳里取得其全部的碳含量，从而推翻了认为植物从所谓污泥腐植土中汲取其物质的陈旧学说。他也发现生长在清水中的植物象其种子烧掉时一样，产生同量的无机灰，这表明植物的无机物质既不产生也不消灭。公元 1817 年佩利蒂尔（Pelletier）和卡文多（Caventou）分离出植物的叶绿素，杜特罗歇（Dutrochet）于公元 1837 年证明二氧化碳仅为植物含有叶绿素的部分所吸收，并且只有这部分暴露在日光中时才会吸收。就这样发现了二氧化碳的自然循环：植物在日光中从空气中的二氧化碳组成它们的物质，而动物在食用植物之后，再吐出二氧化碳。布森戈（Boussingault，公元 1802—1887）于公元 1841 年证明各种农作物所含的碳、氢、氧、氮数量总是比加给农作物的肥料所含的碳、氢、氧、氮数量为大，而无机盐的量则总要小些。他还进一步发现，良好的作物轮作之所以优越，是由于某些植物如苜和豌豆的含氮量，大大超过肥料所供给的氮量的缘故。

法国人的研究成果被人们应用到农业上去，特别是德国化学家李比希，他是法国多种工艺学院毕业的。李比希论证说，既然植物如德·索修尔证明的那样不能产生无机盐，它们一定是从土壤取得其无机的组成物质的，所以如果要保持土壤肥沃就必须把植物取去的还给土壤。他用化学方法分析了植物灰的无机物含量，并制造出与植物灰成分相同的人造化学肥料，主要是钾盐和磷酸盐。但是他的专利肥料并不成功，因为里面不含氮化合物，李比希相信植物全都是从空气中获得氮的。不过他在农业化学方面引起了人们巨大的兴趣，他的《化学及其在农业和生理学上的应用》的讲演，在公元 1837 年英国科学促进协会的利物浦大会上很受欢迎。

李比希于公元 1842 年重访英国，这一次他见到皮尔首相同好几个大地主，

建议建立一所化学学院。维多利亚女王的御医詹姆斯·克拉克爵士为学院基金募集捐款，于公元 1845 年建立了皇家化学学院，以女王的丈夫任院长。李比希被邀请推荐一位化学学院的教授，他派了自己的一个相当能干的学生奥古斯特·冯·霍夫曼（August von Hoffmann）前往英国。霍夫曼的化学研究工作从一开始就偏向工业方面而不是农业方面，因为他调查了煤气工业的化学，起初是所产生气体的无机方面，然后是煤焦油成分的有机方面。皇家化学学院虽然进行了一些重要的化学研究，但大地主们对于这个学院的兴趣迅速下降，因为它的工作对他们很少有用，这个学院只是在公元 1853 年和皇家矿业学院合并后，才免遭解散。

一个大地主约翰·劳斯爵士（Sir John Lawes，公元 1814—1900）同李比希的学生约瑟夫·吉尔伯特（Joseph Gilbert）一起，在他自己的洛沙姆斯太特产业所在地进行了农业化学的研究。他们共同考查了人造肥料在农业上的使用，于公元 1855 年左右发现了许多农业化学的基本事实。同李比希的见解相反，他们证明植物一般并不需要象植物灰里发现的同样比例的无机盐才能适宜地生长，而且大多数植物都需要含有氮化合物的肥料，如铵盐或硝酸盐，而只有豆科植物如豌豆和苜蓿可以不靠氮肥而发育茂盛。他们还进一步发现，如果让田地休息，土壤的含氮量便会逐渐增加，但只要在使用人造肥料的情况下继续耕作，地力不会受到损害。吉尔伯特和劳斯的研究引起了人们对自然经济中氮的独特地位的注意，即有些植物需要氮化合物，而其他的植物和泥土本身看来却能自己制造氮。这些事实由于微生物学的发展而得到阐明，过去没有弄清楚的自然界中氮循环的各个阶段终于揭露出来了。

微生物学的奠基人是路易·巴斯德，他先是斯特拉斯堡大学的化学教授而后来是巴黎大学教授。巴斯德最初研究酿酒工业，他考察一件人们久已知道的事实，即同一汁料的两个样品发酵后有时会产生两种不同的酒。他用显微镜证明发酵的酒液里存在着很小的酵母生物，并且发现不同种类的酵母产生不同的酒。公元 1863 年他发见酒的变酸是由于一种微生物所致，并且证明将酒加热到 55℃ 便可把微生物杀死。第二年，法国农业部要求他去研究丝蚕病。在几个月内，他分离出两种使丝蚕致病的微生物，并且表明怎样去识别无病的蚕卵、蚕和蚕蛾，以便将它们分离出来从事繁殖。十年之后，他研究了牲口的炭疽热和鸡的霍乱病，最后于八十年代又研究了影响人类的某些疾病。

在巴斯德本人研究人类疾病问题的若干年前，他的研究工作的医学意义已经为英国的教友会外科医师李斯特勋爵（Lord Lister，公元 1827—1912）所赏识。化学已经为外科医生提供了麻醉药，也减少了外科手术引起的痛苦，但并未减少手术后很高死亡率。亨弗利·戴维于公元 1799 年已经发现氧化二氮即所谓笑气，能引起动物迷醉然后丧失知觉。他建议氧化二氮不妨用于外科手术使病人失去知觉，这个提议于公元 1844 年第一次被霍勒斯·韦尔斯（Horace Wills）在美国采用，利用这个气体的麻醉性进行齿科手术。韦尔斯的一个朋友威廉·莫顿（William Morton）发现乙醚是一种更好的麻醉药，并于公元 1846 年证明可以用在大手术上。第二年，爱丁堡大学的詹姆斯·辛普森爵士（Sir James Simpson）发现氯仿对某些病例特别是对分娩是一种优良的麻醉药。

但是外科病人得救复原的人数仍然很少，原因是外科手术过程中往往发生感染。李斯特在公元 1864 年作的统计表明，他的病人有百分之四十五于手术后死亡，当时其他的外科医生则在每五个病例中只有一个成功的记录。巴斯德关于发酵与发生腐烂的研究，使李斯特想到手术创伤的腐败是微生物引起的一种腐烂现象。他寻找杀死微生物的化学方法，在试验几种化合物之后，他发见从煤焦油提

取的一种物质酚能起良好的防腐剂作用。李斯特用酸水溶液喷射了他的手术室和病人的创伤，发现手术后的败血症经这一来大为减少。他于公元 1865 年成功地进行了第一次用新防腐法的手术，到公元 1868 年时由他施行手术的病人的死亡率从百分之四十五下降到百分之十五。

同微生物在外科手术中应用相对应的，它在医学上的应用是由德国的罗伯特·柯赫（Robert Koch，公元 1843—1910）和巴斯德本人在法国进行的。柯赫于公元 1876 年发现使牲口产生炭疽病的微生物，可以在牛体之外的肉汤冻培养体中生长。他用这些方法于公元 1882 年发现肺结核的杆菌，并在下一年分离出霍乱病菌。巴斯德重复并扩展了柯赫的工作。他发现有些细菌在动物体外培养会变得无活性，鸡瘟的培养剂经过相当长的时间后，注射在小鸡体内并不发生疾病。还有，同一的小鸡后来再用有毒的鸡霍乱菌注射在体内时，仍然保持健康状态，表明无活性微生物使动物对正常活性的细菌产生免疫性。巴斯德于公元 1881 年制造出一种无活性炭疽菌能使牲口抵抗活性的炭疽菌，确立了预防接种原理的另一个病例。

在细菌致病学说出现很久以前，预防接种普遍原理的一个特殊事例已是众所周知了。谨慎地使儿童传染上适度的天花以避免传染上致命的天花，自从玛丽·霍尔特莱·蒙塔古夫人于十八世纪二十年代里从中东把这个方法带回来以后，一直都为人们采用着。后来格洛斯特郡的一个乡村医生爱德华·琴纳（Edward Jenner）于公元 1798 年证明一种轻得多的疾病——牛痘，能使人对天花免疫，这是他从观察到挤牛奶的妇女很少患天花而发现的。现在，在十九世纪八十年代，接种的做法已经普遍化了，这就为细菌致病的学说找到了合理的依据。人们设想细菌产生化学毒或毒素，它对于疾病的症候来说是起主要作用的，而身体的防御机制则能产生抗毒素以抵抗细菌及其毒素的影响。因此看来注入体内的死菌应当产生这种疾病的缓和症状，并刺激抗毒素的产生，从而抵抗未来的感染。后来发现事实确是如此，并且进一步发现一个动物体所产生的抗毒素，在另外一只动物体内也能有效地抵抗其相应的细菌。

在农业上，微生物的发现有助于澄清自然界中氮的循环问题。劳斯在洛沙姆斯太特的一个助手沃林顿（Warrington）于公元 1878 年证明泥土中的微生物使含有铵化合物的氮肥最初转变为亚硝酸盐，然后又变为硝酸盐。他发现用氯仿可杀死微生物，而在这种情况下，即使对植物供给许多铵化合物形式的氮，植物也不能生长，这表明植物只能吸收硝酸盐形式的氮。公元 1885 年法国化学家拜特洛发现了一些其他类型的微生物，能直接利用大气中的氮使它转变为氨。这些微生物有的自由生活在泥土中，有的在豆科植物的根瘤里才找得到。如果后一类微生物被杀死，通常同它有关的植物便长不出根瘤，这就需要施加氮肥。豆科植物有了这些微生物就不依赖氮肥，根瘤的微生物能使大气中的氮转化为氨，再由其他泥土微生物把氨变为硝酸盐。有的土壤如加拿大和美国的处女地，缺乏某种硝化作用的微生物，在这些地方依靠豆科植物轮作结果失败了。但是到十九世纪末，同苜蓿、豌豆及其他豆科植物有关的固氮作用的微生物通常都可以得到了，于是把这些微生物接种到荒芜土壤中去，农作物的轮作就成为可能。

农业化学的应用促进了人造肥料工业的成长。早在公元 1839 年人们为了农业的用途就从秘鲁输入海鸟粪，即脱水鸟粪和海鸟的尸体。约翰·劳斯爵士于公元 1843 年在德普特福建立了一个制造过碳酸钙化肥工厂，将不溶性的磷酸盐加硫酸处理使之较易溶解。他最初利用动物的骨头作为磷酸盐的来源，然后从公元 1847 年起采用了塞福尔克、贝德福郡和其他地方发见的磷酸盐矿的沉积物。从

公元 1815 年左右起，人们就用硫酸去掉煤气中的氨，因为氨是一种可厌的杂质，但这样获得的硫酸铵在公元 1850 年以后就被广泛地用作人造肥料。智利的硝酸盐沉积物以及德国斯特拉斯福特的硫酸钾沉积物于公元 1852 年起开采，粗盐被直接用作肥料，这样便完成了化肥发展的第一阶段。

伦敦皇家化学学院原是由大地主们创办的，他们希望化学研究会改良他们的土地产量，但是学院的研究成果对农业化学并无多大重要性，相反却导致了精细化学工业的建立。学院的霍夫曼教授象他的老师李比希一样，对于化学的应用，特别是医学方面的应用，十分关心，而且希望天然药物可以用人工制造出来。霍夫曼设想奎宁可能从煤焦油的衍生物中制造出来，公元 1856 年，他的一个学生威廉·珀金（William Pekin，公元 1838—1907）试图通过氧化某些他当时恰巧在研究的苯胺衍生物的办法来制造奎宁。他没有得到奎宁，但却造出一种紫红的物质，后来证明是一种极好的染料。当时的有机化学家还没有发展分子结构的学说，也不了解有机化合物及其反应的性质。因此那些在今天看来是野心尝试的合成方法，也不乏人去搞，象珀金冒险制造的奎宁就是一例；其实奎宁直到公元 1945 年才实现了人工合成。

在珀金看来，他的发现具有重要的工业上的意义；他虽然不过是一个十八岁的青年，却建立了一所工厂，大量制造这种染料，从而奠定了一个精细化学工业基础。在法国，珀金的研究由吉拉德（Girard）和德莱尔（de Laire）加以扩展，他们用不同的氧化剂处理苯胺衍生物而制造出另一种染料，品红。他们又用更多的苯胺处理品红而得到了一整套叫做苯胺蓝的染料。霍夫曼在伦敦进一步研究了珀金和两个法国化学家制备的化合物，于公元 1863 年造出了另外一套叫做霍夫曼紫的染料来。两年后，霍夫曼离开皇家化学学院就任柏林大学有机化学教授，与此同时，在曼彻斯特一个化学工厂里工作的德国化学家罗卡（Caro）回到德国，担任一个新建的巴特苏打和苯胺化工厂的技术指导。从此以后，德国人在化学和化学工业，特别是精细化学工业方面的地位愈来愈突出。霍夫曼协助设计的波恩和柏林大学的巨大新实验室，于公元 1869 年建成，这些地方培养出来的许多化学家加强了德国的科学和工业力量。

十九世纪采用的两种较为重要的天然染料是从茜草提取的茜素和从木兰提取的靛蓝。到了十九世纪末，德国人把这两种染料都人工合成了，并且大量地生产。科学方面的一个重要人物是阿道夫·冯·拜耳（Adolf von Baeyer，公元 1835—1917），他在公元 1860 年任柏林大学化学副教授。他和他的两个学生，格莱勃（Graebe）和李贝曼（Liebermann）于公元 1866 年证明茜素是煤焦油的一个普通成分蒽的微生物，而且不久以后，就在实验室内合成了茜素。他们的方法还不适用于大规模制造茜素，但是到了公元 1869 年格莱勃和李贝曼协同巴特苏打和苯胺化工厂的卡罗发展了另一个在商业上可以采用的方法。同年，珀金在英国发现了两种不同的制造茜素方法，但是德国人的工业力量雄厚，到了珀金辞退的那一年即 1873 年，巴特苏打和苯胺化工厂的茜素年产量达到一千吨，相形之下，珀金那里只生产四百三十五吨。最后拜耳（他现在继李比希任慕尼黑大学化学教授）于公元 1878 年合成了靛蓝，不过这里同样发生了技术上的困难，而这种染料直至公元 1897 年前还未能大规模地生产。到了这时候，德国人已经远远跑在前头，在公元 1886—1900 年期间，六所最大的德国化学公司一共取得了九百四十八项染料专利，而六所最大的英国化学公司只取得八十六项专利。

德国人仅仅在精细化学工业方面是卓越的，在这方面有机化学的发展和应用从一开始就是少不了的。英国的化学工业家对化学研究在发展商业上的重要性的

了解是缓慢的，因此在精细化学工业方面他们落后了，但是他们在重化学工业方面仍然保持着自己的地位，对这一方面的继续研究，直至本世纪才显得有必要。例如，公元 1909 年英国用的百分之九十的染料是德国制造的，但是英国的化学工业出口，主要是重化学工业，却超出了化学工业进口 644, 000 英镑。十九世纪中，重化学工业所采取的重要技术革新，实际上主要都是英国化学工业界作出的。我们在上面已经看到，造酸工业主格洛弗于公元 1860 年把盖-吕萨克建议的方法付诸实施，使制造硫酸的铅室过程中用掉的氧化亚氮得以回收。

在法国发明的路布兰苏打生产法，当英国政府于公元 1823 年取消食盐税时便被采用了，以后这个方法又有了很大的改革。这个方法产生了两种重要的副产品，即氯化氢和硫化钙，与改进有关系的便是这些物质。斯托克-普莱亚地方的一个造碱工业主威廉·戈赛奇 (William Gossage) 于公元 1835 年发明了把氯化氢吸收在水里的塔；当公元 1863 年禁止将氯化氢气体释放到大气中的“碱法令”通过以后，这个方法便得到广泛采用。亨利·迪肯 (Henry Deacon)，圣海伦斯的一个玻璃厂经理，于公元 1868 年发明了从苏打工厂的氯化氢废气中生产的方法。氯化氢和空气通过加热的金属氧化物以产生氯和水蒸汽，然后用氯来制造漂白粉。在同年，化学家沃尔特·韦尔登 (Walter Weldon) 改进了从二氧化锰和盐酸制造氯的方法，用石灰和空气流再生二氧化锰。最后，奥尔德伯利的一个造碱工业主亚历山大·钱斯 (Alexander Chance) 于公元 1887 年发展了从苏打工厂的硫化钙废料中回收硫的方法。他使烟管中含有二氧化碳的气体通过硫化钙的悬浮液从而释放出硫化氢，硫化氢又同空气一起通过加热的金属氧化物以产生硫。

这些发展使得制造苏打的路布兰生产法合理而有效。与此同时，菲涅尔于公元 1810 年研究出来的另一种苏打制造法，于公元 1865 年也为比利时索尔维兄弟付诸实施。这个被称为索尔维法的苏打制造法生产一种比路布兰法更纯更便宜的产品，而且于公元 1873 年为英国的布鲁纳和孟德工厂采用了。布鲁纳和孟德工厂迅速领先，英国的其他四十个碱工业工厂于公元 1890 年成立了联合碱公司。值得注意的是，制碱工业的重要人物布鲁纳和孟德，在英国是最早资助科学研究的著名化学工业家。布鲁纳于九十年代给利物浦大学捐款，而孟德则在公元 1896 年赠送了一座戴维-法拉第实验室给皇家学会。在化学工业一开始就具有较大规模的德国，企业家资助科学研究工作要早得多。

将近十九世纪末，德国化学家开始把新方法介绍到重化学工业中去，特别是应用新的物理化学来指明进行某一化学反应的最适宜条件。一种代替铅室法的叫做接触法的制造硫酸过程发展出来了，这个方法将二氧化硫和大气中的氧直接借一种催化剂如铂的作用而化合。接触法比铅室法生产浓缩得多的酸，特别是在公元 1897 年后制造靛蓝需要浓缩酸时，接触法就有了显著的发展。德国化学家所面临的一个更加重要的问题，乃是为了生产肥料和炸药而制造氮化合物的问题，因为德国的硝酸盐和铵化合物的供应大部分依赖进口，一旦碰到交战状态，供应便将中断。弗里兹·哈柏 (Fritz Haber) 采用物理化学方法研究氢和氮直接化合为氨，发现高压与适当的温度有利于产生这种反应。与此同时，奥斯特瓦尔德研究了氨转化为氮的氧化物，然后再转化为硝酸。这项研究工作于公元 1912 年完成并被巴特苏打和苯胺化工厂在工业规模上应用，在第一次世界大战期间为德国提供了充足的肥料与炸药。

应用这些物理化学方法来确定化学反应的最适宜条件，在本世纪已成为工业措施的一个特点。化学工业现在已有了许多分支。自从公元 1862 年瑞典的诺贝尔 (Nobel) 发明硝化甘油、达纳炸药和葛里炸药以后，炸药工业出现了一个转

折点。从公元 1883 年起，约瑟夫·斯万用挤出法造出硝化纤维丝后，人造纤维丝就开始有了，这一过程被法国的化学家恰唐耐（Chardonnet）在商业上采用了。第一种热固性塑料、酚醛塑料（电木）是由哥伦比亚大学的李奥·贝克兰（Leo Bakeland）于公元 1872 年制出的，而第一种重要的热塑性物质赛璐璐是于公元 1865 年由伯明翰的亚历山大·帕克斯（Alexander Parkes）发明的。自从第一次世界大战结束后，德国人在寻找代用品时逐渐发展了一种可供使用的合成橡胶，费歇尔（Fischer）和特洛普希（Tropsch）在公元 1925 年从水煤气中制成一种代用汽油，而伯戈斯（Bergius）则于公元 1935 年使煤氢化，造出了另一种发动机燃料。在精细化学工业里，本世纪人们的注意力已经从染料转向药物和香料了。合成第一个染料的威廉·珀金是第一个造出一种叫做香豆素的天然香料的化学家，他是于公元 1868 年从煤焦油衍生物中制得的。药物的合成也和染料制造联系起来了。人们发现某些染料在作用上具有高度的选择性，如使羊毛染色但不使棉布染色，而且染在有机组织上时，会使某些部分染色而其他部分不染色。化学治疗学的奠基人欧立希（Ehrlich，公元 1854—1915）认为既然有机染料被某些机体细胞吸收而不被其他细胞吸收，那末应能造出为寄生性微生物所摄取而不被感染体所摄取的有毒化合物。这样便会把微生物杀死而使被微生物引起疾病的病人痊愈。欧立希制备并试验了许多化合物，成功地发明了杀伐散（即 606）药，在治疗梅毒、印度痘及其他螺旋体菌感染的疾病具有特效。德国染料工业的化学家后来又制成帕马奎宁（公元 1926）和疟涤平（公元 1930 年），这些都对疟疾寄生虫有毒性，公元 1935 年又造出一种红色染料百浪多息，这是第一种磺胺类药物。现在医学上具有相当重要性的又一条化学研究途径，是合成自然界存在着的生物活性化合物，例如维生素、激素以及由活的有机体所产生的天然抗菌素如青霉素等等。

第六部分
二十世纪的科学：新领域和新动力

第四十二章

近代生物学的几个方面

从十九世纪七十年代起，在实验生物学领域里，技术有了若干进展，可以更精细地观察细胞无性生殖和性细胞结合中发生的变化。由于采用了高倍浸没物镜和台底照明，使消色差显微镜得到进一步的发展，而发现的苯胺染料连同天然染料及某些无机盐，则能选择性地将有有机细胞的某些部分染色，特别是细胞核。从十九世纪四十年代起，人们就知道有机细胞通过分裂发生无性生殖，而细胞核则最先分裂。七十年代里，柏林大学的赫脱维奇（Hertwig，公元 1849—1922）和日内瓦大学的福尔（Fol，公元 1845—1892）研究动物，波恩大学的斯脱劳伯格（Steasburger，公元 1844—1912）研究植物，都证明有性生殖是雄性细胞核与雌性细胞核的结合；根据这一发现，赫脱维奇和斯脱劳伯格于公元 1884 年就提出细胞核是遗传的物质基础的主张。

新的技术表明，在普通休止细胞的核内有一种细的网状物质，基尔大学的弗莱明（Fleming，公元 1843—1915）于公元 1879 年称之为染色质，因为它可以被碱性苯胺染料染成深色。在无性生殖中当细胞接近分裂时，人们发现染色质会自己形成若干条分离的丝，叫做染色体，每一条染色体都由两条长度相似的邻接的线状物所组成。染色体一般是成对的，某一动物或某一植物种的细胞里的染色体数目是恒定的。当染色体变成可以分辨的分开的丝时，人们发现核膜消失了，两个叫做中心体的点状体排列在核的两边。中心体向排列在细胞核赤道板上的染色体发出叫做星体的线，然后染色体发生分裂，每一条染色体的一半按相反方向沿着星体线向中心体移动，在那里形成两个子细胞的核。染色体于是在染色质的网内消失，只是在下一次细胞分裂时才重新出现。虽然染色体在染色质内是看不见的，但来比锡大学的拉布尔（Rabl，公元 1853—1917）却于公元 1895 年设想染色体一定在网内保持其个性；当人们承认染色体是遗传的传递者时，这一假设就变得重要了。

在两个性细胞发生结合的情况下，人们发现了染色体的活动相当不一样。列日大学的范·贝纳登（Van Beneden，公元 1845—1910）于公元 1887 年观察到在导致卵的形成的第一次细胞分裂中，染色体并象在无性细胞分裂中那样沿纵长一分为二，而是每一对染色体分离开来，形成两个细胞，每一细胞只具有通常染色体数目的一半。两个细胞然后按照正常无性生殖过程再次分裂，但是四个生成物中只有一个变为成熟的卵，其他三个形成小体并且往往退化了。在精子的形成中，也出现同样的变化，不过在这种情况下，第一次和第二次分裂的四个生成物全都变成成熟的精子。因此卵和精子只含有该物种细胞中染色体的半数，但在性细胞结合后，种的染色体数目又恢复了，其中的一半来自母体，另一半来自父体。斯脱劳伯格于公元 1894 年证明，某种植物含有通常染色体的半数的细胞，形成了一个分立的世代，这一发现说明了霍夫迈斯特于公元 1851 年在无花植物

中所发现的世代交替现象。

在这时候理论生物学家已创立一种关于遗传的学说。假定有机体的遗传物质应当显示出性细胞形成期间染色体所表现的各种现象。继耐格里之后，魏斯曼主张每一有机体具有一种不同于体质的遗传物质或种质，种质由不同单元所组成每一单元决定生物的某一特定的性状。为了避免种质的单元在每一有性世代中增加一倍起见，魏斯曼于公元 1887 年假定在两性结合之前，雄性的种质和雌性的种质都分裂为二，每一个亲体的一半种质相互结合形成子代的种质。当染色体在卵和精子形成期间的行为得到阐明之后，魏斯曼就把种质与染色体等同起来，设想染色体沿着纵长分裂成单元。

耐格里的另一个推测，即认为有机体的种质里有一内在的力量可引起巨大的突变，这种想法被阿姆斯特丹大学的德弗里斯采纳了，以便使有机进化的历史适合于凯尔文那样的物理学家关于地球年龄还很年轻的估计。约从公元 1885 年起，德弗里斯开始在生物界寻找这种突变，他后来在美洲的樱草花的一个野生群内发现了。有些植株明显地不同于正常类型，几代以后德弗里斯从这些植株里得到了更明显的变种。英国的贝特森（Bateson，公元 1861—1926）和丹麦的约翰逊（Johannsen，公元 1857—1927）也在寻找突变的事例。约翰逊栽培了自花受精的菜豆，获得了纯系，这种纯系不管播下的是最重的或是最轻的豆种，总是产生平均重量相同的豆子。但有一次他却发现突变；豆的平均重量自发地改变了，而且在以后的世代里仍然保持这种变化。德弗里斯等人就查阅前人关于遗传和突变问题的著作，发现孟德尔于公元 1866 年和公元 1869 年发表的论文已经谈到了。

孟德尔是布尔诺的一个僧侣，约从公元 1857 至 1868 年在他寺院的园子里进行了豌豆杂交试验。豌豆通常是自花受精的，但是孟德尔人工地将一个高的同一个矮的品种进行杂交，获得了只产生高植株的种子。当这种种子自花受精时，它产生的高植株和矮植株是三与一之比。这样产生的矮植株总是繁育同样的后代，但是三个高植株中只有一个如此，其他两个仍是以三与一的比例生出高和矮的植株来。孟德尔把他的实验结果解释为每一植株都具有两个决定高度性状的因子，每一亲体赋予一个因子。高的因子是显性，而矮的因子是隐性，因此杂交后第一代的植株全都是高的。当这一代自花受精后，这些因子在子代中排列可以是两个高因子在一起，或者两个矮因子在一起，或者一高一矮，一矮一高。前两种组合将会繁育出同样的后代，各自生出全是高的或全是矮的植物，而后面的两种组合则将以三与一之比生出高的或矮的植物来。孟德尔的研究支持了遗传的颗粒说，他并且把研究结果送给提出颗粒说的耐格里。但是耐格里对孟德尔的发现不予重视，因为他认为这些发现是“依靠经验的而不是依靠理智的”，还可能由于他对使物种发生变化的进化因素，比对保持物种稳定性的遗传因素更感兴趣。孟德尔实际上否认了他所研究的植物特征有任何变异性，当时生物学中的进化思想对他来说是完全陌生的。到本世纪末，渐进与进化的观念已经不像早期那样风行，这时候孟德尔的研究成果才得到重视和取得地位，因为这时强调的是物种的稳定性，即“种质的连续性”，以及发生变化的不连续突变。

从公元 1910 至 1904 年，各个生物学家，特别是美国的萨顿（Sutton）和蒙哥马利（Montgomery）与欧洲大陆的德弗里斯和布维里（Boveri），指出孟德尔因子的行为相当于卵和精子的产生和结合期间染色体的行为。因此染色体似乎负载着孟德尔式单一致的。如果一对染色体中的每一个染色体含有一个孟德尔因子，那末一个有机体的有关性状将受两个因子的支配，就象孟德尔的发现所要

求的那样。在性细胞形成期间，染色体对的分裂使卵或精子只保有决定该性状的一个因子，但是性细胞的结合使受精卵重又具有两个因子，一个来自父体，一个来自母体。假如双亲的因子不同，则两者中间的显性因子将决定子代的有关性状，而隐性因子潜伏着，但没有改变，在碰巧与它本身同样的因子结合时，便会在以后世代中出现。由于遗传因子的数目比染色体对的数目来得多，萨顿预料好几个因子可以在一个染色体内连锁起来。贝特森和庞尼特（Punnett）于公元 1906 年在豌豆中发现了这种因子的连锁现象，某种颜色往往和花粉的某些特征在一起遗传，表明它们之间有一种联带关系。

本世纪初兴起的美国遗传学派，特别是摩尔根（Morgan）、缪勒（Müller）、布里奇斯（Bridges）和斯特蒂文特（Sturtevant）发现果蝇是研究遗传的一种特别有用的动物。这种昆虫只有四个染色体，它从卵转化为成虫历时十二天。在研究果蝇时发现，通常遗传在一起的性状有时在生殖过程中会分离出来，摩尔根在公元 1911 年解释这件事实时，认为含有联带因子（现在被称为基因）的染色体，在决定那些性状的基因的局部位置之间某一点上断裂了，于是每一断片同来自另一个断裂染色体的类似断片结合。如果染色体上发生这样一种断裂的机会是均等的，那末我们根据决定有关性状的两个基因在生殖期间分开的频率，便可以测出两个基因之间的距离，并绘出染色体上的位置图。普劳（Plough）于公元 1917 年证明了两条染色体的这种重新排列或交换，并在这个基础上绘制出果蝇及其他生物的染色体图。

布里奇斯等人于公元 1933 年发现果蝇和其他昆虫的幼虫的唾腺细胞核内含有很大的染色体。沿着这些染色体的纵长，人们观察到一连串横纹，因此染色体好象是由许多个圆盘状单元组成。开头人们认为这些单元就是真正的基因，但是染色体断裂所产生的结果表明基因要比染色体横纹小得多。然而，一个基因可以与一特定的横纹相联系，因为用显微镜可以观察到唾腺细胞的巨大染色体中由于交换而产生的一种新排列，而且可以证明巨大染色体上特定横纹的位置，就是染色体图上基因的位置。

染色体的交换和重新排列，有助于说明遗传组成的一个物种内的混合。同一个亲体的一条染色体相联系的一套性状，可能分布在两个子代里，并在以后的世代里进一步分离和扩散。因此自然选择有许多花色品种供它使用，去选择有利的组合。单靠这种机制并不能产生新的性状，虽则隐性基因将会显示出来，而且与隐性基因相联系的那些性状如果有利的，将在物种里成为普遍的性状。但是，正象早期的研究者在别的物种中发现的那样，在果蝇性状里也观察到自发变化的现象，认为这起因于基因结构上变化或突变。大多数的突变，可以说百分之九十的突变，都是致死的，其余为稳性的。缪勒于公元 1927 年发现 X 射线可以提高果蝇的突变率，次年，又发现提高温度也能做到这样。这些人工的突变与自发出现的突变是同一性质，所以自然突变很可能是由辐射产生的。但是，缪勒于公元 1930 年证明地球表面的天然辐射量，还需要增加到五百倍，才能说明自发突变率。

在近现代遗传学的早期，人们以为孟德尔因子或基因是完全单个的和独立的实体，它的作用只受引起突变的那些因素的影响，而不受同一染色体上其他基因的直接环境的影响，也不受核、细胞、整个有机体的较大环境以及有机体本身所处的物质条件的影响。但是斯特蒂文特于公元 1925 年发现产生同一性状的两个基因，当它们处于同一条染色体上的邻近位置时所起的作用，比它们分开时要大得多。缪勒于公元 1935 年指出这样一种位置效应会产生某种不能察觉的染色体重

新排列，例如一个小断片的倒位，而产生与基因突变相同的现象。因此，戈尔德施米特（Goldschmidt）于公元 1938 年设想，一切所谓基因突变实际上都是染色体的重新排列，并建议应当用整个染色体的排列决定某一特定性状的概念来代替基因决定的观念。他的主张没有为大家所采用。

孟德尔曾经把他的因子当作是有机体的成体性状的决定因子，例如他的豌豆植株所达到的最后高度。后来人们懂得，有机体的性状不仅取决于它们的遗传组成，而且也取决于它们所处的环境。布里奇斯于公元 1928 年证明巨型果蝇的幼虫如果没有充足的食物供给，它的卵也只能发育为正常大小的昆虫，这表明基因支配着发育过程而不是支配着最后特征。戈尔德施米特研究了这种过程，他测定了某种毛虫在同样的基因突变的控制下，其皮肤内色素的沉积速度。比德尔（Beadle）从大约公元 1931 年起也研究了真菌类红色面包霉突变体中为遗传所控制的生长与代谢的生化过程。与正常的真菌不同，由 X 射线产生的红色面包霉突变体，不能从简单的化学物质中组成它们的躯体物质，因为突变体丧失了正常红色面包霉代谢过程中的一个或几个合成阶段。因此必须对突变体提供这一合成阶段或这些合成阶段的通常产物；这样根据向丧失了前后相继的合成阶段的一系列突变体所提供物质的化学性质，就可以知道真菌正常进行的生化合成过程。

基因和染色体支配有机体的发育过程而不是支配成体性状的概念，为遗传学与胚胎学结合提供了一个大有可为的前景。但是至今为止这两门科学还是自立门户的，因为胚胎学者发现支配生物个体发育的因素位于受精卵细胞核外面的细胞物质、即细胞质之内，而不是如遗传学家所主张的，位于核的染色体之内。有一些胚胎学家，特别是布维里、洛布（Loeb）和詹金森（Jenkinson）约从公元 1917 年起实际都主张：决定一个有机体所属的门、纲、目、属或种的主要性状是由受精卵细胞质内的因子支配的，只有变种性状如孟德尔豌豆的高矮，也许还有种的性状是由核内的因子决定的。

这种见解是根据胚胎学的“发育力学”学派的发现。这一学派是在十九世纪末兴起的。海克尔的一个学生鲁（Roux，公元 1850—1924）于十九世纪八十年代指出，包括他的老师在内的胚胎学家仅仅描述了胚胎发育的过程，并没有阐明其原因。为了揭示他所说的胚胎的发育力学，鲁提出胚胎学家应当走一条新的途径：离开描述而转向实验。在采取这一原则时，鲁本人发现两侧对称的动物的中央平面，受发育成该动物的受精卵第一次卵裂平面的支配。卵裂平面又受精子钻入卵内的进入线所决定，而进入线在受精作用发生之前就已经安排好了，那是因为卵的细胞质已集结在精子将要进入的那一点上。

在卵的发育过程中，鲁使卵朝各个方向倒转，他进一步证明重力对胚胎的生长不发生影响，所以一个卵的发育完全决定于它本身内部的机械力。继魏斯曼之后，鲁假定这种力量出自卵的种质，并于公元 1888 年作出了一个他以为是支持这个见解的实验。鲁用一枚灼热的针杀死了一个受精蛙卵第一次分裂所产生的两个细胞之一，并发见余下的那个活细胞发育成半个胚胎。鲁假定支配发育力量的因子随同卵的分裂而分开，因此一个子细胞只能发育为半个胚胎。但是赫脱维奇却证明如果小心地去掉那个死细胞，剩下的活细胞便发育成为正常的胚胎。此外，杜里舒（Driesch，公元 1867—1941）于公元 1891 年发现一个受精的海胆卵一直到第五次分裂的全部细胞，如果相互分开，都会生出完整的胚胎，不过形状小些。因此杜里舒强烈反对鲁的机械观点，主张在每一个卵内都有一种内在的活力或目的，以保持胚胎的完整性并能使丧失的部分再生。

进一步的研究表明这两组发现都是对，受精卵可分为两大类，即嵌合型和调

整型，并有各种不同程度的中间状态。嵌合卵的各个不同部分从一开始就发生分化，由卵的第一次分裂所形成的两个细胞分别产生半个胚胎。调整卵从一开始便不这样分化，第一次，第二次，甚至第五次分裂的单个细胞都形成完整的胚胎。在后一情况下，甚至在发育的后期，当卵分裂为一团节段细胞时，分开的细胞群也会形成完整的胚胎。只有当一团细胞从一个极到另一个极纵长地割开时才能形成完整的胚胎，其他剖面都产生不正常的胚胎。含有一个极的细胞群可以再形成一团节段细胞，但不能发育到下一个阶段，即杯状的原肠胚。另一方面，含有另一个极的细胞群却产生一个大得反常的原肠胚，而含有两个极的细胞群则形成正常的原肠胚。

这些发现暗示在调整型卵的情况下，第一次形成的细胞团的两极会产生出组织胚胎往后发育的化学物质。德国的斯佩曼（Spemann，公元 1869—1941）研究了这些化学组织物质。他在本世纪二十年代证明，在两栖类的卵内有一个产生组织物质的中心，它在细胞核之外并且显然与细胞核无关。斯佩曼用一种产生神经组织的物质——称之为神经唤起物——进行研究，发现其作用完全没有专一性，从蛙身上取得的唤起物可以在蝾螈里引起神经组织的形成。在这个事例中，形成的是蝾螈的神经组织而不是蛙的神经组织，表明唤起物仅仅促进一般神经组织的发育，而决定神经组织的特殊性质的则是其他因素。这些组织者被证明是无生命物质，因为非细胞提取物也能产生与组织者细胞相同的作用。尼达姆等人于公元 1936 年证明神经唤起物也许是一种甾醇类，一组包括性激素和维生素 D 的有机化合物。在嵌合型卵内，如同在调整型卵内一样，发现组织胚胎发育的中心位于卵的细胞质之中，不过这种发育的特殊性看来是受其他因素支配的。

为了说明胚胎学者们的发现，美国的遗传学家摩尔根、布里奇斯和斯特蒂文特主张卵的细胞质是受核染色体的基因控制的，而细胞质本身对物种的遗传或进化都是不重要的。受细胞质因子支配的变异特征等事例，就以这样的遗传学说加以说明了。研究某种蜗牛的发育，发现蜗牛壳右旋或左旋是由雌性的细胞质所决定，根本不是由雄性精子所决定，而雄性精子几乎全部由核物质组成。斯特蒂文特于公元 1923 年指出，卵的细胞质依赖于卵所由发生的蜗牛的遗传组成，支配产生右旋壳的细胞质的基因乃是显性的。在涉及特殊的性状差异的情况下，例如在不同物种杂交时，雌性卵的细胞质好象对后代的特征具有很大的影响。戈尔德施米特研究昆虫，米凯利斯（Michaelis）研究植物，都于公元 1937 年证明杂交物种的差别愈大，细胞质的影响也愈大。这些事例又一次可用细胞核对于细胞质有一种遗传上的控制来加以说明。但是新近发现了一些明显不依赖于核控制的细胞质遗传的例子，这些通过细胞质一代代相传下来的性状决定因子就被叫作“细胞质基因”。

孟德尔遗传学虽然长期同胚胎学分道扬镳，但它在达尔文的有机进化学说里很早就占有地位。达尔文观察到自然选择对有机界的变异起着作用，保存那些具有新的适应特征的变种，淘汰那些没有这种特征的物种。但是达尔文没有对此进行分析。遗传学提供了这样一种分析，在生物的遗传里区分出好几种变异来源。变种的产生可以由突变出现新的基因，也可以由于现有基因的新组合，还可以由于染色体内部的变化，诸如缺失、重复、易位和倒位，或包括染色体组在内的变化，例如在生成性细胞的第一次细胞分裂中，由于染色体对不能分开而使染色体数目加倍，等等。不同类型的遗传变化，可能产生不同种类的进化变异。染色体数目的加倍可以在一代中产生一种新物种，因为新的生物的染色体数目不同于它原来的物种。另一方面，突变基因的作用会被其他基因的复合作用所缓冲，从而

使基因突变所产生的进化会象达尔文所相信的物种变化那样地缓慢和微渐。戈尔德施米特于公元 1944 年主张基因突变只产生他称做的“微进化”，那就是使物种适应于一个变化环境的种内进化。“大进化”，即由一种物种变为另一种物种的进化，是由于染色体物质的完全重新排列，它改变了染色体的型式，从而改变了它们所支配的生化反应系统。

在科学家普遍接受达尔文主义进化学说的时候，拉马克主义也有一些拥护者。从公元 1920 年至公元 1937 年，麦克杜格尔（McDougall）接连好多代训练老鼠避开一条引向电击的途径而选择一条引向食物的途径，他发现训练所需的次数一代一代地减少下去。从细菌和原生动物生长的研究中，拉马克的观点获得更加显著的证据。詹宁斯（Jennings）从公元 1930 年起证明某种原生动物能改变自身以适应不习惯的环境条件，例如高温和有毒的化学制品，这种获得的变化是遗传的，因为这些原生动物回过来适应早先的条件时，如同它们适应新条件时的变化一样缓慢。欣谢尔伍德（Hinshelwood）从公元 1938 年起把细菌细胞的生长作为一种化学反应来对待，研究了这种过程的动力学，取得了类似的结果。

近年来抗药性菌株的出现已成为一个重要的问题，这种细菌的发生一般归因于偶然产生的一个突变有机体，它能在药物中生存，并通过自然选择而占优势。但是欣谢尔伍德却提出细菌自身能对药物发生适应性改变的理由，特别是因为在稀释的接种体里几乎全部细菌都生存下来了，并且在一个亚致死的药物培养基中产生了菌落，而不只是一两个突变体。批评者指出每一个细菌生存并繁殖到相当长的时期后，便可以形成一个抗药突变体，但是欣谢尔伍德却认为这个见解不能说明这种现象的量变特点，因为菌体细胞的分裂速度在药物培养基中大大降低了，虽然有机物质的产生速度是很大的。拉马克主义始终是具有相当异端色彩的一种少数派意见。公元 1940 年，由于在苏联发展了多少有点类似的米丘林学说，这种异端色彩就更明显了。

第四十三章

相对论

古代和中古时期对世界有一个突出的看法，认为宇宙间有些优越的地点；从这些地点某些有特权的观察者可以观看并支配宇宙间的事件。早期的近代科学家在建立他们的学说时，总设法排除这类见解。他们努力证明月亮和行星是和地球一样的，而不是如古人假定它们是那样更加完善和更加有力的实体。过去认为推动天体运行，并观察和引导地上事件的是分为许多等级的天使；这些都被那些早期的近代科学家，和加尔文教派的人一起，从天上赶走了。最后，十七世纪的科学家把天界和地球看作是同样性质，并且有同样的力量控制着，用地球上事物所遵守的力学定律来解释天体的运动。但是十六、十七世纪的科学家仍旧保留一个见解，即宇宙内有一个进行特殊和优先观察和控制的地点，就象加尔文教派一样，在否定了天使等级统治宇宙的旧体系之后，仍旧保留了宇宙间有一个绝对统治者的见解。在哥白尼看来，太阳是太阳系物质的绝对君主，统治着他观察的一切。刻卜勒也有一个类似的看法，设想太阳是神的住所，从而把他的科学和神学联系起来。在牛顿的体系里，上帝也是宇宙间唯一的优先观察者和统治者。神，牛顿写道：

“永远存在，到处存在，而且由于永远和到处在，形成了时间与空间。

（他）没有身体，他是爱，是大智大慧，他无往而不在；他在无限的空间内，就如在他眼前一样，亲切地看见事物本身，彻底地感受到它们，并且由于它们直接呈现在他面前，整个儿理解它们。”

在牛顿看来，有绝对空间、绝对时间、绝对速度等这样一些量，以及整个绝对空间弥漫着一种以太介质，因而是和宇宙中有一个特权的观察者的见解联系在一起的。同样，在后来所有的以太学说里，在原则上总有一套享有特权的体系和观察者，它们在宇宙以太介质中静止不动，因为在理论上，他们能测量运动物体的绝对速度。甚至十八世纪的法国哲学家，尽管他们对世界和世界居民的机械一致性深信不疑，也摆脱不掉类似的想法，认为在原则上可以有一个享有特权的事件观察者。拉普拉斯按照牛顿思想体系的精神，设想有一个神圣的计算者，知道宇宙所有粒子在任何一个时刻的位置和速度，就能够知道过去发生过的一切，并预言未来将要发生什么。所以早期近代科学家所开创的哲学思潮并没有达到完备的地步；一直到了爱因斯坦才给物理学提出一个基本假说，就是宇宙间一切位置都是等价的，所有可能的观察者都能够获得关于对方的同样知识。

从公元 1887 年起，当迈克耳逊（Michelson，公元 1852—1931）和莫雷（Morley，公元 1838—1923）在美国测量了光在通过以太沿着地球运动的方向与地球方向成直角的速度以后，以太学说就走下坡路了。在这种情况下，发现光的速度都是一样的，迈克耳逊因此认为这个结果表明以太是随着地球运动的。可是公元 1893 年洛奇（Lodge，公元 1851—1940）在伦敦发现，光通过两块快

速转动的巨大钢盘时，速度并不改变，表明钢盘并不把以太带着转。恒星的光行差也显示以太并不随着地球转动，这一来，那种认为空间弥漫着一种物质以太，可以传递光波振动的见解，就因迈克耳逊和莫雷的实验结果而被人放弃了。

菲茨杰拉德在公元 1892 年对迈克耳逊—莫雷实验提出了一种解释。他指出如果物质是由带电荷的粒子组成，如当时看上去那样，一根相对于以太静止的量杆的长度，将完全由量杆粒子间取得的静电平衡决定，而量杆相对于以太在运动时，量杆就会缩短，因为组成量杆的带电粒子将会产生磁场，从而改变这些粒子之间的间隔平衡。这一来，迈克耳逊—莫雷实验所使用的仪器，当它指向地球运动的方向时就会缩短，而缩短的程度正好抵消光速的减慢。有些人曾经试行测量菲茨杰拉德的缩短值，但都没有成功。例如一根电线朝着地球运动的方向时，长度应当缩短，从而显出导电率增加，但是实验的结果表明并不是如此。这类实验表明菲茨杰拉德的缩短，在一个运动体系内是不能被处在这个运动体系内的观察者测量到的，所以他们无法决定他们体系内的绝对速度，光学的那些定律和各种电磁现象是不受绝对速度的影响的。

由此可见，一个物体的绝对速度是无法知道的，而且绝对空间和绝对时间的框架，包括组成这个框架的物质以太，都不是必需的。公元 1905 年爱因斯坦在伯尔尼大学时就设想，如果假定自然法则在一切以均匀的相对速度运动的体系内都是一样，而光速在真空中则永远不变，那末物理现象就可以更加简洁地加以概括。里茨（Ritz）在公元 1908 年设想光速是依赖于光源的速度的，企图以此解释迈克耳逊—莫雷实验，但是德·希特（W.de Sitter，公元 1872—1934）于公元 1931 年在莱顿大学指出，如果是这样的话，那末一对相互环绕运动的星体将会出现观上的异常运动，而这种现象并没有观察到。爱因斯坦提出的光速和不受光源速度和观察者的影响，这种见解因此看来是正确的，而且既然没有一种静止的以太传播光波振动，牛顿关于光速可以增加的看法就必须抛弃。

在爱因斯坦看来，任何速度和光速合在一起所产生的结果都是一样的，即光在真空中的速度不变。因此一个观察者所测量的物体相对速度，永远不会超过光速；一个想象中的比光走得更快的物体，在原则上无法用光的信号来察觉。牛顿的力学定律设想，加力会使物体的速度和动能无限增加，动能中的质量因子始终不变，而速度因子则会增加。爱因斯坦表明，当物体的运动接近光速时，不断加力会增加物体的质量；力以质量的形式把能赋予物体，因为趋近于光速的极限以后，力就不再能增加动能中的速度因子了。由此可见，能和质量是等值的。爱因斯坦把这种等值关系表现如下：一定量的能等于一定数量的质量乘光速平方的积。这个关系后来经过测量高速运动电子的质量后，得到了证实，测量的结果表明预计的质量增加和观察到的增加相等。

爱因斯坦假说进一步表明，菲茨杰拉德的缩短并不是物体的一种真正物理变化，而是由于物体间相对运动所产生的表象。如果许多观察者在一系列相对运动着的体系上配备一式一样的量尺和钟，那末一个观察者用光的信号所作的测量就会表明，别的观察者朝着相对运动方向上的量尺就显得比他自己的要短些，而他们的钟也比他自己的钟走得慢些。这些现象会被所有的观察者都注意到，然而自然规律在所有相对运动着的体系里看上去都是一样的。任何一对观察者所作的测量都将是完全对称的，特别是他们都会把同样的相对速度归之于对方。由此可见，既没有什么处于特殊地位的观察者，也没有什么绝对空间和绝对时间。一根量尺的长度视测量长度的观察者的相对速度而定，一只钟所计算的时间也是这样。还有，两个处在相对运动中的观察者在观察两个事件时，除非这两个事件发生在同

一地点，就不会发现它们在同时间内发生。爱因斯坦的老师，闵可夫斯基（Minkowski，公元 1864—1909）在公元 1908 年表明，虽则两个观察者在均匀的相对运动中不会给两个观察事件定出同样的空间距离和时间的间隔，他们却会给这两个事件之间的间隔（这是一种空间和时间的结合）找出同等的数值。闵可夫斯基发现，如果以光速乘时间，把时间当作一种距离看待，并标志为 C ，那末如果两事件之间差异对某一特殊的观察者说来是 T ，而它们之间的距离是 S ，则 $S^2 - C \cdot T^2$ 的值对所有观察者说来就是一样的。闵可夫斯基把 $S^2 - C \cdot T^2$ 的平方根称作两事件之间的时空间隔，而且由于它对所有的观察者说来都是一样的，它就是一个四维时空中的绝对量，而空间和时间分开计算时则不是这样。

爱因斯坦在公元 1905 年出版的《狭义相对论》中，只研究均速相对运动的体系，但是在公元 1915 年他的《广义相对论》中进而研究了加速运动。他的出发点的牛顿力学中一个早为人们熟知的事实，即为研究物体在引力下降落，我们给物体的质量规定的值，和用来考察物体在机械力作用下的加速度的值是完全一样的。由此可见，引力场和加速度是等值的，而爱因斯坦的企图就是使这两者等值。他指出一个静止电梯中的观察者，根据物体以加速度落到地板上的事实，说不定会得出电梯以加速度上升的结论，就好象电梯是由机械力推动通过不受引力场影响的空间一样。同样，如果让电梯自由降落，电梯中的观察者说不定会认为自己处在真空中，不受到任何机械力或引力的影响，因为物体始终都悬在半空中。另一方面，一个在电梯外面的观察者在前一种情况下将会认为电梯处于静止状态，而在后一种情况下则认为它在以加速度运动降落。因此，对物体加速运动的判断是和相对观察者的立足点而言的；任何引力场都可以归之于一种相对的加速。

为了把引力场和相对加速度联系起来，爱因斯坦设想，如果闵可夫斯基的四维时空是弯曲的，这两者说不定都可以从几何学的角度加以说明。例如，一只弹子台在它的洞的周围造得低下去一点，则台上的弹子的运动就好象被吸向洞口，以加速度向洞口滚去。弹子的运动既可以根据弹子台做几何学解释，也可以根据假定这些洞是一种超距引力的中心来解释。同样，引力运动既可以用超距作用解释，也可以用时空的曲面几何学来解释。在公元 1915 年出版的《广义相对论》中，爱因斯坦作出这样的假说：自然规律对一切以任何方式相对运动着的观察者，都是一样的；时空的几何学是非欧几里得的；一切引力运动在时空中都走最短的路程；某一区域的时空曲率视该区域的物质数量而定。把这些假说合并起来，爱因斯坦选择了贝尔纳·黎曼（Bernard Riemann，公元 1826—1866）发明的一种严格类型的非欧几里得几何学作为他的时空模型。爱因斯坦的时空模型是这样的：所有的模型中相对运动着的观察者都是对称的，而且相互之间是等值的；它提供的是最短线，即相当于欧几里得几何学中的直线轨迹，这个轨迹可以看作和引力场的运动是一回事。

在发展他的理论时，爱因斯坦表明在时空中环绕一个有重量物质粒子的最短轨迹，将是一个椭圆。这个椭圆环绕物质自转；而牛顿的学说则表明这样一条轨迹应当是一个静止的椭圆。法国的天文学家勒维烈（Leverrier，公元 1811—1877）曾经发现水星的椭圆轨道显出环绕太阳转动，而且观测到转动的数量和爱因斯坦所计算的数量非常接近。更重要的是爱因斯坦关于引力场对光的影响的预言。人们过去已经知道加速运动影响光的振动。但是现在引力场和相对加速联系起来之后，看来引力对光也有影响了。既然光具有能，它就应当也有质量，因此应当受引力场的影响而偏斜出去，或者毋宁说，光应当在有物质存在而弯曲的时空区域

里走一条曲线轨道。公元 1919 年和公元 1922 年日食时所测量到的恒星光经受太阳影响的弯曲度，和爱因斯坦预言的理论数值相当接近，不过公元 1929 年和公元 1947 年日食时所测定的数值则表现了某些差异。可是公元 1952 年日食时所测量的结果和相对论非常吻合。爱因斯坦并且进一步预言，原子在强引力场中发射的光能在离开引力场时，将丧失一部分能量，使光变得红些。如果引力场被认为是一种相对的加速度，光源的加速后退应当产生同样的红移。这种红移从公元 1923 年到公元 1928 年在太阳表面铁、钛和氦所发出的光谱线中都观测到了。

到目前为止，广义相对论只涉及到上述的三种事例：水星轨道的进动，引力场里的光的弯曲和引力场中光的红移。不过这些事例本身都具有相当大的重要性，特别是后两个事例，是第一次把引力现象和电磁现象联系起来。曾经有人认为把相对论用来解释旋转运动有困难，但是爱因斯坦在公元 1916 年表明旋转在某种程度上可以合并到广义相对论里。地球在地轴上旋转的传统证据——地球在两极地区较为平坦，摆和回转器具有改变它们相对于地球的方向等等——可以在假定地球绕地轴自转或者假定整个宇宙绕地球转动而加以说明。第二个假定出现的困难是，鉴于物体的切线速度在它们离开地球愈远时，会变得愈来愈快，而且一直增加到接近光速。

第四十四章

量子论与原子结构

在十九世纪快要结束时，若干科学领域里出现了涉及粒子和不连续变化的理论，而过去这些领域里则是由连续物质和连续变化的观念统治着的。这些学说主要是德国人发展起来的，德国人在整个十九世纪一贯倾向于粒子学说。细胞是一切生物的单位理论，几乎完全是德国人发展起来的；同样，遗传是由自主种质的粒子机能所操纵的学说，至少在早期臆测阶段，也是由耐格里和魏斯曼发展的。德国的费希纳、韦伯、黎曼、基尔霍夫和克劳胥斯，都把电看作是带电荷的粒子，而英国的法拉第、凯尔文、麦克斯韦和菲茨杰拉德则认为电现象是连续的以太中的应变造成：如我们在前面看到的，麦克斯韦的以太模型就包含有电粒子的观念，但是他没有加以发挥。德国的赫尔姆霍茨在公元 1881 年论述法拉第的电解定律时说道：

“法拉第定律的最可惊异的结果也许是这样：如果我们接受元素物质由原子组成的假说，我们就不可避免地要作出结论说，电，不论是阳电或阴电，也分为元素部分，其行为就象电原子一样。”

法拉第是领会到这里的含义的，但他把这种建议连同物质的原子学说一起否定掉，仍旧主张“物质到处存在，而且中间没有什么不被物质占据的空隙。”

除掉电的研究外，另一个发展了粒子学说的领域是对光、热和其他电磁辐射现象的研究；在这一方面连续波动说在十九世纪中曾经取得相当大的成就。问题的出发点是在研究黑体发射的光和热时碰到的，因为黑体产生辐射的连续光谱，和化学元素产生的线光谱相反。实验证明黑体加热到一定温度时发射出一种在特殊波长上最大能量的辐射；这种最大能量的波长随着温度的增加而下降。在实验室的温度下，这种最大能量的辐射在光谱上是看得见的，黑体先是发出红光，然后随着温度增加变为桔红、黄、白，最后变蓝。

这样一种现象是可能用光的波动说解释的。瑞利爵士在公元 1900 年表明，如果电磁辐射是由自然振子发出的，那就不会有发出最大能量的波长：发出的能量应当随着辐射波长的下降而无限地增长。一个自然振子，如拉紧的弦，具有若干振动的方式。弦的第一种振动方式是弦长等于波长的一半，而往后发生的振动方式则是弦长等于半波长的二、三、四、五倍，以至于无穷，因此单是一个短短的波长就可以有无限数的振动方式。根据能的均分原理，每一方式的振动应当具有同量的能，因此黑体辐射的大部分能应当由很短的波长发出来，即由光谱的紫外线和 X 射线部分发出，而不应由光谱的可见部分发出。其他关于黑体辐射的理论研究都没有取得多大成就，其中较著的有威恩（Wien，公元 1864—1928）在公元 1896 年发表的解释，他不采用什么模型，而是根据纯热力学推理来进行分析。

这个问题的解决是由当时在柏林大学的麦克斯·普朗克（Max Planck，公

元 1858—1947) 设想出来的。普朗克指出如果黑体辐射是由量子不连续地发射出来, 而一个量子的能量是和辐射频率成比例的, 那末低温度就有利于接近光谱红端的长波的发射, 因为量子的能量较小, 但在高温时, 由于有更多的能可用, 就有利于发射短波长的较大量子。普朗克就是以这种方式说明了黑体在一定波长发射最大量的能, 而随着温度的增加, 这种最大值移到较短的波长。普朗克的量子论在公元 1905 年被爱因斯坦用来解释与杜隆和珀替的原子热守恒法则产生的差异, 并说明了金属曝光时发出电子的现象。他还设想, 光以及一般的电磁辐射, 都是以粒子的形式, 或者如后来称做的光子, 通过空间传播的, 这样一来, 在某种程度上, 就弥补了他在同年发表相对论时否定了以太之后所留下的漏洞。

量子论最重要的应用, 是在原子结构研究方面, 如我们已经看到的, 电流通过盐溶液时所观察到的电解定律, 使得赫尔姆霍茨在公元 1881 年设想电是粒子的形式, 约翰斯东·斯通尼 (Johnstone Stoney) 在公元 1891 年称这些粒子为电子。电流通过低压气体进一步证明电是粒子性质, 并为研究原子构造提供了一个方法。在一个装有低压气体的管子里两块金属板之间通电, 就可以发现三种射线: 一种是从阴极板到阳极的阴极射线, 一种是走相反方向的阳极射线; 还有 X 射线, 这是阴极射线击中物质, 诸如一个金属靶子时所形成的。

科学家最初集中研究的是阴极射线, 发现阴极射线是走直线的, 因为挡着光线去路的物体都被投出清晰的影子。而这种光线具有动量, 能够使一只轻的叶轮转动。阴极射线因此就好像是一道直向运动的粒子流, 而且这些粒子是荷电的, 因为电场和磁场都能使它偏转。公元 1897 年约·约·汤姆生 (J.J. Thomson, 公元 1856—1940) 在剑桥大学, 通过安排了一个电场和一个磁场以抵消电场和磁场所造成的粒子偏转, 测量了这些粒子的速度。磁场对粒子施加的力是根据粒子的速度而定的, 而电场对粒子施加的力则不是如此。在汤姆生的实验里, 从电场和磁场的强度比值就得出粒子的速度, 而速度一旦找到后, 单靠磁偏转或者电偏转就可以测定电荷与粒子质量的比值。

汤姆生证明这此粒子都带有阴电荷, 而且是一切物质的共同成分, 因为任何气体放在他的放电管里都以同样的电荷对质量的比值发出阴极射线。他从酸液的电解发现电荷对氢离子质量的比值比起阴极射线的来小两千倍, 汤姆生由此得出结论, 认为氢离子的质量比一个阴极射线粒子, 即电子的质量, 大约要大两千倍, 它们的电荷相等, 但是符号则相反。汤姆生的推论在电子电荷测量出来以后, 得到了证实; 尤其是美国的罗伯特·密立根 (Robert A. millikan) 从公元 1913 年到公元 1917 年考察了荷电油滴在相反的静电场和引力场之间的运动。他发现一个油滴所载的最低电荷和这个油滴所能载的许多较高电荷的最小公倍数是一样的, 而这个值他认为就是一个电子的电荷。这个电荷量和一个氢离子上的电荷量是一样的, 虽则符号相反, 表明氢比一个电子重 1836 倍。

在他所作实验的基础上, 汤姆生在公元 1904 年设想化学元素的原子是由一个正电球的聚集在一起的许多电子所组成。他认为原子的质量全部来自电子, 因此以氢原子为例, 就含有 1836 个电子。可是放射现象的研究很快就使人们抛弃汤姆生的原子模型。人们发现放射性元素发出三种射线, 和气体放电管发出的光线完全相似: 先是同阳电荷的 α 射线, 即是和阳极射线类似的有双倍电荷的氦离子, 其次是 β 射线, 是和阴极射线类似的电子, 不过运动得稍微快一点; 再就是不带电荷的 γ 射线, 这是电磁辐射, 就象 X 射线, 不过波长要更短些。卢瑟福先在曼彻斯特大学, 后来又在剑桥大学, 证明 α 粒子大部分笔直地透过物质, 但有少数, 约摸两万个中有一个, 却碰到很大的偏转, 时常在轨道上折回去。由此

看来，原子含有一种很强的偏转力或者核，但和整个原子比起来还是很小的。公元 1911 年卢瑟福提出原子包含有一个小的带正电荷的核，具有原子的大部分质量，它由许多电子沿着轨道环绕它转，就象行星环绕太阳一样。一定元素原子的核上面的正电荷数等于该元素在周期表上的序数，这也是沿轨道旋转的电子数，这样就使原子整个说来在电荷上是中性的。卢瑟福的原子模型还有以下事实作证，即重元素比轻元素散射的 α 粒子多得多，这很可能是由于重元素的核电荷和质量比较大的缘故。还有，人们发现当一种放射性元素放出一个 α 粒子，而且荷有双倍电荷时，这样形成的新元素在周期表上就要移后两位，根据卢瑟福的理论这表明它的核失掉两个正电荷；但是当这个元素放出一个 β 粒时，而 β 粒只具有一个负电荷，这样形成的新元素在周期表上就移前一位，就是说，它的核多出了一个正电荷。由于一个元素的原子量大致是其原子序数或核电荷的双倍，所以可以设想一个原子核是由许多氢原子核或质子形成的，在数目上等于原子量和需要使核的总电荷恢复到原子序数的电子数目。

依照经典的观点，卢瑟福的原子模型本身就存在着缺点。那些轨道电子都是在核的静电场里运动的电荷，因此应当连续不断放出辐射。电子在这样做过程中应当丧失其本身的动能，因此它们将会逐渐转进核里面去。当时和卢瑟福一起工作的尼尔斯·波尔（Niels Bohr）在公元 1913 年指出这个模型可以用新的量子论加以补救。如果辐射不能连续发射，而只能以确定的量子发射，那就有理由设想原子结构里有某些确定的轨道，而电子可以沿轨道运动并不丧失能量，只有在电子从一个轨道跃迁到另一轨道时才会发出辐射。这样一设想，就可以解释元素的原子光谱是由清晰的线条组成而不是一条连续光带的事实。当一个电子从一个轨道跃迁到另一个轨道时，量子的能量以及因此而发出辐射的频率，将由电子在这两个轨道中动能的差决定。如果轨道是固定的，而原子光谱上的每一条线应当相当于两个这样轨道之间的一种特殊的电子转移。波尔依靠这个理论，定量地说明了氢原子的光谱，用一个量子数 N 代表主要轨道，电子可以在轨道间跃迁。 N 可以有 1, 2, 3, 4 等数值，从第二轨道跃迁到第一轨道产生一条光谱线，从第三轨道跃迁到第二轨道又产生一条光谱线，如此等等。

用有较高分辨能力的仪器就看出原子的光谱线有精细的结构。为了解释这种现象，索末菲（Sommerfeld）于公元 1915 年在慕尼黑大学提出，量子数 N 的主要电子轨道可以细分为许多辅轨道，这些轨道的数由辅量子数 K 约束， K 的值可以有 1, 2, 3, 4... N 。索末菲把这些辅轨道设想为椭圆式，形状从正圆到扁长的椭圆都有。这些辅轨道的能量稍有差异，因为根据爱因斯坦的相对论，电子沿扁长椭圆轨道走到原子核附近时，速度和质量都会增加，并环绕着核显现一种进动，就象水星环绕太阳轨道一样。另外，公元 1896 年塞曼（Zeeman，公元 1865—1943）在莱顿大学发现磁场使原子光谱线分裂的现象，为了解释这种现象，就还得引进另一种辅量子数 M ，具有—— $(K-1)\cdots 0\cdots + (K-1)$ 等数值。最后，乌仑贝克（Uhlenbeck）和古兹米特（Goudsmit）在公元 1925 年根据电子可以绕轴以一个或两个相反方向自旋的假设，又提出一种自旋量子数 S ，它可以有两个相反值中的一个以解原子光谱线的更为复杂的性质。

公元 1925 年泡里在汉堡大学提出两个电子在同一原子内不能有同一套量子数的原理，这就限制和规定了元素原子可能有的电子结构。当主要的量子数 N 等于 1 时，这样规定的轨道就只能含有一个电子，或者两个向相反方向旋转的电子，因为辅数 K 和 M 都只能具有最小数值。因此第一主轨道把含有一个轨道电子的氢和含有两个轨道电子的氦的情况都包括在内了，这样第一主轨道或者壳层

就装满了。当主量子数 N 等于 2 时，辅数 K 可以有 1 或者 2 的数值，而 M 在 K 等于 1 时可以是 0，在 K 等于 2 时可以是 -1, 0, +1。所以在第二主壳层内有四条辅轨道，每一轨道可以容纳两个相反旋转的电子，这样就把氢和氦后面八种元素锂、铍、硼、碳、氮、氧、氟、氖都包括了。这样一来，从原子光谱研究所推算出来的量子数说明了元素的电子结构，给元素从电子数上作了分类，这种分类和早期的周期分类非常吻合。

元素的电子分类法使人注意到一事实，即那些不大会或者不会形成化合物的惰性气体，是在一个电子壳层或次电子壳层完成时出现的，上述的氦和氖就是这种情况。这样看来，一个完满的壳层或次层是一种特别稳定的电子结构，所以化学的化合理论现在可以精确地说明了。美国的兰米尔从公元 1919 年—1921 年发展了一种理论，他认为，化学元素化合成化合物时会获得惰性气体的稳定电子结构。他设想元素原子能以两种方式做到这点，或者靠给予和接受电子的方式，或者靠共同拥有电子的方式，这两种结合方式可以分别称为电价和共价。例如钠比惰性气体氖多一个电子，而氟比氖少一个电子。当它们化合为具有电价的氟化钠时，钠原子就把多余的一个电子给予氟原子，使两者都达到氖的稳定电子结构。核电荷始终保持不变，因此钠原子就得带阳电，氟原子变得带阴电，两个原子间的静电力把它们约束在一起。两个氟原子，由于每一个都比氖原子的电子结构少一个电子，可以通过共有对方的一个电子而形成不同的键，产生共价的氟分子。这里两个原子在电学上是中性的，因此被原子间互换的两个电子紧紧约束在固定的键距上，可是，电价化合物的两个带电离子，在某种情况下，则可以独立运动，如在水溶液中那样。后来人们体会到纯电价和纯共价都很少，多数键是两种类型的结合，因为许多共价化合物都具有偶极矩，表明在它们的键中有各自的电荷，而电价离子的电子壳层则发现变得极化或畸变了。

波尔的原子模型为化学家解释分子结构和化合过程提供了一个有用的模型，但在物理学家看来却是不大满意的，因为它只解释了类氢型原子的原子光谱，而且连这样解释也不能说明观察到的光谱线的相对强度。索夫菲的一个学生，维纳尔·海森堡 (Werner Heisenberg, 公元 1901—1976) 在公元 1925 年提出，一切象波尔那样的机械原子模型都应当放弃，而采用另一种研究方式，把可以直接测量到的量，诸如光谱线的频率和强度，都直接安排在数学方程里。根据这种做法，海森堡就能说明塞曼效应，而这是早期的波尔学说所不能解决的困难。可是根据这种预测又出现了另一种研究方法，这是路易·德·布罗意 (Louis de Broglie)，在公元 1925 年提出的；他认为物质以及辐射应当既具有粒子性质，又具有波动性质。后来发现电子、质子和 α 粒子都具有波动性质，产生象光和 X 射线那样的衍射图象，但是欧文·薛定谔 (Erwin Schrödinger) 在公元 1926 年根据电子有波动形式的假定，和海森堡一样，能更直接概括同样的事实。波尔假定稳定的电子轨道要求电子一定具有一个等于整数乘 $h/2\pi$ 的角动量， h 是普朗克常数，它是把一个辐射的能量量子大小和量子的频率联系在一起的常数；根据薛定谔的看法，波尔的这个假定等于要求环绕一个稳定轨道上的电子波长应当是一个整数。

可是在薛定谔的体系里，电子不再沿固定的轨道运动了。他的那些方程式表明原子内的电荷密度以一种波状的形式从核向外变动着，波峰相当于早期的波尔式原子的轨道。薛定谔自己认为这些波动形式代表原子内电荷的实际分布，但是玻恩 (Born) 在公元 1926 年设想波动在任何一点的高度应当看作是在这个位置上找到一个电子的几率的量度。玻恩的这个见解表明一个电子的位置不能完全准

确地测定下来；我们能够测定的只是在某一个特殊点找到一个电子的几率。海森堡在公元 1927 年表明一个电子的动量和能量同样不能确定，一个电子的动量和位置的乘积测不准到永远不能少于 $h/2\pi$ 的程度， h 就是普朗克常数。这就是“测不准原理”；它所根据的是物质和辐射的波粒二象性和物体性质在实验过程中往往不可避免地要改变的事实。如果我们要准确测量一个电子的位置，就得使用波长很短的辐射。但是这种辐射就会含有高能量子，而由于碰撞就会改变电子的动量和能量；同样，要测量一个电子的动量，我们得使用低能量子：这类量子的波长较大，因此电子的位置就会相应地不准确。物质和辐射的波粒二象性这一观察到的事实，还牵涉到粒子性质和波动性质之间存在着某种联系的问题。普朗克指出，一个量子的能量等于量子辐射频率乘普朗克常数乘 h 。德·布罗意发现一个粒子的速度等于它的有关的波群的速度，一连串波群的速度小于个别波的速度，这种现象有时候可以从水波的情况看出，因为一片大的浪头常比旁边的一堆小浪头走得慢。后来在公元 1927 年，查理·达尔文爵士提出一个粒子的两种可能的自旋形态，相当于一个被偏振分开的波振动的两个横波。

在发展他的原子模型时，薛定谔研究了三维空间中电子在核周围的分布，得以推算出决定原子结构的四个量子数中的三个数量。这样发展起来的量子力学取得很大成果，但是它是非相对论性质的，因为薛定谔没有考虑属于第四维的时间。狄拉克（Dirac）在公元 1928 年提出了一种相对论的量子力学；在这样做时，他找到了符合第四量子数的项值，包括电子自旋现象在内，而这在薛定谔的理论里并不出现。狄拉克还预言了有一种质量等于电子的粒子存在，但是电荷相反，这就是后来发现的阳电子。可是相对论的波动力学很复杂，所以狄拉克的学说到目前为止，不象薛定谔的理论那样广泛被人采用。

海森堡和薛定谔的波动力学旨在说明原子外包围电子的行为。与此同时，原子核也有人在集中研究，最后也企图把量子力学在这方面加以应用，但是碰上存在着很大困难的问题。由于核含有原子的大部分质量，所以原子核的研究，是从发展一种新方法测定元素的原子量开始的。它根据的是考察电流通过低压气体所发射的阳射线。约·约·汤姆生在公元 1912 年发现不同的气体发射的阳射线，在受电场和磁场影响而偏斜出去时，表现出不同的行为，因此这些阳射线不象电子那样是一切物质的共同成分。他测定了电荷与阳射线粒子质量的比值，从而发现粒子的质量等于原子量，这就表明这些粒子是气体带阳电荷的原子。可是他发现氖气有两种不同的粒子，一种粒子的质量相对氢来说，是 20，另一种的质量是 22。两种形式的比值是 10 对 1，因此它们的平均质量是 20.2，这个数值和氖的已知原子量 20.18 相当吻合。由此看来，氖是由两种原子构成的，它们被叫做同位素，它们的质量不同，但核电荷一样，而且沿轨道运动的电子数也一样。

看来普劳特当初提出的一切元素的原子都是由若干氢原子构成的假说，也是不点道理的，因为氖的两个同位素的原子量都是氢原子量的整倍数。后来经阿斯顿（Aston，公元 1877—1945）在剑桥大学研究，才发现元素的同位素一般地并不完全等于氢原子量的整倍数，而是质量数等于 16 的氧同位素的原子量的十六分之一的整倍数，它就被看作是标准的参照物质。总起来说，阿斯顿在公元 1927 年发现很轻的和很重的元素，诸如氢和铀，其质量比普劳特假说所预计的质量稍重，而处于铁区域的原子量中等的元素则比预计的要轻些。阿斯顿称这些偏离为元素的剑集率，他并且证明可以用图表形式求出一根剑集率对元素质量数的光滑曲线，即普劳特假说所预计的原子核含有的粒子数。剑集率被认为是对某一元素稳定性的测定，因为具有高剑集率的特重元素是放射性的，并自动分解为

有较低聚集率的轻原子，而在这样变化的过程中以能的形式丧失质量。根据这种理论，铁区域的中等原子量元素是很稳定的，还有某些配合不进阿斯顿曲线的轻元素，主要是氢、碳和氧的同位素，它们的质量数是四的整倍数，表明 α 粒子是一个稳定单元，而且可能以这种形式留在较重的原子核里。

汤姆生和阿斯顿的研究最初被看作是原子核由质子和电子组成的证据。例如氦的两种同位素，一种含有 22 个质子和 12 个电子，一种含有 20 个质子和 10 个电子，因此它们的核电荷都是 10，但是原子量则是 22 和 20。卢瑟福根据他的 α 射线实验，在公元 1920 年指出原子太小了，容纳不了这么多的粒子，所以他建议如果原子核含有中子，即重量等于质子但不带电荷的粒子，那就可以放弃原子核含有电子的说法。他的学生查德威克（Chadwick）于公元 1932 年发现，在用 α 粒子轰击铍时，就会发射出射程特别长的粒子。他考察出这些粒子并不受电场或磁场影响而偏斜出去，因此是不带电荷的，然而它们都能从其他元素中把质子冲击出来，因此具有和质子同级的质量。在同一年，安德森（Anderson）在美国和布莱凯特（Blackett）在英国都发现宇宙射线和 γ 射线都产生正电子，即相当带阳电荷电子，正如狄拉克于公元 1928 年在剑桥时所预言的那样。海森堡随后就设想，原子核里的中子和质子说不定可以用一种正电子的交换过程保持在一起，质子失去一个正电子就变成中子，中子得到一个正电子就变成质子。这种过程同两个有共价化学键的原子之间交换两个循轨道运转的电子一样，海森堡以及狄拉克和泡里，还把这种想法应用于电场，他们假定，两个带电粒子之间的力是交换光子的结果，即一个粒子放出光子，另一个吸收光子，据此推算出静电力的库伦反比平方定律。可是在这种情况下，困难又来了，因为他们的计算表明应当还有别的力存在，而这些力在粒子的半径达到零时就会增长到无限大。

另一个根据电子交换假说说明原子核的结合力的尝试，是由于日本的汤川秀树（Hideki Yukawa，公元 1907—）在公元 1935 年提出的。他设想核里面质子和中子是由交换介子而结合在一起的，介子是一种中性粒子，具有约比一个电子重二百倍的静质量。汤川秀树预言的介子于公元 1947 年为鲍威尔（Powell）在布里斯托尔发现了，而其他介子则是由安德森于公元 1938 年在帕萨迪纳作为宇宙线的次级产物而发现的。泡里在公元 1931 年曾假定有另一种粒子存在，叫做中微子或中性电子，用以说明放射性元素发射的电子具有不同能量的事实。他设想这些中微子是在同时发射的，带走一部分可变的补充能量，因此放射衰变中放出的总能量固定不变。迄今为止，这些粒子在实验中还没有被发现过。可是根据预料，中微子会具有巨大的贯穿能力，所以难于探测。泡里的原理假定，两个粒子在一个体系内不能有同一组量子数，这个假定已被用于原子核以及轨道上的电子。有人设想原子核里有两组能级，一组是中子，另一组是质子，两种粒子都遵守确定轨道电子能级的量子法则。在原子核里，第一级或壳层里，能容纳四个粒子，两个有相反自旋的质子。因此当第一个核壳层完成时，就产生 α 粒子即氦核，它是一个特别稳定的结构。其余壳层在完成时将含有 8, 20, 50, 82 或 126 个质子或者中子，这就有助于说明各种不同原子的稳定性和丰度。例如铅有一个含有 82 质子的核，是所有三类天然放射性系的稳定末端产物，而最丰富的铅同位素则是含有 126 个中子的核。

本世纪因发现基本粒子而开辟的最动人视听的局面，可能是核反应的研究。重元素的放射性被看作是卢瑟福和索迪在公元 1902 年发现的自发原子变化的一个事例，而人工的原子蜕变的第一个事例则在公元 1919 年被卢瑟福用 α 粒子轰击氮并产生快速运动质子时发现了。从公元 1921—1924 年，卢瑟福和查德威克

用 α 射线轰击所有到钙为止元素，都产生了质子，只有稳定元素氮、碳和氧除外，这些元素的原子量都是四的整倍数。布莱凯特在公元 1925 年指出重元素就是通过这个过程产生的，当氮受到 α 粒子轰击时，氧核以及氢核就形成了。

除掉用 α 粒子外，也有人研究用其他粒子轰击原子。公元 1932 年考克劳夫特（Cockcroft）和沃尔顿（Walton）把质子加速到高能，用以轰击锂，得到两个氦核。次年劳伦斯（Lawrence）和黎文斯顿（Livingston）发展了回旋加速器使带电粒子加速，并用这各加速器研究用由一个质子和一个中子形成的重氢核或氘轰击所产生的效应。公元 1932 年中子发现后，就有人研究用中子轰击的效应，主要是当时在罗马的费米（Fermi，公元 1901—1954）。他发现中子通过含有多量氢的物质如石蜡或水而减慢之后，在引起核反应上特别有效。公元 1934 年在用中子轰击铀时，费米找到另一种他认为比铀还重的放射性元素。这种研究工作被哈恩（Hahn）在柏林大学承担起来；到公元 1937 年，他声称制成几种超铀元素，原子序数从 93 排到 96。可是巴黎的约里奥·居里夫妇在公元 1938 年指出，用中子轰击铀所产生的物质，其放射特征和轻得多的放射性元素，特别是放射性钡很近似。哈恩和迈特纳（Meitner）在公元 1939 年重新考察这个问题时，发现钡和其他中等原子量的元素都会从轰击铀中产生，表明铀核已经分裂为两个。铀的高裂变率表明，当铀核分裂为较轻的碎块时，因质量丧失就会产生大量的能量，而铀的核电荷同质量数的高比值表明在分裂过程中可能放出几个中子。约里奥·居里在公元 1939 年证明铀蜕变产生中子，因此一个铀核的裂变在适当情况下会击破附近的其它铀核。这种情况可以控制，如在原子反应堆里，或者不受控制，如在原子弹里那样。费米这时在芝加哥于公元 1942 年创立了第一个原子反应堆，到了公元 1945 年其他的美国人制成了原子弹。氢和其他轻元素的高裂变率表明，把这些轻元素变为重元素也许能获得大量的能量，后来人们利用铀的核裂变发出所需要的高温，这样一种核聚变就在氢弹中实现了。

第四十五章

天体物理学和宇宙结构学说

在十九世纪中，天文学的观测范围因技术上的一些进步而大大地扩大了；这些技术上进步主要是制造更大的反射望远镜，考察星体的光谱，和采用摄影技术。黑体辐射学说的应用，使得星体的表面温度可以测算出来，而原子物理学理论启发了人们用核反应来解释星体发出辐射时的温度和辐射速度。在另一方面，这些新方法所提供的知识，使威廉·赫舍尔在十八世纪末所提出的见解更加精确地得到证实，如银河是一个独立的恒星系，太阳只是其中一员，而那些小的白色星云则是更远得多的同样恒星系。恒星系的大小，它们的相对速度和相隔的距离，现在都可以测算出来，为已知宇宙的空间广度提供了数值，为宇宙的历史提供了一个时间尺度，不过特别在时间估计上，因计算者的理论观点不同而存在着很大的出入。

第一次对太阳系范围以外的空间测算，是根据最邻近一些恒星的视运动在地球绕日的周年运动中测算它们的距离。这种视差运动，除去光行差的影响，是由亨德森（Herderson）于公元 1832 年在南非洲第一次进行观测的，而且被贝塞尔（Bessel，公元 1784—1846）在科尼希斯贝格和斯特鲁维（Struve，公元 1794—1864）在普尔科沃用来测定恒星的距离。这种恒星视差的方法只能用来测定较近恒星的距离，但在公元 1912 年却发现另一种测定更远距离的方法。人们发现亮度经常变化的恒星分为两类：第一类是周期地互食的双星，第二类是脉动星，叫做造父变星，它们的特点是亮度以一种特殊方式随着时间变化。莱维脱女士（Miss Leavitt）于公元 1912 年在哈佛发现同周期的造父变星具有相同的亮度。因此，最邻近造父变星的距离一旦用恒星视差方法测定以后，所有其他同周期变星的距离，都可以根据它们的视亮度，运用光强度随距离平方减弱定律测算出来。另一个方法，原则上差不多，不久也被人发明了，所根据的是有同样光谱的恒星具有相同的本身亮度的假设，所以从它们的视亮度就可以测定它们和地球的相对距离。

公元 1918 年威尔孙山的 100 英寸反射望远镜装置起来了，沙普勒（Shapley）就用这具望远镜采用上述那些测算恒星距离的方法，来测量我们银河的形状和大小。他发现银河系是一个扁平的盘，它的切面就是银河的切面，它的直径约为光在一年中所走距离的 300,000 倍，或 300,000 光年，它的厚度约为 10,000 光年。公元 1924 年哈勃（Hubble）也在威尔逊山检查了那些白色小星云，发现这里面有许多都具有螺旋形结构，即罗斯爵士（Rosse）公元 1845 年在爱尔兰第一次观察到的那一种，哈勃并且成功地把一些较近的旋涡星云分为许多个别的恒星，并在其中找到一些造父变星。他因此得以证明这些旋涡星云离开太阳系的距离约为 1,000,000 光年，刚好处在银河恒星系的外面。哈勃并且进一步证明邻近星云的亮度大致都是平均亮度的一半到两倍，比个别恒星的亮度分布集中

得多。因此较暗淡的星云就可以根据它们的视亮度来测定它们的距离；哈勃就这样发现我们所能见到的最远星云离开我们约为五亿光年。

另一条重要的研究途径是根据奥地利物理学家多普勒（J.C.Doppler，公元 1803—1853）在公元 1845 年所宣布的原理发展起来的，就是波动源的运动改变波的频率的原理一种相对于观察者的退行速度使波动频率降低，以光来说，辐射就会变得较红，而前进的速度则提高频率，使光的振动移向光谱的紫端。根据多普勒的原理，威廉·哈根斯（William Huggins，公元 1824—1910）于公元 1868 年在伦敦证明天狼星以每秒二十九哩的速度退离太阳系。公元 1912 年斯里弗尔（V.M.Slipher）在美国的洛韦尔天文台用同样方法发现仙女星云以每秒 125 哩的速度接近太阳系，但到了公元 1917 年他却发现这种情形是罕见的，多数的邻近星云都是以每秒 400 哩的视速度退行。公元 1929 年赫马森

（M.L.Humason）在威尔逊山考察了较远星云的光谱，发现星云离太阳系愈远，它们的辐射在光谱上的红移就愈加厉害。公元 1930 年哈勃提出一个定律，即星云所发出光线的红移和星云退离太阳系的距离成正比。根据多普勒原理，哈勃的定律表明每个星云都以其和我们银河系距离成正比的速度向后退离，最远星云的退行达到光速七分之一的巨大速度。

如果我们假定星云已往的退行速度一直是不变的，那末星云在十八亿年前就是聚集在一起的了。在这以后，星云就相互离开，这一事件标志了宇宙的可测量时间的开始，并给宇宙的年龄定出一个限度。可是爱丁顿（Eddington）设想星云的退行速度是随着时间不断增加的，因此宇宙的过去年龄的最高限度当在一百亿到九百亿年之间。另外一些人则主张红移根本不是多普勒效应的结果，而星云是停止不动的。弗里兹·兹威基（Fritz Zwicky，公元 1898）设想红移起源于星系间的物质在光线通过时的引力影响，而麦克米伦（E.M.MacMillan）也同样认为，星云的辐射在通过巨大的星系际空间逐渐丧失能量，这种效果正如哈勃定律所要求的那样，辐射源离观察者愈远就愈加显著。米尔恩（E.A.Milne 公元 1896—1950）指出，辐射的发射定律可能随时间变动，因此遥远星云在五亿年前发射的光线，今天在地球上望去必然要比目前相应的辐射红些。根据恒星好象具有同等能量的事实，金斯（J.Jeans，公元 1877—1946）早先曾经算出，宇宙过去年龄的最高限度是 10^{12} — 10^{13} 年，他根据的假说是天体之间的能量分布在开头是不均匀的。

这类关于宇宙过去时间的估计，出入相当地大，因为它们在很大程度上都视所依据的特殊宇宙学说而定，视其假定宇宙空间是有限还是无限，是欧几里得几何性质还是非欧几里得几何性质，是膨胀的还是静止的而定，而如果宇宙在膨胀着，它在某一时期的膨胀率又是怎样。例如金斯的估计，由于是在广义相对论问世以前，所以估计的全部依据都值得怀疑。二十世纪的宇宙说，和十九世纪的以太学说一样的多、一样花色频繁，而且这些学说在某种意义上可以说是以太学说的历史继承者。这些宇宙学说和以太学说都属于一个传统，都是企图以一种宇宙连续区来解释自然现象，宇宙学说采用的是几何性的时空连续区，以太学说采用的是一种机械的弥漫空间的以太。爱因斯坦的研究工作也属于这个传统；他自己的相对论杜绝了以太模型的臆造和发明，建立了本世纪的第一个宇宙模型。

公元 1917 年爱因斯坦考察了宇宙的空间和物质是有限还是无限的问题。马赫曾经认为物体的质量是由宇宙内其余物质决定的；爱因斯坦采纳了马赫的看法，指出在无限量的物质里，每一物体会当具有无限的质量和惯性。另一方面，如果宇宙在欧几里得的空间内有一个有限的边界，宇宙内部的物质就不会和宇宙外部

的空间保持平衡,而这样一个世界就不会形成一个稳定体系。为了克服这些困难,爱因斯坦就设想宇宙可能有一个有限的体积,但是没有固定的边界;这情形可以从设想三维空间就象一个二维空间的球面而领会出来,因为球面有固定的面积,但是没有边界,也就是说它的面积没有边缘。球面所有点的面积都是相互对称和等值的,而三维空间的情形也类似这样。由于这个缘故,球体空间内物质的单位体积将全都是一样的,而且不会象欧几里得空间的有限宇宙中的粒子有处于特殊边缘的情况。正因为没有特殊的边界,所以爱因斯坦宇宙里的所有观察者都是同等的,观察着同样现象并获得同样知识,正如狭义相对论所要求的那样。

根据广义相对论,一个物质集体是和一个局部的空间曲率联系着的,这种曲率本身就表现为一个引力场。因此空间曲率在爱因斯坦的宇宙的每一点上都有所不同,但是通过把那些曲率平滑化,或者换一种说法也是一样,通过求得宇宙内物质在整个宇宙空间的平均值以后,就有可能获得空间的总平均曲率。爱因斯坦宇宙的物质单位体积数因此是决定其球形空间曲率半径的,正如组成一个球面的单位面积数决定球面的半径一样的。爱因斯坦推导出有关空间平均曲率和宇宙中物质数量关系的表式,然后计算了宇宙的质量和宇宙空间的曲率。他所依据的假说是我们自己的局部星系团,银河系、仙女座和其他星系的物质密度,和宇宙其余部分的物质密度是一样的。

爱因斯坦是在遥远星云的巨大红移被观察到之前构造他的宇宙模型的。他假定宇宙中天体的速度比起光速来要慢得多,因此他的宇宙的空间结构并不随着时间变动。说实在话,时间在爱因斯坦的宇宙里是单独的一维,时一空是一个类似圆筒形的四维结构,是球形空间和直线时间的结合。爱因斯坦采纳马赫的说法,假定一个粒子在一个没有其他物质的宇宙里,就会不存在质量或惯性,但是德希特在公元 1917 年则指出,如果空间和时间合成一个类似球形的四维结构,就不一定会是这种情形。一个试验质点,诸如一个星云,放进爱因斯坦的宇宙里,如果对它的观察者没有相对的初始运动,就会始终处于静止状态,但在德希特的宇宙里,它就会立即以越来越快的速度退行。德希特的宇宙充满了运动,但是不含有物质,而爱因斯坦的宇宙则是充满了物质而没有运动。两种模型都各趋极端;后来人们认为这两种模型可能代表宇宙进化的开始或者终结,但不是当前的宇宙模型。

爱因斯坦的宇宙是充满物质的,其稳定性基于引力吸引和一种宇宙斥力之间的平衡,而德希特宇宙是空的,被宇宙斥力统治着。在哈勃定律发表以后,人们一般对这条定律的理解都认为这意味着宇宙在膨胀着;爱丁顿和他以前的学生勒梅特(Lemaitre, 公元 1895—1966)证明爱因斯坦的宇宙是不稳定的,如果受到扰动,就会膨胀或者收缩,这要看扰动有利于宇宙斥力抑或引力而定。如果爱因斯坦的宇宙在膨胀,那些星云相互就会退行,最后使宇宙的物质密度达到零,而出现德希特宇宙的那种情况。爱因斯坦和德希特在公元 1932 年表明,如果宇宙是如哈勃定律暗示的那样在膨胀着,宇宙的模型就可能是一个有限数量的物质在无限的欧几里得空间里膨胀着。哈勃本人赞成一种静止的欧几里得宇宙模型,因为根据膨胀模型所作的计算,表明宇宙间的物质数量比所有星云含有的物质数量加在一起,要大上一千倍光景。哈勃深信,这样多的物质,以星系际宇宙尘的形式存在着,所吸收的光线将会比星系际空间实际丧失的光线多得多。

还有人提出了几种别的宇宙模型,它们的分歧在于要确定一个宇宙模型需要三种量,其中只有两种可以通过观测决定。这三种未知量是宇宙的质量、空间的曲率和一个宇宙常数;这个常数是爱因斯坦为了适应马赫关于物体质量由宇宙其

余物质决定的要求而提出的。爱因斯坦的宇宙斥力理论就是根据这个宇宙常数来的。那两个可以通过观测决定的量是宇宙的膨胀率，根据红移是多普勒效应的假说来测量。宇宙中物质的平均密度，根据这种平均密度和我们局部星系所观察到的物质平均密度一样的假说来确定。德希特在公元 1932 年举出宇宙模型可能有九种主要类型，根据宇宙常数和空间曲率可以是负数、零或者正数而定。

由于缺乏一个观测标准在各种可能的宇宙模型中作出抉择，有些宇宙学者，主要是爱丁顿，其次是米尔恩，就企图根据科学方法的基本程序推论出一个关于宇宙性质的理论体系。爱丁顿把科学家比作一个渔人，只能捕获不能穿过网眼的鱼，设想科学方法的特点是决定科学知识的内容和性质的因素。科学方法并不是一面反映宇宙性质的镜子，而是一只万花筒，靠它的构造决定我们看见的影象。有些批评家提出，科学方法的网不能决定所“捕获”和研究自然现象的定性特征，但是爱丁顿反驳这种论证说，科学只过问现象的定量和可测算方面，而不管其定性方面。

关于物理科学的方法，爱丁顿认为最基本的是长度的测量。他指出空间的测算涉及四种测定，观测一根标准量尺的两头，和观测所要测量的长度的两头。这样一种方法程序是物理学的基础，爱丁顿并且认为这是和时一空有四维的基本观念分不开的。在发展他的体系时，爱丁顿企图不假定有任何在实验上决定了的数字，来算出属于纯数字的普适常数，诸如质子和电子质量的比率。他发现自然的纯数字普适常数主要分为三组，它们的数值是 10^{80} ， 10^{40} 和略低于 2×10^3 的数量级。爱丁顿表明第一组数值根据宇宙中粒子的总数值而定；第二组， N ，根据 N 的平方根而定，而第三组则和 N 不发生关系。由于 N 是有限的，爱丁顿的计算是根据一个有限的宇宙模型，即爱因斯坦的静止模型的膨胀式样来进行的。他以质子质量来除爱因斯坦宇宙的质量，并且比较抽象地假定一个电子质量来自它的电荷和宇宙中存在的所有别的粒子；在这两种情况下，他得到的值都是 10^{79} 数量级。

爱丁顿把长度的测量看作是物理学的基础，他注意的是有关宇宙结构形态的纯数值，而米尔恩则认为时间的测算是基本的，致力于研究宇宙过程的时间上运动。遵循着爱因斯坦，米尔恩采纳了宇宙内所有观察者都处于同等地位以及光速对这些观察者总是等效的见解。他然后表明长度的测定可以改为测定光走过这些长度的时间，从而取消掉爱因斯坦和爱丁顿在进行空间测量上认为不可缺少的刚性量杆。长度的测量因此是依时间的测量而定的，米尔恩并且指出，一般说来，关于宇宙空间结构的理论都离不开时间运动的理论。他指出，在观察遥远天体诸如星云时，我们必须承认一事实，即它们的位置愈远，它们发出的光在宇宙的历史上的起程也就愈早。今天我们看见的较近星云的光约在 1, 000, 000 年前发出，而遥远星云的光则约摸在五亿年前发出，因此为要获得一幅宇宙在同时间内的图画，我们走得愈远，就愈来愈需要改正时间上的落后。但是所用的改正要看采用的时标而定，因此采用不同的时标就能够构成不同的宇宙模型。

米尔恩指出有两种时标是基本的。一种时标以光的振动作为时间单位，称为 T 时标，另一种接近于钟摆的时标，称为 τ 时标。如果采用 T 时标，来自星云的光的红移就表明星云以和我们银河系距离成正比的速度在退行，因为相对论要求，一个运动着的时间记录者所标志的时间单位，在星云的振动光源情况下，应当和时间记录者相对于观察者的速度按比例加长。为了说明退行现象，米尔恩在公元 1932 年指出，如果天体开头处在一个有限空间内，任何以均速自由运动着的物体的集合，如我们会设想星云的运动那样，在一定时间后看上去将会以与

它们之间距离成正比的速度相互退行，就象那些速度较快的星云在一定时间内一定会走得更远一样。这样一种效应将是热力学第二定律的一种体现，星云相互退行说象一堆气体分子在虚空的空间释放出去一样。根据 T 时标，哈勃定律因此表明星云过去是局限在一个小小的空间范围里的，只是约在二十亿前才开始相互退行的。

如果星云的数目是有限的，看来一个处在膨胀宇宙边缘的快速运动星云的观察者，他眼中看到的世界将会和一个处于在较慢星云上观察者看到的两样，因为运动慢的星云离开它们的发源的地区没有多远。这样看来，要保留宇宙间一切观察者都处于同等地位的原则，就得假定有无限数的星云，这样我们视力所能及的最远星云的观察者就能进一步望见我们望不到的星云。星云的数目既然无限，宇宙内所有的观察者都将看见一个显然具有 CT 半径的球形世界，这里 C 是光速，而 T 是星云开始退行后所经历的时间。

爱丁顿设想自然界的那些常数是从古到今不变的，它的数值为爱因斯坦宇宙模型的那些特征所决定，按照这个模型，宇宙是由膨胀而发展起来的。可是米尔恩表明，不管采用两种时标的哪一种，某些事物总要随时间产生一些变化。根据 T 时标的理论，引力常数和普朗克常数都随时间增加，因此物体会逐渐变重而亚原子事件就会更加测不准。根据 τ 时标，引力常数和普朗克常数始终不变，但是是一个时间单位的光振动数在这种时标上就会逐渐增加，因此从一定光源发出的光的波长就随着时间变短了。从 τ 时标的角度看，过去的时间是无限的，而星云是稳定的，红移表明来自星云的光是在一定时间单位内光振动较少的那个时期产生的。

为了克服假定宇宙曾经有一个开端和只有约摸二十亿年年龄所造成的困难，剑桥大学的数学家邦迪 (Bondi) 和戈尔德 (Gold) 于公元 1948 年，还有霍伊尔 (Hoyle) 稍后一点，都提出了另一个宇宙的无限存在的学说，即“连续创造”说。邦迪、戈尔德和霍伊尔把爱因斯坦的在空间中所有观察者都等效的原理，扩充到时间量纲里，假定宇宙对任何一个观察者看来都和过去任何时间看见的一样，而且在将来也是如此。这种被称作“完成的宇宙原理”，使他们设想在整个宇宙内物质以每秒每立方厘米 10^{-43} 克的速率不断创造出来，企图以此来补充因星云退行所造成物质平均密度变得稀薄的趋向。这样一种创造率虽则小得无法觉察，但是可观察宇宙所产生的物质总量是很大的，它等于每秒产生出五百颗左右的恒星。

到目前为止，人们提出的关于宇宙空间和时间结构的形形色色学说，都是理论居多，观察较少；现在看来，这一领域的继续发展即使不随着经验知识增长前进，也会得到这方面的相当协助。例如美国于公元 1949 年在帕罗马山安装的 200 英寸反射望远镜就已经取得成果，表明宇宙的年龄一定是四十亿年的两倍，这就消除了“连续创造”说所要克服的一些困难。新的射电天文学比帕罗马山的望远镜更加深入空间，特别是剑桥大学的赖尔 (M. Ryle) 和他的同事的研究，证明在一定空间体积内的射电源的数目随着离开我们银河系距离的立方增长，和“稳定状态”论或“连续创造”说预言的结果都相反，表明在一定体积内的射电源数随着距离的增加应当不变，甚至下降。这类天文学技术的发展还可能冲击到天体物理学的其他部门，诸如恒星组成的研究，这对地球物质的实验研究也作出了贡献。

现代恒星组成学说是以观测为基础的；公元 1913 年亨·诺·罗素 (H.N. Russell) 在普林斯顿大学观测到，一个大恒星群的亮度和它们的表面温度成比例。这些恒星形成一个单独的序次，罗素设想这种序次表现了星体演化总

趋势的不同阶段。按照赫尔姆霍茨建议的引力收缩学说，罗素认为，恒星最初是由分散的星云状物质组成的，在引力影响下收缩，变得愈来愈热和愈来愈密，终于达到一种临界密度，使收缩不再能维持放出的辐射的量，于是恒星就逐渐冷下来。根据这种图式，恒星体积大的应当又红又热，在收缩后就变白，然后变蓝，最后在体积缩小而且冷下来时又变成红色。

可是亚当斯（W.S.Adams，公元 1876—1956）于公元 1914 年在叶凯士天文台发现伴随天狼星的小星发出的光是白热体发射出来的那种光，而这颗星是一颗白矮星，而不是一颗红矮星，所以并不是所有小恒星符合罗素的分类。十年后，亚当斯发现天狼星的小伴星所发出的光显示出一种很大的引力红移，表明这颗星虽然体积很小，但是质量很大。亚当斯的发现支持了爱丁顿和金斯在几年前提出的假说，即一个原子的外电子壳层在恒星内部所获得的高温和高密度下电离了，使原子的体积大大缩小。恒星的引力收缩因此比以往想象的来得更加厉害，这样产生的物质密度比地球上所能遇到的密度大得不可以道里计。印度科学家科萨里（Kothari）和钱维赛克哈（H.S.Chandrasekhar）表明比木星含有更多物质的星体就会产生足够压碎其内部原子的引力压力，因此这样一种星体的质量增加时，它的实际体积就会缩小。

爱丁顿和其他人都证明，多数恒星的密度并不很大，因此引力的收缩力被辐射的外向压力平衡了；这种外向压力随温度的四次方变化，在星体内部达到很高的数值。还有，星体内部从原子剥离的电子将象气体分子那样行动，在高温时产生一种压力，它和外层物质的引力压力相对立。拿表面温度为六千度的太阳为例，爱丁顿计算出太阳内部的温度必须达到两千万度的高度，才能产生平衡引力收缩力的电子压力和辐射压力。他并且进一步表明，一颗恒星放出的辐射的总量取决于恒星的质量，而不取决于恒星的大小，因为有一定质量星体的收缩，将会引起温度的增高，以补偿放出辐射的表面区域温度的相应下降。根据这种理论，爱丁顿设法计算了太阳的理论发光度，假定太阳大部分是由中等原子量的元素组成，如铁及其在周期表上的邻近元素。这个理论数字超出实际数字约一百倍，爱丁顿由此而得出结论，太阳和其他恒星一定含有大量的氢。

随着原子物理学的发展，人们开始懂得在星体内部的高温下，剥去电子的那些原子的热速度，将是和实验室里用来研究核反应所用的人工加速粒子的速度属于同一数量级。因此看上去星体内部很可能就存在着核反应，而且就是这些核反应提供了辐射放出的能量。公元 1938 年贝蒂（Bethe）在康乃尔大学和魏扎克（Weizsäcker）在德国研究出一种核反应循环，把氢变为氦，这在太阳内部所获得的温度下是可以发生的。他们证明碳的质量为 12 的同位素能够接连和三个质子起反应，形成原子量愈来愈大的氮同位素，而氮的质量等于 15 的同位素和 4 个质子结合以后，就会产生一个氦原子并重新生出碳同位素。一个氦原子比四个质子稍微轻一点，这里丧失的质量就是在反应循环过程中转化为能的。某一恒星里面氢变为氦的比率，也就是辐射的发射率，依这个恒星所含的碳而定。根据太阳的光谱，可以估计出太阳含有百分之一的碳，贝蒂从这个数字证明，太阳内部碳—氮循环产生的能量的理论速率，是等于观测到太阳放出辐射的速率。

爱丁顿曾经根据他的恒星光度和质量的关系，估计太阳或者含有 35% 的氢，或者含有 90% 的氢。根据爱丁顿的低估计所作的计算，得出的太阳未来生命是 350 亿年，假定太阳目前放出能量的速率在整个时期中是平均的。公元 1947 年霍尔提出一些理由，赞成爱丁顿的高估计，并且设想太阳和恒星一般能从星际空间的物质补充它们的氢储备。

霍伊尔使人们注意到，星际空间和星系际空间存在高度分散物质的重要性。单以一件事为例，他曾经提出恒星在星际空间吸收的物体，可以导致形成双星系；两颗恒星所以形成这样一个体系是由它们向外的一面，而不是毗邻的一面，受到星际气体的大力冲击而推到一起的，因此这两个星就逐渐凑近，终于相互环绕起来。利特尔顿（R.A. Lyttleton）在公元 1936 年提出一个假说，认为太阳系说不定原是个双星系，后来从外空闯进一个恒星和太阳的伴侣撞上，太阳的引力场俘获了一些剩下碎块，这就形成了行星系。最近霍伊尔和利特尔顿在发展太阳系起源于双星的学说时，曾设想太阳的那个伴侣可能是一个体积小而密度大的星，它越是收缩就旋转的越快，终于分裂为许多碎块，其中有些就被太阳的引力场捕获了。支持这种理论的是，双星系两星之间的平均已知距离和太阳与行星物质总体之间的距离属于同一数量级。

第四十六章

意大利与德国的科学和民族运动

德国和意大利科学的成长，象其他历史运动一样，在近代表现了一种不无类似的发展进程。德国人和意大利人曾经是近代科学的先驱，在十七世纪的头几十年中靠了刻卜勒和伽利略的研究成果各自达到他们第一次最高成就。但是他们没有继续努力，差不多过了两个世纪才出了可以和他们相比较的科学家。在中世纪后期，德国的，尤其是意大利的国土是欧洲文化最发达的地区，特别在实用技术和理论学科方面都胜过其他国家，而这两者正是科学的两个根源。在近代早期，这些地区的人在发展科学上都处于优越的地位，成了先驱者，但当他们在别的方面推动领导地位之后，他们在科学上的领导地位也丧失了。比较充分利用了地理大发现而开辟的好机会的，是英国、法国和荷兰，这些国家因而在科学上和在其他方面一样，都成了欧洲发展的主要中心，英国和法国一直到十九世纪的中期或晚期都保持着科学上的领导地位。

在这一时期，德国人意大利人在生活的许多方面都墨守着十六世纪制订下来的传统。它们在政治上与英法统一的国家相反，仍然分为许多小公国，在科学上他们虽然保持积极的兴趣，但很少拿出什么新奇的东西。值得注意的是，公元1815年以前创刊的九十种左右科学杂志中，有五十三种是德国的，九种是意大利的，十五种是法国的，十一种是英国的，而美国、瑞士、瑞典、荷兰和比利时仅各有一种。既然创办了这么多的科学杂志，意大利人，特别是德国人对于科学照理一定具有相当大的兴趣，但是这种兴趣好象并不够活跃，因而不能使科学出现新的显著进展。当德国人和意大利人的科学在十八世纪后期显示出复兴的标志时，他们就好像是重新拾起这个世纪以前已经丢掉的科学线索似的。伽伐尼和伏打继续了佛罗伦萨实验学院的实验传统，而德国的自然哲学家出于传统感情和民族感情，则拿过哥白尼的思辨传统和刻卜勒的早期研究，并把刻卜勒捧到牛顿之上。

意大利人和德国人在十八世纪的荒芜时期，在一个重要方面，的确作出了一项贡献，他们发展了一种对历史发展的感情和理解，而这种理解对于把自然界和人类社会看成静止的和机械的英国人和法国人说来，是不大容易接受的。这种理解在意大利人维科（Vico，公元1668—1744）的《新科学》里表现得最突出，又为属于德国自然哲学的那一派思想家特别加以发展。我们前面已经看到，把自然界看作是一个普遍发展过程的产物，这一观点怎样使德国人在研究个体发育的胚胎学领域内取得突出的成就。可是这个观点开头并不促进经验科学的研究，因为德国人是高度唯心的，他们创造了一个丰富的观念世界以补偿他们物质世界的贫乏。德国学派的大师黑格尔很好地表述了这种感情，他写道：

“灵魂托庇在思想领域里，它创造了一个观念的世界与真实世界相对立。哲学以真实世界的衰落开始：她以她的抽象出现时，在灰色上涂上灰色，

青年和生命的朝气已经消逝了，而她的和谐一致并不在真实的世界里而是在一个理想的世界里。”

在他们的观念世界里，德国哲学家看到一种具有非常具体目标的历史过程——德国的生活方式。在黑格尔的体系里，绝对观念在它自身完成了辩证的逻辑并遍历自然界以后，就进入到人类历史，最终又在德国的原则里恢复它自身的缩影。他写道：“欧洲是一切历史的目标”，“德国的原则是一切矛盾的调和和解决”。黑格尔决不是唯一具有这种感情的人：德国的自然哲学家都是强烈的民族主义者，他们期望着有一天许多说德语的小公国会统一为一个强大祖国。他们对拿破仑征服德国感到莫大的耻辱，当拿破仑于公元 1813 年在来比锡战败时，一位有较大影响和实际思想的自然哲学家洛伦兹·奥肯（他的科学理论我们已经碰到过），发表了一部叫做《新法国，新德国》的著作；在这本著作里，他讨论了法国如何可以使其无害和德国怎样在政治上重建。要达到这个目的，他建议德国的各邦要联合起来。他写道：“说相同语言的人必须以同一的法律统一起来。”

公元 1817 年奥肯创办了名叫《伊西斯》的科学和文学杂志，这本杂志成为传播科学和民族主义感情的工具。同年稍后一点，他报道了耶拿在瓦尔特贝格节日的一次学生示威游行，这是为了纪念路德的改革运动和德国在来比锡的解放的。这次示威游行不仅是民族主义的性质，而且也是同情自由主义的，而奥肯由于报道了这次示威游行，被革除了他在耶拿大学的职位。可是他继续出版《伊西斯》杂志，并在公元 1821 年提出了召开说德语的科学家和医生代表会议的方案。他主张这个代表会议的目的是“有利于科学和祖国的美好和荣誉”。奥肯因此对大多数的科学家发出了邀请，但他发现组织代表会议非常困难，因为德国的知识分子，在当时德国人中可能最具有民族性，在观点和习惯上仍然非常狭隘。奥肯在收到一位戈德富斯教授的回信时所作的评语说：

“在这封信里，你看到真正的德国人……他顾虑到钱袋，顾虑到路程，顾虑到陌生人，顾虑到住宿，顾虑到会议室，顾虑到政府。”

然而，公元 1812 年在来比锡举行了说德语的科学家和医生协会第一次会议，人们叫它做德国自然科学家会议。约有二十个发表过著作的科学家和六十位来宾出席了会议。随后每年在德国的主要城市举行了多次会议，人数也逐渐扩大；公元 1828 年在柏林举行的会议出席人数约六百人，公元 1842 年在美因茨的会议有一千人参加。奥肯声称这些会议是“德国人民团结的精神象征”。在第二次会议上，为了使会议更加通俗化，他主张会员应采用“一种生动的和即席的演说以代替费力地朗读书面原稿”。然而，“德国的学者仍然拘泥于他们的原稿”，奥肯的办法未能实现。的确一直到公元 1832 年，还有一个会员用拉丁语在会议上发表演说。

开头，德国各邦的统治者对科学代表会议抱有疑点，因为他们的言论都是自由主义的和民族主义的。在来比锡出席第一次会议的会员们为了害怕他们的政府会查出他们，都拒绝把他们的名字记录下来。奥地利的梅特涅向申请护照的维也纳科学家暗示，参加会议和他们的利益是违反的，结果一直到公元 1832 年在维也纳举行会议时才有奥地利科学家参加会议。可是普鲁士政府很早就看出科学代表会议对于德国的统一可以成为一种控制力量，并且从公元 1828 年起就扩大他们对会议的赞助。此后代表会议愈来愈在德国政府的控制之下，国家担任年会的主人，并任命那一年会议的主席和主持各次会议的秘书。公元 1828 年在柏林会议上，地理学家和探险家亚历山大·冯·洪保担任了主席。在他担任主席的演说中，他问道：

“我们国家的统一还能比这个协会更有力地表达出来吗？……在尊贵的王公的保护下，这个组织已与年俱增地使人们对它感到兴趣及其重要意义了。一切因宗教或政府形式不同而引起的不团结的因素在这里都搁在一旁了。不妨说，德国在知识的统一上显示了自己，而且……这种统一的感情决不可能削弱我们任何一个人对我们国家的宗教、宪法和法律的热爱。”

剑桥大学数学教授查尔斯·巴伯奇出席了公元 1828 年德国科学家的柏林会议，回国后，就建议在英国成立相似的学会。他的建议使英国在公元 1831 年成立了英国科学促进协会。后来在公元 1839 年全意大利科学家协会成立，接着公元 1848 年美国科学促进协会成立，公元 1872 年法国科学协会成立。在英国、法国和美国不存在民族问题，英国和美国的协会是为了联系国内分散的科学活动而成立的，法国的协会则是为了把科学从巴黎推广到各省。但是，在意大利确实发生民族问题，所以全意大利的科学代表会议具有与德国那些会议相似的特点。

意大利在拿破仑征服时期也曾兴起过民族感，但是与德国相反，意大利的民族运动并不针对法国，因为在拿破仑和他弟弟统治下，意大利已经统一并进行了改革。意大利的民族运动旨在反对奥地利，因为奥地利控制和影响公元 1815 年重新建立起来的八个分立的意大利州邦，而且这个民族运动在科学方面的表现，是围绕着公元 1837 年从美国回到意大利的拿破仑的侄子卡洛·波拿巴而具体化的。象他的叔父一样，卡洛·波拿巴对科学很有兴趣，公元 1832 年出版过一本《美洲鸟类》的著作，十年后又出版了一本意大利动物志。公元 1831 年佛罗伦萨的文艺杂志《文选》曾建议召开意大利科学家代表会议，但直到公元 1839 年在比萨举行第一次会议时才成为现实。这次代表会议主要是由卡洛·波拿巴、比萨大学的自然史教授保拉·萨维、佛罗伦萨大学物理学院院长维申齐·安蒂罗雷和他的助手、无色显微镜的发明者之一齐奥凡尼·亚米齐召集的。

在比萨召开的第一次代表会议约有四百人出席，并在以后九年内每年举行年会，公元 1847 年在威尼斯举行的最后一次代表会议出席者越过一千七百人。正象在德国一样，这些科学代表会议是民族舆论的首次反映。伦巴第的自由主义杂志《评论》描写第一次代表会议为“一群优秀的人物、一批来自意大利美好国土各地学者的集会，相互讨论，相互熟悉，并在科学的光辉与进步中，在祖国的荣誉中进行兄弟般的协作”。和意大利科学的经验传统相一致的是，意大利的代表会议比德国的代表会议作出为取得国家统一的更加实际的建议。有人建议建筑铁路来“缝制意大利长靴”，甚至提出强制措施。卡洛·波拿巴在公元 1844 年米兰代表会议上说到“把伦巴第从奴役中解放出来”；在公元 1847 年最后一次代表会议上，历史学家依几·康杜在结束地理学和考古学小组时说，他要“用刀子戳进那些不肯建立意大利统一的人的心脏”。

下一年意大利的复兴运动遭到了失败；奥地利人镇压了起义运动，也镇压了科学代表会议。参加复兴运动的意大利科学家纷纷逃往国外，最著名的一个科学家是化学家坎尼扎罗，他逃到巴黎。他后来于公元 1860 年出席了在卡尔鲁厄举行的欧洲化学家会议，这次会议的召集是决定测定原子量和原子价的根据的。在会议上，坎尼扎罗认为意大利的科学久已被人忽视，他的国人阿伏伽德罗约在五十年前就曾经提出一个假说，它所提供的正是今天全欧洲化学家在探寻的根据。会议一结束，坎尼扎罗就回到意大利加入加里波和他的千人红衫志愿军在西西里复兴运动，这次复兴运动与意大利北部的一次类似运动，导致了公元 1860 年国家的统一。但是科学代表会议的年会并没有立即开始。公元 1862 年在锡耶纳举行了一次，另一次于公元 1873 年在罗马举行，第三次于公元 1875 年在巴

勒莫举行，但是直到公元 1907 年，这些会议才在纯科学的立场上作为意大利的科学促进协会召开。

在这时候，德国和科学代表会议年会从公元 1822 年以来一直没有间断过。开头笼罩着历次代表会议的是一种民族主义和自由主义相结合的和睦感情，但当普鲁士的地主贵族集团容克于十九世纪六十年代开始从事德意志各邦的统一工作时，这两者就不再相容了。这样就分裂成两个阵营，民族主义者与容克联合起来努力建立德国国家的统一，而急进的自由主义者的主要目的则是以中产阶级民主代替容克的封建专制政府。当这种分裂在六十年代达到尖锐程度时，达尔文主义传到了德国并在科学代表会议年会上引起了辩论。许多急进自由派的生物学家，尤其是生物学家海克尔，以维护德国的达尔文主义为己任，而且他们的反对者也这样看他们；这一来达尔文的理论在德国比在别的国家掀起了一场更大的风潮。

公元 1863 年在什切青举行的德国科学家代表会议上，海克尔给达尔文主义的解释还是有人同情的，尽管他把人类社会也包括了进去。他在那次会议上说：进化“是自然的规律，人类的力量不论是暴君的武器还是神父的诅咒，都压制不了它”。然而，在俾斯麦统一德国和普法战争以后，人们对海克尔的看法有所不同了。公元 1877 年在慕尼黑举行的代表会议上，他受到自己从前一个老师微耳和的指摘，理由是他支持了一个在微耳和看来没有得到证实的错误理论。微耳和在他早年时期既是一个民族主义者，又是一个自由主义者，并且因为支持失败的公元 1848 年自由主义革命而被柏林沙里德医院开除职务。公元 1860 年时微耳和一度接受达尔文主义，但后来又改变了自己的观点。微耳和也稍稍放弃了自己早期的自由主义，而接受（即使不是支持的话）容克集团的盟主地位。公元 1878 年普鲁士教育部长禁止德国中学里讲授达尔文主义，微耳和以他在赖切斯塔格大学的地位支持了这一法令。在公元 1877 年慕尼黑举行的德国科学家代表会议上，微耳和宣称达尔文主义是一种社会主义学说，而且达尔文的理论在德国的确和社会主义联系起来，因为急进自由主义衰退了，而为社会主义取而代之。德国的社会主义者欢迎海克尔进化论的一元论，而且海克尔为了迎合公众的心情还写了解释自己观点的通俗著作，有如公元 1899 年的《宇宙之谜》；德国工人阶级广泛地阅读了这部书。

海克尔以后，自由的达尔文主义传统不绝如缕，德国科学的主要趋向是一种不断增长的民族主义。公元 1914 年九十三个著名德国科学家和学者包括拜耳、欧立希、哈柏、奥斯特瓦尔德和普朗克在内，签名发表一篇宣言，谴责现代英国和法国科学家的剽窃行为，并声称有许多科学发现是德国科学家首先发现的，但国外还没有得到承认。若干杰出的说德语的科学家并不参与这个宣言，特别是爱因斯坦，但他们是少数。第一次世界大战以后，某些德国科学家，尤其是勒纳（Lenard）和斯塔克（Stark）成了极端的民族主义者，鼓吹希特勒社党的典型理论，诸如德意志种族及其成就的先天优越性等等，甚至在国社党建立以前就这样说了。象斯塔克和勒纳那样走极端的科学家是极少数，但当国社党于公元 1933 年掌权时，多数学家都无视它的政策和行动而支持扩大德国疆土的号召，即使不赞成为达到上述目的所采取的一些方式。有些德国科学家，著名的如马克斯·冯·劳厄（Max von Laue）在整个第三帝国时期始终没有沾上民族主义，但他们仍然是少数。

从公元 1933 年起，德国民族主义开始削弱了德国的科学，但大部分都是无意造成的。国家社会主义者的观点与近代科学的精神之间存在着一种基本的矛

盾：国家社会主义者认为有一个享有特权的种族，而且这个种族里有一种通过直觉而且有超越理解力的特权的人；近代科学则认为人大多数都是平等的，是自然的同等观测者，只要有仪器和适当的训练，就能观察到同样事物并达到同样结论。爱因斯坦相对论的一条基本假设是，宇宙里所有观测者都是同等的和对称的，因此特别受到斯塔克和其他人的谴责。这种对特权直觉的强调，并拿来和公有的观测和推理对立，导致了德国大学里学习科学科目的学生人数下降。这种下降在理论物理学方面最为显著，公元 1932—1933 年下学期，德国学习与数学有关的自然科学的学生人数是 12, 951 人，而在公元 1936—1937 年同一学期里只有 4, 616 人。比较实用的科目方面，如工程学下降虽然不很显著，但仍旧很大；这两个时期的相应学生人数是 14, 477 人和 7, 649 人。学生的教育质量也降低了，因为那些从政治上或人种上被认为不能接受的科学家都要被革职，而以那些主要是由于同情国社党而被挑选出来的人代替他们。

在第三帝国统治下，学习实用科学科目的学生人数下降得较少，是因为德国科学提倡一种经验主义。公元 1937 年斯塔克在《黑色军团》杂志上发表了一篇文章，也在英国杂志《自然》上发表过；在那篇文章里，他把他赞成的实用科学和他憎恶的教条的和理论的科学加以对照，认为理论科学大部分是犹太人的产物。在第三帝国统治下，经验主义受到德国科学的宠爱，因为它和歌颂行动的人相适应，而理论科学与国家社会主义的教义则往往是抵触的。在物理学上则所有观察者都是同等的假设，而生物学家和人类学家的发现也并不总是同德国的种族理论相一致。

国家社会主义的精神逐渐传染德国科学家，他们开始把自己看作是伟大的人物和科学的领袖，而不是与别人处于同等地位和科学界成员。在国家水平与个人水平上都出现了自我颂扬的倾向。勒纳断言正是他而不是伦琴发现了 X 射线，同时，在原子研究上，盖拉赫（Gerlach）直到公元 1944 年 12 月还声称：“我确信我们现在仍然比美国领先”。一年前在给德国研究委员会挂名主席戈林的一篇关于核物理学的官方报告里，也表述了相同的观点。服从领袖的原则也不鼓励研究部门的头头采纳他们后辈的建议。在公元 1941 年，好象海森堡就没有理会豪特曼斯（Houtermans）提出的一项建议，即建立一个铀堆来制造比铀更重的元素以进行原子爆炸。

国家社会主义渗透德国科学导致了许多事情，如占星术预言的复活，如有些德国医生对人身进行无目的和残酷的试验，但是最重要的一条历史后果，是导致了德国基础研究工作及其应用的衰退，并从而导致了德国军事力量的衰落。德国工程师的技术和工艺发明能力在三十年代和四十年代仍然很高，这从他们的音响磁性水雷，V1 和 V2 飞弹，以及他们的飞机，都可以看出，但其他依靠基础科学的事情则成就不大。直到第二次世界大战接近结束为止，除掉不被理会的豪特曼斯外，德国就没有一个人想到用一种比铀更重的元素来合成原子弹。发展一种由质量是 235 的轻铀同位素合成原子弹的可能性曾经有人建议过，但建议被放弃了，因为德国科学家认为铀同位素的分离是不可能的。但是这种分离在美国却做到了，而且通过铀反应堆，比铀更重的元素也制造出来了。德国科学家仅仅想到把铀反应堆用作一种能源，如果反应堆大的话，则用作炸弹。他们直到公元 1945 年过了一半时还没有造出这样的铀反应堆，那就是说，他们还没有达到公元 1942 年末美国已达到的地步。

在无线电定位方面，德国人还没有超过用普通无线电电子管的水平，即产生波长为一米的无线电波。在英国，磁控管的发展能产生波长为几厘米的无线电波；

这在对客体定位方面提供了较大的准确性而且较少外来干扰。还有，德国人并不重视操作研究的价值，即运用科学方法来确定调度有限军事资源的最有效方式，而第二次世界大战中协约国在这方面的发展大大节约了人力和物力。在第二次世界大战期间德国人普遍低估了科学的价值，并把他们的年青科学家征调到军队里去。总而言之，德国经验得出的结论是，这是一个由与科学相对抗的价值观念所建立和维持的社会，在现代世界必将成为历史作用愈来愈少的社会。

第四十七章

美国和苏联的科学概况

本世纪露头角的美国和苏联这两个国家的科学传统，在其形成时期显得差别非常之大。在苏维埃以前的时期，俄国人在科学上主要贡献是在理论方面——非欧几里得几何学、周期表的确定形式和条件反射理论；而美国人在同时期的科学活动则主要是实用的或应用的性质——麻醉药、电话和飞机。只有耶鲁大学的威拉德·吉布斯（Willard Gibbs，公元 1839—1903）在这方面是个杰出的例外，但他的工作有一段时期在他的本国和欧洲都不受到重视。今天这两个国家的科学都比较平衡了，原来的那种显著差别简直不存在了。美国科学原有的那种经验色彩大部分已经消失，而哲学性质或意识形态性质的理论性争论作为一个特征而言，在苏联科学上也愈来愈不突出了。科学活动的大幅度增长，使民族特征不论在美国或者在苏联，都淹没掉了，并迫使这些国家采用统一的方式和概念。

美国科学的传统导源于英国的传统，有相当长的一个时期两国的传统非常相似。可是从一开头，美国就比英国更加强调科学的实用方面。在十七世纪，我们知道英国在清教和科学活动之间存在着一种联盟，而且我们发现美国信奉清教的几个州，在殖民时期曾经给英国皇家学会提供最多的会员。美国会员有十一个来自新英格兰，三个来自宾夕法尼亚，三个来自弗吉尼亚，一个来自卡罗来纳。清教本身就倾向于指引科学走向实际，科学的有效应用被视为“有益的工作”。第一个著名的美国科学团体从它的名称也可以看出新世界里科学的功利主义方向：它叫做“美国增进有用知识哲学协会”，它是由本杰明·富兰克林于公元 1743 年在费拉德尔菲亚建立的。

美国的独立运动于公元 1775—1782 年间达到顶峰时，出现了一个总的知识觉醒，特别是激发了科学活动。这个时期最重要的美国科学家是本杰明·富兰克林，他发现闪电是电的特性，并根据这个发现发明了避雷针。公元 1780 年在英国有一场关于制造避雷针是用尖棒好还是用圆球好的争论，这场争论看来和富兰克林是美国独立运动一个主要角色这一事实并非完全无关。独立运动的另一方面还耸立着另一个著名的美国科学家伦福德伯爵，不过他对科学感到很大兴趣好象在他移居欧洲以后。伦福德是伦敦皇家学会的主要创始人，而且说也奇怪，一个英国人詹姆斯·史密森（James Smithson，公元 1765—1828）却为在华盛顿建立一个与这个学会相应的史密森学会提供基金。史密森是诺森伯兰的第一代公爵的私生子；由于公爵不肯公开承认这种关系，使史密森对贵族普遍抱有反感，因而支持美国独立运动和法国革命。史密森于公元 1828 年逝世时，把他的财产遗赠给美国政府，以便使他们可以建立一个增进和传播人类知识的学会。美国政府于公元 1838 年得到了他的财产，约瑟夫·亨利（Joseph Henry，公元 1799—1878）于公元 1846 年任史密森学会的第一任会长。亨利指出：在美国，

“虽然许多人长于把科学应用于实际生活，但很少有人为了发现和发展

新的真理的必要而进行辛勤的劳动和认真的思索。”

亨利因此力图把学会办成一个基础科学的研究中心，尽管他时常被指定去担任应用科学的研究工作，例如，在美国内战时期他被任命为北方政府在军事发明方面的总顾问。

一个对美国科学传统的形成具有相当影响的人是托马斯·爱迪生。亨利·福特讲到爱迪生时指出：他

“明确地结束了理论科学家与实用科学家的区别，使我们今天想到科学的发现时，总联带想起这些发现可能在现在或将来应用于人类的需要。他以精密的科学知识代替工业上光凭老经验的方法，另一方面他又把科学的研究引入有用的渠道。”

公元 1876 年建立于门洛帕克的爱迪生的“发明工厂”，是美国许多巨大的工业研究实验室的原型；在第二次世界大战以前，美国用于科学研究工作的经费大部分都花在这些工业实验室里。这些实验室所雇用的人比爱迪生更通晓基础科学，他们所取得的进展相当重要，例如欧文·兰米尔（Irving Langmuir）的科学研究就是这样，他从公元 1909 年到公元 1950 年都在通用电气公司的实验室里工作。

第二次世界大战以后，美国人对于美国科学的片面性非常关切。原子弹大部分是靠工艺技术和雄厚资源发展起来的，而关于原子弹的基本科学知识则主要是在欧洲发展的；而且德国的经验似乎表明了基础理论领域的失败会导致政治和军事上的失败。根据罗斯福总统的要求，科学发展和研究工作办公室主任万尼瓦尔·布什在大战期间起草了一份关于这个问题的官方报告，后于公元 1945 年发表。布写道：

“我们国家在实用科学研究和工艺技术方面的卓越性，不应使我们看不见这一事实，即美国在纯科学的新的基础知识和基本科学原理的发现方面，是居第二位的……在下一代，技术进步和基本科学发现将是分不开的；而一个借助别的国家供应基本科学知识的国家，在革新的竞赛中将处于极端不利的地位。”

为了纠正这种状态，布什建议提出一笔国立科学研究基金，专门用于科学研究工作，两年后，斯蒂尔曼向美国总统提出了《科学与国家政策》的报告，附上一大堆文件阐述了与布什相同的观点。这个问题在美国国会里进行了辩论，公元 1950 年国会通过了国家科学基金法案，拨给了基础科学研究资金。但是就在这件事情上，美国的实用传统仍很突出，因为法案里有一项规定：基金可以根据国防部长的请求首先支持某些军事性质的实用研究。

美国直到最近还是人口比较稀少但又拥有丰富的自然资源的国家，美国科学传统的功利主义性质也许与这个事实有关。这样一种情形使人们特别重视节省劳力的办法和长途交通与旅行的方法，而科学探索的方向也是为了达到这些实用目的的。再者，在一个创业的社会里，一般说来，有用的技术总是受到重视，而一个主要属于理论家之流的人则被视为没有出息。例如在十九世纪的后期，耶鲁大学就有过一个撤换威拉德·吉布斯的运动，原因是他在热力学和统计力学方面的理论研究好象没有什么实际用处。今天，美国当然进行了大量的基础研究工作，但是功利主义的传统仍然存在，并使最抽象最有理论性的学科——哲学，染上了这种色彩和具有这种面貌。一个完全发源于美国的哲学学派是哲学的实用主义，主要是由查尔斯·皮尔斯（Charles Peirce，公元 1839—1914）和威廉·詹姆斯（William James，公元 1842—1910）提倡起来的。在科学的哲学领域里，

实用主义者认为科学定义、概念或理论的意义不过是它所包括的一套操作。因此“长度”可以用一系列的实际操作，包括空间测量的操作，来给它下定义。这样给概念下定义的操作不一定是物质的：也可以是铅笔和纸的操作，或纯心理的操作，就象某些数学定义那样；但是这些操作主要是作为“活动”来看待的，和那种欧洲人静止的和沉思的研究方法截然不同，因为后者探索的是构成科学观念或定义的意义究竟是什么。总的说来，实用主义者倾向于这种看法，即詹姆斯所说的：“只要相信一个观念对我们的生活有益，它就是真的。”詹姆斯写道：“所谓真的只是我们的思维方式上方便的东西，当然所谓方便是指长期和整个而言。”这样一种哲学主要是创业者和实用家观点的一种明确而概括的表述，因为这些人主要关心的是观念的功利意义。

与十九世纪的美国相反，旧俄并不缺乏劳动力，而当时知道的自然资源则是由政府奖励的垄断企业严密控制的，相当于早期斯图亚特王朝的英国式十八世纪的法国那样。正如英法在早期年代一样，这样的情况激起了一种批判的和反抗的精神；十九世纪俄国的知识分子，就象一个世纪以前的法国哲学家那样，运用科学的理论去质问他们所生活的社会借以存在的信仰。他们特别运用了达尔文主义，强调了达尔文理论的一个方面——即一个物种的有机体之间的协作关系——这好象是支持他们的社会理论的。圣彼得堡的动物学家凯斯勒（Kessler）于公元 1880 年发表了一本《论互助规律》的著作，他的信徒们克鲁泡特金王子和诺维科夫则收集了许多材料说明内部特定的合作，这些材料二十年后都发表了。或许可以说，十九世纪的俄国科学具有一种理论的和思辨的性质，这和十八世纪的法国科学具有理论的和思辨的性质，其原因大致相同：技术企业和科学应用受到时代条件的限制，同时，这些情况激起了理论批判，也牵涉到科学，并形成那个时代的科学所具有的一些特点。十九世纪俄国科学和美国科学之间所存在的那种理论与实用的差异，实际上就象十八世纪法国科学与英国科学的差异一样。的确，正如美国科学的传统导源于英国一样，俄国的科学传统也源自法国。公元 1724 年彼得大帝建立圣彼得堡科学院就是以巴黎科学院为蓝本的，许多法国的文人，其中最著名的是狄德罗，在十八世纪后期都曾到彼得堡旅行过。正如我们看到的，圣彼得堡学院一度曾任用科学家，最初是瑞士人欧勒和贝努利，然后是德国人，如胚胎学这沃尔弗和冯·贝尔。第一个著名的俄国院士是罗蒙诺索夫（Lomonosov，公元 1711—1765），拉瓦锡曾经引用过他的反燃素说理论。后来，其他各地都建立了科学学会，往往与当地的大学联系在一起，如莫斯科、喀山、哈尔科夫、基辅等。出身于遥远喀山的罗巴切夫斯基（Lobachevsky，公元 1793—1865）于公元 1830 年发展了非欧几里得几何学的第一个综合系统。

在俄国革命期间，犹如法国革命期间一样，科学家的活动都针对实用的目的，同时设法培养更多的科学家，从而扩展这个国家的科学活动。随着俄国革命而来的混乱比法国革命时要大些，因而这些企图直到二十世纪三十年代方才获得成果。已故的苏维埃科学院院长瓦维洛夫（Vavilov）在他的《俄国科学简史》中说，苏联的学生在公元 1920 年后期达到了革命前的 112,000 人，分布在 91 个大学和学院里，而在公元 1941 年则达到 667,000 人，分布在约 800 个院校里。这样训练出来的学生究竟做了多少工作，可以由发表原始研究论文的俄国科学期刊的数字提供一个索引。瓦维洛夫说，在革命前物理科学领域只有一个定期刊物，其发行额为 200 份，而在公元 1948 年这样的定期刊物有五种，而每种的发行额约为 5000 份。

在旧俄时期和反抗精神密切结合在一起，而且今天影响着苏联科学的哲学，

即辩证唯物主义，是卡尔·马克思（公元1818—1883）所创立，并为他的合作者弗里德里希·恩格斯在《自然辩证法》中第一次把它应用于科学问题。苏联科学家在二十年代拿起了恩格斯的这本著作，而且有一个时期，特别是公元1945—1955年，关于辩证唯物主义与科学理论的关系的争论是苏联科学的一个显著特征。辩证唯物主义者认为科学理论应以下列观点为基础：第一，关于物质世界的概念，这个物质世界在人类出现以前就已存在，而且在没有人类的时候，它仍将继续存在下去。第二，世界上的一切事物通过因果关系而相互联系着，人类通过科学方法能够无限制地研究并阐明这种关系，这样获得的知识将逐渐接近自然界的实际活动方式而不受任何限制。第三，通过探索自然的起源，自然的形成过程以及自然的历史的进化，能够深入洞察自然的各个体系。第四，这些过程由两个相互排斥而又相互联系的主要因素所构成，提供了那些过程的动力。第五，每个自然过程本身都是有限的，而且当它的内部矛盾消失或解决时，这个自然过程就完结了，但它自身或许为另一完全不同的过程开辟道路。换句话说，任何过程的量变最终将引起那个过程的质变。

尽管这些论点在一起是辩证唯物主义所特有的，但每一个论点本身并不是辩证唯物主义所特有的。德国的自然哲学家主张后三条，但否认前两条的正确性，因为他们断言心灵或精神是最终的实在，自然界是精神自我运动的外化表现，只是在精神的自我运动中存在着发展的因果关系。十九世纪机械论哲学家多数主张前三条，而不主张后两条，他们总的认为自然过程的动力是直线的因果链条所构成，而不是相互作用因素的复合，因为在这复合中因与果分不清楚。可是自然哲学在十九世纪被抛弃了，而机械论哲学的论点由在本世纪引起许多怀疑。由马赫开创的思想派别认为一个独立物质世界的假设是形而上学的多余物，因为只有感官知觉是直接为科学家掌握的；这些认识在组成定律或关系时，虽然有一种启发式的用途，但它们并不能给予我们关于假设的物质世界自身的知识，还有，海森堡的测不准原理意味着一个科学家能够获得的关于物质世界知识有一种明确的限制：在决定一个亚原子粒子的动量和位置方面总有一种不能消除的不确定性。最后，对于历史的研究也有人提出疑议，特别是某些西方的人类学家和社会学家，他们认为对原始社会和文明社会的静态结构的研究，比对它们可疑的历史进化的研究更有启示。

西方的正统科学家对于这些对十九世纪科学观点的批评不愿意接受，若干人对于那些涉及辩证唯物主义与机械论哲学所共有的教义的问题，则采取了苏联科学家共同的态度。例如美国的爱因斯坦与法国的德·布罗意，以及苏联的某些物理学家，都表示了同样的观点，即物理现象原则上是完全决定论的，测不准原理仅仅说明量子力学的目前形式还不完善。他们认为今天的量子力学主要是统计地处理含有大量物理系统集合的一种方法，主要是原子或亚原子粒子，所以在这种理论的基础上，对于个别系统或单个原子无法作出最后陈述。例如，一定数目的放射性原子，其半数衰变需要多久是能够定得比较准确的，但一个特定原子的衰变时刻就完全不能确定了，而且已经证明除非放弃量子力学理论的某些要点，这种知识障碍是无法克服的。因此，爱因斯坦与德·布罗意，以及某些苏联物理学家，主要是兰道（Landau），都声称量子力学是一种暂时的理论，它将会成为一种更广泛概括的极限情况，而在这种更广泛的概括下，单个原子的行为将是更加确定的和更可以说明的。为了给这种更广泛的理论提供基础，这些物理学家的学生曾经探索了一些概念模型；在这些概念模型里，粒子是作为电磁场的奇点出现的。

同样而且更大更复杂的一场争论是在苏联生物学界引起的，即关于有机体的遗传变化是决定论的还是非决定论的问题。大约从公元 1930 年起，苏联生物学家李森科（Lysenko）继续植物栽培家米丘林（Michurin）的研究，发展了一种理论，主张植物的遗传素质在其早期的某些生长阶段是不稳定的或“可以动摇的”，植物受到环境对它引起的变化，使植物、植物的种子并从而使植物的后代能适应新的情况。十九世纪中叶以来，一般认为冬小麦春播通常不会结实，如将萌动的种子弄湿，并在播种前使其冷冻则可以结实。这种“春化”种子不能用通常农业的方法去播种，因为它们已经萌动，但是李森科在公元 1930 年表明，如果把弄湿和冷冻的程度减低，虽然种子还未萌动，但仍然被春化，所以能够用通常的方法播种，冬小麦如通常春化的那样，并没有起什么变化，它们产生的种子仍是冬小麦，如果在春季而不在冬季播种，就需要春化。可是经过许多实验之后，李森科声称在某种关键性的春化条件下，植物会永远变为春小麦，它的种子以后不再需要春化。

李森科和他的学派于是攻击孟德尔的遗传学理论，反驳他们所谓遗传变化一般不适应新环境条件的观点。遗传学的问题以及遗传学在农业上的应用，在苏联列宁农业科学院的主持下的一系列会议上，从公元 1934 年起广泛地进行了讨论；从公元 1948 年起米丘林学派短期获得优势，而苏联的孟德尔遗传学派则暂时解体了。

与此同时，其他领域里一般公认的理论，如天文学、化学、医学、心理学和人类学，在苏联也为科学家研究过，提出了批判，认为这些不符合辩证唯物主义，并在苏联和西方引起了争论。但是这些争论不久便丧失其原来的动力，因为人们普遍都领会到，经济上有成果的应用科学要能取得进展，要看在实验室和现场能否发展新的更准确的基本理论而定，而不靠哲学上的讨论决定，因为哲学已经有了充分发展，并且不再处在知识的前线了。

第四十八章

科学和历史

如果我们要说明科学的过去情形和科学在历史上的成就，我们就会发现很难找到一种能简洁表示的适用于一切时间和地点的科学定义。青铜时代的科学和古希腊人的科学存在着显著的不同，而希腊的科学也仅在少数几点上可以和现代的很多方面的科学相比。当然，历代的科学虽然变化多端，但也有其连续性，因为每一时代的人们总是对他们所继承下来的科学遗产作了进一步的发展和补充。因此，我们或许可以说，科学就是人类在历史上积累起来的。有关自然界的相互联系着技术、经验和理论知识的不断发展活动。美国的科学史权威萨尔蒙(Sarton)，事实上就认为在这个意义上，科学可看作是“人类的真正有积累性和进步性的唯一活动”。但是，到目前为止，真正有积累性的只是科学中的一个部分，即科学的应用技术和它的经验事实及其规律。从长期来看，到今天为止的科学理论都是暂时的。古希腊人的杠杆原理和光的反射原理已成为科学永久遗产的一部分，但是古希腊人另外的一些理论，现在看来就只具有历史价值了。同样，只要现代科学的发展以目前的速度持续下去，我们就很难设想今天科学的任何理论会长期保持不变。

在青铜文化时期，数学和天文学大部分只不过用于记账、测量和制定历法等功利主义的技术。那时候的科学在性质上和工匠的技术没有多大不同，只是前者是通过文字记载而不是通过口头传授保存下来。古希腊人发现，经验上已知的同类特殊事实，可从理论上证明并适用于一切类似的情况，在科学前进道路上就迈出了重要的一步；在这里，毕达哥拉斯定理和杠杆原理都是例子。希腊人还用几何学来对他们的天文观察作理论性解释，因而使经验性材料开始赋予宇宙理论以一种定量的结构。但是，在希腊占统治地位的世界体系是受到天体的地位优于地球的地位的见解影响的；正由于此，古希腊人就赞成地球中心说，特别是同心圆体系和本轮体系的形式，这两种都是跟古代所知道的事实相矛盾的。不但如此，希腊人虽则有时也作了一些实验，但是他并没有发展一种有逻辑连贯性的实验方法。他们也没有把科学应用到新的领域中去，除了可能在军事工程和绘制世界地图方面有所采用。

继起的罗马、穆斯林世界和中世纪欧洲的文明，并没有超出古希腊文明的限度和水平；古希腊文明对它们的影响也不很大。但是在现代史时期，科学以及促使科学前进的一些力量，就发挥出一种越来越大的改变历史进程的力量。实验的探索方法，加上在十七世纪早期几十年中人们所讨论的定性归纳方法和定量演绎方法，逐渐在一切科学中找到其适当地位并得到应用。这些方法首先被应用到力学和天文学上面，从而说明了太阳系的结构和运动；然后运用到电学、化学、生物学以及其他科学上面，使这些学科更加精确并取得成果。诸如此类的发展有助于使人们的思想大大地世俗化，而摆脱宗教的藩篱。不管人们对科学抱有同情或

反感，科学在人类的总思想体系中占有越来越重要的地位，而且在工业化的国家里，影响到人们对宇宙的性质和人在宇宙中的地位的看法。科学的应用也超出了古典时代测量土地和制订历法的范围，不但用在航海方面，也用到工业、农业、和医学方面。这样造成的变化对现代文明的形成起了很大的作用，摧毁了旧传统和旧的生活方式。因此当我们谈到现代文明在东方传播时，我们想到的主要也就是科学及科学应用的传播。

科学应用所产生的深远后果，在本世纪开头还没有普遍为人们觉察到。詹姆斯·瓦特简直不曾预见到工厂用了他的蒸汽机以后，会出现城市人口集中的情况；法拉第也没有预见到用他的电学研究成果协助解决公共交通和电力输送的问题，就会出现近郊城市，从而减轻了中心城市的拥挤。科学的长期发展会导致一些为人们最初料想不到的结果，一个突出的例子是产生科学的时代和社会原来看作是有价值的事情，后来却受到限制而并不能得到充分的实现。譬如说，近代人们认为人生的价值或意义在于个人奋斗和个性发展，而由于有这种动力，所以才有近代科学的发展；这种动力之产生，直接是出于探索自然界的个人欲望，间接是由于科学和人们表现上述人生价值的运动有关系，诸如地理大发现、农业上和工业上的革命。但除其他因素不计外，科学应用范围的扩大却使个人奋斗和个人发展受到越来越大的限制。蒸汽机和新型纺织机器结束了个体操作的手织机时代，后来的发展使工业技术单位变得更大了，把个体劳动者圈入了一个复合的组织之中，从而限制了他们的活动。代替若干小蒸汽机的发电站一开始时只是为一个大地地区服务，但不久人们就发现把发电站变为一个全国性单位的一个部分，和其他地区的发电站通过发电网联成一气，操作起来就可以大大增进工作效率。最后，在发现了原子能之后，人们就认为这种新发展太宝贵了，力量太强大了，不能让私人利用，因此原子能的利用在各国都由国家经营，即使在那些私营企业最受重视和最根深蒂固的国家中也是如此。

在现代世界中，科学主要导致了思想的非宗教化或世俗化，和科学实际应用的发展，但是科学对于人生价值和人的判断的标准也起了一定的影响。有些科学家，特别是一些生物学家，企图从进化论中引伸出一套伦理准则；但是比起任何特殊的科学理论来，对人类的价值观影响更大的恐怕还是科学的方法论。科学方法依靠理性论证而不诉诸情感，它提出在不同观点中进行抉择时必须尊重经验的证明，这种做法现在比起一百年前好象更广泛地被运用到处理人与人的关系方面来了。值得注意的是用决斗来解决意见分歧，这种风尚在十九世纪初期已开始不流行了，而十九世纪正是当时人们所叫做的“科学世纪”；而且当时反对用决斗解决个人纠纷的人，多半也是最有科学头脑的英法中产阶级。人们受到科学态度的影响，而采取一种理性主义和人道主义观点，这种趋向可举下面一个例子来说明：十九世纪中叶的许多英国科学家都对牙买加总督艾（Eyre）用极其专制和野蛮的手段镇压当地人民的公元 1863 年暴动，提出严重的抗议。特里维廉

（Trevelyan）在他的《约翰·布赖特传》中论及这件事时说：“除了迁德（Tyndal）而外，当时有名的科学家如达尔文、赫胥黎、穆勒、莱斯利·斯蒂芬、查理·赖尔爵士，都站在法律和人道主义一边，但是那些一贯指责科学的人生观残酷无情的人，如卡莱尔、拉斯金、金斯莱、坦尼森，则通过他们的言行，表明感情用事的人只知道一味崇拜强权和强者。”

科学方法的另一特点是，科学总要发展，并有新的发现，这或许也影响到人们的价值观。科学方法主要是发现新现象、制定新理论的一种手段，因此不断地在扩大人类知识的体系；只要科学方法应用得上，旧的科学理论就必然会不断地

为新的理论推翻。关于这一点，美国的科学史权威萨尔顿说过：

“科学总是革命的和非正统的；这是它的本性；只有科学在睡大觉才不如此。”

受了科学的这种特性影响的人总是向前看，并且对保守力量很大的旧制度总是忍受不了。我们记得约瑟夫·普利斯特列就说过，他“在差不多一切问题上总看到有理由去支持一般被称为异端或不正统的方面”，在论及天主教会和科学的关系时，普利斯特列还说，天主教皇越是赞助科学和文学，他就是

“在支持他的化装敌人，同时，英国各个不同等级的教会人士（如果他们的组织有什么缺点的话），在看到一架抽气机和发电机时，也有同样的理由发抖。”

虽说如此，科学方法对科学家所起的影响大体上还是不大的。科学家一般都接受他们所属社会对人生价值的看法，即使在这些价值对科学的发展有害，如在第三帝国统治下的德国情况那样，他们也仍然会这样做。

对于科学所产生的其他变化以及科学本身的发展，也可以采取以上类似的看法。即使科学有其自身的传统和动力，我们还是不能把科学看作是一种完全自动的历史现象，也不能把它看作完全是促进历史变化的一种独立自主的动力。许许多多的历史运动过程形成一个相互联系的复合体，而科学的发展只是这许多过程中的一个过程，而且直到最近时期以前，在这个复合体中也还是个次要的力量。一个给定时代的科学，不但隶属于这个时代的传统，包括其自身的方法、价值和积累的知识在内，而且隶属于它的那个历史时代；在这个时代中除科学而外，还有作用于这个时代的另外一些动力。在比较安定的历史时期（如欧洲中世纪那样），科学的进展是不大显著的，但是在那些扩张发展的历史时期，科学就蓬勃发展起来。不但如此，在一定时期中，科学发展过程也有赶时髦、迟疑不决、或者突然变化的情况，而且这些情况看来都不是由科学的内部原因所造成的。在现代史上，科学在十八世纪的上叶就古怪地出现过停滞时期，特别影响到化学和光学，在较小程度上也影响了电学。

这类的事件表明，科学的活动有时被引入一个渠道，然后又被引入另一渠道，而促进科学的力量有松弛下来，有时甚至把科学拖着后退。一般的情况是，我们不妨说某一历史时期的实际问题，对当时科学家所进行的经验性研究起了一定影响，同时，这个时代的思想潮流也影响当时科学理论的表达形式。譬如说，十六世纪的地理发现就刺激了人们去探索测定经度的方法，并促进了为这种方法所引起的天文学和力学问题的研究。同样，十九世纪英国放任主义思潮对自然选择的理论也起过一定的影响，这种影响达尔文也承认，因为他就说过自己受到马尔萨斯学说的启发，但是实际问题和理论问题的分野并不那样鲜明和严格。实际问题往往激发新理论的诞生，如热力学就部分地是由于对蒸汽机问题的研究而产生的；而理论思潮有时也把科学研究引向一些特殊的渠道，如德国的浪漫主义和历史主义的哲学，在十八世纪后期和十九世纪初期就促进了德国科学中胚胎学研究的

发展。在过去，促进科学发展的力量并不是有意识地朝一定方向前进的，只有这些力量所产生的结果会立即为人们看出来。科学家在十七世纪快完结时看出了“自然哲学当前的萎靡不振状态”，不过导致这种状态的原因是不十分清楚的。但是在现代，科学已经有意识地并直接地引向具体的领域，而且这些具体领域的选择已经越来越不操在科学家手里了。科学研究工作变行越来越复杂化，业余科学家的传统衰落了，而且除了大学和研究院而外，科学研究工作也越来越变得专业化，

并受科学以外的机关或团体所控制，这也就是说为工业和政府部门所组织起来的研究机关或团体所控制。

这些机关或团体所关心的主要是科学的应用；几十年来，它们为科学研究提供了大量资金。起初他们着重于研究如何来改进工业、农业和医药，如英国就在公元 1917 年成立了科学和工业研究部，几年以后还成立了医学研究院。后来，科学研究工作就越来越着重军事科学种种问题的研究，民间和政府的统计数字表明在公元 1936—1937 年度至公元 1950—1951 年度，英国政府用在军事科学研究的经费已增加了六十七倍；在同一时期，工业科学研究的经费只增加了十倍，医药方面增加了九倍，农业科学研究方面只增加了八倍。比较起来，英国政府对仍在进行基础科学研究大学，所给予的补助经费在同一时期只增加了六倍。从这些数字分布的情况，可以看出近代科学发展的一般倾向，以及近代应用科学的活动的一些特点；一般说来，工业不大发达的国家总是在大力开展工业方面的科学研究，但工业比较发达的国家则把大部分拨款用在军事科学研究方面。

这样的发展情况在基础科学方面已经起了一定的影响，譬如说，现在感到需要大量的原子物理学家，并必须对核物理进行基础性的研究工作，这都是科学新发展的倾向所造成的。科学发展还使以上种种研究处在保密状态，这从旧的科学传统看来是跟科学交流的精神不符合的。再者，科学发展的倾向要求科学家服从他们社会中统治阶段所认为有价值的东西以及他们的一些观点，并加以奖励；这种倾向在本世纪中叶还使得科学的某些学说和两种对立的意识形态之一联系起来。

在整个历史过程中，人们对一些科学理论赞同或反对，除了根据科学方法的标准来考虑外，往往根据这些理论是否符合当时当地一般人所接受的信念来决定的。尤其是当两种比较势均力敌的力量相互对立的时候，判断和行动总是按照这样的标准来进行。譬如在宗教改革运动和天主教反宗教改革运动的时期，人们对哥白尼和托勒密的不同学说的判断，就往往以科学方法之外的标准作为依据。在二十世纪中叶，也出现了不无相似的情况：遗传学上两种对立理论的争论（虽然这两种理论都和宗教不沾边），引起了和十六、十七世纪的天文学说的争论近似的激烈情绪。但是，这恰恰说明了科学在现代历史中的重要地位。十五到十六世纪的科学革命对于宗教改革运动的力量或者反宗教改革运动的力量，影响都很小，甚至于没有什么影响；相反，现在一般人都承认，对二十世纪任何重大的历史运动的力量来说，科学已成为一种举足轻重的决定性因素了。

附 录

人名译名对照表

Abn Ahmad	阿本·阿哈马
Abubacer	阿布巴克儿
Abulcasis	阿布卡西斯
Adams	亚当斯
Addison, Joseph	艾迪生, 约瑟夫
Aepinus, Franz	埃皮努斯, 弗兰茨
Agassiz, Louis	阿加西斯, 路易斯
Al-Banakati	阿尔-巴那卡提
Al-Battani	阿尔-巴塔尼
Al-Farghani	阿尔-法尔干尼
Al-Hakim	阿尔-哈基姆
Al-Hazen	阿尔-哈金
Al-Khwarizmi	阿尔-花刺子模
Al-Maghribi	阿尔-马格里比
Al-Mamun	阿尔-马蒙
Al-Mansur	阿尔-曼苏尔
Al-Masudi	阿尔-马苏第
Al-Nadim	阿尔-那底姆
Al-Razi	阿尔-拉兹
Al-Zarkali	阿尔-查尔卡利
Albert	艾伯特
Albiruni	阿尔白鲁尼
Alcmaeon	阿尔克梅翁
Alpetrugius	阿尔白特鲁基乌斯
Altdorf	阿尔特道尔夫
Ambrose	昂布罗斯
Amici, Giovanni	亚米齐, 齐奥凡尼
Amos	亚摩士
Ampère, André Marie	安培, 昂德累·马里
Anarcharsis	安纳查昔司
Anaxagoras	阿那克萨哥拉
Anaximander	阿那克西曼德
Anaximenes	阿那克西米尼

Anderson, John	安德森, 约翰
Angelo, Michael	安吉洛, 迈克尔
Antinovi, Vincenzo	安蒂罗雷, 维申齐俄
Apollonius	阿波罗尼
Arago	阿拉戈
Archimedes	阿基米德
Aristarchus	阿利斯塔克
Aristotle	亚里士多德
Arkwright	阿克赖特
Aryabhatas	阿耶波多
Asclepiades	阿斯克勒必阿底斯
Aston	阿斯顿
Aubrey, John	奥布里, 约翰
Augustine	奥古斯丁
Aurelius Marcus	奥里略, 马可
Autenrieth	奥腾里特
Avempace	阿芬巴塞
Averroës	阿维罗伊
Avicenna	阿维森纳
Avogadro, Amedeo	阿伏伽德罗, 阿梅德奥
Babbage, Charles	巴伯奇, 查尔斯
Bacon, Francis	培根, 弗兰西斯
Bacon, Roger	培根, 罗吉尔
Baer, Ernst von	贝尔, 恩斯特·冯
Baeyer, Adolf von	拜耳, 阿道尔夫·冯
Bagehot, Walter	白高特, 华尔特
Bailly	巴伊
Bakeland, Leo	贝克兰, 李奥
Bakewell, Robert	贝克韦尔, 罗伯特
Balard	巴拉
Banks, Joseph	班克斯, 约瑟夫
Barba	巴尔巴
Barlow, William	巴洛, 威廉
Bartholin, Erasmus	巴塞林, 伊拉斯谟
Baskerville, John	巴斯克维尔, 约翰
Bateson, William	贝特森, 威廉
Bauer, George	鲍尔, 乔治
Bauhin, Casper	鲍兴, 卡斯巴
Baxter, Richard	巴克斯特, 理查德
Bayle, Pierre	贝勒, 皮埃尔
Beadle	比德尔
Beaumont, Elie de	博蒙特, 爱理·德
Becher, Joachim	贝歇尔, 约钦姆
Becquerel, Antoine	贝克勒尔, 安东尼

Bede	比德
Benedetti	班纳带蒂
Bennewitz, Peter	班纳威兹, 彼得
Bentham, Jeremy	边沁, 杰勒米
Bergius	伯戈斯
Berkeley, George	贝克莱, 乔治
Bernard, Claude	贝尔纳, 克劳德
Bernoulli, Daniel	贝努利, 丹尼尔
Bernoulli, John	贝努利, 约翰
Bernoulli, Nicolas	贝努利, 尼古拉
Berthollet	拜特洛
Berzelius, Jakob	柏齐力阿斯, 雅各
Bessel	贝塞尔
Bessemer	贝西默
Bethe	贝蒂
Bhaskara	跋斯迦罗
Bichat, Xavier	毕夏, 格扎维埃
Bignon	比尼翁
Billingsley, Henry	毕林斯莱, 亨利
Biringuccio	毕林古邱
Birkbeck, George	伯克贝克, 乔治
Black, Joseph	布莱克, 约瑟夫
Blackett	布莱凯特
Blagden	布莱格登
Blumenbach, Johann	布鲁门巴哈, 约翰
Bodin, Jean	布丹, 让
Boehme, Jacob	伯麦, 雅可布
Boerhaave	博尔哈弗
Bohr, Niels	波尔, 尼尔斯
Bolingbroke	波林勃洛克
Boltzmann, Ludwig	波尔茨曼, 路德维希
Bonaparte, Carlo	波拿巴, 卡洛
Bonaventura	朋那凡杜拉
Bondi	邦迪
Bonnet, Charles	邦尼特, 查尔斯
Borelli, Alphonse	博雷利, 阿尔方斯
Born	玻恩
Borough, Stephen	布劳, 史蒂芬
Borough, William	布劳, 威廉
Botticelli	波提切利
Boulton, Mathew	博尔顿, 马休
Boussingault	布森戈
Boveri	布维里
Bower	鲍威尔

Boyle, Robert	波义耳, 罗伯特
Bradley, James	布拉德雷, 詹姆斯
Brahe, Tycho	布拉赫, 第谷
Brahmagupta	婆罗门笈多
Bramah, Joseph	布拉默, 约瑟夫
Braun	布朗
Brent, Nathaniel	布伦特, 纳山尼尔
Brewster, David	布儒斯特, 大卫
Bridges	布里奇斯
Briggs, Henry	布立格司, 亨利
Broglie, Louis de	布罗意, 路易·德
Brouncker	布隆克尔
Brown, Robert	布朗, 罗伯特
Browne, Thomas	布朗, 托马斯
Bruno, Giordano	布鲁诺, 乔尔丹诺
Buch, Leopold von	布赫, 利奥玻尔德·冯
Buckland, William	巴克兰, 威廉
Buffon, Georges	布丰, 乔治
Bunsen, Robert	本生, 罗伯特
Buridan, Jean	比里当, 琼
Burley, Walter	伯利, 沃尔特
Bush, Vannevar	布什, 万尼瓦尔
Cabanis, Pierre	卡巴尼斯, 比埃尔
Cabot, Sebastian	卡波特, 撒巴司钦
Callipus	卡立普斯
Calvin, John	加尔文, 约翰
Camerarius	卡默拉留斯
Campbell, George	坎贝尔, 乔治
Candolle, Alphonse de	堪多, 阿尔方斯·德
Candolle, August de	堪多, 奥古斯特·德
Cannizzaro	坎尼扎罗
Cardan, Jerome	卡当, 吉罗姆
Carlisle	卡莱色尔
Carlyle	卡莱尔
Carnot, Lazare	卡诺, 拉扎尔
Carnot, Sadi	卡诺, 萨迪
Caro	卡罗
Cassini, Jacques	卡西尼, 雅克斯
Cassini, Jean	卡西尼, 詹
Cassini, Jean-Dominique	卡西尼, 詹一多曼尼哥
Cassiodorus	卡西奥多拉斯
Cato	加图
Cauchy, Augustin	柯西, 奥古斯丁
Caus, Solomon de	考司, 苏罗门·德

Cavendish, Henry	卡文迪许, 亨利
Caventou	卡文多
Celsus	塞尔苏斯
Cennini	詹尼尼
Cesalpino, Andrea	契沙尔比诺, 安得烈
Cesi, Federiyo	凯西, 菲带里岳
Chadwick, James	查德威克, 詹姆斯
Chamberlain, Houston Stewart	张伯伦, 霍斯顿·斯图尔特
Chamberlin, Thomas	张伯伦, 托马斯
Chambers	钱巴斯
Chande, Alexander	钱斯, 亚历山大
Chancellor, Richard	钱塞勒, 理查德
Chancourtois	坎古杜瓦
Chandrasekhar	钱锥赛克哈
Chardonnet	恰唐耐
Charles	查理
Chateaubriand	夏托布里昂
Cheyne, George	切恩, 乔治
Cicero	西塞罗
Clairault, Alexis Claude	克雷洛, A·克劳德
Clapeyron	克拉佩龙
Clausius, Rudolph	克劳胥斯, 鲁道夫
Cleanthes	克利安西
Clement, John	克莱门特, 约翰
Cockcroft	考克拉夫特
Coffinhall	柯芬荷尔
Colbert	柯尔伯特
Coleridge, Samuel	柯勒里奇, 塞缪尔
Columbus	哥伦布
Condillac, Etienne	孔狄亚克, 埃坦
Condorcet	孔多塞
Constantine	康士坦丁
Cooper, Thomas	库珀, 托马斯
Cope, Edward	科普, 爱德华
Copernicus, Nicolas	哥白尼, 尼古拉
Cort, Henry	科特, 亨利
Cortez	科特司
Cotton, John	科顿, 约翰
Coulomb	库伦
Crateuas	克拉居阿斯
Crompton	克朗普顿
Crookes, William	克鲁克斯, 威廉
Ctesibus	克达席布斯
Curie, Mme	居里夫人

Curies, Joliot	居里夫妇, 约里奥
Cuvier, Georges	居维叶, 乔治
Cyril	席里尔
Daimler	戴姆勒
D'Alembert	达兰贝尔
Dalton, John	道尔顿, 约翰
Daniel, John	丹尼尔, 约翰
Darwin, Charles	达尔文, 查理
Darwin, Erasmus	达尔文, 伊拉斯谟
Daubenton	道本顿
Davy, Humphry	戴维, 亨弗利
Day, Thomas	戴伊, 托马斯
D'Azyr, Vic	达泽尔, 维克
Deacon, Henry	迪肯, 亨利
Dee, John	第, 约翰
De Laire	德莱尔
Delambre	德朗布尔
Deluc, Jean André	德鲁克, 约翰・安得烈
Democritus	德谟克利特
Demoor	德莫尔
Derham, William	德勒姆, 威廉
Descartes, René	笛卡儿, 勒奈
Desmarest, Nicolas	德马雷, 尼古拉
Desormes	德索美
De Vries, Hugo	德弗里斯, 雨果
Dicaearchus	第凯尔库斯
Diderot, Denis	狄德罗, 德尼
Diesel, Rudolph	迪色儿, 鲁道尔夫
Digges, Leonard	狄格司, 里奥纳得
Digges, Thomas	狄格司, 托马斯
Diodorus	狄奥多鲁斯
Diogenes	第欧根尼
Dionysius	狄奥尼修斯
Dioscorides	底奥斯科里底斯
Dirac, Paul	狄拉克, 保罗
Dobereiner, Johann	多培赖纳, 约翰
Dolland, John	多兰, 约翰
Doppler	多普勒
Driesch, Hans	杜里舒, 汉斯
Dulong, Pierre	杜隆, 比埃
Dumas, Jean	杜马, 约翰
Dürer, Albrecht	丢勒, 阿尔布莱希特
Dutrochet	杜特罗歇
Eckhart	爱克哈特

Ecphantus	艾克方杜斯
Eddington, Arthur	爱丁顿, 阿瑟
Eden, Richard	艾登, 理查德
Edgeworth, Richard Lovell	埃奇沃思, 理查德·罗维耳
Edison, Thomas	爱迪生, 托马斯
Ehrlich, Paul	欧立希, 保罗
Einstein, Albert	爱因斯坦, 阿尔伯特
Empedocles	恩培多克勒
Engels, Frederick	恩格斯, 弗里德里希
Epicurus	伊壁鸠鲁
Erasistratus	埃拉西斯特拉托
Erasmus	伊拉斯谟
Eratosthenes	埃拉托斯特尼
Euclid	欧几里得
Eudoxus	欧多克斯
Euler, Leonard	欧勒, 利昂纳德
Eupalinus	欧巴里诺司
Eyre	艾尔
Fabricus	法布里克斯
Faraday, Michael	法拉第, 迈克尔
Fechner	费希纳
Fermat, Pierre de	费尔玛, 比埃尔·德
Fermi, Enrico	费米, 昂利可
Filonacci, Leonardo	费罗拿契, 列奥纳多
Finæus, Orontius	芬纳伊, 奥隆邱司
Fischer	费歇尔
Fitzgerald	菲茨杰拉德
Fizeau, Armand	斐索, 阿尔曼德
Flamsteed, John	弗拉姆斯蒂德, 约翰
Fleming, Alexander	弗莱明, 亚历山大
Fludd, Robert	弗拉德, 罗伯特
Fontenelle	丰特列尔
Ford, Henry	福特, 亨利
Forest, Lee de	福雷斯特, 李·德
Foster, Samuel	福斯特, 塞缪尔
Foucault, Jean	傅科, 约翰
Fourcroy, Antoine de	富克鲁阿, 安东尼·德
Fourier	傅立叶
Fracastoro, Girolamo	法拉卡斯托罗, 吉罗拉摩
Franklin, Benjamin	富兰克林, 本杰明
Fresnel, Augustin	菲涅耳, 奥古斯丁
Frisius, Gemma	弗里修司, 盖玛
Frobisher, Martin	佛罗比席尔, 马丁
Fuchsel, Georg	富克泽尔, 格奥格

Fugger, Sigismund	富格尔, 西基斯蒙德
Galen	盖仑
Galileo Galilei	伽利略·伽利莱
Galton, Samuel	高尔顿, 塞缪尔
Galvani	伽伐尼
Gama, Vasca da	伽马, 瓦斯科·达
Garden, George	加登, 乔治
Gassendi, Pierre	伽桑狄, 比埃尔
Gauss	高斯
Gay-Lussac, Joseph	盖-吕萨克, 约瑟夫
Geddes, Patrick	格迪斯, 帕特里克
Gegenbaur, Carl	盖根鲍尔, 卡尔
Geikie, James	盖基, 詹姆斯
Gellibrand, Henry	盖里布兰德, 亨利
Geminus	盖明诺
Gerard	杰勒德
Giard, Alfred	贾尔, 阿尔弗雷特
Gibbs, Willard	吉布斯, 威拉德
Gilbert, Joseph	吉尔伯特, 约瑟夫
Gilbert, William	吉尔伯特, 威廉
Girard	吉拉德
Gladstone, William	格莱斯顿, 威廉
Glover	格洛弗
Goddard, Jonathan	高达德, 乔纳森
Godwin, William	葛德文, 威廉
Goering	戈林
Goethe	歌德
Gold	戈尔德
Goldschmidt	戈尔德施米特
Gossage, William	戈赛奇, 威廉
Graaf, Reinier de	格拉夫, 赖尼尔·德
Graebe	格莱勃
Gray, Asa	格雷, 阿沙
Gray, Stephen	格雷, 斯蒂芬
Greaves, John	格里夫斯, 约翰
Green, George	格林, 乔治
Gregory, David	格雷戈里, 大卫
Gregory, James	格雷戈里, 詹姆斯
Gresham, Thomas	格雷山姆, 托马斯
Grew, Nehemiah	格鲁, 纳希米阿
Grimaldi, Francesco	格里马第, 弗兰彻斯科
Guericke, Otto von	格里凯, 奥托·冯
Guettard, Jean	格塔尔, 詹
Gunter, Edmund	冈特, 爱德蒙

Gutenberg	古登堡
Haber, Fritz	哈柏, 弗里兹
Haeckel, Ernst	海克尔, 恩斯特
Hahn	哈恩
Hales, Stephen	黑尔斯, 斯蒂芬
Hall, Chester More	霍尔, 切斯特·摩尔
Hall, James	霍尔, 詹姆斯
Haller, Albrecht von	哈勒, 阿尔布莱希特·冯
Halley, Edmund	哈雷, 爱德蒙
Harcourt, Vernon	哈考特, 弗农
Hargreaves	哈格里夫斯
Harriot, Thomas	哈略特, 托马斯
Harrison, John	哈里森, 约翰
Hartley, David	哈特莱, 大卫
Hartsoeker, Nicolas	哈特索克, 尼古拉
Harun al-Rashid	诃论·阿尔-拉希德
Harvey, William	哈维, 威廉
Hegel, Georg	黑格尔, 格奥格
Heisenberg, Werner	海森堡, 维纳尔
Helmholtz, Hermann	赫尔姆霍茨, 赫尔曼
Helmont, John van	赫尔蒙脱, 约翰·范
Helvetius	爱尔维修
Henderson	亨德森
Henry, Joseph	亨利, 约瑟夫
Henry, Thomas	亨利, 托马斯
Henry, William	亨利, 威廉
Henslow	亨斯洛
Heraclides	赫拉克利德
Heraclitus	赫拉克利特
Herder, Johann	赫尔德, 约翰
Hero	希罗
Herodotus	希罗多德
Herophilus	希罗费罗斯
Herschel, John	赫舍尔, 约翰
Herschel, William	赫舍尔, 威廉
Hertwig, Oscar	赫脱维奇, 奥斯卡
Hertz, Heinrich	赫兹, 海因里希
Heytesbury, Walter	海地斯伯利, 沃尔特
Hicetas	希克图斯
Hinshelwood Cyril Norman	欣谢尔伍德, 西里尔·诺曼
Hipparchus	希帕克
Hippocrates	希波克拉底
Hirn	伊恩
Hobbes	霍布斯

Hoffmann, August von	霍夫曼, 奥古斯特·冯
Hofmeister	霍夫迈斯特
Hohenheim von	霍恩海姆, 冯
Holbach	霍尔巴赫
Honecourt, Villard de	奥尼古尔, 维拉·德
Hood, Thomas	胡德, 托马斯
Hooke, Robert	胡克, 罗伯特
Hornblower, Jonathan	霍恩布洛尔, 乔纳森
Houtermans, Fritz	豪特曼斯, 弗里兹
Hoyle, Fred	霍伊尔, 弗里德
Hubaysh	胡拜悉
Hubble, Edwin	哈勃, 埃得温
Hudson	赫德森
Hues, Robert	休斯, 罗伯特
Huggins, Willism	哈根斯, 威廉
Hughes, David	休斯, 戴维
Humason, Milton	赫马森, 米尔顿
Humboldt, Alexander von	洪保, 亚历山大·冯
Hume, David	休谟, 大卫
Hunayn ibn Ishaq	胡那因·伊本·伊舍克
Hunter, John	亨特, 约翰
Hutton, James	赫顿, 詹姆斯
Huxley, Thomas Henry	赫胥黎, 托马斯·亨利
Huygens, Christian	惠更斯, 克利斯提安
Ibn al-Nafis	伊本·阿尔-纳菲
Ibn Sina	伊本·森纳
Ibn Yunis	伊本·尤尼
Isidore	伊苏都拉
Jabir ibn Hayyan	扎比尔·伊本·海扬
James, William	詹姆斯, 威廉
Jameson, Robert	詹姆斯, 罗伯特
Jansen, Zacharias	詹森, 沙加里亚斯
Jeans	金斯
Jenkinson	詹金森
Jenner, Edward	琴纳, 爱德华
Jennings	詹宁斯
Johannsen	约翰逊
Joule, James Prescott	焦耳, 詹姆斯·普雷斯科特
Jung, Joachim	容格, 约齐姆
Jussieu, Antoine Laurent de	朱西厄, 安东尼·劳伦特·德
Jussieu, Bernard de	朱西厄, 贝尔纳德·德
Kant, Immanuel	康德, 伊曼努尔
Kay	凯
Keir, James	基尔, 詹姆斯

Kekule, August	凯库勒, 奥古斯特
Kelvin, William Thomas	凯尔文, 威廉·托马斯
Kepler, Johann	刻卜勒, 约翰
Kessler	凯斯勒
Kidenas	吉旦那斯
Kiellmeyer, Friedrch	基尔迈耶, 弗里德里希
Kingsley	金斯利
Kirchhoff, Gustav Robert	基尔霍夫, 古斯塔夫·罗伯特
Koch, Robert	柯赫, 罗伯特
Kolbe	科尔比
Kolliker	克里克尔
Kothari	科萨里
Kropotkin	克鲁泡特金
Lacepede, Bernard	拉塞佩得, 贝尔纳德
Lagrange, Joseph Louis	拉格朗日, 约瑟夫·路易
Lamarck, Jean Baptiste	拉马克, 詹·巴帕梯斯特
Lametrie, Julien	拉美特利, 朱利恩
Landau	兰道
Langmuir, Irving	兰米尔, 欧文
Lankester, Ray	兰克斯特, 雷
Laplace, Pierre Simon	拉普拉斯, 比埃尔·西蒙
Laue, Max von	劳厄, 马克斯·冯
Laurent	罗朗
Laval	拉瓦尔
Lavoisier, Antoine	拉瓦锡, 安东尼
Lawes, John	劳斯, 约翰
Lawrence	劳伦斯
Leavitt	莱维脱
Leblanc, Nicolas	路布兰, 尼古拉
Leeuwenhoek, Antony van	列文霍克, 安东尼·范
Legendre, Adrien Marie	勒让德尔, 阿德利安·马里
Lehmann	勒曼
Leibniz, Gottfried Wilhelm	莱布尼茨, 哥特弗里德·威尔赫姆
Lemaitre, Georges	勒梅特, 乔治
Lenard, Philipp	勒纳, 腓力普
Leonardo	列奥纳多
Le Roy, Pierre	勒鲁瓦, 彼尔
Leucippus	留基伯
Leverrier	勒维烈
Leydig	莱迪希
Liebermann	李贝曼
Liebig, Justus von	李比希, 尤斯托斯·冯
Linde, Carl	林德, 卡尔
Lippershey, Hans	立帕席, 汉斯

Lister, Joseph	利斯特, 约瑟夫
Livingston	黎文斯顿
Lobelius	洛比留斯
Locke, John	洛克, 约翰
Lockert, George	洛卡特, 乔治
Lodge	洛奇
Loeb	洛布
Lomonosov, Mikhail V	罗蒙诺索夫, 米哈依尔·瓦西里耶维奇
Louvois, Francois M.	卢弗瓦, 弗兰西斯·M
Lower, Richard	洛厄, 理查德
Lucretius	卢克莱修
Lull, Raymond	拉尔, 雷蒙德
Luther, Martin	路德, 马丁
Luzzi, Mondino de	卢西, 蒙丁诺·德
Lyell, Charles	赖尔, 查理
Lysenko	李森科
Lyttleton	利特尔顿
MacCullagh, James	麦古拉, 詹姆斯
MacCulloch	麦卡洛克
McDougall	麦克杜格尔
Mach, Ernst	马赫, 恩斯特
Machiavelli, Niccolò	马基雅维里, 尼可洛
Maclaurin, Colin	马克劳林, 柯林
MacMillan	麦克米伦
Magnus, Albertus	马格努斯, 阿尔伯特
Mahavira	摩诃吠罗
Maillane, Darand de	迈兰, 杜朗·德
Maillet, Benoit de	马耶, 贝奴亚·德
Maimonides	迈蒙尼德
Majoris, John	马鸠里斯, 约翰
Malpighi, Marcello	马尔比基, 马尔切洛
Malthus, Robert	马尔萨斯, 罗伯特
Malus, Eliene Louis	马吕斯, 埃利恩·路易
Malynes, Gerard	马林尼, 日拉德
Manka	曼迦
Marco Polo	马可·波罗
Marco Yahaballaha	玛尔谷·牙哈巴刺哈
Maricourt, Pierre de	马里古特, 皮埃尔·德
Marinus	马里诺
Marsile	马昔里
Martineau, Harriet	马蒂诺, 哈里埃特
Marx, Karl	马克思, 卡尔
Maskelyne, Nevil	马斯基林, 内维尔
Mastlin, Michael	马斯特林, 迈克尔

Maudsley, Henry	莫兹利, 亨利
Maupertuis, Pierre	莫泊丢, 比埃尔
Maury	莫里
Maxwell, James Clerk	麦克斯韦, 詹姆斯·克拉克
Mayer, Robert	迈尔, 罗伯特
Mayer, Tobias	迈尔, 托比耶司
Mayow, John	梅奥, 约翰
Mechain, Pierre	梅尚, 比埃尔
Meckel, Johann	迈克尔, 约翰
Medici	麦迪奇
Meitner, Lisa	迈特纳, 利萨
Mendel, Gregor	孟德尔, 格里哥
Mendeleeef, Dimitri	门得列耶夫, 德米特里
Mercator, Gerard	麦卡托, 盖拉德
Mersenne, Marin	麦山尼, 马林
Merton	默顿
Metternich	梅特涅
Meyer, Lothar	迈耶尔, 洛特
Michaelis	米凯利斯
Michell, John	米歇尔, 约翰
Michelson, Albert	迈克耳逊, 艾伯特
Michurin	米丘林
Millikan, Robert A	密立根, 罗伯特
Milne-Edwards	米尔恩-爱德华
Milton, John	弥尔顿, 约翰
Minkowski, Hermann	闵可夫斯基, 赫尔曼
Mitscherlich, Eilhard	米修里希, 伊尔哈得
Mohl, von	莫尔, 冯
Mohr, Friedrich	莫尔, 弗里德里希
Molyneux, William	莫利纽克斯, 威廉
Monge, Gaspard	蒙日, 盖帕德
Montague, Mary Whortley	蒙塔古, 玛丽·霍尔特莱
Montaigne, Michel	蒙田, 米歇尔
Montgomery	蒙哥马利
Montmor, Habert de	蒙特摩, 哈巴特·德
Moray, Robert	莫雷, 罗伯特
Moreland, Samuel	莫兰, 塞缪尔
Morgan	摩尔根
Morley, Edward William	莫雷, 爱德华·威廉
Moro, Anton	莫罗, 安顿
Morse, Harold Marston	莫尔斯, 哈洛尔德·马斯顿
Morseley, Henry	莫塞莱, 亨利
Morton, William	莫顿, 威廉
Morveau	莫尔沃

Mosander, Carl Gustav	莫桑得尔, 卡尔·古斯塔夫
Müller	缪勒
Müller, Johannes	缪勒, 约翰
Murchison, Roderick	麦其生, 罗德里克
Murdoch, William	默多克, 威廉
Musschenbroek, Pieter van	马森布罗克, 皮得·范
Nageli, Carl	耐格里, 卡尔
Napier, John	耐普尔, 约翰
Nasir ed Din	纳索埃丁
Needham, John Turberville	尼达姆, 约翰·特布尔维勒
Newcomen, Thomas	纽可门, 托马斯
Newlands	纽兰兹
Newton, Isaac	牛顿, 伊萨克
Nicholson	尼科尔森
Nicolas	尼古拉
Nilson	尼尔逊
Nobel, Alfred	诺贝尔, 艾尔弗雷德
Norden, John	诺登, 约翰
Norman, Robert	诺曼, 罗伯特
Novikov	诺维科夫
Nunez, Pedro	冷尼斯, 巴特卢
Ockham, William	奥铿, 威廉
Oersted, Hans Christian	奥斯忒, 汉斯·克利斯提安
Ohm, Georg	欧姆, 格奥尔格
Oken, Lorenz	奥肯, 洛伦兹
Oldenburg, Henry	奥尔登伯格, 亨利
Omar Khayyam	奥马·伽亚谟
Orbigny, Alcide d'	道比尼, 阿尔西德
Oresme, Nicolas	奥里斯姆, 尼古拉
Osiander, Andreas	奥席安德, 安得莱斯
Ostward, Wilhelm	奥斯特瓦尔德, 威尔赫姆
Otto	奥托
Oughtred, William	奥屈德, 威廉
Overton, Richard	奥弗顿, 理查德
Owen, Richard	欧文, 理查德
Pallas, Peter	帕拉斯, 彼得
Pander, Heinrich	潘德尔, 海因里希
Papin, Denis	帕潘, 但尼斯
Paracelsus	帕拉塞尔苏斯
Paré, Ambrose	巴雷, 安布罗斯
Parkes, Alexander	帕克斯, 亚历山大
Parsons, Charles	帕森斯, 查尔斯
Pascal, Blaise	巴斯卡, 布莱斯
Pasteur, Louis	巴斯德, 路易

Pauli, Wolfgang	泡里, 沃尔夫冈
Pavlov	巴甫洛夫
Pearson, Karl	毕尔生, 卡尔
Peel, Robert	皮尔, 罗伯特
Peirco, Charles	皮尔斯, 查尔斯
Peiresc, Claude de	皮雷स्क, 克劳德·德
Pelletier	佩利蒂尔
Pepys, Samuel	皮卜斯, 塞缪尔
Percival, Thomas	珀西瓦尔, 托马斯
Pericle	伯里克利
Perkin, William Henry	珀金, 威廉·亨利
Perrin	佩兰
Petit, Alexie Therese	珀替, 阿历克赛·特里斯
Pett, Phineas	佩特, 菲尼亚斯
Petty, William	佩第, 威廉
Philo	斐洛
Philolaus	斐洛劳斯
Philoponos, John	斐罗波诺斯, 约翰
Planck, Max	普朗克, 麦克斯
Plato	柏拉图
Playfair, John	普莱费尔, 约翰
Pliny	普林尼
Plotinus	普罗提诺
Plough	普劳
Plutarch	普路塔克
Poisson, Simeon	泊松, 西蒙
Pomponius Mela	彭波尼斯·米拉
Poncelet	彭色列
Pontchartrain	蓬夏特兰
Pope	蒲柏
Porta, Baptisa della	包尔塔, 巴帕第沙·达拉
Posidonius	波昔东尼斯
Pouillet	鲍伊莱
Preston, John	普雷斯顿, 约翰
Priestley, Joseph	普利斯特列, 约瑟夫
Priestman	普里斯曼
Proclus	普罗克鲁
Protagoras	普罗塔哥拉
Proust, Frenchman	普鲁斯脱, 弗灵契曼
Prout, William	普劳特, 威廉
Ptolemy, Claudius	托勒密, 克罗狄斯
Punnett	庞尼特
Purbach, George	普尔巴赫, 乔治
Purkinje, Johannes	普金叶, 约翰

Pythagoras	毕达哥拉斯
Quinine	奎因
Rabl	拉布尔
Raleigh, Walter	拉莱, 沃尔特
Ramsay, William	拉姆赛, 威廉
Ramseye, David	拉姆齐, 大卫
Rankine, William	兰金, 威廉
Rashid al-Din	拉希得丁
Rathke, Martin	拉特克, 马丁
Ray, John	雷, 约翰
Rayleigh	雷利
Raymond	雷蒙德
Recorde, Robert	雷考德, 罗伯特
Redi	雷第
Reich, Ferdinand	赖赫, 费丁南
Reid, Thomas	里德, 托马斯
Reinhold	赖恩霍尔德
Remak	雷马克
Rey, Jean	雷伊, 詹
Rheticus, George	莱蒂克斯, 乔治
Richter, Jeremiah	李希特, 杰里米亚
Ridley, Marke	里得利, 马克
Riemann, Bernard	黎曼, 贝尔纳
Ritz	里茨
Roberval	罗伯法耳
Robinet, Jean Baptiste	罗比耐, 詹·巴帕梯斯特
Roebuck, John	罗巴克, 约翰
Romer, Olaus	雷默, 奥劳司
Rontgen	伦琴
Rooke, Laurence	鲁克, 劳伦司
Roriczer, Mathias	劳立沙, 马梯阿斯
Roscoe	罗斯科
Rosse	罗斯
Rotz, Jean	罗兹, 詹
Rousseau	卢梭
Roux	鲁
Rumford	伦福德
Ruskin	拉斯金
Russell, Henry Norris	罗素, 亨利·诺里斯
Rutherford, Ernest	卢瑟福, 恩纳斯特
Saint-Hilaire, Geoffroy	圣提雷尔, 乔弗洛伊
Saladin	萨拉丁
Salernus	萨勒诺斯
Sarton, George	萨尔顿, 乔治

Saussure, Horace Benedict de	索修尔, 霍拉斯·班纳迪克脱·德
Savery, Thomas	萨弗里, 托马斯
Savi, Paola	萨维, 保拉
Scheele, Carl	席勒, 卡尔
Schelling, Friedrich	谢林, 弗里德里希
Schleiden, Mathias	施莱登, 马提阿斯
Schrödinger, Erwin	薛定谔, 欧文
Schwann, Theodore	施旺, 泰奥多尔
Scot, Johannes	司各脱, 约翰
Scot, Michael	司各脱, 迈克尔
Scrope, Poulet	斯克洛普, 鲍勒特
Sebokht, Severus	塞博赫特, 塞维鲁斯
Sebonde, Raymond de	塞彭德, 雷蒙·德
Sedgwick, Adam	席基威克, 亚当
Seebeck, Thomas	塞贝克, 托马斯
Seneca	塞涅卡
Servetus, Michael	塞尔维特, 迈克尔
Shapley, Harlow	沙普勒, 哈罗
Sherrington	谢灵顿
Siemens, Werner	西门子, 维尔纳
Simpson, James	辛普森, 詹姆斯
Sitter, Willem de	希特, 威廉·德
Slipher	斯里弗尔
Small, William	斯莫尔, 威廉
Smeaton, John	斯米顿, 约翰
Smith, Adam	斯密, 亚当
Smith, Edwin	史密斯, 埃德温
Smith, Thomas	史密斯, 托马斯
Smith, William	史密斯, 威廉
Smithson James	史密森, 詹姆斯
Snell, Willebrod	斯涅尔, 威里布里德
Socrates	苏格拉底
Soddy, Frederick	索迪, 弗列德里克
Solon	梭伦
Solvay	索尔维
Somerset, Edward	萨默塞特, 爱德华
Sommerfeld, Arnold	索末菲, 阿诺尔德
Sosigenes	索西尼斯
South, James	索斯, 詹姆斯
Spallanzani	斯巴兰让尼
Spemann, Hans	斯佩曼, 汉斯
Spencer, Herbert	斯宾塞, 赫伯特
Spinoza	斯宾诺莎
Sprat, Thomas	斯普拉特, 托马斯

Stahl, Georg Ernst	斯塔尔, 格奥尔格·恩斯特
Stark	斯塔克
Stas, Jean	斯塔司, 詹
Stephen, Leslie	斯蒂芬, 莱斯利
Stevens, Edward	史蒂文斯, 爱德华
Stevin, Simon	斯台文, 西蒙
Stokes, George	斯托克斯, 乔治
Stoney, Johnstone	斯通尼, 约翰斯东
Strabo	斯特拉波
Strachey, John	斯特雷奇, 约翰
Strasburger	斯脱劳伯格
Strato	斯特拉图
Struve, Otto W.von	斯特鲁维, 奥托·W·冯
Stubbe, Henry	斯特布, 亨利
Sturm, Christopher	斯图姆, 克里斯托弗
Sturtevant	斯特蒂文特
Suiceth, Richard	许撒斯, 理查德
Sutton	萨顿
Swammerdam, Jan	施旺麦丹, 简
Swan, Joseph	斯万, 约瑟夫
Sydenham, Thomas	西德纳姆, 托马斯
Tamerlane	帖木儿
Tartaglia	达塔格里亚
Tennant, John	坦能脱, 约翰
Tennyson	坦尼森
Thabit ibn Qurra	塔比·伊本·夸儿拉
Thales	泰勒斯
Thenard	泰那尔德
Theodorus	特奥多鲁斯
Theophrastus	狄奥弗拉斯图
Thomas Aquinas	托马斯·阿奎那
Thomson, Arthur	汤姆生, 阿瑟
Thomson, J.J.	汤姆生, 约·约
Thomson, Thomas	汤姆生, 托马斯
Thomson, William	汤姆生, 威廉
Topinard	托比那德
Torricelli	托里塞利
Townshend	汤森德
Trembley	特伦布莱
Trevelyan	特里维廉
Treviranus	特雷维拉努斯
Trevithick, Richard	特里维雪克, 理查德
Tropsch	特洛普希
Tull, Jethro	托尔, 杰塞罗

Turgot	杜尔阁
Tuscany	托斯干
Tyndal	廷德尔
Ulugh Beigh	乌鲁贝格
Vandervelde	樊迪文
Van't Hoff, Jacobus Henricus	范霍夫, 雅可布·亨利科斯
Varahamihira	伐罗诃密希罗
Varro	瓦罗
Vavilov	瓦维洛夫
Venel, Gabriel	文耐尔, 加勃里尔
Vesalius, Andrea	维萨里, 安得烈
Vico	维科
Viète, Francois	维特, 弗兰索瓦
Vinci, Leonardo da	芬奇, 列奥纳多·达
Virchow, Rudolph	微耳和, 鲁道尔夫
Vitruvius	维特鲁维斯
Vives, Jean Luiz	维夫斯, 琼·路易
Viviani	维维安尼
Volta, Alessandro	伏打, 亚历山大罗
Voltaire	伏尔泰
Waldseemüller, Martin	瓦尔德西米勒, 马丁
Wallace, Alfred Russel	华莱士, 阿尔弗勒德·拉塞尔
Wallis, John	沃利斯, 约翰
Walpole, Horace	沃波尔, 霍勒斯
Walther, Bernhard	瓦尔特, 柏那德
Walton	沃尔顿
Ward, Joshua	沃德, 乔舒亚
Ward, Seth	沃德, 塞思
Warner, Robert	沃纳, 罗伯特
Warrington	沃林顿
Waterston	沃特斯顿
Watt, James	瓦特, 詹姆斯
Weber	韦伯
Wedgwood, Josian	韦奇伍德, 乔赛亚
Weismann, August	魏斯曼, 奥古斯特
Weizsäcker	魏扎克
Weldon, Walter	韦尔登, 沃尔特
Wells, Horace	韦尔斯, 霍勒斯
Wells, John	韦尔斯, 约翰
Werner, Abraham	维尔纳, 阿伯拉罕
Wesley, John	韦斯利, 约翰
Wheatstone, Charles	惠斯通, 查理
Whiston, William	惠斯顿, 威廉
Whitworth, Joseph	惠特沃思, 约瑟夫

Wien	威恩
Wilberforce, Samuel	威尔伯福斯, 塞缪尔
Wilkins, John	威尔金斯, 约翰
Wilkinson, John	威尔金森, 约翰
William of Ockham	奥铿的威廉
Williams, John	威廉斯, 约翰
Winkler	文克勒
Witheing, William	威塞林, 威廉
Wittgenstein, Ludwig	维特根斯坦, 路德维希
Wholer, Friedrich	维勒, 弗里德里希
Wolff, Caspar Friedrich	沃尔弗, 卡斯巴尔·弗里德里希
Wollaston, William Hyde	武拉斯顿, 威廉·希德
Wood, Antony	伍德, 安东尼
Woodward, John	伍德沃德, 约翰
Wotton, William	沃顿, 威廉
Wren, Christopher	雷恩, 克里斯托弗
Wright, Edward	赖特, 爱德华
Wright, Thomas	赖特, 托马斯
Wurtz	维尔茨
Xenophanes	色诺芬尼
Young, Arthur	杨, 阿瑟
Young, Thomas	杨, 托马斯
Yukawa, Hideki	汤川秀树
Zeeman	塞曼
Zeno	芝诺
Zeuner	佐伊纳
Zilsel	支尔塞尔
Zoroaster	琐罗亚斯德
Zosimus	佐西马斯
Zwicky, Fritz	兹威基, 弗里兹