

## 起 源

地质记录——火石工具——冰期——旧石器时代——新石器时代——  
铜器时代——铁器时代——河滨人与游牧人——欧洲人种——巫术、宗教和  
科学

### 地质记录

研究地球的构造和历史的地质学家和观察人类的体质和社会特征的人类学家向我们提供了早期人的种种遗迹。科学的起源就必须到早期人的这种种遗迹中去寻找。

现在看来，地壳大概是在几十亿年前凝固形成的，最新的估计是 16 亿（ $1.6 \times 10^8$ ）年前。地质学家把后来的岁月分成六个时期：（1）太古代，即岩浆形成火成岩的时代；（2）元古代，这时开始出现生命；（3）中生代；（4）近生代；（5）新生代；（6）近代。这些时代的顺序可以由地层里各时期的堆积物的相对位置加以证明，但是无法确切地测定各时期的年龄。

### 火石工具

有些权威认为，人类手工品的遗迹最先见于近生代的堆积物中，这些堆积物或许是在 100 万至 1000 万年前形成的。这些遗物就是一些用火石和其他硬石粗糙地敲砸成的工具。最早的叫原始石器，同受到流动的土壤或水流的侵蚀作用而形成的天然物，没有多大区别。后来的一批叫做粗制石器，显然是人工制成的。右图是一种常见的“万能”粗制石器，现在叫做手斧。有些考古学家认为，最早的工具的制成说明当时存在着称得起是人的第一批动物。但是，动物的声音变成音节分明的言语，一定是人类发展中最重要的一步。这个步骤由于本身的性质的缘故，除了使言语成为可能的头盖骨和颞骨构造的变化外，没有留下任何别的痕迹。

### 冰 期

据我们所知，相继而来的几个冰期在早期就降临欧洲。大概共有四个冰期。有人认为在东安格利亚（East Anglia）发现的工具时代当在其中第一个冰期之前，但是，不管怎样，打制的火石 XXIV 是在冰期之间的比较温暖的间隔期中出现的。这些工具的制作方法有二：其一是，把碎片敲下来，留下中央的石核，形成一个工具，如图上的工具就是，这个方法是非洲特有的；其二是，利用敲下的石片制成工具，这个方法尤其可以在亚洲见到。欧洲是这两个方法的重叠区，因此，欧洲最初似乎是由两个不同的人种开发的。

### 旧石器时代

在旧石器时代的大部分时间里，手斧不断地旧石器 变得更轻便，更锋利了，别的工具也更多样，更灵 巧了。使用这些工具的人大概是靠猎取动物和采集可食的野生植物生活的。据我们现在所知，英国“石核文化”人当中

最早的人就是在苏塞克斯郡 (Sussex) 发现的辟尔唐人 (Piltdown man), 其次就是在肯特郡 (Kent) 的斯旺斯孔 (Swanscombe) 地方发现的头盖骨。

在最后一个冰期中, 尼安德塔人 (Neanderthal men) 把石核方法和石片方法融合起来。后来, 工具变成叶片状; 接着就造出可割剥的刀口, 使人们可以把兽骨刻成鱼权之类的器械。

虽然人们早已知道用火, 但是, 大约就在这个时候, 我们才第一次看到有意识地用火石敲石取火的痕迹。火是人类最早和最惊人的化学发现。

旧石器时代前期的文明从新生代初期起, 到最后一次冰期逼近时为止, 中间一定经过漫长的时间。在这一期间, 文化看来有缓慢而稳步的进展。

旧石器时代中期是同所谓穆斯特文化联系着的。这种文化因为最初在法国莱埃济 (Les Eyzies) 附近的穆斯特 (Moustier) 发现而得名。创造这种文化的尼安德塔人是一种矮型的人, 一般认为不是人类的直系祖先。

旧石器时代后期人, 即智人, 是在最后一个冰期快要结束时出现在现今法国境内的, 虽然兽骨中驯鹿与牡鹿杂陈, 说明当时气候仍然寒冷。就人类的进化水平来说, 智人同先前的人种相比, 是更高级的人种。火石石片的制作已经大有改进, 并且肯定存在着制造家庭用具 (如孔针) 的雕骨工艺。

## 新石器时代

在旧石器时代的漫长时期之后, 接踵而来的是文化大大提高的新石器时代。新石器时代的人似乎是从东方侵入西欧的。他们带来了埃及和美索不达米亚的文明的痕迹。他们已有家畜和栽培的作物。他们用火石或别的硬石以及兽骨、兽角、象牙制出磨光的用具。还发现有陶器的碎片, 说明他们已经在有意识地创造新的物品。这比单单改制天然物, 是大大前进了一步。此外, 英国石篱村就有一块指示石, 标出了夏至日太阳升起的方位。这类建筑物也不仅是用于宗教用途, 而且还有天文学的功用, 说明他们的观测是很准确的。

在新石器时代结束之前, 史前期的坟墓也时有发现; 火葬只是到后来才出现, 而且大半见于欧洲中部, 因为那里的森林提供了充足的燃料。在新石器时代的墓穴里, 时常发现石制用具, 说明当时的人相信这些东西在另一个世界里对死者会有用处——相信灵魂不死。

## 铜器时代

在世界上有些地方, 新石器时代的人还发现了铜—发现怎样熔化铜, 怎样加入锡, 使其坚硬, 这样就进行了人类的第一次冶金试验, 并由石器时代进入铜器时代。由于普遍使用金属, 文化也提高了, 斧、匕首及其衍生物矛和剑以及比较和平的家庭用具, 都制造出来了。

## 铁器时代

青铜的组成成分比较稀少, 因此, 青铜又让位于铁。铁在土壤中是更大量存在的, 制成战争武器和战车, 也更为有效。因此, 当人们发现怎样从铁矿提炼铁的时候, 铁很快就代替了其他金属用于这些用途。随着铁器时代的到来, 我们就逼近并且很快进入真正有史的时期。在这些有史时期中, 通过

石器、粘土、兽骨、纸草纸上的书面记录的遗迹，我们就可以拼凑出真正的历史图景。

### 河滨人和游牧人

拥有原始的农业和工艺的定居生活似乎是在几条大河——尼罗河，幼发拉底河和底格里斯河，印度河——的盆地首先开始的，在中国，文明大概也是在几条大河一带开始的。不过，同这些河滨人形成对照的还有游牧民的残余。他们赶着牛羊群，在草原上和绿洲的沙漠上到处漂泊。在平时，这些游牧人的单位集团是各自独立的，各自为各自的牲畜寻找食物。《旧约·创世记》第十三章五至九节有这样一段记载：

与亚伯兰同行的罗特，也有牛群、羊群与帐篷。那地容不下他们，使他们不能同居。亚伯兰就对罗特说：“遍地不都在你眼前吗？请你离开我，你向左，我就向右；你向右，我就向左。”

在他们都保持这种孤立主义的见解和习俗的情况下，不论是文明还是科学，都是不可能的。此外，家长制氏族之间，也只有在为了一定目的——狩猎凶猛的野兽或同其他部族打仗——的时候，才彼此合作。不过，有时由于长期干旱，或者由于气候的长期性变化，没有了水草，草原或绿洲也变得无法居住，这时，游牧人便以排山倒海之势向外涌出，侵犯定居人民的土地，成为他们的残暴的征服者。我们正历史上可以看到几次这样的向外迁徙：闪族从阿拉伯半岛向外迁徙，亚述人从波斯边境向外迁徙，亚欧两洲开阔的草原上的居民向外迁徙。

在游牧人民当中，工艺不可能有很大进步，应用科学的起源是更谈不上。但是，《旧约》不但在前几章中叙述了游牧人的生活，而且还在后几章中谈到近东和中东几个定居的王国——埃及、叙利亚、巴比伦和亚述——的传奇。这是很好的锁钥，由此就更容易理解新近发掘出来的建筑物、雕像和碑匾向我们提供的知识。这种知识有赖于两重机会——首先，这些文物要保存下来，其次还要经人发现。

### 欧洲的人种

在后文中，我们就要叙述几个种族的成就。因此，关于这些种族，我们还需要再说几句话。在石器时代后期以后，爱琴海各岛屿以及地中海和大西洋海滨的主要居民就是地中海种族。他们身材矮小，头部修长，皮肤暗黑。史前期文明的进步就应归功于他们。内陆的地方，尤其是山中的主要居民当时是、现今仍然是所谓阿尔派恩（Alpine）族。他们具有中等的身材，中间的肤色，宽而圆的头骨，低矮肥胖。他们是从东北方侵入欧洲的。第三个种族可以叫做北方族。他们集中在波罗的海沿岸，并且向外扩散出去，身材高大，头发灰黄，也象地中海人一样头部修长。

### 巫术、宗教和科学

在旧石器时代晚期，我们还在人所居住的洞穴的墙壁上发现了素描和绘画的最早为例子。其中许多都有高度的艺术价值，有一些还可以说明原始人的信仰，因为据说上面画着魔鬼和巫师。还有一些经常不断出现的雕刻，描写了丰产崇拜和丰产巫术，也可以说明原始人的信仰。

如果我们把这些信仰与希腊和拉丁作家所描写的有史时代早期的信仰比较一下，与现今世界各处未开化人民中仍可找到的信仰比较一下的话，我们就可以对这些信仰形成更明确的概念。弗雷泽爵士（Sir James Frazer）在《金枝集》（The Golden Bough）中搜集了大量这样的证据。有些人类学家以为，巫术一方面直接导致宗教，另一方面又直接导致科学，但是，弗雷泽却以为，巫术、宗教和科学是按这样的先后次序出现的。还有一位人类学家里弗斯（Rivers）认为，巫术和原始宗教是从野蛮人对世界怀有的朦胧的敬畏和神秘感觉中，同时产生出来的。

除此之外，马林诺夫斯基（Malinowski）认为，原始人把可以用经验科学的观察或传说加以处理的简单现象和他们所无法理解或控制的神秘的、不可估计的变化，明确地区别开来。前者引向科学，后者导致巫术、神话和祭祀。马林诺夫斯基认为，原始宗教的起源应该到人对死亡的态度、人对复活的希望及人对伦理上的神道的信仰中去寻找。

但是，也有另一些人指出，巫术要假定自然界中是有规则的，人通过适当的行为就可以利用这些规则去控制自然界；因此、从这个观点来看，巫术是一种冒牌的自然法则体系。模仿性巫术的基础就是相信同类事物可以感应相生。原始人以许多方式表演季节循环的戏剧，以求谷物丰收、家畜兴旺。这样，就产生了祭祀，然后又产生了用来解释祭祀的教条和神话。我们还可以举出许多类似的模仿例子。另一方面，传染巫术则认为，事物一旦互相接触，便具有永久的交感联系：占有某人衣着的一片布并占有他的肉体的一部分——头发或手指——，他就处在你的掌握之下！如果你烧掉他的头发，他也会枯萎而死。

这样的巫术，有时由于巧合，好象也是灵验的，但是，失败的回数要更多一些；这时，巫师在失望的信徒面前，就有不可自保的危险。失望的信徒们很可能不再相信人可以控制自然，并且转而去讨好荒野中的捉摸不定的精灵——神或魔鬼——，希望这些精灵满足他们的要求，这样就过渡到某种形式的原始宗教。

与此同时，简单工艺的发展，火的发现和取得，工具的改进，却通过一条不那么富于浪漫意味、然而却更加可靠的道路，奠定了科学的另一基础——或许是唯一的基础。但是，人们还需要一些更深刻的信仰来满足他们的探索不已的灵魂，因此，科学并不是在一片广阔而有益于健康的草原——愚昧的草原——上发芽成长的，而是一片有害的丛林——巫术和迷信的丛林——中发芽成长的，这片丛林一再地对知识的幼苗加以摧残，不让它成长。

## 第一章 古代世界的科学

文明的起源——巴比伦尼亚——埃及——印度——希腊和希腊人——希腊宗教和哲学的起源——古典时代的宗教和哲学——爱奥尼亚的哲学家——毕达哥拉斯学派——物质问题——原子论者——希腊医学——从原子论者到亚里斯多德——亚里斯多德——希腊化的文明——演绎的几何学——阿基米得和力学的起源——阿利斯塔克和希帕克——亚历山大里亚学派——炼金术的起源——罗马时代——学术的衰落

### 文明的起源

在历史的黎明期，文明首先在中国以及幼发拉底河、底格里斯河、印度河和尼罗河几条大河的流域中，从蒙昧中诞生出来。在居住在这些流域的各民族当中，我们知道得最多的是埃及的人民和巴比伦尼亚的人民，主要是靠了希腊历史学家著作中的记载。从这个来源得到的资料本来是极少的，但是，近年来，由于发现他们的许多建筑物，雕像和碑石的遗迹，由于发掘王室陵寝，得到很多家用物件、装饰品和铭文，资料来源又大大扩充了。这种资料当然是片断的，有赖双重机会，一方面要靠古代记录的保存和发现，另一方面又要靠现代研究家的正确解释；可是，这样得到的资料确也不少，而且还在源源不断地得到。

### 巴比伦尼亚

常识性的知识和工艺知识的规范化和标准比，应该说是实用科学的起源的最可靠的基础。这种规范化的早期征象可以在公元前二千五百年的巴比伦尼亚国王的敕令中找到。当时，他们已经认识到固定的度量衡单位的重要性，于是就用王室的权威，公布了长度、重量和容量的标准。

巴比伦尼亚的长度单位是“指”，等于 1.65 厘米或  $\frac{2}{3}$  英寸左右；一尺等于 20 指，一腕等于 30 指；一竿等于 12 腕，而测量者所用的单位绳则等于 120 腕；一里是 180 绳，等于 6.65 英里。在重量单位方面，一粟等于 0.046 克；一舍克 (Shekel) 等于 8.416 克；一达伦 2 (talent) 等于 30.5 公斤，或  $67\frac{1}{3}$  磅 13601451\_0031\_0。

在最早的有史时代，大麦似乎充当过交易的媒介。到公元前三千年，又采用了铜锭和银锭，但是，大麦仍然在流通。黄金的价值为同重的白银的六至十二倍，因时代而不同。

巴比伦的数学和工艺的要素显然是从非闪族的萨马利亚人 (Sumerians) 得来的。萨马利亚人在公元前 2500 年以前统治那个国家达一千年之久。在巴比伦人的碑石中发现过乘法表，平方表和立方表。他们采用了十二进制制，使分数易于计算，同时还采用了从我们的手指得到启示的十进制制。为了把这两种制度结合起来，他们对六十这个数目特别重视。这种双重计算法的平行应用成为重量和度量——圆周及其角度的划分，呎，尺及平方尺，达伦和蒲式耳 (bushel) ——的基础。

几何学的起源也说明抽象的科学起源于日常生活的需要。在土地测量的

基本公式和数目里，就可以找到几何学的开端。由于有了田地的平面图，接着也就有了比较复杂的城市平面图，甚至有了当时已知的世界的地图。但是，实际知识是和巫术观念密不可分地交织在一起的，两者也一块由巴比伦向西传布。在后来的数百年中，欧洲思想界一直迷恋于特殊数目的价值，迷恋于特殊数目与神的关系，迷恋于用几何图形来预测未来。

时间的有系统的测量在巴比伦也开始得很早。随着农业在原始人民中间的发展，认识季节也变得愈来愈重要了。大、小麦似乎是幼发拉底河一带的土产，我们知道那里很早就把大、小麦当作粮食作物栽培，因为土碑中提到过大、小麦，而巴比伦的艺术品也描写过耕犁。耕种谷类需要适应季节，又需要大量水源，因此，历法几乎是必不可少的。天文观测为什么起源于幼发拉底河和尼罗河流域，原因之一就在于此。以一天为时间的单位，是大自然使然。当需要有更长的时间单位时，首先采用的是月份，每个月份都从新月出现时算起。人们还想确定四季循环中的月份的数目。在巴比伦尼亚，这是公元前 4000 年左右的事，在中国，这是稍后的事。公元前 2000 年左右，巴比伦尼亚的一年已定为 360 天，或 12 个月，时常还加入闰月，作必要的调整。一无又分为若干小时，分，秒，还发明了简单的日规——一根直立的表杆——来标志时间。

人们对太阳和行星在恒星中间的视运动，进行了观察，并且按照太阳、月亮及五个已知的行星给一周的七天命名，使周成为又一时间单位。太阳在天空的历程被划分为十二宫，以与月份相合。每一个宫都按其神话中的神或动物命名，并以适当的符号代表。这样，天空各区段就和羊、蟹、蝎及其他兽类联系起来，以后又把这些兽类和一定的星座联系起来，相沿至今。

巴比伦尼亚人以为宇宙是一个密封的箱子或小室，大地是它的底板。底板中央矗立着冰雪覆盖的区域，幼发拉底河就发源于这些区域中间。大地四周有水环绕，水之外复有天山，以支撑蔚蓝色的天穹。不过，有些巴比伦尼亚星象家已经认识到地球是一个球体。

巴比伦的天文观测可以追溯到公元前两千多年以前。已知最早的准确记录是关于金星出没的记录。巴比伦空气晴朗，从那时候起，僧侣们就夜夜观察天空的景象，并把他们的观察结果记录在土碑上。他们渐渐看出了天文现象的周期性，据公元前六世纪的一个文件说，到后来，他们已经能够事先计算出太阳和月亮的相对位置，因而也就有可能预测日、月食了。这可以说是科学的天文学的起源。功劳应该属于巴比伦尼亚及它的三个学校：乌鲁克学校（Uruk），希拔学校（Sippar）及巴比伦的波希帕学校（Borsippa）。

在这种确实的知识的基础上，一种异想天开的占星术体系建立起来了，事实上，巴比伦尼亚人竟认为它是这门基础科学的主要的和最有价值的对象。他们无疑是因为最初看到一些偶然的巧合，所以到后来才相信，星宿决定了并且预示着人事的进程。靠了对天体的这种观察和解释，巴比伦的占星术士们确实可以支配人心。“这样理解的天文学不仅成为科学的女皇，而且成

---

GMaspero, *The Dawn of Civilization*, Engh. trans. 5th ed. 1910.

E. G. R. Taylor—Historical Association, Pamphlet, No. 126.

G. Sarton, *Introduction to the History of Science*, vol. I, Washington and Baltimore 1927, p. 71, quoting from L. W. King, *A History of Babylon*, London, 1915.

J. C. Gregory, *Ancient Astrology*, *Nature*, vol. 153, 1944, p. 512.

为世界的霸王。”每一所庙宇都设立有图书馆，收藏着天文学和占星术的文献，在那里可以学到卜筮的方术。其中有一个图书馆，有七十块石碑、公元前七世纪中颇为著名，据说其中有三千年以前的记录。

公元前 540 年左右，即迦勒底人 (Chaldean) 征服巴比伦尼亚之后，占星术在巴比伦达到鼎盛时期。两百年以后，又传到希腊，再由希腊传到当时已知的世界。到那时，在它的发祥地，占星术已有转化为比较合乎理性的天文学的征候。不过，迦勒底的占星家仍然为人敬重和求教，毫无医药知识的巫师和驱邪赶鬼的则执行医师的职务。

现代人研究原始人类的结果，发现巫术通常是从“交感”巫术开始的。所谓交感巫术也就是说，人们为了促使一个过程实现，就现身说法，加以模拟，或表演一出戏剧，对这个过程加以描写，以求达到控制自然的目的。这类例子是举不胜举的。譬如蛙鸣则雨。野蛮人觉得他也能学蛙鸣。于是，他就扮作青蛙，学作蛙鸣，希望求得他所盼望的雨水。这样，就产生了祭祀以及对奇迹的崇拜，然后又发明了教条或神话来加以解释。因为后来由于祭祀仪式需要解释，人们就认为自然界的力量是有精灵的，而沿袭已久的巫术仪式也就原封不动地或稍加改变，成为祷告的仪式了。

后来这一类型的巫术似乎在有史料可考的最早的时代以前，就已经在巴比伦出现。虽然有些神祉，如代表人类全部知识的源泉的奥安奈斯 (Oannes)，被认为是慈善的。但是，在巫士们看来，巴比伦的巫术说明，神祉时人类一般是优视的。这种看法可能由于底格里斯河和幼发拉底河两岸生命没有保障，而得到加强。事实上，基于这种看法而形成的巫术就是由这种情况决定的。因为在两条大河的两岸，突如其来的暴风雨和洪水随时都可以把人畜房屋冲走，而外来敌人的入侵也是很频繁的。人类命运受制于天上星宿的观念在古代的巴比伦产生后，又引起了命运之神冷酷无情和没有人性的观念。巫术的不祥和自然界的可怕说明神祉怀有敌意，而神祉怀有敌意的观念无疑地又反过来加强了巴比伦巫术和占星术的野蛮的要素。然而，巴比伦和亚述的建筑和雕塑又说明实用工艺有很大进步，人们也有了一些生物学的知识，包括棕树和枣树的有性生殖。

## 埃及

当我们转而考察远古时代的另一伟大文明——埃及文明——的时候，我们就可以看出，宗教态度是有些不同的。在埃及，神祉大半是友善的。它注视着人类，随时准备在生、死和另一个世界中指导和保护人类。

这种差别可能是由于自然环境的缘故，至少部分地是由于这个缘故。埃及的气候比迦勒底亚 (Chaldea) 变化少，尼罗河定期不误地涨落，成为一切丰饶的源泉，稳定，友善，可靠，足以代表超自然的神灵。

很早的时候，埃及的文明就达到比较发达的阶段；车轮和帆船的发明便利了交通，天秤便利了称量，织布机便利了纺织；而且他们似乎还制订了确定的年历。实用工艺在第十八王朝，即公元前 1500 年左右，所取的成就最大。不过，当时人们还没有想到知识有长期地和缓慢地向前发展的可能性。他们

---

C. J. Gadd, *The History and Monuments of ur*, London, 1929.

G. Sarlpin, *Isis*, No. 60, 1934, p. 8 and No. 65, 1935, pp. 245, 251.

似乎以为，他们的祖先若是全凭人类自身的智慧，本来是永远也不可能发明言语、文字、建筑和计算的；还需要有神的干预。他们象已比伦人那样，把一切知识都归因于神的启示，尤其是特（Thot）（由白鹭和狒狒来代表）和他的盟友真理女神迈特（Mait）的启示。特是神话中的大帝和立法者之一，基本上是一个月神，主管测时、计日和记年。但他还是言语的掌管者，书籍的主宰者和文字的发明者。此外，他还各在庙宇中设立“守夜者”的职务，要他们世代记录天文事件。

在算术方面，埃及人的知识和迦勒底人处于大致一样的水平。

他们按十进位法计数，用笔画挨次排列记数到十，然后用一个好象6倒写的U的符号代表十，也是依次排列，以表示十，二十，三十等等。毫无疑问，土地测量技术的发展是由于尼罗河定期泛滥，淹没土地，把土地界限抹灭的缘故，虽然埃及人自己把它的起源归功于特的善意的干预。

看来，在很早的时候，就有一些测量家或“牵绳者”，用绳来丈量土地，并把结果记录下来。但是，最早的算术和几何学历史的文献证据是一份纸草纸，这份纸草纸藏在大英博物馆内，构成来因德珍藏品(Rhind collection)的一部分。在这份纸草纸上写书的人，是公元前一千六百年到一千八百年的一位名叫阿摩斯(Ahm6se)

的僧人。据这位僧人说，上面的内容又是从公元前两千二百年以前第十二王朝一位国王时代的旧卷子上转录下来的。纸草纸上记有关于分数和普通算术四则的一些说明，乘法是用屡次相加的方法得到的。上面还记载有测量的规则。

埃及的天文学虽然和迦勒底亚的天文学有同样的悠久历史，但却从未达到同样先进的发展阶段。迦勒底亚人重视占星术，因此，天文学的研究就得到更为有力的推动。天文学工作也许是一位生意兴隆的占星家的真正兴趣所在，但是他既然生意兴隆，必然有钱有势，这样，他大概就能得到进行天文学工作所必需的财力。连近代的刻卜勒(Kepler)也是这样的。

埃及人把星座和他们的神话中的神视为一体，并且在天花板上富于天文学意义的装饰中和棺村盖里面也划上这些星座。从很早的时候起，他们就把尼罗河每年一度的泛滥当作一年的开始，等到发明了精确的年历的时候，就把太阳和索特基星（即希腊人和我们的天狼星）同出的一天，当作一年的开始。一个恒星年共分365天，又分为36周，每周十天。每周天象的变化都记录下来。

埃及人心目中的宇宙大体上和巴比伦人心目中的宇宙一样。

他们以为宇宙是一个方盒，南北的长度较长，底面略呈凹形，埃及就处在凹形的中心。天是一块平坦的或穹窿形的天花板，四方有四个天柱，即山峰所支撑，星星是用链缆悬挂在天上的灯。在方盒的边沿上，围着一条大河，河上有一条船载着太阳来往。尼罗河是这条河的一个支流。

如果埃及在天文学方面落后于巴比伦，没有象迦勒底亚的那样有名的占

---

W. W. Rouse Ball, *History of Mathematics*, 3rd ed. London and Cambridge, 1901, p. 3. T. E. Peet, in *Cambridge Ancient History*, 1923—1928, vol. I, pp. 216—220.

L. S. Bull, "An Ancient Egyptian Astronomical Ceiling Decoration" *Bulletin Metro. Museum of Art*, U. S. A. vol. XV, 1923, p. 283; abstract in *Isis*, No. 22, 1925, p. 262.

Maspero, loc. cit.

星家的话，他们在医学方面的地位却恰恰相反。我们已发现有好几种重要的埃及纸草书卷，并且翻译了出来，上面载有医药论文。从埃伯斯（Ebers）纸草书卷和斯密斯（Edwin Smith）

发现的纸草书卷中得来的资料最好。前一纸草书卷的年代是公元前 1600 年左右，后一纸草书卷的年代是公元前 2000 年左右。不管他是一个神话人物，还是真实的人，最早留下名字的医生要算是伊安荷特普（I-am-hotep，或 Imhotep），意思是“平安莅临者”。他后来被人奉为医神。巴比伦没有理性医学学派：凡是疾病都被认为是恶魔作祟，因此，除巫术和厌禳外，没有其它治疗法。埃及人也使用咒语来治疗，但是他们的医学比较合乎理性，而且高度专门化。他们有用香料保存尸体的风俗，因此，不能不懂一些粗浅的解剖学知识，虽然他们好象只知道人体的一些比较大的器官，而且对这些器官的官能的想法也是完全错误的。虽然如此，外科毕竟是有了一个开端，在公元前 2500 年左右的雕塑中，我们也可以找到埃及外科医生施行手术的证据。当时有僧侣学校训练出的医生，有治疗骨折的接骨郎中、有医治埃及经常流行的眼病的眼科医生。

精神疾患似乎只好交给巫师去治疗。据说，靠了符箓和咒语，他们就可以把造成这些疾病的邪魔赶走。配制药剂和香料的技术达到高度完美的状态，许多埃及药品当时都闻名全世界。埃及医学后来传到希腊，或许是经过克里特岛传去的，接着又由希腊和亚历山大里亚传到西欧。

埃及人的寝墓绘画上红色的埃及人，黄色的闪族人，黑色的黑人和白色的利比亚人。这说明他们对不同的人种发生兴趣。这是研究人类学的早期尝试。

## 印度

在公元前三世纪之初，印度河流域的摩亨约·达罗（Mohenjo-daro），哈拉帕（Harappa）和其他地方已经存在有文化，我们还发现一条尺子，说明当时已经采用十进制制。在亚历山大的时代以前很久的科学活动的细节，已经很难查考。不过，在伦理哲学方面，释迦（Buddha，公元前 560—480 年）的名子当然是尽人皆知的，而且在那个很早的年代，就已经有医学学校了。据传说，在释迦的时代，就有一位内科医师阿特里雅（Atreya）在加息（Kasi）或贝纳勒斯（Benares）授徒，还有一位外科医师苏士鲁塔（Susruta）在塔克萨息拉（Taksasila）即咀义始罗（Taxila）授徒。无论如何，后者的著

---

J. H. Breasted's edition, Univ. of Chicago, 1930.

C. Singer, A Short History of Medicine, Oxford, 1928.

Peet, loc. cit.

本书初版这一节开始时，曾经写过这样一段话“因为古代科学发达于中国的主张，还知道的很少，我们需要考虑的古代国家。只有印度了。”本书原译者任鸿隽先生曾写了一段按语说：“西方历史学家言及世界文明的起始，往往略东方文明不言。此固由于东西两大文明起始之时本来各不相涉，同时亦因东方历史为西方人士所了解者甚少故也。”近些年来，李约瑟（Joseph Needham, 1900—）的著作 Science and Civilization in China（《中国科学技术史》）出版以后，可以稍补这一缺陷。——译注

G. Sarton, Isis, No. 70, 1936, p. 323, quoting Sir John Marshall. London.

J. Burnet, Greek Philosophy, pt. I, London, 1914, p. 9.

G. Sarton, loc. cit. p. 76 (quoting Hoernle and others).

作似乎是有历史证据的，因为有一个梵文本流传下来了。虽然这个梵文本的年代是无法确定的，但出入也超过了超过一百年。书中描写了一些手术，如割治白内障、疝气的手术；还有一些关于解剖、生理、病理的论述，并且记下了七百余种药草。阿特里雅的英名由克什米尔 (Cashmir) 的卡拉克 (Caraka) 保存下来。他在公元 150 年前后，写出一部阿特里雅医学体系的纲要。这部书由他的门徒阿格尼吠沙 (Agnivesa) 传了下来。

由于年代无法确定，我们很难说印度医学和希腊医学哪一个历史更悠久些，也很难查考两者互相的影响孰大孰小。

印度对其他科学贡献贫乏，或许部分地是由于印度宗教的缘故。释迦把他的体系建立在博爱、知识和尊重理性和真理的基础上；这些教义虽然可能有利于科学，却被他的哲学的其他要素所中和。他的哲学强调人生的无常和空虚，断定只有毁灭自我和丧失个性，才能达到精神上的圆满。这种不注意周围环境的心理态度往往足以遏制改进物质生活的愿望，而改进物质生活的愿望却往往是实用的科学知识进步的推动力。但是，仁慈的医术同佛教是一致的，或许正是由于这个缘故，阿特里雅和苏士鲁塔的著作及其中包括的内外科知识，才保存下来。

印度的佛教哲学在一个地方接触到一个肯定属于科学领域的问题。它提出了一种原始的原子说。这个原子说要么是独立发明的，要么是从希腊思想得来的。而且在公元前一、二世纪左右，就把间断性观念推广到时间中去。

“按照这个学说，凡物都只在一个瞬间存在，在第二个瞬间就由自身的复写本所取代，与电影摄影机所放映的景象非常相似。事物只不过是一系列这样的短暂的存在而已。在这里，时间也仿佛被分解为原子”。创立这个学说显然是为了用一种连续创造的过程来解释关于事物永恒变化的假定。

印度的算术是惊人的，因为有证据说明，早在公元前三世纪，印度就采用了一种数码。而我们今天的数码就是由那种数码脱胎而来的。

很可能，印度的思想影响了小亚细亚的各学派，又通过它们影响了希腊的各学派；可以肯定，后来，在阿拉伯人统治东地中海各地的期间，印度数学和医学的痕迹就和得自希腊和罗马的学术混合起来，然后取道西班牙和君士坦丁堡，重新进入西欧各学派中。这可以说明，为什么在印度数码代替笨拙的罗马数码以后，人们会把这种数码的发祥地忘得一干二净，反而称之为阿拉伯数字。

## 希腊和希腊人

古代世界的各条知识之流都在希腊汇合起来，并且在那里由欧洲的首先摆脱蒙昧状态的种族所产生的惊人的天才加以过滤和澄清，然后再导入更加有成果的新的途径。

希腊人的自然哲学提出了许多后来才由科学加以处理的问题，并且提出了许多解决办法。要了解这个自然哲学的起源，我们必须简短地谈谈希腊的人民，他们的宗教，以及他们的生活的自然和社会环境。

爱琴海中和爱琴海一带的最早的文明似乎是从克里特岛开始的。在那里，埃文斯爵士 (Sir Arthur Evans) 所发现的克诺萨斯 (Knossos) 废墟，

很可能就是这个文明的中心。克里特岛受到了埃及的影响，转过来又影响了迈锡尼 (Mycenae)。从克诺萨斯和迈锡尼毁灭，到荷马时代的比较粗糙的新文化开始，中间经过几百年时间。有证据说明中间发生过一次巨大的社会动乱。

里奇韦爵士 (Sir William Ridgeway) 等考古学家和哈登博士 (Dr Haddon) 等人类学家认为，荷马 (Homer) 笔下的阿卡亚人 (Achaean) 是一个征服者部族，属于从北方、或许是从多瑙河流域来的一个身材高大的、头发秀美的种族。哈登说：“这个种族历史上最早的迁移就是阿卡亚人的迁徙。他们在公元前 1450 年左右，用他们的铁制的武器，征服了使用青铜器的希腊居民。”

不过，尽管有清晰的迹象，还有这一权威的支持，有些古典学者还是指出，希腊文学中并没有任何从北方迁来的传说，希罗多德 (Herodotus) 也把阿卡亚人列在希腊的土著居民之列。但是，同说明阿卡亚人起源于北方的积极迹象比起来，这些证据是没有多大价值的，因为它们大半是消极性的。

荷马写作的时代大概在公元前九世纪。他给阿卡亚人的肤色安上了白皙或褐黄一类形容词；地中海人死后都实行土葬；但是荷马笔下的英雄却用火葬！他们使用铁器，而较早的希腊人民却使用青铜器；古典神话中奥林匹斯山上的神是在荷马和希西阿德 (Hesiod) 的作品中才第一次登上舞台的。

阿卡亚人又被多利亚人 (Dorians) 推翻。多利亚人在公元前十二或十一世纪侵入伯罗奔尼撒 (Peloponnese)。有证据说明他们也是从北方南下的。这是有史以前的最后一次入侵。

这样说来，希腊的居民原是混合的种族，不过，在多利亚人定居下来以后，他们就形成了统一的观念，形成了在一个共同的希腊具有共同的民族文化的观念，虽然各城市和各国家还保有地方主义。种族的的不同大概就是某些国家中统治阶级和奴隶阶级的差别的基础，别的奴隶则是东方或北方的蛮族的后裔。

在歌颂征服者种族的英雄们的荷马诗篇中，我们可以找到一种乐天的精神，说明他们已经取缔了原始巫术的专制，同具有充分人格的神保持着友好关系。荷马的诗篇朴素而自然地把这些神描写成超人的男女，始终对人类感到兴趣，有强烈的党同伐异之见，参加了这个民族的生活、战争、苦难和胜利。象在埃及一样，我们还发现，艺术和科学的发明被归功于神和半神。这些神和半神总是随时在人们中间出现，帮助他们建筑城市，留下英雄的儿子开基立国，并且靠计谋战败那些在幕后隐隐作怪的古来的黑暗势力。

早在公元前六世纪，科洛封 (Colophon) 的哲理诗人色诺芬尼 (Xenophanes) 就认识到，不管上帝是不是真的按照自己的形象造人，人却肯定是按照自己的形象造神的。从古希腊神话的神身上，我们得到一种从别处得不到的对于希腊人的气质的认识。我们可以看到这个种族虽然也虚伪、自负，或许还放荡不羁，但是却有美的感觉，生活乐天，对人热情，充分表现出他们是一个勇敢善战，生气勃勃，胸怀坦白的战胜的民族；这个民族具有异常聪颖的禀赋，生长在风光明丽的国土中，这里有酒浆般深暗的海水，

---

Sir William Ridgeway, *The Early Age, of Greece*, 1901; A. C. Haddon, *The Wanderings of Peoples*, Cambridge. 1911, p. 41.

J. B. Bury, in *Cambridge Ancient History*, vol. , p. 474.

把全世界的商品和知识带到他们门口，气候对他们的堡垒式的家屋也非常适宜，还有大量奴隶使生活优裕，有闲暇来发展最高度的哲学、文学和艺术。

### 希腊宗教和哲学的起源

不多年以前，希腊宗教还是指文学中所见的神话，也没有人认真地去研究希腊的宗教仪式。但是现在，人类学家已经证明宗教仪式十分重要，比信仰具有更根本的意义，因此，我们已经看出通过文学进行考察的方法有把人引入迷途的危险。“要科学地了解希腊宗教，第一个基本步骤是仔细考察它的仪式……荷马笔下的奥林匹斯山上的神并不比他的六音步诗体更为原始。在这一美丽的表面之下，还有宗教观念、罪恶观念、涤罪观念和赎罪观念的暗流。

这一暗流遭到了荷马的忽视或压制，但是在以后的诗人，尤其是埃斯库罗斯 (Aeschylus) 的作品中，又重新出现了。”

古典时代的希腊人自己也认识到有两种仪式，即奥林匹斯仪式和曳尼克 (Chthonic) 仪式，而且还出现了两种神话。在奥林匹斯山上的友善的神下面，还有一个精灵居住的下界。这些精灵对人的意图即令不是敌对的，也是可疑的。在这下面，又有一些仪式和信仰的残余，也就是更原始的巫术体系的残余。这些更原始的巫术体系是由于把自然界的生活和部族生活混淆起来而自发地产生出来的，因而比任何教条性的神话都更加具有根本意义。在这里，我们大概可以看到对人民群众仍然具有吸引力的那种原始的宗教观及其传统仪式的影响。这种传统仪式的目的就是要通过涤罪，抚慰鬼怪和讨好神或魔鬼来求得丰产。

公元前六世纪的寥寥无几的一点记录说明当时有两种原始祭仪流行，即爱留西斯 (Eleusinian) 秘密祭仪和奥菲 (Orphic) 秘密祭仪。从这种黑暗的背景中出现的一方面有奥林匹斯神话，一方面有早期的哲学和科学。

爱留西斯祭仪显然是想通过巫术仪式来求得土地的丰产和居民的兴旺。这种巫术仪式描写了秋天的耕种和春天的新生和成长。仪式是秘密的，其性质只能从著作家们偶然的记载(这些著作家们常常持敌对态度)及荷马的《地神颂》(Hymn to Demeter) 一类来源加以推测。荷马在《地神颂》中把灵魂不灭的希望同这种秘密祭仪联系起来。

希罗多德认为奥菲教义是从埃及传来的。奥菲教义里包括有通常的神秘仪式，目的是通过庆祝每年一度的生死循环，来促进丰产。它有一个天体演化学说，说宇宙未开辟之前是一个混沌的长夜，有一个世界之卵从这个长夜中出现，并分为天和地，代表生命的父与母。在天地之间，有一个有翅的光明神飞动，有时又叫做伊罗斯 (Eros)，和宇宙父母会合在一起。宇宙父母缔婚后，就生出了天神的儿子，即戴昂奈萨斯 (Dionysus)，或宙斯。靠了这种象征主义，当代的神秘主义就和灵魂世界 (the Unseen) 结合起来。奥菲教义的比较高尚的观念后来渗入到希腊唯心主义哲学里去，又通过希腊唯

---

See for instance, G. Lowes Dickonson, *The Greek View of life*, 1896.

Jane E. Harrison, *Prolegomena to the Study of Greek Religion*, Cambridge, 1903 (3rd ed. 1922).

See for example, *Cambridge Ancient History*, IV. R. Halliday, vol. , p. 602, and, F. M. Cornford, vol. , p. 522.

心主义哲学渗入到基督教中来，奥菲教义的比较低级的观念就变成了一切无知的迷信，并且加强了这种迷信，达数百年之久。

从这一团原始的观念中，产生了在来源和倾向上都有所不同的两条哲学思想潮流——即小亚细亚的爱奥尼亚理性主义的自然哲学和意大利南部的神秘的毕达哥拉斯派的学说。现在我们要叙述一下这两个思潮的关系以及它们同祭仪宗教和奥林匹斯神话的关系。

### 古典时代的宗教和哲学

当神话从巫术和仪式中形成起来的时候，希腊宗教的主要机能象许多别的宗教的主要机能一样，就是要用可以理解的方式来解释自然及其过程——使人类在世界上感觉安适。这个神话所包含的万物有灵论的观念具有异乎寻常的美和见识。每一个水泉都有一个仙女，每一座森林都有一个山精。生产谷物的土地的化身是第米特（Demeter，地神），无法驾驭的大海的化身是波西顿（Poseidon，海神），即大地的摇撼者。

一代复一代，这些神在数目上增加了，得到了更加清晰的刻划，新的属性被加在他们身上，而且每一个名字下部围绕着一串故事。我们可以看到一个连续不断的演变过程。每一个诗人都可以取一个神话加以改造，使之适合自己的目的，都可以介绍一个重新发现的传奇，都可以编造一个新的寓言，或者随意加以新的解释。<sup>13</sup> 随着时间的推移和理智控制感情，人们就觉得希望有一个更高级的信仰，最后，埃斯库罗斯（Aeschylus），索福克勒斯（Sophocles）和柏拉图就从先前的粗糙的多神教中创造出一个单一的、至高无上的、正义的宙斯来。这一切都是由那些想要保存、净化和光大古老的信仰的人们，自然而然加以实现的，根本没有标新立异的想法。与此同时，哲学观点也发生了变化，因为人们已经不再认为反复无常的事件决定于不负责的天神的偶然意志了，他们开始认为在神圣的和普遍的法则之下，天律是不变的。

与这种保守的宗教演变过程同时，还有一种怀疑论的批评在进行。奥林匹斯的宗教带有露骨的神人同形同性论色彩，象这样一种宗教与其说是诉诸理智，不如说是诉诸想象力。当日益增长的怀疑开始更加公开地表现出来的时候，这种宗教在哲学方面的弱点也就明朗化了。但是，奥林匹斯神话的衰颓却引起了先前的巫术仪式的复兴和新崇拜的侵入。到这个时候，对戴昂奈萨斯的崇拜本质上就是对热情的崇拜。这种崇拜通过肉体上的迷醉和精神上的狂喜又引向和神合为一体。在这上面，奥菲教义已添上了禁欲主义，并把粗糙的交感巫术中的人教和通神的原始仪式提高到具有精神价值的地步。

奥林匹斯正统宗教的这一弱点，加上希腊世界学术观点的基本自由，就促成了一种自然哲学和形而上学的哲学，这种哲学甚至从很早的时代起，就几乎没有受到神学的先入之见的束缚。

一千八百年后，经过黑暗时代的混乱局面，在中古时代经院哲学把哲学和神学加以综合、对知识加以改造以后，现代科学的先驱者曾经不得不在一

---

提要可看 F. M. Cornford in *Cambridge Ancient History*, vols.     and     ; references in Sarton, locs. cit. 为详细司看 Ed. Zeller, *History of Greek Philosophy*, Eng. trans. 1881, T. Gomporz, *Griechische Denker*, Leipzig, 1896, Eng. trans. London, 1901 and J. Burnet, loc. cit. and *Early Greek Philosophy*, London 1892 and 1908.

套自圆其说的知识体系的束缚性条件下进行工作。这套知识体系包括有流行的神学教条和重见天日的亚里斯多德的哲学。这个体系支配着一切人的思想，并且对物理学和生物学问题以及形而上学问题和宗教问题，都给予不容提出异议的解释。文艺复兴以后，哲学和自然科学进行了一场艰苦的争自由的斗争，才摧毁了经院哲学。

但是，在希腊自然哲学的成长过程中，环境却有所不同。的确，表面上的障碍也是存在着；普通人民信神上心极其虔诚；阿那克萨哥拉（Anaxagoras）就是因为是无神论者而被赶出雅典，同样的罪名也是苏格拉底的罪状之一，虽然他反对阿那克萨哥拉的见解，事实上是领导了一次宗教复兴。阿里斯托芬（Aristophanes）也对当代流行的物理学思想加以尖刻无比的嘲笑，因为这种思想被认为具有无神论倾向。不过，希腊宗教毕竟富于流动性，它的变化不已的神话是丰富多彩的，它既能适应诗意美和艺术美的需要，又随时可以吸收和装饰新的观念，因此，学术观点就具有了一种中古时代的意识所没有的自由和开朗的精神。

当希腊各城邦发展起来，越出先前的界限的时候，希腊的地理位置和经济需要就迫使希腊人民同更古老的文明发生接触。早期希腊哲学家所搜集的事实大部分是从外来的来源得到的——他们的天文学是从巴比伦尼亚得来的，他们的医学和几何学是从埃及得来的，可能一部分是通过克里特岛。在这些事实之上，他们又加上一些事实，然后，在历史上破天荒第一次对它们加以理性的哲学考察。这种观念的混合过程是逐渐向西推移的。效果最初是在爱琴海的爱奥尼亚海岸出现的。当时，希腊人大概还保持着过去的米诺斯文化（Minoan civilization）的传统，并且同巴比伦和埃及的学术保持着接触，因而对演绎几何学和自然界的系统研究提出一些见解。希腊的哲学发展（与其说属于科学范围不如说属于形而上学范围）的高潮，是公元前350年左右，在柏拉图和亚里斯多德的领导下，在雅典和内地各城市达到的。它的影响传布到希腊在意大利南部和西西里岛上的各个殖民地。在那里，一世纪以后，靠了阿基米得的数学天才和实用的天才，希腊的物理科学又达到它的最高成就。然后，它的影响又向东传到亚历山大里亚这一新城市去了。

### 爱奥尼亚的哲学家

首先明确地摆脱神话传统的欧洲思想学派就是小亚细亚的爱奥尼亚自然哲学家学派。在这个学派当中，米利都的泰勒斯（Thales of Miletus，公元前580年左右）是我们所知道的最早的一位。他是一个商人、政治家、工程师、数学家兼天文学家。这个米利都哲学学派的重要性在于，它第一个假定整个宇宙是自然的，从可能性上来说，是普通知识和理性的探讨所可以解释的。这样，神话所形成的超自然的鬼神就真的消灭了。他们形成了一个变化的循环的观念。这个循环就是从空气、土、水，经过动植物的身体，复归于空气、土、水。泰勒斯注意到动植物的食物都带湿气，因而重新提出古来的理论，说水或湿气是万物的本质。这一基本元素说适足鼓励哲学上的怀疑论；

---

W. Whewell, *History of the Inductive Sciences*, vol. I, 3rd. London, 1857, p.25, and J. Burnet, *Early Greek Philosophy*, Introduction.

F. M. Cornford, *Before and after Socrates*, Cambridge, 1932.

因为，如果木和铁在本质上和水一样的话，那么，感官的证据就必然是不可靠的。

泰勒斯的传说中的事迹是由亚里斯多德和普卢塔克（Plutarch）传下来的。据说，泰勒斯访问过埃及，并且根据土地测量的经验规则创立了演绎几何学。以后，几何学就沿着他的方向由其他人加以发展，最后由欧几里得加以系统化。据说，他还预言过一次日食，不是公元前 610 年的日食，就是公元前 585 年的日食，大概是利用巴比伦的历表测算的。他向人们说，大地是一个浮在水面上的扁平的盘子。

泰勒斯之后的阿那克西曼德（Anaximander，公元前 610—545 年）似乎是把已知的世界绘成地图的第一个希腊人。他也首先认识到天空是围绕首北极星旋转的，因此，他得出结论说，天空的可见的穹窿是一个完整的球体的一半，地球就处在这个球体的中心。在泰勒斯和阿那克西曼德提出这一新学说之前，人们一直以为大地是一块无限厚的基础坚实的地板。现在，阿那克西曼德把它说成是一个有限的扁平圆筒，最初由水、空气和火的外衣包围着，浮游在天球之中。他认为太阳与星星就是从原来的火焰炽烈的外衣中分出的碎片，系在圆形诸天之上，并且随着圆形诸天绕地球而转动，地球则是万物的中心。太阳在夜间就转到地下面去了，并不象旧说所设想的那样，是围绕着世界的边沿通过的。

阿那克西曼德的天体演化学说以为，世界是由于混沌未分的原质中的对立面分裂而产生的，从而追溯到每天在自然界起作用的普通力量的活动的开端。这就进一步提出了一个理性的机械论的哲学。

在实用技术领域，我们从传说中知道有几个朦胧的人物，例如：阿拉卡雪斯（Anacharsis，公元前 592 年左右）——据说他发明了陶工用的转车；格劳卡斯（Glaucus，公元前 550 年左右）——他是第一个学会焊铁的人！提奥多罗斯（Theodorus，公元前 530 年左右）——他发明了水准器、车床和三角规。据说，阿那克西曼德还从巴比伦输入了日晷或指时针。这是一根直立在地平线上的木杆，可以当做日规用，也可以用来测定子午线和一年中正午时分太阳高度最高的一天。但是，由于大量使用奴隶，发明机器的动力是不大的。

在有机界，阿那克西曼德认为最早的动物是从海泥里产生出来的，人是从鱼腹里产生出来的。他认为，本原物质是永恒的，但是，万物，包括天体在内，都注定要归于毁灭，复返于原来未分的宇宙混沌状态。

阿那克西米尼（Anaximenes，卒于公元前 526 年左右）离开奥菲神秘主义更远一些。他以为，世界的本原物质或元素是空气，空气再稀薄一点就变成火，凝缩时，先变为水，次变为土。大地和行星都浮游于空气中，月亮由于反射太阳的光线而发光。

## 毕达哥拉斯学派

同爱奥尼亚哲学家的自圆其说的倾向相反，毕达哥拉斯（生于塞莫斯，但在公元前 530 年左右移居意大利南部）及其追随者却表现了一种直接从奥

---

Sir Thos. Heath, Greek Astronomy, London, 1932.

Gsarton, History of Science, vol. I, Baltimore, 1927p. 75.

菲教义得来的神秘态度，同时也很愿意进行观察和实验。赫拉克利特（Heraclitus）说：“毕达哥拉斯进行过的研究和探讨，比所有其他的人都多，他靠博学和粗劣的技术形成他的智慧。”

毕达哥拉斯和他的学派放弃了单一元素的概念。他们以为物质是由土、水、气、火四者组成，而这四者又由冷、热、湿、燥四种基本物性两两组合而成，例如水是冷与湿的组合，火是热与燥的组合。他们推进了几何学这一演绎科学，并且按照逻辑顺序建立了某种体系，同欧几里得几何学前两册相仿。欧几里得几何学第一册的第四十七命题现在还称为毕达哥拉斯定理。划直角的“绳则”也许早已在埃及和印度凭经验发现了，但是，很可能到毕达哥拉斯，才第一次用演绎的方法证明直角三角形斜边的平方等于他两边平方之和。

最早把数的抽象观念提高到突出地位的也是毕达哥拉斯派。我们今天都很熟悉数的观念，我们习惯于同抽象的三或五打交道，不管手指也好，苹果也好，或日子也好；因此，我们难以认识到当人们第一次看出几组不同事物的本质属性五的时候；这在实用数学和哲学方面是怎林一个巨大的进步。在实用数学方面，这个发现使算术成为可能；在哲学方面，这个发现促使人们相信数是实在世界的基础。亚里斯多德说：“毕达哥拉斯派似乎认为数就是存在由之构成的原则，可以说，就是存在由之构成的物质。”这种把确定的、不可分割的单位看做是基本实体的观念，同毕达哥拉斯派另一伟大发现，即有一些量没有公约数的发现（参看第十二章），似乎是不相符合的，但是，毕达哥拉斯派用声音进行的实验又大大加强了这种观念。毕达哥拉斯派证明，用三条弦发出某一个乐音以及它的第五度音和它的第八度音时，这三条弦的长度之比为 6 : 4 : 3。他们企图在这种比例数体系基础上，来建立关于宇宙的理论。他们认为这些成比例的数就代表不可分割的空间单位。他们还认为，各行星与地球的距离一定符合于音乐的进行，从而奏出“天体的音乐”。十是完美的数字（因为  $10 = 1 + 2 + 3 + 4$ ），因此，天上的运动的发光体必然也有十个。但是，由于只可以看见九个，他们就断言必定还有一个看不见的“对地星”。后来，亚里斯多德就十分正确地批评过这种抹杀事实的戏法。

不过，毕达哥拉斯派在天体演化学说方面的确取得很大的进步。在这方面，我们的材料主要是从在五世纪中叶写作的菲洛劳斯（Philolaus）的著作中得来的。他们承认地球是一个球体，并且终于认识到，如果假定地球在运动，就可以解释、而且可以更简单地解释天体的视运动。他们认为地球在转动，但并不是绕着自己的轴心转动，而是绕着空间中固定的一点转动，与“对地星”相平衡，正象系于绳的一端的石块一样转动；因此，地球要把有人居住的表面顺次呈现于周围的天空的每一部分面前。在这个固定点上有一个中央火，这是宇宙的祭坛，是人永远也看不见的。这一观念后来使人误以为毕达哥拉斯派已经创立了太阳中心的宇宙说，从而走在阿利斯塔克和哥白尼前面。

从他们关于数的理论中可以清楚看出的神秘的自然观，也表现在毕达哥拉斯关于对立的原则——爱与憎，善与恶，光明与黑暗——的根本重要性的看法上。这个看法常常在希腊思想中出现。这个看法以为有关事物的事实可以从词的意义中推出来。这个神秘的观点还出现在阿尔克莽（Alcmaeon）医生的著作里。他以为，人是一个小宇宙，是大宇宙的缩影；人体是世界构造的反映，人的灵魂是数的和谐。毕达哥拉斯学派持有一种形式哲学，而爱奥

尼亚派则持有一种物质哲学。五世纪初，这个学派就分裂了；一派变成一个宗教性的兄弟会，另一派循着准科学的途径提出了关于数的理论。

毕达哥拉斯派哲学的本质，包括终极的实在应该到数及其关系中去寻找的理论，将在本书叙述柏拉图的理念理论到新柏拉图主义者和圣奥古斯丁的章节中再加论述。在圣奥古斯丁的影响下，这个学派的哲学帮助形成了中古时代思想的柏拉图主义背景，即导源于亚里斯多德的经院哲学体系以外的另一哲学体系。就是在经院哲学中，毕达哥拉斯派关于几何学、算术、音乐和天文学中的数的秩序的观念，也使得这四种学科成为中古时代的课程。文艺复兴以后，哥白尼和刻卜勒再次提出关于数的重要性的见解。他们所强调的主要是太阳中心说的数学上的和谐和简单性，认为这就是太阳中心说所以是真理的最好证据。在我们的时代，阿斯顿（Aston）的原子整量说，莫斯利（Moseley）的原子序数说，普兰克的量子说以及爱因斯坦关于万有引力等物理事实不过是局部的时空特性的表现的说法，都是毕达哥拉斯派哲学的一些见解的复活，只不过在毕达哥拉斯派的哲学中，这些见解比较古老、比较粗糙而已。

## 物质问题

如果天文现象比较显著，因而首先引起人们的注意的话，物质本性问题也同样地要求有思考力的人们加以解释。化学的起源应该到和人类一样历史悠久的技术，尤其是火的发现和使用中去寻找。烹饪、葡萄汁的发酵，金属的冶炼，石器的制造，都是史前期的成就。埃及人在染色，淬铁，玻璃和珐琅制造，以及用金属化合物来制造染媒，颜料，脂粉等技术方面，都相当高明，早在公元前 1500 年，泰尔（Tyre）的人民已经能用介贝制造有名的泰尔紫色颜料。

象在几何学中一样，在物质问题上，首先提出理论的似乎也是希腊人。他们认为机械技术是低贱的。他们对于机械技术中所必然包含的大量知识，不加理会，而只在每一个希腊上等人可以看出的问题上进行推理。我们知道，爱奥尼亚的哲学家以为物质的变化是从土与水开始，经过动植物的躯干和枝茎，再回到土与水。他们开始认识到物质不灭的观念。从泰勒斯起，尽管物体征表面上有明显的差别，他们仍然推想到可能有单一的“元素”，即水、空气或火，是万物的共同基础。

公元前五世纪初，哲学界展开了争论，双方都对爱奥尼亚人和毕达哥拉斯派加以抨击。参加争论的人都表现了希腊人的一个特色，那就是喜欢根据第一原则来建立理论，并且就现象提出一些武断的判断。

诗人兼哲学家赫拉克利特（Heraclitus，公元前 502 年左右）对阿那克西曼德和阿那克西米尼的唯物主义的倾向，表于轻蔑。在他看来，以太火才是基本元素或实在，这是一种灵魂材料，一切都用它造成，也都要回到它那里去。在这个世界中，对立面——如睡与醒，死与生——不断的交替就构成了这个永不熄灭的火的永不停止的节奏。万物都在有秩序地运动，一切都处

---

E.A.Burtt, *Metaphysical Foundations of Modern Science*, London, and New York, 1925, pp.23, 44. 应看本书第三章。

A.N.Whitehead, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1927,

在流动——的状态中。真理只能在内心中找到，它是普遍的逻各斯（Logos）或理性的反映。

意大利南部埃利亚的哲学家也先验地（a priori）达到了另一类型的批判哲学。他们的领袖是活跃于公元前 480 年左右的巴门尼德（Parmenides）。

巴门尼德为人的心灵的活动所迷，把希腊人所特有的一项假定推到极端。这个假定就是，凡不能设想的就都是不可能的，即令感官告诉我们它的确发生了。他的论证是这样的：创造是不可能的，因为不可能设想可以从无中产生有，可以由非存在中产生存在，事实上，就不可能有非存在这种东西。反过来说，毁灭也是不可能的，因为有不可能化为无。连变化也是不可能的，因为一物不可能从本质上和它不同的另一物中产生。这样，我们在自然界看见的或自以为看见的变化的假象，多样性和多重性的假象，时间和空间的假象，都不过是感官的错误印象，而由思维证明是自相矛盾的。因此，感官不能发现真理，只有思维才能发现真理。感官知觉是非实在的，是非存在；只有思维才是实在的，是真存在。换句话说，要接触到实在，我们必须除去一切形体上的差异，只留下一个单一的、划一的本质。这才是唯一的实在，这个实在是永恒的和不变化的，只受自身的限制，而又均匀地延伸，因而是球形的。在肉眼可见的现象界，非实在的、但仍为人观察到的宇宙是一连串由火与土组成的同心壳；虽然这一切只是“意见”，而不一定是“真理”。

这些见解当中的一部分见解由埃利亚的芝诺（Zeno）加以发挥。芝诺和巴门尼德同时代，但比较年轻。他反对毕达哥拉斯派关于万物都由整数组成的理论，并且认为他已经用他的一连串著名的疑难问题证明，倍数性是不足为训的。一个倍数必然能分割到无穷，因此，自身必须是无穷的，但是，在还原的时候，不论有多少无穷小的部分都不能构成一个有穷的整数。跑得很快阿基里斯（Achilles）要赶上乌龟，阿基里斯到达乌龟动身的地方，乌龟已经走到前面一个地方；阿基里斯到达那个地方，乌龟已移到更远的地方——如此永久继续，以至无穷，阿基里斯永远赶不上乌龟。

巴门尼德所争辩的焦点似乎在于词所偶然获得的意义，这种意义永远是任意的，并且常常在变化中；芝诺的疑难问题的基础却是一些关于无穷小的性质及时间和空间的关系的错误观念，这些错误观念已经为现代数学所澄清。但是，芝诺的确证明，如果以为事物可以无限制地分割为当时所理解的无穷小的单位，那么，这种观念是同经验不符的。只是到十九世纪把彼此不相等的不同种类的无穷数区别开来以后，才能把这种不符完全解决。

尽管这样，埃利亚的哲学在两个方面对我们仍然是很重要的。第一，它不信任感官，因而帮助了原子论者到感官所不能觉察的东西中寻找实在，并且把后世所谓物体的第二性的质或可以分出的质，如热或色彩，解释做只不过是感官知觉。第二，他们力图寻找代表万物中的基本实在的单一统一，一方面帮助了物理学家寻找单一的化学元素，另一方面也帮助了哲学家，把本质同质或偶有性分开。这个对物质本性的见解经亚里斯多德加以最后阐释以后，一直支配着中古时代的思想。

阿那克萨哥拉（Anaxagoras）是另一位爱奥尼亚哲学家，约在公元前 500 年出生于士麦拿（Smyrna）附近，四十年后，把爱奥尼亚的比较富于唯物主义色彩的哲学见解带到雅典。在阿那克萨哥拉看来，物质是一群不同的实体的集合物，每一实体都具有不同的质或偶有性，如感官所感到的。不管怎样分割，各部分所包含的东西总是和全体相似，不过可能由于成分比例不同而

有所不同。运动最初是由智慧（“奴斯”）发动的。这是一种精微的流体。可以引起旋转，旋转扩散开来，就造成世界，并使它具有秩序。天体是和地球性质一样的物质；太阳并不是日神，而是燃烧着的石头；月球中有山与谷。除了这些见解外，阿那克萨哥拉在精确知识方面也取得一些真正的进步。他对动物进行解剖，对大脑的解剖学有一些认识，并且发现鱼是用鳃呼吸的。

我们在著名的四种元素假说中还可以找到另外一些关于物质的见解。这个假说是毕达哥拉斯派所持有的，西西里的哲学家恩培多克勒（Empedocles，公元前450年）对这个假说作了更明确的阐述。他认为物质的“根源”或“元素”是土、水、气和火——一种固体、一种液体、一种气体、一种比气体更稀薄的物质。这四种元素在整个宇宙中，受到两个对立的神力的影响，以各种不同的比例结合起来；所谓两个对立的神力，一是相引力，一是相斥力，即平常的眼睛可以看见在人们身上起作用的爱与憎。这个见解同毕达哥拉斯的观念颇为相似。由于这四种元素的不同结合，就形成了所有形形色色类型的物质，正象画家用四种颜料配成各种深浅的色彩一样。

巴门尼德过去就断定，人们以为他们在空气中可以觉察到一种空无所有的虚空，其实在空气中并不存在这种空无所有的虚空。阿那克萨哥拉和恩培多克勒证明空气是有质体的，恩培多克勒并且利用水钟作试验，证明只有空气逸出之后，水才能进入一个瓶中。这个发现证明空气既不是空无所有的空间，也不是水汽。

万物皆由四种元素组成的观念似乎是由于对火的作用的自然的误解而产生的。当时，人们以为，一个东西燃烧后，必然要还原为它的几种要素；可燃烧的物质都是复杂的，把它烧完后所留下少量的灰烬则是简单的。例如，青绿的木材燃烧时，由光可见其火，其烟则散入空气中；水由木柴的两端沸腾而出，而灰烬则具有土的性质。

后来，还出现过一些别的学说，都是建立在对火的这种看法的基础之上的，这种对火的看法是化学上第一个伟大的指导原则。马什（Marsh）说：“火的学说有：希腊的四元素说，炼金术的金属成分说，医药化学的沉淀原质说，及燃素说”，这后一学说是十八世纪提出来的。这些学说的兴起和衰落，我们将在本书后面几章中加以阐述。

## 原子论者

恩培多克勒认为，设想四种元素以不同的比例相结合，便可以解释人类所知的种类无穷的不同物质。留基伯和德漠克利特把问题更加简化。他们把另一更古老的单一元素假说发展成为一种原子说。

希腊人的原子说所依据的基础，同道尔顿、阿伏伽德罗（Avo-gadro）和坎尼查罗（Cannizzaro）提出今天的原子说和分子说时所知道的明确的实验事实大不相同。现代化学家对于各种化学元素结合时在重量上和体积上的比

---

J . E. Marsh, the Origins and Growth of Chemical Science, London, 1928.

看已经提到的各种著作，特别是：Burnet：又 J . Masson，The Atomic Theory of Lucretius. London, 1884，Paul tannery“ Democrite et Archytas”，Bull. des sciences math. vol. X, 1886，p. 295; F. A. Lange, Geschichte des Materialismus, 1866 and 1873, Eng. trans . London and New York, 1925；Cyril Bailey, The Greek Atomists and Epicurus, Oxford, 1928.

例，都有精确的定量计度。这些有限的和确定的事实使人们不能不形成原子的观念和分子的概念，并且断定原子和分子都具有相对原子量和分子量。人们发现，这样形成的学说，同构成科学的共同遗产的许多其他孤立的或相互关联的事实和关系，都是相符的，也得到别的连续的经验证明，并且可以当作一个有用的指针，来研究，甚至预测新的现象。虽然象一同其他科学概括一样，它也有其哲学意义，但是，这种哲学意义并不是从任何关于宇宙的全面哲学理论中推导出来的，甚至也并不是和这种理论有着必然的联系。这是一件不那么高贵的事情，然而却更加有用。

希腊人首先既没有确定的观察所得的事实，可以据以建立一个精确的和有限的理论，而且在理论成立之后，也没有力量通过实验来检验这个理论的推论。希腊人的理论是建立在一个哲学的宇宙体系之上，并包括在这个哲学的宇宙体系之内的。象古代和现代的各种形而上学的学说一样，它一直是一种决定于创始人和信徒的心理态度，因而也很容易为敌对哲学家的新学说从根本上加以推翻和取代的理论。事实经过也正是这样。

爱奥尼亚的哲学家按照当时流行的形而上学的观念，根据当代的一般知识，进行推理。在物质被分割又分割之后，它的特性会保持不变吗？不管怎样分割下去，土还是土，水还是水吗？换句话说，物体的特性究竟是无法再加解释的最后的最后的事实呢？还是可以按照更简单的观念加以描写，从而把一无所知的范围再缩小一步呢？

希腊人解决物质问题的努力在科学思想史上所以重要，正是因为他们企图这样用看起来比较简单的方式来求得合理的解释。按照他们的学说提出以前的观念和原子哲学衰落以后的观念，物质的特性被认为属于物质的本质；食糖的甜和树叶的色彩，同食糖和树叶本身一样是一种实在，无法联系其他事实加以解释，也不能解释作是人的不同的知觉。

探讨一下希腊原子说的起源，是很有趣的。基本元素，泰勒斯<sup>23</sup>以为是水，阿那克西曼德以为气，赫拉克利特以为火。阿那克西曼德的元素——气——可以凝缩和稀薄起来，但其本质不变。赫拉克利特的无尽流动说说明他以为有一些看不见的粒子在运动，表现为水的蒸发和香气的弥散。再往上推，毕达哥拉斯派的理论认为同数的法则相符合的完整的单子是终极的实在。毕达哥拉斯派还认为在空虚的空间里，是没有物质的，不过，他们把这种空间和空气混淆起来。这一看法受到巴门尼德的抨击，但是，原子论者由于难以解释粒子怎样在一个塞得满满的空间或充满物质的空间中运动，又重新提出了这一看法。这时已经知道空气是有质体的，因此，在原子论者看来，一无所有的空间就变成了真空。

正是这些思潮启发了原子说：物质是由散布在真空中的终极粒子组成的。这个学说解释了当时已知的一切有关事实——蒸发，凝聚，运动和新物质的生长。诚然，根本问题依然存在，其他希腊哲学家也强调指出过这个问题。原子本身能够无限地分割下去吗？原子论者逃避了这一逻辑上的漏洞，认为原子从物理上来说是无法分割的，因为原子内部已经没有真空。

我们所知道的最早的原子论者是留基伯（Leucippus）和德谟克利特（Democritus）。前者是公元前五世纪的一个身世不明的人物，据说在色雷斯（Thrace）创立过阿布德拉（Abdera）学校；后者于公元前460年生于阿布德拉。我们从亚里斯多德等后来的著作家的著作中以及伊壁鸠鲁（Epicurus，公元前341—270年）的著作中，知道了他们的见解。伊壁鸠鲁

采纳了原子说，并且在雅典讲授原子说，作为他的全面的伦理、心理和物理哲学的一部分。这个学说二百年后又在罗马诗人卢克莱修（Lucretius）的诗篇中提了出来。

留基伯提出了原子论的基本观念，还提出了因果原则——“没有什么事情无缘无故而发生，一切事情的发生都有原因和必然性。”他和德谟克利特继爱奥尼亚哲学家之后，继续努力用比较简单的要素来解释物质特性。他们看出，承认物体特性是根本的和无法解释的，就是杜绝一切进一步的探讨。与这一观点形成对比，德谟克利特说：“按照通常说法，有甜有苦，有热有冷，按照通常说法，有色彩。其实，只有原子和虚空。”毕达哥拉斯有一种相对主义的观点，认为“人是万物的衡量尺度”，例如，蜜在我为甜，在你也可为苦。德谟克利特虽然反对毕达哥拉斯的见解，却也看出，单单通过感官，是达不到实在的。

德谟克利特的原子是无前因的，从永恒就存在的，并且永不毁灭——“保有刚体的单一性而坚固”。它们在大小和形状上是多种多样的，但是在本质上却是一样的。因此，特性的不同是由于具有同一终极性质的质点在大小、形状、位置和运动方面的不同而产生的。在石头和铁中，原子只能颤动或振动，而在空气或火中，它们就能在较大距离中跳跃。

原子在无限的空间中向四面八方运动，互相冲击，引起了直线运动和旋转，这样就把类似的原子结合在一起，组成元素，开始形成无数世界。这无数的世界生长，衰颓，以至于最后毁灭，只有与本身环境相适应的体系才能存在下来。在这里，我们可以看见星云假说和达尔文的自然选择说的微弱的前兆。

在原来的原子说中，并没有绝对的上下轻重的观念。而且，运动作经反抗下会停止。在亚里斯多德看来，这些正确的见解是不可置信的。后来，似乎就有人按照他的意见对这个学说加以修改。这个真理还得伽利略来重新发现。在天文学方面，原子论者开了倒车，以为地球是扁平的；但是，在其他方面，他们都走在他们的同时代人和后来人前面。

卢克莱修告诉我们的德谟克利特的学说，把过去人们心目中的自然界的画面巧妙地加以简单化。事实上，这个画面是太简单了。原子论者竟不自觉地把两千四百年后还不能解决的一些困难，轻轻放过。他们大胆地把这个学说应用于至今仍然无法从机械角度加以解释的生命和意识的问题。他们满怀信心地自以为把一切奥秘都发现了，对于围绕着一切存在的那个巨大奥秘，视而不见。这个奥秘至今仍然和最初提出原子说时一样奥妙莫测。

原子论者和他们的对手所争论的哲学问题，也就是十八世纪牛顿的法国信徒把他的物理学当做一种机械哲学的基础时重新出现的那个哲学问题。自然界背后的实在究竟是一种在本质上同人类心灵所见的自然界相似的东西呢？还是一种对人和人的福利漠不关心的巨大机器呢？一座山实际上是披着树木的绿袍，戴着永不溶化的雪帽的一堆岩石呢，还是实质上是一批没有人的品质的小质点、一批不知何故能使人类心灵产生形式和色彩幻觉的小质点的集合体呢？物理学家把物质分析为质点，发现它们的力量和运动可以从数学角度加以描写。唯物主义者把这一科学结果引到哲学中来，说除此之外，别无实在。唯心主义者反对把宇宙看做是非人的，而在希腊，原子哲学就因此持有这种看法而遭到反对。到十八世纪，牛顿的科学已经根深蒂固不容推翻，于是不能不在笛卡尔（Descartes）的二元论中或贝克莱的唯心主义中别

求出路。

不管它在哲学上的价值怎样，在科学上，德谟克利特的原子说要比它以前或以后的任何学说都更接近于现代观点。它在柏拉图和亚里斯多德的摧毁性的批判下，实质上遭到压制。从科学观点来看，这应该说不幸。后来几个时代竟让各种形式的柏拉图主义代表希腊思想，这个事实实在是科学精神从地球上绝迹一千年之久的原因之一。柏拉图是一个伟大的哲学家，但是在实验科学史上，我们不能不把他算作一个祸害。

## 希腊医学

希腊医学中包含的东西有很多是直接或间接从埃及得来的。希腊的两个最著名的学派是柯斯(Cos)学派和克尼多斯(Cnidos)学派。前一学派把疾病看做是正常健康身体的错乱，因此依靠自然疗法；后一学派研究每一疾病，并寻找对症疗法。

关于最早的有史时代，一件有趣的事，是荷马的《伊利亚特》准确地叙述了不同创伤的后果，其中描写的治疗方法也简单而直截了当，说明了荷马笔下的英雄们所属的种族在医学和外科方面具有理性精神的健全传统。不过，看来这个传统并不是普遍的。在《奥德赛》里，巫术就出现了，在希腊境内的大多数人民中间，正象在别的南方和东方的国家一样，符咒和驱邪成了流行的治疗方法。就是到了较晚的时代，这两种思想也是同时并存的。到古典时代快要结束时，希腊医学知识已经达到最高峰，埃匹道位斯(Epidauros)，雅典和其他地方的爱什库拉匹(Aesculapius，医神)庙所提供的医疗中，仍然有很多巫术和符咒的成分。但是，即今到今天，在英格兰和威尔士，也还有些地方依赖符咒治疗。

随着医学的发展，希腊人所十分珍视的演绎方法也应用到医学上来，关于人的本性和生命起源的许多先人之见被当作医疗的基础，而且毫无疑问，也使很多病人送掉性命。在理论不超出范围时，医学也就取得长足的进步；医师的地位也相应地提高了，而且还采纳了一个极好的医师法典，后来列入著名的希波克拉底誓词中。誓词中宣布，医师要处处为病人的福利着想，要保持自己的一生和自己这一行业的纯洁和神圣。

大多数希腊哲学家都谈到过——至少是附带地——医学现论。毕达哥拉斯派把他们的特殊信条也应用到医学理论上。克罗顿的阿尔克莽(Alcmaeon of Croton，公元前500年左右)是苏格拉底以前的主要胚胎学家，首先进行解剖的大概就是他。他发现了视觉神经，并且认识到，大脑是感觉和理智活动的中央器官。阿那克萨哥拉用动物进行实验，并且用解剖方法研究它们的构造。恩培多克勒认为血液流向心脏，并由心脏流出，健康有赖于人体中所谓四种元素的正确平衡。

---

C.Singer, A Short History of Medicine, Oxford, 1928; R.O.Moon. Hippocrates and his Successors, London, 1923.

《伊利亚特》(Iliad)是荷马叙述希腊与特洛伊(Troy)战争的长诗。——译注

《奥德赛》(Odyssey)是荷马叙述希腊英雄奥德赛自特洛伊战争后返回伊萨卡(Ithaca)的长诗。——译注

C. Singer, A Short History of Medicine, P. 17.

希腊医学到希波克拉底（Hippocrates，公元前420年左右）的学派而登峰造极。他们的理论和医术都和今天流行的有几分相似，远远走在现代以前的任何时代的见解前面。他们研究生理学时并不象亚里斯多德和盖伦（Galen）那样去追问“最后因”；他们多问“怎么样”，而少问“为什么”，因而具有现代精神。实验的方法出现了；例如，希波克拉底派研究胚胎学的著作家建议观察者每天打破一个鸡蛋，去观察孵化的过程。他们认为疾病是一种要服从自然法则的过程。他们坚决主张进行精微的观察和周密地解释症候，从而指出了走向现代临床医学的道路。他们还许多疾病作了准确的描写，指示了适当的医疗方法，他们在相当程度上进行了解剖，但是，直到后来，大概是在托勒密王朝的统治下，才在亚历山大里亚进行了系统的人体解剖，第一次给人体解剖学和生理学提供了事实确凿的可靠基础。

### 从原子论者到亚里斯多德

原子哲学标志着希腊科学第一个伟大时期的最高峰。其后就是一个停顿时期，甚至可以说是一个倒退时期，可见用哲学的先验方法研究自然是多么危险。雅典成为一个民主邦以后，人们的主要精力或许都转到词藻和政治方面去了。流利的言词成为飞黄腾达的唯一道路，哲学家转而去研究经济学和伦理学，数学和自然科学就无人问津之慨。

知以的下一进步见于早期史学家的著作中。最早的或许是赫克特斯（Hecateus，公元前540—475年）。后来又有希罗多德（Herodotus，公元前484—425年），他游历极广。在他的著作中有不少有关人民和国家的宝贵记载。他具有值得钦佩的求知欲，这从他对于尼罗河定期泛滥的原因的探究和思考中，可以看出。在修昔的底斯（Thucydides，公元前460—400年）的身上，可以看到一种更精确的批判精神。他本着一个科学的历史学家的精神，批判了希腊历史的神话时期，以目击者身份描写了伯罗奔尼撒战争，并且记载了雅典的大疫和公元前431年的日食。

原子论的影响还可以在一部分反对者的怀疑中看出来。反对者象原子论者一样，怀疑感官是否能够向我们提供外部世界的信息。但是，他们得出了相反的结论。原子论者认为实在在于物质，而不在于心灵；反对的学派认为感官传达的关于实在的信息虽然是可疑的，但是感觉的确存在，因此，感觉才是唯一的实在。后来一个时代，也出现过从机械论到现象论两种对立的哲学。

在苏格拉底身上，出现了这种反动的富于批判精神的典型。他以查问者的姿态，对诡辩家、政治家和哲学家，无不加以诘难，一遇到无知、愚蠢和自命不凡，就加以揭发。他主张心灵至高无上，因为心灵能领悟真正的“形式”或理想，感官对象只不过是接近这种“形式”的倾向而已。道德的完美是一种理想；平等是一种理想。但是，两块石头也只能是接近于相等，因为相等是一个极限。苏格拉底认为心灵是唯一值得研究的对象，并且认为真正的自我不是肉体，而是灵魂和内心生活。这样，由于他的影响，人们的注意力就往往离开了对自然界的考察。事实上，从某种观点来看，苏格拉底领导了一次反对爱奥尼亚自然哲学家的唯物主义态度的宗教反动，虽然群众的叫嚣给他加上了无神论者的罪名。柏拉图为什么反对机械决定论，可以在《斐多篇》（Phaedo）描写的著名场面中得到解释。那里叙述了苏格拉底在狱

中等待饮毒时刻到来的情景。据柏拉图说，苏格拉底告诉他的朋友们说，在阿那克萨哥拉看来，他的筋骨的本性可能就是他坐在那里的原因。但是，真正的原因是：

由于雅典人觉得给我定罪比较好，所以我也觉得坐在这里比较好，留下来接受他们所定的惩罚比较好，因为我可以发誓，要是当初我不认为接受这个城市给我的任何判决比起溜之大吉来是一个更正当、更体面的办法的话，我的筋骨早就按照有人所说的最上策办法，到了米加腊（Megara）或波奥提亚（Boeotia）了。

苏格拉底在这里表现了一种对不成熟的机械论哲学的自然反感，或许在某种程度上还表现了对于科学态度的误解和敌视。可以肯定，他使得哲学界不再去研究过去和现在，而去考虑未来——所以要创造世界的目的所在。不过，据亚里斯多德说，有两种科学成就完全可以归功于苏格拉底——一些普遍的定义和归纳推理。

他的学生柏拉图（公元前428—348年）是唯心主义的最伟大的代表。在他的身上，怀疑论和神秘主义结合在一起。柏拉图对于自然的看法是从人类需要和意向中先验地推导出来的，神是好的，球是最完美的形式，因此，宇宙必然是球体的。本原物质和延展的空间是同一的；四种元素并不是自然界的字母表上的字母，甚至不是自然界的单词的音节。为了标志时间，才有在圆圈中运行的天体，天体所以作圆运动是上帝使然。柏拉图显然受到了毕达哥拉斯学派关于形式和数的神秘主义理论的影响。他在把这个理论运用到天文学上去的时候，不及毕达哥拉斯派具有现代精神，但是他认为星星是自由地在空间中浮动的，靠它们的神性的灵魂而运动。把柏拉图的一些圆圈联合起来，就可以得到太阳绕地球运转的视轨道。这个天文学学说后来由希帕克和托勒密加以详细发挥。不过，据说柏拉图到了晚年又认识到，如果假定地球是运动的，就可以更简单地说明天文现象。

柏拉图的物理学和生物学带有拟人观的色彩，甚至带有伦理的色彩。爱奥尼亚派认为宇宙是进化而来的，柏拉图却以为宇宙是创造而来的。他的宇宙是一个有形体，有灵魂、有理性的活着的有机体。在《蒂迈欧篇》（Timaeus）中，他根据宇宙和人，即大宇宙和小宇宙的异想天开的类比，从这个学说中，推演出一种关于宇宙的性质和结构的见解来，甚至推演出一种关于人体生理的见解来。大宇宙和小宇宙相似的说法也为阿尔克莽所持有，一直流行到中世纪末。

建立在这种思想基础上的柏拉图的科学，大半是荒唐的。他严厉地非难实验是读神的，是下流的机械技术。另一方面，他却对数学这种演绎科学，给予高度评价。柏拉图亲自阐明了负数的观念，把线看做是从一点“流出”的——这就是牛顿和莱布尼茨（Leibniz）所发明的“流数法”的萌芽。在数学方面，他把或许是由观察而得、但却由理性加以净化的心理概念，拿来加以逻辑的分析，并展开其推论。这的确是一件值得哲学家去做的既有无限乐趣又十分辛苦的工作。

这些见解引导柏拉图把“理式”说加以发展。这种理论认为，只有“理式”或理念才具有充分的存在和实在，个别的东西是没有充分的存在和实在的。这个学说后来又被应用到分类问题上去。在自然界中，我们看到有无数集团多多少少是类似的；比方说，一方面有各种三角形，另一方面有动植物的“种”。希腊人和中古时代的人从来没有把问题的这两个方面区别开来，

也从来没有认识到，要给自然界的种种活的对象分类，有种种困难。他们认为“类”是互相截然分开的，象用夹给它们命名的词一样，因此，他们就着手去先验地研究组成类的各个个体的类似点。

为了解释这种类似性，柏拉图以为有一个原型，各个个体都同这个原型有几分符合或接近。柏拉图发现，当心灵开始制订定义并且用适用于任何具体情况的一般性术语来就这些定义进行推论的时候，定义和推理都是同这些假设的类型联系着的。自然界的一切对象都处在经常变化的状态；只有类型是实在的，和保持一成不变的。由此，柏拉图就形成了他特有的那种唯心主义，后世称之为唯实论。这个学说认为，这些理念具有实在的存在，事实上是唯一的实在。个体，不论是死的物质也好，活的东西也好，都只不过是影子。在心灵把握住它们的本质，从而发现类或共相以前，它们之中是没有实在的。只有理念或共相才是理性分析的真正和适合的主题。

雅典学园的柏拉图的学校一直维持了九个世纪之久——直到公元 529 年，罗马查士丁尼大帝 (Emperor Justinian) 才把它封闭了。

### 亚里斯多德

亚里斯多德 于公元前 384 年生于卡尔息底斯 (Chalcidice) 的斯塔吉拉 (Stagira)，公元前 322 年死于欧比亚 (Eubcea)。他是马其顿的国王腓力浦侍医的儿子，自己也做过亚历山大大帝的师傅。他师事柏拉图，学习多年之后，自己创立一个新的哲学学派，后世称为逍遥学派 (the Peripatetic)。因为当时，先生和学生习惯于在雅典吕克昂 (Lyceum) 的花园里散步。

亚里斯多德是古代知识的集大成者。在现代欧洲的学术上的文艺复兴以前，虽然也有一些人在促进我们对自然界的特殊部分的认识方面取得可观的成绩，但是，在他死后的数百年间从来没有一个人象他那样对知识有过那样系统的考察和全面的把握，所以，他在科学史上占有根高的地位。中世纪早期知识界的任务之一就是从一些不完善不完备的撮要中尽量吸收他的研究成果；在西方出版亚里斯多德著作全集以后，中古时代后期的著作家们就尽其全力去重新发现他的原意。亚里斯多德的著作是古代世界学术的百科全书，而除物理学和天文学外，他在他所接触到的各种学术方面，大概也真正有所改进。此外，他还是归纳法的创立人之一，还是主张进行有组织的研究的第一人。不过，他所以享有盛名的原因，仍在于他在科学方面和知识分类方面的劳绩。

在留传下来的他的许多著作中，《物理学》(Physical Discourse) 讨论了自然哲学，存在的原理，物质与形式，运动，时间和空间，外重天的永远在运动的球体以及为了使这个外重天运动不已而必须有的不动的原动者 (the Unmoved Mover)。亚里斯多德认为要使一个物体运动不已，需要有一个不断起作用的原因，而柏拉图却似乎认为只有使物体离开一条直线的道路，才需要有一个原因。亚里斯多德在《论天》(On the Heavens) 一书中就逐渐从外重天上降下来，开始讨论物质和可毁灭的东西，并进而讨论了发生和毁灭。在这个发生和毁灭的过程中，相互对立的原则冷和热，湿和燥

两两相互作用，而产生了火、气、土、水四种元素。除这些地上元素外，他又添上了以太。以太作圆运动，并且组成了完美而不朽的天体。

《气象学》(Meteorologics)讨论了天和地之间的区域，即行星、彗星和流星的地带；其中还有一些关于视觉、色彩视觉和虹的原始学说。第四册里叙述了一些原始的化学观念。这大概不是出自亚里斯多德的手笔，而是出自他的继承人斯特拉敦(Straton)的手笔。有两种发散物囚禁在地球内部：一种是蒸气状的或湿的，金属就是由此生成的：一种是烟状的或干的，不能融化的岩石和矿物就是由此生成的。他对凝固和溶解，发生和腐化以及混合物的特性，都提出了一些见解。在我们看来，亚里斯多德的气象学远不如他的生物学著作那样令人满意，然而这部著作在中世纪后期却有很大的影响。

在精确知识方面，亚里斯多德所取得的最大进步或许应该首推他在生物学方面的贡献。他给生命所下的定义是：“能够自我营养并独立地生长和衰败的力量。”他把动物学分成三部分：(1)关于动物的记录，这一部分讨论的是动物生命的一般现象，因而也就是自然史；(2)论动物的各部分，这一部分讨论的是器官及其机能，因而也就是解剖学和普通生理学；(3)论动物的生殖，这一部分讨论的是生殖和胚胎学。他提到五百种左右不同的动物，有一些叙述得精确而详细，说明他亲自观察过；另有五十种是根据从解剖得来的知识加以叙述的，并附有插图。在叙述其他动物时，他所依靠的是渔人、猎人、收人和游历家。

自然，这一大堆资料，价值是不等的，但是亚里斯多德记载的事实也有许多是到近几百年来才重新发现的。他认识到鲸鱼是胎生的：他把软骨鱼和有骨鱼区别开来；他描写了鸡胎的发展，注意到心脏的形成，并观察了心脏在蛋壳中的跳动。

在普通胚胎学方面，他的见解也标志着一个重大进步。早先的见解(可能是从埃及得来的)认为父亲才是唯一真正的亲体，母亲只不过供给胎儿一个处所和营养而已。这种信念流传甚广，并且成为古代和现代世界的父系风俗的主要根据。亚里斯多德认识母体对生殖也有贡献，并且认为母亲供给了活跃的男性因素形成所必需的物质。他把胚胎看做是一个自动的机制，一经推动，就自动进行。

在动物分类问题上，较早的对分原则把动物划分成互成对比的两类，如陆上动物和水居动物，有翅动物和无翅动物等等。亚里斯多德反对这个原则。他注意到，按照这个原则分类，就会把具有很近的亲属关系的动物分开，如把有翅蚁分入一类，把无翅蚁分入另一类。他认识到，有必要采用尽可能多的足资区别的特性。靠了这个方法，他制成一个分类表，比以往任何分类表都更接近于现代的分类系统。

在生理学方面，他的结论和学说常常是错误的。但是，就是在这一方面，他似乎也实行过活体解剖，因此，一般来说，他的方法仍然是前进了一大步。例如，在描写了以前的博物学家关于呼吸的意见之后，他指出：“这些作者所以不能对事实给予很好的说明，主要原因在于他们不熟悉内部器官，他们不承认自然界的任何行为都有一个最后因。如果他们追问一下呼吸在动物身上存在的目的何在，同时联系器官即鳃和肺来考虑这个问题，他们本来可以更快地发现其原因。”在这里，他坚持在对器官功能形成见解之前首先要观察解剖构造，这是正确的，不过，他坚持要追问最后因，那就太危险了。他随后就综述了许多动物的构造，描写了它们的肺或鳃的作用。在得出结论时，

他当然没有多少化学知识可以依靠，因为当时除空气外，还不知道其他气体存在，而除了对空气加热和冷却外，也想不出空气还会有什么变化。亚里斯多德说，呼吸的目的是要使空气和血液接触，以冷却血液。这个说法在我们看来显然是错误的，但也许是当时所能提出的最好学说。另一方面，看起来值得奇怪的是，阿尔克莽和希波克拉底已经认识到大脑是智慧的所在地，而亚里斯多德还要回到心是智慧总府的旧说。在他看来，大脑只不过是冷却器官而已。此外，他不承认植物有雌雄之别，这也使得这个事实经过很长时间才被人重新发现和最后承认。

在现代意义的物理学方面和天文学方面，亚里斯多德不象在生物学方面那样成功。亚里斯多德所以在生物学方面成功，是因为生物学直到近年来为止，一直主要是一门观察科学。亚里斯多德抨击原子哲学，十分奏效。但这只说明有些物理学说不堪一击。因为这些学说虽然本身是健全的，但并没有建立在实验事实的广泛而详细的基础上。他所以完全拒绝原子说，是因为原子说的推论同他对自然界的其他看法不相符合。而且尽管并没有什么肯定的事实可以证实他的见解，他也竟然能使他的见解得到普遍的公认。

关于亚里斯多德的批判方法，我们可以举他对落体问题的论点为例。这个例子很能说明问题。德谟克利特认为，在真空中，重的原子会比较轻的原子降落得快些。亚里斯多德却认为在真空中，物体降落时必定一样快，但是他又认为，这样一个结论是不可想象的，因此决不可能有真空。

除了不承认有空无所有的空间外，他还拒绝了原子说的一切有关的概念。他认为，如果一切物体都是由同一终极物质组成的话，它们按照本性就全都是重的，同时也就没有什么东西本身是轻的或者有自发上升的倾向了。一大堆气或火会比一小堆土或水重，因而土或水也就不可能在气或火中下沉。可是事实上，人们都知道，土或水在气或火中是要下沉的。

亚里斯多德所以发生错误，是因为和阿基米得以前的其他哲学家一样，他缺乏今天所谓的密度或比重观念；他没有能看出，决定物体的升降的是它的单位体积的重量和它周围的媒介的重量的比例。他追随柏拉图的学说，把运动归因于引导一切东西自寻其天然归宿的内在本能。这一认为物体本身按其本质而有轻重之分的理论，和亚里斯多德哲学的其他部分一起为中世纪晚期的经院派和神学家所接受。这样，他的阴魂就阻碍了知识的进步，直到公元1590年前后，史特芬（Stevinus）才实际进行实验，证明除了空气阻力所造成的差异不计外，重的物体和轻的物体是按同一速度降落的。这样，在伽利略得知并重新进行这一实验后，才摧毁了亚里斯多德关于轻重是本质特性的看法。

亚里斯多德虽然承认地球是球体，但仍然坚持地球中心说，认为地球是宇宙的中心。他的权威在阻止天文学家接受阿利斯塔克提出的太阳中心说方面，起了很大作用。直到一千七百年以后的哥白尼时代，局面才为之一变。

亚里斯多德由于唾弃原子说，也就回到了毕达哥拉斯派所创始的见解：物质的本质可以往四种不同而相反的本原的基本性质——即热和冷，湿和燥——中找到。这四种性质两两结合，而形成四种元素，即土、水、气、火。土、水、气、火又按不同的比例组成不同种类的物质。如水是湿和冷的组合，少是热和燥的组合，等等。后世的作家把这一学说和希波克拉底的理论混合起来。这个理论认为，人体为四种体液所组成，即血液、粘液、主愁的黑胆和主怒的黄胆。据说，这四种体液的结合就决定了身体的构造，如果某种体

液过多，就可以分别造成多血质、粘液质、忧郁质和胆汁质四种气质。这些作家们以为，血液与火有关，粘液与水有关，黄胆与气有关，黑胆与土有关。

在我们看来，这一切都是想入非非的无稽之谈。但是，要了解古代思想和中古时代的思想，还有要了解我们今天的语言中仍然使用的某些词的来源之一，这些却都是必不可少的。四种元素的学说一直存在到十七世纪，而今天我们在形容朋友的脾气时，还 34 要使用四种体液说的术语。

除了关于各门科学的著作外，亚里斯多德在许多哲学问题上也有不少著作。这些著作合起来对当代和后世都有很深刻的影响。他从他在哲学方面的老师柏拉图那里，接受了许多形而上学的观念。其中有些观念，他按照他的更丰富的自然知识，加以修改。柏拉图看不到实验科学的意义；他的兴趣局限在哲学方面。或许是由于这个缘故，柏拉图关于自然的整个学说，甚至还有他的门生亚里斯多德关于自然的学说，才不及老一辈的自然哲学家的结论符合我们今天所知道的真理。可是，在形而上学方面，柏拉图要比他们深入得多，而在科学细节问题上，亚里斯多德要比他们知识广。

希腊思想中比较富于形而上学性质的方面，同我们没有多大关系。可是，由于柏拉图的理念理论在中古时代的争论和文艺复兴以后现代科学的发展中十分重要，我们不能不再谈谈柏拉图的这一理论以及它在亚里斯多德手中发生的变异。

我们说过，柏拉图认为个体的东西或个体的存在——一块石头，一株植物或一个动物——不具有充分的实在。只有普遍的种类 (universal class) 的“理式”，不管是石头的还是植物的，才是充分实在的。

亚里斯多德常常埋头于详细研究确定的个体动物或其他具体对象。因此，在亚里斯多德看来，这种彻底的唯心主义不是一个方便的心理态度，事实上，他也摆脱了它。但是，他的老师的影响仍然存在着，到晚年愈甚，虽然他始终没有回到柏拉图的极端观点上来。亚里斯多德一方面承认个体，即具体感官对象的实在性，另一方面也开始认识到共相或观念是第二性的实在。到晚年，亚里斯多德与柏拉图的“唯实论”的分歧就发展为所谓“唯名论”。按照这种“唯名论”，个体是唯一的实在，共相只不过是名称或心理概念。我们将在论述中古时代思想时，再来讨论整个这个问题。

不管从形而上学的观点来看，柏拉图的理念说包含多少真理，促成这种理论的心理态度却是不适于促进实验科学的事业的。看来，事情很清楚，在哲学仍然对科学起着支配性影响的时候，唯名论，不管是有意识的还是无意识的，都比较有利于科学方法的发展。不过，柏拉图对于“理式”的追求或许也可以看做是对于可见 35 现象的原因的猜测。我们现在开始了解到，科学无法同终极的实在打交道；它只能就人的心灵所见的自然界绘成一幅图画。从某种意义上来说，我们的观念在那个理想的图画世界中是实在的，但是，所绘出的个体事物究竟是图画而不是实在。因此，这也许可以证明，一种现代形式的观念实在论也许比一种粗糙的唯名论更接近于真理。虽然这样，作为大多数实验的基础的只求便利的假设仍然假定个体事物是实在的，大多数科学家也都经常讲唯名论而不自知，正象茹尔丹先生经常讲散文而不自知一样。

---

茹尔丹先生 (Monsieur JoJrdain) 是莫里哀喜剧《醉心贵族的小市民》中的主人公。他一生中说的都是散文，但一点也不知道散文是什么东西。——译注

如果我们研究一下希腊人的归纳程序，希腊人的归纳科学所特有的弱点就完全可以解释。亚里斯多德在讨论由特殊事例过渡到一般命题的理论时虽然讲得头头是道，可是在实践中，他却常常遭到悲惨的失败。他拿起少数已知的事实，就想马上得出最广泛的概括，自然要遭到失败。当时还没有足够的事实，也没有充分的科学背景，可以把这些事实嵌入。何况，亚里斯多德还认为这一归纳工作只不过是演绎科学的必要的预备步骤罢了。演绎科学运用逻辑推理，从归纳法所得出的前提演绎出它的推论，才是真正的科学。

亚里斯多德是形式上确凿无疑的形式逻辑及其三段论法的创立人。这是一个伟大的发现：在小人物，单靠这个发现，就已经可以名垂不朽了。亚里斯多德把他的发现运用到科学理论上。作为例证，他选择了数学学科，尤其是几何学。因为几何学当时已经从泰勒斯想要对土地测量的经验规则给予合理说明的早期试验阶段，过渡到后来的具有比较完备的演绎形式的阶段。

但是，三段论法对于实验科学却是毫无用处的。因为实验科学所追求的主要目的是发现，而不是从公认的前提得出的形式证明。从元素不能再分割为更简单的物体的前提出发，在 1890 年未尝不可得出一个正确的已知元素表，但是到 1920 年，再运用这个前提就会把一切放射性元素排除在外。这样，前提既已改变，“元素”一词的意义也就改变了。但是，这个事实并不能使三段论法归于无用，也不能使现代物理学归于无效。

幸而现代的实验家并不在逻辑的形式规则上操心费神；不过，亚里斯多德的工作的威信在促使希腊和中古时代科学界去寻找绝对肯定的前提和过早运用演绎法方面，却起了很大作用。其结果，就把许多有不少错误的权威都说成是绝对没有错误的，并且用欺骗性的逻辑形式进行了很多错误的推论。正如席勒博士 (Dr Schiller) 所说：

当时对整个科学理论都加以周密的解释，对整个逻辑都加以周密的构造，务求达到实证科学的理想，而这个实证科学却建立在一个错误的类比上，也就是把它拿来和证明的雄辩术相比。这个错误还不足以说明亚里斯多德死后近两千年间经验为什么遭到忽视，科学为什么不进步吗？

亚里斯多德死后，逍遥学派的领袖是他的门生德奥弗拉斯特 (Theophrastus)。他生于公元前 370 年左右。他的主要成绩是在矿物学和植物学方面。他的植物学不论在分类方面和生理学方面都有贡献。有一些人认为随亚历山大远征的科学人员所搜集到的记录都为德奥弗拉斯特所利用。他对各种植物加以描写和分类，并且对植物的器官和功能有了一些认识。例如，他能将球根、块根和地下茎同真正的根分开，并且懂得了高等植物的有性生殖。这一知识由于亚里斯多德的蔑视，不久就失传了。直到安德利亚·舍萨平尼 (Andrea Cesalpini) 在文艺复兴时期重新肯定了德奥弗拉斯特的研究成果，情况才有所改变。

德奥弗拉斯特的继承人是斯特拉敦。他是一个物理学家，自己虽然持有彻底的机械论哲学，却很想把亚里斯多德的观点和原子论者的观点加以调和。从这时起，吕克昂学派就渐渐不那么重要了，到公元前三世纪中叶，它的工作就结束了。

在柏拉图的时代和亚里斯多德的时代之间，大约在公元前 367 年左右，克尼多斯的欧多克索 (Eudoxus of Cnidus) 对天文学有卓越的贡献，虽

然他的天体演化学说同主张地球在运动的毕达哥拉斯学派的见解比起来，是后退了一步。欧多克索认为，地球是万物的中心，太阳、月球和行星都在同心透明球体中绕地球而运转。这是企图说明这些物体的表面上不规则运动的第一次重大的尝试。欧多克索的学说引导希帕克和托勒密制订了更周密的体系。在哥白尼的时代以前，天文学家对他们的本轮和均轮说，一直是满意的。地球中心说现在已经没有人相信了，但是它对现象给予量的解释，在当年，的确比以往的见解大大前进了一步。一个错误的假说如果能成为进一步探讨的向导，在当时也许会比一个至今无法验证的比较正确的假说，更有用处些。

### 希腊化的文明

现代人研究古代时偏重于文艺，总是把主要注意力放在雅典的诗人和雕塑家产生名作的各时代。要说希腊的古典时代没有产生科学，那是不公允的。在欧几里得以前已经有几何学；希波克拉底的医学和亚里斯多德的动物学都是根据可靠的观察！但是，哲学观点是形而上学的，而不是科学的；就是德谟克利特的原子说也是思辨的哲学，而不是科学。

随着亚历山大大帝的出征，我们也就到了一个新的时代。他把已经在越过地中海向西传布的希腊文化，带到了东方，并且使已比伦和埃及同欧洲的接触更加密切。而他的随行人员则搜集了大量有关地理学和自然史的事实。从此，从公元前 323 年亚历山大去世到公元前 31 年奥古斯都 (Augustus) 建立罗马帝国时为止历时三百年之久的希腊化过程，就开始了。在这三百年间，在本土已经越过鼎盛时期的希腊文化更散布到别的国度，支配了当时已知的世界。一种希腊语，κοινὴ (共同的言语)， “从马赛到印度，从里海到大瀑布”，到处通行，而上流社会，从罗马到亚洲，也无不接受希腊的哲学和希腊的人生观。贸易变成国际性的了，思想自由也达到只有现代某些西方国家才达到的水平。

由于对地球有了更多认识，人们对自然界的事物更加富于好奇心了，也更富于科学态度了。我们马上就感觉到有一种比较熟悉的气氛——事实上，当时的情况就和我们的时代非常仿佛，只是机器很少，奴隶很多而已。方法有了改变。我们从全面的哲学学说和百科全书式的知识综述，过渡到了比较富于现代气息的专业化。确定的和有限度的问题和别的问题分离开来，单独加以研究，对自然的认识有了真正的进步。事实上，从雅典的综合哲学到阿基米得和早期的亚历山大用亚人的分析科学的变化，就同从中古时代晚期作家的经院哲学到伽利略和牛顿的近代科学的变化，十分相似。

在希腊化的学术中，希腊成份占有压倒优势，但也不缺乏其他的影响。在这个当儿，巴比伦的天文学在希拔的基德那 (Kidenasof Sippar) 的领导下也取得进展，这时已经通过希腊语语本传入，带来了异想天开的迦勒底人的占星术。哲学上最重要的发展是斯多噶派的学说。这一发展应归功于基齐昂的芝诺 (Zeno of Citium)。当时，他被看做是腓尼基人。

希腊化时期包括两个阶段：第一个阶段是政治、文学、哲学和科学方面的扩展和创造阶段；第二个阶段是创造冲动消耗殆尽，在物质和精神方面都表现了东方对西方的反动的阶段。“希腊—马其顿世界恰好处于这个反动潮

流和罗马之间，到最后，罗马在摧毁了希腊化的国家制度之后，才终于被迫代替它成为希腊文化的旗手。”但是，希腊化的希腊时期在罗马内战中结束了，罗马帝国所建立的文化虽然属于希腊—罗马性质，终究也无力长期排斥亚洲的影响。

甚至在比较早的时期，即在亚历山大的时代之后不久，东方的思想就已经开始传布。星象崇拜在巴比伦开始得很早。他们以为天上的星宿和地上的人有对应关系，在固定轨道上运行的行星可以决定人们的行动，因为人是一个小宇宙，是大宇宙的对对应体，人的灵魂只不过是星球内燃烧的火的一点火花。这样，就产生了巴比伦人的可怕的命运观。星宿，神和人全都受着命运的支配。

柏拉图已经听说过占星术，但是，占星术的实际知识，是在公元前 280 年左右由柏罗沙斯 (Berosus) 带到希腊的。在公元前二世纪科学开始衰退的时候，占星术就迅速流传开来，并且在波赛东足奥 (Posidortius) 的影响下，开始了它的邪恶的生涯，直到哥白尼和牛顿的时代还没有结束。

为了逃避命运，人首先求助于上天，天上有不可胜数的天体，如彗星等，说明还有自由的余地。但是，巫术、祭汉宗教和基督教时代早期所谓的诺斯替教义 指出的三条道路，似乎更有希望—诺斯替教徒认为，神向某些特选的灵魂启示了了解宇宙的密钥，人如果能重新找到这个密钥，他的灵魂就能得到自由，因为知识高于命运。

巫术差不多是随时都有的，但是，在纪元前二世纪，一个新的巫术浪潮随着占星术由亚洲流入欧洲，使人们以为有了控制自然、天神和星宿的希望。当时的纸草纸中充满了符咒的单方。

祭汉宗教是建立在史前期的模仿和通神的仪式基础上的，大半想通过保护神在人身上的附体来得救。保护神有许多名目，而且是死而复生的。我们说过，这些宗教在希腊老早就有了，但是随着奥林匹斯神话的地方神在希腊化时代国际气氛中崩溃，这些宗教又遍布世界各地。从公元前二世纪起，人们的宗教意识就深化了，在基督教兴起以前，他们的需要大半是靠祭汉宗教来满足的。

占星术、巫术和宗教可以吸引所有的人，但是，哲学和科学却只能吸引少数的人。希腊化时代的最有特色的和最重要的哲学是斯多噶派的学说。芝诺在纪元前 317 年以后不久，就开始在雅典讲学，他的理论传布开来，竟成了罗马的主要哲学。斯多噶派在理论上把物理学看做逻辑和伦理学的基础，但是，它同物理科学却没有多少直接接触。它的神学是一种泛神论，它的真正的意义和它的真正的力量在于一种高尚的和严格的道德观。

从科学史上来看，伊壁鸠鲁的学说要更为重要一些，因为虽然它所关心的问题主要是哲学问题，而不是科学问题，它却建立在德谟克利特的原子论的基础上。这样，它就保存了原子说，直到后来卢克莱修把原子说体现在诗篇中为止。

伊壁鸠鲁于公元前 342 年生于塞莫斯，于公元前 270 年死于雅典。他领导了一次反抗柏拉图和亚里斯多德的唯心主义哲学的反动浪潮。这种反动浪潮要求信仰一种把心灵和肉体对立起来的二元论。在伊壁鸠鲁看来，凡是存

---

诺斯替教义 (Gnosticism) 是第一世纪至第六世纪基督教一派，用古波斯及希腊的神秘知识解释基督教义。

在的都是有形体的，虽然有些东西，如原子，是太小了，以致感官不能直接觉察到。人的灵魂只不过是一股热气，死亡是一切的结束。神是存在的，但是神象人一样是自然界的产物，并不是自然界的创造者；他们生活在完美的幸福和恬静中，值得人们崇拜，但并不能抱着恐惧心情，也不能抱着希望去崇拜他们。他们

不关心人类。

因为他们醉卧在旨酒旁边，  
只有雷电在下面山谷中轰传。  
他们的琼楼，神光四射，  
周围有白云盘旋。

实在的唯一试金石是感觉；观念只不过是重复的感觉所引起的比较微弱的形象而已，这些形象储蓄在记忆中，并为名称所唤出。自然界的不那么明显的现象应该根据同类似现象的类比来解释。象在德谟克利特的方案中一样，自然界是由原子和虚空组成的。我们的世界只不过是原子在无限的空间和无尽的时间中偶然的结合所造成的许许多多世界之一。

人类既无须服从反复无常的神的暴政，也无须服从巴比伦人和有些希腊哲学家所想象的冷酷无情的盲目的命运之神的摆布；人觉得自己多自由，他就多自由。人象神一样可以从外界的烦恼中引身而退，在心的宁静自在中追求严肃的快乐。谨慎的智慧胜过哲学。伊壁鸠鲁就这样把原子说和一种原始的感觉论当做基础，建立了一个即使是肤浅的，也是快活的乐观主义的学说。他的物理学是为他的伦理学服务的。

### 演绎的几何学

亚里斯多德所以认为演绎推理的价值高于归纳推理，是因为希腊精神的最成功的产物就是几何学这门演绎科学。几何学历史的详情不在本书范围之内，但是，在任何科学史中，它都必须占有一席之地，即令我们认为它不过是自然科学运用得最自如的工具之一。

几何学 (Geometry) 顾名思义是从土地测量的实际需要中产生的。这一需要在埃及最大，也得到最充分的满足。因为在埃及，尼罗河定期淹没土地的界碑。相传，最早的爱奥尼亚哲学家米利都的泰勒斯在到埃及游历回来以后，就想到可以根据土地测量的经验规则，建立一门关于空间和形式的理想科学。第二大步似乎是由毕达哥拉斯及其门生迈出的。他们不但证明了一些新定理，而且还按照某种逻辑顺利把已知的定理排列起来。

公元前 320 年左右，罗德的欧德谟 (Eudemus of Rhodes) 写了一部几何学史。这部著作的残篇仍然存在，从这一残篇中我们可以看出几何学命题是怎样逐渐增添起来的。公元前 300 年左右，亚历山大里亚的欧几里得把已有的知识搜集起来，加以发展和系统化。他从少数被认为是空间的不证自

---

Cyriil Bailey, *The Greek Atomists and Epicurus*, Oxford, 1928.

See Whewell and Rouse Ball 'loc. cit. Also G.J.Allman, *Greek Geom-etry*, Dublin, 1889。

按 Geo 即地，Metry 即测量，故此字的意译应为测地学。——译注

明的特性的公理出发，按照逻辑原理，推演出一系列奇妙的命题。他的办法直到不久以前还是公认的唯一方法。

我们现在可以从两个方面来看待几何学。第一，我们可以把它看做是一门观察和实验科学中的演绎步骤。从埃及土地测量的经验事实中，得到了某些公理和假设。它们好象是不证自明的，但是，事实上，它们是关于空间的性质的假说，是根据所观察到的现象，通过想象归纳的过程得到的。数理几何学就从这些假说中，按照逻辑推理，推演出无数的结论，如欧几里得的书和几何天文学中所载的就是。直到前不久为止，人们发现所有这些推论都是同时自然的观察和实验相符合的。接受了欧几里得空间的牛顿及其追随者的数理天文学，直到亚当斯（Adams）和列维烈（Levcrrier）的时代为止，都高度精确地证实了这些假说。我们说过，从这个观点来看，几何学只不过是一门实验科学的演绎部分而已。

但是。我们还可以从另一角度去看它。普通观察给人的暗示是有某种空间。心灵接受了这种暗示，给一种理想的空间下了定义。这种理想的空间其实完全是所观察到的空间在人们心目中的样子。后来，心灵又给别的种类的空间下了定义——非欧几里得空间，这种空间或许是无法用物理学术语加以描写的。心灵既然得到了自己的定义，现在就可以自由地来展开这些定义的逻辑推论了，无需顾及什么符合自然，什么不符合自然。如果我们给空间下的定义说空间有三维，我们就得到一套推论。如果我们假定空间，或者同空间相符合的东西，有  $n$  维，我们就得到别的推论。这是一场有趣的智力游戏，但是它必然同自然没有直接关系，也必然同实验科学没有直接关系，虽然在这场游戏中学到的方法以后或许会有用处。

这两种观点在本质上都是现代的。希腊的数学家和哲学家却盲目地接受了一种简单的直觉观念，把几何学的公理看做不证自明的事实。不过，不管我们怎样看待它的哲学意义，演绎几何学毕竟特别适合于希腊气质，同希腊思想的某些别的产物不同，它标志着知识的进步方面的一个永久性的一步。这一步是永远不必回头再走了。事实上，在人类智慧的胜利中，我们很可以认为希腊几何学和近代实验科学占有同等最高的地位。

### 阿基米得和力学的起源

力学和流体静力学的起源应该到实用技术中去寻找，而不应到早期希腊哲学家的著作中去寻找，但是当观察同在几何学中学到的演绎方法结合起来的时候，这两门科学就有了坚实的基础。把这两门科学放在坚实基础上的第一人是叙拉古的阿基米得（Archimedes of Syracuse，公元前 287—212 年）。他的工作比任何别的希腊人的工作都更具有把数学和实验研究结合起来的真正现代精神。在结合的时候，只解决一定的有限的问题，提出假说只是为了求得它们的逻辑推论，这种推论最初是用演绎方法求得的，然后又用观察或实验方法加以检验。

我们说过，亚里斯多德还没有物体的相对密度的观念。首先明确地阐明这个观念的是阿基米得。此外，他还发现了所谓阿基米得原理；一个物体浮

---

Sir T. L. Heath, Works Archimedes, Cambridge, 1897; E. Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung; John Cox, Mechanics, Cambridge, 1904.

于液体中的时候，其重量等于所排开的液体的重量：一物沉于液体中时，其所失的重量也与所排开的液体重量相等。据说，希罗王(King Hiero)把黄金文给工匠制造王冠。王冠制成后，希罗王疑心王冠里渗了白银，就叫阿基米得加以检验。在思考这个问题的期间，阿基米得在沐浴的时候注意到，他所排出的水在容积上和他的身体相等，因而马上明白，合金比较轻，纯金比较重，同重的合金会比同重的黄金排开较多的水。这样，阿基米得就靠了一时的灵感，得出了阿基米得原理，但是，他后来又运用数学方法，从他对于液体的基本观念中，把这个原理推演出来。这个基本观念就是，液体是一种在任何剪力——哪怕是最小的剪力——面前都要退让的物质，所谓剪力就是使物质的一层与另一层错落滑动的力量。

阿基米得还研究了杠杆的理论原理。杠杆的实际应用一定是太古时代的事情了，在阿基米得的时代以前两千年，亚述和埃及的雕塑中已经有这方面的例证。今天，我们把杠杆定律看做是一件要由实验决定的问题，而且还从这个定律中推出更为复杂的结果来。阿基米得却是凭着希腊人对于抽象推理的热爱，从他所谓的不自证的公理或用简单实验可以证明的命题中得出杠杆定律的。这两个公理和命题就是：(1)同重的物体放在和支点距离相等的地方，就保持平衡；(2)同重的物体放在和支点距离不等的地方，就不相平衡，其离支点较远的一端必定下坠。这些公理就其涵义来说，已经包含有杠杆原则，或与杠杆原理是一回事的重心原理。但是，把杠杆定律和当时人认为比较简单的道理统一起来，却是前进了一步。事实上，这就是最科学的解释的典型。因为科学解释按其本质来说，一般也就是用我们的心灵比较熟悉的现象来说明新的现象。

阿基米得的主要兴趣是在纯几何学方面。他自己认为，他发 43 现圆柱体容积和它的内接球体的容积的比例，是他平生最大的成就。他用内接和外切多边形的方法来测量圆周，逐渐增加多边形的边数，使其逐渐与圆周相接近。他用这个渐近的方法证明，周长与直径之比大于 3，而小于 3。他的许多著名的机械发明——复滑车，水力螺旋，火镜——在他看来不过是几何学家的玩意罢了。

阿基米得不仅仅是一个编纂者。他的著作差不多都是叙述他的发现的。他的观点具有现代精神。有一件事足以说明这一点。文艺复兴时代的最伟大的人物达·芬奇搜求阿基米得的著作抄本，比搜求任何别的希腊哲学家的著作抄本都更要热切。事实上，他的著作也险而失传。有一个时候，表面上看来，只有一部手稿保存下来，大概是九世纪或十世纪的抄本。可是，这个抄本老早就不见踪影了。幸而还有三个抄本没有遗失。现今流传的印刷本就是根据这些抄本排印的。

阿基米得是古代世界的第一位也是最伟大的近代型物理学家。他所发明的作战机械把罗马人阻于叙拉古城外达三年之久。公元前 212 年城破后，他被一个士兵杀死。到公元前 75 年，他的坟墓才被当时担任西西里的财政官的西塞罗(Cicero)发现，并加以虔诚的修缮。

### 阿利斯塔克和希帕克

公元前四世纪时，地理发现就已经有了很大进展。汉诺(Hanno)越过赫拉克列斯柱(Pillars of Heracles)，航行到非洲西岸；毕特阿斯(Py-theas)

绕过不列颠，驶向北冰洋，并且了解到月相与潮汐的关系；亚历山大则向印度进兵。当时已经知道地球是一个球体，对它的真正的大小已经开始有了一些了解。这种知识的增进，对于菲洛劳斯关于对地星和中央火的说法是不利的，毕达哥拉斯派天文学中的这些部分从此就不为人们所相信了。不过，毕达哥拉斯派的最后一人埃克番达斯 (Ecphantus)，却由于认识到昼夜的长短随纬度而不同，而形成了一个更简单的观念：地球在空间的中央绕着自己的轴而自转。公元前 350 年左右，旁托斯的赫位克利德 (Heraclides of Pontus) 也宣扬过这个说法。他认为太阳和大行星绕着地球旋转，金星和水星则在太阳运转的时候绕着太阳运行。

塞莫斯的阿利斯塔克 (Aristarchus of Samos, 公元前 310—230 年左右) 更大胆地前进了一步。他是阿基米得的同代人，但较为年长。他在流传下来的《太阳和月球的大小与距离》(On the Sizes and Distances of the Sun and Moon) 一书中，非常巧妙地把一些几何学原理运用到这个问题上来。他首先考虑了月食时可以看到的现象，其次又考虑了月半圆时可以看到的现象，然后得出结论说：太阳直径与地球直径之比一定大于 19 : 3，小于 43 : 6，即约为 7 : 1。这个数字当然大小，但是，他的研究原则是不错的，而且他能认识到太阳比地球大，这本身已经是一个惊人的成就了。

据阿基米得说，阿利斯塔克还提出一个假说，认为“恒星与太阳是不动的，地球沿着一个圆周的周边绕太阳运动，太阳则在轨道的中心”。普卢塔克也提到过阿利斯塔克的这个学说。为了解释恒星在地球运动的时候表面上不动，他正确地指出，这是由于恒星的距离同地球的轨道直径比起来极其巨大的缘故。

这样一种认为太阳是宇宙中心的看法当时远远走在时代前面，因而得不到一般人的承认。据普卢塔克说，公元前二世纪时，巴比伦人塞鲁克斯 (Seleucus) 也满怀信心地持有这个信念，力求找到新的证明，极力为它辩护。但是，其余的人，连哲学家也在内，却仍然认为地球是宇宙的中心，不管他们把地球看做一个浮动的球体，天体都绕着它运行也好，还是把地球看做一个固定不动的无底的固体，象我们的感官所感到的那样也好。

阿利斯塔克的见解虽然富于革命性，但是，普通常识的压力和权威的份量是太大了。我们说过，公元前 370—360 年间，克尼多斯的欧多克索为了解释太阳、月球和行星的视运动，提出一个假说，宣称太阳、月球和行星都在一些以地球为中心的同心透明球体中运行。这个说法后来成为后世的天文学家，对地球中心说加以发挥的基础。公元前 130 年左右，希帕克把这个学说加以发展，制成一个体系。这个体系在公元 127—151 年间经亚历山大里亚的托勒密加以阐释后，就独霸天文学界，直到十六世纪为止。

希帕克生于比塞尼亚 (Blithynia) 的尼卡伊亚 (Nicaea)，公元前 160—127 年间先后在罗德斯和亚历山大里亚工作。他的著作只有残篇传世，但是，他的工作得到了托勒密的充分介绍。他利用了较早的希腊和巴比伦的记录；他发明了许多天文学仪器，并且利用这些仪器进行很多精确的观察。他是按照巴比伦的方式把天文仪器上的圆周分为三百六十度的第一个希腊人

---

Sir T.L.Heath, *Aristarchus of Samos, Ancient copernicus. aHistory of Greeh astronomy to Aristarchus*, Greel text attd translation, Oxford, 1913.

。通常人们认为发现岁差的就是他，虽然施纳贝尔（Schnabel）认为首先发现岁差的是巴比伦人基德那（Kidnass）。可以肯定，希帕克是知道基德那的研究成果的。希帕克估计的岁差是每年 36 秒，而实际的数值是 50 秒左右。根据他的计算，月球到地球的距离是地球直径的 33 倍，月球的直径是地球直径的 1/3，实际的数值分别为 30.2 和 0.27。他发明了平面三角和球面三角，并且指出怎样去测量地球上各点的经纬度，从而确定它们的位置。

希帕克的天体演化学说在主要的基本假定方面都是错误的，因而在细节方面就十分复杂，但是，它在说明事实方面却十分成功。希帕克先假设地球是中心，然后说明，只要假定日、月、行星等每一个天体都在一个轨道，即本轮上运动，而这一轨道又在一个大得多的圆轨道，即均轮上，围绕着地球运行，就可以解释日、月、行星的视运动。根据直接的观察，可以确定这些均轮和本轮的位置和大小。然后，他又制出一些数字表，根据这些数字表就可以预测未来任何时候的日、月、行星的位置，并且可以相当准确地预测日食和月食。

从亚里斯多德的时代起，到伽利略发现惯性原理为止，天文学家面临的巨大困难是不知道怎样解释天体的不断的运动。按照取代了柏拉图看法的亚里斯多德的看法，不断的运动需要有个不断的原动者；因此，亚里斯多德就假定有一个不动的原动者，具有更机械的头脑的人就觉得需要假定天空中有一些透明的球体载着天体在其均轮和本轮上运行。

按照现代的知识来看，我们很容易看不起这样的天文学，但是，事实仍然是，这个学说虽然复杂，它却能在好几百年中顺利地解释天文现象，并且指导从托勒密到第谷·布拉埃（Tycho Brahe）等许多有资格的天文学家的工作。这个学说的主要发展必须归功于希帕克。不幸的是，赖着希帕克的大名维持的地球中心说容易助长占星术的愚蠢迷信。只要地球是中心，太阳和星星分别绕着它运行，这些信念就是不可避免的。

相传，亚历山大湾内法罗斯岛上的灯塔中有一块玻璃，观看的人通过这块玻璃，就可以看见通常的视野以外的船只。康福德（Cornford）认为，如果真有这回事，如果真有某一位希腊哲学家放弃他对机械技术的偏见，制出一部望远镜的话，本来可以证明阿利斯塔克的正确见解，而科学史的面貌也就不一样了。

## 亚历山大里亚学派

到公元前四世纪末或三世纪初，世界的学术中心已经从雅典转移到亚历山大里亚。这个城市是亚历山大大帝在公元前 332 年建立的。他的一位将军托勒密（和天文学家托勒密不是一个人）在那里建立了一个希腊王朝，一直到公元前 30 年克里奥巴特拉（Cleopatra）死后才结束。在托勒密一世在位期间，即公元前 323—285 年，使亚历山大里亚学派光芒四射的人物中间，有几何学家欧几里得和解剖学家兼物理学家赫罗菲拉斯（Herophilus）。

在亚历山大里亚的希腊文明中，象在其他希腊化的土地上一样，出现了一种更富于现代气派的新精神。亚历山大里亚的人没有去建立雅典哲学家有

---

为天仪器，可看 Whewell, loc.cit. Vol.1.p 198。

Tarm, loc.cit.p.241。

出色表现的完备的学术体系，而是追随塞莫斯的阿利斯塔克和叙拉古的阿基米得的榜样，对有限度的和特殊的问题进行研究，因而在科学上也取得更加肯定的进步。

公元前三世纪中叶左右，亚历山大里亚建立了著名的博物馆（Museum），这个词的本意是献给文艺女神缪斯（Muses）的殿宇。博物馆里设立了四个部门——文学部、数学部、天文学部和医学部。这四个部门不但是学校，而且是研究所，它们需要的图书完全由古代世界最大的图书馆供给。图书馆中藏书四十万册。图书馆的一部分在公元 390 年左右，为基督教主教德奥菲罗斯（Theophilus）所毁，其余的部分在公元 640 年穆斯林侵入后，为伊斯兰教徒所毁，究竟是出于有意还是无意，就不得而知了。但是，有好几百年的时间，亚历山大里亚图书馆是世界上的奇迹之一。它的毁灭是历史上最大的文化浩劫之一。

在演绎几何学的题目下，我们已经讨论过欧几里得的工作。他把古来几何学家的著作加以系统化，并加入许多他自己的新的定理。他还对光学进行了研究，认识到光走直线，并且发现了反射定律。

医学方面的亚历山大里亚学派主要是靠了两个人的工作建立起来的。这两个人就是赫罗菲拉斯和埃拉西斯特拉塔（Erasistratus）。前者生于卡尔舍顿（Chalcedon），在托勒密一世时代活跃于亚历山大里亚。他是最早的有名的人体解剖学家，又是希波克拉底时代以来的最伟大的医生。他的医学是经验性的，差不多没有任何理论成见。他对大脑、神经、眼、肝和其他内脏器官，以及动脉和静脉，都作了很好的描写；他认为智慧之府是大脑，而不象亚里斯多德所主张的那样是心脏。

埃拉西斯特拉塔是赫罗菲拉斯的同代人，但较为年轻。他进行过人体解剖，并利用动物进行实验。他对生理学有深厚的兴趣，也是把它当作独立学科的第一人。他对大脑、神经和循环系统方面的知识有所贡献，并且认为人体和大脑里都有特殊的管道来输送血液和元气。他以为这元气便是空气。埃拉西斯特拉塔从伊壁鸠鲁接受了原子说的信条，反对医学上的神秘主义，虽然他也相信自然界作为一种外在力量发挥作用，按照它要达到的目的而构造人体。赫罗菲拉斯、埃拉西斯特拉塔和第三位解剖学家欧德谟使得他们那个世纪在医学史上成为一个值得注意的时代。

公元前三世纪末叶，出现了另一批伟大的人物。他们都是阿基米得的同代人，但都比较年轻。他们中间有埃拉托色尼（Eratosthenes）。他于公元前 273 年左右生在希林尼（Cyrene），公元前 192 年处于亚历山大里亚。他是博物馆的图书管理员，也是第一个伟大的自然地理学家。他认为地球是回转椭圆体的，并且估算了差不多处于同一子午线的两个地方，希恩（Syene）和麦罗（Meroe）的纬度和距离，从而算出地球的大小。他的计算结果是 252,000 “斯达第”（Stad），约等于 24,000 英里。他又算出太阳的距离是 9,200 万英里。这两个数字都同现代的估计数字 24,800 英里和 9,300 万英里惊人的近似。埃拉托色尼因为印度洋和大西洋的潮汐相似，而力持两洋相通之说，并且认为欧、亚、非三洲是一个岛屿，因此可以从西班牙出发绕过非洲南端航行到印度。推断大西洋被一块自北而南的陆地所隔开，因而启发辛尼加（Seneca）预言可以发现一个新大陆的，大概就是他。波赛东尼奥（Posidonius）后来反对这个看法，并且过低估计了地球的大小，说人向西航行 70,000 “斯特德”就可以到达印度。哥伦布的信心就是由此而来。

公元前二世纪后半叶，数学在亚历山大里亚有显著的进步，这是丕嘉的阿波洛尼乌斯（Apollonius of Perga）的功绩。他把欧几里得及其前人关于圆锥剖面的知识搜集起来，并用自己的工作大大推进了这门学科。阿波洛尼乌斯指出，所有的圆锥曲线都可以看做是一个圆锥的剖面；他还创立了抛物线、椭圆、双曲线等名称。他把双曲线的两段看做一条曲线，这样就说明了三种剖面的相似之处。他利用锥线法来解普遍的二次方程式，并且测定了任何圆锥曲线的渐屈线。他纯粹是从几何学角度来讨论整个这个学科的。

在公元前二世纪的亚历山大里亚，我们又遇到了希帕克。他在天文学方面的伟大成绩，我们已经叙述过了。到这时，亚历山大里亚已经失去垄断希腊学术的最高地位，而与罗马和帕加马（Pergamos）共分荣誉。在公元前第一世纪到公元三世纪之间某一不能肯定的时期内，有希罗（Hero）其人出现。他是一位数学家、物理学和发明家。他找到了一次方程和二次方程的代数解法，并且制订了许多测量面积和体积的公式。他指出，光的反射线的路径是最短的路径。但是，他所以为后人所纪念，主要是因为他的机械发明，如虹吸器，测温器，空气抽压机和最早的蒸汽机。这种蒸汽机利用管口喷出的蒸汽的反撞力，使带有喷气管的臂在一个轴上旋转，可以说是喷气式飞机的前身。

希腊—罗马时代晚期的亚历山大里亚科学扬名于世的主要人物是天文学家托勒密（Claudius Ptolemy），这人不可与同名的埃及国王相混。公元127年到151年间，他在亚历山大里亚授徒，并且进行了一些观察。他的主要著作《天文大全》（后来采用阿拉伯语的简称，称为《至大论》（Almagest），是天文学的百科全书。它是根据希帕克的研究成果并加以发挥写成的，在哥白尼和刻卜勒的时代以前，一直是标准的论著。这部著作论述更为详尽，并观察到不少新现象，如月球运行中的二均差，但对希帕克制订的理论并没有作重大改变，书中所描写的新仪器似乎也只有墙壁象限仪。托勒密，象他的老师一样，改进了并发展了三角学，一意要把他的工作建立在“算术和几何学的无可争论的方法”之上。他重述了一条原则：在解释现象的时候，采用一种能够把各种事实统一起来的最简单的假说，乃是一条正路。这个原则到后来却成为用来反驳托勒密加以总结的地球中心说的主要武器。

托勒密不但是天文学家，而且还是地理学家。他在地理学方面的影响直到十五、六世纪有了许多海上发现以后，才渐渐消除。在托勒密之前不久还有一位地理学家，名叫泰尔的马利纳斯（Marinus of Tyre）。他的著作没有单独传世。所以很难断定有多少成绩属于托勒密，有多少成绩属于马利纳斯。托勒密坚决认为，在测量和绘制地图时，必须先对经纬度进行正确观察，然后才能取得圆满的成果。这样，无疑就把地理学置于稳固的基础之上。但是，在实行这个计划时，他自己所掌握的材料却极不充分，因为当时还没有什么方法可以精确地测量经度。尽管这样，托勒密的地图仍然是有趣的。它们把商人和探险家带回的资料综合起来，绘出了一个从马来半岛沿海和中国海岸直到直布罗陀海峡和幸运群岛，从不列颠、斯堪的纳维亚和俄罗斯草原直到尼罗河发源处某一不明的湖泊地带的世界。他的一般处理方法是一个天

---

G.Sarton, History of Science, vol. I, 1927, p.208; Isis, No.16,1924.

《大英百科全书》G.J. ADman, Sir E.H. Bunbry and C.R.Beazley.art.fttolemy”, in Encyclopaedia Britannica. 关于托勒密的地理学与地图有 J.Fischer, S.J. and E.L.Stevenson 的版本的书评。见 Isis, No.58, 1933.

文学家的处理方法，而下是一个地理学家的处理方法，因为他并没有记载气候、出产，甚至没有记载今天的自然地理所包括的许多东西；他也没有更多利用当时从军人的“行军记录”中一定可以得到的关于罗马帝国各地的描写和记载。

有一本讲光学的书据说也是出自托勒密的手笔。这部著作只有一个在十二世纪从阿拉伯语译过来的拉丁语译本，究竟是不是他的著作，很难断定。书中载有关于折射——包括大气折射在内——的研究材料。萨尔顿认为这是“古代最惊人的实验研究”。作者发现，在光线从一种媒质进入另一种媒质中的时候，入射角和50°折射角成正比。这种比例在角度不大时，是近似正确的。

尽管在真正的科学上成绩斐然，令人奇怪的是托勒密似乎还写了一部讨论占星术的书。但是，大致就在那个时候，古典的神已经从奥林匹斯山移到天上，木星、土星、火星、水星、金星等行星仍然在主宰着人类的命运。自然占星家（即天文学家）观察天象并制成天文记录，负责判断的占星家则根据对星宿的研究，按命宫图推出神对人事的指导。托勒密的占星术大概同他在中古时代的欧洲的长期影响很有关系，事实上，在一个非科学的时代，除了通过试验方法外，要断定星宿对人类历史没有影响，是不可能的。

### 炼金术的起源

在希腊化的亚历山大里亚的实用活动和学术活动中，我们可以找到炼金术的起源。最早的希腊炼金术士大概出现在公元一世纪，但是，我们所知的最古的炼金术著作是时代不明的所谓伪德谟克利特（PseudoDemocritus）和佐息摩斯（Zosimos）的著作。佐息摩斯在公元三世纪或四世纪活动于上埃及。还有一些著作据说是赫米斯（Hermes Trismegistos）（同埃及特神相当的希腊神）的著作，大概是三世纪的产物。这些著作主要是讨论柏拉图和斯多噶派的哲学，但也包含不少占星术和炼金术，后来以拉丁语译本著名于世。

要了解炼金术的起源，我们必须了解亚历山大里亚各种技术的状况和哲学气氛。在前几个世纪中，各地中海国家都出现了一种工业，利用早期的化学方法来制造价格高昂、人民无力购买的那些物品的赝品。人造珍珠，同价格昂贵的泰尔紫可以比美的廉价染料，状似金银的合金，全都成了商品。

炼金术从很早的时候起，就和当时其他思想领域，特别是占星术联系着。太阳滋养万物，在大地上生长黄金。黄金是太阳的形象或原型。银白色的月亮代表白银，金星代表铜，水星代表汞，火星代表铁，木星代表锡，土星是五个行星中最远最冷的一个，代表最重最阴暗的金属铅。

柏拉图在《蒂迈欧篇》中阐述的哲学是一种完备的一元论的唯心主义；它所着重提出的学说是，物质是感觉世界中一个必要但在本质上并不重要的要素，从根本上来说物质只有一种。一切东西如果不体现一种理想，就谈不上真正存在，因而也无所谓好坏；万物都是有生命的，并且力求提高自己（这是后来诺斯替教引伸出的说法）。炼金术士相信，物质本身并不重要，但是它的特性却是实在的。人的肉体是同一种材料做成的，人的善恶并不是由于

---

History of science, vol. I. 1927, p.274; Isis, No. 16, 1924, p.79.

A.J.Hopkins, in Isis, No.21, 1925, p.58.

改变他们的肉体造成的，而是由于改变他们的灵魂造成的。因此，改变金属的特性，就可以改变金属。他们说，工匠对这一点是有深切体会的。事实上，特性就是金属。凡金属都力求朝着不怕火炼的黄金的理想灵魂提高自己，因此，在这条道路上助它们一臂之力，应该是很容易的事。当时已经知道，染色所用的媒剂能够侵蚀金属，因此，如果在一种贱金属中加入少量黄金的话，就可以用染媒剂侵蚀这种合金，留下一层金色的表面。他们以为，这样一来，作用和酵母一样的那种贵重金属就克服了合金的下贱性，使之具有了黄金的灵魂。

贵金属的主要特性在于它们的色彩——白银的白色，黄金的黄色。铜经过化学处理就可以变成黄色，因此也就变成了黄金。他们以为要做到这一步有两种方法：一是把下贱的土质除去，这样也就除去了生锈的倾向；一是通过改善它的火色或色彩，使其中较好的元素气与火有所增加。当死物质得到色彩灵魂的时候，它就变活了，象人得到了灵魂一样。

实用炼金术通常经过四个步骤。（1）把铝、铅、铜、铁熔合成一种黑色合金，在这种合金中，锡、铅、铜、铁就都失去了自己的个性，溶合成为柏拉图所说的第一物质的“一体性”。（2）加入水银、砷或锑，使铜变成白色，从而和白银相仿。（3）然后加入少量黄金“酵母”，再用硫成水（即硫化钙）或染媒剂处理这种白色合金。这样，合金就呈现黄色——在亚历山大里亚的炼金术士看来，这就真的变成黄金了。在他们看来，物质的本质不在于它的质量和它的具体的物理特性和化学反应（在我们看来，应该是如此），而在于亚里斯多德所说的色彩等很容易改变的特性。因此，如果一种金属具有了黄色和光泽等黄金的基本特性，它也就变成了黄金。亚历山大里亚的炼金术士和后来的一些炼金术士不同，他们既不是傻子，也不是骗子。他们是按照当代最好的哲学进行实验的；过错不在他们，而在于那种哲学。

炼金术在亚历山大里亚流行了三百年左右，后来就停止了，有人说，是罗马皇帝戴克里先（Emperor Diocletian）下令停止的。公元292年，戴克里先下令把所有讨论炼金术的书籍都加以焚毁。52 后来，炼金术又在别的地方复活，先是在阿拉伯人中间复活，后来又在欧洲复活。但是，到那时候，炼金术所依据的哲学已经有了改变，因此，后来的著作家既不懂得亚历山大里亚人的术语，也不懂得他们的精神。他们企图按旧的单方造出黄金来，殊不知“黄金”和“变化”两词的意义在这段时间中已经随着哲学而改变了。他们大半都用一大堆神秘字眼来掩盖他们的失败，到后来，真正的科学化学才开始从他们的堕落了炼金术中脱颖而出。

占星术和炼金术都有一个根本性的基础，那就是对自然的观察和理性的思想，虽然这种思想大半是错误的；因此，占星术和炼金术在天文学和化学的早期发展中都起了真正的和高尚的作用。另一方面，除了在原始人民中间外，巫术却从来都不是高尚的，它只不过在心理上影响人们采取轻信态度和迫切追求眼前的不负责任的力量罢了。巫术同科学的起源也未尝没有关系，但是它的精神同科学精神是肯定背道而驰的，因为科学总是要去慢慢地、谨慎地和虚心地追求真理。在希腊化的时代，巫术迷信发展起来，古代的科学也就衰落了。在后来，科学所以能够复兴，也并不是因为人们相信巫术，而是因为人们对巫书的信仰并不能阻止科学前进。

## 罗马时代

在古代世界，差不多只有希腊人才具有独创的科学思想。按照自然之理，看起来好象意大利的居民成份和希腊的居民成份在性质上一定是相似的。但是，两国人民在发展和成就上却很不相同，说明种族也是不同的。罗马人虽然擅长治理国家，在军事、行政和立法方面有优异的能力，但在学术方面却没有多少创造力。当然他们也编纂了许多著作，说明他们对于自然界的对象也有很大好奇心。他们的艺术，他们的科学，甚至他们的医学，都是从希腊人那里借来的；当罗马成为世界的霸主的时候，希腊哲学家和希腊医生都退隐到台拍河（Tiber）两岸，不过，在那里，他们也并没有建立任何可以继承雅典学派的遗风而无愧色的希腊哲学学派。罗马人似乎只是为了完成医学，农业，建筑或工程方面的实际工作。才对科学关心。他们使用知识之流，而不培其源——为学术而学术的源泉——，结果，不到几代，源与流就一起枯竭了。保守的罗马人竭力反对希腊思想未来的霸权。这种情绪在监察官喀托（Cato the Censor，公元前234—149年）的著作中流露出来。这个喀托是另一个比较有名的喀托的祖父。老喀托在晚年写出了第一部拉丁语农业论著，附带地向我们提供了一些有关罗马医学的资料。大约在同一时候，已比伦人戴奥晋斯（Diogenes）把斯多噶派的哲学恰到罗马。这个学说，后来加上波赛东尼奥学说中柏拉图主义的要素，变成了罗马所特有的哲学，历时三百年之久，在马可·奥里略皇帝（Emperor Marcus Aurelius）的著作中登峰造极。波赛东尼奥所以值得后人纪念，还因为他是一个游历家，天文学家，地理学家和人类学家。他以太阳和月亮的联合作用解释潮汐；事实上，天体对地上事物的影响似乎就是他的哲学的本质。他把宙斯放在命运之神上面；他的观点带有宗教色彩；但是他相信卜筮和占星术，在向欧洲传布这些思想方面，他所出的力或许比任何别的人都多。他注释过柏拉图的《蒂迈欧篇》；他的科学也象柏拉图的科学一样，是从他的哲学中推演出来并为他的哲学服务的。

两代以后，到公元前一世纪，罗马人就征服了全世界，但是希腊的学术也征服了罗马人。罗马法律学家和政治家西塞罗（Marcus Tullius Cicero，公元前106—43年左右），在创立拉丁语的哲学语言和普及希腊哲学方面，有很大贡献。他写过一部讨论宇宙哲学的著作《神性论》（*de Natura Deorum*），其中载有不少关于当时的科学知识的资料。他还提出一个有关人体的目的论的学说，并且多次对迷信和巫术汉式进行有力的抨击。

希腊的科学哲学——原子论——在《物性论》（*de Rerum Natura*）长诗中得到卢克莱修（Titus Lucretius Carus，公元前98—55年左右）的阐释和赞美。这篇长诗，象西塞罗的某些散文一样，目的在于打倒迷信，推崇以原子哲学和机械哲学为代表的理性。从一个方面来看，卢克莱修加上伊壁鸠鲁，还不及留基伯和德谟克利特富于现代精神，因为他的元始原子不向

---

G.Sarton *Lsis*, No.16, 1924. p.74 里的书评。

H.A.J.Munro, *Lucretius, Text, Notes and Translation*, 3 vols. 4th ed. London, 1905—1910 并看 references for Democritus 同书第21页及 E.N.da Andrade, *The scientific Significance of Lucretius, introduction to Munro's Lucretius*, 4th ed. 1928.

四面八方运动，而是靠自己的重量，穿过有限的真空，以同等速度，向一起聚拢。卢克莱修的诗篇中没有任何新的思想，但是，它利用原子论者的见解，以富丽堂皇的词藻宣布，因果性原理支配着万物，从看不见的水蒸汽的蒸发，一直到为宇宙的发光精壁所包围的天体的庄严运动都是如此。

这个世纪的最伟大的人物是凯撒(Gaius Julius Caesar, 公元前100—44年)。我们所以主要对他感到兴趣，是因为他在索西吉斯(Sosigenes)的技术帮助下，修订了儒略历法(julian calendar)。

以365 1/4 时天为一年。这个估计数失之过大，渐渐引起对日和季候的差异。但是，这个修订了的历法在欧洲一直流行到1582年，当时误差达到十天。到那时，教皇格雷哥里十三世(pope Gregory)才下令加以纠正。在苏格兰，1600年就加以纠正，但是，在英格兰，到1752年才加以纠正。凯撒还计划在罗马帝国全国进行测量。后来阿格里帕(Agrippa)把这个任务付诸实行，并把测量结果绘入一幅世界大地图中。

公元20年左右，旁托斯的阿玛息亚的斯特拉波(Strabo of Amasia in Pontus)用希腊语写了一部全面的地理学著作。这部著作对当代的其他科学也有所说明。罗马人东征西讨，自然使人们对地球表面的知识不断增加，描写帝国道路的旅行指南也在这时开始出现。

维特鲁维奥(Vitruvius)写了一部建筑学论著，其中详细叙述有关的物理学知识和技术知识。他已经了解声音是空气的振动，并且对建筑音乐学作了说明。这是关于建筑音乐学的已知的最早的说明。

罗马军人和工程师弗朗提努(Sextus Julius Frontinus, 公元40—103年)对流体力学提出一些有益的见解。他做过罗马导水管监察官。他谈到了罗马的给水工程，并且由实验中发现，水由管口流出时，水流的速度不但决定于管口大小，而且决定于管口在水面下的深度。

味吉尔(Virgil, 公元前30年左右)在《农事诗》(Georgics)中描写农事技术和农事的诗意。瓦罗(Varro)也写过一本关于农事的书，其中记载了观察植物生长的结果，并且暗示疾病的传染是由于肉眼看不见的微生物所致。

公元14年左右，在奥古斯都治下，罗马建立了第一所公立的希腊医学校。当代最好的医生是塞耳苏斯(Celsus)。他在提比利乌斯(Tiberius)在位时期，用拉丁语写了一部重要的内外科医学论著。这是我们关于亚历山大里亚的医学史和当代罗马医学史的知识的主要来源。塞耳苏斯描写了很多惊人地符合现代精神的外科手术，在医学上采取了中间路线，在古代的经验学派和方法学派之间不偏不倚，既相信理论，又相信观察。他的著作在整个中古时代遗失了，后来又及时重新发现，使文艺复兴时代的医学受到影响。

在公元一世纪中叶左右，第奥斯科理德(Dioscorides)，一个植物学家和军医，写了一部关于植物学和药学的书，叙述了六百来种植物及其药性。

在公元一世纪后半叶，学术的复兴在一定程度上已经出现了。

有一位罗马公民老普林尼(Pliny, 23—79年)，尤其值得我们追念。

---

儒略历以365又1/4日为一年，较之实际长了11分钟，在东欧各国沿用至近代，曾略历和季节的差异，到现在达13日之多。——译注

《大英百科全书》Art. "Hydrosechanics", 9th ed; G.Sarton, loc cit. p.255.

G.Sarton, Loc. cit. p. 258; Goodyear 英译本(1655); R. T. Gunther, Oxford 1934. Isis, No.65. 1936, p.261.

他写了一部《自然史》（*Naturalis Historia*），共三十七册。这是一部包罗了那个时期的全部科学以及一系列被遗忘的希腊和罗马著作家的知识和信念的百科全书。他从总的宇宙理论开始，一直讲到地球和它的内容。他认为宇宙是由天空和空间中的星体组成的，都是神的表现。然后，他就讲到地理，讲到人和人的身心特性，讲到动物，飞鸟，树木，农业，森林，园艺，酿酒，金属的性质和用途，以及美术的起源和实践。他又同样深信不疑他讲到狮子，独角兽和凤凰的自然生活史，不能把现实的东西和想象的东西，真实的事情、可信的事情和不可能的事情区别开来。他替我们保留了当时的一些迷信，诚心诚意地叙述了各种巫术的实践和功效。但是，我们必须记得，他是为了追求自然知识而贡献出自己的生命的。这是他的光荣。当维苏威火山大爆发，毁灭了庞培城（*pompeii*）和希尔姑兰城（*Herculaneum*）的时候，他正在统率罗马海军。他上岸去观察这次翻天覆地的变化，深入险地，终于为暴雨般落下的火山灰所掩埋。

我们关于希腊哲学家的知识，事实上还有关于希腊哲学的知识，很多是从《哲学家列传》（*Lives of the Philosophers*）所保存的资料中得来的。这本书是二百年后第欧根尼·拉尔修（*Diogenes Laertius*）所写的。但是，我们也从普卢塔克（50—125年左右）的著作中，得到一些资料。他在自己的著作中谈到月球的构造，并且叙述了罗马的神话，提出了对各种宗教进行比较研究的主张。我们还必须提到当代的另外两位历史学家，即约瑟夫斯（*Josephus*，37—120年左右）和塔西陀（*Tacitus*，55—120年）。前者写了一部犹太人的记录，后者是早期不列颠和日耳曼的政治和社会历史的重要拉丁权威。

在后来的三十年中，当天文学家托勒密在亚历山大里亚工作的时候，希腊医学在亚历山大里亚、罗马以及到这时已经成立起来的其他学校里，兴盛一时。从在这些学校里工作的医生那里，我们可以找到一条从古代世界最著名的医学家希波克拉底到卡帕多西亚的阿勒特奥斯（*Aretaeus of Cappadocia*）和他的更著名的同代人盖伦（*Calen*，或 *Galenus*）的学术上一脉相传的线索。

盖伦在公元129年生于小亚细亚的帕加马，在罗马等地行医直到200年。他把希腊解剖知识和医学知识加以系统化，并且把一些分裂的医学学派统一起来。他对动物和一些人体进行了解剖，并且在解剖学、生理学、病理学及医疗学方面，发现许多新的事实。他在活的动物身上进行实验；由此考察了心脏的作用，并且对脊髓进行了研究。据萨尔顿说，这是古代最值得注意的两个实验之一。在哲学方面，他认为一切都是由上帝决定的，人体的构造也是上帝为了一个可理解的目的形成的。盖伦的医学学说同原子论者及他们的追随者的机械观点相反，它的基础是这样一个观念，人体各部分都贯注着不同种类的元气。盖伦的成拉丁语是 *spiritus animalis*，这样就变成我们

---

Text ed. by L. von Jan and K. Mayhoff, 5 vols. Leipzig, 1906—1909; Eng. trans. J. Bostock and H. T. Riley, 6 vols. London, 1885—1887; H. N. Wethered, *The Mind of the Ancient World*, London, 1937; E. W. Gudge, *Isis*, 269.

Text with, Eng. trans. by B. Perrin, 6 vols. London, 1914—1918.

*The Roman Questions*, Eng. trans and notes by H. J. Rose, Oxford, 1924.

G. Sarton, *loc. cit.* p. 301; sir T. C. Allbut, *Greek Medicine in Rome*, London, 1921.

*Isis*, No. 16, 1924, p. 79.

所熟悉的“animal spirits”（动物元气）。这个词的意思有时或许被人误解了。盖伦所以享有盛名并影响医学界达一千五百年之久，并不是由于他的真正伟大的观察和实验，也不是由于他的医术高明，而是由于他从这些观点中用论证方法十分微妙地推出一些教条，并且权威地加以阐释。他的有神论的心理态度既能吸引基督教徒，又能吸引伊斯兰教徒，也是他的影响巨大而持久的一部分原因。

他的关于人体功能的一般理论在哈维（Harvey）发现血液循环以前，一直盛行不衰。盖伦认为，血液是食物在肝脏内变成的，然后就和“天然元气”（“natural spirits”）混合，得到富于营养的性质。一部分血液经过静脉管流入身体各部，并经过同一条道路再流回心脏，象潮汐那样涨落不已。其余的血液，经过隔膜中不可见的细管由心脏的右边流到左边，在那里和肺吸来的空气相混合。靠了心脏的热力，它带上了“生命元气”（“vital spirits”）；这种较高级的血液又通过动脉管在身体的各部分涨落，从而使各种器官能够发挥它们的生活功能。在大脑中，这种活力血液生出“动物元气”。动物元气是纯粹的，不和血液混合，它能沿着神经流动，促成运动和人体各种高级功能的实现。

这个生理学体系距离真理当然是很远的，虽然就盖伦的知识来说，它是惊人的巧妙而成功。不幸，在世人的眼中，盖伦的学说竟比他的自由的探讨精神更为重要，所以，在文艺复兴之后，他的权成才把生理学的道路堵塞了，直到哈维鼓起勇气把它抛在一边为止。

罗马人在理论科学方面成就很少，但是在实践方面却值得注意。罗马的卫生和公共保健事业部安排得很好。清洁饮水用巨大的导水管引到市区内，市内设立有公共医疗系统和医院，军队中设立有医官。

### 学术的衰落

医学校继续开办着，但是，从盖伦的时代起，或者从更早的时候起，古代世界的一般科学和哲学就有了最后趋于暗然无光的清晰迹象。除了公元三世后半叶亚历山大里亚的第奥放达斯（Diophantus）是希腊最伟大的代数学著作家以外，没有一个第一流的人物。在第奥放达斯的时代以前，代数题要么用几何学的方法来解，要么用言语的推理来解，到第奥放达斯才开始采用一些简单的符号，来代替不断重新出现的量和运算方法。因此，简单的方程式和二元二次方程式他都能解。他还谈到未知量的数目超过方程式的数目的不定式问题。

这项成果是代数学开始成为独立学科的标志，但是，在第奥放达斯以后，古代世界对科学知识就再没有重大贡献。在罗马帝国 58 头三百年间，罗马法的伟大成就登峰造极，但是，罗马政权还没有衰微，科学就显然已经和哲学思想的其他部门一起差不多停滞不前了。知识没有进步，人们唯一的工作只是写些注释和撮要，主要是希腊哲学家的注释和撮要。在这些注释家当中，

---

Sir Michael Foster, *History of Physiology*. Cambridge, 1901, p12.

Sir Thomas L. Heath, *Diophantus of Alexandria, a Study in the History of Greek Algebra*. 2nd ed. Cambridge, 1910; Paul Tannery, *Papers in his Memoirs*, 1879—1892; W.W. Rouse Ball, *History of Mathematics*. London, 1901 p.107.

我们必须提到阿弗洛底西亚的亚历山大(Alexander of Aphrodisia)。他在公元 200 年左右担任吕克昂学院的院长，并且力求保存纯粹的逍遥学派的理论。在一切科学理论问题上，甚至在实际事实问题上，亚里斯多德仍旧被认为是最高权威，不过当时流行的形而上学的哲学，却是通过更神秘的新柏拉图主义学派，从柏拉图那里得来的，至少在当时居于支配地位的亚历山大里亚学派中是这样。亚历山大里亚当时成了新柏拉图主义学派的中心。大约在四世纪初，哈尔基伙(Chalcidius)用拉丁语为柏拉图的《蒂迈欧篇》写了一部注释。这部书差不多成了中古时期关于柏拉图的知识的主要来源，在亚里斯多德的著作被遗忘的几百年中，它给中世纪带来了一种自然哲学，当时的异想天开的见解有许多就是从那里来的。

我们说过，亚历山大里亚学派的科学工作几乎全部是由希腊人的后裔来继承的。但是，居民中间的其他成分慢慢地也开始发挥他们的作用，尤其是在比较富于形而上学性质的各哲学分支中。在这些非希腊的成分中，最重要的成份之一是犹太人。在亚历山大里亚出现了一个新的思想学派，它一方面受到希腊化文化的影响，另一方面又受到犹太和巴比伦的传统的影响。我们不要忘记，当犹太民族从巴比伦人的奴役下解放出来时，回到巴勒斯坦的犹太人为数很少，相对来说是很小的一部分，有不少人都在小亚细亚和地中海东部沿岸各城市定居下来，经营商业，在整个东方建立了一个商业、政治和文化方面的通讯网。亚历山大里亚成了散布在各处的这个民族的商业和文化中心，耶路撒冷则成为他们的宗教中心。因此，亚历山大里亚就成为希腊哲学和东方宗教，尤其是犹太教和基督教的最早的重要会合点。很多早期的希腊籍基督教神父都住在亚历山大里亚，或从那里得到他们的哲学。正是靠了他们，很多希腊哲学才保持住自己的活力，并且在犹太思想、希腊思想和基督教思想的综合中占有一席之地。这一综合后来就形成了教父神学。柏拉图的思想，在较小程度上还有亚里斯多德的思想，<sup>50</sup> 就这样进入了早期的基督神学中，而且早在教会人士还没有想到它们的来源之前，就已经在中古时代的欧洲流行开来了。因此，当希腊著作家的著作后来重新发现的时候，教会人士看到平常习见的基督教义的原型早就包含在这些异教哲学家的著作中，自然不免感到惊奇。

虽然早期的教父就生活在这个时期中，虽然他们的著作成为中古时代的宗教和古典哲学中比较富于形而上学色彩的要素两者之间的桥梁，我们最好还是把他们的工作及其对科学思想的影响留到下一章中再作简短而必要的叙述，原因是，他们同古代世界的数学科学或观察科学，关系不大。

## 第二章 中世纪

中世纪——教会神父——黑暗时期——欧洲的改造——阿拉伯学派——  
欧洲学术的复兴——十三世纪——托马斯·阿奎那——罗吉尔·培根——  
经院哲学的衰落

中世纪不久以前，“中世纪”一词还是指自古代文化衰落到意大利文艺复兴一千年的整个漫长时间。但近来人们怀着新的兴趣对十三、十四世纪的历史、艺术和宗教进行研究的结果，使我们清楚认识到那时已有一种新文明出现，因而现在人们往往把“中世纪”一词只用于指“黑暗时期”以后文艺复兴以前的四百年间。

可是，在科学历史家看来，原来的历史分期法也有它的优点。

西欧的“黑暗时期”正好与有些不久便被阿拉伯人征服的亚洲国家学术异常兴盛的开始期同时。波斯与阿拉伯学派的学说原来都是以希腊古籍的译本为依据，但后来它对于自然科学也有可观的贡献。欧洲从阿拉伯入学到不少的东西，阿拉伯的学术在公元 800 至 1100 年间达到了它为兴盛期。但那时以后科学的活动主要是在欧洲。十三世纪由于希腊古籍的完整版本，特别是亚里斯多德的著作重新发现，知识领域里有了很大的进展。不过一直要等到文艺复兴时期，西方人才开始用批判的眼光去检查希腊哲学，或用新的实验方法去寻找自己的道路。因此，1100 年以后的时期，象以前的黑暗时期一样，在科学史家看来，只是一个预备时期。这两个时期是同一整体的两个部分，不妨合拢来看，虽然在政治、文学或艺术的历史学家看来，它们是不同的可以分开的。因此，对我们而言，“中世纪”仍有其原来的意义——由古代学术衰落到文艺复兴时期学术兴起的一千年，这是人类由希腊思想和罗马统治的高峰降落下来，再沿着现代知识的斜坡挣扎上去所经过的一个阴谷。在宗教以及政治与社会结构方面，我们和刚才脱离的中世纪还很接近，但在科学方面，反而更接近于古代。我们透过雾气迷漫的山谷去看过去，感觉远处峰峦比近处地面更加清晰。

### 教会神父

要明了中世纪的欧洲在自然知识方面不能有所进步的原因，我们必须探讨中世纪思想的发展。首先，我们必须了解早期神父们按照犹太经典、希腊哲学以及祭仪宗教和它们背后的原始仪式建立起来的基督教神学与伦理学的一般轮廓。其次，我们必须探索以后每一个时代里这些教义为了与异教或异端斗争而发生的种种变化。这样，我们才会了解为什么教父的基督教和中世纪早期的基督教，在精神上对于世俗学问采取仇视态度，为什么哲学成了神学的婢女，为什么自然科学不复存在于世上。

早期的希腊哲学坦率地建立在对可见世界的观察基础上面。到了苏格拉

---

要知中世纪思想的一般情况，可参看（1）H. F. Stewart, "Thought and Ideas", in Cambridge Mediaeval History, vol. I, ch. 20; (2) H. O. Taylor, The Mediaeval Mind, 2 vols, New York and London, 1911 and 1914. 要知史事及参考资料直到公元 1300 年，可参看 G. Sarton, Introduction to the History of Science, vols I, II, Baltimore, 1927, 1931.

底和柏拉图手中，哲学的探讨更进一层，从现象问题追究到背后的实在，从自然哲学走到一种带有唯心主义和神秘主义倾向的形而上学。“希腊人的心灵被自己的创造迷住了”。在柏拉图看来，外界的事实，无论是自然界的、人生的和历史的，只有为心灵所领会时才成为实在。这些事实的意义必然在于这些事实的与心灵的首尾一致的概念体系相吻合的那一方面，因为只有这样，事实才能为心灵所思考，也只有这样，它们才能存在。凡不能想象的，老实说也都是不可能的。

这样一种哲学，显然不能促进对于自然或历史的正确而无偏颇的观察。宇宙的结构必须与柏拉图的哲学的理念相适合；历史本质上只是增加论证的生动性和提供实例的一种工具。

亚里斯多德对于观察自然界比柏拉图感兴趣，但是即令就亚里斯多德来说，他的力量也是用在形而上学与逻辑学方面多，用在科学方面少！而在科学方面又是用在生物学方面多，用在物理学方面少。他首创逻辑学这门学科，而在生物学上无论如何表现了客观的观察方法。他的物理学不象德漠克利特的那样客观，是在原子及真空中寻找事物的终极本性。在亚里斯多德看来，用来解释自然界的概念必然是物质、本质、物体、形式、数量、质量——这些范畴都是为了按照人的心灵固有的观念去表达人们对于世界的直接的感官知觉而制订出来的。在黑暗时期开始的时候，亚里斯多德的著作的不完善的撮要，是当时可以得到的希腊资料中最科学的，他的影响虽然不小，但慢慢地也就不再具有支配力量了。到六世纪他的著作已不时行，此后七百年间，所遗留下来的，差不多只有别人给他的逻辑学所作的注释。

斯多噶派的哲学，通过马可·奥里略的著作为我们一部分人所熟知。它对于罗马人的心理特别合适，在估计教父派神学家所利用的不同的思想潮流时，对斯多噶派的哲学不能加以忽视。在斯多噶派看来，中心的实在是人的意志。形而上学和自然知识，只有在为斯多噶派的哲学服务，即作为生活与行为的指针时，才有其重要性。斯多噶主义基本上是一种伦理哲学，它使物理科学离开正确的观察，以便与道德的成见相适合。

由柏拉图创始的思想学派，到新柏拉图派，升到更加超理性的高峰。他们的哲学是后来的异教的最后产物。从亚历山大里亚的普罗提诺(Plotinus, 卒于 270 年)的时代到波菲利(Porphyry, 卒于 300 年)及杨布利柯(Iamblichus, 卒于 330 年左右)，哲学越来越远离物理与实验，越来越接近神秘的观念。普罗提诺纯粹生活在“为偶尔的狂喜所温暖的形而上学”的领域之中，在他看来，只有对于“绝对”的超理性的默想才是最高的善。在波菲利的著作中，尤其是在杨布利柯的著作中，这些神秘的见解进入实际的生活，而它们在实际生活中的应用又使巫术与邪术更加为人们所轻信。灵魂需要神、天使与魔鬼的帮助；神灵本质上是不可思议的，而巫术是达到神灵的途径。因此新柏拉图主义奖励而且吸收流行在一个衰颓时期的一切民间的迷信，巫术和占星术的一切发展，以及一切追求苦行的病态渴望。一位新柏拉图派传记家笔下的杨布利柯的生活里充满了奇迹，正如阿散纳修斯(Athanasius)的圣安东尼(Salrit Anthonv)传记一样。

这种神秘的哲学气氛包含有东方信仰的潮流，如祆教(Mithra-ism)与摩尼教(Manichaeism)。后者主张一种二无论，认为有善恶两种力量，注定要一再重新出现。祆教与基督教争霸于罗马帝国。它是从波斯传来的一种祭仪宗教；以前我们讲过，在希腊化时代，当古典时期快结束，而奥林匹

斯神话衰退之时，这一类祭仪宗教就取代了这个美丽的信仰。关于这些祭仪宗教，我们还知道得远远不够完备。它们的教仪有奥义传授和通神等秘密仪式；它们的信仰通过每一宗派特有的神的传说来表达，这些传说一般人信以为真，有教育的人则以为不过是生死秘奥的象征。在这些教仪与传说的背后，有原始的自然崇拜——崇拜日神、崇拜月神和表演一年季节循环的戏剧，以资庆祝：在夏季，大自然生意盎然，在冬季，自然界陷于死亡状态，每年新春，自然界又欢乐地复活过来。

现代人类学进一步揭示了构成祭仪宗教基础的原始观念与其仪式的起源。这些仪式渊源于更原始的仪式，而更原始的仪式则基于这样一种观念：人们可以用交感巫术或妖术去强迫自然就范。这样的教仪及由此发展而来的仪式，比任何宗教教义的确体系都早，而且更加持久。我们可以看出：在公元后最初几个世纪内，除在文学中出现的正式宗教和哲学之外，还有这些更原始的巫术仪式与信仰的又深又广的暗流存在。从这些仪式里可以找到奥义传授，牺牲献祭，与通神等观念，这些观念在祭仪宗教中，以及后来的某些基督教教义中、特别是天主教的弥撒仪式理论中，又以更复杂的形式出现。这些原始的仪式和较为发达的祭仪宗教对于基督教起源的影响，一向是历史家与神学家讨论的问题。这种讨论随着每一代掌握的知识而有所不同。

圣保罗 (Saint Paul) 拯救了基督教，使它没有变成一个注定要很快消灭的犹太教教派，并且把它当做一个世界性宗教来加以宣传。在这个宗教生长起来和传布开来的时候，它和希腊哲学发生接触，早期教会的神父们的主要工作，就是把这个哲学与基督教义结合起来。

最先从事这一工作的是沃里根 (Origen, 约 185—约 254 年)，他公开宣布古代学术，特别是亚历山大里亚的科学，与基督信仰是一致的，在争取有教育和有知识的人信教方面，他比任何人尽力都多。当时教义尚未固定，后代人不惜抛弃生命为之奋斗的不同的见解，在他的著作中，还和平地共处着。

沃里根最根本的主张是上帝的永恒不变。这个主张牵涉到逻各斯 (Logos) 与世界的永恒不灭，以及灵魂的“预先存在”。这样就把基督教的历史方面的重要性减少了，从而也就可以用比较批判的态度去检查旧约和新约，而且可以采取一个比后来正统观点较为自由的观点。但是沃里根的神学越来越得不着人们的承认，终于在 553 年君士坦丁堡的宗教会议上遭到谴责。

在拉丁神父中，圣奥古斯丁 (Saint Augustine, 354—430 年) 对基督教思想的影响最深远而且最长久；他的《忏悔录》 (Confessions) 和《上帝之城》 (City of God) 是基督教的两大最重要的经典著作。他先属摩尼教派，后来是新柏拉图派，最后才成为基督教徒。他把柏拉图哲学与保

---

要知简单的叙述可看 Percy Gardner, in Hastings' Encyclopaedia of Religion and Ethics and also in Modern churchman, vol xvi, 1926, p.319.

Sir J. G. Frazer, The Golden Bough, 3rd ed. 特别看 Part v, "Spirits of the Corn and Wild", vol. 167. B. Malinowski, Foundations of Faith and Morals, Oxford, 1936.

本义为言语、思想、理性。是最先出现在古希腊唯物主义哲学中的哲学术语。意谓物质世界的普遍规律性。新柏拉图派转译逻各斯解释为神或神秘的宇宙理性。基督教吸取这个意义，就把逻各斯和“圣子”等同起来。——译注

罗《使徒行传》的学说结合起来，形成基督教对知识的第一次大综合的基础；这一综合，在中世纪后期亚里斯多德与托马斯·阿奎那支配一切的时代，还作为另一派思想暗地里依然存在。他的论争，正如圣阿散纳修斯的论争一样，说明天主教的教义是怎样由辩论而形成的，并且说明我们的信条不但是信仰的陈述，而且是“战胜异端和异教的凯歌”。正如吉朋（Gibbon）所说：“异端的名号总是安在少数派头上”。

新柏拉图主义与早期基督教神学同时成长，相互作用——事实上两方都责斥对方抄袭。基督教象新柏拉图主义一样，有一个根本假定：灵魂是宇宙的终极的实在；在教父时代，基督教更接受了新柏拉图派的超理性态度。在早期神父的著作中，最高级的超理性主义对于上帝的爱与对于复活的基督的理解，一步一步下降，最后就变成了同异教群众及新柏拉图派哲学家的信仰已经没有什么区别的最低级的迷信。早期的新柏拉图派异教徒普罗提诺和基督教神学家奥占斯丁对于占卜与巫术并不重视，拉丁神父希波利塔斯（Hippolytus）对于异教的巫术与占星术的愚蠢也加以揭发。但六十年以后，波菲利与杨布利柯，再后数百年，基督教会活动家杰罗姆（Jerome）与格雷哥里（Gregory）都热中于妖魔灵怪的事迹。

象征主义在新柏拉图主义中已经出现，神父们为了把《旧约》和《新约》加以调和，并把两者同当时流行的思想流派加以调和，又把象征主义加以推广与发展。《圣经》中的或自然界中的一切如果与每一神父所诠释的基督教义相合，就作为事实接受，凡是不合的就只承认它仅仅有象征的意义。

最后，要了解教父的心理，并由此以了解中世纪人的心理，我们必须明了基督教关于罪恶的观念所带来的压倒一切的动机，那就是对于天堂怀抱希望，对于地狱怀着恐惧，盼望通过神与人之间的中保在天堂里得救，避免地狱火焰的惩罚。

异教世界自己也已丧失信心。人类已经远远离开希腊人对于生活的乐观态度和严肃的罗马人在家庭与国家里的快乐生活。祭仪宗教把东方的思想带到欧洲。人们开始更加依赖权威；他们感觉到不安，对于他们在现世和来世的平安发生恍惚的恐惧。这种情形常出现于历史的各时期之中。甚至在基督降世以前，在巴勒斯坦与犹太教影响存在的其他地方，人人就都期待着天国和末日裁判的灾难来临。这个观念使使徒时代基督教的信仰大半成了一个来世论问题，使基督教的生活规则变成只不过是一种暂时的伦理，只不过是光荣的第二次降临前的短期的准备。也许在教父时代，世界末日已经向未来推远了一点；但最后裁判的日子仍是很近，每一个人都以为死亡是通到神秘的隔世和可怖的阴界的有效门户。暗影笼罩着古代国家的文明，更大的暗影笼罩着人类的精神，差不多使基督宣传的希望与和解的福音光辉都晦暗了。

由于有这样一种人生观和这样一种死亡的前景，无怪乎神父们都对世俗的知识本身，毫不感觉兴趣。圣安布罗斯（Saint Ambrose）说：“讨论地球的性历与位置，并不能帮助我们实现对于来世所怀的希望。”基督教思想开始敌视世俗学术，把世俗学术和基督徒决心要战胜的异教看做是一回事。亚历山大里亚图书馆的一个分馆在 390 年间被德奥菲罗斯主教加以毁灭，一般说来愚昧变成大家恭维的德性。当基督教成为人民的宗教后，这种态度变得更加残酷。有一个例子可以说明所产生的这一结果：415 年，希帕西亚（Hypatia）被杀害，她是天文学家塞翁（Theon）的女儿，也是亚历山大里亚最后一位数学家，可是竟被基督教暴徒异常残忍地加以杀害，而

这个暴行据说是西里耳 (Cyril) 教长所主谋的。

朱利安皇帝 (Emperor Julian, 331—363 年) 企图复兴异教徒的宗教与哲学, 但雅典的最后一位大哲学家是普罗克拉斯 (Proclus, 411—485 年), 他把新柏拉图主义加以最后的综合, 而且使它具有了“传给中世纪基督教和伊斯兰教时所具有的那个形式”。普罗克拉斯成了基督教与柏拉图和亚里斯多德之间的桥梁。他也部分地造成并促进了中世纪的神秘主义。

虚心地探究自然的愿望与力量渐渐地消失了。自然科学在希腊人那里消融在形而上学里, 在罗马的斯多噶派那里, 变成支持人类意志的道德所必需的条件。同样在早期基督教的气氛里, 自然知识也只有当它是一种启发的工具, 可以证明教会的教义与圣经的章节的时候, 才被重视。批判的能力不复存在, 凡是与神父们所解释的圣经不违背的, 人们都相信。当代的自然历史知识可以拿公元二世纪编纂的《生理论》(Physiologus) 或《动物论》(Bestiary) 作为代表。这些书的题材与内容公开宣布是根据教义上的考虑决定的, 最初都是借用动物世界的形象虚构的基督教寓言。例如, 书中庄重他说, 小狮出生时是死的, 到第三天它们用眼呼吸, 因而苏醒过来, 这样来象征我们的救主, 即犹太 (Judah) 之狮的复活。

按照他们对于历史和传记的看法, 异教历史学家总是随时准备改变历史记载以迁就修词, 于是教会的作者就更加变本加厉。在他们的手里, 历史成了基督教护教论的一个分支, 至于早期中世纪文学的特殊形式, 圣徒的传记, 那不过是一个启迪的工具。无论什么传说, 只要符合于作者心目中的他的题材的神圣性, 他都毫不迟疑地加以接受。

教父神学的力量, 由于得到教会组织的支持, 而愈加强大。到了帝国接受基督教时, 这个组织便依靠正在衰退但仍然占有优势的罗马传统力量, 成为不可抵御的了。罗马帝国虽然亡了, 它的灵魂仍在天主教会中活着, 后者不但继承了前者的组织结构, 并且承袭了大一统主义 (universalist) 的理想。罗马主教觉得要取得世界大主教的位置和逐渐加强统一的纪律, 比以前不知要容易多少倍, 因为就是野蛮民族也得尊仰罗马为他们的首都、他们的圣城, 并奉凯撒为他们的半神化的君主。从哲学上说, 天主教会是希腊化文明的最后成就; 从政治和组织上说, 它是专制的罗马帝国的后裔与承继者。

## 黑暗时期

当古代文明的夕阳斜辉消逝在第六、七世纪的黑夜中的时候, 欧洲的学术情况就是这样。后来的几个时代在新晨的微光中所回顾的理想的性质就是这样。那时, 他以为他们所回顾的是一个比较光明的日子, 这个日子的光荣的中午的顶峰就是上帝假手他的儿子而给予世人的最高启示, 这个日子的光辉的黄昏则由教会的神父们秉承神意写作的著作照亮, 无怪乎新时代的人把经过黑暗时期传到他们手中的东西都当作超自然的法典, 而不用批判的眼光去看待它。

古代学术残存于第七世纪的西方的唯一痕迹, 只有博埃修斯 (Boethius) 的著作。他出身于罗马贵族, 于 524 年被人处死。经过长期争论之后, 现在大家好象承认他是基督教徒, 甚至是殉道者。不管这些, 他的确是代表古代

---

Zekkermd, 在“Neo-Platonism”, Enc. Brill. 9th ed. 里引用过。

哲学精神嫡传的最后一人。他著有亚里斯多德与柏拉图哲学的纲要和注释，并根据希腊人的著作，写成叙述所谓四学，即算术、几何、音乐、天文四个数学部门的专著。这些手册在中世纪时采用为学校教本，事实上，中世纪初期有关亚里斯多德的知识，几乎完全是由博埃修斯的注释得来的。

博埃修斯传的作者斯特沃特博士，给了我以下一段记载：

博埃修斯是罗马人当中的最后一人，们从他对于科学分类历提供的材料看，他也是经院哲学家的最早一人。他主张将知识均匀地分配到自然科学、数学与神学中去，后来的人一致采用，最后托马斯·阿奎那不但接受而且为之辩护。他给人下的定义是“自然界里有理性的个体”，这个定义在经院哲学时期结束以前，一直为人遵奉。

在博埃修斯和比他年轻的同时人卡西多拉斯(Cassiodorus)以后，古典的精神便不存在了。柏拉图在雅典建立的哲学学校，这时教授一种神秘的、半基督教的新柏拉图主义，于529年为查士丁尼皇帝(Emperor Justinian)所封闭，一半由于是要毁灭异教哲学学说的最后残余，一半是要防止官立基督教学校遇到竞争。

但拜占庭帝国在西欧蛮族最猖獗的时代，维持了一个文明的背景。它的军队把意大利的哥特人赶走了，它的律师在查士丁尼学院把罗马法订为法典。建立在斯多噶学派原则基础上的罗马法提供了一个理性秩序的理想，这个理想经过混乱时期保存下来，帮助形成了罗马帝国继承者大一统主义的法典，后来并帮助形成了经院哲学的知识综合。此外，从古典时代经过拜占庭遗留下来的知识，即令在衰微的时候，也如火炬一样照耀于欧洲的黑暗中，照亮了走向西方学术复兴的道路。这一线光明还没有完全熄灭，西方学术复兴就已经开始了。

不过，在这个当儿，西方与过去的断绝是极其彻底的，并不限于作为文明力量的希腊和作为世界强国的罗马的灭亡。不但作为政治国家和社会组织的雅典与罗马毁灭了，就是艺术家和哲学家的希腊民族，法律家与行政官的罗马民族，也不复存在了。

人们把罗马衰败的开始，归咎于种种原因。一个重要而常被人忽视的原因，据历史家艾利生(Alison)研究，是由于货币缺乏，而造成的经济紊乱。西班牙与希腊的金银矿开始枯竭，罗马国库中收藏的贵金属可以造为货币的，在奥古斯都时代，估计约值三亿八千万英镑，到了查士丁尼时代已减少到八千万英镑。虽然货币时常贬值，但我们仍然可以断定国内的物价下跌不已，换言之，用货物与劳务来衡量，金钱的价值则属上升，而缩减通货时期的各种恶劣影响也就必然随之而来了。生产性的农业与工业成为无利可图的事业，捐税到了不可忍耐的程度；由不受货币紊乱影响的国家，如埃及与利比亚输入的货物大大增加，而罗马的土地遂至无人耕种，正如英国的土地在1873至1900年及1921至1928年由于同样的原因而致荒芜一样。

土地既不耕种，城乡的沟道又复失修，于是大片地带竟因疟疾猖獗而不堪居住；高尚与能干的血统的出生率的降低，加上不断的战争与外国人—

---

Sir Archibald History of Europe, vol. Edinburgh and London,1853,p.31.

A.R. Burns, Money and Monetary Policy in Early Times, London, 1927.

Angelo Celli, Malaria, eng. trans, Londol. 1901;W.H.S.Jones.Malaria, a Neglected Factor in the History of Greece and Rome, Cambridge, 1909.

—古罗马人中间——的管理，大概不但使每一代的许多最优秀的人死于非命，而且使优者亡而劣者存，因而使国民的平均品质降低。通常所说的明显的军事原因和其他原因无疑与灾难有很大关系，但是经济的混乱与外族的骚乱也是不可忽视的因素。我们也许可以这样说：北方民族推翻罗马，与其说是野蛮人摧毁了文明，倒不如说是把已经败灭倾颓的废墟打扫清楚，让将来的新的大厦好建筑起来。

一个新的文明须从混乱中演化出来；具肖一定理想和明确特性的民族必须从信奉大一统主义的腐败帝国的多种多样的种族中发展出来；而这些民族也必须先在社会秩序的改造以及文化特质的判定和专业化方面有很大进展，然后才能成为新的科学和科学哲学萌芽和成长的适当温床。

在欧洲的某些地方，通过黑暗时期的朦胧阴影，我们可以看见知识的小草挣扎出现于阳光之中。意大利的大城市中，可能有些世俗的学校经过动荡与混乱，还继续维持着。但修道院的兴起，使人们第一次有可能过稳定安闲的生活，因而唯有在寺院中才能找到学术新生的最早的征象。

由于福音故事的性质，教会的神父们不能象蔑视或无视其他世俗知识一样蔑视医术。救治病人是基督教的义务，而医学也就成了复兴最早的一门学科。寺院医学起初是巫术，里面稍微混杂一点儿占代的科学。第六世纪时本笃会教士（Benedictines）开始研究希波克拉底与盖伦著作的纲要，他们渐渐把这些著作里的知识传播到西方去。僧侣也是实际的农夫，他们也保存了一点农业知识。

佩斯东海湾那不勒斯南面萨勒诺（Salerno）城的学校是最早的非宗教的新学术发源地。从这个中心发出了许多根据希波克拉底与盖伦的著作编纂的书籍。第九世纪时萨勒诺的医生已很有名；到十一世纪时，他们开始读阿拉伯书籍的译本；他们为学校一直兴盛到十二世纪才由普及于欧洲的阿拉伯医学所代替。由于萨勒诺先是希腊的殖民地，后来又是罗马的疗养场，而且在意大利南部希腊医学的传统始终没有完全中断，所以在这里，古代学术与现代学术的直通桥梁也可能始终没有中断。

## 欧洲的改造

不过，我们还应该指出，距离罗马较远的地方，也是表现出明确的新精神最早的地方。从富有诗意的爱尔兰传说开始的爱尔兰、苏格兰及英格兰北部的文学与艺术，由于吸收了基督教的教义，得到迅速的进展。靠了威利布罗德（Willibrord）与博尼费（Boniface）等传教士的热忱，这一文化连同它的一些世俗学问被传到南方。北方的这一发展在盎格鲁-萨克逊僧人贾罗的比德（Bede of Jarrow, 673—735年）的著作中达到顶点。他把当时西欧所有的知识都收纳在他的著作之内。他的科学主要根据普林尼的《自然历史》（Natural History），可是也加了一些他自己的贡献，例如对于潮汐的观察。他处在两派之间，一边是博埃修斯、卡西多拉斯、格雷哥里及塞维尔的伊西多尔（Isidore of Seville）等。受到古典派或教父派学术直接影响的拉丁注释家，另一边是查理大帝所设立的教会学院的学者们。后一派的领袖是约克的阿尔昆（Alcuin of York）。他对于克服把世俗学术与神圣宗教对立起来的流行观念颇有贡献，并且把古典知识的传统带到中古时代。比德用拉丁语著述，主要是为僧侣著述，但150年后文化大大扩大，阿尔弗烈

德大帝 (Allred the Great, 849—901 年) 亲自或命人把许多拉丁书籍译成盎格鲁萨克逊的语言, 于是拉丁文学的影响就进入本地的语言中。

那时中古时代的欧洲逐渐粗具规模。罗马化的高户人与蹂躏罗马各省的强悍的条顿部落互相混合, 而逐渐形成各个民族国家。从来不曾看见罗马鹰徽的、或者罗马人撤退了的北方各地, 创造了自己的文化, 甚至自己的文学, 罗马理想与罗马文明对于它们不过是外界的和外来的影响而已。

### 阿拉伯学派

当欧洲学术处在极低潮的时候, 在君士坦丁 71 堡东罗马帝国宫廷中, 在叙利亚至波斯海湾的国家中, 却保存了不少来源于希腊、罗马与犹太的混合文化。最早的一个中心是荣迪沙帕尔 (Jundi-shapur) 的波斯学校, 它在 489 年成了景教派基督徒的避难所, 在 529 年柏拉图学园被封、新柏拉图派离开雅典后又成为新柏拉图派的避难所。在这里翻译了希腊的书籍, 尤其是柏拉图与亚里斯多德的著作, 使希腊哲学与印度、叙利亚、波斯的哲学相接触, 还促进了一个医学学派的成长。虽然处在比较孤立的状况中, 这个学派还是一直存在到第十世纪。

在 620 至 650 年间, 在穆罕默德的鼓舞下, 阿拉伯人征服了阿拉伯、叙利亚、波斯、埃及等地。一百五十年后, 最著名的阿拔斯王朝哈里发何伦-阿尔-拉西德 (Harun-al-Rashid) 奖励翻译希腊作家的著作, 因而帮助促成了阿拉伯学术大时代的开始。起初进步很迟缓, 因为必须创立一些适于表达哲学和科学思想的新名词与文章结构, 使之融合在叙利亚与阿拉伯的语言之中。阿拉伯人和处在阿拉伯人势力下的民族的任务, 与中世纪后期欧洲学术复兴时代一样, 第一是要发现隐藏起来且被忘记的希腊知识的宝藏; 第二要把他们所发现的宝藏融合在他们自己的语言与文化里面, 最后再加上他们自己的贡献。

穆罕默德死后两百年内, 伊斯兰教的神学活动极为活跃。伊壁鸠鲁的原子体系和芝诺的疑难所引起的时间空间问题, 刺激了穆斯林人的思想, 而印度佛教的原子论对他们也不无影响。

根据可兰经, 安拉 (Allah) 创造而且主持世界, 在安拉的绝对存在中, 世界只有第二性的存在。这个正统的观点, 后来被新柏拉图派和亚里斯多德派的希腊哲学及另一伊斯兰思想学派所修改。后者把新柏拉图派的无尽的存在环链及亚里斯多德的宇宙观念。加入到穆罕默德原来的片面泛神论之中。于是得到一个补充的观点, 即反过来, 宇宙便是神。第三伊斯兰思想学派用正统的穆罕默德的术语解释自然, 得到一个时间的理论, 这个时间理论即使不是从印度佛教的原子哲学得来的, 也和它类似。宇宙由完全相同的原子构成, 安拉则随时重新加以创造。空间也是原子的结构, 时间由不可分的无数“此时”所组成。物性是偶有性, 属于原子, 原子为安拉所创造与重新创造。如果安拉不时时重新创造, 宇宙将如梦一样消逝。物质仅由安拉的连续的意志而存在, 人不过是动画般的自动器。这样, 伊壁鸠鲁的貌似无神的体系,

---

特别看 G. Sarton, *Introduction to the History of Science*, vols . . . Baltimore, 1927-1931.

讷斯特尔 (Nestor) 的教派的信徒, 被称为邪教徒。

见本书一章 8 页; 又看 D.B. Macdonald, in *Isis*, No. 30, 1927, P.327. arts. “Atomic theory (Indian), by H. Jacobi, and “Muhammadan”, by De Boer, in Hastings, *Encyclopaedia of Religion and Ethics*.

就一变而为高度的一神教。

在这些具有神学意义的题材之外，显然人们还有一种好奇心，想研究神学家认为不具有永恒性或实在性的大自然。当基督教国家的科学正在衰落时，伊斯兰教国家的科学却蓬勃发展起来，至八世纪后半期时，领导的地位已确定地由欧洲移到近东了。到了九世纪时，阿拉伯的医学学校因为研究盖伦著作的译本而得到进步，在炼金术所依据的原始化学方面有了显著的新成就。

最早的实用化学，一方面与生活技术（如冶金）有关，另一方面也与制药有关。古典时代，希腊人关于物质本性的见解，以及关于原子和基本元素的概念，离开观察与实验太远，无法归入化学之中。一世纪亚历山大里亚的炼金家可以说是最早认识到和探讨化学问题的人。但那时以后，工作就陷于停顿，六百年后阿拉伯人才重新拾起他们的工作。

由于误解亚历山大里亚的技术的起源，后来的炼金家为自己树立了两大目标，而这两个目标都是不能实现的——一是要把贱金属变为黄金，一是要炼成能医一切疾病的“仙丹”。他们的钻研当然非失败不可，不过他们却因此得到许多可靠的化学知识，并发现了许多有用的药品。

阿拉伯的炼金家从两个来源得到他们的初步知识，一是上面说过的波斯学派，一是亚历山大里亚希腊人的著作，一半经过叙科亚人的传授，一半得自直接的翻译。说阿拉伯话的民族研究炼金术有七百年的历史，他们的工作中心先在伊拉克，后在西班牙。在他们的手里炼金术发展成为化学，又由他们那里发展成为中世纪后期的欧洲化学，主要是经过西班牙的摩尔人。在有些阿拉伯著作家和他的欧洲门徒由炼金术进步到化学的时候，另外一些人由于不能了解亚历山大里亚炼金家的专门知识和哲学观点不能吸取比较新颖、比较科学的观点，便在自己的工作中堕落到贪得无厌地追求黄金和玩弄或自欺欺人的巫术的地步。

最著名的阿拉伯炼金家及化学家是阿布-穆萨-札比尔-伊本-哈扬（Abu-Musa-Jabir-ibn-Haiyan）他约在776年间享有盛名。后来有许多著作以拉丁语出版，据说是一位名叫“杰伯尔”（Geber）的时代不明、身世不明的人所写的。有人认为“杰伯尔”也就是札比尔。不过，这些著作的起源问题至今还没有解决。拜特洛（Berthelot）于1893年，研究了一些阿拉伯原稿的新译本之后，断定札比尔的成就比杰伯尔要少得多。但霍姆亚德（Holmyard）与萨尔顿说，从还没有翻译过来的阿拉伯著作看来，札比尔是一位比拜特洛设想的要高明得多的化学家。他好象制造过（用现代术语讲）碳酸铅，并且由砷和锑的硫化物中分析出砷与锑；他叙述了金属的提炼，钢的制造，布与皮的染色，以及蒸馏醋而得到醋酸的方法。他认为当时所知的六种金属所以不同是由于所含的硫和汞的比例不同。但是，在对他的全部阿拉伯语著作加以批判的研究，并与拉丁语的“杰伯尔”著作加以比较之前，札比尔在历史上的地位是不易确定的。

---

The Arabic Works Jabir-ibn-Haiyan, ed. by E.J. Holmyard, I. Paris, 1928; The Works of Geber, R. Russell, 1678, ed. by E.J. Holmyard, London, 1928.

La Chimie au Moyen Age, Paris, 1893.

E.J. Holmyard, in Isis, No. 19, 1924, p. 479.

Introduction to the History of Science, Vol. I, p. 532.

在化学史上，把硫（即火）与汞（即水）看做是基本元素的概念是十分重要的。这一观念似乎是由于发现硫与汞化合而成鲜明的红色硫化物而产生的。由于银是白色的，金是黄色的，红色必定是用比金更贵重、更根本的东西制成的。硫与汞之外，后来又加上食盐来代表土或固体。食盐、硫与汞为物体的基本元素的学说，代替恩培多克勒和亚里斯多德的四元素说。一直流行到波义耳在 1661 年发表《怀疑的 chemist》(Sceptical Chymist) 一书的时候。

科学性的化学的重要性日益增长，这表现在九世纪开始的一场关于炼金术的真正价值的辩论上。那时欧几里得的《几何原理》(Elements) 与托勒密的天文著作，也翻译成阿拉伯语了，后者的巨著，因而得到《至大论》(Almagest) 这个阿拉伯名称。希腊的几何学与天文学于是传到穆斯林世界。印度的数字也许是先由希腊人发明，然后传入印度，再以早期的形式传给阿拉伯人，他们又修改为所谓古巴尔 (Ghubar) 字体，与我们现今所用的字体更为相近。当时穆斯林人贸易很广，因此这些方便的数字，被世界认为是阿拉伯数字，经过几个世纪之后便代替了累赘的罗马数字。在拉丁语中最早使用这个新数字体系的例子，似乎是 976 年间在西班牙写成的一部手稿，但零位记号的普遍使用是更往后的事情。

当时，有些阿拉伯著作家为了推广自己的著作，就把自己的著作假托是希腊人的著作。譬如阿拉伯人或叙利亚人编纂的一部关于民间传说与巫术的文集，名叫《秘密的秘密》(Secretum secretorum)，在中世纪的欧洲十分流行，当时就伪称是亚里斯多德著作的译本。817 年左右，埃德萨的约布 (Job of Edessa) 根据在巴格达讲授的材料，写了一部关于哲学与自然科学的百科词典。这部词典的叙利亚语的版本最近由明加纳 (Mingana) 加以编辑并翻译过来。

托勒密著作的翻译也推动了穆斯林天文学家。穆罕默德·阿尔-巴塔尼 (Muhammad al-Batani, 约 850 年) 在安提沃奇 (Antioch) 天文台，重新计算了春秋二分点的岁差，并制成一套新的天文表。他的工作由不像他那样有名的学者们继续下去。在公元 1000 年左右，三角学有了进步。伊本·荣尼斯 (Ibn Junis) 或尤纳斯 (Yunus) 在开罗对日月食进行观测，并加以记录。他可算是最大的穆斯林天文学家。他的工作得到埃及国王阿尔-哈金 (al-Hakim) 的鼓励。阿尔-哈金还在开罗设立学院。

阿拉伯科学的古典时期可以说在第十世纪，从波斯人阿布·巴克·阿尔-腊济 (Abu Bakral-Razi) 的工作开始的。此人在欧洲也被称为布巴卡尔 (Bubachar) 或腊泽斯 (Rhazes)。他在巴格达行过医，编辑过许多百科全书性的教科书，其中有一本著名的著作讨论麻疹与天花。他被认为是伊斯兰最伟大的医生，事实上也是中世纪全世界的最伟大的医生。他把化学应用到医学上来，并使用了流体静力天秤来测量物体的比重。

最杰出的穆斯林物理学家是伊本-阿尔-黑森 (Ibn-al-Hal-tham, 965—1020 年)。他在埃及阿尔-哈金统治下工作过。他的主要工作是在光学方面，在实验方法上有很大的改进。他使用球面和抛物面反光镜，并研究了球面象差，透镜的放大率与大气的折射。他增进了有关眼球和视觉过程的知识，

---

S.Gandz, Isis, No. 1931, No.49, P. 393.

Cambridge, 1935; Isis, No. 69, 1936, p. 141.

并用有力的数学方法解决了几何光学的问题。他的著作的拉丁语译本，通过罗吉尔·培根与刻卜勒，对于西方科学的发展有很大的影响。同时有一位医学家和哲学家名叫伊本·西那（Ibn Sina）即阿维森纳（Avicenna，980—1037年）。他是布哈拉（Bokhara）城人，访问过中央亚细亚各国的宫廷，希望得到一个安定的位置，来发展他的天才，并进行他的文学与科学的工作，但没有成功。他对当时所知的科学都有著述。据萨尔顿说，他不相信炼金术可使金属突变，他以为这种变化有其根本的原因，不是改变颜色所能成功的。他的《医典》（Canon）或医学纲要是“古代和穆斯林全部知识的总汇”，是阿拉伯文化的最高成就之一。后来这部书成了欧洲各大学的医学教科书，直到1650年，卢万（Louvain）与蒙特佩里耶（Montpellier）的学校还在用它，而且据说至今仍是穆斯林国家的主要医学典籍。

他的一位同代人阿尔-比路尼（al-Biruni），名声没有他大，但智慧并不比他小。他是哲学家、天文学家及地理学家，生于973至1048年间。他进行过大地测量，他所测定的经纬度达到相当准确程度。他测量过一些宝石的比重，用水在通路中自求其水平的原理来解释天然泉及喷水井。他对于印度的某些部分和人民有极清楚的叙述，并且写了一篇中世纪最好的关于印度数字的论著。

这时阿拉伯语已经公认为研究学术的经典语言，所以凡是用阿拉伯语写成的东西都是权威的，正如早期（和后来）时代的希腊语著作一样。最初把阿拉伯书籍有系统地翻译成拉丁语的是非洲人康斯坦太因（Constantine）。他在蒙特卡西诺寺（Monte Cassino）工作，从1060年直到1087年死去之时。他游历过萨勒诺，他的工作对于萨勒诺学校有很大影响，在这里和其他地方，由于他的鼓舞，拉丁国家才吸收了阿拉伯人的学术。

可是这时阿拉伯学术的最高潮已经过去了。第十一世纪时，出现了波斯诗人莪默·伽亚谟（Omar Khayyam）的重要代数著作，和阿-尔-加扎利（al-Ghazzali）的神学著作。他为伊斯兰教所做的哲学与综合工作，正如托马斯·阿奎那为基督教所做的哲学和综合工作一样。但在这个世纪将近结束时，阿拉伯与穆斯林的学术就开始衰退，此后科学活动便主要是在欧洲了。

从政治方面看，由于伊斯兰王公将领的内争，由于原来出过很多总督、军人及行政官员的有才干的阿拉伯高贵世家渐次解体与毁灭，因而不可能再有安定的阿拉伯帝国出现。辽远的省份一个一个地脱离这个软弱、衰老、多种族的帝国，而恢复原有的民族性和政治独立。

穆罕默德征服的最远的省份是西班牙，阿拉伯文明、犹太文明与基督教文明交流的最好的成果正是在那里表现出来。在418至711年的三个世纪之间，一个西哥特国在西班牙建立起来，并由其京城土鲁斯（Toulouse）维持法律与秩序。原来在狄托（Titus）治下由已勒斯坦放逐到西班牙的那些塞法迪姆犹太人（Sephardimews）保序了亚历山大里亚学术的传统，聚集财富，并保持与东方交通畅通无阻。在711年伊斯兰教征服西班牙后情况仍然是如此。只要他们的优越地位不受反对，阿拉伯人对于思想是宽容的，因此许多学校得以成立，可是这不是由于一般人民的拥护，而是由于有自由思想或心胸宽大的统治者的偶然的和反覆无常的眷顾。

西班牙-阿拉伯哲学发展的过程，与一百年后基督教学校所走的过程大致相同。他们同样想把本国的神圣文献与希腊哲学的学说加以调和；神学家们亦复有类似的派别竞争，一派依靠理性与理性的结论，一派信赖神的启示或

神秘的宗教经验，两派都否认人的理性在宗教问题上的效用。

正统的穆斯林经院哲学及其理性的哲理神学，主要是在巴格达活动的波斯人阿尔-加札利创立的。同样的见解也流行于西班牙，但西班牙-阿拉伯思想学派的真正名声，应归功于 1126 年出生 77 于科多瓦 (Cordova) 的阿维罗伊 (Averroes) 的工作。虽然他对亚里斯多德的学说极其尊崇，但把一种新观念注入到宗教与哲学的关系中去。据他看来，宗教不是可以归结为命题和教条体系的知识的一个分支，而是一种人的内向的力量，同“实证的”或实验的科学是不同的。神学是两者的混合。他认为对两者来说，神学都是祸害的根源，一方面它造成了宗教与哲学不相容的错误印象，另一方面也用一种假科学败坏了宗教。

这样，阿维罗伊的学说与正统的基督教神学发生严重冲突，是不足为奇的。但尽管有人反对，特别是重要的多明我 (Dominican) 思想学派反对，他的语言却能打动愿意听他的人。到了十三世纪阿维罗伊就成了意大利南部、巴黎、牛津等大学公认的权威，照罗吉尔·培根与邓斯·司各脱 (Duns Scotus) 的意见，他可以同亚里斯多德并列为实证科学的大师。

那个时代的另一位重要的科多瓦人是迈蒙尼德 (Maimonides, 1135—1204 年)。他是犹太医学家、数学家、天文学家与哲学家。他的主要工作是建立可与阿尔-加札利的伊斯兰经院哲学以及后来由托马斯·阿奎那完成的基督教经院哲学相比拟的犹太经院哲学体系。迈蒙尼德想把犹太神学与希腊哲学，特别是与亚里斯多德的哲学调和起来。他的著作在中世纪后期有很大的影响。那时他的信徒把他的见解任意加以引伸，甚至以为圣经中叙述的全部历史都是象征性的，这种学说自然要引起争论。

## 欧洲学术的复兴

欧洲接受了并且慢慢地吸收了阿拉伯知识，因此，在欧洲，研究学术的工具也有了很大的进步。在东罗马帝国的君士坦丁堡，九、十世纪时，就已经出现了知识的复兴。当时君士坦丁七世提倡学术与艺术，并且命人编纂百科全书式的著作。以君士坦丁堡为基地，靠了基辅公爵弗拉基米尔的不断劝诱，把俄罗斯也变成了基督教国，在十世纪末，直接导源于东罗马帝国 (拜占庭) 的俄罗斯艺术也出现了。因为有了这个拜占庭的文艺复兴，许多希腊的手稿才被人复制并保存下来。

78 我们说过，从很早的时候，在萨勒诺已经有了一个世俗学问的研究中心，特别是医学研究中心，而在北欧方面，查理大帝与阿尔弗烈德大帝对于学者的奖励，也使一般学术的发展得到推动。盖尔贝特 (Gerbert) 是法国博学的教育家与数学家，972 至 999 年间，他在兰斯 (Reims) 等地教书，公元 999 年，被选为教皇，改名西尔维斯特二世 (Sylvester II)。在他的著作中，他讲到印度数字，算盘 (一种简易的计算机) 和星盘 (一个有刻度的金属圆盘，上面有一个臂绕中心旋转，可用以测量天顶距)。十世纪早期，阿拉伯学术已经传播到列日 (Liège) 和洛林 (Lorraine) 等其他城市，再由这

---

关于中世纪犹太哲学，可看 H. A. Wolfson, *The Philosophy of Spinoza*. Harvard, 1934; *Isis*, No. 64, 1935, p. 543.

里传到法国、德国与英国。1180 年左右，在赫尔福德的罗吉尔（Roger of Hereford）的领导下，出现了一个阿拉伯学术的中心。

教育需要的增加，使寺院和教堂的学校不足以应付不断增加的要求，于是新的世俗学校开始建立，而终于形成现代大学。1000 年左右，法律的研究已经在波伦亚（Bologna）恢复，到了十二世纪，法律学校之外，又加上医学和哲学学校。起初外国学生为了对付本地人的歧视并互相保护起见，成立了学生会或“大学”（Uni-versitas），后来这种组织又推广到本地或外国的全体学生中去。这些学生会自己聘请他们的教师，就是后来的波伦亚大学也仍然是学生的大学，因为它的管理权还操在学生手里。

另一方面，在第十二世纪的头十年，一些教师们是在巴黎成立了一所辩论术学校，不久那个城市的教师组织即 Universitas，就成为北欧及英国大多数大学的组织模型。因此，牛津与剑桥两大学的管理权总是操在教师手里，与波伦亚大学的管理权操在学生手里不同，不过在苏格兰，大学校长还是由选举产生，这是学生管理权的残存的痕迹。

早在加洛林王朝（Carolingian）时代，学校的课程已经订定为初等三科，即文法、修词与辩论，都和词有关；和高等四科，即音乐、算术、几何学与天文学，这四科无论如何被认为是研究物的。音乐包含有一种半神秘性的数的理论，几何学只有欧几里得的一系列命题，而无证明，算术与天文学受到重视，主要因为它们教人怎样计算复活节的日期。这一切都是研究神圣的神学的准备。在整个中世纪，这种分科方法对于各门学术要素都是适用的，后来，由于人们对哲学产生更大兴趣，又添上了哲学一科，但这也只不过是逻辑辩论术的一门高级课程而已。

柏拉图与亚里斯多德之间关于“理式”或“共相”（universals）的老争论，再度出现在波菲利的著作与博埃修斯的注释中，因此到了中世纪的头脑中便成为分类的问题了。我们何以能分类呢？个体是唯一的实在，而类或共相（一般的概念）只是心灵的概念或名称，象唯名论所主张的那样呢，还是它们有相当独立的实在性，在感官对象中并依附于感官对象，作为对象的本质而存在，象亚里斯多德所指示的那样呢？或者再从另一方面说，理念或共相真象柏拉图在他的唯心主义哲学（后来叫唯实论）中所说的那样，脱离现象或个别事物有其独立的存在和实在吗？举一例而言，德谟克利特与苏格拉底究竟是真实的人还是只是一个名称呢？还是人是有自己的实在性的一个种类，在这里或那里得着某些形式，而成为德谟克利特或苏格拉底，即真正实体——人类——的偶有性呢？我们究竟应该随着柏拉图说“共相在物先”（universalia ante rem）还是应该随着亚里斯多德说“共相在物里”（universalia in re），或者随着唯名论者说“共相在物后”（universalia post rem）呢？

我们的科学头脑，更接近阿基米得而不喜欢亚里斯多德或柏拉图，觉得这场争论又愚蠢又讨厌。但要发掘埋藏很久直到文艺复兴才萌芽的现代科学的种子，却不能不对这场论战加以研究。就它对于认识论的影响来说，即令

---

J.W.Thompson, *Isis*, No. 38, 1929, p.184.

J. C.Russell, *Isis*, No. 52, July 1932.

H. Rashda, *The Universities of Europe in the Middle Ages*. Oxford. 1895.

法兰克王国第二个王朝，因建立者查理大帝得名（751—843 年）。——译注

在希腊人看来，它也是很重要的，中世纪的人也终于在这里找着了基督教义的全部问题，唯一的困难是决定大肆实行迫害的正统派究竟要站在哪一方面。

第九世纪里，沃里根的门徒伊里吉纳 (Erigena) 或约翰·斯科特 (John Scot) 创立了一个神秘的学说，其基本的意见认为神是唯一的实在。这个学说是中占时代 (与教父时期相对而言) 基督教信仰与希腊哲学 (这里指新柏拉图派的哲学) 的第一次大综合。在伊里吉纳看来，真哲学就是真宗教，真宗教也就是真哲学。理性引导人到一个体系，这个体系又与正当解释的圣经相吻合。伊里吉纳是实在论者，但他的唯实论把柏拉图的观点与亚里斯多德的观点溶合在一起，唯实论与唯名论的争论只是到后来才趋于激烈。十一世纪时批判的推理应用于神学，双方的争执点才开始明朗化。唯名论出现在士尔的柏朗加里斯 (Berengarius of Tours, 999—1088 年) 的著作里，他批判了化体 (transubstantiation) 理论，说我们要改变面包与酒的本质，就必然要相应地改变其形与味等偶有性。唯名论也出现在洛色林 (Roscellinus, 卒于约 1125 年) 的著作中。他主张只有个体是实在的，因而达到三位一体的三神论观念。这就立刻促使敌对的唯实论轮廓更加鲜明，尤其是在查姆伯的威廉 (William of Champeaux) 与坎特布里的安瑟伦 (Anselm of Canterbury) 的著作中，并使唯实论成为正统观点，流行了几百年。

但是唯实论固有的困难，引起许多不同的派别；学校内狂热地进行着无休止的辩论，经院辩论家在哲学的尖锐交锋中斗争了两百年。法国布尔塔尼人阿伯拉尔 (Abelard, 1079—1142 年) 攻击他的先生查姆伯的威廉并把他的学说修改成为接近唯名论的一种学说，但是他的唯名论不象洛色林的那样始终一致。在阿伯拉尔的哲学中，三位一体的教义成了一神的三个方面的观念。阿伯拉尔已经有摆脱中世纪思想习以为常的教条框框的征象。他说了一些富有意义的话，如“怀疑是研究的道路”，“研究才能达到真理”，“要信仰须先了解”，这些话很可以拿来和教父哲学家德尔图良 (Tertullian) 的“正因其荒谬而信仰” (credo quia impossibile)，及安瑟伦的“为求知而信仰” (credo ut intelligam) 相比较。阿伯拉尔受到圣伯纳德 (Saint Bernard) 的谴责，后者极端仇视世俗的智慧，且尽力培养教会对于异端的疑忌。但有一个时期，思辨的精神也消耗尽净了，从十二世纪中叶，逻辑与哲学辩论开始沉寂，一直沉寂了五十年，现在人们又对古典文献发生了暂时的兴趣，这种兴趣是以萨利isbury 的约翰 (John of Salisbury) 及设在沙特尔 (Chartres) 的他的学校为中心的。

中世纪人的哲学讨论，至今仍然使某些现代的形而上学家感到浓厚的兴趣；他们对于物质宇宙的一般观念，在我们看来，实在奇怪、不实在而且混乱。大体说来，他们对于自然事件、道德真理和精神经验是不加分别的。终极的实在无疑地包含着这三方面，<sup>81</sup>但历史告诉我们，无论如何，自然事件应当单独加以观察，如果我们要想更加认识它们相互间的关系的话。

中世纪的心理迷恋于假想的大小两种宇宙的类比，一方面是神性，即天文学上的宇宙结构，另一方面是人体，即解剖学、生理学与心理学上的人身结构。他们通常以为有一个活的灵魂，即“奴斯” (nous) 或新柏拉图主义的世界精神，贯注在并维系着整个宇宙，这个灵魂又为神所渗透与控制。因此，原始的物质，即死与分解的元素，也在神控制之下。

大宇宙和小宇宙的观念是在柏拉图的《蒂迈欧篇》中提出的，还可上溯到阿尔克莽与毕达哥拉斯派，但是有些中世纪的著作家归之于赫米斯（Hermes）。这是一位很可怀疑的亚历山大里亚人物。许多炼金术的著作里提到他，也许他就是古埃及神荷特。这个理论还以简单的形式出现在塞维尔的伊西多尔与炼金家“杰伯尔”的书中。后来更由土尔的伯纳德·西尔维斯特里（Bernard Sylvestris of Tours，约1150年）与宾根（Bingen）的修道院院长希德加尔（Hildegard，约1170年）加以发展。在中世纪的艺术品中经常可以看见这个观念的寓言式的表现。

在仅仅描绘大宇宙的其他作品中，我们可以看见如下的画面。地球是中央的球体，其中的四元素原来本是谐和而有秩序的，自亚当堕落以后便凌乱了。地球周围有充满空气、以太和火的几层同心圈，这些圈里有恒星、太阳与行星，被四种天风扶持着运行，这四种天风又与地上的四种元素和人身中的四种体液有关，天堂是火层以外最高的苍穹，地狱在我们脚下的地球之内。

大宇宙和小宇宙基本上相似的概念，流行于整个中世纪。经过文艺复兴而仍存在，及至现代还出现在文学里。宇宙是由同心的球或圈层构成的观念，在中世纪已发展成古典的了；在但丁的幻像里达到了它的顶点。哥白尼摧毁了它的理性基础，但没有铲除民间的传说。就在现今，我们还可以在各阶级的愚昧民众中流行的某些历书的封面上，看见从古代世界和中世纪这些混乱的想象中得来的图画。

在犹太神智学，即所谓卡巴拉（Cabala）的学说里，也可以找82到大致相同的观念，这个学说自称发扬了上帝启示亚当的秘传真理，并且靠了传说传给后代，以后对基督教也发生了很大的影响。

在这里，我们对中世纪的庞杂繁复的占星术、炼金术、巫术与神智学大杂烩，连十分之一也无法叙述；这些不但使我们难于理解，甚且使我们不能卒读。这些观念本质上是中世纪心理的特点，有了这些观念，他们才感觉安适。但是我们不要忘记，科学思想在当时既很少见，而且同一般人的心理也格格不入。几棵疏落的科学树苗，必须在始终阻遏生机的旷野密菁中生长，而不是象有些科学历史家所想象的那样在开阔而有益于康健的愚昧草原中生长。一块农地如果几年不加耕种，即仍成为草莽，在思想的园地里也不乏同样的危险情况。费了科学家三百年的劳动，才得清除草秽，成为熟土；但毁灭很小一部分人口，便足以毁灭科学的知识，使我们回到差不多普遍信仰巫术、妖术和占星术的局面中去。

### 十三世纪

黑暗时期的学术任务是把濒于灭绝的古代学术尽可能地挽救出来，以后几个世纪的任务则是熟习与吸收所重新发现的学术。中世纪初期在学术方面的主要成就，是把拉丁纲要的作者所保存下来的残存古代古典知识与早期教父们依照新柏拉图主义诠释的基督教信仰融合为一。我们可以看到，自九世纪以来，这个过程就在进行，可以说从那时起，中世纪的建设时期就开始了。

到十二世纪时，从过去得来的双重遗产已经由中世纪的思想界加以考察、清理、吸收与改造了。此后哲学性的神学工作就暂时停顿下来，可是这

个时期里，把古典书籍当做文学来欣赏的现象却达到了极点。比较高深的亚里斯多德著作，没有一部是完整的，因此没有一部科学书籍落到当时学者手中，来打扰他们偏重于文学的观点；这些学者所以留心典籍，本来只是一种治学的别径，或者只是为了更便于了解圣经的语言和神父的著作。虽然亚里斯多德的著作，经过各家注释未尝没有间接的影响，但当时流行的神学态度仍然是柏拉图派或新柏拉图与奥古斯丁派的态度，是唯心主义的和神秘的，而不是理性的和哲学的。

但在十三世纪时，人们的观点就发生了一个重大的变化，这与当时随着托钵僧的出现而产生的人道运动是同时发生的，而且或许还是有关联的。为了满足人们追求世俗知识的不断增长的要求，希腊书籍翻译成拉丁语，起初是从阿拉伯语转译，后来直接由希腊语译出。全部情况至今还没有完全弄清楚，因为我们对于阿拉伯科学文献——即使是现存的那一部分科学文献——的知识还是很片段的，要正确地指出什么是阿拉伯人增加到希腊科学上去的，还不可能。

由阿拉伯语到拉丁语的翻译工作，在西班牙最是活跃。这里自 1125 至 1280 年有一系列的翻译家针对许多题目孜孜不倦地工作着。“由于他们的工作，我们才得到亚里斯多德、托勒密、欧几里得和希腊医学家阿维森纳与阿维罗伊以及阿拉伯天文学家与数学家的著作，还有一大堆占星术书籍，显然还有不少的炼金术的书籍。”

在重要性上次于西班牙的是意大利南部与西西里。在这些地方，有不少著作从阿拉伯语和希腊语翻译过来，这是因为这些地方与君士坦丁堡有外交和商务的关系，而且居住有一些阿拉伯人和希腊人的缘故。从这个来源得到了一些医学书籍，一本地理著作与地图以及托勒密的《光学》。亚里斯多德的《动物学》、《形而上学》与《物理学》及 1200 年以后在西方出现的许多次要书籍，其来原则属于许多散居各处的或不知名的译者。

那时科学文献的通用语言是阿拉伯语，从阿拉伯语译出的书籍，即使作者是希腊人，也见重于当时。当时，说阿拉伯话的民族以及杂居其间的犹太人对于科学感到真正的兴趣，中世纪欧洲正是由于同伊斯兰教国家接触，才从早期的观点过被到一个比较富于理性主义的心理习惯。

最大的变化是在重新发现亚里斯多德著作的时候发生的。1200 至 1225 年间，亚里斯多德的全集被发现了，并且翻译成拉丁语；与其他希腊著作一样，起先是从阿拉伯语译出，后来才直接由希腊语译出。在后一翻译工作中，最出色的一个学者是格罗塞特 (Robert Grosseteste)。他是牛津的校长，林肯区的主教，著有讨论彗星与其成因的论文。他邀请希腊人到英国来，并输入希腊书籍，而他的门徒、方济各会修士罗吉尔·培根则写了一部希腊语法。他们的目的不在于文学，而在于神学与哲学，他们想要把圣经和亚里斯多德原著语言的锁钥打开。

这些新知识不久便对当时的争论发生了影响。唯实论仍然存在，但不如从前彻底了，而且稍微离开了柏拉图主义。人们认识到，经过亚里斯多德修改后的唯实论，可以用心理学的术语来加以表述，使其接近于唯名论。但在比较大的问题上，亚里斯多德却为中世纪思想界展开一个新的思想世界。他的一般观点不但更加富于理性，而且更科学，与历来充当古代哲学的主要代

表的新柏拉图主义大有差别。他的知识领域，无论在哲学方面或自然科学方面，都比当时所知道的宽广得多。要吸收这些新材料并且使其合于中世纪的基督教思想，是一件很不容易的工作，而且在从事这个工作时也不能没有疑惧。人们已经深信教会作为天启的接受者与解释者，在学术上是至高无上的，而代表世俗学问的神秘的新柏拉图主义则是与天启相符合的。因此，要接受新发现的亚里斯多德的著作以及这些著作里包含的科学的或准科学的知识，并且把这些知识与基督教教义调和起来，在学术上需要真正大胆的努力；在最初研究亚里斯多德的时候一时发生惊慌，是不足怪的。起初，亚里斯多德的著作，是经过阿拉伯的途径传到西方的。在这个途径中，他的哲学和阿维罗伊派的倾向混合起来，结果成了神秘的异端。1209年巴黎的大主教管区会议禁止亚里斯多德的著作，后来，又再一次加以禁止。但是，1225年，巴黎大学就正式把亚里斯多德的著作列到必读书籍的目录里去。

在这个时期里解释亚里斯多德的最主要的学者是多明我会修士科隆的大阿尔伯特(Albertus Magnus of Cologne, 1206—1280年)。他也是中世纪里最富有科学思想的一人。他把亚里斯多德、阿拉伯和犹太诸要素组成一个整体，其中包括了当时的天文学、地理学、植物学、动物学与医学各种知识。在这一工作中，阿尔伯特本人与其同时代的植物学家鲁菲纳斯(Rufinus)等人作出了肯定的贡献。

当时流行的思想倾向可以从阿尔伯特教授亚里斯多德的胚胎学以后发生的情况看出来。亚里斯多德认为一个生物的成胎，母体给它以质，父体给它以形。中世纪的心理注重事物的价值，因而断定男质特别贵重，后来竟形成一种神学的胚胎学，于是灵魂何时进入胎里，就成了具有头等重要性的问题。

阿尔伯特的工作，一方面表现出他同他的同时代的青年人牛津的方济各会修士们、格罗塞特斯与培根有密切的关系，另一方面也直接引导他的有名的门徒圣托马斯·阿奎那形成更有系统的哲学。虽然阿奎那的头脑不象阿尔伯特那样富于科学精神，可是在哲学史及科学起源方面他却十分重要。他继承阿尔伯特的工作，把当时知识的宝藏，不管是神圣的还是世俗的，加以理性的解释，因而激起人们对于知识的兴趣，并使人们感觉宇宙似乎是可以理解的。

阿尔伯特与阿奎那共同促成了一场思想革命，特别是宗教思想的革命。从柏拉图经过新柏拉图主义到奥古斯丁，人们一向认为人是思想着的灵魂与活着的肉体的混合物，其中两者各自形成一个完整的实体。上帝在每个灵魂里植上一些天赋的观念，其中便有神的观念。这种体系很容易同个人灵魂不死，人们可以直接认识上帝等基督教教义调和起来。

但是，亚里斯多德对于人和认识的问题，提出一种完全不同的理论。内体或灵魂单独都不能是一个完整的实体，人只能看做是两者的复合体。观念也不是天赋的，而是按照几个不证自明的原则(如因果原则)，根据感官材料建立起来的。对于上帝的认识，不是天赋的，必须通过理性的与辛苦的推理方能达到。亚里斯多德的体系，虽然在解释宗教问题的时候有种种困难，可是对于外部世界却作出了比较好的解释，因此阿尔伯特与阿奎那接受了它，托马斯更是勇敢地与巧妙地起来把它与基督教教义加以调和。

不过，亚里斯多德的哲学，虽然同柏拉图的哲学比起来要合乎科学一些，可是与文艺复兴时代的新知识仍然是抵触的，因此当他的著作被人接受、成为权威的时候，它们就在许多年代中阻挡了科学思想从神学桎梏下解放出来，因为学院的世俗学术和罗马教会双方所以都对现代科学的初期发展抱着突出的仇视态度，主要是由于圣托马斯的亚里斯多德主义的缘故。

### 托马斯·阿奎那

托马斯是阿奎农(Aquino)伯爵的儿子，1225年左右生于意大利南部。十八岁时他加入多明我会为修士。他在科隆从阿尔伯特求学，在巴黎和罗马教过书，辛劳一生，死于1274年，只活了四十九岁。

他的两大著作：《神学大会》(Summa Theologiae)与《箴俗哲学大全》(Summa Philosophica contra Gentiles)是为了向无知者阐明基督教知识而写的。他认为知识有两个来源：一是基督教信仰的神秘，由圣经、神父及教会的传说传递下来，一是人类理性所推出的真理——这不是个人的难免有误差的理性，而是自然真理的泉源，柏拉图与亚里斯多德就是它的主要的解说者。决不能把这两个源头对立起来，因为它们都从一个源头——神——那里出来。因此哲学与神学必然是可以相容的，一部《神学大全》应该包括一切知识；就连神的存在也可以用推理来加以证明。但是在这里，托马斯·阿奎那就和他的前人分手了。伊里吉纳和安瑟伦在比较神秘的新柏拉图主义的影响下，要想证明三位一体及化身等最高的神秘。但托马斯在亚里斯多德与其阿拉伯注释家的影响下，认为这些神秘不能用理性去证明，虽然它们可用理性去检察和领悟。因而这些教义从此脱离哲学的神学的领域，而转入信仰范围之内去了。

在他的一切工作中，阿奎那的兴趣都属于理智方面。任何由神创造而具有理性的人，其完全的幸福都在于运用其智慧来默念神。信仰与启示乃是对真理的命题与表述的信念。如果我们以为经院哲学及后来由它产生的正统的罗马神学反对成轻视人的理性，那就完全错了。那是早期的态度，例如安瑟伦就害怕当代唯名论者使用他们的理性。但后期的经院派并不贬低理性。相反地，他们认为人的理性原是为了解和检验神与自然而形成的。他们自称要对整个存在的体系给予理性的说明，只不过在我们看来他们的前提有问题罢了。

阿奎那的体系是按照亚里斯多德的逻辑学与科学建立起来的。他的逻辑学，通过它的纲要早已为人熟习。在人们对知识尝试进行理性的综合的时候，他的逻辑学的影响就更深远了。在三段论法基础上，逻辑学可以根据公认的前提，提供严格的证明。这方法自然使人们觉得知识的来源，一方面是直觉的公理，另一方面是权威，即天主教会的权威。这个方法很不适于引导人们或指导人们用实验方法去研究自然。

阿奎那还从亚里斯多德和当时的基督教义那里接受了一种假设，说人是万物的中心与目的，世界可以按照人的感觉和人的心理来描绘。这一切都是亚里斯多德的物理学使然，因为物理学是他的科学中最弱的一门学科。德谟克利特早在现代物理学的见解形成之前就惊人地预言说：“按照通常说法，有甜有苦，有热有冷。按照通常说法，有色彩。其实，只有原子与虚空。”这一理论是与现代客观物理学相符合的。它要透过浅薄的感觉，发现与人无

关的自然界的法则。但是，我们知道，亚里斯多德却摒弃了这一切，拒绝了原子的概念。在他看来，物体并不象德谟克利特所说的那样，是许多原子的集合体，或者象我们所了解的那样，是有质量、惯性及其他物理的、化学的或生理的特性的东西。物体是一个主体或实体，具有归入某些范畴的特性。首先它是本质，“这不是指一个主体具有的，而是指一切其他东西都具有的东西”；例如人、面包、石头；不过，亚里斯多德在这里所说的并不是一种具体的东西，而是一种本质性质。其次它有重、热、白等特性；还有不那末重要的是，它存在在什么地方和什么时候。这些都属偶有性，比起本质来，没有那样根本的意义，不过在一定的瞬间内，却都是主体的一个组成部分。

在十九世纪看来，这一切部好象是无益的，差不多是无意义的，虽然我们可以把这一切说法改造成为一种比较具有现代气味的形态。但十九世纪或二十世纪的观点在中世纪的人看来也是同样地奇怪，而他们的心理态度，是产生了重大历史后果的。如果重是一种和轻相反的自然特性的话，我们就很容易了解亚里斯多德怎样达到天然位置的学说，按照这个学说，重的下沉，轻的上浮，所以物体愈重，下坠愈速。在这一点上，经院派同史特芬和伽利略发生了争执。不但如此，由于亚里斯多德把物体的根本性的本质与现象，偶有性或种区别开来，在中世纪的人看来，化体理论——1215年以来的一个信条——也就显得很自然了。即令在神秘的新柏拉图主义已经被理性的亚里斯多德派的托马斯主义代替了的时候，中世纪的人仍然这样想。

阿奎那接受了托勒密的天文学。值得注意的是他把它仅当做一个工作假设——“这不是证明，而是假设”。但是，圣托马斯的88警惕却被人忽略了，而地球中心说竟成了托马斯派哲学的一部分。人既然是创造万物的目的，地球便该是宇宙的中心，围绕它旋转的有充满气、以太与火（“世界的火焰墙”）的同心圈，这些圈载着太阳、恒星与行星运行。中世纪的末日审判画说明这种见解怎样自然而然地引导人们想象出这样一个景象：天堂在苍穹的上面，地狱在土地的下面。人们是在基督教教义与亚里斯多德哲学所提供的前提之内，细致而巧妙地制订出这个体系的，只要我们接受这些前提，这个体系就是一个没有矛盾、令人信服的整体。

亚里斯多德的世界永恒说，因为同上帝在时间中创造世界的教义不调和而遭到阿奎那的摈斥，但在其他方面，阿奎那对于亚里斯多德的科学，就连细节也设法使之与当时的神学相符合。亚里斯多德认为凡是运动都需要不断地施加力量。从这一见解中阿奎那推出了一些与当时神学相符合的结论，例如说“天体被有智慧的本质所推动。”这些推论既然被视为业经证明，前提也就更加可靠了，于是全部自然知识就和神学结合成为一个坚固的大厦；在这个大厦中，各部分是互相依赖的，所以对于亚里斯多德的哲学或科学的攻击，便是对于基督教义的攻击。

在托马斯派的哲学中，肉体 and 心灵同为实在，但它们中间并没有笛卡尔首先加以表述，在后来的年代为人们所十分熟悉的那种鲜明的对立。阿奎那根本没有想到去研究现代形而上学所遇到的一些困难，如这两个表面上无法比较的实体之间的关系，或与此有关的问题：人的心灵为什么有可能认识自然。那时还不需要这种分析；四个世纪以后，才产生这种需要，因为当时伽利略已经从动力学的观点证明亚里斯多德的物质及其特性的概念，必须由运

动中的物质的观念来代替，偶有性如色、声、味等，并不是物质固有的特性，而仅仅是接受者心中的感觉。十三世纪时这些还是不可理解的观念，其中所包含的困难当然也是毫无意义的。

经院哲学在托马斯·阿奎那那里达到了最高的水平。这种哲学深入人心牢固而持久。文艺复兴之后残存的经院哲学家是反对新的实验科学的，但是，他们的学说的彻底唯理论却造成了产生近代科学的学术气氛。就某种意义上而言，科学是对这种唯理论的反抗！科学诉诸无情的事实，不管这些事实是否与预定的理性体系相合。但是，这种唯理论却有一个必要的假设作基础，那就是，自然是有规律的、整一的。怀德海博士指出：不可抵抗的命运的观念——希腊悲剧的中心题材——经过斯多噶哲学，传给了罗马法。罗马法就建立在那种哲学的道德原则基础上。虽然在罗马灭亡后出现了无政府状态，法律秩序的观念还是始终存在着，罗马教会也保持了帝国统治的大一统主义传统。经院派的哲学唯理论，从一个普遍而有秩序的思想体系中产生出来，又适合于这个体系，且为科学预备了这个信念：“每一细节事件，都可以和以前的事件有着极其确定的互相关联，成为普遍原则的例证。如果没有这个信念，科学家的难以置信的勤劳将没有什么希望。”“在经院哲学被抛弃以后，一个无价的习惯仍然存在着，那就是寻觅一个确切的点，寻得以后便固执不舍。伽利略得力于亚里斯多德的地方比表面上看起来要多……他的清晰的头脑和分析能力都是从亚里斯多德那里得来的。”“今天存在的科学想象力的开山宗师是古代雅典的大悲剧家埃斯库罗斯、索福克勒斯(Sophocles)与欧里庇得斯(Euripides)。

在他们想象中无情冷酷的命运，把一个悲剧事件逼迫到不可避免的结局。这种想象力就是科学所具有的想象力。”

### 罗吉尔·培根

十三世纪既出现了经院哲学大师托马斯·阿奎那的成功的、受人称赞的工作，也出现了罗吉尔培根(Roger Bacon)的悲惨的一生。根据留传下来的记录，在中世纪的欧洲，罗吉尔·培根是在精神上接近他以前的伟大的阿拉伯人或他以后的文艺复兴时代的科学家的唯一人物。他一生的悲剧，一半是内心的悲剧，一半外在的悲剧；一半是由于当时学术环境中他的思想方法的必然局限性所致，一半是由于教会权威对他的迫害所致。

罗吉尔·培根在1210年左右生于英国伊尔彻斯特(Ilchester)附近的索默塞特(Somerset)沼泽地区。他好象出生于有地位和有钱财的家庭。他在牛津学习，受过两个安格鲁人(Anglians)的影响，一是数学家亚当·马什(Adam Marsh)，一是牛津大学校长、后来任林肯郡主教的罗伯特·格罗塞特(Robert Grosseteste)。培根说，“只有一个人知道科学。那就是林肯郡的主教”；他又说，“在我们的时代，前任林肯郡主教罗伯特爵士和修士亚当·马尔什，可以说是无所不知”。

在英国或在西欧，格罗塞特看来是从东方邀请希腊人来教希腊古文的第一人，那时这种文字在君士坦丁堡仍然为人阅读。培根也同样认识到研究亚

---

A.N. Whitehead, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1927, pp. 11-15.

E.Challes, *Roger Bacon, sa Vie, ses Ouvrages, ses Doctrines*, Paris, 1861, *The Opus Majus of Roger*, translated by R.B.Burton, Philadelphia, 1928; G.Sarton, *Introduction to the History Science*, vol 1, p.952.

里斯多德原著与《新约》的语言的重要性，因而编辑了一部希腊语法。他经常不断他说：当代博士们不懂原文是他们在神学与哲学上失败的原因。他指出神父们怎样改动他们的译文，以符合于当时的偏见，又怎样因为粗疏无知和篡改原作，——尤其是多明我会修士——以致使原书变质。这是现代的翻译批评的先声。值得指出的是，培根本人是方济各会的修士。

但培根高出同时代的哲学家，事实上还高出整个中世纪欧洲哲学家的地方在于，他清晰了解只有实验方法才能给科学以确实性。这是心理态度的一次革命性的改变，只有在详细研究了当代的其他著作之后才能领会这种革命性改变的意义。培根博览群书，无书不读，包括阿拉伯书籍（或许是拉丁译本）和希腊书籍，但他并不是从圣经、神父、阿拉伯人或亚里斯多德那里把自然知识的事实与推论拿过来就算完事，而是谆谆地告戒世人：证明前人说法的唯一方法只有观察与实验。在这里，他的理论又成为另一位更有名的培根的理论的先声。这人便是三百五十年以后英国的国务大臣弗兰西斯·培根（Francis Bacon）。他好象利用了他的前辈罗吉尔的某些见解。他对于人之常情的错误的分析尤为明显。罗吉尔认为错误的原因有四，即对权威的过度崇拜、习惯、偏见与对知识的自负：这个分析与弗兰西斯的四偶像十分相似，因而决不可能是巧合。

虽然他在著作中竭力主张观察和实验，罗吉尔本人除了在光学方面外，好象没有做过很多实验；他在光学实验上费了很多钱，但是他所取得的结果似乎是很少的。他在巴黎住了几年，得了博士学位之后仍回到牛津。但他的工作渐渐引起别人的怀疑，不久 91 他就被送回巴黎，显然是为了让他的修会对他严加看管，并且禁止他写作或传布他的理论。但就在这时候，他平生的机会到来了。

一位开明的法律家、战士和政治家，名叫吉·德·富克（Guy de Foulques）的，对于培根在巴黎的工作发生了兴趣。他后来被举为教皇，改名克力门四世（Clement ）。培根写信给他，克力门不顾教长的禁令与教团的章程，立即答应了他的正式请求，命令这个小僧侣把他的研究成果写出来。不知什么缘故，教皇还命令他保守秘密。这就增加了罗吉尔的困难。他既是托钵僧，自然没有钱，但是他向朋友借贷，凑足了购买写作材料的费用，经过十五或十八个月，他就在 1267 年送了三部书给克力门：一部叫《大著作》（Opus Maius），详述他全部见解，一部叫《小著作》（Opus Minor）是一种概要，一部叫《第三著作》（Opus Tertium），是因为怕前两部遗失而补送的。我们了解培根的工作主要是靠了这几部著作，虽然还有一些著作，但始终是手稿。

克力门不久就死了，培根既没有人保护，就在 1277 年被原任方济各会会督、后为教皇尼占拉斯四世（Nicholas ）的阿斯科里的杰罗姆（Jerome of Ascoli）处以监禁之刑，而且不许申诉。大概，直到 1292 年尼古拉斯死后，培根才获得释放。那年他写了一本小册子名《神学概要》（Compendium Theologiae），从此以后，就再没有这位伟大修士的消息了。

培根虽然具有比较进步的眼光，他的心理态度大半还是中世纪的。一个人不管愿意不愿意，总是当代思想界大军的一分子，他只可能比这支大军的行列走得稍微远一点。培根自然也以为宇宙周围绕有充满恒星的天球，大地

则居于宇宙中心。他接受了圣经的绝对权威——如果圣经的真正原本可以重新找到的话——和当时基督教的武断神学的整个体系。尤其有害的成见是：他虽然在其他方面猛烈地攻击经院哲学，但是却赞同经院哲学的这样一个见解：一切科学与哲学的目的，都是为了解释与装饰至高无上的神学。在他的著作中随处可见的一部分混乱和矛盾就是由此产生的。这种混乱和矛盾总是和走在他的时代前面，甚至走在以后三百年前面的创见和远见混杂在一起。他虽然竭力挣扎，但总不能摆脱中世纪的心理习惯。

培根的卓见之一就是，他认识到学习数学不论作为一种教育训练或作为其他科学的基础都是十分重要的。那时已有从阿拉伯语译出的数学论著。里面常常有一些把数学应用到占星术上的例子。占星术是宿命论或决定论的一种形式，和基督教的自由意志论是不相容的，而且研究数学与占星术的大半是伊斯兰教徒及犹太人；因此这两种学科都得到恶名，被人同“黑术”联系起来。但是培根凭着他的自信的勇气，宣布数学与光学（他叫透视学）是其他学术的基础。他说这两种科学是林肯郡的罗伯特所了解的。数学的表格与仪器虽然费用多而且容易毁坏，却是必要的。他指出当时历法有误差，每130年便多一天。他把当时知道的世界各国详细加以叙述，估计了世界的大小，赞成大地是球状的学说。他在这一点上影响了哥伦布。

他对于光似乎特别感到兴趣，也许由于他学习了阿拉伯物理学家伊本-阿尔-黑森的著作的拉丁译本的缘故。培根叙述了光的反射定律和一般的折射现象。他懂得反射镜、透镜并且谈到望远镜，虽然他似乎并没有制造过一部望远镜。他提出一种虹的理论，作为归纳推理的一个例子。他批评了当时医生的谬误。

他叙述了许多机械的发明，有些是他实际见过的，有些是未来可能发明出来的，如机械推进的车船与飞行的机器等。他谈到了魔术镜、取火镜、火药、希腊火、磁石、人造金、点金石等，——这里面有事实、有预言、有道听途说，应有尽有。在《炼金术之镜》（*Mirror of Alchymy*）一文里，他仍保持着亚历山大里亚派的学说，认为凡物都向提高方面努力。他说：“自然不断地走向完善——那就是黄金。”

我们在对培根工作加以评价时决不能忘记，如果教皇克力门不命令他写出书来，他的名声只好依靠民间关于他的魔术的传说了。毫无疑问，培根之外也还有别人感到同样的兴趣，只可惜没有留下直接的痕迹罢了。就是在培根自己的著作中，也可以找到这种人的工作的反映。他说，“当今只有两位很好的数学家，即伦敦的约翰先生与皮卡人马汉—丘里亚的彼得先生”。培根讨论实验时又提到了彼得先生。

他说，有一种科学，比其他科学都完善，要证明其他科学，就需要它，那便是实验科学！实验科学胜过各种依靠论证的科学，因为无论推理如何有力，这些科学都不可能提供确定性，除非有实验证明它们的结论。只有实验科学才能决定自然可以造成什么效果、人工可以造成什么效果、欺骗可以造成什么效果。只有它才能告诉我们怎样去判断魔术家的愚妄，正如逻辑可以用来检验论证一样。这种实验方法，除了彼得先生之外无人懂得，他真可以称得上是实验大师，但他不愿发表他的工作成果，也不在乎由此得来的名誉与财富（也许还有危险）。

不管培根所说的这些虚幻人物是不是实有其人，有一件事情是明白的：培根自己在精神上是一位科学家和一位科学的哲学家。他出世过早，常常不自觉地和自己狭窄的眼界的局限性发生冲突，正象他常常和他一再公开加以抨击的外界障碍发生冲突一样，他是实验时代的真正先锋，索默塞特、牛津与英国有了他是很可以自豪的。

### 经院哲学的衰落

罗吉尔·培根对于阿奎那的经院哲学的批评，从现代观点看，虽然是正确的，但和当时存在的时代精神却有些格格不入，所以不能发生多少影响。

对于经院哲学的更富于摧毁性的攻击是哲学界的攻击。这场攻击开始于十三世纪的末期。邓斯·司各脱（Duns Scotus，约1265—1308年）在伦敦与巴黎教过书，他扩大了连阿奎那也认为是理性所不能说明的神学地盘。他把主要的基督教义都建立在神的独断意志的基础上，并且认为自由意志是人的基本属性，地位远在理性之上。这是反抗经院哲学所追求的哲学与宗教的融合的开始。当时人本以为托马斯·阿奎那已经最后确凿无误地完成了这种融合。但是，这时，二元论又复活了，虽然从本质上来说仍然是不完备的，不能令人满意的，但是要想使哲学从“神学的婢女”的束缚中解放出来，以致可以自由地与实验结合，而产生科学，这却是一个必经的阶段。十三世纪之末与十四世纪之初，托马斯派与司各脱派平分了哲学与神学的天下，同时在文学方面，一个反抗权威桎梏的运动，也在意大利出现了。

邓斯·司各脱所开始的过程，到威廉·奥卡姆（William of Occam，卒于1347年）的著作中有了更大进展。这位萨里（Surrey）人否认神学教义可以用理性证明，并举出许多教会教义是不合理的。他攻击教皇是至高无上的极端理论，并领导方济各会修士反抗教皇约翰二十二世。他因为著文为这一行动辩护而被指为异端，受到裁判，监禁于法国阿维尼翁（Avignon）。后来他逃出监狱，求巴瓦里亚的路易皇帝（Louis of Bavaria）保护，并帮助这位君主与教皇长久争辩。

这一真理的双重性的原则——一方面凭借信仰接受教会的教义，另一方面凭借理性研究哲学问题——是与唯名论的复活有密切关系的。唯名论相信个体是唯一的实在，并且认为普遍性的观念只不过是名称或心理概念而已；这种见解的主要倡导者是巴黎的让·布里丹（Jean Buridan，约在1350年）。唯实论派为了从普遍中导出个别，总是在一个又一个抽象观念中绕圈子。对这种把问题复杂化的做法，奥卡姆用他的有名的警句——所谓“奥卡姆的剃刀”——加以批判：“不要增加超过需要的实体”。这是现代人反对不必要的假设的先声。由于唯名论的复活，人们就对直接感官知觉的对象重视起来，这种精神打破了人们对抽象观念的信仰，因而最后也就促进了直接的观察与实验，促进了归纳研究。

这种新唯名论遭到教会的反对与禁制，巴黎大学谴责了奥卡姆的著作，直到1473年还企图强迫推行唯实论。但唯名论以不可抵抗之势传布开来，几年以后阻力便绝迹了。大学校长、教会主教都成了唯名论者，马丁·路德的学说也有很大一部分是从奥卡姆的著作中得来的。最后，罗马才回到修改后的亚里斯多德的唯实论，1879年，教皇列奥十三世（Leo XIII）下了一道通谕，重新规定圣托马斯·阿奎那的学说是法定的罗马哲学。

尽管这样，奥卡姆的工作仍然标志着经院哲学独霸中世纪的局面的结束。从此以后，哲学就更可以自由地进行探讨，不一定非要达到神学预定的结论不可了，同时宗教也暂时脱离了唯理论，可以来发展它那些同样重要的情感和神秘方面了。因此在十四、十五世纪就出现一种新神秘主义（特别在德国）和许多类型的宗教经验。这些宗教经验至今仍然为人们所知，而且是有价值的。

另外一位帮助推翻经院哲学的著名教士，是库萨的尼古拉（Nicholas of Cusa, 1401—1464 年）主教。他认为人类的一切知识都只不过是猜测而已，虽然人们可以凭神秘的直觉去领会神，而神也囊括了一切存在物。尼古拉由此形成的见解后来成为一种泛神论，而为布鲁诺（Bruno）所采纳。不管他对于知识的看法怎样，尼古拉在数学和物理学方面却有显著的贡献。他用天平证明生长着的植物从空气里吸取了一些有重量的东西。他提议改良历法，认真地尝试把圆化为面积相等的正方形，并且抛弃了托勒密体系，拥护地球自转的理论，成为哥白尼的先驱。尼古拉、布鲁诺与天文学家诺瓦腊（Novara）都认为运动是相对的，只有数才是绝对的，这样也就在哲学方面，为哥白尼铺平了道路。威尼斯的马可·波罗（Marco Polo, 1254—1324 年）在亚洲内陆的旅行，也增进了地理知识。

中世纪的任务已经完成了；以人文主义、艺术、实际的发现和自然科学的开始为其特有的光荣的文艺复兴的道路扫清了，经院哲学的时代过去了，历史展开了新的一页。

在科学历史学家眼中，中世纪是现代的摇篮。阿拉伯学派保存了希腊学术，而且对于自然界的知识有不少独创性的贡献。在阿拉伯与西欧，实用技术慢慢地兴起，只是对一般的思想还没有什么影响。从十二世纪以后才有人进行蒸馏，在 1300 年左右才出现了用于制造眼镜和其他用途的凸透镜（主要在威尼斯）。两百年后才有凹透镜。工业制出了化学试剂，如硫酸与硝酸。但是有系统的实验却没有什么进步，可以说，在罗吉尔·培根提出实验科学以前，西方学术界本来并没有自己的实验科学。后来又出了几位数学家，著名的有斯怀因谢德（Richard Swineshead, 活动于 1350 年）与霍耳布鲁克（John Holbrook, 卒于 1437 年）。但研究欧洲中世纪思想时最有趣的一件事，是追溯不断变化的人类心理态度怎样从一种似乎不可能产生科学的状态，转到另外一个状态，以致使得科学自然而然地从哲学的环境里产生出来。

经院哲学的代表人采取了解释者的态度，创造性的实验研究是与他们的观念不相合的。可是他们理性的唯知主义，不但保持了而且还加强了逻辑分析的精神，他们关于神与世界是人可了解的假设，也使得西欧聪明才智之士产生了一种即使是不自觉的也是十分可贵的信心，即相信自然界是有规律的和一致的；没有这种信心，就不会有人去进行科学研究了。文艺复兴时代的人，一旦摆脱了经院哲学权威的桎梏，就吸取了经院哲学的方法给与他们的教训。他们本着自然是一致和可以了解的信念，开始进行观察，用归纳的方法形成假设以便解释他们的观察结果，然后又用逻辑的推理演绎出推论，再用实验去加以检验。经院哲学训练了他们，结果反而叫这些人把它摧毁。

从某种意义说，我们只谈到了基督教中世纪最坏的一面：在科学研究所必需的特殊思想领域方面，中世纪是最虚弱的。我们只是大略地考察了一下

欧洲各个国家怎样在中世纪形成和巩固。我们没有谈到中世纪在文学和艺术上惊人的成就。《罗兰之歌》在我们看来不过是文化民族化的一个迹象；后来的骑士浪漫文学我们根本没有提到。但丁的《神曲》，除了把托马斯·阿奎那的观念秘藏在诗句里之外，对我们是没有多少意义的。教堂建筑的光辉成就。在我们不过是建筑技术进步的例证。就是中世纪的宗教，虽然在哲学方面和我们关系比较接近，在本质上也与我们的研究漠不相干。中世纪宗教对于救世主上帝的信仰，它对全体人类崇敬热爱精神以及它给受苦人群带来的得救的福音，都不在我们的考察范围内。我们碰见了那个猜疑的裁判官圣伯纳德，但阿西西的圣方济各 (Saint Francis of Assisi)，那位可爱、欢乐、单纯的人物，却不见于我们的篇页。

### 第三章 文艺复兴

文艺复兴的起源——列奥纳多·达·芬奇——宗教改革——哥白尼——自然史、医学与化学——解剖学与生理学——植物学——科尔彻斯特的吉尔伯特——弗兰西斯·培根——刘卜勒——伽利略——从笛卡尔到波义耳——帕斯卡尔与气压计——妖术——数学——科学的起源

#### 文艺复兴的起源

十三世纪以后，西欧的学术发展有一段停顿时期。黑死病与百年战争带来了经济与社会紊乱，安定的生活与平静的研究都不可能，把经院哲学带到顶峰的心灵活动，好象也有衰竭之势。

虽然如此，人类的学术观点，仍处在不断改变的过程中。在整个这个过渡时期，我们可以找出各种思想的细流，这些细流汹涌地汇合起来的时候，就形成文艺复兴的洪流。前章已经讲过，由于邓斯·司各脱和威廉·奥卡姆的哲学的影响，经院哲学的思想已有逐渐解体之势，而奥卡姆山教皇的监狱脱逃，依附于巴瓦里亚的路易皇帝，充足表现教会的权力遇到重大的反抗，而民族的权力不管好歹已经不顾教会当局的大一统主义的传统确立起来。

文艺复兴的精神首先出现在早先受到摧残现在又逐渐恢复元气的意大利。也许在罗马建筑遗迹中生活的人们很容易重新对古籍发生热爱。一个强悍的北方种族已经在意大利北部建立了殖民地，变成了上层阶级。这个阶级没有因为意大利各城邦的内战而灭绝，虽然当时及后来内战都使得贵族大伤元气。但在别的国度，北方种族还要更纯粹一些，所以意大利在学术上先进的原因，应该到别的地方去寻找。十二世纪的方济各会修士巴马的塞利姆本（Salitihene of Parma）提供了一个线索。他指出，意大利与其他国家有一个重要的不同的地方。他说，在阿尔卑斯山以北的地区，只有城市的人在城里居住，“武士与贵妇们”则住在他们的庄园上。以便管理他们的闭关自守的封建领地；但是，在意大利，上层阶级却在城里拥有住宅，大部时间是在城里度过的。

土地的主人常住在他们的领地上固然可以使乡村得到一些好处，可是在交通不便的时代，乡居生活使人们没行多少机会交流思想，推动智慧的发展与创造。另一方面，在意大利北部，有闲的智识阶级的城居生活，却为文艺复兴的诞生提供了一个理想的环境。

文艺复兴绝不限于文学。有许多因素结合起来造成了一次空前未有的智识发酵，虽然文学是最早而且最重要的一个因素。文艺复兴的前驱者是彼特拉克（Petrarch，1304—1374年）。在他身上我们看见一种与构成但丁诗歌基础的中世纪经院哲学迥然不同的精神。彼特拉克首先倡导恢复良好的古典拉丁语，以代替经院哲学派的非正规拉丁语；更重要的是，他竭力要恢复要求理想自由的古典思想的真精神。

彼特拉克的调子走在他的时代的前面，但十五世纪初年由于人们对古典文献的兴趣不断增加，有许多希腊人从东方来到意大利，他们能用现代语教授古语。1453年，土耳其人占领君士坦丁堡后，加速了这个过程，于是许多好教师带着手稿，来到他们新建的家里。手稿的搜求成了时髦的风尚；意大利和北欧的礼拜堂与修道院的图书馆都被搜掠一空，豪商贵族则命令他们东

方的代理人不惜重资来收买藏在东方或君士坦丁堡陷落时散失了的希腊书籍。这样，古代哲学和科学的语言，经过八九百年之后，就重为西方学者所熟悉。

比这种语言更重要的是它里面所包藏的自由探讨的精神以及“古典学问”在几百年的中古精神以后给欧洲重新带来的从事各种各样的研究的动力。虽然由于当时的思想方式习惯于宗教的权威，人们在世俗文献方面也容易接受权威，而且过度看重希腊哲学家的学说也是有危险的，但人文主义者毕竟为科学的未来的振兴铺平了道路，并且在开扩人们的心胸方面起了主要作用。只有心胸开阔了，才有可能建立科学。假使没有他们，具有科学头脑的人就很难摆脱神学成见的学术束缚；没有他们，外界的阻碍也许竟无法克服。

人文主义由在意大利跟随新学大师们学习的人带到北欧。最早的一位是约翰·弥勒（Johann Muller，1436—1476年），他生于哥尼斯堡（Konigsberg），以后被人称为雷纪奥蒙塔拉斯（Regio-montanus）。他首先把科学和人文主义结合起来。他把托勒密和其他希腊人的著作翻译成拉丁语，1471年在纽伦堡（Nurnberg）建立了一座观象台，他制造了靠重力推动的钟和几具天文仪器。他的天文年历是现代航海年鉴的前驱，曾为西班牙及葡萄牙探险家所使用。至今在英国，威尔斯和奥特里。圣马利（Wells and Ottery St Mary）教堂里还保存有几具中世纪的计时钟。

但德国文艺复兴的主流却通过研究圣经，促成了宗教改革。德国在学术上有了新的精力与兴趣，但没有采纳意大利人的自我修养的理想，也没有采纳意大利人的高雅的异教精神。在法国，意大利的精神比较契合，所以那里的运动，比在条顿国家更富于人文主义和审美色彩。

北欧文艺复兴的重要人物是爱拉斯谟（Desderius Elasmus，1467—1536年）。他生于鹿特丹（Rotterdam）而名闻各国。在他看来，人文主义主要是用知识的教养影响去和当代的恶习作斗争的手段：修道院的文盲、教会的不法行为、经院派的炫学以及公共道德和私人道德的堕落等，都在他所谓主要恶习之列。经院派的神学家任意曲解片断经文，爱拉斯谟却起来把圣经的真义和早期教父们的教训，传授给人。

在一个短暂的光明时期里，梵蒂冈竟成了推动人们研究古代文化的中心。这种局面在教皇列奥十世（Leo X，1513—1521年）时达到最高峰。1527年，帝国军队占领了罗马，这个学术和艺术生活的新世界就遭到毁坏，不久教庭就改变从前的开明领导的政策。在它不能理解或控制的时候就盲目地加以反对，以致成为现代学术道路上的障碍。

大约在公元一世纪末，中国已经发明了纸，据说这是蔡伦的功绩，而木板印刷则出现于八世纪。造纸的技术随着后期十字军输入欧洲，约一百年后活字版的发明就使旧式模板印刷变成了实际而有用的技术，因而代替了在羊皮纸上抄写的笨拙方法，使书籍得以广泛流传。

同时，人们对地理的发现又再一次发生了热烈兴趣。一位军事工程师达·丰塔纳（Giovanni da Fontana），在描写十五世纪中叶的“自然界的万物”的时候叙述了许多地理事实与奇谈。尽管当时的航海技术还处于原始

状态，欧洲所认识的地球的面积仍然很快地增加起来。使用十字标竿或圆形星盘来测量太阳中天的高度，可以粗略地算出观测地点的纬度，但对经度还无法作满意的测定。英国的第一幅海道图，据说是 1489 年的地图。

葡萄牙人，在阿拉伯和犹太天文学的指导下，首先开始探险。由于航海家亨利王子的倡导，他们在 1419 年发现了亚速尔岛 (Azores)，以后又发现非洲西海洋，先是要感化异教徒，并寻找一条不受穆斯林干扰的通往印度的道路，后来是为了猎取奴隶与黄金。1497 年，达·伽马 (Vasco da Gama) 绕过好望角首先到达了印度。亨利王子在圣·维森提角 (Cape St Vincent) 附近的萨格雷斯 (Sagres) 建立了一所观象台，以便编制更精确的太阳赤纬表。葡萄牙人获得成功以后，其他国家的人也都纷纷起来竞争。希腊人关于大地是球形的学说，几世纪以来为天体演化说学者所熟知，现在更成了公认的信念。从这个信念出发，人们自然而然地就产生一个想法：由大西洋向西行驶便可到达亚洲东岸，印度和中国的丰富的商品便可由海道直接到达欧洲。事实上，希腊人自己早就提出过这个见解，其中就有波赛东尼奥。经过多次失败之后，成功的人物与时机终于到来。克里斯托弗尔·哥伦布 (Christopher Columbus) 生于意大利北部利古里亚 (Ligurian) 海岸的科戈勒托 (Cogoletto) 港。他克服了许多障碍之后，终于得到斐迪南 (Ferdinand) 和伊萨伯拉 (Isabelta) 的赞助，从安达卢西亚 (Andalucia) 的帕洛斯 (Palos) 港出发，于 1492 年 10 月 12 日到达了巴哈马 (Bahamas) 群岛。二十四年之后，麦哲伦 (Magalhaes 即 Magellani) 的船只费时三年转来，环绕地球航行一周，证明了大地实在是球形的。早期环游地球的航海家不幸总是由东到西，因而总是遇到逆风。如由西到东那就容易多了。

这些发现新地的伟大航行，开扩了当时人们的心胸。这虽然是最直接的效果而却不是唯一的效果。由于与新地贸易的扩展，本国的工商业得到很大的刺激，于是欧洲的物资和人民的总财富都增加了。这种增加由两方面而来。首先是新市场与新的供应来源所造成的显著的财富增长及其直接或间接的经济影响。其次，从新近的经验来看这里也牵涉到货币的因素。货币是一种筹码，它本身不是财富；但流通货币的总数的变动，常会影响物价，而造成重大经济变化。贸易与工业的发展，常常因为通货和信用不能随之扩大，而受到阻碍。通货缺乏可以造成总的物价水平的下降，这种情况与通过改进制造方法造成的物价的真正低廉不同，它使工业不景气因而阻遏文化与学术的发展。但是，自从新大陆开发以后，由于新大陆盛产黄金和白银（各国都是选定其中一种作为货币的本位），通货数量就远远超过扩大贸易所必需的程度。货币因多而贱，于是物价上升。当物价上升时，工商两业都能获利。不但如此。工业上的固定费用（按货币计算的费用）就不那么大了；例如在十六世纪时，随着例行地皮租金按货物和劳务计算的实际价值的不断下降，这种租金已经变得微乎其微。因此，制造与贸易变得同样有利可图。财富与随着财富而来的研究学问的闲暇时间也就扩大到在中古时代物资有限的情况下所不能达到的更大的社会范围内。

值得指出的是，人类历史上有三个学术发展最惊人的时期：即希腊的极盛期、文艺复兴时期与我们这个世纪。这三个时期都是地理上经济上发展的时期，因而也是财富增多及过闲暇生活的机会增多的时期。在希腊，这种生

活建立在奴隶制度基础之上，文艺复兴时期，这种生活是靠了得自印度群岛的资源，十九世纪时，这种生活是靠了工业革命。在希腊，学术全盛时期来临以后不久就出现了政治的解体，而且这个民族的人数相对来说，始终是很少的。近代文艺复兴之后，有四百年时间，欧洲各国的力量大大增长，人口也增加不已，于是才智之士参加学术事业的人数也日益增多，因此，研究科学的人就比古代希腊哲学家多得多难以数计。我们在称赞现代科学的成就时，记住这个事实也许是有好处的。不但如 102 此，我们很难断定这一知识增进的过程是不是可以继续不断；事实上我们很难说，在可能出现的社会和经济条件之下，是不是会有充足的聪明才智之士涌现出来，来使这个过程继续下去。

常有人说，在我们把我们所了解的、促成文艺复兴的几种倾向找出来，并且给予应有的评价之后，我们仍然不能不感到，用几个明显的原因去解释心理态度在这样短的时间内的惊人变化，实在不能算是完全成功。克雷顿 (Creighton) 主教就这样说过。

“把促成这种变化的一切因素与见解聚拢在一起，观察者仍然觉得在这一切背后，还有一种生气活泼的精神，这种精神我们只能很不完全地捕捉住。它有力量把其余的因素掺和在一起，使其突然成为一个整体。这种现代精神以可惊的速度形成，我们还不能充分地解释其过程。”

要答复这些论点，也许可以指出三点。第一，黄金的流入，和由此造成的总的物价水平的不断上升，对于文化的刺激影响，还不曾被人充分了解。第二，我们必须记着我们所掌握的记录，实在只是当代极小的一部分学术活动的记录。那时把自己的思想写在纸上的人已经很少，而他们的著作能够传到我们手中的更是不多。在意大利城市生活中，知识及由知识带来的观点的改变，必定是得之于口授，而非得之于书籍的阅读，人与人之间直接交际的影响必然非常之大。第三，当几个因素共同作用的时候，最初总的效果只是各个因素的效果的总和。但是，到后来，各个因素的效果就互相重叠，互相加强；因与果彼此作用和反作用。造成十六世纪的变化物质、道德、学术等各种因素便是这样的，它们有些突然地经过了临界阶段。财富的增加增进了知识，新知识又转而增加财富。整个这个过程产生累积效果，并且加速度地前进，终于形成不可抗拒的文艺复兴的洪流。

### 列奥纳多·达·芬奇

在意大利城市的全部生活中，人格的影响无疑是特别大的，但要从历史上加以探讨却很困难。我们对出色人物的力量大半只能有一些零星片断的了解。但是，多才多艺的巨人式的天才列奥纳多·达·芬奇 (Leonardo da Vinci) 的不完全的札记已经有一部分出版，公之于世，因此，其中一位人物的全部才华就展现我们面前了。列奥纳多也许打算把他的札记收集起来，整理成书，但即使他有这个意愿，他的寿命也不允许他这样做；因此他在哲学上的成就直到近年为止，一直被作为艺术家的名声所掩盖。

列奥纳多是一位精力充沛、相当有名的律师塞尔·皮埃罗·达·芬奇 (Ser

PieroVinci ) 和一位名叫卡特琳娜( Catarina ) 的可爱的农家女郎的私生子。他于 1452 年生于佛罗伦萨和比萨之间的芬奇。他受他父亲的教育。他接连在佛罗伦萨、米兰与罗马宫廷服务， 1519 年死于法国。那时他是弗朗西斯一世( Francis1 ) 的臣仆和朋友。幼年时他已经表现异常的才智，使他的同辈与后辈都觉得他的确是一个出类拔萃的人物。他的秀美的人材，优雅的态度，更是锦上添花，增进了他的思想与品格的力量。他对各种知识无不研究，对于各种艺术无不擅长。他是画家、雕塑家、工程师、建筑师、物理学家、生物学家、哲学家，而且在每一学科里他都登峰造极。在世界历史上可能没有人有过这样的纪录。他的成就虽已非常，但与他所开拓的新领域，他对于基本原理的把握，以及他对每一学科中的真正研究方法的洞察力比起来，就微不足道了。如果说彼特拉克是文艺复兴时代文学方面的先驱，列奥纳多就是其他部门的开路先锋。他和许多文艺复兴时代的人不同，既不是经院哲学家，也不是古典作家的盲目信徒。在他看来，对于自然界的观察与实验，是科学的独一无二的真方法。古代著作家的知识。作为研究的起点是有益的，但绝不能作为最后的定论。

列奥纳多是从实用方面接近科学的。正是由于这个幸运的情况，他的治学态度才那样的富于现代精神。为了要满足他的各种技艺的需要，他才去做实验，晚年时他对知识的渴求竟胜过对艺术的爱好，他作为画家，因而不能不研究光学的定律，眼睛的构造，人体解剖的细节以及雀鸟的飞翔。他作为民用及军事工程师，因而不能不正视一些只有了解动力学和静力学的原理才能解决的问题。业里斯多德的意见，对于修改一幅不合画法的绘画，引水灌溉 104 或攻取设防城市是没有多大帮助的。在这些问题上，事物的实际情况，比无所不知的希腊人对于事物的实际情况应该怎样的意见，要重要得多。

但列奥纳多也是哲学家，我们把他的思想方式和前一代的人比较一下，就可以看见有显著的不同，那就是他差不多完全摆脱了神学的成见。罗吉尔·培根虽然爱好研究，也仍然以为神学是一切知识的真正顶点与归宿，并且毫不怀疑一切学术如果了解得正确，必定不会与当时的主要教义发生抵触。但列奥纳多却用完全不存成见的态度去推理。在他偶然论及神学的时候，他也对于教会制度中的恶习与不合理的地方坦白地、轻松地加以攻击。他自己的哲学好象是唯心主义的泛神论。从这个观点出发，他到处都看见宇宙的活生生的精神。但他又抱着伟大思想家的持平态度。看到不相干的恶下面的善，接受了基本的基督教义，作为他的内在的精神生活的可见的外在形式。他说，“我把圣经放在手边，因为它是最高的真理。”他是君子，也是伟人，他绝没有破坏偶像论者的狂热。他生在教庭既开明又讲人道的那个短短的时期里。当时一切迹象好象都说明就要出现一个新的无所不包的天主教，既准许人们虔诚地信仰基本信条，也准许人们保持思想自由。这个梦想不久便成泡影，罗马教会日益反动，思想自由不能不通过路德所开创的不足取的粗暴方法缓慢而艰苦地争夺回来。列奥纳多死后五十年，再要保持他那样的态度，就不可能了。

列奥纳多虽然伟大，但我们决不能以为他所表现的科学精神是他所开创的。阿尔贝提( Alberti , 1404—1472 年 ) 在他以前研究过数学，并作过物理实验。他在佛罗伦萨遇见过鼓励哥伦布航行的天文学家托斯堪内里( Paolo Toscanelli , 卒于 1482 年 ) ; 亚美利果·韦斯普西( Amerigo Vespucci ) 给过他一本几何学；他认识数学家帕西奥里( Luca Pacioli )。在解剖学的

研究上他得到了安东尼奥·德拉·托尔 (Antonio della Torre) 的帮助。透视学和解剖学也有布伦内希 (Brunelleschi)、波提舍里 (Botticelli)、迪雷尔 (Durer) 等人研究。列奥纳多同这些人共同创立了艺术上的自然主义。从列奥纳多的札记和别的记载中可以看出在伽利略出生以前一个世纪在意大利已经有一小批志同道合的人。他们对事物比对书本的兴趣大,对实验的研究比对亚里斯多德的意见看得更重。毫无疑问,经院哲学由于告诉人们宇宙是可以了解的,的确使人们 105 在思想上有所准备。但是一到人们开始去观察和实验时,它所提出的解决方法便不中用了。那时需要有一个知识的新基础,亚里斯多德或托马斯·阿奎那的演绎,必须代之以从自然界而来的归纳,而这个基础最初是在意大利的数学家、天文学家与解剖学家那里找到的。

但在这些人实际上仍然和希腊思想有着联系,这就是和阿基米得的联系。当时,阿基米得的著作还没有印行,好的手抄本也很稀少。列奥纳多在札记里提到过可以给他找几个抄本的朋友和赞助人的姓名。他对于这位叙拉古人的天才表示钦佩。人们对于阿基米得的兴趣很快地就增加起来;1543年,数学家塔尔塔利亚 (Tartaglia) 印行了阿基米得的一部分著作的拉丁译本,其他的版本也相继出现。所以在伽利略的时代,阿基米得的著作已经为人熟悉,而伽利略更仔细地研究过它。近代物理学大师们的真正希腊始祖并不是百科全书式哲学家的亚里斯多德,而是几何学家和实验家的阿基米得。在有著作流传到今天的古典时代的著作家中,只有阿基米得最明显地具有真正的科学精神。

在弗兰西斯·培根把正确的实验方法加以不充分的哲学解释,和伽利略实行这种方法之前一个世纪,列奥纳多已经凭着直觉领会到,并且有效地运用过这种方法了。列奥纳多没有写过有关方法论的论文,但是从他的札记里可以附带地找到他对这个问题的见解。他说数学、算术与几何学在它们自己的范围内给人以绝对的确切性;它们是与普遍有效的理想的心理概念发生关系的。但是他认为真正的科学是从观察开始的;那时,如果能运用数学的推理,的确可以达到更大的确切性,但是“科学如果不是从实验中产生并以一种清晰实验结束,便是毫无用处的,充满谬误的,因为实验乃是确实性之母”。科学给人以确切性,也给人以力量。只依靠实践而不依靠科学的人,就象行船人不用舵与罗盘一样。

当我们从列奥纳多的方法转到他的实际成果时,我们对他的见识不能不表示惊异。他预见到后来由伽利略加以实验证明的惯性原理。列奥纳多写道:“凡是感官可以觉察的东西都不能自己运动……每一物体在其运动的方向上都有一个重量。”他知道落体的速度随时间而增加,虽然他没有找出落过的空间与时间之间的确切关系。

他很清楚地了解把“永恒运动”作为动力来源在实验中是不可能的。在这方面,他走在布鲁杰斯的史特维纳斯 (Stevinus of Bruges, 1586年) 的前面。他根据永恒运动不可能的知识,用虚速度的方法去证明杠杆的定律,这个原理,亚里斯多德早已知道,后来乌巴迪 (Ubaldo) 和伽利略也应用过。当一长度为  $L$  的长臂被一个较小的重量  $w$  迅速地以速度  $V$  拉向下时,另一端短臂  $l$  就缓慢地以速度  $u$  把较大的重量  $W$  向上举起,这里没有能量的得或失,每一端的能量都是重量和速度的乘积。于是:

$$Wv = wV。$$

而两端的速度又与其杆臂的民度成正比例,因此

$$Wl = wL \quad \text{或} \quad \frac{W}{w} = \frac{L}{l},$$

即重量与臂长成反比例。列奥纳多认为杠杆是基本的机械，其他机械都是杠杆变化与复杂化的结果。

他还重新发现了阿基米得的液体压力的概念；他证明在连通器中液体面有相同的高度，如以不同的液体装入两管之内，其高度与液体的密度成反比例。他还研究过流体力学：水通过注孔的射流，沟道内的水流，以及波浪在水面的传播等。他从水上波谈到空气里的波以及声音的定律，并且认识到光也有许多类似的现象，因而波的理论也可应用于光。像的反射很象声音的反射；反射角等于入射角，同把球掷向墙壁时所发生的情况一样。

在天文学方面，列奥纳多认为天体是一架服从确定的自然法则的机器。这比当时流行的亚里斯多德的见解是大大前进了一步；亚里斯多德认为天体是神圣不朽的，与经常在改变与毁灭的我们的世界有本质上的不同。列奥纳多把地球叫做星，与其他的星星一样，并且打算在他计划要写的著作中说明地球也能象月球那样反射日光。列奥纳多的天文学虽然在细节上不免错误，但在精神上是正确的。

他认为事物早于文字，所以在有书籍记录以前，地球身上已经带有它的历史的痕迹。在现今内陆高山上发现的化石，原来本生长在海水中，它们不可能在诺亚洪水的四十天中跑到现在的地位去；107 事实上把世界上全部海和云的水合起来，也不能淹没地球上高山的顶。他说，一定有过地壳的变动，因此山岳就升高到新的地位。但这并不需要灾难性的变化：“时间久了，波河（Po）就会在亚得里亚海中造出新的陆地，正如它过去淀积了伦巴第（Lombardy）大部分土地一样。”这里我们看见地质学上天不变学说的要点，在赫顿（Hutton）提出以前三百年已经出现了。

画家与雕塑师的列奥纳多，感到需要对人体构造有精确知识。他不顾教会传统，弄到许多尸体，加以解剖。他的解剖图不但精细正确，且是真正的美术作品。有许多张还保存在温莎尔（Windsor）宫所藏的达·芬奇手稿之内。他说，“你们说你们宁肯看解剖表演而不肯看解剖图。如果真有可能在一个人体上看到这几幅解剖图所描写的所有细节的话，那你们是对的。但是，实际上，你们对一个人体尽力观察，也只能看到寥寥几条血管或得到这几条血管的知识。而为了对这些血管得到准确完备的知识，我已经解剖过十个以上的尸体了。”

从解剖学再往前走一步，就是生理学。在这一方面，列奥纳多也远远走在他的时代的前面。他谈到血液怎样继续不断地建造整个人体，怎样把材料带到各部分，又把废料带走，好象火炉必须添柴与除灰一样。他研究过心脏的肌肉并画出了心脏瓣膜图。这些图似乎可以说明他了解心脏瓣膜的功能。他用水的循环来比血的运行。水由山流到河，由河流到海，再由海变成云，由云成为雨而回到山上。在哈维发现血液循环以前一百余年列奥纳多似乎就已经懂得血液循环的一般原理了。他的艺术还把他带到另一个科学问题，即眼睛的构造与其活动的方式。他制造了一个眼睛的视觉部分的模型，并说明像如何在视网膜上形成。他抛弃了当代流行的见解：所谓眼睛发出的光线落在它所要看的东西上面。

他鄙视炼金术、占星术与降神术的愚蠢行为。在他眼中，自然是有规律的，非魔术的，受支配于不可改变的必然性。

以上所说已经足够表现列奥纳多·达·芬奇在科学史上的地位了。如果他当初发表了他的著作的话，科学本来一定会一下就跳到一百年以后的局面。猜测这种情况对人类的学术与社会进步的影响，当然是毫无用处的，但是，我们可以万无一失地说，如果真有这种情况发生的话，人类的学术和社会演变一定都会大不相同了。

列奥纳多没有按照他的原定计划把他在各种学科方面的研究成果整理成书，但是他个人的影响显然是很大的。他是王公政客的朋友，也认识当时学术界的主要人物。他的许多思想无疑地由他们保留下来，后来帮助促进了科学的新发展。如果我们要在古今人物中选择一位来代表文艺复兴的真精神的话，我们一定会指出列奥纳多·达·芬奇这位巨人。

## 宗教改革

在一个有着多方面的学术兴趣的社会中，心理环境自然与一百年以前大不相同。事事都本着压倒一切的得救动机去观察的神学气氛已经被一个凡事都可用理性眼光去自由讨论的比较独立的观点所取代了。世界仍然是正统派的；在各时代里出现的许多异端都遭到了有效的武力镇压，更正确他说是，占了上风的学说被承认为正统教义。但在十六世纪的初年，正统派自身也惊醒过来，一度扩大了自己的范围：如果当初环境有利的話，爱拉斯谟所领导的宗教人文主义派本来很可以从内部对罗马教会加以改革，使之开明化。

宗教改革的发展与意义，是一个复杂的问题，不容易加以归纳，但科学思想史对于这样一个大变动的影晌是不能不加以考虑的。宗教改革家有三个主要目标。第一，整顿由于有人滥用罗马会议，由于许多僧侣们生活放荡而遭到破坏的教律。第二，按照先前遭到镇压的某些运动的方针改革教义，并返回原始的质朴状态。第三，放松教文控制，准许个人在一定程度上可以自由地根据圣经作出自己的判断。

在三个目标当中，第一个目标深受人民的欢迎。因为它是针对着罗马教会自己也承认的公开腐败现象而发的。第二个目标也同样重要，因为中古时代的思想方式仍然有很大力量，而改变与发 109 展的观念在中世纪还是陌生的。仪式与教义的改革，只有在人们相信这种改革有先例，而且有比罗马教皇更高的权威（原始基督教会信仰与实践）做根据的时候，才能得到人们的拥护。就是在现在，也还不止一次地有人把“头四个世纪”拿来作根据，可是从这些人的著作看来，他们对于这几个世纪并没有什么了解。

同我们有关系的主要是宗教改革者的第三个目标。它所以同我们有关系，是因为这是文艺复兴的后果，也是这个运动中的人文主义因素的真正推动力。但和在革命里常见的情况一样，学术问题被搁在一边。如果真有人在这方面做一些工作的话，也只有宗教狂热者或具有政治动机的日耳曼王公才可以做一点粗浅的工作，加尔文（Calvin）对于自由思想的迫害并不亚于罗马的宗教法庭。幸而他没有中世纪教会的权力做后盾；而宗教改革所造成的基督教界的分崩离析的局面，虽从许多方面看来是一件可悲的事，但到头来还是间接帮助了思想自由的实现。

## 哥白尼

文艺复兴以后，科学观点的第一次重大改变，是尼古拉·哥白尼（Nicolaus Copernicus, 1473—1543年）完成的。他是数学家与天文学家。父亲是波兰人，母亲是德国人。他的姓后来用拉丁语写成 Copernicus。在当时的观察所要求的精确度范围以内，希帕克和托勒密的地球中心说用来解释事实是相当成功的。从几何学的观点看来，这个学说的唯一弱点是它的均轮与本轮的繁复性。可是在这学说的后面，有两大支柱：一是常识的感觉（大地是万物向它坠落的坚实的不动的基础），一是亚里斯多德的权威。一般人以为大地在他们的足下静止不动，虽然有些人想象它是浮在宇宙中心的球。因此哥白尼必须维护两个命题：埃克番达斯关于地球绕自己的轴周日自转的主张及阿利斯塔克关于地球绕太阳周年公转的主张。哥白尼的反对者，从科学与宗教两方面而来。如果地球围绕自己的轴旋转，向上抛出的物体下落时岂不要落在抛出点的西面吗？松动的物体不是会飞出地面，而地球本身不是会有分裂的危险吗？地球既然绕太阳运行，那么，恒星如果不是遥远到荒谬的地步——即令还不是不可想象的地步——的话，恒星间相互的位置看起来不是会变动不定吗？

要对付当时认为完全合理的这些论据，并提出一个相反的理论，不但需要有极大的独创才能，而且需要有某种哲学观点，以便为自己的学说辩护。那时，亚里斯多德的经院哲学独霸思想界已有一个世纪，在阿尔卑斯山以北，只有奥卡姆的唯名论是它的有力的对手，但柏拉图的唯心主义的唯实论，特别是经圣奥古斯丁解释的，还在意大利存留着。新柏拉图主义里面，有浓厚的毕达哥拉斯成分。它喜欢用数的神秘谐和或单位空间的几何学安排去解释宇宙。因此毕达哥拉斯派与新柏拉图派总是要在自然界中寻找数学关系，关系愈单简，从数学上看来就愈好，因而从这个观点来看也就愈接近于自然。而且，在当时有著作传世的古代人中，只有毕达哥拉斯认为地球是围绕一团中央火运行的。因此，文艺复兴时期的科学，虽然主要是靠了从欧几里得和别的希腊数学家那里得来的方法成长起来的，但是同时还存在有形而上学的成分。

在十五、十六世纪，当人心被新旧思潮所激动的时候，具有这种毕达哥拉斯成分的柏拉图主义又在意大利复活了。米兰多拉的约翰·皮科（Johann Pico of Mirandola）教人用数学去解释世界，波伦亚大学的数学和天文学教授马利亚·德·诺瓦腊（Marino de Novara）批评托勒密体系太繁复，不合于数学谐和的原理。

哥白尼在意大利住了六年，成了诺瓦腊的学生。他说他仔细研究过他找得到的一门哲学家的著作，并发现：

据西塞罗说，希塞塔斯（Hicetas）认为大地是动的……普卢塔克说，有某些别的人也持有同样的见解。……当我从这里觉到有这种可能的时候，我自己也开始思考大地的运动了。……经过长久的多次的观察之后，我最后发现，如果除了地球的自转之外把其他行星的运动也考虑在内，并计算出其他行星的公转和地球的公转，我们就不但可以由此推出其他行星的现象，而且还可以把所有的行星、天球以及天本身的次序与大小都联系起来，以致在任何一个部分里，改变一件东西，就必然要在其他部分及整个宇宙中造成混乱。

---

参看 17, 18 页，并 E.A. Burtt 上引书。

因为这个缘故……我愿意采纳这个体系。111 哥白尼描写他的宇宙理论如下：

首先，存在着包罗它自身与万物的由恒星组成的天球，因为这个缘故，它是不动的；事实上它是宇宙的间架，别的一切星星的位置与运动都是对它而言的。虽然有人用为它以某种方式运动，但我们认为，它看起来好象在运动的另一个原因就在于我们的地动说。在运动着的天体中，第一是土星，三十年绕日一周。其次是木星，十二年一周。再其次是火星两年一周。第四是每年一周的轨道我们说过过中包含地球，加上本轮式的月球轨道。第五是金星，九个月一周。水星占第六位，八十天一周。处在这些行星中间的是太阳。在这极美丽的庙堂中，谁能把这个火炬放在更好的地位，使它的光明同时照到整个体系呢？有人把太阳叫做宇宙的灯，有人叫做宇宙的心，更有人叫做宇宙的统治者，都没有什么不适当。特贝斯梅李塔斯(Trismegistus)称它为可见的神，索福克勒斯叫它做埃勒克特腊(Ectra)，即万物的心。这些称号都很正确，因为，太阳就坐在皇帝宝座上，管理着周围的恒星家庭。……这样，我们就发现在这样有秩序的安排下，宇宙里有一种奇妙的对称，轨道的大小与运动都有一定的谐和关系。这样的情形是用别的方法达不到的。

由此可见哥白尼心中最重要的问题是：行星应该有怎样的运动，才会产生最单简而最谐和的天体几何学。从上面所引用的一段话，以及附图看来，他接受了古人的这一见解：恒星固定在一个天球上面，但有某种证据表明外面的圆周是指同无限空间塔界的天球里面的凹面。哥白尼认识到他把行星运动的座标参照系由地球移到恒星上去了。这就牵涉到物理上和数学上的一场革命，而且足以摧毁亚里斯多德的物理学与天文学。托勒密认为地球如果在动就会分裂为碎片，哥白尼答辩说，天球如果在运动，分裂的危险更大，因为它的周边更大，因此如果它运转的话，速度一定更快。

插图 0001

图 1 恒星天层。土星，三十年一转。木星，十二年一转。火星，二年一转。地球带着月球，一年一转。金星，九月一转。水星，八十天。中心是太阳。这是一个物理的推论，但哥白尼着重的是数学的谐和。他恳求数学家接受他的见解，理由是他的体系比托勒密所说的均轮和本轮，即天体围绕地球运行时所遵循的均轮和本轮简单得多。

1530 年左右，为了叙述他的研究成果，他写了一篇论文，同年以通俗的形式发表了这篇论文的提要。教皇克力门七世表示赞许，并要求作者将全文发表。一直到 1540 年，哥白尼才答应了这个 112 要求；到 1543 年，这本书的第一册印刷本送到他面前的时候，他已在临终的病床之上了。

哥白尼的体系的胜利是姗姗来迟的。有少数数学家，如约翰·菲尔德(John Field)，约翰·迪伊(John Dee)，雷科德(Robert Recorde)与夫里希斯(Gernma Frisius)接受了这一体系，第一个英国的信从者迪杰斯(Thomas Digges)还对于哥白尼的体系作了一个重大的改进，用布有恒星的无限空间，去代替不动的恒星天球。但是一直到伽利略把他新发明的望远镜指向天

---

Copernicus, De Revolutionibus Orbium Celestium, Letter to Poper Payl, quoted by E.A. Bertt, *Metaphysical Foundations of Modern Science*, p. 37.

De Revolutionibus Orbium Celestium, Lib. I, Cap. X; Eng. trans. W.C.D. and M.D. Whetham, *Readings in the Literature of Science*, Cambridge, 1924, P.13.

G. McCullley, *De Revolutionibus Isis*, No.82, 1939, p. 452.

空，发现木星及其卫星，好象是一个缩小了的太阳系的时候，哥白尼的理论才声名大著。

哥白尼教人用新的眼光去观察世界。地球从宇宙的中心降到行星之一的较低地位。这样一个改变不一定意味着把人类从万物之灵的高做地位贬降下来，但却肯定使人对于那个信念的可靠性发生怀疑。因此，哥白尼的天文学不但把经院学派纳入自己体系 113 内的托勒密的学说摧毁了，而且还在更重要的方面影响了人们的思想与信仰。

由此产生的疑惧不安，是不奇怪的。当时欧洲正在宗教问题上有所争执，们所争论的题目并不牵涉更深邃的问题。两方面都接受一种宗教哲学，这种哲学给人以高贵的地位，并且使人感觉在这个世界上生活是安适的，因为大家都同意这个世界是为他们的根本利益而创造的，虽然造物的直接表现有时好象是不必要地神秘。而且，当时最好的科学意见，是反对这个新体系的。罗马和日内瓦都认为是异端的布鲁诺等革命知识分子或许赞成哥白尼的见解，但比较谨慎的哲学家都敬而远之。布鲁诺也相信宇宙是无限的，而星星则散布于无尽的空间里。布鲁诺是热忱的泛神论者，公开地攻击一切正统的信仰。他受到教会法庭的审判，不是为了他的科学，而是由于他的哲学，由于他热中于宗教改革；他于 1600 年被教庭烧死。

依照当时的习惯，对于欧洲的学术及精神生活负有责任的人们，踌躇不前，不敢接受这个天文学说，是完全理所当然的，因为这个学说可能破坏他们自己最深的信念，并且象他们所想的那样，还可能使他们负责保护的不朽灵魂陷于危险。当伽利略带着满腔热忱到教庭去宣传这个学说的时候，冲突便无可避免了。当时的学术界主要属于亚里斯多德派。他们催促教士们采取行动。果然，在 1530 年对这个新学说表现了开明的兴趣的教廷，到 1616 年就禁止伽利略说话，并且由红衣主教伯拉明 (Bellarmine) 宣布哥白尼的学说是“错谬的和完全违背圣经的”；哥白尼的书在未经改正以前不许发行，但是这个学说还可以当作一个数学假说来讲授。1620 年盖塔尼 (Gaetani) 主教按照这样的方针对这本书作了小小的改变。停刊的命令一直没有得到教皇的批准；1757 年就取消了这个命令，1822 年太阳就得到教庭的正式裁可，成为行星系的中心。

惠威尔对于这件事有过明白而公正的评述，但晚近的作家对于伽利略因为维护哥白尼学说而受到的迫害，却有些过分夸张。正象怀德海所说。

在发生三十年战争和荷兰的阿尔发 (Alva) 事件的那三十年中科学家所遇到的最坏遭遇就是，伽利略在平安地死于病榻以前，受到体面的软禁与轻微的申斥。

## 自然史、医学与化学

普林尼以后就没有人研究动物和植物了。十六世纪里有六位博物学者重新拾起这一工作。他们是：沃顿 (Wotton, 1492—1555 年)、贝隆 (Be lon, 1517—1564 年)、朗德勒 (Rondelet, 1507—1566 年)、萨维阿尼 (Salvian1, 1514—1572 年)、格斯内 (Gesner, 1516—1565 年) 与阿德罗范迪 (Aldrovandi, 约 1525—1606 年)。他们主要是想恢复“古代学术”。至

于博物学家进行的许多新观察，那是以后的事。

文艺复兴期间兴起了一个医学人文主义学派，他们的目的是促使人们把注意力从多半是由希腊著作的注释家（一部分经过阿拉伯人的转递）得来的中世纪医学，转移到这门学科的源头，即希波克拉底和盖伦的著作上去。这个运动无疑大大增进了人们的知识，但是在这些知识系统化了之后，医生们又回到过分依赖权威的道路上去。

这一阶段过去之后，人们又开始观察、思考与实验。有一个时候，医学与刚从炼金术中脱胎出来的化学发生亲密的联系，因而出现一个研究化学的医学学派，后来被称为医药化学家。

阿拉伯的化学与炼金术在中世纪后期传到欧洲，影响了罗吉尔·培根等人的工作。阿拉伯人采纳并修改了毕达哥拉斯的理论：基本元素应当到原质或特质中去寻找，而不应该到物质中去寻找。他们相信基本的原质是硫（即火），汞（即水）和盐（即固体）（参看 73 页）。这个理论与阿拉伯的其他学术同时输入欧洲。十五世纪后半期多明我会僧侣瓦郎提恩（Basili Valentine）对这个学说大力加以鼓吹。

在研究这个理论时，我们必须了解，象希腊人的四元素说一样，这个学说是由于要解释火的神秘作用而产生的。这里的“硫”并不是指具有一定原子量和化学性质、我们称之为硫的那种物质。

而是指任何物体中可以使这个物体燃烧和燃烧一空的那个部分，“汞”是指可蒸馏成液体的那个部分，“盐”是固体的残渣。这些原质之外，瓦郎提恩更加上一个生基（Archaeus），别的炼金家加上一种“天德”，即决定包括化学变化在内的宇宙的一切现象的宇宙统治者。文艺复兴时期化学带到医学中去的，便是这一类观念。

现在我们来谈谈一位富于冒险精神的人物：霍亨海姆或帕腊塞耳苏斯（Theophrast von Hohenheim or Paracelsus，约 1490—1541 年）。这位瑞士医生，是首先摆脱古典正统的盖伦学派的人士之一。他在蒂罗尔（Tyrol）矿场一视同仁地研究了一些岩石、矿物、机器发明以及与矿工生活和环境有关的情况、意外事故和疾病。1514 至 1526 年间他在欧洲许多地方流浪，研究各国的疾病与其治疗的方法，以后作为一个医学教员，在巴塞尔（Basle）住下来，那里人们按照罗马时代一位大医生塞耳苏斯（Celsus）的名字给他起了一个新名字，但他接受这个名字时显然很勉强。他在巴塞尔受到医药界特权阶权的反对，在那里住了一年就离开了。

作为一个医生，他抛开了盖伦和阿维森纳，而把他自己的观察与实验的结果应用到医疗问题上。他说，“人们靠内心的默想，绝不会知道万物的本性……”。关于医生，他说，“眼所看见的，手所接触的，才是他的老师。”科学是在神创造的万物里寻找神。医学是神给与人的赠品。

霍亨海姆在把化学应用到医学上去的时候，有许多化学上的发现。例如，他认识到空气的复杂性，把它叫做“混沌气”（Chaos）；他在“硫”这个总称下描写了他得到的一种“矾精”，这显然是醚。他说，“这个东西有可

---

Complete Works, ed. by K. Sudhoff, Mithras, 1922....., Isis, vi.56 Anna Stodart, Paracelsus, 1915; Franz Strunz, Theophrastus, Paracelsus, Leipzig, 1937; W. pagel Isis, No. 77, 1938, P.469; E. Rosenstock Huessy, Hanover, N.H. 1937.

爱的气味，就是鸡也喜欢吃，鸡吃了之后就睡一会，但醒来不受损害”。可怪的是醚的麻醉性虽被发现，却不为人所看重。首先明白叙述利用矾油（即硫酸）与酒精的作用制造醚的过程的人是科达斯（Valerius Cordus，1515—1544年）。他是医生和植物学家。与炼金家不同，他对于制备的过程有明确的叙述。说明他已由炼金术进入化学了。

帕腊塞耳苏斯的追随者与盖伦派不同之处是把化学药品应用在医疗上。不消说，他们医死了许多人，们这样他们至少进行了实验。他们发现了许多有价值的药品，因而附带地增进了化学的知识。比林格塞奥（Vannoccio Biringuccio）对矿物学进行了研究，开辟了地质学的道路。他于1540年在威尼斯发表了他的《火焰术》。说明他对矿石、金属、和盐类有一定的实际知识。后来，在约阿希姆斯塔尔（Joachimsthal）矿工作的阿格里科拉（Agricola，1490—1555年）在巴塞尔发表了《金属学》，对《火焰术》的很多内容都加以利用。范·赫耳蒙特（van Helmont）也做了一些重要工作。他是一位神秘主义者，1577年生于布鲁塞尔。和帕腊塞耳苏斯一样，他也把科学和宗教联系起来。他认识了许多气体物质。他根据霍亨海姆的“chaos”一词，创立了“gas”一词来称呼气体。他把四种元素减少到一种，并且象泰勒一样，认为这种单一的元素就是水。他在量过的干土中种了一株柳树，只浇上一些水，到了五年以后，这株柳树的重量增加了164磅，而土质的损失仅有2盎司。这表明柳树的新物质差不多全部是由水生成的。在一百多年以后，英根豪茨（Ingenhousz）与普里斯特利（Priestley）证明绿色植物从空气中的二氧化碳吸收碳素以前，这种看法一直盛行不衰。

最先把新的物理知识应用到医学上去的是散克托留斯（Sanc-torius，1561—1636年）。他把伽利略温度计加以改良，并且用这种温度计来测量人体的温度。他还设计了一种比较脉搏速度的仪器。他用天秤来量他自己的体重，以研究体重的变化，并发现单是暴露在阳光中就可以减少体重。他认为这种体重的减轻是看不见的发汗造成的。精确的天秤也许是炼金家留给后来的化学家和物理学家的最好的遗产。

弗兰苏瓦·杜布瓦（Francois Dubois，1614—1672年）——他的为人熟悉的拉丁名字是弗兰西瑟斯·西耳维斯（Franciscus Sylvius）——研究了范·赫耳蒙特的著作，把化学应用于医学，创立了一个确定的医药化学学派。他认为人身的健康依赖于体内的酸性或硷性的液体。这两种液体结合成一种比较缓和的中性的物质。化学和医学都采用了这个理论。这个理论有重大的历史上的重要性，因为这是第一个不以火的现象为根据的普通化学理论。它引导勒默里（Lemery）与马克尔（Macquer）把酸类与硷类明白地区分开来。正是由于认识到不同物体中这些相反的性质及其互相结合——有时，这种结合还十分猛烈——的倾向，人们才形成化学吸力或亲合力的观念。也是由于看到中性物质以这种方式形成，人们才断定一切盐类都是酸与硷化合而成的。这是把化合物按一系列类型加以分类的先声。这个理论对于十九世纪有机化学起了极大的推动作用。

## 解剖学与生理学

---

Translation by C.D. Leake, in Isis, No 21, 1925, p.22.

盎司（Ounce），即英两，一磅的1/16。——译注

反对人体解剖的偏见，在欧洲流行颇久，直至到十三世纪盖伦与其阿拉伯的注释家的著作出现生理学以后，人们才重新开始研究解剖学。最早一位出色的人物是蒙迪诺（Mondino）。他死于1327年。

差不多就在他的工作成果发表以后，这个科目就变成千篇一律的了。虽然大学的正规医科课程里都有解剖课，但是这种解剖工作都严格依照盖伦、阿维森纳或蒙迪诺的教本进行的，而且也是为了用例证说明这些教材才进行的，根本不想增加知识。因此，解剖学在十五世纪的最后十年以前，一直没有什么进步。只有列奥纳多的札记记载了一些新的发现，而他的札记对当代人却没有产生普遍的影响。到十五世纪最后十年中，曼弗雷迪（Manfredi）才写了一本专著，原稿还保存在博德利亚（Bodleian）图书馆内。书中记载了各名家工作成果的比较和一些新的观察结果。不久以后卡尔皮（Carpi）对解剖学也有一些贡献，但现代解剖学和生理学到让·费内尔（Jean Ferri, 1497—1558年）才算真正开始。他是医生、哲学家、数学家，1542年发表了《物理奥秘》。这以后有维萨留斯（Andreas Vesalius, 1515—1564年），他是法兰德斯人，在卢万与巴黎受过教育，并在帕多瓦（Padua）、波伦亚和比萨教过书。他背叛了盖伦，于1543年发表了《人体结构论》。这本解剖学著作不以盖伦和蒙迪诺的学说为依据，而以他自己在解剖过程中所看见的和能够表演的现象为根据。他在这方面有不少贡献，他对骨、脉、腹、脑各器官的研究尤为出色。他大体上接受了盖伦的生理学，但也叙述了自己在动物身上进行的一些实验。他的著作引起了人们的非难。愤激之余，他就在1544年抛弃了研究工作，去担任查理五世的御医。

十六世纪结束以前，解剖学就已经摆脱了古代权威的束缚了。这是生物学中摆脱古代权威的束缚最早的一门。生理学摆脱这种束缚比较迟，因为盖伦的学说阻拦了道路。我们说过盖伦认为动脉血与静脉血是心脏所推动的一涨一落的两股潮流。一个把“生命元气”（Vital spirit）带到人体的各种组织中去；一个把“自然元气”（natural spirit）带到身体的各种组织中去。正如福斯特所说：

现今我们对于身体的任何作用与过程的想法，都以这样一个事实为其基本根据：身体内每一组织单位的生命都有赖于这个身体直接间接地浸渍在血液中。动脉血带着氧到那里，而静脉血又把活动所造成的物质带走。我们应记住按照盖伦的理论是不可能形成这样的见解的，因为他认为每组织都有两种不同的血液一涨一落，来往其间，一种在静脉中运行，另一种在动脉中运行，完成两个不同的目的。我们还应记住，盖伦这种关于静脉与动脉的用处的学说与盖伦关于心脏的作用的学说是分不开的……血经过看不见的隔膜孔道由心脏的右边神秘地转移到左边……。如果采取这个看法，我们立刻就可以看出，从学术上来说，关于人体心脏的机制的真正学说，的确仿佛是全部生理学的核心。

塞尔维特（Michael Servetus）是阿拉贡（Aragon）的医生与神学家。他因为持非正统派的意见，为加尔文所定罪，焚死于日内瓦。他发现血通过肺循环，但这种循环的机制以及心脏在维持血流方面的功能，虽然在1593年经

---

Sir Michael Foster, Lectures on the History of physiology, Cambridge, 1902.

Studies in the History and Method of Science, ed. by C. Singer Oxford, 1917.

Sir Charles Sherrington, the Endeavour of Jean Ferri, Cambridge, 1946.

克萨皮纳斯 (Caesalpini) 提出一些巧妙的富于启发性的见解，但直到威廉·哈维 (William Harvey, 1578—1657 年) “专心干活体解剖”时，才向人们揭露出来。

1578 年哈维生于福克斯通 (Folkestone)。他是肯特郡 (Kent) 的一个富农或小绅士的儿子。在冈维尔 (Gonville) 和剑桥的加伊斯 (Caius) 学院学习之后，他去外国游历了五年，大部分时间在帕多瓦。二十四岁时他回英国开业行医。弗兰西斯·培根做过他的病人。他担任过詹姆斯一世的御医。当时有不少妇女被控告施行妖术，当代这位最富于现代精神的生理学家的职务竟然是负责对这些妇女进行医学检查。幸而，他检查出这些女人没有什么生理上的异状，因而这些妇女都被无罪开释了。哈维与查理一世也极亲密。国王把温索尔鹿苑和汉普顿宫的产品交给他，供他实验。并且同他一起观察过小鸡在卵中的发育，及小鸡的活的心脏的跳动。在这位英王第一次远征时，哈维也随军出征，在边山 (Edge-hill) 之战时，他是王子们的保护人。据说当战争方酣时他还坐在树下读书。他随他的主人退休回到牛津，做了一些时候麦尔顿市立学校的校长。他所写的讨论心脏的书《心血运动论》于 1628 年出版。这本书篇幅虽然不大，但包含了作者多年来对于人与活的动物观察的结果，发生了极大的影响。这本书出版后，盖伦的生理学立刻就显得过时了，可是据说，正是由于他离开了盖伦的生理学，“他的业务也受到很大的损害”。

哈维指出，如果我们拿每一次心脏跳动所送出的血液数量与半小时内心脏跳动的次数相乘，我们就可以发现在这个时间内心脏所输送的血量，与全身所有的血一样多。他于是推断说，血液一定是设法从动脉流到静脉里，然后再回到心脏：

我开始考虑是不是有一种循环的运动。后来我发现实际情况就是这样；最后我看到靠了左心室的作用流入动脉管的血液被分布到全身和身体各部分，正象靠了右心室的作用流入右肺动脉管的血液流经两肺一样。然后它经过静脉管，沿腔静脉回到左心室，象上面所说的那样。这样的运动也许可叫做循环。

哈维达到这个重要的观念，不是靠了思辨，也不是靠了先验的推理，而是靠了一系列步骤，每一步骤又都是根据利用解剖方法对心脏所进行的观察，或者如他自己所说的，根据“反复的活体解剖”。正象维萨留斯创立了现代解剖学一样，哈维也把生理学放到观察与实验的正确道路上来，使现代内科与外科医学成为可能。

要领会哈维的工作的重要性，我们必须把他的工作和他的前辈与同时人的工作比较一下，这些人在解释身体的功能时都求助于什么天然无气、生命元气和血气。哈维很少提到这些观念，他把循环问题看做是一个生理机制问题，并按这个想法来解决问题。他的第二部书《动物的生殖》，出版于 1651 年，是亚里斯多德以后在胚胎学上贡献最大的一部著作。

哈维死于 1657 年。他没有子女，遗嘱把他的产业捐赠给皇家医学院用于“发现并研究自然的秘奥”。

---

自从亚里斯多德以后，第一个作这个实验的是阿夸彭登特的法布里夏斯 (Fabricius of Aquapendente, 1537—1619 年)，见 Foster，上引书，36 页。



脏论》中宣布了他的发现：血的颜色由深紫到鲜红的变化（这变化是由静脉血变成动脉血的标志），不象我们所设想的那样是在左心室里发生的，而是在肺里发生的。他利用胡克的人工呼吸实验，弄清颜色的改变完全是由于血液在肺中和空气接触，吸收了一些空气的缘故。马约(John Mayow)在1669年发表、1674年再版的一本书中，把这方面的大部分研究成果加以总结，还加上了他自己的一些研究成果。他阐明了不久以前关于呼吸与燃烧的研究成果并且阐明了呼吸与燃烧同硝的关系。他说：“火药所以很容易自己着火，是由于其中有易燃气的颗粒……含硫物只有在空气给它带去的可燃气体的帮助下才能燃烧”。小动物放在密闭的器皿中会死去，如果在里面放上一支燃着的蜡烛，这个小动物就死得更快。“事情看来很清楚，动物把空气中某些生命必需的质点用尽了，……空气中含有生命所绝对必需的某种成分，这种成分在呼吸时进入血液里去。”他追随劳尔之后推断这种成分就是“硝气精”，它与“血中的盐硫质点结合起来就使血发热”。这一切健全的研究成果后来被人遗忘了，直到一百年以后方由拉瓦锡重新发现。

洛厄还把一个动物的血输入到另一个动物的静脉里去，雷恩(Wren)也进行过这个实验。洛厄还和威利斯(Willis)一起进行过脑神经的解剖研究。这样，我们的话题就转到大脑和神经系统的生理学在当代的发展上来了。

维萨留斯接受了当时流行的意见，认为食物在肝里获得了“天然元气”，到了心脏里天然元气变为“生命元气”，在大脑中成为“动物元气”，“动物元气是最活泼最精微的东西，事实上就是一种性质，而不是实在的东西。一方面，大脑利用这种元气来发挥主要灵魂的作用，另一方面它又不断地利用神经把这种元气分布给感官与运动的工具。”他指出把某个神经切断或紧缚，就可以使某个肌肉不起作用。

“但是”，他说，“大脑怎样能执行它的想象、推理，思想与记忆的功能……我一点也不知道。我也不相信利用解剖或某些神学家的方法可以有更多的发现，这些神学家认为禽兽根本就没有推理的能力，事实上根本就没有我们所谓的主要灵魂的各种能力。可是就脑的结构来说，猴、犬、马、猫以及我检查过的一切四足动物，乃至鸟和许多鱼类，它们的脑差不多在每一特点上，都和人脑相似。”

另一方面，范·赫耳蒙特却认为植物与禽兽没有灵魂，它们只有“某种生命力……这是灵魂的前驱”。在人类，有感觉的灵魂是一切身体功能的总管。它通过它的奴仆“生基”(Qrchai)而工作，这些生基又利用与酿酒所用的酵母相类的东西直接作用于身体的各种器官。灵魂住在胃的生基里，好象光存在在燃着的烛里一样。有感觉的灵魂是要死的，但与不死的心灵同存在于人身。范·赫耳蒙特是一位优秀的化学家，但他的恩辨的生理学不可能增进知识。

他所想象的“有感觉的灵魂”与“不死的心灵”，和“动物元气”迥然不同，而相当于我们现在所说的神经组织的活动。哲学家笛卡尔所说的“理性的灵魂”也是这样。以后我们还要更充分地说明，正是由于把两者区别开来，笛卡尔才能够接受并利用关于神经现象的最严格的机械概念。

同时西耳维斯把通过化学实验得来的知识应用到生理学上去。他和范·赫

耳蒙特一样，把活的人体内发生的许多变化看做是发酵作用。但范·赫耳蒙特以为发酵是由于一些微妙的作用力，其效果与一般化学变化完全不同，西耳维斯则否认这一区别。在他看来，生理的发酵和把酸倾注到白垩上时所发生的沸腾现象是同类的。所以他和范·赫耳蒙特的唯灵论的见解相反，主张从化学的观点去研究生理学。因此。他和他的学生能够在消化器官的研究上得到有益的进展，不过，这种观点在当时对于阐明神经现象却不能够有很大的帮助。

事实上，脑和神经系统的生理学在十八世纪以前就很少进步。

1669年，斯坦森（Stensen）对于早期的思辨提出的批评是再好也不过了。他指出脑的解剖有很大的用难而且还缺乏健全的解剖知识，他跟着说：

很多很多的人以为一切都很清楚了。这些人信心十足，信口雌黄，制造并发表了关于大脑及其某些部分的用处的故事，而且讲得煞有其事，仿佛他们亲眼看见这样一部值得称赞的机器的结构，并且探得了伟大造物者的秘密似的。

斯坦森自己的贡献，比他所讽刺的哲学家和医生都要多些。他根据解剖所得的结果，提出了一个极富于启发性的见解，成为十九世纪最后几十年的某些发现的先声：

如果我现在所说的白色物质的确完全是（从大多数地方看它好象是）纤维性的组织，我们就必须承认这些纤维是按照一定的图案排列起来的，不同的感觉与运动毫无疑问就决定于这种排列。

## 植物学

植物药品在医闻上的应用，引起人们研究植物的兴趣，这门科学原来是寺院花园内传统学问的一个问门。中世纪的象征主义迟迟不愿放松对植物学的控制。在植物学中，这种象征主义以“表征”理论的姿态出现，认为植物的叶的形状或花的颜色都是造物者给这种植物指定的用途的标记。

文艺复兴以后，生活更加有了保险，财富也增加了，艺术感情也发达起来，人们也就纷纷设立起私家花园和菜园，更加普遍地种植起花草树木菜蔬来了。因此，一半由于药草的需要，一半由于对自然界的好奇心，以及更加爱好颜色和美，在十六世纪里，植物知识有了很大发展。

植物园于1545年先后在帕多瓦、比萨、莱登（Leyden）等地相继设立，由探险家和冒险家带回的罕见花木都保存和培植在那里。医学界不久就有了自己的药圃及药品蒸馏所。每个药剂师协会都124有自己的药圃，其中之一就是1676年前后伦敦药剂师协会所设立药圃，现时还存在于切尔西（Chelsea）。

中世纪植物学家——如大阿尔伯特与鲁菲纳斯——的工作，久已被人遗忘，现在还得从头来。首先撇开古代著作中的描写，而根据自己的观察对自然界作准确描写的是科达斯（Valerius Cordus，1515—1544年）。大致就在这时候，开始出现一些“本草书”，这些本草书主要是根据第奥斯科理德的著作写成的，其中叙述了一些植物与其医学性质和烹调性质。在有些书内，图画与正文颇有出入，后期出版的常常比较准确。1551至1568年威廉·特内尔（William Turner）发表了一种本草书，1597年，约翰·热拉

尔 (John Gerard) 发表了另外一种本草书, 但不那么精确。特内尔是一位早期的田野博物学家; 热拉尔后来做了伯利 (Burghley) 勋爵的斯坦福德城新宅花园的管理人。

### 科尔切斯特的吉尔伯特

科尔切斯特的吉尔伯特 (William Gilbert of Colchester, 1540 - 1603 年) 使用了实验的方法。

吉尔伯特他是剑桥大学圣约翰学院的研究生, 皇家医学院的院长。在《磁石》一书中, 他搜集了当时有关磁与电的知识, 并加入他自己的观察结果。磁针似乎是在十一世纪末由中国人首先发现的。此后不久, 由穆斯林海员应用于航海, 到十二世纪磁针便流行于欧洲了。十三世纪帕雷格伦纳斯 (Peter Peregrinus) 对磁针作过观察, 但被人遗忘了。

吉尔伯特研究了磁石之间的吸引力并证明磁针自由悬挂时, 不但象在航海罗针中那样大致指着南北, 而且在英国, 它的北极还略向下倾, 其倾角则随纬度而不同。这种磁倾现象在 1590 年左右也为仪器制造者诺尔曼 (Norman) 所发现。吉尔伯特指出他的结果对于航海有很大重要性, 并且根据他对磁针方向的实验, 断定地球本身的作用必然象一个大磁石, 它的两极与地理上的两极接近, 但不完全重合。磁石方向或磁偏角随时间的变化, 稍后 (1622 年) 为冈特尔 (Edmund Gunter) 所发现, 他查出在 42 年内改变了 5 度。吉尔伯特说, 一个均匀磁石的磁力强度和磁场与其质量成正比例。这好象是第一次认识到质量, 而不提重量, 质量的概念很可能是这样传给刻卜勒和伽利略, 并由他们传给牛顿的。

吉尔伯特还研究了有些物体如琥珀磨擦时所产生的力。他根据希腊词 (琥珀) 创立了 electricity (电) 这个名称。为了测量这些力的大小; 他用一根轻的金属针, 平衡在一点上, 并增加已知物体的数目以便看出其效果。除了实验之外他还对磁与电的原因提出一些思辨性的见解。他以为磁石具有象灵魂那样的东西, 而地球的灵魂即是磁力。他从希腊哲学借来以太——即作物质的影响——的观念, 认为这种影响是带磁或电的物质作为“磁素”发出来的, 它能包罗邻近的物体, 并把它们拖向自身。他还把这个观念扩大用来解释重力, 即把石头拖向地面的力。他又半神秘地把这个观念应用到太阳和行星的运行上去。他认为每个球体都有一个特殊的精神在里面, 并弥漫于四周, 行星的轨道及宇宙的秩序, 就是由这些精神的彼此作用而决定的。他接受了地球绕自己的轴而自转的见解, 这个他也用磁力来解释; 但他却不相信地球围绕太阳运行。

吉尔伯特是伊丽莎白和詹姆斯一世的御医; 事实上女王还奖给他以年金, 使他有闲暇进行研究。这是英国王室很早就重视科学实验的一个显著例子。培根在他的《新工具》里提到了吉尔伯特的工作, 认为这是他所鼓吹的实验方法的一个例子。

### 弗兰西斯·培根

弗兰西斯·培根 (Francis Bacon, 1561—1626 年) 是英国的国务大臣。他深感经院哲学不能增进人类对于自然的知识与支配自然的能力, 且看出亚里斯多德的“最后因”于科学毫不相干, 于是就着手去研究一种新的实验方法理论。为了“把人类的能力和伟大气魄的界限推到更远的地方”, 他规划出一条可以更有把握地朝征服自然的方向前进的道路。他认为只要记录下一切可以得到的事实, 进行了一切可能进行的观察和一切可行的实验, 然后再按照他表述得还不十分完善的规则, 把结果汇集起来编成表格, 就可以看出现象间的关系, 而且也可以差不多自然而然地找到表达这些关系的法则。

这个方法的缺点是很明显的, 批评它也是很容易的。因为要 126 观察的现象太多了, 要做的实验也太多了, 因此, 科学的进步很少是用纯粹的培根方法去完成的。在早期阶段, 洞察力与想象必定先发生作用; 然后根据事实形成一个初步的假说, 这个心理过程就叫做归纳; 然后再用数学的或逻辑的推理演绎出实际的推论, 并用观察或实验加以检验。如果假说与实验的结果不相符合, 我们必定要重新猜度, 形成第二个假说, 如此继续下去直到最后得到一个假说, 不但符合于 (或如我们常说的能够“解释”) 最初的事实, 而且符合于为了检验这个假说而进行的实验的一切结果。这个假说于是可升格到理论的地位, 它可以把知识连贯起来或使之简单化, 也许在许多年内都有用。一个理论很少是符合事实的唯一可能的理论。这不过是一个概然性的问题罢了。事实上, 随着新知识的增加, 事实本身愈来愈增多, 愈来愈复杂, 于是理论可能就必须加以修改, 甚至由更合于后来扩大了的眼界的理论所取代。

除波义耳外, 培根对于实际从事实验科学的人似乎没有影响, 或很少有什么影响。可是他在提高学术界对于当代科学问题的考虑方面, 却不无功劳。世界上出现过不少的哲学, 但并没有相应的事实记录, 可以用来对这些哲学加以检验。所以, 在培根眼中确实可靠的事实是当时迫切为需要。这是很正确的。培根自己在实验领域中, 对于认识自然并没有什么显著的或成功的贡献, 他的理论和科学方法在范围方面也是野心过大了, 在实践方面, 也是根据太不足了。但是, 他是首先考虑归纳科学的哲学根据的人, 对于十八世纪法国百科全书派学者有根深的影响。他凭着自觉的力量与政治家的辩才所提出的见解远远超过他的时代。经院哲学不但过时而且陈腐了, 哲学思想界正在震动, 期待着变化, 就在这时, 培根指出了一条更广泛地更正确地认识自然界的大致上正确的康庄大道。

## 刻卜勒

哥白尼的学说在天文学上引起了一场革命, 事实上在一般科学思想上, 也引起一场革命。不过哥白尼主要是数学家, 对于自然知识没有增加好多新的事实。把行星运动的详细情况更精确地记录下来的第一位天文学家, 要算是哥本哈根的第谷·布拉埃 127 (Tycho Brahe, 1546—1601 年)。他并没有采取哥白尼的全部体系, 而认为太阳围绕地球运行, 而行星则围绕太阳运行。他经过几次迁徙, 终于定居在布拉格, 并得着约翰·刻卜勒 (John Kepler, 1571—1630 年) 参加他的工作, 后来就把他的极其珍贵的资料遗留给刻卜勒。人们常认为刻卜勒的成绩在于归纳出和证明了行星运动的三个命题或“定律”, 这三个定律以后成了牛顿天文学的基础。如果我们只研究纳入牛顿科

学中的成果，一方面就给刻卜勒的形像涂上太现代的色彩，另一方面也忽视了他的心理态度的历史渊源。在哥白尼工作后面，我们可以看见毕达哥拉斯和柏拉图的影响；在刻卜勒的著作中，它们显然表现于他们的数学方法上。

刻卜勒的正式职业主要是编辑当时流行的占星历书。虽然他以讽刺的口吻提到过这个利润丰厚的职业对于天文学家的价值，可是他却是一位占星术的信徒。同时他确是一位杰出的、热心的数学家；他之所以相信哥白尼体系正是由于哥白尼体系具有更大的数学的简单性与谐和的缘故。他说：“我从灵魂的最深处证明它是真实的，我以难于相信的欢乐心情去欣赏它的美。”哥白尼对太阳赞美不置，刻卜勒更是变本加厉，他把太阳看做是圣父，把恒星的天球看做是圣子，把居于其间的以太——他认为太阳的能力是通过以太推动行星在其轨道上运行的——看做是圣灵。

刻卜勒深信上帝是依照完美的数的原则创造世界的，所以根本性的数学谐和，即所谓天体的音乐，乃是行星运动的真实的可以发现的原因。这是鼓舞刻卜勒辛勤工作的真正动力。他并不是象一般人所想象的，在乏味地寻求牛顿后来加以合理解释的经验规则。他所追求的是最后因：即造物主心中的数学的和谐。

亚里斯多德认为物质的终极本质在于不能再分解的质的特征，所以如果一棵树使观察者眼中产生绿色的感觉，对观察者来说，它的实在和本质就在于绿这种特性。但在刻卜勒看来，知识必须是定量的特性或关系，所以量或数才是物的根本基础，比其他一切范畴更在先，更重要。

以刻卜勒定律的名称在科学中保留下来的三条概括的归纳 128 是：（1）行星运行的轨道是椭圆，太阳在其一个焦点处；（2）太阳中心与行星中心间的连线在轨道上所扫过的面积与时间成正比例；（3）行星在轨道上运行一周的时间的平方与其至太阳的平均距离的立方成正比例。在这三句简单的话中，刻卜勒把他的前代及同代天文学家所得到的关于行星运动的大量知识，加以总结并系统化了。

在这三个定律中，刻卜勒尤其喜欢第二个定律。既然每个行星都为“常在的神圣因”，即亚里斯多德的“不动的原动者”所驱策，它们应该以匀速运行。根据事实，这个观念是非放弃不可了。但刻卜勒仍然把线段的均匀改为面积的均匀，从而“挽救了这个原则”，在他看来这不过是哥白尼学说揭示出来的许多数学关系中的三个吧了。

给予他更大欣喜的另外一个发现，是第二种关系，即距离方面的关系。如果在包容土星轨道的天球里内接一个正六面体的话，木星的天球就恰好外切于这个六面体。如果把一个正四面体内接于木星的天球之中的话，火星的天球就恰好与这个正四面体外切。如此类推，五个正多面体和六个行星，都是这样。这个关系只是大致不错，而且新行星的发现已经摧毁了它的基础，但它给予刻卜勒的快乐比以他的姓命名的三个定律还要大些。在他看来这是天体音乐的新和声，事实上，这就是行星距离所以如此的真正因。因为在他看来，也正象在柏拉图看来一样，上帝总是在运用几何学。

回到数的神秘学说，竟然会使哥白尼和刻卜勒建立这样一个体系，它通过伽利略与牛顿，把我们直接送到十八世纪法国百科全书派和十九世纪德国唯物主义者的机械哲学那里去，这真可以算是历史的揶揄之一。

## 伽利略

文艺复兴以后，在人心中沸腾着的某些伟大思想，终于在伽利略（Galileo Galilei，1564—1642年）的划时代的工作中，得到实际的结果。列奥纳多在他所考虑过的无数题目中，已经预兆了现代科学精神。哥白尼在思想世界发起了一场革命。吉尔伯特说明了实验方法怎样可以增加知识。但在伽利略身上，新精神比前人更进了一步。他在青年时代信仰亚里斯多德，成年以后就不再相信亚里斯多德的学说，而把握了新的原则；他了解在现代的研究中需要集中精力，因此，他就比较完备而有条理地研究了一些仔细选择的狭窄问题，而不象无所不能的天才列奥纳多那样把精力分散在许多科目上。哥白尼的天文学是根据数学简单性这一“先验”原则建立起来的，伽利略却用望远镜去加以实际的检验。最重要的是，他把吉尔伯特的实验方法和归纳方法与数学的演绎方法结合起来，因而发现、并建立了物理科学的真正方法。

伽利略真可算是第一位近代人物；我们读他的著作，本能地感觉畅快；我们知道他已经达到了至今还在应用的物理科学方法。过去，人们总是先采纳一个完备的和自圆其说的知识体系，中世纪新柏拉图主义和经院哲学都有这样的特色，现在，伽利略放弃了这种方法。事实不再是从权威的和理性的综合中推演出来的了，也不必再符合于这种权威的和理性的综合了，象在经院哲学中那样；事实甚至不再是靠这种综合来取得意义了，象在刻卜勒的头脑中那样。由观察或实验得来的每个事实及其直接的和不可避免的推论都按照本来面目被人接受，不管人们怎样想把自然界一下子收服在理性的管辖之下。许多孤立的事实的协和是慢慢显露出来的，围绕着每个事实的窄小的知识范围，零散地发生接触，也许就融合成一个较大的范围。可是，要把所有的科学的和哲学的知识融合成一个更高的、统摄一切的统一体，即使还不是绝不可能的，也须推迟到遥远的将来。中世纪经院哲学是理性的：现代科学在本质上是经验的。前者崇拜人的理性，在权威规定的界限内活动；后者接受无情的事实，不管它是否合于理性。

伽利略首先发明温度计。这是一根玻璃管，顶端有一个空气泡，开口端则浸没于水内，1609年他听人说一位荷兰人发明了一种能把远处物体放大的镜子。伽利略就根据他对光的折射的知识，立刻制成一个同样的仪器，而且很快就制出一个相当好的仪器，能将物体的直径放大三十倍。从此，新发现立刻接踵而来。月球的表面，哲学家从来就认为是完全平滑而无瑕疵的，现在看出盖满了130斑点，说明有崎岖的山脉和荒凉的山谷。从前所看不见的无数星星，现在也闪烁在眼前了；自古以来不可解的银河问题，现在也得到解答了。人们现在看见，木星在它的轨道上伴随有四个卫星，并有其可量度的周期；这是地球和月球象哥白尼所说的那样围绕太阳运行的模型，只不过更加复杂和可以看见而已。帕多瓦的哲学教授不愿意去看一看伽利略的望远镜，而他的比萨同事们则在大公爵面前竭力想用逻辑的论据证明，“他仿佛

---

A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, Cambridge, 1927.

Galileo Galilei, *The Sidereal Messenger*, Venice, 1610, quoted in *Revolutions in the Literature of Science*, Cambridge 1924.

是靠了巫术的符咒似的，把新行星从天空咒了出来”。

靠了望远镜的帮助，伽利略用人人可以复按的事实证明了天文学的新学说，而在那时以前天文学的学说是仅仅建立在先验的数学简单性的根据上的。差不多和伽利略同时，英国数学家，在把代数学改进为现代形式方面有很大贡献的哈里奥特（Thomas Harriot），也用一具望远镜观察了月球与木星的卫星，不过他生前没有把他的发现刊布出来。

伽利略的主要的和最具独创性的工作是为动力学奠定了基础。这时，静力学方面已经有一些进步，布鲁日的史特芬即史特维纳斯（1586年）尤其有贡献，他在斜面 and 力的合成，以及流体静力学的水压方面都做了一些工作，可是人们关于运动的观念，仍然是未曾受过训练的观察和亚里斯多德理论拼凑而成的大杂烩。物体被认为有所谓本质的重或轻，并且用和自身的轻重成比例的速度下降或上升，因为它们以不同的力量，“寻找它们天然的位置”。

1590年左右，史特芬与德·格鲁特（de Groot）在德尔夫特（Delft）

证明轻重两物同时坠落，则同时到达地面。伽利略也许重做了这个实验（好象不是在比萨斜塔上），因为他早说过炮弹并不比枪弹落得更快。

哥白尼与刻卜勒证明地球与其他行星的运动可以用数学方式表达。伽利略觉得地球的各部分在“局部运动”中也是按数学方式运动的。于是他想要发现的不是物体为什么降落，而是怎样降落，即是依照怎样的数学关系而降落：这是科学方法上的一个大发展。

物体以不断增加的速度降落。这种增加的定律是怎样的？伽利略的第一个假设，就本身言是很合理的。这个假设认为速度与降落距离成比例。但这个假设含有一个矛盾，于是他试用另一个假设，即速度与降落的时间成比例。这个假设经证明没有什么困难，于是伽利略演绎出它的结论，并和实验的结果比较。

物体自由降落时速度太大，用当时已有的仪器不易量度，更难得到精确的结果，所以须将这个速度减少到便利的限度以内。伽利略起先认为物体沿斜面降落所得到的速度，与垂直降落同一距离所得到的速度一样。他于是用斜面实验，并发现他量度的结果与根据下列假设及其数学推论计算出的结果相符。这个假设就是：速度与降落的时间成比例；这个假设的数学的推论是：物体降落经过的空间按时间的平方而增加。他还再度发现另外一个事实：摆的振荡周期与摆幅无关（小摆动时）；可见在等时间内重力以等量增加摆锤的速度。

伽利略还发现：如果摩擦力小到可以忽略时，球滚下一个斜面之后，可以滚上另一个斜面直到和出发点一样高的地方，而与斜面的倾斜度无关。如果第二面是水平的，这个球将以恒速在这面上不断地向前跑去。

---

Dichionary of National Biography.

E.N.da C. Andrade, Science in the Setienfeenth Century, 1938; E.Mach, Die Mechanik ininhrer Entwicklung 1883, TL McConmack, London, 1902.

Whewell,上引书 卷 46 页; G.Sattoll, Isis, No. 61, 1934, P. 244.

E.N.Dda C. Andrade, quoting Wohlwill, Galilei (vol.I,Hamburg, 1909); Gerland, Geschichte der Physik,1913; Isis, 1935, P. 164; Nature 4Jan. 1936.

伽利略的证明是不能令人满意的，但帕布罗德（Broad）所指出的，从静止开始。物体不能有速度，除非已经落了一段距离，而且不能降落一段距离，除非已经获得一点速度。

除了希腊的原子论者与少数的现代人如列奥纳多和邦内德提（Benedetti, 1585 年）之外，人们一向假定每个运动都须有继续不断的力去维持它。行星必须有亚里斯多德的“不动的原动者”或刻卜勒的太阳经过以太的作用，来维持它们的运行。但经过伽利略的研究，人们才明白：需要外力的不是运动，而是运动的产生或停止或运动方向的改变。物质既然具有惯性，行星系一旦开始运动，就不需要力去维持行星的运动；虽然必须找到一个原因去解释它们为什么不断地离开直线路径，而在围绕太阳的轨道上运行。在此以前就是正确地提出这个问题也不可能，但现在解决的途径已打开了，而解决的人就在眼前，因为牛顿就出生在 1642 年，即伽利略死去的那一年。

伽利略在动力学上还有另外一个重要的发现。在他以前抛射体的路径，已经是一个猜测纷纭的问题。伽利略看出抛射体的运动可以分析为两个成份：一个在水平向，速度恒定不变，一个在垂直向，遵循落体的定律。这两个分量综合之后，即得路径为抛物线。

伽利略的哲学思想，一方面接近刻卜勒。另一方面接近牛顿。和刻卜勒一样，他要寻找自然现象间的数学关系，但他所找的不是神秘的原因，而是要了解支配自然变化的永恒定律，不管“自然的理由是人类所能了解或不能了解的”。

由此可见伽利略已经远远离开了经院派以人为中心的哲学。在这哲学里，整个自然界都是为人而创造的。但是，在伽利略看来，上帝把这种严格的数学必然性赋予自然，而后通过自然，创造“人类的理解力，使人类的理解力在付出了极大的努力之后，可以探寻出一点自然的秘密”。

欧几里得与其前人把几何学归到数学的领域。希帕克、哥白尼与刻卜勒表明天文学可以归结为几何学。伽利略也同样地对待地上的动力学，把它变为数学的一个部门。要从构成一种新科学的题材的观察到的一团混乱的现象和一团混乱的模糊的观念中，创造出一种新科学，第一步总是要抓着可给以确切界晓的几个概念，这种界说至少应在一个时期内是有效的：如果可能的话，这种界说应使我们可以对这些概念给予数学上的量的处理。为了要把他的落体的加速度问题变成可研究的问题，伽利略首先将古来关于距离与时间的概念给予确切的数学形式。亚里斯多德与经院哲学家的主要兴趣在于最后因，他们认为地上的运动和天文学上的天体运动并不相似，而是形而上学的一个分支。于是他们就借助作用、动因、目的、自然位置等含糊观念，从本质的角度去分析运动，关于运动本身，他们很少说到或想到，而只是举出了运动的几种区别，如自然的运动与剧烈的运动的区别，直线运动与圆运动的 133 区别等。在伽利略看来，这些都是无用的，他所要研究的不是运动为什么发生而是怎样发生。定性的方法使得空间与时间在亚里斯多德思想中成为某些不重要的范畴。伽利略使得时间和空间在物理科学中具有了本原而根本的性质，自此以后时间和空间就始终在物理科学中具有这种性质。他和别的人还认识到，在惯性里除了重量之外，还有某一个量。但质量的确切定义是牛顿首先提出的，至于能量的概念，则到十九世纪中叶，才形成并得到定义。

虽然如此，伽利略毕竟在数学的动力学方面迈出了最初的、也是最难的一步，这就是从经院哲学在分析变化和运动时所采用的模糊的目的论范畴，

跳到关于时间和空间的确定的数学观念。贝尔特教授认为我们现今的许多哲学困难都是由这一步骤带来的。我们或许可以回答说，这一步骤揭露并澄清了亚里斯多德物理学所掩盖起来的许多困难。总之，一件事是确定的：如果没有伽利略的新眼光、动力科学是不会有那样的发展的。如果他的某些继起者把这门学科和形而上学的实在问题的关系估计得过高，那并不是伽利略的过错。事实上对于只有根据轻率的推测才能解答或者只能由哲学体系演绎出来的问题，他宁愿承认无知，耐心等待。他承认他对于力的本性，重力的原因，宇宙的起源，毫无所知。他认为，与其夸大胡说，不如“宣布那个聪明的、智巧的、谦逊的警句：‘我不知道’”。

也许在物理学的其他部门的哲理问题上，伽利略也和前人有同样重要的不同。刻卜勒承认物体的第一性的质（或不可分离的性质）与第二性的质（或不甚实在与不甚根本的性质）的差别。伽利略更进一步，认为第二性的质不过是感官上的主观效应，和不可与物体分离的第一性的质迥然不同。在这里，他与古代原子论者是一致的，这是因为原子论者的哲学在不久以前又复活了。伽利略说：

当我设想一件物质或一个有形体的物质时，我立刻觉得我必须设想按它的本性，它是有界限、有形状的，和旁的东西比较起来是大还是小，处在什么地方和什么时间，在运动还是静止，与其他物体接触还是分离，是单个、少数还是多数，总之，无论怎样，我不能想象一种物体不具有这些条件。但关于自或红，苦或甜，有声或无声，香或臭，我却不觉得我的心被迫承认这些情况是 134 与物体一定有关系的：如果感官不传达，也许推理与想象始终不会达到这些。所以我想物体方面的这些味、臭、色等，好象真的存在在物体中，其实只不过是名称而已，仅仅存在于有感觉的肉体中：因此，如果把动物拿走，一切这样的质也就消除了，或消灭了。

伽利略就接着这一思路重新发现了德谟克利特用原子和虚空言简意赅地表述出来的那条原理。伽利略还接受了关于物质的原子说，并且相当详细地讨论了原子在数目、重量、形状和速度方面的差别，怎样造成味道、气味或声音方面的差别。

在这里，伽利略也离开了他的同代人心目中的自然界的画面。在普通人看来，色、声、味、臭、热、冷等特性是非常实在的，在伽利略看来，这些特性只不过是观察者心目中的感觉而已，是原子的排列或运动引起的，而原子的排列或运动本身又服从于不变的数学上的必然性。至少在他看来，原子尽管是大自然的奴隶，却是实在的，而第二性的质只不过是感官的幻影而已。一世纪以后，贝克莱主教又提出：归根结蒂，第一性的质同样也只不过是建立在感官知觉基础上的心理概念而已。

伽利略对这些问题的处理方法受到人们的责备，因此，有些二无论的和唯物主义的哲学十分肯定地是由这里产生出来的。这样做的结果也许就和法国百科全书派陷入同样的错误中：把一门科学同整个科学的关系，把整个科学同形而上学的实在问题的关系，弄错了。不过，我们将在本书后面的几章中再对这些问题作比较详细的论述。

---

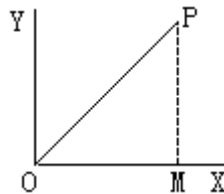
Burt, loc.cit.p. 75。

参看上文，P. 23。

## 从笛卡尔到波义耳

和伽利略同时代但比较年轻的笛卡尔（Rene Descartes, 1596—1650年），为现代批判哲学奠定了基础，并发明了一些在物理科学上有用的新的数学方法，他生于法国都兰城（Touraine）的半贵族的家庭里，并在拉弗勒希（La Flèche）从耶稣会教士学习，但他的主要工作却完成于旅居荷兰的二十年内。他在服务于克里斯蒂娜（Christina）女王时死于斯德哥尔摩。

笛卡尔证明在公认的哲学观念下面还有许多没有得到证实的假定。他抛弃了根据希腊哲学和教父理论建立起来的、在当时仍然有力的中世纪积累下来的思想，而企图仅仅根据人的意识与经验，建立一种新的哲学，这个哲学的范围从对于上帝的直接的心理领悟一直到物质世界的观察与实验。可是经院哲学的痕迹仍然留在他的意识里。在数学上笛卡尔大大前进一步，把代数的方法应用于几何学（不谋而合的还有费马（Fermat），从而发展了在印度、希腊与阿拉伯都可以找到的、并为现代人，特别是维埃特（Viète）加以推进的一些见解。在此以前每一几何学的问题都须应用新的技巧去解决，但笛卡尔提出了一个方法，打破了孤立处理的局面。坐标几何学（即解析几何学）的基本观念是很容易说明的，从一定点（或原点） $O$  作互相正交的两直线  $OX$  与  $OY$ 。这两条线可用为轴线，它们所定的平面上任何一点  $P$  的位置，可以其距离一轴的长度  $OM$  或  $x$  和距离另一轴的长度  $PM$  或  $y$  而决定之。 $x$  与  $y$  两长度称为  $P$  点的坐标， $x$  与  $y$  之间的各种关系相当于图中平面上的各种曲线。例如设  $y$  与  $x$  成正比而增加，换言之即  $y$  等于  $x$  乘一常数，在图上合于这关系之点便是象  $OP$  那样的一条直线。又如设  $y$  等于  $x^2$  乘一常数，我们便得到一条抛物线……。这样的方程式可以用代数学处理，而其结果则可用几何学解释。有了这个方法，许多物理学的问题，从前不能或不易解决的，现在都可以解决了。牛顿就研究过笛卡尔的几何学著作，并使用了他的方法。



笛卡尔指出了力所做的功（即现代人所说的能量）的重要性。他认为物理学可以归结为机械学，他甚至把人体看做与机器是相类似的。他接受了哈维关于血液在动静脉里循环的理论，并在当时的争论中为这个理论辩护，但他不相信血液是在心脏的收缩的推动下循环的。他和中世纪人及费内尔一样，认为人体机器所以能继续作功，是靠了自然过程在心脏里所产生的热。所以在他看来，灵魂（有理性的灵魂）与它所居住而且控制的肉体（地上的机器）完全不同。他赞成盖伦的学说，以为血在脑中产生“一种极微妙的气或风”，叫做“动物元气”。但他和范·赫耳蒙特一样，不把“动物元气”看做灵魂，虽然有了这种元气，脑才能接受灵魂的印象和外界物体的印象，然后这种元气就由脑通过神经，而达于肌肉，使四肢活动。

这样，笛卡尔就第一个提出了彻底的二无论，这种把灵魂与肉体，心与物鲜明地区别开来的学说，后来成为极普遍的信仰和极重要的哲学。他以前的人们和他以后的许多人还认为灵魂与火或气具有同样的性质，而物与心的分别与其说是种类上的分别，不如说是程度上的分别。

笛卡尔企图把地上的力学的已知原则应用于天体现象，在这里，和他的主要的哲学观点相反，他的处理方法，似乎建立在希腊人和经院派的矛盾观上。他把物质世界和精神世界对立起来，精神是属于人的，不相连续的；因此，物质必定是不属于人的，连续的，而其本质则必定是广延。物质宇宙必然是一个致密无间的充实体。在这样一个世界中只有物物相触才能产生运动，因而运动只能发生于闭合路程之中；不存在物体可以通过的真空。由此，笛卡尔建立了有名的关于一种本原物质，或看不见但充满空间的以太的漩涡学说。石头向地球降落，卫星被行星吸引，而地球与行星又带着它们周围的附属的漩涡，沿着更大的漩涡围绕太阳旋转，正如一根浮在水面的麦草，为水的涡流所捉住，被带向运动的中心一样。

后来牛顿用数学证明笛卡尔的漩涡的性质与观测不合。例如漩涡各部分的周期必定与高中心的距离形成二乘比。如果带有自己的漩涡的行星，又被带着在太阳的漩涡中运行，这种关系也必定有效。但这种关系与刻卜勒第三定律不相符合。前面讲过，这个定律说：周期的平方与平均距离的立方成正比。虽然如此，漩涡说在牛顿的研究成果发表以前（甚至以后），却盛行一时。这是一次想要把天体的大问题归结为力学的勇敢尝试，因此它才载入科学思想史。它把物质宇宙看做是一个可以用数学方式去解释的巨大机器，虽然牛顿后来证明，这种数学解释是不精确的。

在当代人看来，笛卡尔的由接触而生运动的漩涡，从机械观点来看，比伽利略所想象、后来由牛顿加以系统解释的通过超距作用而产生加速度的力，容易了解得多，因为这两人没有对这些力的成因或其作用的方式有所说明。

笛卡尔的机器，与当时尚在盛行的柏拉图、亚里斯多德和经院哲学家的见解根本不同。照他们的见解，上帝创造世界，是为了通过高出万物的人类，使整个过程重新回到上帝那里去。在笛卡尔体系中，上帝在一开头的时候把运动赋予宇宙，以后即听其自然进行，虽然也得照了上帝的旨意。他认为这个宇宙是物质的而非精神的，无目的的而非有目的的。上帝不再是最高的善，而被贬到第一因的地位上去了。

笛卡尔和伽利略一样，认为物体的第一性的质是数学的实在，其中最重要的是广延性，第二性的质只是第一性的质经过人类感官的翻译。但思想与物质是同样实在的——“我思故我在”（*cogito ergo sum*）。因此笛卡尔达到一种明确的二元论。这从他的生理学中也可以看出。一方面有肉体的世界；它的本质是广延，另一方面则有内在的思想王国：广延与思想相对立。在笛卡尔看来，物是真正死的东西，除了开始时从上帝得到的运动之外，物不能再有其他活动。有些人自称为唯物主义者，分析起来实在是泛神论者，笛卡尔在他的二元论的一个方面，才是真正哲学上的唯物主义者，因为在他的观念中，物的质点绝对不带一点生命。

笛卡尔的二元论提出了两个在表面上没有关系的东西——心与物——的相互关系问题。这个无广延性、非物质的的心怎样能够知道有广延性的物质世界，且使其发生变化呢？物质的物怎么能引起非物质的感觉呢？笛卡尔和他

的门徒的答案实际上是说上帝使然；在信仰二元论的人看来这个答案实在大有道理在。

牛津的亚里斯多德派学说受到格兰维尔 (Joseph Glanvill) 的批判。他拥护培根和笛卡尔的见解。笛卡尔的哲学受到很大欢迎，尤其是在大陆上。但他的体系受到霍布斯 (Thomas Hobbes, 1588—1679 年) 的批评。霍布斯在见到伽利略以后，就把动力科学发展成为一种机械哲学。他不了解数理力学的确切方法，以为它可应用于一切的存在。他抛弃笛卡尔的二元论：脑是思想的器官，运动中的物质是唯一的实在。不是由于忽略了困难便是由于没有看到困难，霍布斯把感觉、思想与意识都看做是原子在脑中活动所产生的幻象。

霍布斯是现代第一个伟大的机械哲学的代表。他受到许多愚昧的诽谤和有见识的批评。剑桥的柏拉图派指出把广延性及其各种形式当做物体的唯一实在性质的理论，不能解释生命与思想，他们企图通过把空间神化来调和宗教与机械哲学。马勒伯朗士 (Malebranche) 更进了一步。他把无限空间与神视为一体，用无限空间来代替亚里斯多德的纯粹形式或绝对现实性。斯宾诺莎 (Spinoza) 持有一种无限实体的理论，一切有限的存在都是无限实体的形式与限度。于是神成为无矛盾的宇宙的内在因，而笛卡尔的心物二元论，从“永恒方面”来看，也就归结为较高的统一了。哲学家们就这样请出了上帝，而逃避了他们的困难。虽然如此，霍布斯对于科学思想仍然产生了影响。

迪格比 (Kenelm Digby) 爵士对亚里斯多德的本质特性加以嘲笑，他和伽利略一样，认为一切现象都应该用“局部运动”中的质点去解释。牛顿的老师巴罗 (Isaac Barrow, 1630—1677 年) 还对伽利略的数理物理学的含义加以阐释。科学的目的在于研究可感觉的领域，特别是在它表现出量的连续性的时候，而数学则是量度的技术。因此物理学，作为一种科学看，完全是数学性的。数学的最好代表是几何学。重量、力与时间等自伽利略以来变得很重要的量，很难和物体是有广延性的东西的概念联系起来，如果用运动去界定并测量时间，我们就有陷入一种逻辑上的循环论证的危险，因为运动的变率包含有时间的概念。可是巴罗说空间与时间是绝对的、无限的和永恒的，因为上帝是无所不在与永久长存的。空间连续延展而无限度，时间永远均匀地流动，而与可感觉的运动无关。这是对于牛顿所持有的绝对时空观念的最早的明白陈述。巴罗所表达的时间和空间是和人们的知觉与认识无关的，除了与神有关之外，只靠自己的权利而存在。正如伯特教授所说：“自然从一个互相具有质的与目的的关系的物质的世界，一变而为在时空中作机械运动的物体的世界了”。虽然如此，巴罗、牛顿与他们的门徒并没有从他们的新的力学科学演绎出一种机械的反宗教的哲学。重新提出伊壁鸠鲁的原子理论的伽桑狄 (Gassendi) 也是一位职业的天主教教士。而且一位谦逊、和易、英国式的物理学家、化学家和哲学家波义耳还提出一个有益的警告，提醒人们注意世间一切并不是都可以用简单的数学方式来解释。

作为一位科学家，他继承了吉尔伯特与哈维的实验主义的传统，并接受

---

H.A. Wolfson, *The Philosophy of Spinoza*, Harvard, 1934; *Isis*, No. 64, 1935, P.543.

G. Windred, "The History of Mathematical Time", *Isis*, April 1933, NO.55, Vol..XIX(1), p.121.

Burt, 上引书 154 页。

了“我们的维鲁拉姆 (Verulam) 大男爵” 的实验方法。他寻找的是不必追求最后因——不管这些原因是经院哲学的还是数理力学的——直接就可以知觉到的各种性质之间的关系。解释一事实，只不过是把这事实从人们了解得比较清楚的另一件事推导出来而已。他尤其想这样地去研究通常事物的化学，而不联系当时流行的半神秘的化学元素理论。他认识到伽桑狄不久以前重新提出的原子理论的重要性，企图把这个理论和笛卡尔的空间要素调和起来，并且在他的化学思想与物理学中，利用这个理论来解释热的现象。

波义耳接受了（实际他也必须接受）认为“第二性的质”只是感觉的幻象的见解，但他正确地指出，毕竟“在这世界上，事实上还有某些有感觉、有理性的、我们叫做人的生物”。既然人带了他的感觉，构成宇宙的一部分，所以第二性的质与第一性的质是同样实在的。这里，波义耳从相反的方面，接触到贝克莱所得到的结果，而且他所使用的论据现在好象仍属有效。机械世界与思想世界都是哲学要对付的整个世界的两部分。为了要把问题放在人类理解力的范围内也许必须把这两个世界看做是完全分离的；但是这是由于我们需要从不同的方面对问题挨次加以处理，从而把问题简化。如果有一个比我们的心灵更高的心灵，也许就可以从整体上去凝视世界。

波义耳用宗教的术语来表达他的哲学。人的理性灵魂具有着神圣造物者的形象，是“一个比整个形体世界更高贵、更有价值的 140 存在”。上帝不但在开初创造了世界，而且要使世界存在与进展还不断地需要他的“普遍参与”。这是基督教的“内在论”同物质有关的一面，也是古印度与阿拉伯关于上帝不断创造万物的观念的部分复活。直接因是机械的，但最后因则非机械的。

作为一位物理学家，波义耳在胡克的帮助下，改进了 1654 年冯·盖里克 (von Guericke) 所发明的空气唧筒，并利用这个抽气机来研究“空气的弹力与重量”。他发现空气是有重量的物质，并证明一定量空气所占的体积与其所受的压力成反比例，这关系也不谋而合地为马里奥特 (Mariotte) 所发现。波义耳观察到空气压力对于水的沸点的影响；他搜集了许多有关电与磁的事实：他用密闭管改良了伽利略的温度计，并记录了健康人体不变的温度；他认识到热是“活跃的”分子活动的结果。作为一位化学家，他把混合物与化合物区别开来；他制出了磷，并且用器皿从水面上收集了氢气，可是他却说那是“重新制成的空气”；他从木材蒸馏的产物里得到丙酮与甲醇；他研究了晶体的形态，据此研究化学结构。

但波义耳对于当代一般观点的最大贡献在于他抛弃了经院哲学中残存的柏拉图和亚里斯多德的“理式”，抛弃了四“元素”的旧观念，并且抛弃了另一化学假说：物质的本质应该到盐、硫与汞等“原质”或“要素”中去寻找。他对这些术语赋予比较现代的意义，说明这些东西都不是真正的元素。

他的见解载于 1661 至 1679 年间发表的一部三人对话集中，书名为《怀疑的化学家：或化学与物理学上的疑点与矛盾，并及世俗炼金家用以证明盐、硫、汞为物的真正原质的实验》。波义耳的代言人用如下的话说明他的观点。

尽管我在逍遥派哲学家的书中遇到精微的推理，在化学家的实验室中看到美妙的实验，我的拙劣的天性总觉得，如果两方都拿不出比通常拿出的更为有力的论据来证明他们的说法的真实性的话，那么，人们对于混合物中

---

指弗兰西斯·培根，因为他的男爵封地是维鲁拉姆。——译注

的物质成分，那一些人要我们叫元素，另一些人要我们叫要素的东西，保留一些怀疑，是完全合理的。

141 波义耳指出，人们以为火可以把物体分解为元素，其实在不同的温度下所产生的效果是很不同的，常常产生一些显然也很复杂的新物体。黄金是不怕火的，绝不会产生盐、硫或汞，但可以和其他金属一起制成合金或溶解于王水，而且仍可恢复原形。这说明金的“颗粒”经过各种结合之后仍然不变，而且说明并没有出现亚里斯多德的元素或炼金家的原质。他于是提出一个谨慎的命题：“也许不妨姑且承认：我们可以把凝结物所提供或组成凝结物的那些互相截然有别的物质，叫做这些凝结物的元素或原质，而不致造成多大的不便。”这样，波义耳就抛弃了以前的一切见解而给元素下了一个朴实的定义，不管在他以后化学的面貌经过了许多革命性的改变，这个定义仍然适用。波义耳自己没有实验中运用他的见解，但别人却无意识地运用了这些见解，一个世纪以后，这些见解就为拉瓦锡所采纳，成为现代化学的基础。

波义耳拒绝了贵族的爵位和伊顿（Eton）学校校长的荣誉。他的才能在他的爱尔兰墓志上受到表彰。据说在那上面他被誉为了“化学的父亲和科克（Cork）伯爵的叔父”。

### 帕斯卡尔与气压计

在结束这个时期的数理科学的叙述以前，我们必须简短地谈谈以神学家出名的帕斯卡尔（Blaise Pascal, 1623—1662年）。他是概率的数学理论的创始人，这种研究从关于赌博机遇的讨论开始，现在对科学、哲学以及社会统计的问题都证明有很大重要性。事实上，一切经验知识的心智基础都可以说是概率问题，都可以用赌博的术语去表达。

帕斯卡尔还对液体的平衡进行了实验。比克曼（Beekman）和巴利安尼（Balliani）在1615年和1630年先后都注意到抽水唧筒有压缩空气的作用。伽利略说，有一位工人告诉他，唧筒打水的高度不能超过“18时”（可能约27呎），1640年左右，伯提（Berti即Al-berti）在罗马也进行了这些实验。这就促使托里拆利在1643年制造出一个水银气压计，果然不出他的所料，密度很大的水银柱的高度不超过30时。后来，在帕斯卡尔的指导下，一具气压计被人带上多姆山（Puy de Dome）上。仪器愈向上搬，大气压力就愈减少，水银柱也愈降低。由此可见水银柱不下落是因为有空气压142力支持，而不象亚里斯多德派所说的那样，是由于自然“厌恶真空”。

### 妖 术

妖术的信仰 和巫术的实施当然在史前期就有了，事实上，早期宗教和自

---

C.de Waard, Thouars, 1936; review by G.Sarton, Isis, No. 71, 1936, p. 212.

See W.T. Lecky, History of Rationalism; Margaret Alice Murray, The Witch Cult in Western Europe, Oxford, 1921; G.L. Kittredge, Witchcraft in Old and New England, Cambridge, Mass., 1929; C.L. EStrange Ewen, Indictments for Witchcraft, 1559-1736, London, 1929; Lynn Thorndike, A History of Magic and Experimental Science, 4 vols. (others to follow), New York to 1934; Isis, No. 66, 1935, p. 471.

然科学也许就是从妖术和巫术所形成的观念中脱胎出来的。但是在教会最初征服世界以后，丰产崇拜的巫术和其他形式的妖术，便被有知识的人看做是异教的遗迹，不再为人所畏惧了。圣·博尼费斯（Saint Bonifacc, 680—755 年）把对于妖术的信仰归入魔鬼的诱惑之列，查理大帝的法律则规定，如有以妖术罪名致人于死者，其罪等于谋杀。教会对此也取宽大态度——明知不对而招唤恶魔，不是异端，只是罪恶。

但是到中世纪后期，恶魔便声名大著，丰产崇拜的巫术，由于摩尼教异端的关系而恢复起来，到后来，魔鬼竟成为被压迫者崇拜的对象——一位被剥夺了王位继承权的魔王。圣·阿奎那运用了他巧妙的机智为教会过去对于妖术的态度巧加辩解；他说，虽然相信魔鬼能够制造天然的雷雨是异端，但是如果以为魔鬼在上帝的许可下可以制造一点人工的雷雨，那是与天生教的信仰没有抵触的。1484 年，教皇英诺森八世（Pope Iniiocent VIII）代表教会对群众认为可以与恶魔和鬼物交通的信仰，以及群众对于妖人和女巫的魔力的信仰，给予正式制裁。于是这样有罪的人都变成了异端分子，正统派也就获得了一个可怕的新武器：凡是异端分子都可宣布为妖人，而激起群众对他的愤怒。有些牺牲者实际是摩尼教或其他原始宗教的正当信徒，因举行仪式而遭受火刑，还有许多则是为人所诬陷的。

宗教改革的时候，新教徒把这些观念接受下来。他们可以引用圣经上的浩诫：“行邪术的女人，不可容她存活”。虽然古代的教会法典只是对妖术的真实性表示怀疑，他们也用不着去巧加辩解 143 了。新教徒与罗马教徒在迫害女巫方面，互相竞赛。在大陆上，招认与告发都是依照法律按正规途径用酷刑逼出来的，差不多所有的被告都招认了。在英国只有特殊法庭才有权使用酷刑，民事法庭无此权，被告者大半到死不承认他们有罪。据估计二百年内整个欧洲死于此难的人为七十五万以上。被告的人要想逃脱是很困难的。如果自认有罪，他们立刻就被活活焚死；如果不招认，他们便受到酷刑，直到招认为止。

十五世纪出版的宗教审判官的教本《奸人的惩罚》中，有关于审判女巫的方法的记载。那里所记载的野蛮的和不守信义的法律程序简直令人不能置信。不拘什么方式，只要能得到供状，都是法律所允许的。在施酷刑前后，审判官应该答应保全被告的生命但不告诉她要把她下狱。这种诺言应该暂时有效，但以后还是应该把她烧死。在别的场合下审判官应该保证慈悲为怀，“但要有这样的心理保留：他的慈悲是对自己或对国家而言的”。

很少人敢冒惨死的危险去对这种疯狂的迫害提出公开的抗议。这样做的第一人也许是阿格里帕（Cornelius Agrippa, 1486—1535 年）医生。第二人可能是韦尔（John Weyer）。他是克勒夫斯的威廉公爵（Duke William of Cleves）的侍医。靠了公爵的保护，他才敢这样做。1563 年，韦尔出版了一本朽，说明所谓妖术通常是由于魔鬼们造成的幻觉而产生的，因为魔鬼们总是利用女人的弱点来制造他们所喜欢的迷信的残酷行为和无辜的流血。一位住在肯特（Kent）郡的绅士斯科特（Reginald Scot）在《巫术的真

---

Malleus Maleficarum, translated into English by Montague Summers, London, 1928; review in the Nation and Athenoem, November 24th. 1928.

E.T. Withington, "Dr John Weyer and the Witch Mania", Studies in the History and Method of Science Oxford, 1917.

相》(1584)一书里,采取了现代的常识性的看法,认为整个这件事是愚昧、幻觉、欺诈与诬告的大杂烩。斯科特的书几次翻印,在某一个时间内“对于地方官与僧侣有很大影响”。一位耶稣会教士斯皮(Spec)神父在不到两年之中陪伴了大约二百位牺牲者到维尔茨堡(Wurzburg)的火刑场去。他对这个经验惊骇不置。他说他相信这些人都是无罪的。他们的招认千篇一律,因为他们宁肯早死,不愿再受酷刑。1631年他发表了一本隐名的书,书中说:“如果对144所有教会的僧侣、博士和主教施以他们所用的酷刑的话,可以使他们个个都招认他们施行过巫术。”

但是这些应当名垂千古的勇士们,并不能制止蔓延到社会各阶级的疯狂的浪潮。詹姆斯一世写了一本关于妖术的书,对韦耶尔与斯科特加以谴责;连大医生如哈维爵士与布朗爵士(Sir Thomas Browne)也参与对女巫进行检查。酷刑与烈火的狂欢仍旧流行整个欧洲,一直至十七世纪之末或更后。这件事是现今的集权主义时代以前人类历史上最黑暗、最可耻的一页。

“妖术信仰的衰退与它的兴起一样缺乏明显的理由。文明世界在停止焚烧女巫以前,已渐渐了解不能再相信有妖人的存在了。这并不是由于世人变得更宽大、更人道了,而是由于世人更怀疑和不畏惧女巫的力量了。事实上,这个世界正在准备迎接十八世纪的唯理论哲学和冷静的唯智论。至少在这个问题上,唯理论哲学和唯智论是有一件功劳值得大书特书的。很明白,这种态度的改变主要是由于科学的进步。科学已经慢慢地确定了人类支配自然的界限并揭示了人类支配自然的方法。这个阶段是后来才达到的。本章所述的重要时期,则始终由于对妖术的非理性的信仰,而暗然无光。即使在三百年后的今天,这类信仰还潜藏在表面之下,随时可以在各阶级的无知无识的人们中间复活。

## 数 学

当代对巫术和科学混淆不分的情况,很可以在约翰·迪伊(John Dee, 1527—1608年)身上看到。他把大部分时间都消耗在占星术、炼金术与招魂术上面,但是同时他却又是一位极合格的数学家,哥白尼学说的最早的支持者。他在比林斯利(Billingsley)于1570年所发表的欧几里得著作的英语译本上写了一篇有学术意义的序言。在1582年教皇格雷哥里十三世把有误差的历法改正了十天的时候,伊丽莎白女王政府聘请约翰·迪伊就实施这项改革的方法提出报告。只是由于英国教会主教们的反对,英国实施这项改革的时间才推迟了170年。约翰·迪伊在1547年从低地国家带回了夫里希斯(Frisitls)所制造的天文学家的十字规和刻度环,以及麦卡托(Mercator)所制的两个地球模型。麦卡托因为制成互成直交的经纬线的地球平面投影图而著名于世。史特维纳斯所发明的十进分数法也促进了应用数学的发展。

在这一时期里航海术得到有效的改进。前面讲过(100页)航海术开始于葡萄牙王子亨利,到了有名的霍金斯(Hawkins)、弗罗比希(Frobisher)、德雷克(Drake)和腊勒(Rakegh)的时候就告一段落。荷兰人在埃里克曾

---

Art.“ Scot”, in Dictionary of National Biography.

Withington, 上引书; C.L'Estrange Ewen, Witch Hunting, London. 1929,

(Erikszen) 与洪特曼 (Hontman) 等人的领导下, 于十六世纪末开始探险, 很快就在东西印度群岛建立了殖民地。1601 年荷兰的东印度公司获得特许开发权, 稍后英国也成立了类似的公司。

在新旧时期交接之际, 有一位孤零零的人物霍罗克斯 (Jeremiah Horrocks, 1617—1641 年) 值得一提。他是兰开夏郡 (Lancashire) 贫苦教区的一个教士。他追随刻卜勒的研究成果之后, 认为月球的轨道是椭圆(地球在其一个焦点上), 并且首先预测并观测了金星过日面的现象。这就使他能够改正金星轨道上的误差并估算出它的直径。五十年后, 牛顿承认他从霍罗克斯那里受益不浅。

## 科学的起源

在本章内我们终于看到近代科学的真正起源。在文艺复兴时, 自然科学还是哲学的一个分支; 但在我们刚才讲过的时期中, 它已经找到了自己的观察与实验的方法, 在可以应用这些方法的地方还得到数学分析的帮助。哥白尼与刻卜勒虽然仍在数学的和谐中寻找最后因, 并且在牛顿的时代以后很久, 这个思路还是存在着, 往往以为在每个现象可以用数学方式从量上加以表示以后, 这个现象就算既得到了科学上的解释, 也得到了哲学上的解释了。可是这个倾向对于实验科学家并没有什么妨碍。他们丢掉了理性的全面的综合这条镀金锁链 (不管它是亚里斯多德的还是柏拉图的), 因而可以自由而谦卑地接受事实, 即使这些事实不能嵌合到一个普遍的知识体系里去。但事实也开始在这里或那里凑合起来, 如七巧版的零块一样, 使得图案的某些部分赫然出现。在下一时期内, 这个动向在牛顿关于重力定律的表述中表现出来, 那是科学上的第一次大综合, 但在十八世纪法国百科全书派的夸大的机械哲学中, 这个动向也许就摆动得太远了。

## 第四章 牛顿时代

1660 年的科学状况——科学院——牛顿与引力——质量与重量——数学方面的改进——物理光学与光的理论——化学——生物学——牛顿与哲学——牛顿在伦敦

### 1660 年的科学状况

我们现在来到现代科学早期发展的最重要时期。因为靠了牛顿的卓越成就，伽利略和刻卜勒的研究成果，已经和牛顿自己的研究成果融合在一起，成为物理学上首次的大综合。前几章所叙述的改变给欧洲带来的科学与哲学的状况，可以大概描述如下。

经院哲学的无所不包的知识大厦，虽然在唯理论的训练方面仍然有用，但早已不够用了。由于邓斯·司各脱与奥卡姆把唯名论复活过来，由于新柏拉图运动兴起，构成哥白尼和刻卜勒的工作的哲学基础，最后由于伽利略、吉尔伯特与其门徒用数学方法及实验方法取得很多成果，这座大厦已经动摇了。吉尔伯特与哈维表明怎样用经验的方法来进行实验，伽利略证明哥白尼与刻卜勒认为在天体现象中有根本意义的数学简单性也可以在地面上的运动中发现。经院哲学用“本质”、“原因”来不精确地描述运动，以说明物体为什么运动，现在这些已经为时间、空间、物质及力等概念所代替。这些概念第一次有了明晰的定义，而且人们还利用这些概念、运用数学的方法，发现了物体怎样运动，并测定了运动物体的实际速度与加速度。

伽利略更用实验证明要使物体继续运动，并不需要继续施力。一经开动之后，物体靠了与重量有关的某种内在性质会继续前进。在这里，伽利略已经接触到质量和惯性的概念了；虽然他还没有明白地给这个概念下一个定义，他对落体的观察，如果了解得正确的话，已经足以表明这个概念与重量的确切关系。经院哲学家赋予亚里斯多德的本质与性质的无上地位，肯定地让给物质与运动了。147 哥白尼与刻卜勒赋予数学和谐的神秘意义，正在转变成另一种观念：在一个变化可以以数学公式用物质和运动来表达的时候，这个变化也就可以从机械上来解释，要么用伽利略的力来解释，要么用笛卡尔所想象的旋涡那样的接触来解释。在 1661 年，波义耳仍然可以反驳经院哲学的观念在化学中的重要性；在物理学中，它们已经死了，但还没有埋葬，从牛顿与其同代人的著作中，还可以听到旧日争论的回声。新的数学方法在动力学中的威力，到 1673 年惠更斯（Huygens）发表了他对重力、摆、离心力和振动中心的研究结果时，就更加明显了。

原子说的一股观念被伽利略采纳了。而伊壁鸠鲁的旧说则由伽桑狄更充分地加以修正与发挥。人们最初是从动力学和天文学的大规模现象中形成这样的概念的：自然界从根本上来说是由运动中的物质组成的。现在，这种观念也参加到人们对于物体内部结构的看法中来。原子论并不是伽利略的动力学所必需的，但和根据伽利略的研究成果形成的一般科学观点却也能融合无间。

行星间的以太观念是在十七世纪的思想中开始起作用的另外一个希腊观念。刻卜勒用这个观念来说明太阳怎样使行星运行不息；笛卡尔给它披上了不可捉摸的流质或本原物质的伪装形成他的天体机器的旋涡，并且提供了从

纯粹广延性中推导不出来的重量与其他性质；吉尔伯特用它去解释磁力的吸引，而哈维则认为以太是把太阳热力传给生物的心脏与血液的媒介。

以太观念那时还和神秘学派用来解释存在的本性的盖伦的灵气或灵性混淆不分。我们要记住现代人对物质与情神所作的区别那时还不明确。“灵魂”、“动物元气”一类观念，在当时仍然看做是“发射气”、“蒸发气”，可是在我们看来，“发射气”和“蒸发气”却是物质的。物质与精神的一致，就这样维持着。只有笛卡尔是例外。他首先明白地看出在空间中延展的物质和思想着的心灵有根本差别。在当时大部分人看来，这个分界线似乎存在于一边是固体与液体，另一边是气、火、以太与精神之间。所以用“以太”来解释现 148 象，就是为直接的神灵干预留下余地。

吉尔伯特对当时流行的观念表达得很清楚。他以为磁力是把物体吸引到磁石这边来的所谓“磁素”造成的。重力与磁力有同样的性质，每个物体都有一个“灵魂”，它能放射到空间中去并吸引一切物体。

最后我们不要忘记，十七世纪中叶所有的合格的科学家与差不多所有的哲学家，都从基督教的观点去观察世界。宗教与科学互相敌对的观点是后来才有的。伽桑狄在重新提出原子论的时候，小心避免同古人给与原子论的无神论沾了边。虽然笛卡尔的反对者指摘他设计了一个十分有效的宇宙机器，没有给上帝的控制留下余地，可是笛卡尔仍然认为自然界的数学定律是上帝所建立的，通过思想世界也可以接近上帝。霍布斯的确把哲学局限于自然科学所取得的实证知识，对神学加以抨击，并且把宗教叫做公认的迷信。可是他却同意国家应该建立和实行以圣经为根据的宗教。不过，他的态度是一个例外。一般说来，一切学者都接受了有神论的根本假定，这并不是为了护教的缘故，而是由于他们认为这个假定是普遍接受的资料，任何宇宙学说都必须同它相符合。

中世纪的许多思想方法当时还残存着；波义耳需要反驳经院哲学家的化学观念，不亚于需要反驳炼全家的化学观念。哥白尼的理论虽为数学家和天文学家所承认，但是一般教科书所讲授的仍然是托勒密的体系。占星术仍为人所重视。由于内战的缘故，世事变化不定，机遇无常，因此占星家的每一个预言差不多都肯定有机会应验。就是牛顿，在少年时代也觉得占星术是值得研究的。1660 年，他初入剑桥大学，在别人问他要学什么的时候，据说他回答道：“数学，因为我打算去检验人事占星术”。这个事例，说明牛顿一生中心理观点的转变，这转变主要是由他自己的工作造成 149 的。占星术的著作，特别是历书之类，虽在牛顿之后很长时期里仍继续出版，但到十七世纪末年，就只有无知识的人才对它们感兴趣了。

## 科学院

---

A.J.Snow, *Natter and Gravity in Newton's Physical Philosophy*, Oxford, 1926, p.

*Dict.Nat.Biography*, "William Lilly", "Henry Colley", "John Case".

Reverend H.T.Inman, *Sir Isaac Newton and one of his Prisms*, Oxford (privately printed) . 1927.

T.Sprat, *Bishop of Rochester, History of the Royal Society*, 1667; *Record of the Royal Society*, London, 1912... ; Martha Ornstein, *Scientific Societies in the Seventeenth Century*, Chicago and Cambridge, 1928; R.W.T.Gunther, *Early science in Oxford*, 1921 Et seq.; H.Brown, *Scientific Organisation in France*, Baltimore, 1934.

帮助造成牛顿的学术环境的还有一些别的因素。多年来受到亚里斯多德派的阻挠的新学术，这时已经渗透进有些大学。热心自然哲学的人数迅速地增加，增加的一个表现，便是学会或学院的纷纷成立。会员常常聚会，以讨论新问题并推进新学术。这类学会中的最早一个，在 1560 年出现在那不勒斯，名叫“自然秘奥学院”。1603 至 1630 年，伽利略所属的第一个“林猿学院”成立于罗马，1651 年，梅迪奇 (Medici) 贵族们在佛罗伦萨创立了“西芒托学院”。在英国，学者们从 1645 年起，以哲学院或“无形学院”的名义，在格雷汉大学或伦敦其他地方集会。1648 年，大部分会员因内战迁到牛津，但 1660 年，伦敦的集会又恢复举行。1662 年，在国王查理第二的特许下，这个学会正式定名为“皇家学会”。在法国，同类的科学院于 1666 年由路易十四创立，类似的组织不久也出现于其他国家，这些学会进行了充分的讨论，集中了科学界的意见，公布了会员们的研究成果，因而这些组织成立后，科学的发展愈加迅速，特别是大半的学会不久都开始发行定期刊物。独立的科学杂志最老的一个似乎是《学人杂志》，1665 年在巴黎首次发行。三个月后，又有《皇家学会哲学杂志》问世，这最初是皇家学会秘书私人的事业。别的科学杂志不久也相继出现，不过，直到十七世纪末叶或更后，数学家们还主要是靠私人通信来宣布他们的研究成果。这是一个效率低微的办法，有些发明先后的争执即由此而起，如牛顿和莱布尼茨之间的争执。

刻卜勒的研究成果提供了太阳系的模型，但是，这个模型的大小——太阳系的实际大小——在用天文单位测定一个距离以前，是无法确定的。

在 1672—1673 年，路易十四的大臣科尔伯 (Colbert) 派遣里希 150 尔 (Jean Richer) 到法属圭亚那的卡宴 (Cayenne) 去进行航海上有用的天文学观测。他就测量过行星火星的视差。他的研究成果的最显著的结果，就是认识到太阳和较大行星的巨大体积，以及太阳系的惊人的规模。地球和地球上的人相形之下，就显得很小了。

## 牛顿与引力

我们已经简要地叙述过牛顿开始工作时科学知识和哲学见解的概况。爱萨克·牛顿 (Isaac Newton, 1642—1727 年) 是一个有 120 英亩土地的小地主所有者的遗腹独生子。牛顿出生于林肯郡伍耳索普 (Woolsthorpe in Lincolnshire)，自幼身体纤弱，在格兰瑟姆文法学校 (Grantham Grammar School) 受过教育。1661 年，他进了剑桥大学的三一学院，在那里他听过巴罗的数学讲演。1664 年，他被选为三一学院的研究生 (Scholar)，次年被选为校委 (Fellow)。1665 至 1666 年，剑桥瘟疫流行，他返回伍耳索普，开始考虑行星的问题。伽利略的研究表明，要使行星和卫星在轨道上运行，而不循直线向空间飞去，必定有一个原因。伽利略把这原因看做是力，但这个力是否存在仍有待于证明。

据伏尔泰 (Voltaire) 说：牛顿在他的果园中看见苹果坠地时找到解决这个问题线索。这个现象引起他猜度物体坠落的原因，并且使他很想知道地球的吸力能够达到多远；既然在最深的矿井中和最高的山上一样地感觉到这种吸引力，它是否可以达到月球，成为物体不循直线飞去，而不断地向地球坠落的原因。看来，牛顿的头脑中已经有了力随着距离平方的增加而减少的想法，事实上，别人当时似乎也有这样的想法。在牛顿的异父妹汉娜，

巴顿 (Han- mah Barton) 的后裔朴次茅斯 (Portsmouth) 勋爵 1872 年赠给剑桥大学的牛顿手稿中，有一份备忘录，对于这些早期的研究有如下的叙述：

就在这一年，我开始想到把重力引伸到月球的轨道上，并且在弄清怎样估计圆形物在球体中旋转时压于球面的力量之后，我就从刻卜勒关于行星公转的周期与其轨道半径的二分之三方成比例的定律中，推得推动行星在轨道上运行的力量必定与它们到旋转中心的距离的平方成反比例：于是我把推动月球在轨道上运行的力与地面上的重力加以比较，发现它们差不多密合。这一切都是 1665 与 1666 两个瘟疫年份的事，因为在那些日子里，我正在发现旺！盛的年代对于数学和哲学，比以后任何年代都更加关心。惠更斯先生后来发表了关于离心力的研究成果，我想这些研究成果的取得应当在我以前。

读者当会看出，这里牛顿没有谈到他的朋友彭伯顿 (Pember-ton) 所说的故事：牛顿所使用的地球大小的数值不精确，所得出的推动月球在轨道上运行的力与重力不合，因此，他就把他的计算搁置起来。相反地，牛顿却说他发现“它们差不多密合”。卡焦里 (Cauori) 教授也指出这一点，并且提出证据，说明那时已经有几个关于地球大小的相当精确的估计值，牛顿在 1666 年很可能是知道的。其中之一是冈特 (Gunter) 的估计值：纬度 1 度等于  $66\frac{2}{3}$  法定英里，而据彭伯顿说，牛顿所用的数值是 60 英里。卡焦里说：

既然牛顿买过“冈特尔的书”，那么，很可能地，也可以说是无疑地，他知道冈特尔的估计值： $1^\circ = 66\frac{2}{3}$  法定英里，这与斯内耳 (Snell) 的数值是近似的。

如果牛顿用了  $66\frac{2}{3}$ ，他所算出的物体由静止坠落第一秒钟所走的距离就是 15.53

呎，正确的距离是 16.1 呎。误差只有  $3\frac{1}{2}\%$ 。也许正是由于取得这样的结果，牛顿才说“它们差不多密合”。

亚当斯 (J. C. Adams) 与格累夏 (J. W. L. Glaisher) 在 1887 年指出的牛顿所以迟迟不发表他的计算的原因，比较近乎情理。引力理论里有一大困难，无论如何牛顿是了解的。太阳和行星的大小与它们之间的距离比较是那样的小，在考虑它们之间的关系时，每一星体的全部质量可以看做集中在一点，至少是近似地这样的。

可是月球与地球之间的距离相对来说并没有那样大，要把月球或地球当作一个质点看，便有问题了。还有，在计算地球与苹果之间的相互引力的时候，我们须记住和苹果的大小或它对地球的距离相比地球是很庞大的。第一次计算地球各部分对于它的表面附近的一个小物体的引力总和显然有很大的困难。这大概就是 1666 年牛顿把他的工作搁置起来的主要原因。卡焦里说牛顿也明白重力随纬度而有变化，同时，地球自转所造成的离心力也有影响；他觉得重力的说明“比他原来所想的更困难”。1671 年，牛顿又好象回 52 到这个问题，但他仍没有打算发表。也许是同样的考虑阻止了他。还有，当时他的光学实验引起的争论也使他感觉十分不快。他说：“我在过去几年中一直在努力离开哲学而从事其他研究”。事实上，他对化学好象比对天文学

更感觉兴趣，对神学好象比对自然科学更感觉兴趣。他在晚年就很不愿把他在造币厂的公务时间使用到“哲学”上去。

惠更斯(Christian Huygens, 1629—1695年)是荷兰外交家和诗人的儿子,1673年发表了他的动力学著作:《摆钟论》。惠更斯以动力系统中心活力(现时叫做“动能”)守恒的原则为前提,创立了振动中心的理论,并发明了一个可以应用于许多力学与物理学问题的新方法。他测定了摆长与摆动时间的关系,发明了表内的弹簧摆,而且创立了渐屈线的理论,包括摆线的性质在内。

但就我们的直接研究目的而论,他的最重要的研究成果是这部著作最后所谈到的关于圆运动的研究成果,虽然如上所说,牛顿在1666年一定也得到了同样的结论。我们可以用比较简单比较现代的方式把这一成果叙述如下。设有一质量为 $m$ 的物体,以速度 $U$ 在半径为 $R$ 的圆上运动,象拴在一条线上的石头旋转时那样。则照伽利略的原则,必有一个力向中心施作用。惠更斯证明这个力所主的加速度 $A$ 必等于 $v^2/r$ 。

到1684年,总的引力问题就已经在大家的纷纷议论之中。胡克,哈雷(Halley),惠更斯、雷恩(Wren)似乎都独立地指出过:如果把本来是椭圆的行星轨道当作是圆形的,则平方反比必为力的定律。这一点可以立即从两个前提中推出。一个前提是惠更斯的证明:半径为 $r$ 的向心加速度 $a$ 是 $v^2/r$ ;另一个前提是刻卜勒的第三定律:周期的平方,即 $r^2/v^2$ 随 $r^3$ 而变化。这后一结果说明 $v^2$ 随 $1/r$ 变化。因而,加速度 $v^2/r$ ,也就是力随 $1/r^2$ 而变化。

几位对这个问题进行进一步研究的皇家学会会员,特别讨论到如果一个行星像刻卜勒第三定律所指出的那样按平方反比的关系在吸引力下运行的话,它是否又能按照他的第一定律在椭圆轨道上运行。哈雷由于觉得没有希望从别的来源求得数学解决,就到剑桥三一学院去访问半顿。他发现牛顿在两年前已经解决了这个问题,虽然他的手稿已经遗失,但牛顿重新写出一遍,并和“许多旁的材料”送给住在伦敦的哈雷。在哈雷的推动之下,牛顿又回到这个问题。1685年,他克服了计算上的困难,证明一个由具有引力的物质组成的球吸引它外边的物体时就好象所有的质量都集中在它的中心一样。有了这个有成效的证明,把太阳、行星、地球、月球都当作一个质点看待的简化方法就显得很合理了,从而就把从前粗略近似的计算提高到极其精密的证明。格累夏博士在阐释这个证明的重要性时说:

从牛顿自己的话中,我们知道他在没有用数学证明这个定理以前,从来没有料到有这样美妙的结果,但一经证明这个精妙的定理以后,宇宙的全部机制便立刻展开在他眼前。.....把数学分析绝对准确地应用于实际的天文问题,现在已经完全在他能力之内了。

这一成就为牛顿的独创的研究,扫除了障碍,于是他努力把天体的力和地球吸引物体坠落的力联系起来。他利用皮卡尔(Picart)测量地球所得的新值,再回到重力与月球的老问题去。地球的引力现在可以看做有一个中心了,而且就在地球的中心,验证他的假设也是很简单的事。月球的距离约为

地球半径的 60 倍，而地球的半径是 4000 英里。由此算出月球离开直线路径，而向地球坠落的速度，约为每秒 0.0044 英尺。如果平方反比律是正确的，这个力量在地球表面应该比在月球强 (60) 2 倍，或 3600 倍，所以在地面物体坠落的速度为  $3600 \times 0.0044$ ，或每秒约 16 英尺。这与当代观测的事实相合，于是这个证明完全成立了。于是牛顿就证明了平常向地面坠落的苹果或石头，与在天空中循轨道庄严运行的月球，同为一个未知的原因所支配。

他证明了重力必然要使行星轨道成为椭圆，也就意味着对刻卜勒定律给予合理的解释，并且把他在月球方面所得的结果推广到行星的运动上去。于是整个太阳系的错综复杂的运动，就可以从一个假设中推出来。这个假定就是：每一质点对于另一质点的引力，与两点的质量的乘积成正比并与其间的距离的平方成反比。这样推导出来的运动和观测结果精密符合，达两个世纪之久。彗星的运动一向认为是无规则而不能计算的，现在也就范了；1695 年，哈雷说，他在 1682 年所看见的彗星，从它的轨道来看，实在为重力所控制；它周期地回来，事实上与贝叶 (Bayeux) 毛毡上所绣的、在 1066 年被人当做是萨克逊人的灾祸预兆的那颗彗星，实在是同一颗彗星。

亚里斯多德以为天体是神圣而不腐坏的，和我们有缺陷的世界是不同类的，而今人们却这样把天体纳入研究范围之内，并且证明天体也按照伽利略和牛顿根据地面上的实验和归纳所得到的力学原理，处在这个巨大的数学和谐之内。1687 年牛顿的《自然哲学的数学原理》的出版，可以说是科学史上的最大事件，至少在近些年以前是这样的。

引力的次要效应之一是潮汐。在牛顿考虑这问题以前，人们有许多混淆不清的看法。刻卜勒以为潮汐的成因在月球，但他是占星家，因而他同时相信恒星与行星也有影响。也许正是由于这个缘故伽利略才嘲笑他说：“对于且球支配水以及神秘的特性等一类琐事，他都洗耳倾听，表示同意”。

《原理》一书第一次为潮汐理论奠定了健全的基础。牛顿用数学的方法，研究了月球与太阳的引力合在一起对于地上的水的影 155 响，同时还把流动的水的惯性及狭窄的海峡与运河的骚扰效果估计在内。潮汐情况是很复杂的，自牛顿以来，有许多数学家提出过详细的理论，其中可以提到的有拉普拉斯与乔治·达尔文爵士。但《原理》书中的一般论述仍然是有效的。

## 质量与重量

给予物质以惯性并且和重量迥然不同的质量的概念，起初暗含在伽利略的研究成果中，后来又明显地见于巴利安尼的著作中。巴利安尼是热那亚的弓箭队长。他把质与重加以区别。在《原理》中，这个分别更加明确。牛顿根据波义耳关于空气容积与压力的实验，从密度方面达到质量的概念。既然在一定量的空气中，压力  $P$  与容积  $U$  成反比例，因此，它们的乘积  $PV$  是一个常数，可以用来量度一定容积中空气的质量，或者用原子论来说，代表压缩在那个容积里的质点的总数，牛顿给予质量的定义是：“用物体的密度和

---

system of the World, Galileo Galilei, Fourth Dialogue, quoted by J.Proudman, Isaac Newton, ed.

W.J.Greenstreet, London, 1927,p.87.

看“Newton and the Art of Discovery”,by J.m.Child, in Isaac Newoln,p.127. Child 以为牛顿可能受了巴利安尼的影响。

体积的乘积来量度的、该物体中所合的物质的量”，而力的定义是“一个物体所受到的、足以改变或倾向于改变该物体的静止状态或等速直线运动状态的作用”。

牛顿把观察的结果与定义归纳为运动三定律：

定律一：每一物体都始终维持其静止或等速直线运动的状态，只有受了外加的力，才被迫改变这种状态。

定律二：运动的改变（即运动量的改变率  $ma$ ），与外加的致动的力成比例，而发生于这种外力所作用的直线方向上。

定律三：反作用与作用总是相等而相反；换言之，两物体间的相互作用，总是大小相等，方向相反。

牛顿所表述的动力学基本原理，支持了这一学科的发展达二百零九年之久。在 1883 年马赫发表他的《力学》第一版以前，没有人对这一表述所依据的假定提出过严格的批评。马赫指出牛顿的质量定义与力的定义使我们陷入逻辑上的循环论证中，因为我们只有通过物质对我们的感官所产生的作用才能知道物质，而且我们也只能用单位容积中的质量来作密度的定义。

在总结动力学起源的历史时，马赫指出，伽利略、惠更斯与牛 156 顿在动力学上的研究成果，实际上只意味着发现了同一条基本原理，可是由于历史上的偶然情况（这在一个全新的学科中是不能避免的），这一条基本原理却用许多貌似独立的定律或词句表达出来。

当两个物体互相作用，例如靠了其间的引力，或靠了一条把它们连接起来的螺旋弹簧相互作用时，它们相互产生的反向加速度的比例是一定的，而只决定于这两个物体中的某种东西，这种东西，如果我们愿意的话，可以叫做质量。这个原理是靠实验建立起来的，我们可以下一个定义说：两个物体的相对质量，是用它们的相反的加速度的反比例来量度的，而它们中间的力就是其中任何一个物体的质量与其加速度的乘积。

这样我们可以摆脱牛顿的质量定义与力的定义中包含的逻辑上的循环论证，而得到一个以实验为根据的简单陈述，由此可以推导出伽利略、惠更斯和牛 156 顿的许多原理——如落体定律、惯性定律、质量的概念、力的平行四边形，以及功与能量的等效。

通过落体的实验，伽利略发现速度与时间成正比例而增加。这样一来，本原的关系就是：动量的增加，可以用力与时间的乘积来量度，或  $mV = ft$ ，即牛 156 顿定律。假使伽利略首先发现的事实是：由加速度  $a$  而来的速度，随经过的距离  $S$ ，按平方的关系而增加，则这种关系  $v^2 =$

$2as$ （实即等于惠更斯的功与能量的方程式： $fs = \frac{1}{2}mv^2$ ，看起来就是本原的

关系了。由此才见，力和动量所以看起来似乎比较简单和比较重要，功和能量的概念所以稽迟很久才被人接受，主要是由于历史偶然性的缘故。事实上它们是互相关联的，任何一方都可以从他方推导出来。

再回到牛顿的定义时，我们还可以用另一个方法逃避逻辑上的循环论证。这个方法虽然不如马赫的方法完备，对有关的问题却有所阐发。牛 156 顿已经认识到，人们从肌肉用劲的感觉得到力的机械概念，他本来很可以从这条道路找到一条逃避循环论证的途径。动力学可以看做是把我们的运动中的

物质的感觉提高到理性水平的科学，正如热学同温暖的感觉有关一样。我们从空间或长度与时间的经验，得到本原的观念；我们肌肉的感觉同样地给我们力的观念。这一感官所粗略地量度出来的等量的力，作用于不同的物体时，将产生不同的加速度，因此我们可以把每一物体的惯性，即对于  $f$  力的抵抗，称为它的质量，并可以说，它是用一定的力所产生的加速度  $a$  的反比来度量的。因此  $m = f/a$ 。这样，质量的观念就是从一个心理状态，即我们的肌肉对于力的感觉而来的。也许有人会批评这个方法把心理学引到物理学中来，但是，指出这样做，就可以免除物理学中逻辑上的循环论证，却还是有一定意义的。

在这样得到了质量的明确观念之后，我们就从实验中发现物体的相对质量大致是一个常数。于是我们可以提出一个假设说：这个近似的常数是严格真实的，或至少有高度准确的真实性，这样，我们就可以把质量  $M$  当作长度  $L$ 、时间  $T$  以外的第三个基本单位。从这个假设得来的无数推论在  $J. J.$  汤姆生与爱因斯坦的时代以前，同观测与实验是高隆精确符合的。所以这个假设是经过充分的验证的，除了非常特殊的情况外，它还是有效的。

质量既然可以用惯性来量度，剩下来的问题就是找出质量与重量的关系了。所谓重量也就是把物体拉向地球的吸引力。这问题也为牛顿所澄清了。

史特维纳斯和伽利略的实验，表明两个重量不同的物体， $W_1$  与  $W_2$ ，以同样的速度落地。物体的重量就是地球引力所产生的力，实验的结果证明重力所生的加速度  $a_1$  与  $a_2$ ，是相同的。根据上面所说的质量的定义，两物体的相对质量  $m_1$  与  $m_2$  可用以下的关系来确定：

$$m_1 = W_1/a_1 \text{ 及 } m_2 = W_2/a_2,$$

$$a_1 = W_1/m_1 \text{ 及 } a_2 = W_2/m_2.$$

现在我们了解，任何公式的玩弄 或任何形而上学的考虑（如经院哲学由亚里斯多德那里得来的）都不能导出两个自由落体的加速度的关系。等到史特维纳斯和伽利略用落体进行实验，才证明  $a_1 = a_2$ ，是一个事实。但是，这一点既经证明之后，从方程式所规定的质量、重量与力的定义便得：

$$\frac{W_1}{m_1} = \frac{W_2}{m_2} \text{ 或 } \frac{W_1}{W_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

即两物体的重量与它们的质量成正比例。这是一个真正惊人的结果。牛顿指出，这个结果要求重力必须“是从一个原因而来的，这个原因并不是按照其所作用的质点表面的数量而起作用（机械的原因常是这样的），而是按照物体所含的实际质量的数量起作用的”。事实上，牛顿的天文学研究的结果，证明重力的作用必定“贯彻到太阳的中心和行星的中心，而不丝毫减少它的力量”。

伽利略的实验没有达到，也不能达到很大的精确度。巴利安尼更仔细地重新进行了这个实验。他从一点让一个铁球和一个同样大小的蜡球同时坠落。他发现当铁球已落了 50 呎而到地时，蜡球还差 1 呎。他正确地解释这个差异是由于空气的阻力，这种阻力虽然对两个球体是一样的，但对于抵抗重

---

除非这玩弄者是爱因斯坦，而已公式中含有相对性原理。而相对性原理也是根据实验建立的。马赫在此似乎错了；他说从他的质量的定义可以得到质量与重量的比例关系，但他暗暗地引入了  $a_1 = a_2$  的结果。

Prinslpia, 1713 ed.pp.483—484。

量较小的蜡球更为有效。牛顿对于这个结果更加以精密的考察。他从数学上证明一个摆锤摆动的时间必定与其质量的平方根成正比，与其重量的平方根成反比。他又用了不同的摆锤来做仔细而精确的实验，摆锤的大小相同，以便它们所受的空气的阻力相同。有的摆锤是各种物质的实体，有的是空球装上各种液体或谷类的颗粒。在所有的情况下，他都发现在同一地点，同长的摆在度量误差的极小范围之内，摆动时间是相等的。这样，牛顿就以更大的精确度证实了重量与质量成正比的结果，而这个结果本来是可由伽利略的实验推出来的。

### 数学方面的改进

把数理力学应用于天文问题的一个直接结果，便是需要改进研究中所用的工具——数学。因为这个缘故，刻卜勒、伽利略、惠更斯、牛顿诸人工作的时代，也就是数学知识与技术进步很大的时代。

牛顿与莱布尼茨以不同的形式发明了微分学。发明的先后，后 159 来虽有争执，但看来都是独立发明出来的。变速观念的出现，要求有一种方法来处置变量的变化率。一个不变的速度可以用在时间  $t$  所经过的空间  $s$  来量度；不论  $s$  与  $t$  的大小如何  $s/t$ ，一量是一定的。但是如果速度是变化的，那么要找某一瞬间的速度值，只能就一个差不多觉察不出速度变化的极短的时间来量度在这个时间内经过的空间。当  $s$  与  $t$  无限地缩小，而成为无限小时，它们的商数即是那一瞬间的速度，莱布尼茨把这一速度写成  $ds/dt$ ，而叫做  $s$  对于  $t$  的微分系数。牛顿在他的流数法里，把这个数量写作  $\dot{s}$ ，这个写法用来不大方便，现在已被莱布尼茨的写法代替了。我们在这里不过是拿空间与时间来做例子罢了。其实任何两个量，只要是彼此依赖，都可用同样的方法来处理。 $x$  对于  $y$  的变化率都可写作莱布尼茨的记法  $dx/dy$  或牛顿的记法上

。逆转的计算，即微分的总和，或从变率去计算变量本身的方法，叫做积分，常常是比较困难的工作。在研究某些问题时，如牛顿要从球体中亿万万个质点的引力去计算整个球体的引力，就得用积分法。阿基米得用了类似的方法去计算面积与容积，但他的方法由于远远超过了他那时代，所以后来就失传了。

含有微分系数的方程式叫做微分方程式。很多物理的问题都可表达为微分方程式：困难通常在于求它们的积分，从而求出它们的解答。有一个事实说明牛顿了解这个原理：他算出了一张数字表，来表达光线在大气中的折射，而所用的方法则无异于列出光线路径的微分方程式。

在《原理》中，牛顿把他的结果改成欧几里得几何学的形式，其中许多

---

J.M, Child, 上引书.

L.T.More, Isaac Newton, New york, 1934, p, 565 等页。

每个函数的微分系数之值都可计算出来，例如设  $y = x^n$  则可得  $dy/dx = nx^{n-1}$ 。

每个微分，都有一个对应的积分；因此上面所举的微分例中  $x^n$  即是对应的积分。可以证明：除非  $n$  是  $-1$ ，那时积分是  $\log x + c$ 。在每一例里， $c$  都是一个未知的常数。它在许多实际问题中，都是可以消去的。

举一个简单的例，方程式  $y dx + x dy = 0$  可以改写为于是可以分项积分，便得

Letter to Flamsteed. Catalogue of the Newton MSS, Cambridge, 1888. P.xlll.

结果可能是通过笛卡尔坐标与流数法求得的。微分学迟迟才为人知道；但在莱布尼茨和别尔努利 (Bernouilli) 所赋予的形式中，微分学却是现代纯数学和应用数学的基础。

牛顿在数学的许多别的分支中也有不少贡献。他确立了二项式定理，提出了很多方程式理论，而且开始使用字母符号。在数理物理学中，除了已经叙述过的动力学和天文学外，他还创立了月球运行的理论，算出了月球位置表，由这个表可以预测月球在恒星间的位置。这一工作成果对于航海有无上价值。他创立了流体动力学，包括波的传播理论，且对流体静力学作了很多的改进。

### 物理光学与光的理论

单凭他在光学上的成就，牛顿就已经可以成为科学上的头等人。光的折射定律，即入射角与折射角的正弦之比为—常数，是斯内耳在 1621 年所发现的。费马则指出，按这条路径前进，通过时间最短。1666 年牛顿得到“—个三棱镜来实验有名的色彩现象”，而且他选择了光学来做他讲课和研究的第一个题目。他的第一篇科学论文也是讲的光学，1672 年发表在《皇家学会哲学杂志》上。德·拉·普赖姆 (De la Prome) 在他的日记中说：1692 年牛顿往礼拜堂时，忘记了熄灯。这引起了一场火灾，把他的著作都焚毁了，二十年的光学研究成果也在其中。但牛顿在他的书的序言中却没有提及这件事。他说：“1675 年应皇家学会某些会员的请求，写了一篇关于光学的论文，……其余则是大约十二年后加入的。”

1611 年，斯帕拉特罗的大主教安托尼沃·德·多米尼斯 (Antonio de Domininis) 提出一种虹霓的理论。他说山水滴内层表面反射 161 出来的光，因经过厚薄不同的水层，而显出色彩。笛卡尔提出一个更好的解释。他认为色彩和折射率有关，并且成功地算出虹霓弯折的角度。马尔西 (Marci) 使白光透过棱镜，并发现有色彩的光线不再为第二棱镜所散射。牛顿把这些实验加以扩大，并且把有色光线综合成白光，从而澄清了这个问题。他还认为望远镜里妨碍视线的各种色彩也是由于类似原因而产生的，并且错误地断定，要阻止白光分散成各种色彩就必然要在同时阻止放大率所必需的折射；因而他认为要改进当时的折射望远镜是不可能的，于是他发明了反射望远镜。

其次，他还考察了胡克描写过的肥皂泡和其他薄膜上都有的薄膜的色彩。他把一个玻璃三棱镜压在一个已知曲率的透镜上，颜色就形成圆圈，后来被人叫做“牛顿环”。牛顿仔细地测量了这些坏圈，并把它们一点一点地和空气层厚度的估计数比较。他又用单色光重复了这个试验，这时只有光环与暗环交错出现。牛顿断定每一确定颜色的光都是痉挛似地时而容易透射，时而容易反射。如果在反射光下去看白色光所成的坏，某一在一定厚度下恰好透射过去的颜色便不会反射到眼里，于是眼所看见的便是白色光减去这一颜色的光，换言之即看见一种复色光。牛顿于是推断：自然物的颜色至少有

---

看 Optics , or a Treatise of the Reflections , Refractions , Inflections and Colours of Light , by Sir Isaac Newton , Knt , London , 1704 , 1717 , 1721 , 1730 , 再看 “Newton's Work in Optics” , by E. T. Whittaker , in Isaac Newton ed w. J. Grencstreet , London , 1927 ; and in A History of Theories of the Aether and Electricity , E.T. Whittaker , 1910.

一部分是由于它们的微细结构的缘故，他并且算出产生这种效果所必需的大小。

格里马耳迪 (Grimaldi) 的实验，证明极窄狭的光束平常虽走直线，但遇到障碍时就沿障碍物的边角而弯曲，所以物影比其应有的形式为大，因而形成了有颜色的边沿。牛顿重复并扩大了格里马耳迪的实验。牛顿证明让光线通过两个刀口之间的狭缝，弯曲度就更大了。他对狭缝的宽窄和偏转的角度都进行了仔细的观察与测量。

牛顿还考察了惠更斯所发现的光线通过冰洲石所生的异乎寻常的折射现象。在这种矿石里，一条入射光产生了两条折射光；在把这两条光线的一条分离出来，使它再通过另一冰洲石时，如果第二个冰洲石的结晶轴与第一个的轴平行，这条光线仍能通过，如果 152 两个冰洲石的轴恰成正交，这条光线便不能通过。牛顿看出这些事实说明不管一条光线怎样，它不能是对称的，而必然在不同的方面有一些不同。这就是偏振理论的要点。

除了这些现象之外，在考虑光的性质时，还有一个事实也需要估计在内。1676 年，勒麦 (Roemer) 观察到当地球行到太阳与木星之间时，木星的卫星的掩食比平常约早七、八分钟，反之，若地球在太阳另一面时，木卫的掩食，则常迟七、八分钟。在后一情形下，木卫的光线须行过地球的轨道，即比前一情形的距离长些。观测所得的差异说明光的传播需要时间，而不是一发即到。

牛顿说他本来还打算进行一些光学实验，但由于办不到，所以他对于光的性质也就没有得出明确结论，只提出一些问题让别人去探讨与解答。他的最后意见，似乎总结在第 29 问题中：

光线是不是发光体射出的极小物体？因为这样的小物体可以直线地经过均匀的介质，而不弯曲到阴影中去。这正是光线的本性……。如果折射是由于光线的吸引力形成的，则入射角的正弦必定与折射角的正弦成一定的比例。

根据光的微粒说，很容易说明这个“一定的比例”必定可以量度光线在密的介质中的速度和在稀的介质中的速度的比例。牛顿继续说：

要使光线时而容易反射，时而容易透射，只需要它们是一些小物体。这些小物体靠了它们的吸引力或某种别的力量，在它们作用的物体中激起颤动，这些颤动比原来的光线更要迅速，于是次第赶上它们，并且搅动它们，仿佛轮·流地增加或减少它们的速度，因而使它们具有那种特性。最后，关于冰洲石的反常折射，看来那很象是隐藏在光和冰洲石晶体质点的某几边的某种吸引力造成的。

把光线看做是射入眼中的微粒的观念，可以追溯到毕达哥拉斯派。思培多克勒与柏拉图则认为眼里也射出一些东西。这种触须式的理论也为伊壁鸠鲁和卢克莱修所持有。他们有一种混乱的观念，以为眼看物与手以棍触物有些相同。亚里斯多德反对这看法，主张光是介质中的一种作用（ ）。所有这些都不过是 163 猜度，无比对与不对，同样是无价值的。不过，在十一世纪，阿耳哈曾 (Alhazen) 却举出一些明确的证据，说明视象的原因在于对象，而不是来自眼中，可是在他的时代以后很久，还时常有触须式的见解出现。

---

上引书，P. 347。

这是不计算由衍射而来的微小偏折。

笛卡尔认为光是一种压力，在充满物质的空间内传播。胡克说光是介质中的迅速颤动。这个波动说经惠更斯加以相当详细的发挥。他用几何学的作图法（图 4），描绘了折射的过程。当光的一个波阵面（AC）由空气投到水面（AB）之时，水面上每一点就都成为一个反射到空气中去的的小圆波，和散布到水里去的另一个小圆波的中心。如果把水面每一点的小圆波依次绘出，它们将相交而成新的波阵面，一在空气中，一在水里面（DB）。在这些波阵面，而且只有在这里，这些小波会彼此增强，而产生可感觉到的效果。这样形成的波阵面与我们所知的反射和折射定律都很相合。如果光的速度在水中比在空气中小（这假设与微粒说所需要的恰好相反），则在某一瞬间，水中小波的半径将比空气中小波的半径小，所以折射的光线将更接近于法线，这正是自然界里所发生的现象。

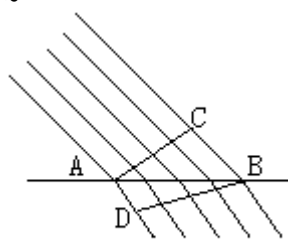


图 4

波动说的主要困难，在于说明清晰阴影的存在，即在解释光的直线传播。平常的波能绕过障碍物，不表现这种性质。一百年后弗雷内尔（Fresnel）解决了这个困难。他证明光的波长比所遇的障碍物的体积小得异常之多，所以光波和平常的波不同。但在牛顿看来，光的直线路径似需要微粒说才能解释。

在上面所引的一节中，牛顿觉得要解释光的周期性，须得想象 164 有一种比光更速的颤动。在以前的问题中，他明白地想象有一种以太担任别的类似的次要任务。例如，他在问题第 18 里说：

如果在两个大而高的倒置玻璃圆筒里，悬上两个小温度计，不要让它们和圆筒相接触，然后把一个圆筒里的空气抽去，再把这两个圆筒由冷的地方搬到热的地方；在真空中的温度计将与在非真空中的一样变热，而且差不多一样的快。再把这些圆筒搬回冷的地方时，真空中的温度计与其他一个差不多一样快的变冷。暖室里的热是不是借一种比空气还要微妙的介质的颤动，在真空中传达呢？这种微妙的介质，是空气抽出后仍然存在真空中的。这种介质是不是就是光折射和反射所凭借的媒介呢？光是不是就靠了这种介质的颤动传其热于物体，并且变得时而容易反射和时而容易透射呢？是不是热体中这种介质的颤动，帮助热体维持其热的强度与期间呢？热体传其热于附近的冷体时，是不是靠了从热体中传播到冷体中去的这种介质的颤动呢？这种介质是不是比空气还要稀薄与微妙万分，还要有弹性和活泼万分呢？它是不足很容易渗透到一切物体中去呢？它是不是（由于富有弹性）弥漫于一切物体中呢？

牛顿接着表示：光的折射是由于这种介质在不同物体中有不同的密度的缘故；它在重物中比较稀薄，在太阳和行星体内比在自由空间格外稀薄，而在自由空间中，离物质愈远这介质就愈浓密。他想这样去解释万有引力，去解释微粒说所需要的光在密的介质中的较大的速度。障碍物边缘的衍射是物质对表面以外的以太的影响所造成的一种折射。所以在牛顿看来，以太是

光和可称量的物质之间的一种中间物。但是我们不要忘记，这些见解不过是牛顿书中正文以外提出的一些疑问。牛顿明白地指出进一步的实验是必需的，而他提出这些问题，是请旁人解答。有人抱怨说人们所以迟迟不接受光的波动说是由于牛顿的权威的缘故，但这种抱怨只有对于那些认为他的疑问里已经包含了解答的人，才适用。

读者当会看出，如果光在空气中和水中的速度可以测量出来或加以比较的话，就可以进行一次决定性的实验，来判断这两个学说孰是孰非。1850年左右，弗科（Foucault）根据直接观测，第一次进行了这种实验。光的速度在水中较小，合于波动说的需要。

但近年来在阴极线中和放射物过程中发现了运动迅速的质点<sup>65</sup>或电子。这说明和牛顿所想象的质点很相似的质点现时已可观察得到。事实上，牛顿理论的最可注意之点，是它和十分现代的观念相似，因为在牛顿看来与普兰克和J. J. 汤姆生看来一样，“光的结构基本上是原子的”，薛定谔等人还必须想象有一种由质点和波动组成的复合体，这同牛顿的想法更是依稀仿佛。当我们想到这些发现以及许多别的发现不过是一位青年人的成就，这个人后来做了造币局长，把他的晚年时间用于实际铸钱工作，又把他的闲暇消耗在思辨的神学著作上的时候，我们不禁对于他的心灵惊叹不置，象古代德谟克利特一样，他真可算是人类中杰出的天才。

## 化 学

前章所叙述的化学与医学的结合，直到十七世纪之末仍然统治着这两种学科。医药化学家逐渐把化学从依附于炼金术的不名誉的状态中解放出来，纳入职业研究的范围中去。已知的元素和化学反应的数目大大增加，从而奠定了提高化学理论的基础。

我们讲过波义耳怎样在他的《怀疑的化学家》一书中，反驳“火的理论”的残余——一方面是亚里斯多德的四元素，另一方面是当时流行的化学理论，主张盐、硫、汞是三个主要原质。他的《怀疑的化学家》一书是化学走向现代观点的转捩点。

牛顿在他的房间后面，剑桥大学大门口与三一学院礼拜堂之间的花园里，设立了一个实验室。他无疑是在这里进行他的光学和其他物理学学术的实验的，但他也研究了化学。他的族人和助手汉弗莱·牛顿（Humphrey Newton）说：

他很少在两三点钟以前睡觉，有时一直到五六点钟才睡觉……特别是在春天或落叶时节，他常常六个星期一直留在实验室里，不分昼夜，炉火总是不熄，他通夜不睡，守过一夜，我继续守第二夜，一直等到他完成了他的化学实验才罢体。

牛顿的化学兴趣似乎主要在于金属，在于化学亲合力的原因和物质的结构。在他的《光学》第311问题里，有这样一节：

物体的小质点是不是有某种能力，效能或力量，使这些小质点可以起超距作用，不但作用于光而令光发生反射、折射与弯曲，而且互相作用，造成很大一部份的自然现象呢？物体因重力、磁和电的吸引而互相作用已是熟知的166事情；这些例子表现了自

然之理，因而在这些吸引力之外也许还有别的吸引力，因为自然是极有常规而不会自相矛盾的。至于这些吸引力如何形成，我不在这里讨论。我所说的吸引力也许是靠了冲动或我所不知的方法形成的。我用的吸引力一词，只是一般地指使物体互相接近的力量，不管它的原因是什么。因为我们在探讨吸引力形成的原因以前，必须先从自然现象了解哪些物体互相吸引，和吸引的性质与定律是怎样的。重力、磁扣电的吸引，达到相当远的地方，因而常人的眼中也能看见。可能还有作用于极短距离的吸引力，直到现今还没有被人观察到，电的吸引力也许在没有被摩擦所激起的时候也可以达到那样的短距离。

酒石酸盐在空气中潮解，不是由于它对于空气中的水蒸汽的质点有吸引的倾向吗？为什么普通的食盐、硝石或硫酸盐不潮解，岂不是因为它们没有那种吸引力吗？……纯硫酸能从空气中吸收很多的水，到饱和之后才不再吸收，以后要在蒸馏中把水蒸发出去也很困难，这不是因为水的质点与硫酸的质点有同样的引力吗？硫酸与水依次倾入一个容器，而混合起来的时候变得很热。这不是说明溶液里各部中有极大的运动吗？而这个运动不是表明这两种液体在温和时，有激烈的结合，因而以加速运动互相冲击吗？

牛顿在炼金术和化学上所花费的时间，比花在使他成名的物理学上的，可能还要多些。他没有写一本有关他的化学工作的书，除了在《光学》一书里所提的问题之外，只能在他的遗稿上找着一点记录。这些文件表明他对于合金特别感兴趣。例如，牛顿说熔点最低的铅、锡、铋合金，其成分的比例为 5 : 7 : 12。他的这些笔记里节录了许多炼金术的著作，还有关于火焰、蒸馏、由矿石中提取金属，以及许多物质和它们的反应的化学实验的记载。这些手稿经人整理，并附上年表，而在 1888 年发表，但其节要过于简短，似乎有重加整理的必要。牛顿在化学上，虽然不象在物理学上那样有特出的发现，但他对于化学的见解远远超过当时的化学家。例如，他对火焰的意义就有深刻的认识。他认为火焰与蒸汽不同，就如赤热的物体与非赤热的物体一样。这种看法比亚里斯多德关于火是四元素之一的说法，与当时化学家用盐、汞、硫三原质来解释物质的见解，远远更接近于现代的思想。

牛顿关于物质结构的见解已见上述。他承认了原子说，使它得到正统的地位，虽然那时原子论还不能达到精确与定量的形式，如以后道尔顿所完成的那样。伏尔泰在他的《哲学词典》中有这样一段话：

物质的充实性今天已认为是虚幻了……空虚，已经被承认了；最坚硬的物体都被看做象筛一样多孔，事实上确是这样。不可分割与不可改变的原子被接受了。不同的元素和不同的种类的存在物的永久性都应归功于这种原理。

## 生物学

前章已经讲过透镜的改进与复显微镜的发明，对动物组织与器官的研究产生很大影响。在我们现在要讲的时期中，学者们，尤其是格鲁（Grew）与马尔比基（1671 年）又把这样的方法推广到植物学中。关于植物的细胞与器官的正确观念也开始形成。从德奥弗拉斯特（Theophrastus）到舍萨平尼

---

A Catalogue of the Portsmouth Collection of Books and Papers Written by or belonging sir Isaac Newton , Cambridge 1888.

上引书 P.21。

Tda Praund 翻译的：The Study of Chemical Composition Cambridge , 1904,p.283.

(Cesalpini)，好像没有人注意生殖器官。首先从事这一研究的也许是格鲁。1676年他在皇家学会宣读了一篇植物构造的论文，他讲到雄蕊是雄的生殖器官，并叙述了它的作用，但把这一学说的功绩归于牛津大学教授米林顿(Thomas Millington)爵士。杜宾根的卡梅腊鲁斯(Camerarius)、莫尔兰(Morland)、杰沃弗罗瓦(Geoffroy)诸人在巴黎科学院提出的论文中，又添了一些肯定的证据和细节。这些植物学家弄明白了：没有雄蕊粉囊里的花粉，雌蕊的受胎或种子的形成是不可能的。

早期动植物的分类，主要以功利主义的观点为根据或根据表面的显著特点，如把植物分为草本、木本与灌木等类便是。但在1660年，植物学史上的一个杰出的人物约翰·雷(John Ray, 1627—1705年)开始发表论述系统植物学的一系列著作中的第一部著作。这些著作引起植物分类的大改进，同时也促进了形态学的进步，例如对于芽的真正性质的认识便是。约翰·雷最先看到把植物胚胎中的单子叶与双子叶加以区别的重要性，又利用果、花、叶和其他特性，首创植物分类的天然系统，并指出许多植物的纲目，至今仍为植物学家使用。此后他转而研究动物的比较解剖学，又促进了自然的分类，如将动物分为兽、禽和昆虫便是。约翰·雷常与维路格比(Francis Willughby)一块出外旅行，研究植物和动物，足迹遍于全球。约翰·雷不以古人的见解为最后权威，而将现代的自然历史建立在观察的稳固基础之上。

### 牛顿与哲学

牛顿工作的两个最大的结果是，(1)证明地上的力学也能应用于星球；(2)从自然科学的大厦中排除掉不必要的哲学成见。希腊与中世纪认为天体具有特殊的和神圣的性质。这种见解已经部分地被伽利略的望远镜所解除了，但牛顿则更进一步加以摧毁。

那时哲学与科学仍是混淆不清。笛卡尔在为天文学建立一种力学理论时，也把它放在经院哲学的相反的观点和认为物质的本质是广延性的形而上学见解的基础上。牛顿摆脱了这些先人之见，实在是一种真正的进步。他对他的研究成果的解释，又包含了多少新的形而上学，我们将要在下面再加以说明。

他的工作的意义，在他的直接弟子们看起来究竟怎样，可以从科茨(Roger Cotes)所写的《原理》第二版的序言中看出。在这里，科茨把残存的经院哲学和它固有的与不能解说的特性，笛卡尔想要在充满旋涡的实体空间的基础上建立自然界机械体系的、为时过早的尝试，以及牛顿只承认与观测符合的假设的方法，加以比较。科茨说：

研究自然哲学的人可以大致分为三类，有些人把一些具体的神秘的性质归于几类物体，他们又断定某些物体的作用不可思议地决定于这些性质。亚里斯多德和逍遥学派所传下来的各学派的学说，一齐都包括在这里面。他们断言物体的若干效果是由于那些物体的特殊性质而产生的，但那些物体从何处得到这些性质，他们却不告诉我们，因此实际上他们没有告诉我们什么。他们只是致力于给事物起名称，而不探索事物本身。我

---

John Ray, by C.E. Raven, Cambridge 1943.

特别看牛顿《原理》中的序和附言，以及《光学》中的疑问。并看：A.J. Snow, Matter and Gravity in Newtons Physical philosophy, Oxford, 1926; E.A. Burtt, The Metaphysical Foundation of Modern Science, New York, 1925.

们可以说他们发明了一种富于哲学味道的说话方式，并没有把真正的哲学告诉我们。

因此，另外一些人就撇开大堆无用的词句，想使他们的勤劳收到较好的效果。他们假定一切物质是纯一的，物体所表现的多种多样的形式，是由于组成它的质点具有极平常而简单的亲合力所造成的；他们这种由简单物走到复杂物的方法当然是正确的，只要他们不在自然赋予质点的基本亲合力的性质之外，另外再给这些亲合力添上一些性质。但是当他们的任意想象未知的图形与大小以及各部份的不能肯定的情况与运动的时候，当他们还设想有一些神秘的流质，自由弥漫于物体孔隙之中，具有无所不能的微妙性，带着神秘莫测的运动的时候，他们这时就已经进入梦幻的境界，而忘记了物体的真正结构；这种结构，我们凭借最精确的观测还很难达到，凭借谬妄的猜度就更没有希望达到了。有些人把假设当作构造他们的玄想的基础，也许的确能形成一部奇妙的传奇，但也仍然不过是传奇而已。

剩下的还有倡导实验哲学的第三类人。这些人诚然要从可能的最简单的原理中去寻找万物的原因，但他们从不把未经现象证明的东西当做原理。他们从不构造假说，也不把假说放进哲学里去，除非把它当做真实性还可以商榷的问题。他们所用的方法，有综合与分析两种。从一些选择出来的现象，他们用分析的方法推出自然界里的力以及力的简单定律；又从这里用综合的方法推证其他的结构。这是哲学探讨的无可比拟的最好方法，我们的著名作者最先最正确地掌握了这个方法，并且认为只有这个方法才值得他用他的卓越的劳动去加以发扬光大。在这方面，他给我提供了一个最光辉的范例，那就是根据重力理论极美满地推出来的对于世界体系的解释。

牛顿的动力学与天文学的基础，建立在绝对空间与绝对时间的观念上。牛顿说他“他不给时间、空间与运动下定义，因为它们是人人都熟悉的”，但是他却把我们的感官根据自然物体和运动所量度的相对空间与时间，同不动地存在着的绝对空间，和“不管外界情形如何”，均匀流动着的绝对时间区别开来。“流动”观念带来了时间的流动性，作为它的必要组成成份，因而这个时间的定义里包含循环的因素，不过，这个定义已经足够牛顿用了。伽利略的球在地球上依直线运动。但地球既绕地轴旋转，又围绕太阳运行，而太阳与行星更在恒星间前进。牛顿的结论是物体总是在绝对空间里作等速直线运动，除非为外力所改变。1883年马赫指出把这个推理推到恒星的参照座标以外，是不恰当的。再从现代知识看来，我们可以更清楚地看出绝对时间与绝对空间的观念，是一些不一定可以从物理现象得出来的学说，虽然在十七世纪这些观念也许是从一般经验的事实中得出的很好的假设。事实上，彻底的相对论者，要免除使用绝对旋转的观念，也仍然是有困难的。

170 惠更斯与莱布尼茨责难牛顿的工作是非哲学的；因为他对于万有引力的根本原因并未加以说明。牛顿最先清楚地了解到如果这个说明是需要或有可能的话，它必定是后来的事。他从已如的事实出发，想出一个符合于事实而又能用数学表达的理论，从这个理论得出数学的和逻辑的推论，又把这些推论与观测和实验得来的事实比较，并发现其完全符合。引力的原因不一定必须知道；牛顿看来，这是一个次要而无关的问题，在当时只达到适于猜想的阶段。我们现在可更进一步说，知道这样一个引力实际存在也并无必要。只要晓得复杂的行星运动就好象太阳系里每一质点都按质量及平方反比的定律被另一质点吸引着似的，这在数理天文学家看来已经够了。

牛顿的吸引质点，不一定是原子，但它们显然很可以起原子的作用。在他的化

学研究中，牛顿又回到质点的问题。他对于物质本性的意见见于他的《光学》书末尾人们常常引用的一段话中：在考虑了这一切以后，我觉得好象是这样的：上帝在开头把物质造成固实、有质、坚硬、不可贯穿、而可活动的质点，它们的大小、形状以及其他性质与其对空间的比例，都最适合于上帝创造它们时所要达到的目的。原始的质点既属固实，就比用它们造成的有孔物体，要不可比拟的坚硬：它们坚硬到不能损坏或分割；寻常的力量不能分开上帝在最初创造时所造成的单体……我还觉得这些质点不但有一种惯性以及由此自然产生出来的被动的运动定律，它们并且为一些主动的原理所推动，如象万有引力、发酵的原因以及物体的内聚力等。这些原理，我不着做是由物体的特殊形式得来的神秘性质，而看做是自然界里决定物体形式的普遍定律；它们所具有的真实性通过现象显现在我们面前，虽然它们的原因还没有发现。因为这些是明显的特性，它们的原因才是奥秘的。亚里斯多德派并不把明显的特性叫做奥秘的性质，而仅把他们认为隐藏在物体中、成为明显效应的未知原因的一些性质，叫做奥秘的性质；这些明显的效应有重力、碰、电的吸引原出，发酵的原因等，只要我们假定这些力或作用是由未知而且是不能发现或弄明白的原因所造成的。这样的奥秘性质阻碍了自然哲学的进步，所以近年以来被人摈弃了。告诉我们每一物种有其天赋的特殊奥秘性质，因而它才能起作用或产生可见的效果，这等于什么也没有告诉我们。但如果你能从现象中发现两三个普遍性的运动原理，然后再告诉我们一切有形体的物体的性质与作用都是由这些明显的原理中产生的，那在哲学上就是一个大进步，虽然这些原理的原因还没有发现出来。所以我毫不迟疑地提出以上所说的运动原理——因为它们的范围是很广泛的——而让别人去发现它们的原因。

自从牛顿时代以来，虽然经过很多人的努力，还没有人能对万有引力提出圆满的机械解释，而且从爱因斯坦的研究看来，这个问题已经转移到非欧几里得几何学的领域去了。这一事实证明牛顿的小心谨慎的真正科学精神是非常明智的。牛顿在《原理》中说，“到现在为止我还不能从现象发现重力的那些性质的原因，我也不愿建立什么假说。”他仅用问题的形式，在他的《光学》书中发表了一项意见，在那里他假设行星际间有以太存在，并假设其压力离物质愈远而愈密，因而压迫物质使其互相接近。但在他对事实进行归纳研究的时候，在他从他的理论中得出数学推论的时候，猜度是没有地位的。

现在回到他比较确定的意见。他对于自然界的见解，见于《原理》的序言中：

哲学的困难好象在这里——从运动的现象去研究自然界的力，再从这些力去验证其他现象；书中第一、第二卷的一般命题就致力于这个目标。在第三卷中我们阐明了世界体系，作为这方面的一个例子。因为根据第一卷里用数学证明的命题，我们在第三卷里由天象推出把物体吸向太阳和几个行星的重力。我们又从这些力，使用其他数学的命题，推演出行星、彗星、月球和海水的运动。我希望我们可以用同样的推理，从机械的原理中推演出其余一切自然现象：因为我有许多理由疑心它们可能全部取决于某些力，物体的质点就靠了这些力，由于一些迄今未知的原因，而互相吸引，粘着成有规律的形状，或互相排斥，而彼此离散；这些力既不可知，哲学家在自然界里追求，至今仍然徒劳无功；但我希望这里所阐述的一些原理能帮助说明这一点或某种比较合乎真理的哲学方法。

在这里，牛顿所指的显然是按照物质与运动，用数学方式解释一切自然

---

见 A, Motte 英文译本, 1803 年版 p, X.

现象的可能性，虽然“自然现象”一词是否包括生命和心灵现象，他没有说明。但就其他事物而论，他接受首先由伽利略阐明的机械观点，而认为这是可能的。

172 他还接受了伽利略对于第一性性质和第二性性质所作的区别：所谓第一性性质，有广延性与惯性等，是可用数学处理的，第二性性质，有色、味、声等，不过是第一性性质在大脑里所造成的感觉。人的灵魂或心则应置在脑或感觉中枢里，运动由外界物体通过神经传达到这里，又由这里传达到肌肉里去。

伯特教授认为这一切说明：虽然牛顿采取经验主义态度并且坚持处处都需要有实验的证明，虽然他反对把一切哲学体系当做科学的基础，并且在建立科学时摈斥不能证明的假设，但由于需要，他却暗暗地采用了一个形而上学的体系，这个体系正因为没有明白说出，所以才对思想发生了更大的影响。

牛顿的权威丝毫不差地成为一种宇宙观的后盾。这种宇宙观认为人是一个庞大的数学体系的不相干的渺小旁观者（象一个关闭在暗室中的人那样），而这个体系的符合机械原理的有规则的运动，便构成了这个自然界。但丁与弥尔顿的富于光辉的浪漫主义情趣的宇宙，在人类想象力翱翔于时空之上时、对人类的想象力不曾有任何限制，现在却一扫而空了。空间与几何学领域变成一个东西了，时间则与数的连续变成，一个东西了。从前人们认为他们所居处的世界，是一个富有色、声、香，充满了喜乐、爱、美，到处表现出有目的的和谐与创造性的理想的世界，现在这个世界却被逼到生物大脑的小小角落里去了。而真正重要的外部世界则是一个冷、硬，无色、无声的沉死世界，一个量的世界，一个服从机械规律性、可用数学计算的运动的世界。具有人类直接感知的各种特性的世界，变成仅仅是外面那个无限的机器所造成的奇特而不重要的效果。在牛顿身上，解释得很含混的、没有理由再要求人们从哲学上给予严重考虑的笛卡尔的形而上学，终于打倒了亚里斯多德主义，变成现代最主要的世界观。

无疑，这一段流利的文字真实地代表了那些不喜欢新科学观点的人们的反应。但在牛顿和他的直接弟子们看来，这是很不公平的论调。在他们眼里，牛顿赋予世界画面的惊人的秩序与和谐所给我们的美感上的满足，超过凭借任何天真的常识观点或亚里斯多德派范畴的谬误概念，或诗人们的神秘想象所见到的、万花筒式的混乱的自然界，而且这种惊人的秩序和和谐还更明白地告诉他们，全能的造物主有什么至善的活动。颜色、爱情和美丽的世界仍然在那里，可是象天国一样它存在于人的灵魂中，存在在一个受到上帝精神感召的灵魂中。这个灵魂使万物保持着庄严的繁复性，173 它所了解的万物的美比人目所看到的更多，而且它认定这个世界是非常之好。

牛顿的真正态度，在爱迪生（Joseph Addison）的有名诗句中，得到今人钦佩的表现：

高高苍天，  
蓝蓝太空，  
群星灿然，  
宣布它们本源所在：

---

Opticks, 3rd ed. p. 108.

上引书 P. 328.

E.A.Burt, The Metaphysical Foundations of Modern Science, New York, 1925, p.236.

就算全都围绕着黑暗的天球  
静肃地旋转，  
那又有何妨？  
就算在它们的发光的天球之间，  
既找不到真正的人语，也找不到声音，  
那又有何妨？  
在理性的耳中，  
它们发出光荣的声音，  
它们永久歌唱：  
“我等乃造物所生”。

事实上，只要对爱迪生的意思有丝毫的误解，就可以说他给了伯特博士一个先知的答复。

我们必须承认，牛顿的科学后来被人拿来当做机械哲学的根据，但这并不是牛顿或他的朋友的过错。他们使用了对他们来说十分自然的神学语言，尽力使人明白他们的信念：牛顿的动力学，不但没有否定，而且加强了唯灵论的实在观。如果他们明白地把笛卡尔的形而上学的二无论哲学和牛顿的科学融为一治，也许还要安全些，因为笛卡尔的二无论哲学给心灵和灵魂明白地留下一席之地，虽然是更狭小的一席之地。不过在他们看来，有神论是具有根本意义的东西，是不发生问题的东西，因此他们在完全接受这个新科学时是没有什么疑惧的。

用现代知识的眼光来看机械的自然观究竟具有什么意义，我们将在本书以后几章内讨论。牛顿假定，就“自然哲学的数学原理”而论，世界是由运动中的物质组成的。这个假定不过是自然界的一个方面的定义而已，动力科学觉得从这个方面去看自然界比较方便。此外还有许多方面，如物理的方面，心理的方面，审美的方面，宗教的方面等，只有把这些方面合并起来加以研究，我们才有希望得到对真实的认识。

牛顿虽然有异乎寻常的数学才能，但仍保持经验派的态度。他时常说他制造假说，意思是指形而上学的、不能证明的假说，或 174 根据权威而形成的理论，而且他从来不发表不能用观测或实验证明的学说。这不是因为他缺乏哲学的或神学的兴趣，其实事实恰恰相反。他是一位哲学家，也有深挚的宗教信仰；但是他觉得这些问题是从人类知识的顶点才能看到的境界，而不是人类知识的基础；它们是科学的终点，而不是科学的开始。《原理》一书，就从把已知的事实归纳起来的一些定义和运动的定律开始。以下两卷满载从这些命题推演出来的数学推论，建立了动力学和天文学两大学科。这本书第二版里，结尾处加上七页“一般注释”，包含牛顿认为在这样的著作中他应该讲的、他的物理学发现，在形而上学上的意义。这是用当时的自然神学的语言写成的。它的要义就是天意论。他说：“这最美丽的太阳、行星、彗星的系统，只能从一位智慧的与无所不能的神的计划与控制中产生出来……。”神“是永久存在，而且无所不在的，由于永久存在及无所不在，他就成为时与空”。所以在牛顿看来，绝对时间与空间是由神的永久的与无限的存在所组成的。

在《光学》一书的不太系统化和不太正式的问题中，牛顿还把他的许多思辨性的意见告诉我们。“自然哲学的主要任务，是从现象出发，而不臆造假说，从结果推到原因，一直推到最初的第一因，这第一因肯定不是机械

的。……从现象中不是可以看出有一位神吗？他无实体，却生活着，有智慧而无所不在。他在无限空间中，正象在他的感觉中一样，看到万物的底蕴，洞察万物，而且由于万物与他混合无间，还能从整体上领会万物。”

牛顿并不以为神只是造出并发动机器以后就让它自己永久动作的第一因。神在自然界是内在的；“他控制万物，知道存在着的或可以做出来的万物……既然无所不在，他在凭自己的意志移动他的无限而一致的知觉中枢范围内的物体，从而形成或改造宇宙的各部分的时候，就比我们凭我们的意志来移动身体的各部分还要容易”。牛顿还请上帝出来用直接干涉的方法，改正太阳系 75 中因为彗星的作用等扰乱原因而逐渐聚集起来的不合规律的地方。这种缺乏远见的情况在他是不常有的。在拉普拉斯指出这些原因有改正自身的倾向，并且证明太阳系具有动力学的基本稳定性之后，有人就拿这个论据来反对这个论据所要证明的结论。

本特利 (Richard Bentley) ——在讲道时——和克拉克 (Samuel Clark) 对牛顿的形而上学的观念加以发挥，但也百些曲解。本特利断定：“万有引力是肯定存在于自然界的；它超出一切机械论和物质原因之上，而且是从一个更高的原因或神圣的能力与影响中产生出来的”，虽然它的常规是可以机械的术语来描写的。克拉克则以为需要假定：

重力不能用物质相互的冲动的吸引力来解释，因为每一冲量都是和物体的质量成比例的。因此必有一个原质可以钻进坚实、硬固的物体之内，而且（由于超距吸引是不合理的）我们必须假定有一种非物质的灵魂，按一定的规则支配物质。这种非物质的力在物体内部是普遍存在的，它无所不在，无时不在。……重力或物体的重量并不是运动的偶然效果，也不是极微妙的物质的偶然效果，它是上帝赋予一切物质的本原的、普遍的定律，而且靠了某种能够透入坚实物质的有效力量来把它保持在一切物质中。

牛顿不把重力看作是物质的根本性质，而把重力看做是只有更进一步研究其物理的原因，才可以说明的现象。但本特利与克拉克却把他对于自然界中形而上学的、终极的、最后因的信仰当作重力的直接与切近的原因，而不知牛顿正是要仔细把两者分离开来。这里我们看见有人从有神论者的立场出发误解了牛顿，正如后来又有人从无神论者的立场出发误解了牛顿一样。事实上，牛顿似乎平注定要被人误解。超距作用，他卒以为是不合理的，却被人当做他的基本观念，而确立这个观念也就成了他的最大功绩。这“最美丽的太阳、行星和彗星的系统”，牛顿以为只有一位仁爱的造物主才能形成，可是在十八世纪却成了机械哲学的基础，代替了古来的原子论，而成为无神的唯物主义的起点。

显然，在牛顿的时代（科学知识的第一次大综合时代），人类学术观点方面的革命，也带来了教条的宗教信仰的陈述方面的一场革命。一方面，人们再不能继续抱有亚里斯多德和托马斯哲学里 176 包含的朴素的宇宙概念，再不能仰而观天，俯而震栗于地狱的雷声。光不再是弥漫四大、纯粹、无色的神秘物质，不再是上帝的住所，而成了一个物理现象，它的规律可用反光镜和透镜来研究，它的颜色可用三棱镜来分析。另一方面，在虔信主义与神

---

Opticks, Query 2 8.

Opticks, 3rd ed. p. 379.

Opticks, 3rd ed. p. 378.

看 A.J.Sonw, Matter and Gravity in Newton's Physical Philosophy, Oxford, 1926. p. 190.

秘主义中表现出来的发于本能而不能明白解说的那种柏拉图主义，对于这种新的心理态度也不适用了。人们已经接受了一种比较合乎理性的柏拉图主义。这种柏拉图主义与上面那一种一样认为永恒的真理是靠天赋的力量或内心的启示达到的，同时也把数学或几何学的和谐看作是存在的本质。这种柏拉图主义，经过伽利略与刻卜勒的思想而成为牛顿的数学体系。它承认内在力量或启示是理性的基础，这个理论于是成了一种唯智主义。它要在宇宙的物理秩序及道德定律中寻找神的自然真理。“这样就出现一种严肃的唯理论，与‘热情’一词所代表的一切浪漫主义形式的宗教相对立。宗教信仰的寄身之所由心转移到头脑中，神秘主义被数学所驱逐……这样就为最后也许能够代替传统信仰的开明的基督教”，以及康德所追寻的“理性范围内的宗教”，开辟了道路。

### 牛顿在伦敦

牛顿在保卫剑桥大学，抵抗詹姆斯二世对剑桥大学的独立的干涉方面起了相当大的作用。他被选入解决王位继承问题的自由议会，1701年再度当选。

1693年，他患了精神分裂症。他遵从朋友的劝告，离开了剑桥大学。他们推荐他去当造币局的监督，不久升任局长。他放弃了他对比学与炼金术的研究，把这方面的著作锁藏箱内。

迁居伦敦后，他的生活就完全不同了。他在科学上的成就为他赢得一个崇高的地位，从1703年起一直到他去世时为止，他担任皇家学会的会长达二十四年之久。由于他的能力与名誉，他为皇家学会赢得很大的威信。虽然他早年常有心神游移的症状，但他在造币局的工作表现出他是一位能干而有效率的公务员，不过他对批评与反对，常有不能忍受的紧张情绪。1777他的甥女嘉泰琳·巴顿(Catherine Barton)是一个机智而貌美的妇人，为他管理家务。这是他一生的第二个时期。十八世纪里流传的关于牛顿的传说，都是讲这个时期的事。嘉泰琳嫁给康杜特(John Conduitt)；他们的独生女嫁给利明顿(Lymington)子爵。利明顿的儿子承继了朴次茅斯伯爵的爵位。因而中顿的财产为瓦洛普(Wallops)家族所继承。1872年第五代朴次茅斯爵士把牛顿一部分科学文件赠给剑桥大学图书馆。后来牛顿的另外一些书籍与论文也拿出来出售了。凯恩斯(Lord Keynes)爵士购得一部分论文，书籍则为旅客信托社(Pilgrim Trust)所购得，并于1943年赠给三一学院。

## 第五章 十八世纪

数学与天文学——化学——植物学、动物学与生理学——地理发现——  
——从洛克到康德——决定论与唯物主义

### 数学与天文学

不幸牛顿与莱布尼茨各自发明微分学以后，符号既不相同，又在发明先后问题上发生争执，因此事情就复杂化了。由于这些原因中的一个或两个原因，英国数学家与大陆数学家就分道扬镳了。前者用了牛顿的符号，但大半疏忽了他的新分析方法，而遵循牛顿常用以记载他的研究结果的几何学方法。因此，英国学派对于十八世纪前半期新微积分学的发展很少贡献，但在大陆上，特别是在詹姆斯·别尔努利（James Bernouilli）的手里，微积分学却得到发展。牛顿体系中的一个空白，后来由于在实验中测定了地面重力和万有引力常数而填补起来；1775年左右，马斯基休（Maskelyne）观测了铅垂线在山的两面的偏离，1798年卡文迪什（Henry Cavendish）用米歇尔（Michell）设计的精细扭摆，观测了两个重球之间的引力。1895年，波阿斯（Boys）又使用这个方法，求得两个各为1克的质点，相距1厘米时，其互相吸引的力为达因，由此算出地球的密度是水的5.5270倍。

牛顿的工作成果由莫佩屠斯（Maupertuis）等人的著作介绍到法国去，更由达兰贝尔（d'Alembert）、克勒洛（Clairault）与欧勒（Euler）加以发展。伏尔泰（Voltaire）于1726至1729年间侨居英国，他后来和夏特勒（Chatelet）夫人合作，发表了一本讨论牛顿体系的通俗著作，鼓舞了有名的法国《百科全书》的许多作者。

这部内容参差不一的巨著的第一版在1751至1780年间经过许多困难，以三十五巨册刊布于世。狄德罗（Diderot）是总编辑，在头几年达兰贝尔担任数学的编纂。这部书总结了当时的科学思想。它的总的精神以有神论为主，但带有异端色彩，而且愈来愈倾向于攻击政府和罗马教会，最后乃至攻击基督教本身。

在数学与其应用上，泰勒（Taylor，1715年）与马克洛林（MacLaurin，1698—1746年）证明怎样展开某些级数，并应用到振荡弦的理论和天文学上去。布莱德雷（Bradley）根据恒星光行差的观测结果，求得光线传播的速度（1729年；参看399页）。欧勒（1707—1783年）创立了分析数学的新分支，修订并改进了数学的许多分支，而且发表了几部关于光学和自然哲学的一般原理的著作。

拉格朗日（Joseph Louis Lagrange，1736—1813年）也许是十八世纪最大的数学家。他主要的兴趣在纯理论方面。他创立了变分学，并且把微分方程式问题系统化了。他的包罗万象的概括结论，常可应用到物理学问题上去。他自己出版了天文著作，提出了三体的相互吸引力的计算这一困难问题的处理方法。在他的巨著《分析力学》里，他通过虚速度和最小作用原理把全部力学建立在能量不灭的原理之上。

达·芬奇曾经利用虚速度（或虚工作）的原理推出杠杆的定律，史特芬

给这一原理所下的定义是：“得于力者失于速”。莫佩屠

斯把空间（或长度）和速度的乘积的总和叫做“作用”，并且为了形而上学的理由，假定在光的传播这样的过程中，必定有某种东西是个最小量。他指出事实竟与光循最小作用的路径传播的假定一致。拉格朗日把这个原理推广到一切物体的运动上去，而把“作用”定义为运动量的空间积分，或动能的时间积分的两倍。在哈密顿的方程式和普兰克的量子理论中，我们将要再遇见这个作用量。

拉格朗日的微分方程式赋予这个学科以新的普遍性和完备性。这些方程式把力学的理论简化成普遍的公式，解决每个问题的特殊方程式，都可从这些公式推导出来。

位普拉斯(Pierre Simon de Laplace, 1749—1827年)对于牛 180 顿体系的贡献比拉格朗日更多；他是一个诺曼底乡下老的儿子，靠了他自己的能力和善于随机应变的才能，后来竟成了王政复辟时代的侯爵。

拉普拉斯修改了拉格朗日的位函数的方法，改进了引力问题的处理。他在一个很重要的方面完成了牛顿的工作，因为他证明了行星的运动是稳定的，行星之间的相互影响和彗星等外来物体所造成的摄动，只是暂时的现象。这样，他就证明牛顿担心太阳系久而久之会由于自身的作用而陷于紊乱，是没有根据的。

1796年，拉普拉斯发表了《宇宙体系论》，内容有天文学史，牛顿体系的一般叙述及星云假说；按照这个假说，太阳系是从一堆旋转着的白热气体演化而来的。1755年，康德已经提出这个看法。他比拉普拉斯更进一步，认为有从虚无中创造出来，星云从原始的混沌中成形。现代的研究说明星云假说对于太阳和行星的较小的结构不很适合，但对于在旋涡星云的形成过程和银河系发展的晚期阶段中可以看到较大的恒星集团，也许是适用的。

拉普拉斯的分析性的讨论见于他的主要著作《天体力学》（1799—1805年）里。他用微分学诠释了牛顿的《原理》的内容，并且补充了许多细节。

鲍尔叙述拉普拉斯把他的书呈献于拿破仑的情形如下：181 有人告诉拿破仑说，那本书没有提到上帝的名子。拿破仑全是喜欢幸话来难人的，他收到那本书时说：“拉普拉斯先生，有人告诉我，你写了这部讨论宇宙体系的大著作，但从不提到它的创造者”。拉普拉斯虽是最圆滑的政客，但在他的哲学的每一点上，却有殉道者坚强不屈的气概，于是他挺直了身子，率直地答道：“我用不着那样的假设”。拿破仑觉得那个回答很有趣，把这个回答告诉了拉格朗日。拉格朗日说道：“那是一个美妙的假设，它可以解释很多东西”。

---

根据牛顿运动第二律，质点的动量的变率等于外加的力。应用这定律于互相正文的三坐标于质点上的力的三分量。从这些算式，拉格朗日得到运动的普遍公式有如以下的形式：式内  $L$  是拉格朗日函数，代表体系中动能与位能的差， $T$  代表时间， $Q$  代表作用于体系之上、因而往往使任何坐标  $q$  都有所增加的外力。

要说明“位”在物理学上的意义，我们可以这样说：任何方向上位的减少率，可以量度在那个方向上施于某单位的力，这单位可以是质量、电量或任何量。拉普拉斯证明位  $V$  总是能满足以下的微分方程式：可以叫做  $V$  的局部强度。珀松 (Poisson) 于 1813 年得出一个更一般的形式：，这关系出现于数学物理的各部门之中，鲍尔 (Rouse BALL) 说：“它以分析方法表现了一个普通的自然定律，这定律还不能用语表达出来。”

还有历史叙述的一册，出版于 1825 年。

拉普拉斯总结了当时有关概率论的研究成果，并且假定有一种只有在微小距离才能感觉到的吸引力，以解释毛细现象。他还说明为什么按照牛顿的公式，用密度除弹性的平方根所得的、声音在空气中的速度值大小。他发现这种不符的原因在于热。因为音波一紧一松时，要发出与吸收热，这样就使空气的弹性增加，因而增加了声音的速度。

此后引力天文学的工作，不外完成牛顿和拉普拉斯的工作。牛顿引力假说的正确性在 1846 年由于有人预测有一个未知行星存在而受到最后的考验。这是把牛顿和拉普拉斯方法颠倒过来加以运用。天王星脱离自己轨道的摄动，无法用已知其他行星的作用，给予充分解释，要说明这些不规则的摄动，便须假设有一个新行星存在。这个行星的必然的位置由剑桥的亚当斯 (J.c.Adams) 与法国的数学家列维烈 (Leverrier) 各不相谋地计算出来。柏林的天文学家加勒 (Galle) 依照列维烈所指的方位，用望远镜去寻找，果然发现一颗行星，而命名为海王星。

牛顿理论的精确性实在令人惊异。两个世纪中一切可以想到的不符的情况都解决了，而且根据这个理论，好几代的天文学家都可以解释和预测天文现象。就是现在，我们也须用尽一切实验方法，才能发现牛顿的重力定律和现今天文知识有些微的不符。拉格朗日把《原理》誉为人类心灵的最高产物，而且说牛顿不但是历史上最大的天才，也是最幸运的一位天才：“因为宇宙只有一个，而在世界历史上也只有一个人能做它的定律的解释者”。从现今我们 182 所知道的自然界的极端复杂性来看，我们现在来评价牛顿时，就不会这样说。但这很可以说明牛顿的工作在后来的一个世纪中对于最能领会它的一位科学家产生了多大的影响。

## 化 学

十八世纪初，有许多心灵乎巧的观察者把实验化学推向前进。荷柏格 (W. Homberg) 研究了碱和酸在各种比例下的化合，因此为酸与碱化合而成盐的理论提供了有力的证据。这理论创始于西耳维斯，实在是现代人关于化学结构的许多观念的起点，在科学史上是有重要地位的。

此后三十年中，以莱登的波尔哈夫 (H.Boerhaave) 和黑尔斯 (S.Hales) 的工作为最出色。波尔哈夫于 1732 年发表了“当时最完备、最光辉的化学论著”；黑尔斯研究了许多气体，如氢、碳的两种氧化物，二氧化硫、沼气等。他认为这些气体都是因为有其他物体存在以不同方式发生改变或者说“受到薰染”的空气。

早期化学家的最大困难，是了解火焰和燃烧的现象。物体燃烧时，好象有某种东西逃走掉了。在长时期中大家认为这种东西是硫，普鲁士王的御医斯塔耳 (C. E. Stahl, 1660—1734 年) 把它叫做“燃素”，意即火的原素。他的学说是从柏克尔 (Becher) 的见解发展而来的，在他死后，这个理论被人广泛采纳，在十八世纪末叶，一直支配着化学界的思想。雷 (Rey) 与波义耳都证明过金属燃烧后固体物重量增加，所以“燃素”必须具有负重员，于是亚里斯多德关于一个物体本质上是轻的观念又重新复活起来。当时化学家不顾物理学的成就，以这个假说去说明化学事实。由于这个假说和更

老的学说的影响，虽然有个别研究结果可以据以得出比较现代的看法，但这些研究结果对于当时的化学家的思想却没有什麼影响；这些事实还有待重新发现、重新解释。

第三章内已经说过，在氧被发现以前一个世纪，已经有人证明空气中有一种活跃的成分，而且是呼吸与燃烧所不可缺少的。1678年，博尔奇(Borch)从硝石中制出氧气，1729年，黑尔斯用水上收集法又得到这种气体。1640年，范·赫耳蒙特取得了二氧化碳并命名，183为“西耳韦斯特(silvestre)气”；氢气的分离，甚至可追溯到帕腊塞耳苏斯(Paracelsus)。他描写过铁屑在醋上的作用。不过这些观察结果都被忘记了，它们的意义也被人忽略了；当时人们仍然认为空气是唯一的气体元素。

十八世纪化学工业开始推动这门学科。1755年，爱丁堡的布莱克(Joseph Black)发现一种新的有重量的气体，它与空气不同，是与碱类结合在一起的。他把这气体叫做“固定下来的空气”。这就是现在我们叫做二氧化碳或碳酸的东西。1774年，舍勒(Scheele)发现了氯气。普里斯特勒(Joseph Priestley, 1733—1804年)加热于氧化汞，制出氧气，并且发现它有维持燃烧的独特性能。他根据前人的研究成果(121页)，还证明氧是动物呼吸必需的气体。可是他认为这气体是去掉燃素的空气，竟不知道他的发现已经在化学史上揭开了新的一页。1781年，卡文迪什(Henry Cavendish, 1731—1810年)证明了水的复合性(发表于1784年)，这样就把水从元素之一的崇高宝座推下来。但是他描述组成水的气体时，仍沿用“燃素”与“去掉燃素的空气”等名词。1783年，瓦特(James Watt)发表了同样的意见，因而引起评论者关于发现先后的争论。

当时流行的见解认为水沸腾后成土。拉瓦锡(Antoine Lavoisier, 1743—1794年)指出，这种见解是错误的。他证明水沸后剩余的渣滓是容器(玻璃之类)的溶解物，水经过多次蒸馏后，是纯洁而有不变的密度的。由于“共和国不需要学者”，拉瓦锡后来和许多包税人一起走上断头台。

拉瓦锡重做了普里斯特列和卡文迪什的实验，精确地称量了他的试剂和产物。例如在一个实验中。他让4英两的汞与50立方英寸的空气相接触，热到快要达到沸点的温度。红色汞灰出现并继续增加，一直到第十二天。汞灰的重量为45洛令(grain 英厘)，剩余空气的体积为42至43立方英寸即原来体积的5/6。这剩余的空气不能再维持燃烧，小动物在里面几分钟就死去。

再将这45英厘的红色汞灰放在小曲颈甕加以强热。411英厘的金属汞和一种气体出现。把气体由水面收集起来，加以量度，体积为7到8立方英寸，重为到4英厘。但全部原物质都有下落——总质量是不变的。这气体维持火焰与生命比普通空气更有力量。拉瓦锡说：

从这个实验的各种情况看来，汞在锻烧的时候，吸收了空气中适于养生和呼吸的成分，余下来的部分是有毒的，不能维持燃烧和呼吸。可见空气是由性质不同的、甚至可以说是性质相反的两种富于弹性的流体组成的。拉瓦

---

拉瓦锡在政治上是十分反动的，1789年法国大革命中，他以法国科学院负责人的身分，与反动统治者一起，进行了镇压革命的活动，因此最后为革命的人民把他送上了断头台。据说，1794年5月初，在革命法庭宣判拉瓦锡及包税人等二十八人死刑时，拉瓦锡请求给他以足够的时间去完成他正在进行的关于汗的实验，当时的法庭副庭长科芬纳尔(Coffinhal, 1754—1794年)就回答了这样一句话。——译注

锡抓住了一个极端重要的事实：要解释这个和其他许多类似的实验以及普利斯特列和卡文迪什的实验，并不需要燃素说，臆造一种与其他物质在性质上根本不同的物体，是不必要的。牛顿的力学建立在质量不变的假设上，这假设由于他的成功而证明不误。他还证明质量和重量虽然是两个不同的概念，但在实验中加以比较时，它们是精确地成比例的。拉瓦锡用经过称量的不可反驳的证据，证明物质虽然在一系列化学反应中改变状态，物质的量在每一反应之终与每一反应之始却是相同的，这个可以从重量上寻找出来。水的组成成分已经证明是两种气体，它们具有物质通常的性质：质量和重量；拉瓦锡把它们叫做氢（成水的元素）和氧（成酸的元素）。燃烧与呼吸终于被证明为同类的作用，两者同是氧化，区别只在急速与缓慢，结果都增加重量，这个重量等于化合的氧气的重量。具负重量的燃素的概念从此就从科学中消逝了。伽利略和牛顿在力学里所建立的原则，便转移到化学中来了。

植物学我们在前章谈到约翰·雷的工作，现在我们动物学与 需要从那 里再来叙述生物学的历史。约翰·雷似物理学 乎是从荣格（Jung）的研究成果中得到他所用的一部分术语的，这些术语又由他传给林耐（Carl von Linné，1707—1778年）。这位瑞典的牧师的儿子，根据植物的生殖器官创立了他的著名的分类体系。这个分类法保持多年，直到后来才被现代分类法所代替。现代分类法按照进化论重新回到约 翰·雷的见解那里，并且考虑到器官的一切特点，力求把植物分别归入可以表现植物的自然关系的门类中去。

植物的有系统的双名命名制是博欣（Batlhin）与土尔恩福尔（Tournefort）首先创立的更为林耐加以发展。林耐为了采集北极植物，在拉普兰人中间游历的时候，看到人种显著的差别，大为惊异，于是注意到人的种的差别。在他的《自然系统》中，他把人与猿猴、狐猴、蝙蝠同放在“灵长目”中，又按照皮肤的颜色与其他特点，把人分为四类。

旅行家所得的资料以及皇家动物园所收罗的珍禽奇兽，推动了动物知识的相应发展。布丰（Buffon，1707—1788年）的百科全书式的巨著《动物自然史》的出版，标志着现代动物科学第一阶段的结束。在这里，又是显微镜的应用使人们第一次窥见了生物器官的细微结构和功能，证明有无数微生物存在，有些是动物，有些是植物，都是以前所意想不到的。布丰虽然认为林耐的分类法是“屈辱人类的真理”，但他对于说明动物之间的关系的证据不能熟视无睹。他大胆他说过：“如果圣经没有明白宣示的话，我们可能要 去为马与驴、人与猿找寻一个共同的祖宗”，但是他后来又取消了这句话。

在古代和中世纪，人们相信生物是可以从死物质中自发地产生出来的。例如蛙也许是在日光照射下从泥土中产生出来的，新大陆发见之后，因为难以把美洲土人的起源追溯到亚当，也有人说他们和蛙有一样的起源。第一个对于自然发生说表示怀疑的人似乎是雷迪（F. Redi，1626—1679年）。他证明如果不让死动物的肉与虫类接触，就不会有蛆虫产生。雷迪的实验，被认为和圣经的教导抵触，因而受到抨击，这件事和十九世纪施旺（Schlyann）与巴斯德（Pasteur）的研究成果所引起的一场争论合并来看，是非常有趣的。在那场争论中，两边的领唱人对调了地位。福格特（Vogt）、海克尔

---

这两个名字都叫错了：氢存在于水以外许多化合物之内，而且还有无氧的酸；例如 1808 年戴维从盐酸里；只取出氢和氯两种元素。

(Haeckel) 与其他唯物主义者维护自然发生说, 认为这是对生命来源的最自然的解释, 而正统神学家则欢迎相反的结论, 认为这种结论证明生命只有通过神力才能出现。就是在目前, 还有人非难企图证明自然发生说的学说, 说这种学说建立在生命可以不 186 经直接创造而发生的假定上。看来要某些人接受事实而又不联想到他们认为这些事实具有的意义, 是很困难的。现在我们再回头来谈十八世纪的情况。斯帕郎扎尼 (Abbe Spallanzani, 1729—1799 年) 长老把雷迪的实验重做了一遍, 证实了这些实验, 并且证明煎液经大火煎熬之后不和空气接触, 任何微小的生命也不会出现。这可以说是巴斯德和现代微生物学的先驱。

我们在第三章中讲动物生理学时谈到西耳维斯抛弃了范·赫尔蒙特的唯灵论观念, 即认为人体内有一种有感觉的灵魂, 它通过“生基”支配一些发酵物。西耳维斯还企图用一种“沸腾现象”来说明消化、呼吸和人体的其他功能。这种“沸腾现象”同把硫酸倾注于铁屑, 或把灰渣长久暴露于空气中时所发生的情况相似。

现在钟摆又摆回来了。斯塔耳把他研究化学时所采用的心理观点带到生理学中来了。他认为生物体中的一切变化, 虽然表面上与普通的化学变化相似, 根本上却不一样, 因为生物体中的变化直接为弥漫于体内的一个“有感觉的灵魂”所支配。

斯塔耳的“有感觉的灵魂”与范·赫尔蒙特所说的不同, 它不需要什么中间媒介, 如“生基”或发酵物之类。它直接控制着身体内的化学过程与其他过程。它和笛卡尔哲学的“理性灵魂”完全不同。根据笛卡尔的严格二元论, 人体离开了灵魂, 就是一付机器。为一般机械定律所支配。在斯塔耳看来, 人体不是为一般物理和化学定律所支配的; 当它活着时, 它在一切细节上都在一个远远超过物理学和化学的水平上为一个有感觉的灵魂所管理。活着的身体适合于特殊的用途, 即作为灵魂真正的和连续的灵魂使肉体坚固起来, 并把它用于生存的目的。照斯塔耳的意见, 灵魂与身体之间的桥梁在于运动; 身体各种结构、感觉及其伴随物的保存和修复, 都是有感觉的灵魂所指导的运动方式。所以, 斯塔耳可以说 187 是现代活力论的创始人, 虽然他的“有感觉的灵魂”, 后来变为意义更模糊的“活力质”。

与此同时, 那些不跟着斯塔耳走的人, 则分为机械学派与偏重化学发酵的学派。波尔哈夫在其《医学组织》(1708) 一书里, 把这两个学派的观点合而为一, 虽然他主张消化的性质是近于溶解而不近于发酵。辛格 (Singer) 博士说, 就他的能力的广大范围来看, 波尔哈夫实在是近代最大的医学家。

在这个世纪后半期, 人们, 特别是德·列奥弥尔 (de Reaumur) 与斯帕郎扎尼用蚕、狗和其他动物进行实验, 对消化有了新的认识。血压最初是黑尔斯在马身上量得的。他还测量过树液的压力。

福斯特 (Michael Foster) 爵士以为 1757 年是“现代生理学和过去的分界线”, 因为在那年, 哈勒 (Albrecht von Haller, 1708—1777 年) 的《生理学纲要》第一卷出版了。这部书的最后一册即第八卷, 到 1765 年

---

Sir M. Fostet, History of Physiology, Cambridge, 1901.

C.Singer, A Short Hisfory of Medicine, Oxford,1928. p. 140.

Stephen Hales by A. E. Clark-Kennedy, Cambridge, 1929.

Foster 上引书 p.204.

才出版。哈勒在这部书里对于当时关于身体各部分的生理知识，作了系统而坦率的叙述。他自己对于研究呼吸的机制，胚胎的发育以及肌肉的易受刺激性，都有重要贡献。

他认识到肌肉固有一种力量，在身体死后还能活很短的时间。但在通常情况下，肌肉是在由大脑通过神经传到肌肉的另一种力量的召唤下发生作用的。他说实验证明只有神经才有感觉；所以它们是唯一的感受工具，正象靠了它们对肌肉的作用，它们又是唯一的运动工具一样。一切神经都聚集到大脑中部的脑髓，由此我们可以推想“大脑中部是有感觉的，而未稍的神经传到大脑的印象，也在大脑中部呈现于心灵”。这可从病理现象和动物实验得到证实。他在进而“揣测”的时候表示，神经液是“一种独特的原素”，神经是容纳这种原素的空管，而且因为感觉与运动都发源于脑髓，脑髓即是灵魂的住处。

### 地理发现

当天文学正在揭示天体的运动，生理学正在摸索人体机构的秘密的时候，地理上的发现也增长了人们关于地球表面的知识。航海的技术大大进步了。十六世纪，史特芬发明了十进法的算术，1614年，耐普尔(Napier)创立了对数的计算方法，1622年，乌特雷德(Oughtred)制出了计算尺。当月球在恒星间的位置可以用牛顿的月离理论加以预测的时候，经度的量度就成为可能了，因而在两个地方看见同一天文现象的地方时间也可以求得了。不过，直到1762—1763年，哈里逊(John Haririson)利用两种金属的不同膨胀率，补偿了温度的变化所造成的影响，从而改进了航海时计的时候，经度测量才变得容易而且精确。这个工作完成以后，每只船上都可以有格林威治时间，拿它来和天文现象比较，便可得到经度。

十七、十八世纪中，人们开始对地球进行有系统的探索。这一时期的探险家的航行不象十五、十六世纪的拓荒者，即首先揭示了我们现在知道的地球面貌的拓荒者的探险那样具有充分的浪漫色彩，但这些后期的航海者的工作也有其值得注意的特点，那就是科学研究精神的增氏，这对于学术观点的全面变化有很大贡献。法国百科全书就表现出了这种学术观点的全面变化。

在这些探险家中，我因为私人的关系，不能不提到一个人。他就是威廉·丹皮尔(william Dampier, 1651—1715年)。他是那些最早表现出新的精神状态的人士之一。他的锐敏的观察力注意到每一种新树木或植物，他的轻巧的文字又能正确地描绘它们的形状与颜色。他的《风论》成了气象学的经典著作。他对水文学与地磁学也有相当贡献。

丹皮尔是以海盗身分开始自己的冒险事业的，在他的著作使他成名以前，他在社会上不能不自己走自己的道路。七十年后，科学界对探险的兴趣增加了，探险家的地位也随之而增高。发表过日食论文的库克(Jatnes Cook, 1728—1779年)船长，被皇家学会派遣到南太平洋塔希提岛去观测金星凌日现象。他怀着寻找南极洲的希望多次出航探险。他虽然没有达到他的

---

w. Ollsted, Isis, 94, P. 117 (1942)。

Dampier's Voyages, London, 1699, 1715, 1906, Clennell Wilkinson, Life of william Dampier, London, 1929; Journal poyal Geographical Society, Nov. 1929, 74, P. 478.

目的，但得到不少有科学价值的知识，例如坏血病的起因与治疗方法，澳洲、新西兰与太平洋的地理等。

在英国，丹皮尔关于《航行》的书籍，引出了不少文学的作品，189 如笛福 (Defoe) 的《鲁滨逊漂流记》，斯威夫特 (Swift) 的《格列佛游记》之类。丹皮尔、卡伯特 (Cahot)、博迪埃 (Baudier)、夏尔丹 (Char-din)、伯尼埃 (Bernier) 等人的航行，对于大革命以前法国一般的学术发展有很大贡献。有些对法国王朝统治下的社会感到不满，而想加以批评的人，写了不少书籍，来歌颂远方荒岛上的乌托邦。从探险家的实际观察与错误结论以及小说家的想象中产生了对于“远洋共和国”，“好的野蛮人”与“中国圣人”的崇拜。自然神论者及反基督教的人们对佛教、孔教、或其他异教加以赞美，并且利用它们来攻击罗马教会。

这些文学作品对于一般人的影响，大概比哲学家和科学家的著作还大，这也许可以说明为什么十八世纪那样容易接受卢梭 (Rousseau) 与伏尔泰的观点——一些与一百年前帕斯卡尔和博絮埃 (Bossuet) 的观点大不相同的观点。有关原始生活的美丽描写，助长了许多谬误的理论，如社会契约论，进步的必然性，人类臻于完善的可能性等等，也助长了许多愚蠢行为，如理性的革命统治等等。历史和人类学对这样的错误作了最好的纠正。据我们看，人类的进步不是根据貌似公正的前提靠先验的推理实现的，而是在充满尝试和错误的崎岖颠踬的过程中取得的。

在浪漫派文学中，“高尚的野蛮人”的观念和古人的“黄金时代”成为同义语，塔西陀就用它来描写日耳曼人。在现代，哥伦布把这个观念复活过来，蒙台涅 (Montaigne) 又把它加以充分发展。在英语中，首先使用“高尚的野蛮人”一语的大约是德赖登 (Dryden)，但在英国的浪漫主义时期中 (起于 1730 年，到 1790 年达到最高峰)，这个观念相当流行。毫无疑问，圣经上的伊甸园对于形成文明生活比原始生活更加腐败的看法也有很大影响。

## 从洛克到康德

要总结十八世纪的科学思想，我们不但需要从洛克 考虑大物理学家、大化学家和大生物学家的的工作，到康德 而且需要考虑某些主要是哲学家的著作家的工作。

哲学家约翰·洛克 (John Locke, 1632—1704 年)，虽然一生大半时间都在十七世纪渡过，但在精神上却属于后一时期。他做过医生。1669 年他对经院派在医学上的主张进行过反驳，主张诉诸经验，并举出他的朋友西德纳姆 (Sydenham) 所用的方法作为例证。西德纳姆曾经科学地观察过疾病并研究过传染病。洛克本人为一位舍夫茨别利 (Shaftesbury) 勋爵做过手术，并为另一位舍夫茨别利接生。但他的主要贡献应当说是他的哲学著作《人类理解论》(1690)。

在政治和哲学思想上，与霍布斯的哲学极端主义及政治上的专制主义相比，洛克代表着一种和缓的、理性的自由主义。洛克对于事实，抱着英国人

---

w. H. Bonner, Captain William Dampier und English Travel Literature, Stanford, California and Oxford, 1934; Geoffrey Aikinsou, Les Relations des Voyages du 18 siecle et pEvolution des Idees, Paris, 1925.

H. N. Fairchild, The Noble Savage, Coitimbala Press and London, 1928.

的健全的敬重态度，而对于先验的抽象推理，则表示憎恶。他研究了人类可能的知识的限度，反对认为有任何知识可以脱离理性批判的看法。虽然有些知识在受过教育的理性看来是自明的，但观念却不是天赋的。还有一些知识必须依靠理性的证明才能得到。人类的一切思想都由经验而来，有的是对外界事物的经验（感觉），有的是对心灵活动的知觉经验（反省）。

根据对于儿童和愚人心理的研究，洛克推论说感官先向我们提示了一些原始观念，如象广延、运动、声音、颜色等。接着而来的是对它们之间的相同点的联想，这种联想就引出抽象的观念。我们对物体所知的只不过是它们的属性，而且我们所以能知道它们的属性也完全是靠了触觉、视觉、听觉等感官印象。只有从这些时常表现出具有不变的关系的属性中，我们才能对变化不定的现象下面存在的一种物质形成复杂的观念。就是情感与情绪，也是从感觉的结合与重复中产生出来的。

当我们开始用词把这样形成的抽象观念固定下来的时候，我们就有发生错误的危险。词不应看做是事物的准确图画；它们不过是某些观念的任意规定的符号而已，不过是凭借历史偶然性选择的符号而已，随时都有改变的可能。在这里，洛克由悟性批判进入语言的批判，这是一个极有价值的新观念。

洛克首创现代的内省心理学。别的哲学家也向内看，但他们都是在匆促地内省一下以后，就去发挥他们的武断见解了。洛克却安静地、不断地注视着他自己心灵的活动，正如注视他的病人的征候一样。他得到的结论是：知识也就是觉察到我们的思想彼此之间或我们的思想与外界现象之间符合还是不符合。人都晓得他自己是存在的，既然他有了一个开端，要解释这个开端，就必须有一个第一因，这就是最高理智的神。但只有根据具体事例进行归纳，才能确定我们的思想与外界事物的关系。所以对于自然界的认识只是一个或然的事情，很容易因为发现新事实而被推翻。

阿奎那过去根据中世纪的神学与亚里斯多德的哲学进行了一次知识的综合。洛克以英国人特有的实用感，加上在历史关键时期形成的看待生活与思想的广阔眼界，论述了《基督教的合理性》，企图在可靠的经验基础上，建立一种合理的宗教与一种合理的科学。两人都试着进行了综合。但阿奎那的体系的各组成成分都具有刻板性和绝对的性质；洛克的体系则包含有不断适应学术发展的各种需要的可能性，并且主张容忍各种宗教意见。这一主张在每一派别都认为自己是绝对真理的唯一代表的时代里，大可证明洛克的创见。

在某种程度上，他的哲学补充了牛顿的科学，这两者合起来对爱尔兰克罗因（Cloyfle）地区主教贝克莱（George Berkeley, 1684—1753年）的思想产生了显著的影响。

贝克莱认识到机械的和唯物主义的哲学对一门研究运动中的物质的科学的危险性（这是连牛顿自己也没有认识到的），因此，他选择了一条勇敢的道路。他承认新的知识和新的知识所描绘的世界情景是真实的，但是他实际上又提出这样的问题：“这种真实的知识所说的世界究竟是什么呢？”他指出唯一可能的答案是，这就是感官向我们揭示的世界，而且也只有我们的感官才能使这个世界成为实在的。因此所谓第一性的质，如广延性、形状与运动等，不过是存于心中的观念，它们同第二性的质一样，不可能存在在没有

知觉的物质中。弗雷塞(Campbell Fraser)在1901年出版的《贝克莱全集》序文中这样说：

整个物质世界，在它同人们的认识和行为发生任何实际关系的范围内，只有当它在某种活的心灵的知觉经验中以同样方式得到实现的时候，才是实在的。……只要你去想象一下一个永远没有上帝和一切有限的精灵的、永恒死寂的世界，你就会觉得这是无论想象的。……这并不是否认每天呈现在我们感官面前的世界，……我们所经验的唯一物质世界是由现象组成的。这些现象在一串可以解释的符号依次出现的被动过程中，作为实在的对象而不断地产生。每一个有限的人就通过这些符号，实现自己的个人人格；实现其他有限的人的存在，并实现在自然科学中多多少少得到解释的感官符号象征作用，这一切都意味着神的存在。……神是必然存在的，因为物质世界要成为一个实在世界，就需要由一位活着的上帝来不断地加以实现和节制。

这些话在平常的人看来，好象是否认物质的存在。从自以为踢下一块石头就把贝克莱驳倒了约翰逊(Samuel Johnson)的时代起，直到近来的一位创作五行打油诗(Limericks)的作家的时代为止，这种见解引起了无穷无尽的批评，有的是博学多才人士的批评，也有的是不学无术的人的批评。但一件事似乎是真实的：我们所知的世界，只是靠了感官才变成是实在的；我们无法知道(虽然我们可以推测)一个也许存在，也许不存在在我们所知的世界之内的假想的实在世界。不过这也许并不是贝克莱对自己的哲学的解释。

贝克莱并不象人们有时所说的那样，否认感官的证据。相反地，他把自己局限于感官的证据。洛克以为相信现象后面存在着一个实在的物质世界，是根据我们对物质性质的知识得出的合理的推论，虽然我们不能知道它的最后性质。贝克莱否认那个未知世界的实在性。他认为实在只存在于思想世界里。

休谟(David Hume, 1711—1776年)对于认识的可能性采取了更加怀疑的态度。他利用贝克莱的论据，对心和物的实在性一并加以否认。贝克莱槟斥了科学家为了解释物质现象而想出来的神秘基础；休谟把哲学家为了解释心灵现象而发明出来的神秘基础也一扫而空。只有一连串“印象与观念”才是实在的。

休谟重新掀起了关于因果性的无止无休的争论。在他看来，我们所以认为一件事是另一件事的原因，是由于两件事的观念的联想关系所致，这种联想是由一件事在另一件事之前的一长串事件唤起的。这只不过是经验问题而已；在自然界里，事件是连接着的，但我们不能推断它们有因果的关系。休谟向那些公然宣布要用归纳方法从经验事实中证明普遍原则的经验派指出，他们由于只诉诸感官经验，也就不可能越过习惯所养成的预期，而用归纳方法推出普遍性的定律来。这样休谟就断定因果性原则只是本能的信念：“自然规定我们去判断，正如规定我们呼吸与感觉一样。”<sup>193</sup> 休谟认为，因果律既非自明之理，也不能用逻辑证明。康德(Immanuel Kant, 1724—1804年)完全接受这个论点。他还认识到作为科学和哲学基础的一切其他原则都

---

Berkeley's Complete Works, vol. 1, p262.

N.Kemp Smith, "A Commentary to Kant's Critique of Pure Reason". London, 1918.

是这样的。只有先接受一些独立地得到证明的理性原则，才有可能凭借经验资料用归纳方法证明普遍原则，所以我们不能希望用经验去证明普遍原则。我们要么得接受休谟的怀疑论的结论，要么就得去寻找唯理论和经验论证方法的缺点的某种衡量标准。“怎样才能有综合性的先验的判断呢？”

莱布尼茨同休谟一样，否认用经验方法证明普遍原则的可能性，但他承认普遍原则的存在，得出一个相反的结论：纯粹理性高于感官知觉，事实上，它是外界不变真理的揭示者，不但是物质世界的实际的与实在的结构揭示者，而且是一切可能的实体的更广大领域的揭示者。实在只是真理世界中的许多可能性之一。

在休谟看来，“思想不过是方便地解释人类经验的一个实用的工具而已；它没有任何客观上的或形而上学上的确实性。”在莱布尼茨看来“思想普遍地制定立法；它揭示出永久可能的事物的更广大的宇宙；它可以在一切经验之先决定那个经验必须符合的根本条件。……没有一个问题，无论是科学的问题也好、道德的问题也好或宗教的问题也好，可以不在实质上受到我们的决择的影响：我们究竟要采取这两种观点中的哪一种，或者说，我们希望对两种观点的互相冲突的要求作怎样的调和。现代人对生物进化的信念赞成第一种看法：思想也许只是为了自我保存，靠了自然选择产生出来的一种工具而已。但近来的数学则赞成第二种看法：思想已经超越了欧几里得空间，规定出任何经验都揭示不出来的新的空间。

康德的任务是讨论这两种相反的见解，在可能范围内把没有被休谟破坏掉的莱布尼茨的纯粹理性抢救出来。他从两家共同之点出发：普遍性与必然性不是用任何经验方法所能达到的。他从莱布尼茨那里接受了关于先验思想的确实性的见解，但他也从休谟那里接受了另一个信念：其中的理性成分是属于综合性的。因此，作为认识的基础的种种原则，既没有内在的必然性，也没有绝对的权威。它们被归之于人类的理性，可以用事实验证；它们是感官经验的条件，是我们对于外观的认识的条件；但不适用于发现终极的实在；它们在经验的范围内是有效的，但在构造一种关于事物本身的形而上学理论时，是无用的。康德的唯理论接受先验性，但他只能证明这种先验性不过是与人类的经验相对而言。

在康德看来，科学探讨的范围，已经由牛顿的数学的物理学方法规定下来；只有那样才能得到科学的知识。他更指出这种知识是关于外观的知识而不是关于实在的知识。康德把科学知识局限于用数学物理学方法所得到的知识，未免过于狭隘，这样一来，许多现代生物学就被摈斥于科学之外了。但他把外观与实在分开，仍然有哲学上的价值。科学世界是感官揭示出来的世界，是现象的世界、外观的世界；不一定是终极实在的世界。

照牛顿的意见，空间与时间，是靠了上帝的意志，在它们自身之内独立存在着的，与领会它们的心灵无关，也和充斥其间的物体无关。另一方面，莱布尼茨以为空间与时间是从我们对实在物体的关系的混乱感官知觉中抽象出来的经验性的概念。康德指出，虽然我们不能肯定时间（或空间）是否具有形而上学上的实在性，但在我们领悟变化时，对时间的意识的确是实在的；同样的区别，在广延或空间上好象也同样有效。这样，康德动摇于牛顿与莱布尼茨之间。他既没有不可改变地把空间与时间同肉体感官材料归入一类

中，也没有把它们和悟性的概念归入一类中。它们把两个表面上互相矛盾的宾词连结起来，从芝诺的时代以来，就引导我们走到一直没有解决的“理性的二律背反”那里去。物理学的世界是事件的簇合；心灵把它们分布在空间与时间之内，但这样便造成各种现象之间的关系，而这些现象最后证明是自相矛盾的。事件的机械性的画面，在细节上自然是真实的，但我们不能肯定它是否具有终极的目的论的解释与意义——是否参与努力达到一个目的。我们能提出这样深奥的问题，但不能解决它。目前有人说，在古来一切哲学中，康德的形而上学最能代表近年来物理科学与生物科学所指明的境界。这些人说，相对论与量子论，生物物理学与生物化学，以及有目的的适应说，这些最新的科学发展都把科学的哲学带回到康德那里去。为公平起见，我们应该将罗素（E. Russell）相反的意见也提一下，他说：“哲学世界被康德淹没在混乱与神秘之中，现在才开始脱身出来。康德有现代最伟大的哲学家之名，在我看来，现代哲学之有康德，实在是现代哲学之不幸而已。”这又是在形而上学问题上至今仍然没有一致意见的一个例证。

有些人认为康德哲学与现代科学提供的征候是相合的。也许这种相合至少部分是由于康德本人是一位合格的物理学家。他在拉普拉斯之先创立了星云假说来说明太阳系的起源。他最先指出潮汐的摩擦有促使地球的旋转渐渐迟缓的作用，而且这种摩擦又靠了它的反作用，迫使月球以同一面对着地球。他指出地球自转时地面各带线速度的差异，可以解释“贸易风”及空气的其他类似的不断流动现象。他如地震的原因，人种的差异，月球中的火山，以及自然地理学，他都有著作论述。由此可见康德对于当时科学有渊博的知识。他在两个可能（或不可能）的情形不能凭逻辑加以判断时，抱保留的态度，也有科学家存疑的精神。他在处理关于实在的问题时也表现了这种态度。

洛克与休谟认为形而上学的实在不是人类理性所能探讨的。休谟尤其认为，终极的问题不是他心目中的求知的唯一方法所能解决的。他以为用逻辑的论据来为基督教辩护是危险的，他说（也许带一点嘲讽）：“我们的神圣宗教是建立在信念的基础上的，而不是建立在理智的基础上的。”在这里我们可以看见中世纪后期对经院哲学以理性综合的反抗在现代的重演。思辨哲学还在不断地兜圈子，而科学已稳步前进了。

笛卡尔和他的承继人，在他们的二无论中，假定意识是终极的，不能分析的。康德却要进一步，将意识分析为若干因素。意识包含自动的判断。这是对意义的认识；它不揭示自身，而只揭示它的对象。在我们了解到我们的心理状态时，我们是把这种状态作为对象而了解的，正如我们了解外面的物体时一样。所以我们的主观状态，感觉、感情、愿望等是客观的，即是说这些都是意识的对象；它们是我们意识所揭示的自然秩序的一部分。因此，道德观念和繁星的天空一样实在，甚至更加实在，因为只有假定它是一个实在的，而不只是表面可见的“存在物”的自主活动的一部分，它才能得到解释。道德律是实在向人类心灵揭示自身的一个形式。理性规定，符合道德价值的幸福，才是我们的行动的目的，才是“最高的善”。在我们的有局限性的头脑看来，这好象只有在来世、只有在一位全能的神的统治下，才有可能，但康德却认为，我们决不能因为这个必然性在我们看来是唯一可能的解释，

---

看 J. B.S. Haldane, *Possible Worlds*, London, 1927, P. 124.

An Outline of Philosophy, London, 1927. P. 83.

就断定它代表实际的事实。

## 决定论与唯物主义

牛顿和他亲近的门徒用新的动力科学来证明一位全能的造物主的智慧与善良。在洛克的哲学中，这种倾向已经没有那样强了，休谟把理性与信仰分开，更是把这种倾向排除无余了。

十八世纪后半期，这种观点的改变变得更加普遍了。社会上各界最有能力的人，对于宗教多抱怀疑态度，至少在法国是这样的。伏尔泰对于教士与他们的教义的抨击，不过是普遍的思想倾向的一些最机智的例子。洛克和英国自然神论者在大陆上也有他们的同志，即伏尔泰等人（他们把正统派加以摧毁），正如英国的辉格党君主政体的存在往往使其他国家的正统主义的权威大大减弱一样。

对于这个普遍的异端思想潮流，机械哲学或许作出了最重要的贡献。牛顿的理论在解释天体机制方面惊人成功，因此，人们就把这种机械概念对整个宇宙给予最后解释的能力估计得过高。马赫说：“十八世纪法国百科全书派以为他们离用物理的和机械的原理去给世界以最后解释的日子已经不远了；拉普拉斯甚至以为心灵可以预测自然界的世世代代的进展，只要有了质量和它们的速度就行了。”目前已经没有人敢说这样没有边际的大话了，近来且有确定的迹象，说明那样的决定论是不可能的。但是这种话在最初讲出来的时候，却是对新知识的力量十分自然的夸大。当时新知识的适用范围在人们头脑中留下深刻印象，人们是在后来才认识到了它的必然的限度的。事实上，这是希腊原子论者的故事在不同环境下的重演；这些希腊的原子论者们把他们对于物理学的成功思辨性的看法推广到生命与思想世界，却不了解中间 197 有一条逻辑的鸿沟，这鸿沟经过两千年的工作，还没有能沟通起来，只不过是揭示出来和部分地加以探测而已。

牛顿以为他的天球的音乐唱的是一位全知、全能的上帝的故事。他谦逊地把自己比成一个在他所不知道的真理大海的岸边，拾着几个好玩的贝壳的小孩子。可是别人却没有他那样谨慎。在英国，十七世纪中叶，宗教上的分歧意见是尖锐的，但到了十八世纪，教会是容忍的，而且大半是宽大为怀的；每个人可以自由地创立一个新教来适合自己，并且有许多人利用这个自由了。所以机械的观念，从来没有象在比较讲逻辑的法国那样流行。在法国专制主义的罗马教是唯一有效的宗教，牛顿的同国人不但保留了他的科学，而且还保留了他的哲学和他们自己的宗教信仰。英国人这种可以同时保有在当时看来互不相容的几种信仰的倾向，不断地位 大陆上的人感到惊异。这也许由于英国人是具有政治头脑的人民，他们本能地理解到，问题的两个方面通常都各有理由，到了知识增进以后貌似不相容的或许竟可以调和。在比较有才能的人身上，这种倾向说明他们具有真正的科学力量，能遵循着两条有用的思想路线前进，在没有证据可资检验以前，对于它们的比较深邃的含义与关系暂时不下判断。

另一方面，牛顿的法国门徒，却认为牛顿的体系说明实在是一付大机器，它的所有的基本要素都已经了解，所以人身体与灵魂就由于不可战胜的和机

械的必然性而成为这个机器的一部分。例如伏尔泰在他伪《愚昧的哲学家》书中就说：“如果全部自然界，一切行星，都要服从永恒的定律，而有一个小动物，五尺来高，却可以不把这些定律放在眼中，完全任性地为所欲为，那就太奇怪了。”伏尔泰忽视了自然定律的意义，人生的意义，人的心灵的本性和自由意志的本质等问题。但他生动地表达了法国当时对于牛顿宇宙论的哲学和宗教含义的流行看法。

在哲学家认为牛顿的动力学体系仅仅提供了关于外观的知 198 识，没有提供关于终极实在的知识，而自然神论者又利用这个体系来攻击罗马正统教义的时候，有一股更流行的思潮也在有力地涌向唯物主义。唯物主义一词是十八世纪时开始使用的。不管坚不可破的原子，起初是不是由上帝创造出来（如牛顿所主张的那样），它们一到了大陆上的牛顿学说的某些解释者的脑中，便与上帝没有多少关系，而被用来复活古代原子论者的哲学了。

唯物主义一词，按照不严谨的用法，常被了解为无神论的同义词，或者用以表达任何与流行的正统教义不相容的哲学。但在我们看来，它有比较严格的意义；这是一种信仰，它相信，坚硬不破的死的物质，或牛顿的坚实不可穿透的质点，或现代物理学中的复杂的基本质点，乃是宇宙的唯一的终极实在；思想与意识不过是物质的副产品；在物质底下或以外，更没有什么实在。

古代原子论者把感觉归因于原子的布置与运动，而不归因于原子的本质。这个观点，在唯物主义复活时，为德·拉·美特利(dela Mettrie, 1748年)与莫佩屠斯(MauperliJis, 1751年)所接受，但罗比耐(Robinct, 1761年)则把感觉归因于物质本身。

机械决定论的有关观念，也为法国唯物主义派所注重，特别是在德·拉·美特利的《人是机器》一书中。由于攻击基督教及一切有神论，他到处受人非难，他的名字长期被人当作说明异端信仰的恶果的例子。另外一本名著《自然体系》，大部分出自霍尔巴赫(Holbach)的手笔，与笛卡尔的二元论相反，他论证说：既然作为物质存在的人在思想，所以物质也是能思想的。这是莱布尼茨学说的反题。莱布尼茨在其单子论中，把物质精神化，而不是把灵魂物质化。

唯物主义天真地、武断地认定现象世界是实在的。它尝试说明意识的努力，如其他哲学的努力一样，是一个明显的失败。因为无知觉的质点的运动怎样能产生意识呢？换句话说，所谓赋予物质本身以感觉只不过是把有待说明的东西假定下来，即把当前的问题重述一番而已。唯物主义甚至不能驳倒另一极端的思想，即贝克 199 莱的唯心主义。它经不起任何批判哲学的摧毁性的分析。可是，由于它容易“为人了解”，而不象批判哲学不易懂，于是它就暂时成为除正统教义以外无知无识的人所可以信仰的最好的哲学了。而且，要构造科学的进步所必需的——至少在十八、十九世纪——可理解的世界画面，唯物主义是最简单的、也是最不令人感到心理疲倦的方法。在粗略的日常应用上，它有它的优点，事实上，它在科学的每一细节上是必需的，但经常有这样一个危险：把它当成整个必需的科学的哲学，而且让它作为一种哲学把科学各部门的成功所必然带来的威信据为己有。这种情形在十九世期的一个短时期里就发生过。

但是如果我们稍加深思，就可以看见物质与其他科学概念一样，只有经过它对感官产生的影响，才能为我们知道——我们又回到认识的问题上来了。科学世界是外观世界，它为我们的感官和心灵所揭示与限制，不一定是实在的世界。在后面一章中我们将看见卢克莱修和牛顿的坚硬、有质量的终极质点，怎样分解为非物质的、也许只能用波动方程式来表达的质子、电子和其他粒子所组成的复杂体系。从相对论的观点我们也可以看到物质怎样不复是在时间中存在、在空间中运动的东西，而变成只不过是相互关联的事件所构成的体系。十八世纪时这些可能性是隐藏在将来里面；但洛克、贝克莱与休谟已经表明，通过感官所了解的自然，不一定能揭示实在。即令就当时已有的知识而言，最后分析起来，唯物主义本来已经不能使人满意了。

