

近代自然科学史

高之栋 编

中共陕西省委党校
陕西省科学技术协会

本书简介

陕西省委党校高之栋同志编写的《近代自然科学史》经我室同志审查认为：本书运用大量资料叙述了近代自然科学的产生和发展，介绍了从十六世纪到十九世纪的天文学、物理学、化学、生物学、地质学的基本概念和基本理论形成和发展，还重点介绍了这一时期著名科学家的生平、科学活动、治学态度、哲学思想和科学方法等内容。本书文笔流畅，内容深入浅出。我们认为本书可以作为具有高中以上文化程度的干部、科技管理人员、自然辩证法和哲学工作者以及大专、中学师生学习自然辩证法和科学史的参考资料。本书对扩大读者的视野、全面认识科学成就、探讨科学发展规律，具有一定的参考价值。

西安交通大学自然辩证法研究室

一九八一年四月二十五日

近代自然科学史目录

第一章	文艺复兴和科学的兴起	(1)
一、	十五世纪以前科学发展的概况	(1)
二、	文艺复兴运动及其代表人物列奥纳多·达·芬奇	(6)
三、	近代自然科学的奠基人哥白尼和《天体运行论》	(9)
1、	地心学说发展概述	(9)
2、	日心说的萌芽	(12)
3、	中世纪的宇宙论	(12)
4、	哥白尼的日心地动说	(12)
四、	科学与宗教的决战，思想解放的先驱布鲁诺	(16)
五、	哥白尼体系中需要进一步探索的问题	(17)
第二章	十七世纪实验科学的兴起和科学方法论的建立	(19)
一、	吉尔伯特与磁学	(19)
二、	弗兰西斯·培根和科学方法论	(20)
三、	近代天文学观测大师第谷	(21)
四、	开普勒和天文学	(23)
五、	近代实验科学的奠基者伽利略	(28)
六、	笛卡儿的数学与哲学	(35)
七、	哈维与血液循环	(38)
第三章	牛顿的成就及其对科学发展的影响	(42)
一、	英国的科学运动和科技政策	(42)
二、	牛顿与万有引力定律	(44)
三、	牛顿与力学	(49)
四、	光学的发展和牛顿的贡献	(51)

五、牛顿的时空观	(59)
六、如何评价牛顿及其哲学观	(59)

第四章 十七、十八世纪的化学

一、从炼金术到化学，磷元素的发现	(70)
二、从燃素说到氧化说，氢、氧、氮元素的发现	(72)
三、十八世纪发现的化学元素	(78)

第五章 康德——拉普拉斯星云说

一、一个天才的学说——康德星云说	(82)
二、拉普拉斯星云说	(85)
三、星云说的科学和哲学意义	(87)

第六章 十八、十九世纪的生物学

一、林耐的分类学和物种不变论	(89)
二、胚胎学的建立和发展	(92)
三、比较解剖学和比较自然地理学的形成和发展	(97)
四、达尔文与进化论	(105)
五、遗传学与细胞学的发展	(115)

第七章 十八、十九世纪的物理学

一、光学的发展	(119)
1、光的波动说的兴起	(119)
2、红外光与紫外光的发现	(121)
3、X光的发现	(121)
4、电磁波谱的发现	(122)
5、光谱学的发展	(125)
6、多普勒效应的发现	(128)
7、光谱的秘诀	(129)
8、光速的测定	(130)

9、以太的难题	(132)
10、迈克尔逊和莫雷的实验	(133)
11、斐兹杰惹和洛伦兹收缩的提出	(134)
二、电学和磁学的发展	(135)
1、“电”概念的提出和富兰克林的实验	(135)
2、双流体学说的提出	(137)
3、库仑定律的发现	(137)
4、电流的发现	(138)
5、电池的发明	(138)
6、电化学的创立	(139)
7、法拉弟和他发现的电解定律	(139)
8、电流磁效应的发现	(140)
9、电流相互作用的研究与“电动力学”概念的提出	(141)
10、欧姆定律的发现	(141)
11、电磁感应的发现	(142)
12、法拉弟对电磁理论方面的贡献	(143)
13、麦克斯威和古典电磁理论的完成	(145)
14、发电机的发明	(149)
15、电动机的发明	(150)
16、电话的发明	(150)
17、电器发明大师爱迪生	(150)
18、电报的发明	(153)
19、无线电的发明	(154)
三、热力学的发展	(156)
1、蒸汽机和火车的发明	(156)
2、内燃机和汽车的发明	(159)
3、法国科学家对热机理论的研究	(160)
4、热力学基本概念的形成	(161)
5、对热和功关系的研究	(161)
6、能量守恒和转化定律的发现	(162)
7、恩格斯对能量守恒和转化定律的重大贡献	(164)
8、热力学第二定律的发现	(164)
9、“热寂说”的产生和对它的批判	(166)
四、分子运动论和统计力学的建立	(167)

1、分子运动的早期理论	(167)
2、统计概念的提出	(168)
3、统计力学的形成	(169)

第八章 十九世纪的化学

一、化学基本定律的建立	(171)
二、道尔顿的原子学说	(172)
三、阿伏伽德罗的分子假说	(176)
四、柏尔采留斯对化学的贡献	(177)
五、维勒和有机化学	(181)
六、德国化学之父李比西	(186)
七、结构类型理论的建立	(187)
八、有机化合物结构理论的建立	(190)
九、有机立体化学的建立	(194)
十、原子价学说的提出	(196)
十一、坎尼扎罗论证原子——分子学说	(197)
十二、早期的元素分类工作	(198)
十三、门捷列耶夫和周期律	(200)
十四、门捷列耶夫预言的证实	(202)
十五、十九世纪发现的化学元素	(204)
十六、化学工业的发展	(211)

第九章 地质学的产生和发展

一、早期的地质学理论	(216)
二、十八世纪下半叶理论地质学的进一步发展	(219)
三、地质学的英雄时代	(223)
四、赖尔和他的《地质学原理》	(225)
五、收缩说、地槽说和陆台说的提出	(234)

第一章 文艺复兴和科学的兴起

一、十五世纪以前科学发展的概况

自从有了人，就开始有了历史。

人类在地球上已经生活了一、二百万年。从事畜牧业、农业也有了一两万年。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诞生出来，也已经有了四、五千年的历史。我们今天所知道的近代自然科学的宏伟大厦，是人类文明发展进程中一个比较晚的伟大成果，只有四百多年的历史。科学虽然把人们的物质生活提高到历代梦想不到的水平，象摩天大楼、彩色电视、流水般的小汽车、宇宙飞船、电子计算机等等，已经成为我们时代的特征，在今天的自然界中，到处打上了科学的印记，但是，它的起源、发展和成就的故事，却是历史当中人们知道得最少部分之一。一般历史教科书讲的不外是战争、政治和经济，但是对人类世世代代努力了解他们所居住的世界的历史，却很少讲到。

再没有什么比对科学史的这种忽视更加不科学的事情了。科学已成为推动社会发展的巨大动力之一，不谈科学发展对人类社会的推动，不谈科学家对人类文明所作的巨大贡献，我们所写的历史，就是一部不完整的历史，也是一部极不公正的历史。

科学发展的故事，是非常迷人的。科学是源远流长的，如果要追溯它，可以在公元前2500年巴比伦尼亚国王的敕令中找到，那时他们已经公布了长度、重量和容积的标准；可以从巴比伦的碑石中，发现那时人们已经发明了乘方表、平方表和立方表；而远在公元前2000年，巴比伦的人们经过天文观测已经知道一年是360天，而在我国，这是稍后的事。不仅如此，据公元前六世纪一个文件上说，在距今4000年前，巴比伦人夜观天象，他们已能计算出太阳和月亮的相对位置，预测日、月食了，并在他们的土碑上，记录了金星出没的记录，人们已经利用这些天文知识，来指导幼发拉底河和尼罗河流域的农事。

当我们考察远古时代另一伟大文明地埃及时，也可以找到科学的渊源。埃及金字塔，是这个古老国家科学和文化的象征，大大小小的金字塔共有七十多座，其中最大的一座，高140公尺半，底边每边各长230多公尺，用了230万块巨大石块，平均每块大约重二吨半，这足以说明埃及劳动人民的智慧和技术发展的状况。在公元前2700年，埃及人已经发现每年当尼罗河泛滥时，天狼星刚好从东方升起来，他们把好多年尼罗河每年定期泛滥之间的间隔加以平均作为一年，差不多是365天。

早期文明社会的传统，在中国比在任何其他地方都更加持久和绵延不断，是科学技术又一个重要的渊源地。翻开我国的科技史，我们可以看到在汉代发明了造纸术，在战国时期发明了指南针，唐代发明了火药，在公元969年就发明了火箭，在唐代发明了刻板印刷术，约在公元1040年发明了胶泥活字印刷术。这四大发明，对科学的发展的作用是不可估量的。在春秋战国时代的《墨经》中，可以看到我国人民在探讨物理学、光

学、力学和防御工程等问题上所取得的辉煌成果,《墨经》记录了我国劳动人民所进行的关于光在平面镜、凸面镜和凹面镜上反射的实验,总结出了一些经验规则。大约在公元前350年,我国著名天文学家石申就记下恒星138座共810颗恒星的相对位置。

我们也可以从印度河流域的古代文明中,找到科学的胚胎和萌芽。如果要问世界上最早学会栽培棉花的是哪一个民族?光荣是归于公元前二、三千年已经在印度河流域定居下来达罗毗荼人。古代印度的天文学家已知地球是个圆的,太阳、月亮和行星,它们和地球的距离是跟它们的运行周期成比例的,还设想地球是靠一股在地面上约一百英里的风在吹它,所以它才在自己轴上作周日旋转;这里应该特别提到,印度人的数学特别突出,已经知道算术级数的求和法,二次方程式和线性不定方程式的解,还使用角的正弦,从而创立了三角学,创立了包括“零”在内的十个数字符号,使十进位完备起来,这些数字符号由阿拉伯人传到欧洲,被称为阿拉伯数字。古代印度医学很高明,他们已经学会割治白内障、疝气等手术,并且研究过七百余种药草。

科学的源流,到古希腊时期就汇合成一个洪流。古希腊人吸收了巴比伦、埃及和其他亚洲国家的文明,加以研究和发展。经过古希腊人天才的创造,科学达到一个甚至以后一千多年都未达到的一个高峰。在那里,我们可以看到毕达哥拉斯学派的数学,欧几里得几何学,阿基米德力学,亚利士多德所创立的逻辑学、物理学、植物学和动物学以及哲学;我们还可以看到德谟克利特的原子论,托勒密的地心说,阿里斯塔克的日心说,盖伦的医学;不仅如此,古希腊人在对宇宙总的看法上真可说是百花齐放,百家争鸣,产生了象泰勒斯(公元前625—545)、阿那克西曼德(公元前611—547)、阿那克西米尼(公元前550—475)、毕达哥拉斯(公元前582—500)、赫拉克利特(公元前550—475)、德谟克利特(约公元前420年)、柏拉图(公元前427—347)、亚利士多德(公元前384—322)等等的自然哲学家,他们各自提出自己对宇宙的意见,其中有不少是充满朴素的唯物论和辩证法思想的。近代自然科学和哲学,几乎都可以在古希腊人那里找到自己的胚胎和萌芽。

科学的发展到了罗马时代,就开始衰落下来。罗马人虽然擅长治理国家,在军事、行政和立法上表现出优异的才能,但在学术上却没有多少创造力,他们虽然征服了希腊人,但在学术上却被希腊所征服,罗马人的科学,都是从希腊人那里借来的,虽然他们在医学、农业、建筑或工程方法作了许多实际工作,但他们眼光短浅,单纯的实用观点,只知道使用知识之流,而不培其源,不搞基础科学,结果,不到几代,源与流就一起枯竭。

就象《天方夜谭》的优美动人的故事一样,在中世纪的阿拉伯人那里,对古希腊人的科学和文化加以继承和发展,为科学的宝库增添了许多宝贵的财产。阿拉伯人在君士坦丁堡东罗马帝国宫廷中,在叙利亚至波斯海湾的国家中,继承了古希腊、罗马与犹太人的混合文化。最早的一个中心是崇迪沙帕尔的波斯学校,开始翻译古希腊的书籍。公元749年,阿拔斯哈里发王朝建都巴格达后,对于科学的发展极为重视,他们设立医学院和天文学院,招罗许多科学家来巴格达,他们不仅翻译古希腊柏拉图、亚利士多德、欧几里德、托勒密的著作,还翻译印度的数学书籍如《悉曇多》、《苏色卢多》和《闍罗迦》,还在828年建立一个名为“智慧之馆”的机构,专门翻译和研究古希腊、

印度的科学和文化。829年在巴格达建立天文台，阿尔—巴塔尼（858—929）就在天文台观测中，发现地球轨道是一个经常改变着的椭圆。阿拉伯时期最著名的物理学家伊本—阿尔—黑森（965—1020年）在实验光学方面，取得很高成就，他使用球面和抛物面反光镜，研究了球面象差、透镜放大率和大气折射，并用力的数学方法，解决了几何光学问题，他的著作，通过罗吉尔·培根和开普勒介绍，对欧洲科学发生很大影响。阿拉伯地理学家阿尔—比路尼，大概生于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的程度。最著名的阿拉伯化学家札比尔制造过碳酸铅，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。他认为当时所知六种金属所以不同是由于所含的硫和汞的比例不同。但对这个科学家，由于以拉丁语出版的许多著作里，是一位名叫“杰伯尔”的人所写，究竟“札比尔”和“杰伯尔”是不是同一个人，现在还没有查明，所以札比尔在科学史上的地位，还一直是一个悬案。

阿拉伯国家在连接东西方文明中，起了桥梁作用。751年阿拉伯人与我国唐朝高仙芝作战，俘虏了一些中国造纸匠人，他们把造纸术教给了阿拉伯人。阿拉伯第一个纸坊于公元751年在巴格达建立，公元900年造纸术传到埃及，1100年传到西班牙，再从西班牙传到北欧，法国的第一个纸坊是1189年建立的。

在数学方面，阿拉伯数学家确定了三角学中的正弦、余弦和正切的概念，创立了代数学，穆罕默德·伊本·穆萨（约780—850年）写了第一部代数学，直到十六世纪还是欧洲大学使用的主要教本。

与阿拉伯世界的文明相反，古代文明的夕阳斜辉在欧洲大陆逐渐消失。古希腊的文明在罗马帝国时代逐渐衰落，在纪元后的最初年代，这种没落的景象就很明显，往后就更加暗淡，直到五世纪，一切光辉都已消失，黑暗弥漫于欧洲。五到十五世纪，欧洲历史上称为黑暗时代。那时，罗马帝国的势力过去了，教会起而代之，在政治上成为统治者，在思想上成为垄断者，野蛮人统治和消灭了文明人，他们毁灭文化，破坏学校，扫除教会以外一切文明。在那些年代，科学被认为是对上帝的侮辱，真理成为无人问津的畏途，一切智慧都在圣经里，一切学问都归教会神父们所有。疾病被认为是上帝来惩罚有罪的人，想医治疾病就是藐视上帝的智慧，结果瘟疫从一个城市传到另一个城市，牺牲了无数人的性命，但他们临死时还念念不忘上帝。在那些年代里，欧洲大学主要传授神学，而把科学当作神学的侍女，只准人朗读和注释亚利士多德的经典著作，只准人信仰托勒密的地心说和盖伦的医学，不准人们探求和质问；大学之外，盛行的是炼金术、占星术；炼金术者想把一种很贱的金属经过冶炼变成黄金，以满足一些人的金钱欲望；占星术要人相信天上的星宿对地下男女生活有密切的关系，声称他们能预知卜问者的将来，借此骗取人们的钱财。意大利和日耳曼的学者，竟然把精力放在争论一个针头上可以站立几个天使。托马斯·阿奎那（1225—1274）证明上帝存在的第一条理由是天球运动需要一个原动者。在那个时代，巴黎和伦敦等城市，都是一些只有天窗通有光线的茅舍，雨后街巷到处是污泥，夜行没有街灯。整个欧洲，是个没有医院，没有学校，没有道路，没有科学的世界。人们淹没在漫长的黑夜、无知的荒野之中。当时欧洲人安于这种污泥，所想的祇是天堂，身上穿的毛衣尘垢，而他们所求的是灵魂清洁。耕地用的是

木犁，最好的运输工具是牛车，有四条牛便是贵族的表示。在那些年代，他们不晓得数学、地理、医学、天文。只晓得用杠杆、轮盘、滑车，但除西班牙人以外，全欧洲没有人会解释这些简单机械的作用原理。

一千多年的黑暗，使整个欧洲经受着近代科学技术文化难产的巨大痛苦。

虽然如此，人类的学术观点，仍处在不断改变的过程之中。科学仍以接连不断的细步在迷雾中前进。从十三世纪以后，我们就可以找到各种思想的细流，这些细流洶涌地汇合起来的时候，就开始形成文艺复兴的洪流。

十三世纪的欧洲涌现出一个短时期的实验风气，其中最杰出的人物是罗吉尔·培根（1214—1294），他是一个哲学家。他的哲学思想，高于整个中世纪欧洲哲学家的地方就在于，他清晰了解只有实验方法才能给科学以确实性。这在当时经院哲学占统治地位的时代，在思想观念上具有革命性的改变。罗吉尔·培根博览群书，无书不读，包括阿拉伯书籍和希腊书籍，但他并不是从圣经、神父、阿拉伯人或是亚利士多德那里把自然知识的事实和推论拿过来就算了事，而是谆谆地告诫世人：证明前人说法的唯一方法只有观察与实验。罗吉尔·培根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。当时有些学者根据有名无实的权威或者习俗的支持发表自己的意见，并靠空言争辩来遮盖自己的愚昧，罗吉尔·培根就看不起这样的学者。他说真正的学者应当靠“实验来弄懂自然科学、医药、炼金术和天上地下的一切事物，而且如果一个平常人或者老太婆或者村夫对于土壤有所了解，而他自己反而不懂得，就应当感到惭愧。”他认为，要证明其他科学，就要靠实验科学，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。罗吉尔·培根的另一个卓见，就是他认为数学是一切科学的基础。一个实验，一个数学，这是科学发展的极为重要的两个方面，而罗吉尔·培根能概括到一个理论高度，来阐明它们对科学发展的意义，他可以称得上是中世纪那个黑暗年代的一盏明灯，是近代自然科学思想发展一个启蒙者。

罗吉尔·培根对近代科学发展的影响，主要在思想方面，他虽然主张观察和实验，但他本人除了在光学方面外，没有做过多少实验。在光学实验上，花了不少钱，但是他取得的结果似乎是很少的。也许由于他学习了阿拉伯物理学家伊本—阿尔—黑森著作的拉丁译本的缘故，培根叙述了光的反射定律和一般折射现象，他懂得反射镜、透镜并且谈到望远镜，提出一种虹的理论。他叙述了许多机械发明，有些是他实际见过的，有时是他想象而后来发明出来的，如机械推进的车船与飞行器等。他谈到了魔术镜、取火镜、火药、希腊火、磁石、人造金、点金石等等，这里面有事实、有预言、有道听途说，应有尽有。

由于受到时代的局限，罗吉尔·培根的心理状态大半没有脱离中世纪的影响。他一方面猛烈攻击经院哲学，一方面又赞同经院哲学这样一个基本见解：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。他赞成大地是球状学说，哥伦布就受了他的影响，同时坚信宇宙是周围环绕有充满恒星的天球，大地则居于宇宙的中心。他的卓越

创见与这些有害的成见混杂在一起，虽然竭力挣扎，但总不能摆脱中世纪的心理习惯，所以他仍然是中世纪思想大军中一个分子，他只是离开这个大军稍微走得远了一点。就是这样，也没有逃脱教会的迫害，1277年被教会处以监禁之刑，不许申诉，到1292年才获得释放，以后就再没有他的消息了。

中世纪的欧洲也出现了一些工艺革新。例如水磨得到了应用和推广，据1086年的英国威廉一世记载，英国的磨坊有五千个左右，平均每400人就有一座磨坊。十二世纪出现了风车。农业也有发展，生产了一部分超出养活庄园人口所需要的粮食，这些多余的粮食使城镇的手工业与商业有了发展的条件，比如这些粮食就为建筑工人建筑教堂提供了条件，仅法国在公元1170年到1270年间就建造教堂八十座，所花费的人工和材料等于现在的价值10亿美元。

中国的四大发明也是在这个时期传入欧洲的。最初传入欧洲的是造纸术，1150年穆斯林教徒占领西班牙时，西班牙的造纸术就很发达了，1189年法国建立了第一座造纸厂，1276年意大利建立了造纸厂，1391年日耳曼的纽伦堡建立了造纸厂，1494年英国建立了造纸厂，是成吉思汗征服欧洲时把印刷术传入欧洲的。欧洲木版印刷的最早记录是1289年在拉文纳进行的，接着很快就改为活字体和金属板印刷。中国造纸术和印刷术的输入，代替了欧洲人在羊皮纸上抄写的笨拙方法，印刷术和字母发明一样，提高了人类的文化水平，并使历代积累下来的文明有了记录并能更广泛地传播，它也促进了工匠文献的兴起，工匠把他们的行业世代相传的有价值的经验，第一次记载下来。印刷术传入欧洲，使《圣经》得到普及，使人们有机会能根据自己对《圣经》的体会来追求真理，从而有助于新教徒宗教改革运动的兴起。造纸术和印刷术，变成文化科学复兴的手段，变成发展精神文明的必要前提和最强大的推动力，没有它也就没有文艺复兴，没有近代自然科学。

火药于十三世纪传入欧洲，欧洲出现火炮的最早记录是1325年。火药与火炮使中世纪不可一世的骑士英雄无用武之地，结束了披甲武士的时代和他们的设防城堡。因为火药制造和熔铸大炮都操在王侯手里，所以火器的发展就促进了十六世纪和十七世纪拥有绝对权力的王朝的兴起。为欧洲从封建社会过渡到资本主义社会创造了条件。

十三世纪，磁针罗盘输入欧洲。有了罗盘针，人们扬帆远航没有后顾之忧，特别在阴天飘洋过海，既看不到天体，也望不到陆地，非靠罗盘来测定方向不可。欧洲人有了罗盘针，航海事业就得到发展。十五世纪，我国明代郑和七下西洋，远到今日非洲肯尼亚。1497年，葡萄牙人达·伽马绕过好望角到达印度。1492年到1502年，意大利人哥伦布先后发现古巴、牙买加、波多黎各等岛屿。1519年9月，葡萄牙人麦哲伦率领的探险队，经过三年的航程，环绕地球航行一周，证明了大地实在是一个球形。希腊人关于大地是球形的假说，成为公认的信念。古罗马人“地环”的界限被打破了；只是在这个时候人类才真正发现了地球。

中国四大发明，对欧洲社会的进步、经济和科学文化的发展，都起了巨大作用。所以，被恩格斯誉为“英国唯物主义和整个现代实验科学的真正始祖”（《马克思恩格斯全集》第2卷，163页）。英国哲学家弗兰西斯·培根，当看到印刷术、火药与指南针所起的巨大作用时，也情不自禁地称颂这三大发明说：“这三种东西曾改变了整个世界

的面貌和事物的状况。第一种在文学上，第二种在战争中，第三种在航海上。从那里接着产生了无数的变化，变化是这样之大，以致没有一个帝国，没有一个学派，没有一颗星星能比这三种机械的发明在人类事业中产生更大的力量和影响。”

中世纪末期，由于手工业的发展，提出了对生产技术进行普遍革新的要求。在十一、十二世纪以后，西欧出现了早期的技术革命。在纺织业上，纺纱车在十三世纪发展起来了，水力也被用来织布，这是一种在水里敲打布匹使布收缩的操作，使布加厚和耐用。敲打先是用手操作，但是到十二世纪下半叶，用水车推动的桩锤就被用来织布了。这以后不久，水力推动的桩锤又被用来压碎染坊用的菰蓝和制革业用的树皮。这以后，有不少行业都依靠水力而建立起来。十三世纪时，水力被用来锯木头和推动铁匠煅炉的风箱，十四世纪时用于铸锤和磨石，十五世纪时用水泵开矿抽水。十五世纪水力发动力鼓风炉，提高了冶炼温度，促进了钢铁事业的发展。

在工艺技巧上也有了发展。十三世纪出现了机械时钟，1232—1370年间，欧洲有三十九座时钟被造出来，用于大型公共建筑、修道院或者教堂。十六世纪，纽伦堡就造出怀表。随着手工艺的分化，工程师、工具制造者和车匠、铁匠分家了；雕刻家、画家和石匠、装饰工分家了。他们中技巧比较高明的开始进行一些研究，并且从学术传统中吸取一些学识，开始著书立说，象哥特式建筑大师马梯阿斯·劳立沙在1480年所写的一本建筑学的书，在书中列举了他自己发明的几何构造样式，不过当时人们把古代的自然哲学看成是人类智慧的最高成就，所以他的书并不受到重视。

工匠在工艺上的革新，推动了科学方法的兴起和发展，为近代科学的实验方法方面作出了贡献，而学者对宇宙的新看法，改变人们的自然观。科学方法论和自然观是科学发展的两个内在的基本要素，这两个因素的合流和相互渗透，促进了近代自然科学的产生。

二、文艺复兴运动及其代表人物列奥纳多·达·芬奇

近代自然科学，和整个近代史一样，是从这样一个伟大时代算起的，这个时代，德国人称之为宗教改革，法国人称之为文艺复兴，而意大利人称之为五百年代。但伟大导师恩格斯认为这些名称都不确切，没有一个能把这个时代准确地表达出来。十五世纪下半叶的欧洲，正处在封建社会向资本主义社会过渡的革命时期，“国王的政权依靠市民打垮了封建贵族的权力，建立了巨大的、实质上以民族为基础的君主国，而现代的欧洲国家和现代的资产阶级社会就在这种君主国里发展起来”（《自然辩证法》第6页）。资产阶级在它已经取得了统治的地方把一切封建的、宗法和田园诗般的关系都破坏了，为了不断扩大产品的销路，驱使资产阶级奔走于全球各地，它到处落户，到处创业，到处建立联系。由于开拓了世界市场，使一切国家的生产和消费都成为世界性的了，由于一切生产工具的迅速改进，由于交通的极其便利，把一切民族甚至最野蛮的民族都卷到文明中来。由于创立了巨大的城市，使很大一部分居民脱离了乡村生活的愚昧状态。资产阶级日甚一日地消灭生产资料、财产和人口的分散状态，使人口密集起来，使生产资料集中起来，促进了资本主义生产从手工业到工场手工业的过渡，而工场手工业又是现代

大工业的出发点。十五世纪的下半叶，欧洲的资本主义生产力得到了迅速的发展，正如《共产党宣言》中所说：“资产阶级在它不到一百年的阶级统治中所创造的生产力，比过去一切世代创造的全部生产力还要多，还要大。”（《马克思恩格斯选集》第256页）

“在中世纪的黑夜之后，科学以意想不到的力量一下子重新兴起，并且以神奇的速度发展起来，那末，我们要再次把这个奇迹归功于生产。”（《自然辩证法》第163页）

从十五世纪开始的资产阶级革命，是地球上从来没有经历过的最伟大的一次革命，自然科学也就是在这场革命中诞生和形成起来的。这场革命，促进了人们的思想解放，启发和推动了自然科学家去突破宗教神学的精神枷锁，去勇于实践，勇于探索，迎来了科学的春天。

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，在十四——十六世纪，在意大利出现了与封建文化相对抗的早期资产阶级文化，它以复古的名义出现，但并不是消极的复古，而是资产阶级文化的兴起。这个时期出现了许多文学家和艺术家，这些活动家到处寻找罗马黄金时代的手抄本，一时手抄本的搜集成了时髦的风尚，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，不惜重金来收藏在东方或君士坦丁堡陷落时失散了的希腊书籍。古希腊哲学和科学的语言，经过八九百年之后，又重新为西方学者所熟悉。这样，在惊讶的西方面前展开了一个新世界——希腊的古代；在它的光辉的形象面前，中世纪的幽灵开始消逝；古希腊在哲学和科学上那种自由探讨的精神，开扩了人们的眼界；意大利出现了前所未有的艺术繁荣，这种艺术繁荣好像是古希腊“百花齐放、百家争鸣”的再现。到了十五世纪，意大利的文学艺术达到了空前的高度。我们仅以自印刷术传入欧洲后的1470年到1500年出版的书籍的数据，就可以看出意大利在文艺复兴时期的地位。这些数据是：

从1470—1500年间出版的书籍

威尼斯	2335	纽伦堡	380
米兰	625	米比锡	351
波伦亚	298	巴塞尔	320
罗马	925	伦敦	130
巴黎	751	牛津	7
科隆	530	斯特拉斯堡	526

这个数据表明，意大利由于自己从古代继承下来的文明，还继续居于文化科学的中心。

美洲的发现，环球旅行的成功，不仅为发展实验科学创造了前提条件，而且也是新的世界观的营养汁。哥伦布、伽马、麦哲伦的冒险精神，推动了人们去探险。那时，差不多没有一个著名人物不曾作过长途的旅行，不会说四五种语言，不在几个专业上放射出光芒。资产阶级在文化、思想领域中所进行的变革，已要求人们用新的思想、新的观点、新的语言去取代中世纪的经院哲学思想体系。如果说十三世纪天才的罗吉尔·培根的思想不具有普遍性，到十五世纪末要求批判经院哲学的呼声已成为一种社会力量。

意大利就是这种思想解放运动的策源地。在历史上有详细记载又为人们所熟知的意大利科学家列奥纳多·达·芬奇(1452—1519)就是这个思想解放运动的代表人物。

列奥纳多·达·芬奇,多才多艺,出类拔萃,他对各种知识无不研究,对各种艺术无不擅长,他是个画家、雕塑家、工程师、建筑师、物理学家、生物学家、哲学家,在每一学科里造诣很高。他的成功,首先在于他有一个正确的科学观,他认为,对于自然界的观察与实验,是科学的独一无二的方法,至于古代遗留下来的知识,只能作为研究的起点,不能作为最后的定论。他的治学态度,是从事实出发去研究科学和艺术。

列奥纳多·达·芬奇作为一个画家,他研究这门艺术的科学基础。他研究了光的透视规律,眼睛的构造,解剖过尸体,用颜料作过试验。他作为一个工程师,研究过动力学和静力学。当时人们都迷信亚利士多德的著作,但对他修改一幅不合画法的绘画,设计一项灌溉工程是没有多少帮助的。他认为实验是知识的源泉。“实验在任何情况下都是我的老师”,“理智是实验的女儿”,这就是列奥纳多的座右铭。

列奥纳多·达·芬奇作为哲学家,和罗吉尔·培根不同,他差不多完全摆脱了神学的成见。罗吉尔·培根认为神学是一切知识的真正顶点和归宿,而列奥纳多·达·芬奇却用完全不存成见的态度去研究学问。他对事物的实际研究比对书本兴趣大,他对阿基米德比对亚利士多德的兴趣大,他从阿基米德著作的手抄本中,看到了这位古人从实践中所获得的科学成果。列奥纳多·达·芬奇虽然没有写过有关科学方法论的论文,但从他写的札记里看到了这个哲学家对这个问题的见解。他说,数学在它自己的范围内给人以绝对的确切性,但是,真正的科学是从观察开始的。他说:“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”。

列奥纳多·达·芬奇作为物理学家,他研究了杠杆原理,并且认为杠杆是最基本的机械,其它机械都是杠杆的变化与复杂化的结果。他把阿基米德的液体压力概念加以发展,证明了连通器中液面有相同的高度,如以不同的液体装入两管之内,其高度将与液体的密度成反比。他研究过水波和声波,并认为光的反射很象声音的反射,光的反射角等于入射角,就如同把小球掷向墙壁时所发生的情况一样。

列奥纳多·达·芬奇用辩证的观点来看待地球。他认为地球也有自己的历史,地球的历史早于文字记载,在地壳中找到的化石就证明了这一点。在现今内陆高山上发现的化石,原来本生长在海水中,它们不可能象《圣经》所说的那样,在诺亚洪水的四十天中跑到现在的高度上去,事实上把世界全部海和云的水合起来,也不能淹没地球上高山之顶。列奥纳多认为,地壳一定有过变动,山岳在变动中升高到新的地位,但这并不需要灾难性的变化。他说:“时间久了,波河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大部分土地一样。”

列奥纳多·达·芬奇作为画家和雕塑师,对人体构造进行了科学研究,他不顾教会传统的反对,弄到了许多尸体进行解剖。他的解剖图不但精细正确,而且是真正的美术作品。他曾经画过名叫“蒙娜丽莎”的画,要是仔细观察,能看到血管里的血液在流动,真是栩栩如生。解剖学再前进一步就是生理学,在这方面,列奥纳多远远走在他所处时代的前面,他已经认识到血液把养料运送到人体的各部分,又把废料带走,他用水

的循环来比血液的运行。水由山流到河，由河流到海，再由海变成云，由云变成雨再回到山上。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了血液循环的道理。他的艺术，又把他带到另一个科学领域，他研究了眼睛的构造和活动方式，他已经能说明像呈现在视网膜上，他抛弃了当时流行的见解：人所以能看到物体，是由于眼睛发出光线落到所能看到的物体上的。

列奥纳多·达·芬奇是新自然观的预言者，他认为运动是一切生命表现形态的基础。按他的意见，所有这样现象，如像声、光、热、气味都是以振动为基础的。他认为自然界是有规律的，天体就象一架服从自然规律的机器，这就向当时流行的亚利士多德的观点提出了挑战，亚利士多德认为天体是神圣不朽的，是和地球不同的，而列奥纳多认为在天上的物质和地上的物质不存在不同的地方，吸引力也不是地球的特权。按他的意见，宇宙是无边的，地球不是处于宇宙的中心，也不是在太阳范围内的中心，而是在与它相伴、相连接的元素之间，对其它天体来说，地球像月亮一样会发光。列奥纳多对炼丹术、占星术和魔法进行了猛烈地抨击，他把炼金术士称为“大自然的虚伪解释者”，他认为魔术是一切人类意识中最愚蠢的。

列奥纳多给社会带来了新的思想新气氛，是文艺复兴中的代表人物，他的风格正如恩格斯所说：“在思维能力、热情和性格方面，在多才多艺和学识渊博方面的巨人”，是“给资产阶级统治打下基础的人物，决不受资产阶级的局限”的人物。（《自然辩证法》第7页）他是近代自然科学发展的先驱。

三、近代自然科学的奠基人哥白尼和《天体运行论》

1、地心学说发展概述

太阳每天总是东升西落，月亮在一个月內总是由圆变缺，一年四季总是寒来暑往，这些显而易见的规律，决定着游牧民族的移居就食与五谷种植和收割的季节，所以对世界任何一个民族来说，宇宙的结构问题，无疑是很早就进行探索的问题，这样，天文学就成了各门学科中发展最早的科学之一。

古人坐地观天，根据“眼见的事实”，认为宇宙是一个有限的球体，分为天和地两大部分，地球处于宇宙中心，天上的日月星辰都围绕地球运转，这就是地球中心说的基本点。这个学说的最早提出者，据现有历史资料，是古希腊学者欧多克斯（公元前409——356），他设想地球是万物的中心，日、月、行星都在同心的透明球层上绕地球转动。为了解释某一特定天体的复杂周期运动，他给每一个简单的周期运动都用一个以地球为中心的球层来说明，较低的球层的转动轴则安置在更外面的球层表面上。比如，为了说明太阳、月亮每日、每月、每年的周期运动，他就各用了三个球层来解释，五个已知行星的周期运动各用四个球层来解释，用一个球层来解释恒星的运动。欧多克斯根据这个办法用二十七个球层来解释天体运动。当观测资料积累得愈来愈多，新的周期运动不断发现，那么欧多克斯模型的球层数目也就不断增加，到亚利士多德时球层的总数达到五十六个。

亚利士多德（公元前384——322）继承和发展了欧多克斯的地心说。亚利士多德没有停留在欧多克斯的几何结构上，他设想每一球层的运动会传给下面的球层，载有恒星的最外球层，通过本身轴上的周日运转，使所有球层和球层上所载的天体都随着它作周日运转。为了使一个天体所特有的运动不致传给直接处在它下面的天体，亚利士多德在载有行星的每一球层之间插进若干“不转动的球层”，这些不转动的球层具有同样的运转轴，同样的速度，并且和推动处于它之上的行星运动球层数相同，但是以相反的方向运动，这样就抵消了上面那个行星所特有的一切运动，只把周日运动传给下面行星。亚利士多德设想，宇宙边缘有一层“原动天”（或者叫不动的推动者），统率整个宇宙，每一个球层还有一个次一级的不动推动者，执掌这个球层的特殊运动。推动者和天体是什么关系呢？亚利士多德设想是灵魂和肉体的关系。行星的推动者和原动天的作用相反，所以诸行星有其和周日运动相反的由西向东运动。最外面的土星因抵抗原动天的推动感到最大困难，因此运转周期也最长。最里面的月亮，运行周期最短。亚利士多德按照天体运行周期长短安排它们离地球的序列：月亮最近，依次为太阳、金星、水星、火星、木星和土星。

欧多克斯——亚利士多德的地心学说一开头就招致了困难。这个体系假设每个天体永远和地球保持同一距离，而当时人们已经发现，金星和火星的亮度是时常变化的，这就意味着这些行星和地球有时靠近，有时离开较远。再者，人们观察到日食有时全食，有时环食，这说明太阳、月亮和地球的距离也在变动，所以在公元前45年左右，一个叫索西尼斯的天文学家就认为，欧多克斯体系不但不能解释他们之后新发现的天文现象，也不能解释在他们以前就发现并为他们认为是真实的现象。为什么欧多克斯和亚利士多德都用圆来描述天体的运动呢？主要是由于当时古希腊人认为圆是几何图形中最完美的曲线，物体只有作圆运动才能周期性地回复到原来的位置，天体是神圣和高贵的，自然应该沿完美的路线运行。

欧多克斯在天文学史上，是第一个用模型来定量地描述天体运动的学者，他是地心学说的奠基者。这个体系的历史意义，就在于为以后的天文学家规定了应该在宇宙结构领域内，应当研究些什么问题，采用些什么方法。这两个根本特点，就把一批科学家吸引过来，使他们不再去在别的问题上浪费时间，集中精力来发展这个模型和解决这个体系所留下的有待解决的问题。

古希腊几何学家阿波罗尼（公元前260——170）发展了欧多克斯的地心体系。他为了解释行星的逆行和亮度变化这两件为人们所观测到的事实，他提出了“本轮和均轮”理论。他设想，每个行星都沿着一个叫本轮的较小圆周匀速运动，而本轮的中心本身又沿着一个大的圆周绕地球匀速运动，这个大圆周叫均轮。行星沿本轮运行的周期是一年，本轮中心沿均轮运行一周所需的时间各不相同，火星约2年，木星12年，土星30年。金星和水星是太阳的一双伴侣。阿波罗尼的理论很好地说明了行星与地球的距离的变化，其变化范围就是本轮的直径。当它很接近地球的时候，行星在本轮上运行的方向与本轮中心在均轮上的运行方向相反，前者的速度又大于后者，所以从地球上看来，行星是在逆行。阿波罗尼的理论，还使人们能预测行星的位置。

阿波罗尼的理论，后来又被古希腊的天文学家希帕克（公元前190——前125）所发

展。希帕克花了三十三年时间测定回归年的实际长度^①，发现太阳的周年运行是不均匀的，自春分至秋分与秋分至春分这两个半年时间不相等，一年四季长度也不相等。这说明太阳周年运行的步伐，夏半年慢些，冬半年快些。这和天体匀速圆周运动的理论相抵触。为了解释这个差异，希帕克提出了偏心理论。按照这个理论，太阳仍以均匀速度在圆周上运行，而地球的位置则偏离圆周中心。在这种假设下，太阳在相等的时间内，在圆周上走过同等的弧段，这些等长的弧段，对圆心所张的角度相等，对地球所张的角度就不相等了，所以，在地球上的观测者看来，太阳就成为不等速运动，四季的长短参差，就得到合理的解释。

沿着欧多克斯、亚利士多德、阿波罗尼、希帕克的道路，希腊天文学家托勒密（公元85—165）把地心学说发展到登峰造极的地步，他总结了许多世纪天象观测记录，继承了古代人对天体的认识，并集其大成，创立了以他的名字命名的地心学说——托勒密体系。

在托勒密体系中，地球是位于宇宙的中心静止不动，地球之外有11层天：月亮天，水星天，金星天，太阳天，火星天，木星天，土星天，恒星天，晶莹天，最高天，净火天。太阳和月亮是直接绕地球运转的。最高天即原动天，那里是神灵居住的天堂。全部球层受原动天推动，自东向西绕地球作周日旋转；除恒星天外，恒星以内的七重天又都有各自的与周日旋转相反的运动，周期从月亮的一月，太阳的一年……到土星的30年。地球座落在宇宙中心，巍然不动，一切重物都被吸引到地球上来，日、月、星辰如果不是被固定在各自的天球上，也会趋向宇宙的中心。

托勒密设想，行星仍在本轮上匀速运行，本轮中心在均轮上的运行则是不等速的，但对于偏心圆周内某一点仍保持角速度相等，这一点不是均轮的中心，而是另一个叫做“等距偏心点”。这个点位于圆心的另一侧，与偏心点对称。实质上偏心点和等距偏心点就是开普勒椭圆的两个焦点。

既然行星都是围绕着地球转，那为什么水星和金星是附日而行，受太阳的控制？为了回答这个问题，托勒密假定了水星、金星的本轮中心总是处在地球——太阳的连线上。

托勒密这样的设想，就破坏了太阳系的“和谐”。自然界是和谐的，这是古希腊哲学所主张的。因为水星和金星既然附日而行，也就是它们各自在均轮上的运动周期为一年，而它们沿其本轮运动的周期为：水星88天，金星225天。而火星、木星、土星沿本轮的周期都相等，都是一年。而在均轮上的运动周期，则为各自的恒星周期，火星约为2年，木星12年，土星30年。这样，五大行星在托勒密体系中各自为政，没有一个统一的原则去加以说明。这和托勒密本人的哲理是相矛盾的，托勒密说：“在解释现象的时候，采用一种能把各种事实统一起来的最简单的假说，才是一条正路。”

托勒密体系，代表了当时天文学的最高成就，从公元二世纪到十六世纪，曾独霸天文

^① 回归年也叫太阳年，即太阳沿黄道相继两次过春分点所经历的时间，回归年长为365日5时48分46秒。由于地轴进动使春分点沿黄道向西缓慢移动，速度是每年50，24角秒，约25800年运行一周，这个现象叫岁差。由于岁差原因，回归年比恒星年（地球绕太阳公转周期，长为365日6时9分9.5秒）约短20分23秒。