

世界近代中期 科技史

董粉和 著

中国国际广播出版社

内 容 提 要

近代中期是人类历史上的一个伟大时代,随着资产阶级革命在西方各国取得的胜利、工业革命的风暴,科学技术也得到了迅速发展。本书介绍了经典力学、物理学、天文学、数学、化学、地质学、生物学等基础科学在西方的发展情况,介绍了各学科中的代表人物及其成就,同时也介绍了以蒸汽动力技术为主体的技术科学的发展情况,说明了这时期科学技术的发展对于后世科学技术发展的影响。对于这一时期中国科学技术的发展以及落后的原因,本书也进行了介绍和探讨。

目 录

世界近代中期科技史

一、概 述	1
二、牛顿和经典力学体系的建立	3
1. 牛顿的青少年时代	3
2. 万有引力定律	6
3. 经典力学体系的建立	20
4. 机械自然观的确立与牛顿的综合	23
三、物理学	29
1. 光学	29
2. 电学	43
3. 热学	61
四、天文学	70
1. 著名天文学家	70
2. 康德	77
3. 新的天文成果	83
五、数 学	89
1. 微积分的发明	89
2. 数学家族	104
六、化 学	115
1. 近代化学的发生	115

2. 波义耳的化学成就	117
3. 燃素假说	121
4. 气体化学	127
5. 氧化说	136
6. 原子——分子说	141
七、地质学	146
1. 近代地质学的兴起	146
2. 水火之争	148
八、生物学	165
1. 生物分类学的早期发展	165
2. 生物学家林耐	168
3. 进化理论的先驱：拉马克	176
九、技 术	187
1. 纺织技术	188
2. 蒸汽机	190
3. 机械技术	192
4. 其他技术	194
十、中国科学技术的落伍	195
1. 天文学	196
2. 数学	199
3. 黄河的治理	202
4. 医学	203
5. 其他科学技术	207
6. 中国近代科技的落伍	210

一、概 述

世界近代中期,在西方指的是 1640 年英国资产阶级革命至 1812 年维也纳体系的建立时期,在中国指的是鸦片战争以前的清朝。

从 15 世纪下半叶到 18 世纪末,是人类历史上一个极其伟大的时代。在这个时期,资本主义成长壮大并取得了胜利,新兴资产阶级为取得自己的统治地位进行了不屈不挠的斗争。在这场斗争中,首先是以新文化运动来反对封建主义的意识形态,其中包括用科学的力量反对宗教。14 世纪至 16 世纪末的文艺复兴就是新兴的资产阶级反对神权统治、宗法制度、禁欲主义和蒙昧主义的一场激烈的、深刻的思想较量,它对于解放人们的思想具有极为重要的意义,也为自然科学的进步鸣锣开道,扫除障碍。近代自然科学正是在这场斗争中为自己争得了独立的地位,并有了自己独立的实践基础——科学实验,从此以后,自然科学就取得了系统的、日益迅速的发展,进入了近代自然科学蓬勃发展的新时期。

英国资产阶级革命扫荡了科学技术发展道路上的障碍,同时,英国的大学教育、科学社团以及英国皇家学会等对英国近代科学的发展也起了很大作用,因此,这一时期的早期以英国的科学技术发展最为兴隆,并带动了整个西方科学技术的发展。以

后,法国的近代科学也开始发展起来,随着科学社团及巴黎科学院的成立,到 18 世纪中纪,法国近代科学出现了繁荣的局面,而源于近代科学的法国启蒙运动和哲学思潮又推动了法国的科学进程,法国大革命之后的国民政府和拿破仑的统治又为科学的发展提供了一个轻松的环境,使得法国在实验科学、技术科学和应用科学方面在 18 世纪末与 19 世纪初成为处于领先地位的国家。德国近代科学虽说发展较晚,但也产生了莱布尼茨、康德、拉格朗日等一大批具有成就的科学家,同时兴起的自然哲学思潮也对德国 18 世纪末及 19 世纪科学技术的发展产生了极其重大的影响。即使是在殖民地的北美,也出现了像富兰克林这样成就卓著的科学家。这一时期的中国虽有近代科学的萌芽,但却由于专制统治以及闭关政策,使得中国科学技术仍然停留在古代科学技术发展的老路上,并没有突破中国传统科学结构的局限,因此在科学技术的发展过程中被远远地抛在了后面。

牛顿力学的形成是这一时期所取得的最重大的科学成就,它是人类认识自然历史上的第一次大飞跃和理论大综合,并对以后科学的发展产生了极为重大的影响。

二、牛顿和经典力学体系的建立

1. 牛顿的青少年时代

牛顿(1642~1727年),出生在英国中东部林肯郡的格兰瑟姆镇附近的沃尔索普小村庄,在他出生的前两个月,他的父亲去世,牛顿成为一个遗腹子。当牛顿还不满两岁时,他的母亲嫁给一个牧师,牛顿只能靠他的外祖母和舅舅抚养。牛顿刚满六岁时,他的外祖母即把他送进镇公立小学,12岁时,牛顿考入镇文科中学。

在英国资产阶级革命以后,中小学教育也有了相应的改革,已经开始进行现代科学的启蒙教育,这些科学启蒙教育主要包括手工制作和一些初步实验。少年牛顿开始表现出对机械发明有明显的兴趣,他造了一架水钟、一个风磨,由坐在里面的人驱动着车子和其他玩具。这种科学的启蒙教育,显然使牛顿受到了最初的科学熏陶。

对于英国近代科学史来说,17世纪60年代是值得纪念的年代。尽管由于斯图亚特王朝的复辟,暴风骤雨式的资产阶级大革命已经成为过去,但是,科学本身并没有停止前进的步伐。在60年代初,英国近代科学史上出现了两件值得纪念的大事,其

一,在格雷山姆学院的基础上,英国皇家学会于1660年筹建,1662年正式创立。从此,英国出现了一个富有生命力的新的科学团体。其二,青年牛顿带着成为占星术士的梦想,于1661年6月考入剑桥大学三一学院。

剑桥大学位于伦敦北部远郊的剑桥镇。早在1209年,人们就在这里创建了这所大学。剑桥大学虽然比牛津大学建校要晚,但自文艺复兴运动兴起以后,逐渐以数学和自然科学的教学与研究著称。特别是英国数学家巴罗(1630~1677年)执教于剑桥大学之后,进一步加强了剑桥大学的这种发展趋向。

牛顿进入剑桥大学后,因家境困难,所以只得当工作减费生,即边学习、边打杂,同时还得侍候富家子弟,这样可减收学费,而且还可以免费供应午餐。正是在这种困顿的环境中,牛顿开始了他的大学生涯。

从一个农民的遗腹子到一个剑桥大学的减费生,这些家庭的不幸与社会的不平虽然在牛顿的青少年时代投下了阴影,但也砥砺了他的求知欲与探索精神。这种欲望与精神无疑是使牛顿后来成为科学巨人的重要因素。

在剑桥大学学习初期,牛顿开始广泛地阅读和研究哥白尼、刻卜勒、伽利略、笛卡尔、费尔玛、华里斯和培根等人的天文学、力学、光学、数学和哲学著作。特别是刻卜勒的天文学与光学著作,笛卡尔的数学与哲学著作,对青年时代的牛顿产生了深刻的影响。

1664年,牛顿大学毕业,被选拔为三一学院的研究生。同年,牛顿又经过考试被选为巴罗教授的助手。但是从第二年年年初开始,一场大瘟疫席卷英国。1665年夏,仅伦敦一地就有3万人死于瘟疫。人们纷纷逃离城市,躲到乡下。消息传到剑桥,师生

一逃而空，牛顿也因此回到老家。

回到乡村之后，牛顿开始进行多学科的研究，他一面阅读和研究包括刻卜勒的《论火星的运动》在内的许多科学名著，一面进行潮汐、落体、透镜等现象的观察。与此同时，他还在天文学和数学的研究中，着重研究了当时人们极为关注的瞬时速度问题和曲线的切线问题。从1665年8月到1667年3月，在乡下不到两年的时间里，牛顿孕育了一系列重大科学发现的萌芽：万有引力、光的色散现象、微积分。虽然这些科学思想的萌芽直到后来才完全成熟，但他们的种子正是在这一时期萌发的。也正是从这里开始，青年牛顿正式踏上了他的伟大科学航程。而早期近代科学的面貌，也即将由此而焕然一新。

1667年3月，牛顿回到剑桥，获硕士学位，同年即被选为三一学院的研究员。在巴罗教授之后，1669年，年仅28岁的牛顿成为剑桥卢卡斯讲座（剑桥大学三一学院1663年创办的专以自然科学为基本内容的讲座，巴罗为首任数学教授）的第二任首席数学教授。从1670年起，牛顿正式开课，根据剑桥大学对卢卡斯讲座的教学内容的规定，牛顿主讲的教学内容是光学、数学和力学。牛顿并不善于教学，一方面可能因为他讲授的内容过于高深，而学生们首要关心的是那些能很快给自己带来功利的课程；另一方面也可能因为他的教学不甚生动，据说牛顿曾为此在教学内容的通俗化和教学方法的生动性方面下过功夫，但收效甚微。同时，牛顿曾以做教学广告的方法来招揽学生，但来听他课的学生仍是甚少。虽然他并不是成功的教员，但在解决疑难问题方面，却远远超过别人。

2. 万有引力定律

(1) 万有引力定律的发现

牛顿 1666 年初回故乡逃避瘟疫,在研究刻卜勒的行星运动三定律的基础上,着重研究过刻卜勒的天体引力思想,使牛顿产生了万有引力思想的最初萌芽。

刻卜勒的行星运动三定律对行星环绕太阳的运行作了定性与定量的描述。正是在行星运动三定律的论证中,刻卜勒继承和发展了吉尔伯特的以磁力为基础的天体引力理论。刻卜勒的这一引力理论最初见于他在 1609 年发表的《论火星的运动》一书中,后来又集中地反映在他于 1619 年发现的行星运动第三定律及其有关论述中。可是,刻卜勒行星运动三定律只能说明行星在怎样运动,而不能说明行星为什么这样运动。这样,进一步探索天体运动的力学规律,特别是进一步探索天体运动的力学原因,也就成为摆在数理天文学家面前的新课题。刻卜勒提出了这一问题,但他未能最终解决这一问题。

在研究刻卜勒的行星运动三定律的同时,牛顿也研究了伽利略的惯性原理和落体定律。伽利略的惯性原理和落体定律,可以说是最早用原理和公式描述出来的地上物体的运动规律。在研究伽利略的运动力学理论之后,牛顿感到,伽利略与刻卜勒一样,虽然说明了地上的物体在怎样运动,而不能说明它们为什么这样运动。因此,进一步探索地面物体运动的力学原因,也是当时的力学家所面临的新课题。伽利略提出了这一问题,但他未能最终解决这一问题。

在研究刻卜勒的行星运动三定律与伽利略的惯性原理和落

体定律的基础上,牛顿试图寻求天上的天体运动与地面的物体运动的统一的力学原因。为此,牛顿对天体的力学现象与地面的力学现象进行了广泛的观察与思考。据说苹果落地的现象曾给他以思考这一问题的灵感,这个故事是一个未经证实的故事:据说牛顿正坐在一棵苹果树下思考地球的引力问题,这时刚好有个苹果从树上掉下来,这一现象使牛顿立即想到了万有引力。这则轶事是伏尔泰(1694~1778年)在1730年访问英国时听说的,此后这则轶事就带着传说的色彩传遍世界。但真正把牛顿引向万有引力定律的,却是刻卜勒的天体力学与伽利略的地面力学在相互综合过程中所产生的理论思维力量。在试图从刻卜勒的天体力学与伽利略的地面力学中寻求世界的统一的力学原因时,牛顿曾设想了这样一个理想实验,站在一个很高的塔顶上,向与地面平行的方向抛射出一块石子,那么这块石子必然呈抛物线下落,而下落的原因,正是出于地球的引力。如果塔顶无限高,石子被抛射的速度愈快,它就射得愈远。这时石子下落的抛物线曲率也就会愈来愈接近地球的曲率。当抛射速度达到一定的速度,石子就会像月球那样环绕地球运行。

牛顿的这一理想实验,伽利略在《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》中也曾设想过。也许牛顿正是从伽利略的这一理想实验中得到了最初的启发。所不同的是,伽利略局限于地面物体的力学现象,未能把地球的引力引向月球的运行轨道及其力学原因,而牛顿在这一相同的理想实验中,却把地球的引力从地面物体的力学现象引伸到天上物体的力学现象,认识到月球环绕地球运行的作用力,正是来源于地球的引力,“如果没有这样一种力的作用,月球就不能保持在它的轨道上运动。如果这种力太小,就不足以使月球偏离它的直线运动,如果这种力太大,

就会使它偏离太大而把它从轨道上拉下而落向地球。这种力必须大小相当,而数学家的任务就是要找出这种正好能使一个物体在一定轨道上以一定速度运行的力”。在认识到月球环绕地球运行的作用力来源于地球的引力之后,牛顿随即想到,行星环绕太阳运行的作用力,同样来源于太阳的引力。

能把力学视野从地面延伸到天上,并随之寻求地面物体运动与天上物体的统一力学原因,这正是牛顿高于伽利略的地方。

牛顿的理想实验虽然只是一种设想中的理想实验,但它却是立足于实实在在的地面和天体的力学现象基础之上的。而这些力学现象又根基于伽利略的地面力学与刻卜勒的天体力学成果之中。正是在综合刻卜勒与伽利略两人的力学成果的基础上,终于使牛顿在 1666 年产生了万有引力思想的萌芽。

有了万有引力思想的萌芽之后,牛顿即在同年着手进行力学计算,以验证他的引力理论。他根据刻卜勒的行星运动第三定律,初步计算出了行星所以能在轨道上绕日运动的引力定律,即引力的平方反比定律: $F = \frac{1}{r^2}$ 。这一定律说明,“使行星保持在它们轨道的力,必定要和它们与它们绕之而运行的中心之间的距离的平方成反比例”^①。

为了证实引力平方反比定律的正确性,牛顿以月球绕地球的运行为例进行了计算。当时,月球的大小、速度、轨道半径已被观测出来。这样就可以先计算出月球在轨道上的向心力。然后,再根据引力的平方反比定律计算出地球对月球的引力,亦即地表的重力。如果月球的向心力与地球的引力两者相等,那就说明月球的向心力确实来自于地球的引力。这样,引力的平方反比定

① [美]H. S. 塞那:《牛顿自然哲学著作选》,上海人民出版社 1974 年版。

律即可由此得到验证,而关于地面物体运动与天上物体运动的统一力学原因的万有引力,也同样可由此得到证实。

牛顿相信他的证实万有引力的方法是正确的,可是,当他完成一系列的计算之后,在把使月球保持在它轨道上所需的力和地球表面的重力进行比较时,发现两者只是近似相等。因此牛顿在返回剑桥大学之后,未敢发表他的理论,甚至也未敢声张他的发现。

1673年,荷兰著名科学家惠更斯(1629~1695年)根据摆的运动实验与圆周运动实验,推算出了向心力定律,向心加速度公式 $a = \frac{V^2}{R}$ 。牛顿研究了惠更斯的向心力定律之后,感到它很像自己的引力平方反比定律的一个推论。为此,牛顿再次着手进行万有引力定律的研究。

1683年,牛顿的好友、著名天文学家哈雷(1656~1743年)在研究刻卜勒的行星运动第三定律时,也发现了向心力的平方反比定律,不过他证明不出来。因此,哈雷在与胡克(1635~1703年)、格雷山姆学院的天文学教授雷恩(1632~1723年)的一次聚会中,将这一问题提了出来。当时,胡克与雷恩都在研究引力问题。所以胡克当即表示,他能证明月球的向心力与地球的引力关系。可是,哈雷和雷恩在看了胡克的证明之后,都对胡克的证明不满意。哈雷表示要继续寻求新的科学证明。

与此同时,牛顿在万有引力定律的研究中取得重大进展。其一,他积极吸取了当时最新的天文观测成果。1682年,法国天文学家皮卡特(1620~1682年)对地球半径进行了精确的测算,这就使牛顿获得了他所急需的地球半径的精确数据,以便克服由原来地球半径数据不精确所造成的计算中的误差。其二,他

对原来的计算方法进行了重大改革,把地球与月球同时看作力学中的两个质点。

在取得上述两大进展的基础上,牛顿又进行了一系列新的计算。结果发现,月球对地球的向心力与地球对月球的引力相等。这一发现证明,月球在轨道上的向心力,确实来自地球的引力。这样,万有引力定律:

$$F=G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

也才算真正发现了。其中 m_1 和 m_2 为两个质点的质量, r 为两个质点之间的距离, G 为引力常数。牛顿在确立万有定律公式时,已明确了引力常数的存在,不过他当时未能确定引力常数的精确值。直到 1798 年,英国著名的物理学家和化学家卡文迪许(1731~1810 年)才运用他的精巧的扭秤实验,测出这一常数的精确值为 6.67×10^{-8} 达因·厘米²·克⁻²。

从 1666 年萌芽,到 1683 年结束,经过长达 17 年的努力,地面物体运动与天上物体运动的统一力学原因,终于被牛顿发现了。

由于万有引力定律的发现,牛顿实际上已经解决了两个天体在相互引力作用的运动力学问题,即二体问题。根据万有引力定律,两个在相互引力作用下的天体,当他们相互之间的距离远远大于他们的直径时,这两个天体就可以被看作两个质点。这样,天体力学中的最基本的二体问题,也就由于万有引力定律的发现而得到了完全的解决。

牛顿发现万有引力定律并解决二体问题之后,并没有立即发表他的成果。1683 年,当哈雷因不满意胡克对引力定律的数学证明时,才到剑桥大学去找牛顿商讨这一问题。这时,牛顿才

向哈雷透露,他已经解决了引力定律的证明问题。与此同时,牛顿还向哈雷作了关于万有引力证明的简要说明。1684年,牛顿在剑桥大学作了题为《论天体运动》的公开讲演,万有引力定律的发现才首次公之于众。同年年底,当牛顿开始写作他的《自然哲学的数学原理》时,即把万有引力定律写入这一著作之中。

万有引力定律的发现,给经过刻卜勒修正了的哥白尼的日心学说,特别是给刻卜勒的行星运动定律提供了天体力学的理论基础。如果说,刻卜勒的行星运动定律只是近似地描述了行星的力学定律,那么牛顿的万有引力定律则进一步揭示出了行星运动规律的力学原因。正是在万有引力定律的基础上,牛顿扩展了刻卜勒的行星运动第一定律,论证了他的第二定律,修正和发展了他的第三定律。这样,就不仅使得行星运动的力学规律进一步被揭示出来,而且使从哥白尼到刻卜勒的日心学说获得了严密的理论基础。从哥白尼开始的近代天文学革命经历140年的发展,由于牛顿的万有引力定律的发现和论证,也就达到了一种基本完成。

万有引力定律的发现,还给从地面到天体的所有物体运动提供了统一的力学图景,揭示了统一的力学原因。从苹果落地到潮汐现象,从抛物运动到行星运动,原来都遵从统一的力学规律,出于统一的力学原因。特别是以前刻卜勒无法解释的行星的椭圆轨道、行星在椭圆轨道上的不匀速现象,运用万有引力定律都可进行成功的解释。根据万有引力定律,若作圆周运动的线速度大到一定的值时,轨道必然变成椭圆,而行星的线速度所以是非匀速的,乃是因为在近日点时,引力增大,因此速度加快;而在远日点时,引力减小,所以线速度则相应变慢。

牛顿在运用万有引力定律对行星轨道进行力学分析时发

现,行星轨道并非标准椭圆轨道,而其中有失调现象。牛顿根据这一发现推测,行星的椭圆轨道所以失调,其原因在于:行星在其运行中除了受到主要来自太阳的引力之外,可能还受到了来自行星之间的引力作用。因此,在研究某一行星的运动规律时,除了太阳对这一行星的引力之外,还应考虑到别的行星对这一行星的引力作用。这就是牛顿以他的万有引力定律为基础,在近代天体力学奠基时期提出的著名的“三体问题”,即三个天体之间的引力作用问题。

三体问题是一个极其复杂的数学力学问题。就一定的意义而言,提出问题往往比解决问题更重要。因为这一问题的提出,使人们开始看到行星轨道失调的原因,开始激起进一步探索行星运动规律的兴趣。正是在牛顿提出的三体问题的影响下,法国数学家和天文学家拉格朗日(1736~1813年)在1772年前后对三体问题进行了新的研究,并给予了最初的解释。此后,法国天文学家拉普拉斯(1749~1827年)在1799年进一步提出了行星摄动理论。而行星摄动理论的提出,又导致了后来海王星等新行星的发现。

万有引力定律发现之后,哈雷立即把这一定律运用到天体力学的有关计算之中。1682年,哈雷发现一颗慧星。他运用万有引力定律对这颗慧星的轨道进行了计算,发现这颗慧星的轨道与1607年和1531年出现的慧星轨道相似。根据史料分析,哈雷认为这颗慧星是一颗周期慧星,其回归周期约为76年。哈雷因此断言,这颗慧星将于1758年至1759年间再度回归。后来这颗慧星果然在1758年12月15日再度回归,这就是著名的周期慧星哈雷慧星。哈雷慧星的发现,首次证实了万有引力定律的正确性。

由于万有引力定律的发现,同时也由于二体问题的解决与三体问题的提出,天体力学这门介于天文学与力学之间的新兴边缘科学,也就由牛顿奠定了牢固的基础。直至今日,从人造卫星到宇宙飞船的运行轨道研究与设计,牛顿的万有引力定律仍然是主要的天体力学基础。

(2) 万有引力发现的居先权之争

① 争论的开始。1693 年,英国皇家学会的百余名会员云集伦敦,举行一年一度的年会。这是皇家学会创立以来的第 31 届年会。同以往的年会一样,会员们各自报告了一年来在科学研究中所取得的新成果。

在本届年会即将结束时,皇家学会总干事、年近六十的老会员胡克发表了一项重要声明。胡克在这项声明中说,引力的平方反比定律是他首先发现的,而牛顿剽窃了他的成果。声明指出,牛顿在《自然哲学的数学原理》(以下简称《原理》)一书中,把引力的平方反比定律的发现完全归功于自己,这是不公正的^①。胡克的声明引起了与会者的思想混乱。

本来,根据皇家学会的要求,牛顿早在 1684 年 11 月至 12 月间即开始写作《自然哲学的数学原理》,并在 1685 年夏完成了第一卷,1686 年,牛顿又完成了第二卷,并开始写作第三卷。1686 年春,当牛顿向皇家学会提交第一卷后,却未能在当年出版,其原因,一是皇家学会凑不出足够的出版经费;二是皇家学会总干事胡克对书中的引力的平方反比定律发现的居先权提出了异议,胡克认为,引力的平方反比定律是他首先发现的,正是

^① [英]斯蒂芬·F·梅森:《自然科学史》,上海译文出版社 1980 年版,第 186 页。