

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

中小学课堂学习新广角
——物理演义



物理演义

第一回 开天辟地 原始人类不断进化 钻木取火 简单物理伴随前行

远古人类对石器及弓箭的使用。埃及金字塔的建立，可谓鬼斧神工。《墨经》讲述了力学、光学等原理。阿基米德说：“给我一个安放杠杆的支点，我就能将地球挪动。”

距今约 250 至 400 万年，地球上出现了最早的猿人。

人类祖先首先进行了手和脚的分工，用自由之手制造工具，提高了劳动效率。人类最早制造的工具就是石器。石器制造宣告了人类劳动的开始。

猿人制造的典型石器是用“以石击石”的办法敲打而成的石斧和石刀，它们被用来袭击野兽、挖掘植物和当作万能的工具来使用。

在坦桑尼亚奥杜谷发现的距今 200 多万年前后的砍砸器，在我国云南发现的距今 170 多万年的刮削器，都属于这个时期。这个时期属于旧石器时代早期。

而到了晚期，即距今四五万年以前，人类通过对劳动手段和劳动工具的客观规律的思考，开始了科学劳动的开端。

人类从打制石器产生技术知识开始，就知道了“其然”。再由“其然”寻求其“所以然”，从而发展到主动创造科学知识的地位。

在此基础上，人体形态已进化到不再与现代人存在重大差别的程度，称“新人”或“智人”。他们制造石器更加精细，并学会给石斧和石刀装上木柄或骨柄。这就意味着工具已走向复合化。

随着石器的发展，出现了较为复杂的工具——弓箭，从而产生了狩猎这个最早的生产部门。发明弓箭，需要长期经验的积累和比较发达的智力。

在我国山西朔县旧石器时代遗址中发现的石镞，说明至少在 2.8 万年前人类已经使用了弓箭。

由于工具的不断改进，人们可以捕获到更多的野兽飞禽，一时吃不完，把捕捉的野兽圈养起来，成为家畜，这些活动促使了畜牧业的诞生。这个时期，母系社会开始瓦解，建立了父权家族。从此，人类进入了新石器时代。

在这个时代，人们学会了在石器上钻孔，创造了石器磨制工艺，还为制造石器而专门开采和选择石料，使石器的功用更高，类型更多，用途也趋于专一。这时的石器有石斧、石刀、石砬、石纺轮、石铲、石镰、石臼、石杵和石犁，它们被广泛用于狩猎、捕鱼。

在整个石器时代，正是靠石器工具的不断改进，才使人类更有效地采集植物，猎取动物，促使了原始社会生产力的迅速发展。

上面介绍了在旧石器时代和新石器时代，人类的祖先凭自己的智慧和经验制造了石斧、石刀和弓箭，我们可以用物理原理说明其优越性。

压强和压力成正比，和受力面积成反比。石斧和石刀的锋刃很薄，就是为了减少受力面积，增大压强，使它们在不大的压力下就能够进入物体里去。现在才知道它们的广泛运用。

日常生活中的钉子、针、锥子等的尖端要做得很小，就是来增大压强。而大型拖拉机和坦克自身很重，又经常在潮湿、松软的土地上行驶，为了防止压坏田地和陷进地里，需要大大增加它们跟地面的接触面积。

人们给大型拖拉机和坦克安装了履带，就是为了增大受力面积，减少压

强。祖先们在无意识中已运用了物理原理，增强了生存能力。我们应该珍惜祖先给我们留下的财富，努力学好物理。

弓箭的使用既用到了物理上的压强，又用到了牛顿第三定律。当箭给弓弦一个作用力时，弓弦也给箭一个反作用力，这样弓弦才能把箭射出。这种微妙的思想也被祖先们挖掘出来，足见祖先思想的进步。

新石器时代另一发明是钻孔技术。这是古代技术发展的第二个标志。

人类最初利用的是天然野火。起初，人类惧怕火，不知火为何物，进而对火好奇而接近火。有了火，人们可以用它来防止野兽的侵袭，又能用它围攻猎取野兽；有了火，人们还能用火取暖、照明，从而扩大了人类活动的空间。为了用火，他们不得不把从森林或草原野火中取得的野火，视为神圣的东西悉心保存。

我国距今 170 万年前的云南元谋人和距今 80 万年前的陕西蓝田人都留下了用火的遗迹。距今 40 至 50 万年的北京人，在他们居住过的洞穴里留下了厚达 6 米的灰烬，说明他们已掌握保存火种的方法和控制燃烧的能力。

有了火，人类才能从“茹毛饮血”进步到吃熟食阶段，促进了人体特别是大脑的发育。但是，野火保存必然受到时间和空间的限制。后来，人类终于掌握了人工取火技术——“钻木取火”或“击石取火”的方法。

当时，人们利用弓弦的弹力把弓弦环绕在钻杆上，把往复运动变为回转运动，从而制成钻具。人们利用钻具的摩擦，成功地制造了火。钻木取火是人类史上第一次伟大的发明。

在我国古籍中，曾有“木与木相摩则燃”和“燧人氏”教民“钻燧取火，以化腥臊”的记载和传说。

人工取火的实现，标志着人类已经“在实践上发现机械运动可以转化为热”，“第一次使人类支配了一种自然力，从而最终把人同动物分开”。

有了随时可以制造火的技术，才能使火进入人类生产和生活的各个领域。在生产上，人们首先发明用火烧制陶器。

开始的时候，人们把食物放在木制容器内，再放在火上加热使它变为熟食。但木器是可燃物质，放到火上后会一同燃烧，这样解决不了问题。

后来人们想到一个办法，在木器外面附加一层粘土，加热时不易损坏木器。加热后，粘土硬化脱落而成器皿，从而使人们想到用火直接烧制陶器。

这是人类用火的一个重大意义。从原始人的遗物中可以证实。古代文物陈列馆中的陶器和陶俑显示了火在古代人类生活中的重要地位。

制陶技术的出现，标志着人类对材料的加工第一次改变了材料的性质，从而创造了一种人工材料，并在加工过程中第一次使用了自然能源。

人类最早使用的金属是天然铜。在采集天然铜的过程中，又发现了常与天然铜伴生的孔雀石矿。

烧制陶器的长期实践，使人们发现，用木炭代替木材作燃料可以获得更高温度。如果把木炭和孔雀石一起放在陶器中燃烧，即可炼出铜来。随后，人们又发现了青铜冶炼技术。

由于青铜（铜、锡、铅的合金）比纯铜熔点低，硬度更高，铸造性能和机械性能都很好，所以比纯铜得到广泛应用。

目前考察已发现的最早青铜器，出现于公元前 3500 年的埃及和美索不达米亚地区。公元前 2000 多年在印度和中国也已出现了青铜器。公元前 1400—1100 年，青铜器在我国已经十分普遍。

由于铜矿匮乏，青铜产量有限，主要用于制作小工具、武器和祭器以及宫殿中用具和坟墓中的陪葬品。殷商中期，用青铜器铸成农具，已开始成为基本的生产工具。此时，青铜还不能取代石器被广泛使用，人类进入了一个所谓“金石并用时期”。

人类在用铜的同时，还学会了用铁。最先使用的铁，同样也是取自大自然中的天然铁。

在埃及金字塔中发现的公元前 2900 年的铁器，我国出土的商代中期的铁刃青铜钺的铁制刃口，都是用陨铁锻成的。

随着青铜冶炼的发展，约公元前 2000 年前，居于亚美尼亚山区的基滋温达人又掌握了炼铁技术。

当时的冶炉温度不高，尚不能去掉炉渣，铁也不能熔化。所以只能把富铁矿石烧红，在较低温度下进行固体还原，得到混杂炉渣的海绵状“块炼铁”。

后来人们学会通过锤打方法去掉炉渣，经反复加热和锤打锻成铁器，并使表面渗碳硬化。这样，铁器才进入了实用时期。

在西亚，公元前 12 世纪亚述人已开始用铁剑作战、铁锄耕地；在南欧，荷马史诗关于公元前 11 至 9 世纪古希腊的传说中越来越多地提到铁器，在南亚，印度自公元前 10 世纪开始炼铁；在东亚，中国在西周时期也留下了许多用铁的记载。

由于铁矿比铜矿蕴藏丰富，世界各地都能找到，而铁器比铜器又更坚固、锋利、耐用，所以当人类一旦掌握炼铁技术后，铁器便迅速普及并取代了石器，使人类进入了铁器时代。

恩格斯在谈到使用铁器的重大意义时曾指出：铁器“把我们引向野蛮时代高级阶段，一切文化民族都在这个时期经历了自己的英雄时代：铁剑时代，但同时也是铁犁和铁斧的时代。铁已在为人类服务，它是历史上起过革命作用的各种原料中最后的和最重要的一种原料。……铁使更大面积的农田被耕作，开垦广阔的森林地区，已成为一种可能。它给手工业工人提供了一种极其坚固和锐利，非石头或当时所知道的其他金属所能抵挡的工具”。

铁器的使用，在人类历史上引起了生产工具的革命，从而大大推动了农业和手工业的发展。

随着生产和技术的进步，人类积累了越来越多的知识。制造石器，要求人类摸索岩石的性质和对石头进行加工的方法。

取火和用火炼制铜、铁，要求人类掌握发热的方法、燃烧的条件和加热知识。

制作弓箭，要求人们综合运用木、竹、骨、角、筋腱、皮革等多种材料的机械性质。

在这些知识中，事实上已经包含力学、物理学的萌芽。在石器向铜器和铁器转换的年代，生产力有了前所未有的发展。铁器文明不只是技术的发展，还推动了科学的诞生。

且说公元 3000 年南北埃及统一，形成纵贯尼罗河上下游的奴隶制帝国。在这里，像在美索不达米亚地区一样，古代文明也是以大河两岸的农业生产为基础而发展起来的。

尼罗河水每年一度有规律的泛滥，在沿河平原留下一片沃土。古埃及人自古就靠耕种这片土地生活和繁衍，他们很早就懂得水利是农业的命脉。

相传埃及第一王朝的美尼斯王，就在孟斐斯城外修建了大坝和水库，并

把整个尼罗河水利系统置于王朝管制之下。以后古埃及的历代王朝，也都重视兴修水利。

青铜器的大量使用，在尼罗河流域略晚于两河流域，约在公元前 16 世纪以后。但留下的壁画和浮雕说明，当时埃及人已掌握用脚踏风箱为炼铜鼓风的技术，从而提高了冶炼的温度。

古埃及的手工制造技术发展得很早。第一王朝时期已能生产麻布；已出土的建造于公元前 2800 年的巨型木船，长 47 米。说明当时埃及的纺织与造船技术已达相当水平。

公元前 27 世纪至公元前 16 世纪，历代王朝法老为自己营造的宏伟坟墓——金字塔，乃是世界奇迹。

金字塔是用石料、铜、木材和植物纤维等材料建成的。最大的金字塔高 146.5 米，底边长 232 米，用 230 万块平均重约 2.5 吨的巨石砌成。

当时他们已掌握了防腐药物和香料配制技术，法老们死后，被制作成木乃伊存放在金字塔里，塔前配有狮身人面像护卫。

古埃及人早在公元前 4000 年就把尼罗河汛期开始的一天定为一年之始，称为先阳升日。

这是因为，他们发现，每当夏季太阳快要升起时能在地平线上看到天狼星的那一天，尼罗河的汛期就已到来。两个先阳升日相隔正好 365 天，这是最早的太阳历。

金字塔修建的严格方位，一些庙宇的巧妙设计（如使一年里白昼最长的那天阳光恰能直射进庙宇照亮祭坛上的神位），都说明古埃及人有丰富的科技知识。这些技术中包含着物理学、化学、天文学、医学等方面的知识。

封建社会以前，古希腊的科学与文化在欧洲占领先地位。

公元前 800—600 年，巴尔干半岛南端地中海沿岸地区首先推广了冶铁技术，从而使生产能力显著提高，进入了奴隶社会，这就是古希腊。

希腊进入奴隶社会的时间，比巴比伦、埃及、印度和中国都晚。

希腊半岛的地理位置，使它与地中海沿岸以及东方各国建立了频繁的贸易往来，商业发展到了较高水平。随着商业交往，希腊人广泛吸收了巴比伦、埃及以及东方的文化，使希腊文明在充分继承各大河流域文明的基础上继续发展。

古希腊时期，没有不可抗拒的王朝统治，也没有僧侣神权的淫威，加工手工业者和商人重视现实、自然和科学，追求天理，反对天命，促使了自然科学的产生和发展。

希腊独特的政治经济与生产力的发展使人们关心的是自然，他们研究思考的是“世界”的本质及其来源。

在古希腊城邦涌现出一批自然哲学家中，最早的著名学者是被西方史学家称为“科学之父”的泰勒斯。

他从小受埃及科学文化的熏陶，在自然科学上做出了一定的贡献。

在天文学方面，他预测公元前 585 年 5 月 28 日将出现日全食。并得到事实的验证。他当时计算出的太阳直径略小于现在实际观测计算的准确值。

埃及人运用几何学已有几百年的历史，但从未提出过一个定理。泰勒斯提出了定理，并用几何学上影子与实物长度成正比关系的原理测量计算了埃及金字塔的高度。

他还确定构成宇宙的根本物质是水，水沉淀则成泥，干了则成土，稀薄

则化为气，气加热则变成火，任何物质都源于水。这就是宇宙成因一元论学说。这一系列思想使他建立了米利都学派，成为自然科学首创者之一。

同一时期，又出现了另一位为后世称颂的古希腊学者：毕达哥拉斯。

他提出了数学是宇宙万物之本学说，并以提出毕达哥拉斯定理（即勾股定理）而闻名。他还发现了无理数，引起了第一次“数学危机”。

毕达哥拉斯还创立了毕达哥拉斯学说，他对西方自然科学的发展产生过极为深远的影响，直到文艺复兴时还未消失。

天文学方面，毕达哥拉斯发现了启明星和长庚星是同一颗星。他还指出了月球的光是从太阳那里取来的。他认为地球是位于宇宙中心的一个球体，这种“地心说”一直延续了1000多年。

毕达哥拉斯学说的思想体系，仍然以毕达哥拉斯的数学观念为核心。

这个学派认为，数为宇宙提供了一个概念模型。

这个学派还认为，宇宙按照贵贱和完善程度，可分为三个部分：即地球和月层下部分，以恒星为界的交界部分和诸神的居所。地球、天体和整个宇宙是一个圆球，宇宙中各种物质都作均匀的圆周运动，而天体的运动越慢，他们的地位就越加高贵和神圣。

公元前5世纪，毕达哥拉斯联盟被奴隶主解散，它被分为两派：一些人组成宗教派，继续遵循毕达哥拉斯的神秘宗教教义和戒律，另一些人则形成了科学派，转向了科学研究。

除毕达哥拉斯之外，当时有影响的科学权威还有留基伯。

留基伯，古希腊原子论的奠基人之一。生于希腊利都。留基伯和他的继承人德谟克利特，把自然观推进了一步，从生物界扩大到物理界，提出了原子说。

他们认为，世间万物都是由不可分割的物质即原子组成。宇宙的原子数是无穷无尽的，他们的大小、形状、重量等都不相同，并且不能毁灭，也不能创造出来。

他们把宇宙的形成解释为：宇宙的原子在虚空中永远运动着，由于旋涡式的运动，把大的一些原子赶到旋涡中心而形成地球，而较小的水、气、火等原子被赶到空间，产生了环绕地球的旋涡运动。地球以外的大原子聚在一起形成湿块，靠他们通过旋涡式的运动变得干燥而燃烧起来形成天体。

原子论者认为，生命是从一种原始的粘土中发展起来的，一切生命都是如此。

人是宇宙的影子，因为人含有各式各样的原子。人的呼吸不断地把原子从人体内排出去，又不断地从空气中吸入人体，因此，呼吸停止了，生命也就结束了。

原子论的宇宙观完全是机械的，认为世界万物都是预先决定的。

原子论是现代科学的基石，早期的原子论同现代的原子论有着本质的区别，它仅仅是一种推测，是泰勒斯学派解释世界组成思想的发现，它不能成为一种科学的理论，只是一种猜想。

亚里士多德是希腊学者中对后世影响最大的人物，他是唯心论代表人物柏拉图的弟子，他集雅典学派的大成。

西方史书上认为，他是第一位研究自然的学者，曾是最博学的人物。特别是他的著作《工具论》、《形而上学》、《物理学》、《伦理学》、《政治学》、《诗学》等，对后世哲学和科学的发展影响颇深。

公元前 335 年，他曾在雅典兴办一所叫做“吕克昂”的学校，创造了自己的学派，被称为逍遥派。

亚里士多德把科学分为三类：一、理论的科学；二、实践的科学；三、创造的科学，即诗学。同时，他认为分析学或逻辑学是一切科学的工具。

亚里士多德是古代伟大的思想家。他不仅是形式逻辑的创始人，而且研究了辩证思想的最基本形式，成为第一个专门而又系统地研究思维及其规律的人。但他创建的思想动摇于唯物主义和唯心主义之间。

亚里士多德在自然科学的发展中作出很大贡献，对天文学、物理学、生物学、医学等方面都有深入研究。

在物理学方面，亚里士多德认为，各物体只有在一个不断作用着的推动者直接接触下，才能保持运动，否则物体就会停止运动。

这种推动者或者在物体内部，如生物；或者在物体外面，如物体受到外力推动或拉引。均匀的物体，只能靠外来的推动而运动，因此，任何运动，都是通过接触而产生的。

空气流到石头后面，以维持石头的运动。因此，真空也是不能存在的，因为空间必须装满物质，这样才能通过直接接触传递物理作用。因此亚里士多德反对原子论的“世界是由真空和原子组成”的观点。他认为，空间必须是一个物质的连续体。

亚里士多德有积极的一面，又有错误的一面。他同意地球是球形的说法，并用日蚀、月蚀来论证。

对后世影响最大的是他的天文学说，他极为主张地球中心说（简称地心说），反对太阳中心说（简称日心说）。公元 2 世纪，托勒密权衡地心说与日心说两种理论的优劣，选择了他的地心说这个错误理论，并进行了一生的研究论证，给天文学带来混乱。

由于教会的利用和他的论证的精密，这个错误理论在欧洲史上流传了千年之久，并一直占统治地位。到 19 世纪，由于恒星视差的发现，才彻底推翻了亚里士多德的理论。

亚里士多德还主张，构成世界的基本物质为土、水、空气和火四种元素，它们是永远不变的。从他的这一思想产生了阿拉伯和中世纪欧洲的炼金术。

炼金术的理论根据就是世界物质是土、水、空气和火四种元素，其他物质是可以创造和转化的，因此可以从价钱便宜的铅炼出昂贵的金来。

亚里士多德认为这四种元素也是可以转化的。冷、热、干、湿是这四种元素之间的属性，这四个属性的不同组合表明元素的改变。例如干冷的土加湿则成水，水加热则成气，再使之变干则成火。

土、水、气、火是由重到轻排列，比较重的土和水下沉则成地球，比较轻的气和火上升而成宇宙，地球是宇宙中心。

他不承认有真空环境，认为物体下落都有阻力，下落时物体受到的阻力 $F = R \cdot V$ （ R 是阻力系数， V 是下落速度），因此重者速度快，先落地；轻者速度慢，后落地。

亚里士多德的这一学说一直被看作真理，在他以后的 1000 多年间，没有人敢向他的理论挑战。直到 1590 年，伽利略才推翻了这一力学理论。

亚里士多德在科学史上，标志着一个转折点，他是最后一个提出整个世界体系的人。

古希腊还有一位声名显赫的科学家，他就是阿基米德。

阿基米德：古希腊著名学者、数学家、物理学家、发明家和军事工程师。生于叙拉古斯的一个数学家和天文学家的贵族家庭。

阿基米德在科学的许多方面都有卓越的贡献。在力学方面的成就尤为突出，是公认的古代最伟大的力学家。

著名的浮力定律就是他发现的。浮力定律指出：“物体在液体中所受到的浮力，等于地所排开的该液体的重量。”浮力定理是他洗澡时发现的。

据说，有一回，国王希罗找了一个珠宝商，给了他一些黄金，要他做一顶精美的王冠。不久，王冠做成了，它跟原来给的黄金一样重，但国王疑心王冠不是纯金的。

于是，国王把阿基米德请来，让他鉴定王冠是否为纯金的。阿基米德想了很长时间，没能找出方法。

一天，他到浴室洗澡，浴缸里放满了水，当他一跨入浴缸时，水就往外溢，此时，他顿生灵感，澡也没洗，找到了解决王冠问题的方法。由此，他发现了浮力定律。

阿基米德还发现了杠杆原理。杠杆的平衡条件是：动力 \times 动力臂 = 阻力 \times 阻力臂。阿基米德发现杠杆原理时，竟讲了一句出格的大话：“给我一个安放杠杆的支点，我就能将地球挪动。”

好家伙，他能把整个星球随意安放。实际上这是不可能的。地球的质量是他拉力的多少倍？如果有可能，他要想挪动地球，杠杆的动力臂放在十万八千里都不行。

阿基米德利用杠杆原理，巧妙地利用和发明了滑轮、螺旋器。他是一位重视实验的发明家，曾创造了许多仪器和机械，特别是在军事上发明甚多。

以阿基米德的名字命名的阿基米德螺线，在现代机械中应用极为广泛。凸轮的轮廓线采用阿基米德螺线，可以把匀速圆周运动转化为匀速直线运动。

阿基米德还是技术专家。当叙拉古斯城被罗马王马塞拉斯军队的兵船包围的时候，是阿基米德发明了回转起重机，把城外罗马兵船吊起来，摔得粉碎；或是越过城墙吊到城里，让本国士兵杀死兵船上的敌寇。

后来，罗马兵完全放弃了攻城，采用死困的办法，阿基米德无计可施又去研究他的数学去了。

当罗马兵冲进他的住室时，他还在潜心研究几何与天文，惊醒的阿基米德喊着：“别弄坏我的图画，给我走开！”罗马兵盛怒之下，结束了这位伟大科学家的生命。

在天文学方面，阿基米德曾创造一具行星仪，包括有太阳、月亮、地球和五大行星的模型，能够极为逼真地表现天体表面运动的情况，甚至还可以看出日食和月食。

他还发明了天文学测量用的十字测角器，并制成了一架测算太阳对向地球角度的仪器。

在几何学方面，阿基米德创立了用正多边形的周长和通过其中心的对角线的比例求圆周率的新方法，并且证明了把这个正多边形画出来使它环绕一个已知的圆周，就可以求得圆周率的任何精确值。

他确定的圆周率在 $3\frac{1}{71}$ 和 $3\frac{1}{7}$ 之间，已精确到百分位。他还解决了许多数学难题，在立体几何的表面积和体积计算中也做出了贡献。

阿基米德的著作很多，其中主要有《论抛物线问题》、《球体和柱体》、《论螺线》、《论浮力》、《致埃拉斯托芬关于某些机械原理的书信》等等。

科学史上称阿基米德“站在整个希腊、罗马古代科学家的最高峰而为亚历山大里亚时期增添了光彩”，“是理论天才与实践天才集于一人的理论化身，与近代的伟大人物相匹配，在很多领域都有巨大的独创和真正的发现”。

再说东方文明古国——中国，在古代物理史上的成就。

约公元前 21 世纪，从夏代开始，中国也进入了奴隶社会。

公元前 17 世纪初，商汤推翻夏桀，奴隶制在商代获得进一步发展，公元前 11 世纪初，周武王灭商建立了周王朝，奴隶制到了繁荣时期。

虽然中国进入奴隶制时间略晚于巴比伦和埃及，但夏、商、周的科学文化萌芽和积累，却为中国在春秋战国时期，率先在世界向封建制过渡准备了条件，并为秦汉以后中国科学技术遥遥领先于世界的发展打下了根基。

中国从原始社会末期，便在烧制陶器的基础上产生了青铜器冶炼技术。在龙山文化和齐家文化遗址，都出土了这一时期的小件青铜器。奴隶制建立以后，青铜炼制获得了大规模的发展。

河南安阳面积逾 1 万平方米的殷墟铸铜作坊遗址，说明商周时期的青铜器制造规模已十分可观。

其中出土的含铜量达 97% 的铜块，还有铅锭，说明当时青铜冶炼方法已有改进——从过去直接用铜、锡、铅的矿石冶炼青铜，进步到了首先分别炼出铜、锡、铅，然后再按一定比例混合炼出青铜阶段。

商代晚期的司母戊鼎，重 875 公斤，说明当时青铜铸造技术已发展到相当成熟的程度。当时能铸造出形状复杂的大型器具，是由于已能熟练地应用分铸法和复合的技术。

世界上最早的生铁冶炼技术，出现在我国的春秋时代。

在江苏六合程桥吴墓出土的一件铁块，即属于春秋末期的产物，经金相鉴定为白口铁铸件，这是迄今为止发现的世界最早的生铁实物。

到战国时期晚期，铁器已被广泛使用，冶铁已成为手工业中最重要的部门之一。自汉武帝起，在全国各处设铁官，出现许多规模较大的冶铁场。

到东汉，已有高五六米，容积三四十立方米的大型冶铁高炉。在欧洲，虽然罗马人于公元初已能偶尔得到生铁，但直到公元 14 世纪才使用生铸铁，比中国落后近 2000 年。

当时中国冶铁技术在世界冶金史上处于绝对领先地位，并为整个封建时代的技术发展开辟了道路。我们应为祖先的成绩感到自豪。

中国战国早期又有了生铁柔化技术的发明。这是一种利用高温退火热处理的办法，减少铸件脆性而提高其韧性，从而得到高强度可锻铸铁的技术。

在长沙、大冶两地出土的战国中、晚期的铁铲、铁锤、铁斧、铁锄，皆为经生铁柔化的可锻铸铁。中国这一发明，比欧美要早 2000 多年。

在铁的基础上，中国还最早发明了炼钢技术。1976 年在长沙出土的一口钢剑系春秋末期产物。它由含碳量 0.5—0.6% 的中碳钢制成，说明此时中国人已掌握炼钢技术。

与炼钢工艺同时还发展了淬火技术。炼钢渗碳时，多经淬火处理提高了硬度。用动物脂肪和尿淬火的“宿铁刀”能斩铠甲 30 扎，说明淬火技术已达到相当水平。

这样，大约到汉末，中国古代的冶铁、铸锻、炼钢和淬火技术已经形成

一个比较完整的体系，各种工艺方法也已大致齐备，从而奠定了整个封建时代最基本的材料和加工技术基础。

春秋时期，我国出了一个著名的科学家和建筑工匠——鲁班。他的发明以木工工具为最多。木工工具如刨、锯、墨斗和曲尺等都是鲁班发明的。特别是攻城的云梯是他的重要创造。这对军事有着重要作用。

民间广泛流传他发明锯的故事。一次，鲁班带领徒弟上山伐树时，草叶划破了手臂，他受到启发，按照草叶边缘的形状制成了竹锯，后又制成了铁锯，一直使用至今。

我国春秋时期，还出了一个思想家、政治家、科学家，即墨家学派创始人，墨翟。

由于他不满足于儒术所提倡的繁琐的“礼”，自立新说，广招弟子，成为儒家主要反对派。

他意识到劳动是人类生活的基础，提出强调重视生产的主张。在政治上，他提倡“必须使饥者得食，寒者得衣，劳者得息，乱则得治”的观点。

墨翟又称墨子，他的教育思想是“艰苦实践，服从纪律”，提出“兴天下之利，除天下之害”的教育目的。墨子学说对当时思想界影响颇大，与儒家并称“显学”，并且形成了墨学家派。

墨家学派所著的《墨经》，记载了我国古代在物理学上的卓越成就。

在力学方面，主要记载了杠杆和滑轮。讨论了重量和距离对杠杆平衡的影响，但没有总结出定理。

《墨经》还提到力矩的概念，他们把杠杆支点的一边叫做“本”，另一边叫做“标”。提出力臂长，重量重的一端下垂；力臂短，重量轻的一端则往上翘。墨家比公元前3世纪的阿基米德更早地懂得力的平衡关系。

墨家又做了细致的不等臂秤的实验，别出心裁地做了实验：头发丝引重。

用一根头发丝代替挂秤砣的绳子，并用手拉头发丝代替秤砣。

他们发现：如果力臂较长，重臂较短，达到头发丝的最大抗拉力 \times 力臂物品的重量 \times 重臂，那么头发丝就不会断掉；相反，头发丝就会断掉。

显然，这是根据杠杆原理。我们不妨计算一下：头发丝的最大抗拉力为50克，重臂为1厘米，若在重臂下悬挂5公斤的物体，那么力臂就不能小于1米，若小于1米，头发丝就会断掉。

后来赵国名家学者公孙龙，又在墨家这个实验基础上提出了更加出奇的设想：往下拽动力臂端下的头发丝，能举起重臂端下悬挂的一头大象。在当时引起了很大反响。

这个论题按杠杆原理是对的，但实际上我们能否做到，各位是能想得通的。这就是历史上的“发引千钧”的故事。

《墨经》对机械运动提出了正确的定义，即运动就是物体的变化，并且讨论了平动、转动等不同形式的机械运动，对浮力原理也有详细的阐述。

在光学方面，《墨经》中记叙尤为丰富，是世界上最早的几何光学著作，其中记载了小孔成像以及平面镜、凹面镜和凸面镜成像的详细观察和研究，提出了一些经验规则，并且提出了光的直线前进的观点。

公元前4世纪，墨家做了世界上最早的针孔成像实验，并且给予了正确的分析和解释。

他认为小孔成倒像，是因为在光线交叉的地方有一点，所给出的像的大小，与这点的位置有很大关系。光线径直向前，疾速似箭，远及他处的特性，

不仅生动、形象，而且相当准确。

人体所在位置变化，在屏上所成像也变化。光线通过小孔，人体位置由远而近，暗室内屏上的倒像由小变大。

公元前4世纪的墨家在这里不仅首次十分明确地提出了光的直线传播的概念，而且对小孔成像也同时作了成功的和比较细致的阐述。

墨家利用光的直线传播这一性质，讨论了光源、物体、投影三者之间的关系。

一般认为，运动着的物体，它的投影随着物体一起移动。墨家反对这种看法：影是不动的，若影移，那是由于光源或物体的运动，使原影不断消逝，新影不断生成之缘故。

墨家通过观察，深入细致地研究了光的性质，正确解释了影动和影不动的原因。从而说明：物体移动时，前后各瞬间的影子连续不断更新着，并且相应地变动着位置，看起来就觉得投影是随物体移动一样。

墨家在这里已经用了“瞬时”的概念来分析物和影子的变化，这种观点是极可贵的。

墨家对本影和半影也作了正确的解释。

一物有两种投影，是由于他同时受到两个光源重复照射的缘故。一种投影（本影），只受到一个光源的照射。在这里墨家不仅概括出光源直接影响物体投影的状况，而且强调了光源与投影的联系。

与此同时，墨家还根据物和光源相对位置的变化，以及物与光源本身大小的不同来定影的大小及变化。

他们用木杆成影说明这一点。杆影的长短、粗细，是由木杆的放置相对光源有斜正、远近不同所致。

木杆斜放，杆影就短些，粗些；木杆与光线正交，杆影就长些细些。若光源形体小于木杆，则杆影比木杆大；光源形体大于木杆时，杆影并非一定比木杆小，杆影的大小还随着木杆距离光源的远近而起变化。

墨家还描述了一种反射现象：人影投在迎向太阳的一面，是因为日光经过镜子的反射而转变了方向。

人站在日与镜之间，日光经过镜子反射到人体上；背向太阳的一面，人的影子就投在日与人之间。

我国对凹面镜聚焦特性的认识相当早，墨翟和他的学生对凹面镜所作的深入考察已有明确记载。

载文中说：物体放在凹面镜的球心以外，得到的是比物体小而倒立的像；当物体放在焦点与镜面之间，得到的是比物体大而正立的像。

后期墨家又通过反复试验，进一步认识了凹面镜的物像关系。

第一种是物体放在焦点以内，离焦点近些，则产生的像大些；物体离焦点远些，则产生的像也小些。在这种情况下，像必定都是正立的。

另一种是物体放在球心以外，物体离球心近些，产生的像也大些；物体离球心远些，产生的像也要小些。在这种情况下，像都是倒立的。

墨家对凸面镜也进行了研究。

他指出，凸面镜成像只有一种，物体总比像大。物体离镜近些，则像也大些；物体离镜远些，像也要小些。这两种情况下，像都是正的。物体过远，像就模糊不清了。

墨家对于当时的礼乐制度是反对的，他们极力排斥耗费金钱和时间的礼

乐。因此，在他们的著作中对乐律是绝口不谈的。但墨家对其他方面的声学知识有一定的记载。例如运用埋缸听声的方法来侦探敌人行动。

在《墨子·备穴》篇中就记载了几种断定地下声源的定向方法。

一种是当敌军挖坑道攻城时守军就在城内挖井，沿着城墙隔五步挖井一口，都紧挨着墙根。遇高地挖到当时的 3 米，低地则挖到地下水位之下 60 厘米为止。

让陶工烧制坛子，每个容积约 78 升以上，坛口紧绷一薄层生草，放置井中。让听觉灵敏的人伏在坛口谛听，以确定敌军挖坑道的方位与动静，便于守军从城内挖坑道迎击。

敌人挖坑道的声波由地下传来时，声波的衰减要比在空气中传播的衰减小，这样声波传到坛子后，便会产生“交混回响”，形成较强的余音效果，再引起坛口蒙皮的受迫振动，容易被人听到。

另一种方法是在城墙根的一个深坑里同时埋设两个稍有距离的坛子，根据这两个坛子的响度差来判断敌人所在方向。

墨家设计的这两种类型地下声源的定向装置，后代还一直沿用。

从目前的史料看，在先秦诸子中数墨家的贡献最大，我们归纳有以下几个原因。

一、墨家成员大多来自社会下层，和劳动人民的联系比较密切。墨子本人的工艺技巧据说还超过人所共知的鲁班。

他们比较注意记录、整理生产技术经验，并在此基础上作出一些物理知识的初步概括。同时，墨家还到处奔走活动，所谓“墨子无暖席”，这就增加了和广大生产者的联系和对大自然的考察，从而丰富了各方面的知识。

二、墨家十分重视对自然的研究，并喜欢“摹万物之然”以对人们的生产劳动有所帮助和促进。

如《墨子·公输》中写道，“教人耕”的功多于“不教人耕而自耕”的功，墨翟把自己比作前者。

相传鲁班能削竹为鹊，飞到空中 3 天不落下来，对此墨翟起先曾大为惊奇和钦佩，后来更亲自研究出削木为车轴的技术，就是用 3 寸大小的木材，制成车辖，在车上放置 50 石的重量，结果车轴不断。墨翟说：这样才算巧。墨家正是以研究科学的态度促进了自然科学的发展。

三、墨家有比较正确的认识论和方法论。特别是后期墨家，他们所持的出发点就是承认事物的客观存在，认为对外界事物的认识首先要通过眼、耳、鼻、舌、身等五种感觉器官，与外界相接触。

四、墨家建立了一套相当精彩的逻辑方法，是他们取得成就的又一重要原因。

中国古代自然科学中影响较大的著作还有《考工记》。

《考工记》是春秋末年齐国人的集体著作。它的范围很广，既包括了当时手工业的主要工种，又记载了大量的实用力学知识，他是我国古代第一部工程技术知识的汇集。

车轮在地面上滚动时，会出现被接触地面阻碍滚动的现象；还会出现施力方向不同，滚动情况也就不同的现象。对于这些力学现象，《考工记》上《轮人》篇作了比较详细的介绍。

《轮人》篇在讲述车辆和轮原理时指出：如果轮子和地面接触多，就难快转；反之，轮子和地面接触少，容易转得快。

《轮人》篇还论述了对滚动物体的施力效果。一是要使车轮和地面接触少，就是要把轮子做得尽量接近理想圆。二是使车轮与辘不是经常处于上斜坡状态，这就要求车轮一定要做得适当，不要做得太小，以免车轮与地面始终成一角度，比较费力。

我国古代对于箭的制作是相当早的，那时制箭的工匠又称“矢人”。他们通过制箭的长期实践，逐渐熟悉了物体浮沉的特性并积累了使飞行体在空中保持稳定的知识和技巧。

在《考工记》的《矢人》篇中，专门叙述了箭的各部分。需按一定比例制作，才能在空中飞行时保持稳定。

《矢人》中叙述，把按比例削好的箭杆投入水中，测定浮和沉的部份，依据这个测定来决定箭的各部分比例，再按这个比例来装设箭尾的羽毛。

《矢人》篇中还记载了箭杆、箭羽之轻重影响在空中飞行的情况。箭杆的前轻或后轻都会影响箭飞行的高低；箭杆中间轻或重会影响飞行的稳定性；箭尾羽毛的多寡则和飞行速度、稳定性有关：羽毛太多，飞行速度慢，而羽毛太少，飞行就不准。

惯性是力学中一个重要概念，是经典力学的出发点。

《考工记》中记载：“马力既竭，辘能一取焉。”意思说，马拉车的时候，马虽然停止前进，即不对车施加拉力，但车轮还能继续往前走一段路，这显然是一种惯性现象。

《考工记》中《轮人》篇记载了斜面的应用。意思是：车盖是用以遮雨的，它应该做得中央高而四周低，形成一个斜面，这样泄水时，就会使水流得快，而且射得远。

《考工记》中记载了不少声学知识，《凫氏》篇中写道：“钟大而短，则其声疾而短闻；钟小而长，则其声舒而远闻。”这段文字记载了钟的结构和发声响度及传声距离的关系。

我们知道，钟大而短，振幅小，致使声音的响度小，因而传声的距离就短；反之，钟小而长，振幅大，致使响度大，就能远闻。这是体现有关板类振动的声学规律的最早论述之一。

《考工记》中的热学知识不多，但涉及了不少热工技术。

如关于“天齐”的记载就反映出我国古代已能利用热学知识，根据各种金属的不同特性，掌握不同的温度，冶炼出性质和用途各异的合金。

在《考工记》中还记载了人们已经用颜色来判断被加热金属的温度。

文中说：“凡铸金之状，金（铜）与锡，黑浊之气竭，黄白次之。黄白之气竭，青白次之。青白之气竭，青气次之。然后可铸也。”

至此，自然科学已初步形成。

但古代科学技术的发展，仅仅处于简单、直观、零散的状态，系统的知识，理性的知识尚未形成，科学实验尚未从生产实践活动中分离出来，更没有形成专门从事科学实验活动的队伍。

虽然时代在发展，但古人所创造的业绩是不能磨灭的。没有古代，就不能有近代。当然那时人们对自然科学的分类还不详细，物理学尚未发展为独立的学科。欲知后事如何，且听下回分解。

第二回 朴素哲学启蒙中国科技领先 愚昧神教垄断欧洲物理衰落

王充发现：即使是大力士，也不能自己离开地面。张衡发明世界上第一台地动仪。马钧发明“龙骨水车”。“四大发明”标志着辉煌的高峰。而中世纪欧洲科技是一个长达千年的“黑暗时期”。

且说古代初期，科学体系尚未形成。中国率先进入了封建社会，并迅速发展了自己的科学技术。此时，罗马帝国日渐衰微，欧洲的奴隶制度走向没落。到公元5世纪末，随着罗马帝国的崩溃，欧洲也进入了封建社会。

但封建时代的中世纪对于欧洲的科学技术发展来说，却是一个长达1000年之久的“黑暗时期”。在这1000年里，中国则经过从隋唐到明初封建制的高度发展，中国的科学技术也形成了独具特色的体系，在世界上处于遥遥领先的地位，并对后来欧洲科学的复兴发生了重大影响，成为封建时代科学技术发展的突出代表和整个世界科学技术发展的重要源流之一。

东汉末年，由于农民起义和群雄兼并，原来统一的汉王朝又瓦解分裂，逐步形成魏、蜀、吴三国鼎立的局面。

从此以后，除两晋有过一段统一之外，直到隋王朝建立约三百六七十年间，中国又陷入分裂、对峙状态，战乱频繁，不能不对社会生产和科学技术的发展有一定影响。

但这种战乱之间，毕竟存在着相对的稳定。而且，各个对立的政权为增强自己的实力，大都采取一些政治、经济改革的措施，关注农业和手工业的发展。

在这个时期里出现了中国历史上空前的民族大融合，生产技术和科学知识也由于人员的迁徙而得到广泛的交流和传播。

这一时期的科学技术并没有放慢继续前进的步伐，中国古代科学技术体系也得以充实和提高，并且涌现了如刘徽、祖冲之、张子信、贾思勰、王叔和、皇甫谧等著名的科学家。

长期的生活和生产实践，使人们逐步认识了众多的自然现象和它们运动变化情况，并试图对其作出理论的概括。在没有精密科学实验的古代，人们对物质结构和物质本源，产生了种种朴素的猜测。

其中，王充的思想在当时影响颇大。

王充（公元27—97），东汉人。主要著作有《论衡》85篇。他运用当时自然科学成就，创立了以气为基础的元气自然论。

王充提出“元气”是天地万物的原始物质基础，天地实体和自然界万物都由元气构成，元气是与云烟云雾相似的原始的物质元素。

他在《论衡·谈天》中说“天地，合气之自然也”。这就是讲，世界是由物质性的元气构成，而且物质性的元气是无限的。

他还说：自然界的万物生成死灭的发展变化，都是天地所含元素上蒸、下降与相互作用的结果。由于天地元气是自然界万物原始的物质基础，因此天地和元气都是不生不灭的。

他又说：“天地不生故不死，阴阳不生故不死。”至于自然界万物种类的多样性，则是由于各自禀受到的元气的粗细厚薄不同所致。所谓万物“因气而生，种类相产”。

由于天是气，王充就把它叫做天气；物是气，就叫物气；人是气，就叫人气；人是气凝结而成的，气聚结为人，就像气凝结为水一样，至于人之所以有智慧，乃由于人禀受了元气当中最精微细致的部分，即“精气”（又名“元精”）。

对一些具体的灾变，如日月蚀，气候变异、雷电交加、水旱灾、虫兽害等，王充也用“元气”一一加以解释，涉及了极其广泛的范围。

三国时期嵇康（公元210—263）和杨泉（生卒不详），也谈到了元气。

嵇康认为世界上万物都是由“元气”变化产生的，“元气”之外，再也没有什么本体了。

嵇康主张求“自然之理”，他用元气自然论解释了声音的发生、传播，就像气味散播一样：“音声之作，其犹臭味在于天地之间。”并以此批驳了当时利用音乐宣扬“天人感应”的无稽之谈。嵇康反对玄学，在物质本源上提出了一些朴素的唯物主义观点。

杨泉主要代表作是《物理论》。他对宇宙由气构成的思想有更清晰的表述：“环境保护天，元气也，皓然而已，无他物焉。”指出了元气是构成万物的基本物质，天空只有充满元气的空间。

杨泉还认为天体也是由气构成的，并且认为，虽万物都是由元气构成，但是气有清浊，越是重浊的东西，它所凝的气越多。这些说法用元气观点统一说明宇宙与自然现象，是一种朴素的唯物主义自然观。

从现代物理学和哲学角度来分析，可以清楚地看出，在元气论中有些内容虽然以朴素形态出现，却包含着不少合乎唯物论、辩证法的深刻思想，其中有些也正是物理学乃至整个自然科学思想发展史上应该把握的环节。

力的作用问题，是研究力和物体运动之间关系的一个重要课题。王充在《论衡》中作了较多的探讨。

他在《效力》篇中写道：“干将之刃，人不推顿，菘瓠不能伤；筱瓠之箭，机不动发，鲁缟不能穿。”意思是锋利的剑的剑刃，如果没有人用力，连草木植物都不能砍断；优竹制成的良箭，不扣弩机，连白色的细绢都不能射穿。

由此说明潜在的机械威力，在没有人或笔力引发之前，即物体没有运动起来之前，是表现不出来的。

再者，王充已经深入到力、物体与周围环境的关系。他一方面已认识到日常的生活和生产中，外加的力能使物体产生运动，另一方面又考察了内力不能使物体产生运动这种发人深思的力学问题。

他指出“力重不能自称”，“鼻、育，古之多力者，身能负荷千钧，手能决角伸钩，使之自举，不能离地”。鼻、育，传说是古代的两大力士，尽管他们能身负千钧（一钧等于30斤）重的东西，手能扭断牛角和拉直铜钩，力气很大，但不能把自己举起离开地面。王充用这个例子说明内力和外力。

王充还对物体在斜面上运动作了记载和分析。我国古代早就有一句成语叫做“阪上走丸”，就是人们观察到的事实：斜面上的物体在没有一定外力作用下，必有愈益向下运动的趋势。

王充在《论衡》中说得更透彻：“是任车上阪，强牛引前，力人推后，乃能升逾。牛羸人罢，任车退却，还堕坑谷，有破覆之败矣。”这里“阪”就是斜面，“任车上阪”就是使载重之车往斜面上运动。他大致意思是：载重之车在斜面上必须有相应的强力在前面拉和后面推，才能向上运动；一旦

失去了这些力的作用，运动就会变化，在斜面上的载重车当撤去外力时，其本身又会向下运动，堕入坑谷。

王充对圆球运动的观察和记载就更加细致和精彩。

他写道：“且圆物投之于地，东西南北，无之不可；策杖叩动，才微辄停。方物集地，壹投而止；及其移徙，须人动举。”

上面话意思说，圆球投在地上，东西南北，没有不能滚到的地方，只有用棍子去阻挡它滚动，才能使它的运动在短时间内停止下来。而方的物体投在地上，由于基底的关系，一扔下去就停住了，要使它改变位置，就必须用力去移动或上举。

物体运动的快慢也是力学的一个内容，王充在《论衡》中，对这个问题也作了阐述。

《说日篇》中说：“天行已疾，去人高远，视之若迟，盖望远物者，动若不动，行若不行。何以验之？乘船江海之中，顺风而驱，近岸则行疾，远岸则行迟，船行一实也，或疾或迟，远近之视，使之然也。”

大意是，当乘船顺风而行时，由于人离岸近视角大，近岸行驶的船看上去快，离岸远时看上去慢，而船行的速度实际上是一样的。同理，望远者动者似乎不动，行者似乎未行。因此天本来走得很快，由于离人高又远，所以看起来很慢。

对于这些现象的正确描述，表明王充已充分注意到由于视差，物体真实运动与视运动的快慢有很大差别。

王充还写道：“月行十三度，十度二万里，三度六千里，月一旦夜行二万六千里，与晨鳧飞相类似也。天行三百六十五度，积凡七十三万里也。其行甚疾，无以为验，当以陶钧之运，弩矢之流，相类似乎？”

上面话的大意说，月和天的运动快慢也可以量度。天也是以一定速度在运动，而他们的快慢可用相似的机械运动——晨鳧、陶钧和弩矢的运动来比拟。

在《状留篇》中，王充写道：“是故车行于陆，船行于沟，其满而重者行迟，空而轻乾行疾。”进一步说明物体运动的快慢和其本身重量的关系，重量大的物体，要取得较快速度的运动，是比较困难的。

由上面的分析可以看出，王充在当时对力学的观察和研究中，有不少已经接近了近代力学基本概念的边缘。这表明王充是我国古代科学家中最接近近代力学概念的一位了不起的人物。

东汉时期，我国出了个科学家、文学家张衡（78—139）。

张衡出生于河南南阳西鄂石桥镇一个破落地主家庭。他的文学作品有《归田赋》、《二京赋》、《四愁诗》、《同声歌》等，科学著作有《灵宪》。

张衡在我国和世界史上是以伟大科学家和发明家著称的。公元112年，他34岁时从《太玄经》中开始接触数学和天文学。以后20余年中，他的全部精力集中于自然科学。

在汉代以前，我国的宇宙理论，大体上分为三种。一种是盖天说，认为天是一个半球形的盖，南高北低，象斜放着的伞，盖于地面之上。环绕大地的是海洋，天盖在大地边沿浸入海中，天地都由他们下面的气所撑起。天与地之间相距8万里。

另一种是宣夜说，此说认为，除了地和天以外，宇宙无形亦无质，空间是虚空和无限的。天体是浮于“元气”或“刚气”之上自由运动的。宣夜说

没有涉及天地形状和天体的运动。

浑天说在我国古代是始终占主要地位的宇宙论，一直被认为是正统的官方的学说。

张衡的浑天说认为，天是一个卵形的球体，直径为 200 万里，南北向比东西向短 1000 里；地在天之中，天似蛋壳而地是蛋黄；地靠水浮着，天靠气支撑，半边天在地上，半边天在地下，日月星辰则附于天壳之上，随天周日旋转。

后来张衡又把地浮于水上改为地浮于气中。张衡的浑天说奠定了我国天文理论的基础。浑天说的基本思想是地心说，认为大地是不动的。

张衡不仅是一位精通天文历算的科学家，更是一位实验家和发明家。

他曾制造了多种天文仪器和其他仪器，创造了世界上最早的利用水力转动的浑象，即浑天仪。

水动浑象是一个铜球，天空中的星辰都布于球面上。利用水力推动铜球一天转动一周，星辰的出没升降与实际天象相吻合。

张衡曾担任东汉王朝的太史令，他的主要职责之一是管辖天文学、地学和其他奇异自然现象的观测。

当时的首都洛阳是地震区。他目睹地震惨祸，下决心研究出一种仪器来观测地震，以便研究地震的规律，防止人民生命和财产受到损失。经过长时间的努力，他终于在公元 132 年研制出一种测定震中方向的仪器，定名为“候风地动仪”。这是世界上第一台地震仪。

地动仪是用青铜铸成，直径 1.94 米，高 2.27 米，形如大樽。它既是一种科学仪器，又是一种精美的艺术品。

它内部居中立着一根上粗下细的大铜柱，叫“都柱”。都柱周围八个方位设置八条中空滑道。仪器表面每个方位都铸着一条铜龙。每条铜龙嘴里都衔着一个钢球，下面都放着一只向上张着大嘴的铜蟾蜍。铜龙的下颌是铸死不动的，而上颌却是活动的，连着一根伸向里面的跷跷板式的杠杆。

如果在某个方位上发生地震，那么地面的振动就会从震中传来。在振动刚传到的一刹那，地面会顺着振动传播方向猛动一下。

这时候，候风地动仪里的都柱，就会象在骤然加速的公共汽车里站着的乘客一样，往后（即震中方向）倒下去。都柱顺着这个方位的滑道倒去，压下那里的跷跷板式的杠杆的里面一端，而使杠杆的外面一端（铜龙上颌）抬起。

这时，铜龙就张嘴，吐出铜球，“”地一声掉进铜蟾蜍嘴里。值班人员听到响声前来查看：哪个方位上的铜龙嘴里的铜球掉了，就说明哪个方位上发生了地震。

候风地动仪安装在首都洛阳的灵台（观象台）上。公元 133、135 和 137 年相继发生洛阳有感的地震，它都测出震中方向，人们莫不叹服它的神妙。

138 年的一天，洛阳城里谁都没有感到有地震，而候风仪却测出西方位上发生地震。人们都说它这次没有测准。过了几天，驿道上传信说，在洛阳以西的陇西郡果真发生了地震，人们这才真正信服它。

张衡认识到宇宙是无限的，在《灵宪》中，他明确提出了“宇之表无极，宙之端无穷”的观点。

他还认识到行星运动的快慢与距离地球的远近有关。张衡第一次正确地解释了月食的成因，说明月光是日光的反照，月食是由于月球进入地球影中

而形成的。

张衡的地动仪灵敏度很高，比欧洲地动仪器早 1700 多年；张衡计算出的圆周率比印度和阿拉伯的数学家算得的同样结果早 500 多年。

特别值得一提的是西汉末年的能工巧匠——丁缓（生卒不详），在制造机械、器具方面有丰富经验，有不少发明创造。

他制成了已失传的“被中香炉”，这种香炉“为机转运四周而炉体常平，可置之被褥”。把香炉放在一个镂空的球内，用两个机架架起来，利用相互垂直的转轴和香炉本身的重量，无论外边如何转动，内部的香炉始终保持平稳而不会倾洒。

马钧（220—265），我国三国时期机械制造家。他一生致力于机械的发明、改造和制造，为生产技术的发展起到了巨大的作用，曾获“天下至巧”誉称。

马钧生活很苦，无钱读书。由于他苦干实干，在长期的实际锻炼中刻苦自学，深入钻研，终于获得巨大成功。

他的著名功绩有：改进了织绫机，创造了龙骨水车，改进了诸葛亮的连弩，试制成转式发石器等，还制造出指南车和“水转百戏”。

织绫机是纺织上专织提花丝织品——绫的机器。原来的织绫机，为了提花，要把经线分成 60 综，而每一综必须用一个蹻操纵，工作起来手忙脚乱，速度很慢，而且容易出错。

马钧仔细观察认真研究了这种机器，他把五个蹻合成一个，经过调整，果然见效，十分方便省力。改进后的新机器比旧织绫机效率提高了 5—10 倍。

龙骨水车是马钧发明的一种提水工具，又称翻车。用它可以把低处的水提到高处去灌溉农田。

指南车是我国创造的一种机械指南工具。指南车是一种双轮独辕车，车上立一木人，一臂指南。行车前可根据天象定好木人所指的方向，由于车内有一套能自动离合的齿轮系，不管车行方向如何，木人始终指向南方。

马钧还是一个军事机械家。他曾研究和制造出多种实用的兵器，最著名的是改进了诸葛亮的连弩，创造了攻城用的转轮式发石器等。

由于马钧生于三国时期，战争频繁，马钧的创造没有得到当时统治者的重视。后来，他的这些成果，在生产中发挥了重要作用，特别是织绫机和龙骨水车受到广大劳动人民的欢迎和支持。

我国古代对于流体的某些特性，早有所知。春秋时孙武的《孙子·虚实》说：“水无常形”。《庄子》说：水之性“莫动则平”。

对于物体在水中浮沉现象的观察和研究，导致了浮力的利用。如在历史上广为流传的曹冲称象的故事，传为佳话。

曹冲（196—208），是东汉末期的实际统治者曹操的小儿子，才智超人。

曹冲 7 岁时，东吴统治者孙权向曹操赠送了一头大象。当时我国南方大象较多，属于亚洲象，体重可达 5 吨。

一天，曹操心血来潮，忽然想知道那头大象的体重。这可叫手下人为难了，因为当时的秤只有天平和不等臂秤，都不能一次秤量万斤东西。这时曹冲却想出了一个妙法，他说，只要将大象赶到船里，记下吃水深度；再将大象赶出来往船上装上每件都能称量的货物，一直装到原来标记的吃水深度为止；最后逐件称量这些货物，将他们的重量加到一起，就得到大象的体重。

曹操听了儿子的这番话，可乐坏了，马上如法炮制，“称”出了大象的

体重。

祖冲之（429—500），在数学上关于圆周率的精确度的计算是众所周知的，但他在天文学、物理学方面也有贡献。

祖冲之在天文学方面的贡献是制定了《大明历》。

他不但继承了其祖父和父亲对天文历法的研究，而且勇于破除旧观念，尊重科学，认真实践，发现了当时社会采用的《元嘉历》的许多错误，从而制定了《大明历》。

新历法改变了17年7闰的办法，提出了391年有144个闰月的新法。由于封建统治者的保守和愚昧，直到祖冲之死后10年，他的儿子祖暅再三上书，梁武帝才同意颁布施行《大明历》。

祖冲之在物理学方面也有较大的贡献。在机械制造方面，他重造了指南车，重新制作水碓磨、千里船等。

再说公元581年，隋朝建立，589年重新统一中国，从此开始了中国封建社会的隋唐盛世。

隋统一后，便继续实行均田制，注意减轻农民负担，使隋初就出现了经济繁荣的景象。

唐继隋后，更注意吸取历史教训，开明政治，缓和矛盾，大力发展生产。由于国家统一，社会安定，经济繁荣，便有可能将更多的人力和财物投入较大规模的工程建设和较大规模的科学活动，前者如大运河的开凿、长安和洛阳的兴建，后者如古籍资料的搜集整理，国家药典的编纂、大地测量的组织和实施等等。

伴随国力的强盛，中国与亚非各国的交往日益频繁，与唐发生联系国家和地区已多达50多个，不仅促进了对外科技文化的交流，也刺激了诸如造船、纺织、造纸、陶器等生产技术的发展。

这样，在隋唐时期，农业生产技术获得了大幅度的提高；冶金和原来各项手工业技术得以迅速普及和全面进步；城市和桥梁建筑技术高度发展；雕刻版印刷和黑色火药问世。经过这一时期，中国古代的科学技术体系已经达到成熟阶段。

唐后五代十国曾出现几十年的封建割据。公元950年，宋朝建立，很快就结束了这种状态。

北宋时期，改革佃制，实行奖励开垦的政策，使农田面积大幅度激增。

南宋时期，大兴水利，其大型水利工程已能灌溉农田几十万甚至上百万亩。在农业发展的基础上，纺织、冶金、采矿、制瓷、造船等手工业生产空前繁荣，城镇扩大，数目剧增，商业贸易日益兴旺，且出现了纸币和汇兑。

海外贸易也高度发达。贸易范围东至日本、高丽，南至东南亚，西达非洲和阿拉伯国家，中国与50多个国家和地区建立了通商关系。

公元1279年，元朝灭南宋，再次统一中国。

元朝加强和发展了国内各民族的交流，并且继承南宋鼓励海外贸易的政策，使中外经济和科技文化交流发展到新的阶段。

由于生产的发展，经济的繁荣，实行扶植科技的政策以及民族之间、中外之间的科学技术交流，宋元时期的科学和技术在隋唐时期科学技术发展的基础上达到了整个古代科学技术发展的高峰期。

在这一时期里，冶金技术、名窑瓷器、建筑技术、纺织技术、水利建设、造船和航海技术都有巨大的发展，指南针的不断改进已被普遍应用于航海，

火药和火器、兵器的制造技术有了新的进步，在雕版印刷发展的基础上又发明了活字印刷术。

宋元时期，科技人才辈出。不仅出现了许多世界闻名的杰出科学家和发明家，而且完成了一系列重要科学著作，还涌现了一大批在各个生产技术领域具有突出贡献的能工巧匠。

与此同时，各少数民族也在技术和科学上取得了不少成就。这一切表明，中国古代科学技术到宋元时期，已经达到他们在封建社会发展的顶点。

人们在长期的生活和生产实践中，随着天文观察、生产、交换等过程的发展，有关物理计量的探讨与运用也逐步丰富起来。

我国度量衡制度早期就形成，并用天文学或测地学的常数来定义地球上的长度单位，还有水运浑象、水运仪象台等复杂计时器的发明，这些都反映了我国古代计量技术的高明。

远古时，我国在天文上是通过立表测影进行观象授时。

表是一条直立的杆子，太阳光照射到表上，就在观测面上投射成一条影子。圭是测量影长的工具，是用石料或铜料制成的一条平板。在这条平板上刻凿尺寸。圭和表合成的整体，称为圭表。

利用圭表，在白天测量太阳的影子长度，根据表影的长短，就可以确定冬至和夏至等节气。

一年正午表影最长的日子，叫做冬至；一年正午表影最短的日子，叫做夏至。再从这些表影最长和最短变化的周期中，知道一年有 $365\frac{1}{4}$ 日。

圭表的作用，不但可以定夏至和冬至的时刻，而且在一日之内，根据表影长短的变化，也可知大概时间。

以太阳为对象测知时间，在晨昏或阴雨时候，就失掉作用。于是，人们在实践中发明了一种量度时间的仪器——漏刻。

漏刻又名水漏或漏壶。最简单的漏刻只有两个壶，即贮水壶和受水壶。人们只要看受水壶接受的水满到什么地方，就可以知道已经过了多少时间。这种利用静水压强的简陋仪器，在没有钟表的古代是一项重要的发明。

唐代和宋代的长度计量用尺度。唐尺试用大尺和小尺两种。传世出土的唐尺有镂牙尺、牙拨镂尺、鎏金雕花铜尺和土铜尺。唐镂牙尺长0.3米。

宋尺有“周尺”和“今尺”，它们的比例约是18.45：25.30。今发现宋尺有木尺、铜尺、黄钟玉尺等。铜尺长0.311米。

唐宋时，远距离计量有丈杆、测绳、步车等工具。

丈杆，用杉木制作，取细直者，尺寸画准，用红圈在旁注读数。用杆测量距离一目了然，应用最广泛，今天还有人称测量为丈量。

测绳是用有刻度标记的细绳测量地面上两点的距离。

步车，原理如同今天的卷尺。通常先择嫩竹，将竹节平直者削成竹箴，接头外用铜丝扎住，箴上用明油涂上，即做成尺子，在尺上标上刻度。

在远距离计量长度时，我国还发明了记里鼓车。这是一种记道车，当车前进时，利用车轮的转动，可间接或直接地把车行的里数表示出来。

且说自张衡以后，到公元725年，唐代的一行（673—727）和梁令瓚所创造的水运浑天仪才有了新发展。它既能反映日、月运行规律，又是一种能自动计时的仪器。

一行、梁令瓚的新创造是“外络二轮，缀以日月”，就是在浑象外面安

装两个圆环，一个环上置一“太阳”，另一环上置一“月亮”。日、月两球和浑象，通过一系列的齿轮、连杆同主动水轮连接，用水流推动水轮，使整个仪器运转。

更重要的是它在计时方面的作用。我国古代，一日的 $1/12$ 叫做“辰”，一日的“ $1/100$ ”叫做“刻”。水运浑天仪中的木人“至一刻”自动击鼓，“至一辰”自动撞钟，就是报这种辰和刻。

这种相当复杂的齿轮系机构，表明我国已能精确地传递轴和轮间的回转运动，同时可以进行变速及变更回转方向。

当时外国基本上还是采用“水漏”和“沙漏”记时，有轮的钟和自鸣钟的发明，要到12世纪至13世纪后半期。这比一行、梁令瓚的创造发明晚几百年。

宋元祐七年（公元1092年），苏颂（1020—1101）、韩公廉等人建成了水运仪象台。

他们在建造中，吸取了北宋初年民间天文学家张恩训所改进的自动报时装置的长处，通过力学知识把动力机械和许多传动机械组装成一个整体，造成宏伟又复杂的大型仪器，既能表示天象，又能进行计时。

在水运仪象台里有一种特殊的控制水力枢轮转动的装备叫做“天衡”，它是一组杠杆装置。当枢轮以漏水为动力转动时，这一组杠杆装置能够对它加以控制。

水运仪象台中计时仪器的机械装置叫昼夜机轮。它前面即是5层木阁：

第一层木阁是昼夜钟鼓轮，负责全台的标准报时。这是因为在昼夜钟鼓轮上有3个不等高的小木柱（起凸轮的作用），可按时拨动3个木人的拨子，拉动木人手臂；刻正木人打鼓，时（辰）初摇铃，时正敲钟。

第二层木阁是昼夜时初正轮，轮边有24个司辰木人，表示12个时辰的时初、时正，相当于24时，这轮上的24个木人随着轮子转动先后在木阁门前出现。

第三层木阁是报刻司辰轮，轮边有96个司辰木人，每一刻出现一个木人。

第四层木阁是夜漏金钲轮，可以拉动木人按更击钲报更数，并且可以按季节进行调整来适应昼夜长短的变化。

第五层木阁是液漏司辰轮，轮边设38个司辰木人，木人位置可以按节气变动，从日没到日出按更筹排列。

水运仪象台中和昼夜机轴相接的是浑象，它随机轴由东向西转动，和天体视运动一致，使得球面星座座位和天象相合。通过齿轮和枢轮轴相连的是浑仪，它也能随天球转动，就像近代望远镜有转仪钟控制着天球转动一样。

唐以来天文学上的成果，借鉴力学、技术知识和机械传动方面的经验，有不少创新。特别是计时仪器，堪称世界上最古老的天文钟。

且说宋朝的一大发明，是由毕昇完成的。

毕昇（生年不详，1051年去世），是著名的活版印刷术的发明者。

宋庆历（1041—1048）年间，毕昇在雕版印刷的基础上进行了大胆改革，发明了胶泥活字印刷术。

这一伟大的发明，对世界文明的发展起到了巨大的推动作用，也表明我国在中古时期科学技术已远远走在世界各民族的前列。

印刷术在我国唐代就已经出现，那时西方国家还根本不会造纸。唐代采

用的是雕版印刷。

世界上最早的有明确日期记载的印刷品，是在我国甘肃敦煌千佛洞发现的公元 868 年的雕版印刷的《金刚经》。

到了宋朝，雕版印刷已十分发达。但雕版印刷刻版工作十分艰苦。随着文化的发展，雕版刻字速度已远远不能满足需要。活字印刷术的发明势在必行。毕昇为社会科学技术的发展，作出了举世闻名的贡献。

毕昇的活字印刷分四步：一是用胶制成活字，放入火中烧硬；二是排版，把活字排在涂有松脂和蜡的铁板上，加热使蜡稍熔，用平板压字面，冷却后形成固定的字版；三是上墨印刷；四是拆版，稍加热使铁板上的字易于取下，活字可反复使用多次，在现代印刷中仍以这种方法为基础。

胶泥活字易破损，没有得到迅速推广。

王祜（1271—1368）在毕昇活字印刷基础上，采用了木活字，克服了胶泥活字的缺点，使活字印刷很快得到普及，到明、清时代仍很流行。

事实上，毕昇本人也研究过木活字印刷，但当时没能解决木字沾水后膨胀的问题。

活字印刷首先传到朝鲜。朝鲜人在世界上首先使用了铸字模，铸造金属字。1241 年开始，朝鲜使用了铸字印书。1403 年开始大规模使用铸铜活字。1436 年，他们又发明了铅活字。我国的铜活字印刷则开始于 1490 年，此后印刷术没有取得更大的发展。

电学和磁学是研究电磁运动规律的一门学科。在我国古代，随着生产的发展和人们对自然现象的不断认识，较早地开始积累了某些关于电磁学的知识。

我国古代关于磁的知识更为丰富，特别是地磁学方面的贡献在当时世界上曾处于领先地位。指南针的发明与应用，不仅在我国古代军事、生产、日常生活、地形测量、航海中起过重要作用，且对促进东西方文化的交流和世界经济的发展都有功绩。

我国古代的思想家和科学家从对自然界物质本源的认识出发作过不少探讨：《淮南子·坠训形》中描述，阴阳二气彼此相迫产生雷，相互急剧作用产生电。

《论衡》中王充也类似地解释雷电成因。他说，夏天阳气占支配地位，阴气与它相争，于是便发生碰撞、摩擦、爆炸和激射，从而形成雷电。

宋代周密的《齐东野语》则认为，阴气凝聚，阳气被包围在当中，一下子爆炸开来，于是就“光发而声随之”。

宋代朱熹解释道，雷电是“阴阳之气，团结之极，忽然迸散出”。用今天的物理语言，就是说当阴阳之气积累到一定极限时，极大的能量便在极短的时间内爆发。

对磁现象的认识，在我国比静电要早得多。远在 2000 多年前，由于冶铁业的创建和发展，人们在寻找铁矿的过程中，发现了天然磁体，它通常是一种以三氧化二铁为主要成分的磁石。

至于明确地提出磁石能吸铁，就现在所知，最早的记载当推公元前 3 世纪时《吕氏春秋·精通》所写的“磁石召铁，或引之也”。从这里，可以看到，当时对磁石的性质已有了解。

至于磁石吸铁现象的应用，在我国一些古籍中也早有记载。

后魏酈道元作的《水经注》书中就提到秦始皇为了防避刺客暗杀，用磁

石建造阿房宫的北阙门，使身怀刀刃的人入门时就被磁石吸住。

关于地球和天体磁现象的观察记录，在我国古籍中早有记载。我们今天知道，北极光是由太阳发出的高速带粒子使高空分子或原子激发而成。它因地球磁场作用而折向南北两极附近，形成一种辉煌瑰丽的彩色光象。

我国最早而又确实的北极光记录在公元前 950 年，《古今图书集成历象汇编庶征典》卷 102 等史籍中有“周昭王末年，夜清，五色光贯紫微”这样的记载。

“夜清”即夜深人静时，光亮出现的具体时间，“紫微”是指光亮在天空中出现的方位。显然，五种颜色的光贯穿紫微垣天区的壮观现象，引起了人们极大的关注。

再如太阳黑子，是指太阳光球层上出现的斑点。

黑子有强到几千高斯的磁场，它常成群出现，往往发展成为两个具有相反磁极的大黑子，大黑子周围还有一些小黑子，以后缓慢地消逝。

《汉书·五汉志》上载：“河平元所……三月巳未，日出黄，有黑气大如钱，居日中央。”这是现今世界上公认的最早对黑子的观察记载。

我国历代记录还表明：黑子出现最多的年月，也是极光出现频繁的时期。黑子和极光互有关系。

1977 年 7 月，云南天文台曾利用我国黑子和极光古记录，同时进行分析得出：极光和黑子的出现都约有 11 年的周期，并不是近 300 年才有的暂时现象。

我国大约早在战国时代就发现了磁体的指极性，而对世界文明作出重大贡献的指南针，正是利用磁体的指极性制成的。它是我国古代人民四大发明之一。

指南针最初叫做司南，最早记载在公元前 3 世纪战国末年的《韩非子·有度》中：“故先王立司南，以端朝夕。”“司南”就是指南器，“端朝夕”就是正四方的意思。

由于天然磁石琢磨成司南成品率低，磁性也比较弱，且与地盘接触时转动摩擦阻力较大，效果受影响，所以它的应用和流传都受到一定的限制。

从司南到指南针的过渡形式是指南鱼。北宋初年（公元 1044 年），由曾公亮主编的《武经总要》前集十五，介绍了指南鱼的制作方法及其应用。

由天然磁石的司南改进为人工磁铁做的指南鱼，其中已经包含了利用地磁场进行人工磁化和地磁倾角的知识。

现在已发现的关于指南针的最早的明确记载，见于 11 世纪北宋时期我国进步的政治家和杰出的科学家沈括晚年所著的《梦溪笔谈》。

《梦溪笔谈》全书 26 卷，该书内容广博，涉及政治、经济、哲学、历史、军事和科学技术等各个方面。大量篇幅阐述了作者在自然科学领域里的许多精辟见解，有关物理学的记述与探讨包括力学、声学、磁学和光学等部分。

《梦溪笔谈》24 卷《杂志一》中写道：“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也。”

从上面的记述中，可以看到，那时指南针的磁性体已发展为针状，它和现在的磁针的形状极为接近。而在西方，公元 1205 年法国人古约特才记载用天然磁石摩擦磁化铁针来作指南针。

沈括发现了指南针所指方向“常微偏东，不全南”的现象，从观察、实验中揭示出地磁偏角的存在，也就是发现并测定出地磁子午线与地理子午线

之间的夹角。

沈括具体试验了指南针的四种装置方法：将磁针搁在指甲上；把磁针搁在盂沿上；以针横贯灯心草浮在水面上；以独股茧丝用蜡少许粘于针腰，于无风处悬挂起来。

他在亲自试验的基础上还对这几种装置进行分析评价，指出前二种方法虽然运转灵活，但“坚滑易坠”；第三种方法在水面上“多荡摇”，也不怎么明显；第四种方法悬丝法荡摇较少，又不易滑坠，同时运转也较灵活。这些方法虽与现代指南针装置不同，却给现代装置以启示。

我国发明的指南针，大概于公元12世纪末到13世纪初通过海上航路传进阿拉伯，然后再从阿拉伯传入欧洲。

当海船在海上航行时，船上旱罗盘的盘体总会随着海船颠簸而出现大幅度摆动，使得磁针常常由于过份倾斜而紧贴到盘体上，以致无法转动。这样，它在海上的应用就受到很大限制。

至16世纪，欧洲航海罗盘开始有了新的发展，出现了常平架，就是我国现在称为“万向支架”的装置，它将旱罗盘挂在内圈内，使得不管船体摆动幅度如何，罗盘一直可以保持水平状态。这种常平架的原理与丁缓发明的被中香炉大致相同。

我国典籍记载指南针用于航海始于宋朱彧写的《萍洲可谈》：“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针。”此书著于宋宣和元年（公元1119年）。

至宋末，海船交通已相当繁荣，到元代海运更臻隆盛。当时我国的大商船队活跃在南中国海及印度洋上，并到过波斯湾和非洲东边的岛屿。到明代，我国强大舰队更曾几次远征到印度洋。这种长途的海上运动，如果没有可靠的指南针来指引航路，是根本不可能的。

再说沈括在声学领域里也有许多精辟的见解。

他的重要著作《梦溪笔谈》的卷五、卷六以及《补笔谈》卷一中有不少阐述了关于乐律、古琴的制作和传声、古乐钟的发声、共鸣现象等声学知识，并记载了声的共振实验，在我国古代声学发展史上有着重要地位。

对于古琴的制作，沈括作了较多的研究。他在《梦溪笔谈》中总结了前人用桐木制作古琴琴面的经验后指出：“琴虽用桐，然须多年，木性都尽，声始发越。”即必须采用胶质已脱，水份已干多年的桐木来制作。由于琴材干透，份量很轻，容易接受振动，声音也就能激扬出来。

沈括对古乐钟的发声问题也作了深入的研究。他在《梦溪笔谈》中写道：“古乐钟皆扁如盒瓦，盖钟圆则声长，扁则声短，声短则节；声长则曲，节短处声皆相乱，不成音律。”

上句话意思是，古乐钟大都铸成象两片瓦合在一起的样子，这是因为钟做成圆形则声长，钟做成扁形则声短，声短是指发声短促，没有延长音；声长是指发声有比较长的延长音，在快速旋律中，声音就相互叠加错乱，因而不成音律。

沈括在研究声的过程中，还做了声的共振实验。沈括认为我国古代的弹弦乐器——琴瑟都有互相应和的现象，即八度音能产生共鸣的音。

实验这样安排：为了要知道某一根弦的应弦，可以先将各条弦的音调准，然后剪纸人放在待测弦上，一弹与它相应的弦，纸人就会跳动，弹其他弦，纸人应当不动。如果琴弦的声调高低都相同，即使在别的琴上弹，这张琴上

的应弦同样也会振动。从这个实验可以看出，沈括对弦线的基音和泛音的共振关系的研究已相当深入，并有实用价值。

在宋朝时，火药已开始普遍使用了。

火药是我国古代四大发明之一，我国古代火药的发明，从现在能查到的历史资料来看，是在唐代初期。而火药用到武器制造上去，则是在唐末宋初。

唐末宋初时，人们已经能制造火药炮了。火药炮就是把火药包成容易发射的形状，火药包点燃后，放在抛石机上抛出去，威力比石炮要大得多。这样，各种火药武器应运而生。

北宋末年，人们分别制造了蒺藜火球、霹雷炮、震天炮等火药武器。火药武器的出现，反过来又推动了火药的研究和大规模生产。公元 1044 年，北宋的曾公亮等编著的军事著作《武经总要》中，不仅描述了各种火药武器，还记下了世界上最早的三种火药配方。

自公元 13 世纪起，火药从我国经过印度传给阿拉伯人，又由阿拉伯人把它和火药武器一起经过西班牙传入欧洲。火药和火药武器传入欧洲后，对欧洲的社会和科学技术的发展产生了巨大的影响。

一提火箭，世界上公认是我国最先发明的。自三国时期起，我国史籍上已有关于火箭的记载。在《魏略》中载：诸葛亮“进兵攻（司马）昭，起云梯冲车以临城，昭于是以火箭逆射其云梯，梯燃，梯上人皆烧死”。

在火攻中，虽说已有“火箭”的名称，但它只是在箭头上附着油脂、松香、硫磺等易燃物质，点燃发射后以引起对方燃烧，实际上是一种带火的箭。

由火药喷射推进的火箭的发明年代，在我国大约是在唐末宋初。唐代在叫做烟火的玩物中已有了“烟火起轮，走绒流星”。

另据萨顿的《飞行科学》一书中讲到，在公元 1233 年，蒙古兵进攻时，曾利用过火箭，转而传入欧洲，以后阿拉伯人的著作中称它为“中国箭”。

席姆所著《火箭与喷射》一书中也提到宋理宗绍定五年（公元 1232 年）汴京之战，并说明守城的人如何用火箭把敌人吓退。根据他的分析和记载，推动火箭前进的力不是用弓的弹力，而是火箭燃烧时向后喷射的反作用力。至 13 世纪末才在欧洲人的著作中看到火箭的字样。

到了元、明两代之交，我国的军用火箭已经相当成熟了。当时有位兵器制造家叫焦玉，是安徽宁国人。他在 1412 年写了一部讲火器的书，书中就介绍了一种远射火箭：箭杆长 4.2 尺，箭头长 4.5 寸，箭杆前端绑有“纸桶起火”，放在发射架上或发射筒里燃放。“纸桶”就是装火药的纸筒；“起火”就是起花，也就是“流星”。

然而，古代火药效力不高，因此火箭的穿透力不会太大；特别是用于远射，效果就更差了。不过，将它用于近射，还是有相当威力的。

焦玉的书上还介绍一种近距离作战用的火箭——“火龙枪”。它是竹叶枪与火箭的巧妙结合：在竹叶枪的前部绑上几个发射筒，筒里装几支火箭。当士兵用竹叶枪与敌人肉搏的时候，骤然从枪上燃放火箭，多支火箭同时射出，打得敌人措手不及，有一定杀伤力，威胁作用更大。

焦玉的书上介绍了两种飞弹——“飞空击贼震天雷炮”和“神火飞鸦”，它们都是用火箭推进，可是箭头取消了。

据《武备志》上对“飞空击贼震天雷炮”的记载：“炮径三寸五分，状类毬，篾编造。中间用纸杆一筒，长三寸，内装送药。筒上安发药神烟，药线接着送药。外以纸糊十数层，油红色，两旁安辖风翅两扇。如攻城，顺风

点信，直飞入城，待送药尽燃，至发药碎爆，烟飞雾障，迷目钻孔。”

同一类中还有“神火飞鸦”的记载。原理上也相同，但它的目的主要是放火。

现代火箭炮就是飞空击贼震天雷炮的后代，不过它更像流传至今的更加古老的二踢脚。二踢脚的下半截可以说是“火箭发动机”，上半截可以说是“炮弹”。我们将它的外引信点着，引燃发射段，它就呼的一声冲上天，这是它的“火箭发动机”在工作；接着内引信自动引燃爆炸段，再乓地一声炸开来，这是“炮弹”在爆炸。现代火箭炮的工作原理也是如此。

且说中国中世纪科学技术高速发展的同时，欧洲也完成了从奴隶社会向封建社会的过渡。公元前 73 年，爆发了罗马历史上最大的一次起义，即斯巴达克斯起义。此后罗马帝国在内忧外患的沉重打击下，于公元 395 年分裂成东西罗马。它标志着欧洲奴隶社会的结束。

随着欧洲封建制度的建立与巩固，宗教势力在封建统治阶级的支持下达到了登峰造极的地步。教会主宰了整个社会的精神生活，垄断了全部文化和教育，使基督教神学成为欧洲封建社会统治思想的集中表现。

奥克斯丁主教的《忏悔录》和《上帝之城》，是基督教神学的重要经典著作。由奥克斯丁开创的服务于神学的哲学，称教父哲学，公元 8 世纪以后，又发展为经院哲学。他承认认识来自两条渠道：宗教神学的信仰和人类理性的推理，但认为它们都来自同一造物主的创造，最后都统摄于上帝，实际上是要把科学纳入神学的轨道。

在中世纪的欧洲被推崇的古希腊罗马的科学成就，除了亚里士多德的学说，只有托勒密的天文体系。这个体系也被用来证明上帝创造世界的教义。

总之，欧洲中世纪的 1000 年，特别是其前、中期，科学几乎是一片荒漠。当然，这并不是说科学技术的发展在这里出现了绝对的空白，科学作为纵贯历史的前后相继的线索也不会完全中断。

罗吉尔·培根（1214 - 1292）是英国唯物主义思想家、伟大的科学家、实验科学的先驱者。他是法兰西斯派僧侣，获得过神学博士学位。由于他的许多著作中的科学思想不为教会所接受，曾被囚禁 15 年。

罗吉尔·培根是近代实验科学的先驱。他积极主张从事科学实验活动，认为观察和实验才是获得真知的唯一方法。

罗吉尔·培根在物理学方面，对光学的研究特别深刻。他所从事的科学实验工作，大多是光学内容。他的多数光学理论研究，都是以实验为基础，并设想如何应用于生活实际中去。他通过实验研究了凸透镜的放大效果以及光的反射和折射定理，便设想制造出望远镜、显微镜和眼镜等。他还通过实验证明了虹是太阳光照射空气中的水珠而形成的自然现象，并非上帝所造。

总之，中世纪中国科学技术发展成绩是喜人的，但随着时间的发展，中国科技进入了缓慢发展时期。此时，欧洲科技正在兴起。欲知后事如何，且听下回分解。

第三回 划时代 牛顿力学成就辉煌 揭新篇 物理学科规模初具

从地心说到日心说，哥白尼敲开宗教神学禁锢的大门。布鲁诺为坚持真理，在罗马的鲜花广场被活活烧死。以刻卜勒和伽利略为先导，苹果落地为启示，牛顿发现万有引力定律。古典力学体系的形成。

且说从公元5世纪开始，到16世纪的文艺复兴运动以前的中世纪，欧洲上空弥漫着乌云，人们愚昧无知，社会停滞不前。

在教皇、骑士作威作福、横行霸道的漫长年代里，一切科学文化书籍归教皇和神父所有，而教皇和神父对科学技术一无所知，他们把科学说成是对上帝的污辱，把真理看成是虎狼当道的畏途，把学校说成是犯罪的组织。

当时，巴黎、伦敦等城市都是一些只有天窗通有光线的茅舍，人们夜行打着火把，耕田用木犁，运输用牛车。滑车、杠杆也有人用，但是没有人研究它。走江湖、卖野药的骗子成为受人尊重的“圣者”。

1000多年的“黑暗时代”，使欧洲经受着近代科学技术文化难产的巨大痛苦。中国“三大发明”输入欧洲，起到了临产催生的重要作用。

十三四世纪，中国发明的火药、罗盘针相继在欧洲得到广泛使用。欧洲史书上记载1325年发明了火炮，火炮的出现，改变了战争的方法。城堡和盔甲失灵了，刀枪、骏马也没有用武之地，从而骑士、教皇让位于君主王朝，社会发生巨大变革。

中国罗盘针输入欧洲，促进了欧洲航海事业的发展。航海事业的发展大大促进了交通运输业和商业的繁荣，使资本主义进入萌芽时期。

航海事业的发展，要求随时知道船舶在海上航行的位置，这就引起了人们对天文学研究的重视，绘制星图、星表的工作使天文学成为仅次于力学的近代科学的最早的带头学科。

火药和罗盘针的应用和发展，构成后来的一“炮”一“舰”，成为帝国主义掠夺殖民地的武器。另一方面，火炮的生产和使用需要力学，从而使力学成为近代科学的带头学科。

近代自然科学是从15世纪下半叶开始产生的。这是欧洲从封建社会向资本主义社会过渡的社会大变革的时代。近代科学以这一时代为背景，在反对宗教神学的斗争中，在科学实验的基础之上，产生和发展起来。

自然科学的发展从来就是继承和创新的统一。在近代自然科学诞生以前，前人留下的基础十分薄弱。特别是欧洲更是黎明前的黑暗。

马克思对三大发明输入欧洲所产生的巨大影响作了很生动的描绘，他指出：“火药、罗盘针、印刷术——这是预兆资产阶级社会到来的三项伟大发明。火药把骑士阶层炸得粉碎，罗盘针打开了世界市场，并建立了殖民地，而印刷术却变成新教的工具，即变成科学复兴的手段，变成创造精神发展必要前提的最强大的推动力。”

再说十三四世纪，欧洲以修道院为基地开展恢复和发展希腊科学文化的学术活动。很多基督教徒，如英国的罗杰·培根和德国的玛枯努斯等人都是在经院哲学研究中，立论否定经院哲学，从而打开实验科学之门的。

14世纪，法国的学者尼可·欧莱姆提出了地球中心说，即地心说，但他没能验证。

希腊的天文学家托勒密等已经把地球中心说的学问用比较精细的数学方法体系化了。他们能够相当精确地计算出太阳、月亮和其他大行星的运动轨迹，以及日蚀和月蚀的出现。人们想从数学上推倒托勒密是非常难的。

哥白尼这个近代天文学的奠基者，其伟大之处是实现了太阳中心说和前人已有数学方法的结合，使太阳中心说牢固地建立在实际观测与科学运算的基础上，使科学进入了新纪元。

哥白尼（1473—1543）生于波兰西部托伦城圣阿娜港。父亲是富商，曾当过市政官吏。

哥白尼 18 岁到波兰首都克拉科夫的雅盖隆大学学习。23 岁到文艺复兴的中心意大利学习。1506 年回到波兰后，在其舅父身边当医生。1512 年舅父去世后，他开始到波罗的海之滨的弗洛恩堡大教堂任神甫，此后的 30 年，他一直在教会任职。

哥白尼认为，古人为了建立一种地心说体系，而把地球自身的运动加给了每个天体，因而使古希腊人的宇宙体系不必要地复杂化了。在 1543 年出版的《天体运行论》中，他提出了日心说体系：

- （1）地球不是宇宙的中心，而仅仅是引力和月球轨道的中心。
- （2）所有天体都绕太阳运转，所以太阳在宇宙处于中心位置。
- （3）地球到太阳的距离远远小于地球到恒星的距离，所以看起来恒星是不动的。
- （4）地球像其他行星一样绕太阳运转，太阳的视运动起因于地球的运动。
- （5）行星的表观逆行不是它本身运动引起的，而是来自地球的运动。

接着，哥白尼描述了他心中的宇宙结构：太阳位于宇宙的中心，有五颗当时已知的行星和地球围绕太阳旋转。地球也是行星，是球形的，它在绕着自己的轴转，并绕着太阳公转，它与其他行星毫无区别。行星的排列次序如下：水星、金星、地球、火星、土星。月亮是地球的卫星，它绕着地球旋转。

哥白尼大体上描绘了太阳系结构的真实图景。人们看到的日月星辰东升西落，乃是地球自身转动的结果。火星、木星等行星在天空中有时顺行，有时逆行，并非“动作奇特，行踪诡秘”，而是由于它的绕日运行的轨道和速度不同所造成的综合表现。

哥白尼认为，宇宙的规律应该是简明和谐的，天体运行的轨道可以用简单的几何图形或数学关系表示出来，而托勒密的地心体系太复杂了，它不符合这种要求。

其实托勒密也持有简明和谐的信念，主张把行星的复杂运动简化为圆周运动，不过由于他采用地心体系，不得不用本轮和均轮来解释和计算天体运动。

即使如此，托勒密的理论亦经常和实际观测不符：既然地球是不动的中心，日月星辰都绕着地球运行，为什么只有太阳和月亮的运动的方向、速度、位置有规则，而别的行星看起来却忽快忽慢，忽东忽西，离地球忽远忽近呢？

为了调和这种矛盾，他只好在本轮上再加均轮，象叠罗汉似的不断增加这个体系的复杂程度。到哥白尼时代，这种本轮加均轮的圆圈数目已增加到 80 多个，且还有继续增加的趋势，这就和简明和谐的原则发生矛盾。

在哥白尼看来，大自然的创造者是不会创造那么多的圆圈的。他批评托勒密“就像一种艺术家，要画一张像，从不同的模特儿临摹了手、脚、头和

其他部分，然后不成比例地凑和在一起，尽管每部分都画得极好，结果各不协调，画出来不是一个人而是一个怪物”。

哥白尼通过分析行星运行的资料，发现每个行星都有三种共同的周期运动，即周日、周年和相当于“岁差”的周期运动，如果将这三种周期运动都归为地球的运动，即自转、公转和地轴回旋运动，就可以一下子去掉许多圆。为了地球静止，就得在每个天体上加上这三种圆。

行星在太阳系中排列的次序是：土星离太阳最远，约 30 年绕日一周；其次是木星，约 12 年一周；然后是火星，约 2 年一周；第四是地球和月亮，1 年一周；第五是金星，约 9 个月一周；水星离太阳最近，约 80 天绕日一周。处在这些行星中央的是太阳，恒星则在远离太阳的一个天球面上静止不动。

哥白尼通过假设地动，就把托勒密体系的近 80 个圆一下子减为 34 个，这样，哥白尼体系就比托勒密体系要简明合理得多了。

哥白尼的日心体系也有其科学认识上的难题：一是为什么观测不出恒星的视差？二是为什么感觉不到地动？

前一个问题正是亚里士多德早就提出过的，后一个问题是托勒密提出来的，这是古代人对地动说提出的质疑。

如果地球是运动的，从地球上观测恒星，就应该发现它在宇宙背景上的位移差别。天文学上常用这种视差来测定天体的距离。可是没有发现恒星有这种视差位移，所以认定地球是不动的。

哥白尼为了解决这个难题，进行过多年的观测，却没有结果。他认为这是恒星太远视差太小的缘故。这种解释是对的，但在当时难以令人信服，连哥白尼自己也不满意。

至于感觉不到地动的质疑，托勒密提出，如果地球在宇宙空间旋转，地球上一切东西就会飞散，垂直上抛的物体不能落回原地，天空中的飞鸟和浮云也将被抛在后面，甚至地球本身也将会因旋风般的转动而土崩瓦解，分裂为碎片。

哥白尼解释说，地球上的东西之所以没有因为地球旋转而分散，也没被抛到后面，那是因为地球的运动已分给了那些物体，它们稳定地随地球一起运动，犹如一个整体，所以也就使人感觉不到地动。

哥白尼引用古罗马诗人维吉尔的史诗中的话：“我们离港向前航行，陆地和城市后退了”，来说明人们感觉不到地动的原因。他说：“船只静静地驶去，实际上是船动，而船里的人却觉得自己是静止的，船外的东西好像在动。由此可以想象，地球运动时，地球上的人也似乎觉得整个宇宙在转动。”

哥白尼作为一个天主教徒，十分了解他的学说的“危险性”，所以迟迟没有发表。经过他的朋友的再三敦促，在他去世的那一年（1543）才把《天体运行论》复印。

哥白尼对于刊印他的著作虽然犹豫不决，但是对于地动学说却是坚信不疑的。

他在该书复印时写在卷首的一封致教皇保罗三世的信中明确地表示：“对数学一窍不通的无聊的空谈家会摘引圣经的章句加以曲解来对我的著作进行非难和攻击。对这种意见，我决不予理解，我鄙视他们。”

教会当然不会把哥白尼的学说轻易放过。首先是负责编辑出版《天体运行论》一书的一个新教牧师奥西安德在他为该书所写的序中说：地动说只不过是一种尚在拟议中的假说，并不想反映客观现实。企图以此冲淡哥白尼学

说的影响。马丁·路德也极力反对，他把哥白尼叫做“想要把天文学这门科学全部弄颠倒”的蠢人。

意大利天文学家布鲁诺（1548—1600）是哥白尼学说的积极宣传者和捍卫者，他在1584年发表了《论无限性、宇宙和世界》一书，发展了哥白尼的学说，成为著名的天文学家。1600年，布鲁诺由于反对地心说，拥护哥白尼的日心说，主张宇宙是无限的，被教会打成异教徒，并于当年3月17日在罗马的鲜花广场上被活活烧死。

1616年以前，罗马教廷把哥白尼的著作列为禁书，说他是“荒谬和完全违背圣经的”，一心要扼杀真理的传播。然而，哥白尼的学说还是以其崭新的世界图景迅速地广为流传，这一学说使人对传统的观念发生了怀疑，从以自我为中心的状态中摆脱出来，激励进一步探索宇宙奥秘的巨大热情，自然科学以神奇的速度发展起来。

哥白尼著作的问世也是科学史上的一次革命，它使科学从神学的附庸中解放出来。所以科学史上把1543年称为科学反对神学的一年，近代科学正式诞生的一年。

刻卜勒是一个深信哥白尼学说的科学家。

刻卜勒（1571—1630）生于德国斯瓦比亚地区的维腾堡。他的父亲是陆军军官，母亲是旅馆老板的女儿。其父被征入伍下落不明，不久母亲也因“魔女”（女巫）之罪被捕入狱。艰苦的幼年生活使他身体非常虚弱，在一次天花后他的眼睛坏了，满脸麻子。但他可贵的理想和旺盛的求知欲使他在后来的学习和工作中取得了巨大成就。

1587年刻卜勒进入蒂宾根大学学习神学和数学，1588年获得了学士学位，1591年获硕士学位，1594年他任高级中学数学教师。此后他致力于天文学研究。

1600年，刻卜勒当了第谷的助手，开始与第谷合作。这是科学史上科学合作的美妙范例。

第谷精于观测而短于理论分析，刻卜勒善于抽象思维而不善于观测（因天花损伤了他的视力），他们各有所长各有所短，结合起来取长补短，就导致了科学发现的重大突破。

1601年第谷去世，他把极其珍贵的全部天文观测资料都留给了刻卜勒，为刻卜勒的理论提供了坚实的基础。

刻卜勒继承了第谷的这一批极为珍贵的资料，但他的兴趣和精力主要并不放在观测和积累资料上，他是一个思想家，在数学上很有造诣。他接受哥白尼的学说，又摆脱了哥白尼关于行星轨道描述的托勒密旧套，追求用单一的一条曲线就可以把行星的运动描绘出来。

刻卜勒首先研究的是火星。这是因为在第谷的观测数据资料中，对火星的观测占有最大篇幅。而且恰好这颗离地球最近的外行星的运行与哥白尼理论出入最大。

刻卜勒想从火星的观测数据中找出它的运动规律，并把它用一条曲线表示出来。为此，他采用传统的偏心圆轨道来进行计算，结果却怎么也不对。用地心体系不行，用日心体系也不行，用第谷的半日半地体系还是不行。

经过大约70次试探后，他找到的最佳方案还差0.133度。刻卜勒深信第谷的观测数据是精确可靠的，自己的数学计算在技术上也不会出错，毛病究竟出在哪里呢？

天文学上有两大传统观念：一是地球位于宇宙的中心，静止不动，日月星辰都围绕地球转动；二是天体必然是球形的，他的运行轨道也必然是圆，因为圆形是一切几何体中最完美的，沿圆形运动是天体的天然属性。

哥白尼推翻了前一个传统观念，但仍坚持后一种传统观念，刻卜勒则大胆地冲破了所有观点。他经过多年的艰苦计算，断定火星运行轨道决非正圆，于是他另找出路，最后终于找到了比偏心圆更加符合观测结果的行星运动轨道形式——椭圆。

关于椭圆轨道的设想，早在 11 世纪就曾有人提出，但当时资料不足，未能成功。在刻卜勒有这种设想的同时，古希腊阿波罗尼乌斯等人对圆锥曲线性质的研究，给了他很多启发和帮助。

刻卜勒发现了火星的真实轨道是椭圆，而太阳恰好位于椭圆的一个焦点上。在此基础上，刻卜勒又研究了其他几个行星的运动，证明它们的运行轨道都是椭圆，这就推翻了天体必然作匀速圆周运动的传统偏见，得到了行星运动的第一定律。

为了能够对火星的位置进行预测，还需要弄清火星沿轨道不同位置运动的快慢。刻卜勒发现不论地球或是火星在远日点处，其运行速度都较小，在近日点处其运行速度都较大，且它们与太阳连线在同一时间扫过的面积都相等。这个关系如此美妙，以致刻卜勒推广到任何行星上都成立，于是刻卜勒又发现了行星运动的第二定律。

1609 年，刻卜勒出版了他的著作《新天文学》，公布了关于行星运动的两个定律：

第一定律——“轨道定律”：行星沿椭圆轨道绕日运行，太阳位于椭圆的一个焦点上。

第二定律——“面积定律”：在相等时间内，行星和太阳的连线扫过椭圆面积相等。

要构筑太阳系的整体模型还需要发现各个行星之间存在的关系。他利用第谷遗留下的观测数据，探求行星运动周期和行星到太阳的平均距离之间的关系。

将这些数据进行了无数次运算，花了 9 年时间，刻卜勒又发现了第三定律，即“周期定律”或称“调和定律”：行星绕日公转周期的平方，与其离太阳平均距离的立方成正比。

刻卜勒三定律的伟大贡献，在于把哥白尼的理论推进了一步，为专业天文学家 and 数学家提供了支持日心说的强有力论据。后人称誉他为“天空立法者”。

第谷的精确观察与刻卜勒的深入研究相结合，是科学史上的一个理论与实践相结合的光辉范例。

没有第谷的观测实践，光凭刻卜勒的想象力和数学才能是发现不了行星的运动规律的；没有刻卜勒的抽象概括，第谷耗费二三十年辛勤劳动积累的天文资料，也不能得到行星运动的规律。刻卜勒的艰辛努力赋予第谷的浩繁资料以生命。

刻卜勒的晚年是不幸的，连续 30 年的战争环境，使他的科学头脑只好用在应付军队拉夫或为家庭生活奔波上。

第谷·布拉赫后面有国王，伽利略后面有公爵，牛顿后面有政府支持，而刻卜勒没有后台，所得到的只有疾病和贫困。德国 30 年的战争所带来的灾

祸，不只使德国人民流离失所，也使德国的科学进入低潮，从此以后很长时间也没有出现一位科学家。

花开两朵，各表一枝，此处再谈另一位天文学家伽利略（1564—1642），他是意大利物理学家、天文学家、数学家。

1564年2月15日他生于萨城的一个没落贵族家庭，父亲温深佐是数学家、音乐家。在近代科学史上，伽利略是一位划时代的代表人物。他在天文学、力学、物理学、数学等许多方面都有重大贡献，被公认为近代实验科学的创始人，是“近代科学之父”。

伽利略思想非常活跃，他自幼喜爱机械，学习能力异常惊人。17岁进比萨大学，18岁（1582年）时，他在教堂里看到灯在风中摆动，从而发现了摆的等时性原理，即在摆长固定的情况下，不管摆的幅度多大，它所需的时间相等。后来惠更斯就是根据这个原理制成了钟表。

他根据摆的等时性原理制成了一架脉搏仪，供医生用来测量病人的脉搏。伽利略只读了一年大学就因经济困难而失学。但他勤奋好学，一面钻研古代原子论、欧几里得几何学、阿基米德和亚里士多德的物理学等古希腊名著，一面对物理现象进行独立的研究。

伽利略在21岁时发明了天秤并发表了第一篇论文《固体的重心》，从此以数学和实验成就著称的伽利略闻名全国，被人们称为“当代的阿基米德”。

当时，伽利略在比萨大学担任数学教授。但是真正使伽利略成为科学史上巨人的是他的重物实验。这是伽利略向陈腐的传统观念的挑战，正是他的这一行为揭开了近代科学的序幕。

亚里士多德认为物体下落速度与其重量成正比例关系。这一理论没有人会怀疑，比萨大学的教授是这样讲的，学生也是这样接受的。

在当时学者的眼中，除了上帝之外，只有亚里士多德是对的。但只有25岁的青年伽利略，出于追求真理的愿望，以科学实验为根据，公然反对被人们崇拜了1700多年的希腊圣人之教。

伽利略前后花了10年时间，经历了许多曲折，最后才得到了落体定律。其过程简述如下：

一、落体速度与落体和介质的密度差成正比。

这是伽利略早期得出的一个结论。显然，伽利略在当时还未能从亚里士多德的理论框架中解脱出来，他仍然相信同样大小的两物体在空气中落下来，较重的物体落得较快。

不久，伽利略就发现了自己的错误，他设计了一个实验：让体积相同的铅球和木球同时落下，因为铅的密度比木头大20倍，按速度和密度成正比的假设，这两个球的下落速度应相差20倍。

实验结果并非如此，他发现，虽然铅球的速度比木头快，但最快也快不到两倍，与相差20倍相差太远。由此他放弃了所得出的结论，重新进行研究。

二、在真空中，一切物体将以等加速下落。

这是伽利略用“理想实验”得出的一个结论，是对落体定律的更客观的描述。

教科书及科普读物中，都提到比萨斜塔实验的故事：说1590年伽利略曾登上比萨斜塔作公开表演，他同时丢下两个轻重不同的球，结果两球同时落地，从而建立了自由落体定律。

其实并无此事，仅为传说而已。伽利略在1590年确实写过一篇题为《运

动》的论文，当时他尚未研究速度，也忽略了空气阻力，因此他不可能在没有把握时公开表演。

实际上他是通过思维的方法来解决这个问题的。他设想了一个“理想实验”，将一轻一重两个物体捆在一起下落，那么，这捆物体比重物更重，应该比重物先落地；但另一方面，两物体捆在一起后，轻物影响了速度，所以比重物后落地。这两个结果互相矛盾，因此，他推翻了亚里士多德的论断。认为重、轻物应该同时落地才能避免这一矛盾。

研究落体问题，空气阻力是一个次要的，但又会带来假象的因素。正是因为空气阻力的影响，使得不同物体在空中下落时，总会出现一定的速度差。

伽利略认识到忽略空气阻力的影响，在纯粹状态下研究落体运动的重要性。而且他敢于克服技术条件的不足，运用理性思维来实现这种纯粹状态，这正是他取得成功的关键。

三、落体速度与下落距离成正比。

为了揭示落体在时空中运动的规律，他选择了落体速度与下落距离之间的关系来考虑。这是因为当时变速运动中的速度概念还没有准确的定义，而瞬时速度更是陌生的。他的这种选择还因为在那个时代，距离较时间更易测量。

四、落体速度与下落时间成正比。

这是伽利略 1609 年左右提出的假设，他相信自由落体运动是一种匀加速运动，并设计了一个实验说明这一点。

他首先证明，在斜面上滚下的球与自由落下的球有相同的运动性质：一个光滑圆球在一个光滑斜面上向下运动，其加速度虽然小些，但也应当是常量。

由于这种原因，他用斜面实验代替落体实验，使球沿斜面下滑的速度减小到便于精确测量的程度，于是他进行了著名的斜面实验。

伽利略用不同重量的球，在不同的倾斜度下做实验。由此得出以下结果：

(1) 当斜面倾角固定时，球通过的距离 S 与所用的时间 t 的平方之比为—常数。

(2) 改变斜面的倾角，常数值也随之改变。

(3) 用质量不同的物体沿相同倾角的斜面运动，他们的加速度相等。

这一结果使伽利略非常满意，因为由此可以确信“落体速度与时间成正比”的假设是正确的，并由此找到了落体速度与下落时间之间的简单关系。

通过实验伽利略导出了自由落体定律。物体作斜面运动当倾角为 90° 时即为自由落体运动，速度与时间关系的论断也是成立的，由此得出结论：物体自由坠落的距离与时间的平方亦成正比，自由落体是匀加速运动。

通过斜面，他还推想出惯性原理。他分析圆球沿斜面运动时所获得的冲力，足以使圆球沿另一斜面回到原来的高度，且圆球在另一斜面上所走过的距离随斜面倾斜度的减小而增大。

他还分析当另一斜面的倾斜度非常小时，且不计一切阻力，圆球为了回到原来的高度，就必须以此均匀的速度，用无限长的时间，走过无限长的距离。伽利略的这个推论，包含在以后牛顿所写的惯性定律中。

1592 年，伽利略被聘为帕多瓦大学的数学教授，当时，他只有 20 多岁。他研究支配粉碎机、扬水机、起重机等机械的共同规律，写成《机械学》一书。

1608年，他听说荷兰米德尔堡眼镜店有人做成一个可以把远处物体放大的镜子，他研究了这面镜子放大物体的原理，做成了世界上第一台望远镜。

伽利略很早就相信哥白尼学说，并在1604年与反哥白尼派发生公开冲突。1609年，他用自制望远镜观察天空，并将观察材料于1610—1613年间陆续公布于众，以证明哥白尼学说的正确性，引起了学术界的轰动。

1610年1月8日到10日他又发现木星有4颗卫星，并且每天变换位置，土星也有卫星，金星有盈有亏。后来他又发现太阳有黑子和自转。

望远镜还可用于战争侦察敌情，还可以提前3小时发现将要靠岸的船，所以引起军界、航海者和政府的重视，轰动了上层社会，政府给予他“特等教授”、“首席科学家”的荣誉称号。

1610年，他在《星界的使者》一书中公布了他这一系列天文史上少有的重要发现。这些事实是对亚里士多德学说的否定。为此罗马教廷警告伽利略，不许他“持有、传授或捍卫”哥白尼学说。

1632年，伽利略发表《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》，以三人对话的形式巧妙地宣传哥白尼学说，更加激怒了教会甚至教皇本人。

1633年，伽利略被宗教裁判所传唤到罗马受审，遭到刑讯逼供，并被判处终身监禁。在监禁中他克服重重困难，仍坚持科学研究，写出了科学巨著《关于两种新科学的对话》。

伽利略设法秘密地把巨著转送到荷兰，于1638年出版，为近代自然科学的发展作出了巨大贡献。

《关于两种新科学的对话》一书也是以通过萨耳瓦蒂等3人在4天之内的谈话形式写的。

第一天的标题是“关于固体材料的强度问题”。在第一天的讨论中反驳了亚里士多德关于落体的速度依赖于其重量的命题。

第二天的标题是“关于内聚作用的原因”。在第二天的谈话中，包括了对于阿基米德杠杆原理的证明以及许多有关各种形状的尺寸的梁的强度问题。

第三天讨论了“匀速运动和自然加速运动”。尤其第三天的内容特别重要——关于匀加速运动的定量研究，其中包括自由落体和物体沿斜面的运动，构成了本书的中心。

在这里，伽利略首先给出了匀速运动的定义：“所谓稳恒或匀速运动，我指的是这样一种运动，在其中运动质点在任意相等的时间间隔内所通过的距离都是相等的。”

随后，他又给出了匀加速运动的定义：在任何相等的时间间隔内有相等的速度的增量。从他对于自由落体运动的讨论中可以看到，他特别注意区分速度和加速度这两个不同的概念。

第四天的标题是“关于抛物体的运动”。在谈话中他专门讨论了平抛物体的运动。他运用运动合成的原理指出，平抛物体的运动，它是由水平方向的匀速运动和自然加速运动构成的。

在有关抛物体方面，伽利略还得到了以下的一些结论：投射角为45度时射程最大；初速度相同而投射角互余时，射程相等。

伽利略的新科学对话，是他关于力学知识的总结，成为后来牛顿提出力学三大宣言的基础。他是近代物理学的首创者，科学的斗士，打开近代科学的大门的人。伽利略的贡献不仅在于他为力学建立了一系列基本概念和基本

定律，而且还在于他创立了实验和数学相结合的科学研究方法。

且说 1642 年，是继往开来的一年。在这一年里，意大利大科学家伽利略逝世了，英国的牛顿诞生了。

牛顿（1642—1727），英国物理学家、数学家、天文学家，经典物理学的创始人。1642 年 12 月 25 日生于林肯夏郡沃斯索普村一个农民家庭。

他是一个遗腹子，3 岁时母亲改嫁，他由外祖母抚养。孤寂的家庭生活使他养成了沉静多思的性格。他幼年身体很弱，读中学时并没有表现出特殊的智慧和才能，但擅长制作机械玩具和机械模型。

15 岁的时候，他在暴风中来回奔走，希求测出风力和风速。18 岁（1661 年），他进剑桥大学，有机会学到欧几里德的《几何原本》。后来，他按照欧几里德的《几何原本》写法，写出他的《自然哲学的数学原理》一书。

从这个时候开始，牛顿下决心解决当时工业生产中普遍存在的机械设备问题。而机械设备的最大问题是力学问题，这是他研究力学理论的动力。

在剑桥大学期间，牛顿在他的老师埃萨克·巴罗的指导下，从事光学、数学、天文、力学的研究。巴罗在剑桥大学是天文学、数学、力学、光学等学科的教授，牛顿在光学和数学方面的业绩与巴罗的指导是分不开的。

1664 年牛顿成为巴罗的助手，1665 年获文学学士，1665 年至 1667 年为躲避瘟疫回到家乡，1667 年牛顿又回到剑桥大学，并被选为选修课的研究员。

1665 年夏天到 1667 年春天，伦敦市区瘟疫流行（有说鼠疫，又说疟疾），各校停课，学生被遣散回家，牛顿被迫又回到农村老家。

表面看来，牛顿隐居于穷乡僻壤安静的田舍山村之中，但是在他的头脑里却掀起科学革命的巨浪。在家乡的一年半时间是牛顿一生创造性得到充分发挥的时期，也是近代科学史上数学、光学、力学的“黄金时代”。

牛顿在力学、数学、光学上的成就是在这一年多多的农村生活中完成的。多年积累的知识在这一刹那间得到了升华，成为人类的宝贵财富。

他发明了微分学，提出了著名的万有引力，他还通过三棱镜把光分解为七种颜色的单色光，奠定了现代光学的理论基础。这时候，牛顿还不满 25 岁。

1669 年巴罗辞去职务，以让牛顿晋升为数学教授。1670 年牛顿又担任了卢卡斯讲座教授。1672 年他被选为皇家学会会员，此后一直在剑桥大学工作。

1689 年他被选为代表剑桥大学的国会议员。1696 年他被任命为造币厂督办，迁居伦敦。1699 年担任了造币厂厂长。1703 年被选为皇家学会会长。1705 年受封勋爵，成为贵族。1727 年 3 月 20 日逝世于肯辛顿村，终年 85 岁，终生未娶。

牛顿成名是 1667 年以后的事情。牛顿从家乡回到剑桥大学以后，直到 17 世纪 70 年代末，一直专心致志地从事光学研究。1666 年，他制成了能够放大 40 多倍的反射望远镜。

1671 年，他向皇家学会正式提交关于反射望远镜问题的论文。第二年，他又向皇家学会提交《光与色的新理论》。这些光学论文是牛顿显示自己科学才能并把它公诸于世的第一批科学成果。

但是，它给牛顿带来荣誉的同时，也给牛顿带来麻烦。首先是他与格林威治天文台台长弗兰斯提德之间发生了首创权的争执。另外，在他处女作中

所论述的光的粒子学说也受到光的波动学说维护者胡克的攻击。

由于光学给牛顿带来了苦恼，使牛顿发表他在力学上取得的更大研究成果时犹豫不决。为了谨慎起见，他又研究思索了两年，每天埋头计算行星的运动，反复验核他的力学理论，怕在力学上又重复出现光学上已经出现的争论和麻烦。

同时，皇家学会主席胡克和天文学家哈雷也在研究行星运动理论。胡克的主要研究方法是通过实验来验证行星的引力理论，但结果都失败了。而牛顿是通过数学方法描述表达了这一自然现象。此时，牛顿与惠更斯分别导出向心力公式。

牛顿又引起了一场风波，事情得从天文学家哈雷说起。

当时哈雷有一个难题：怎样证明有了两个物体之间的引力与它们间距离的平方成反比的定律就可以知道物体（行星）运动是椭圆轨迹。

哈雷在英国找不到能够解决问题的人，只好去向牛顿请教，牛顿如实地把自己的证明告诉了哈雷，并把书稿也交给了他。哈雷把书稿送给了皇家学会。于是牛冲突害怕引起的争执果然发生了，作为皇家学会主席的胡克也是天文学家，他声称自己早就发现了，并利用他在皇家学会的地位反对牛顿的著作。

实际上，胡克对这个问题是研究过，但没能论证出来，更不能像牛顿那样很清楚地给予论证和说明。后来，哈雷自己拿钱才出版了牛顿的著作。

在与胡克争执之后，经过协商，在牛顿这本书刊印第二版时，牛顿把胡克坚持说是自己研究的那部分提出来让给了胡克，这场首创权之争才宣告结束。

在物理学方面，牛顿取得了力学、热学、光学等多方面的巨大成就。牛顿是经典力学理论的开创者，他在伽利略等人工作的基础上，进行了深入的研究。经过大量的实验，总结出运动三大定律，创立了经典力学体系。

牛顿定律 I：任何物体在受到外力作用而被迫改变自己的状态之前，将保持静止或匀速直线运动状态。

如果没有使物体减速的空气阻力和把它往下拉的重力的话，被抛出的物体将继续保持自己的运动。由于陀螺的各组成部分相互连接在一起，如果没有空气阻力它就不会减慢。

质量巨大的行星和彗星，在自由空间遇到的阻力较小，所以在极其漫长的岁月中它们的状态没有什么变化，即保持着平动，又不停地旋转。

这就是惯性定律所决定的规律，在新物理学中它决定了物体的自然运动。

牛顿定律 II：动量的改变与所加的力成正比，其方向沿着该作用力的作用方向。

如果某一力产生某一动量，则两倍的力将产生两倍的动量，三倍的力将产生三倍的动量，与这些力是一次施加的或者是依次逐渐施加的无关。该动量方向与外力的方向相同。

如果物体已经处于运动状态，则当两者方向一致时，该动量与原动量相加；方向相反时，该动量与原动量相减；当力的方向与动量的方向成一定交角时，则依照倾斜方式相加，即依照他们的量值与方向进行相加。

这就是著名的第二定律。它回答了下述问题：在外力作用下物体的运动如何改变？如伽利略所假设的那样，运动的改变与力的冲量成正比，方向沿

力的方向。

这一运动定律实质上确定了自然界中力的特性。

牛顿定律：作用力与反作用力大小相等、方向相反。换句话说，两个物体的相互作用力大小相等、方向相反。

如果一个物体压或者拉另外一个物体，则这另外一个物体也要压或者拉前者。如果一个人用手指按石头，则石头反过来也按手指。

如果马用绳子拉石头，则反过来，石头也以同样大小的力拖这匹马。因为被拉紧的绳子以其弹力产生同样大小的力，把马拖向石头这一边，同时也把石头拖向马这一边。绳子以多大的力阻止马向前运动，则它也以同样大小的力拖着石头向前。

如果某一物体碰撞另一物体，使其动量产生一定的改变，则由于来自第二个物体的力的作用也使第一个物体的动量产生同样大小的改变，但是方向相反，因为这两个物体的相互压力永远相等。

假定这两个物体不受其他任何力的作用，则由这些相互作用引起的动量的改变相等，而不是速度的改变相等。速度变化的方向同样也是相反的，但是变化的大小与物体质量成反比，因为动量的改变相等。这个定律对于吸引力也是成立的。

物体运动的这三条定律是我们认识一切力学现象的依据，也是整个经典力学的基础。

关于牛顿发现万有引力定律，广泛流传着“苹果落地”的故事，其实这只不过是个故事而已。即使此事确曾发生过，也不应过分夸大这件事本身的意义，如果牛顿由于看到苹果落地就发现了万有引力，那就把历史过分简单化了。

1666年，牛顿也曾有关于重力的思考。他发现这个重力从地球中心到人们所能涉及的最远距离，不管是最高楼顶还是高山峻岭的顶峰，都不会有明显的减弱。他由此设想，这个力可能延伸到比人们通常所想象的距离更远，如果这个力能达到月球，那么，月球的运动肯定受到重力的影响。

事实上，在牛顿发现万有引力之前或者和他同时，已有许多科学家在研究天体运动的规律和引力问题，并且已对此做出了不少贡献。牛顿不过是集其大成，并解决了别人未能解决的问题，走完了最后最高的一步罢了。

在对万有引力定律发现作出贡献的科学巨人之中，要首推刻卜勒和伽利略。德国著名哲学家黑格尔说过：“被德国饿死的刻卜勒是现代天体力学的真正奠基者；而牛顿的万有引力定律已经包含在刻卜勒的所有三个定律中，第三定律中，甚至明确地表现出来了。”

上述说法固然有一定的道理，但并不准确。因为刻卜勒发现行星运动三定律，只是说明了行星怎样的运动，并没有说为什么这样运动。换句话说，刻卜勒只是解决了天体运动学的问题而没有解决天体动力学问题。

刻卜勒认为支配行星运动的统一力量来自太阳，而他所发现的那些运动规律，只是更普遍的物质运动规律的结果。

刻卜勒接受了英国科学家W·吉尔伯特把地球看成一个大磁石以及维持行星大轨道上运动的也是磁性吸引力的观念，认为引力与磁力相类似，并且推断引力作用将随着距离的增加而减小。这说明刻卜勒已经窥见到万有引力的作用，他所发现的行星运动定律已经在敲着万有引力的大门了。

如果说刻卜勒为发现万有引力提供了运动学的基础，那么伽利略提供的

自由落体和抛射体的运动，就为发现万有引力奠定了动力学的基础。

这些都为牛顿发现万有引力提供了前提。牛顿本人回忆，他从 1665 年研究引力，就是从伽利略的关于抛射体运动的研究运用于分析月球运动入手的。

历史上，刻卜勒和伽利略是互相通信的朋友，他们共同捍卫哥白尼学说，但却互不理会对方的科学成就，没有把这两方面结合起来，所以他们俩都没能发现万有引力。

对万有引力定律的发现作出重大贡献的还有一位科学家——惠更斯。

1673 年，他根据对摆的实验研究和对圆周运动的分析，得出向心引力的大小与距离的平方成反比的关系。向心引力的平方反比定律是打开万有引力大门的钥匙，是发现万有引力必经的一条途径。

牛顿首先研究了“地月运动”。什么力影响着月亮绕地球运动？他推测地心引力也可以到达月球，月球对地球有重量存在，使月球运动的力就是重力。

借助其他科学家提供的依据，加上自己的实验，月球的重力就是地球对月球的引力，也是月球对地球的引力。这个引力既正比于月球的质量，又正比于地球的质量，且与它们距离的平方成反比。牛顿把这个引力推广到天体里去，发现了万有引力。

但是，这一理论刚提出时，几乎无人问津，连剑桥大学也不讲牛顿的学说。万有引力定律为人们所接受归功于哈雷。

哈雷重点研究彗星。出没不定的彗星是当时人们很不理解的一种天文现象。哈雷注意到在 1682、1607、1531 年的三颗彗星的轨道基本重合，他由此大胆地设想，这三颗出现于不同时期的彗星其实是一颗彗星出现三次的结果。

哈雷计算它的周期是 76 年。并且他根据万有引力定律计算出这颗彗星的长椭圆轨道，并预言它将在 1758 年再次出现。

可是到了那一年，这颗彗星并没有出现，到了 1759 年（此时哈雷已去世），这颗彗星果然出现了。这件事轰动了欧洲，学术界终于在事实面前接受了牛顿万有引力理论。后人把这颗彗星命名为“哈雷彗星”。

根据牛顿万有引力定律，德国人加勒（1812—1910）发现了海王星，1930 年，人们又发现了冥王星。万有引力定律在天体力学上的一系列惊人的成就，使那些保守派不得不信服。

到了 18 世纪，牛顿力学向深度和广度两方面进军。一方面，通过人的努力，近代数学方法广泛用于力学，形成了“分析力学”，它甚至被看成一门新的数学分支；另一方面，牛顿力学又与具体物性相结合，形成了“固体力学”、“弹性力学”、“流体力学”等许多力学分支，使力学达到了相当完美的地步。力学已形成了严密、完整、系统的科学体系，正是由于力学的带动，物理学科已初具规模，并且向深度和广度发展。欲知后事如何，且听下回分解。

第四回 真空之谜 终见分晓 实验上台 初显神威

真空有无，朦朦胧胧。托罗拆利实验使真相大白。牛顿在光学领域又有神奇发现。光的微粒说和波动说二论，持续交战 300 多年。激光器的发明，造福人类。

且说物理学归根结底是一门实验的科学，离开了物理实验，就无法了解物理学的发展。在物理学发展过程中，无不伴随着实验。

今天，我们才认识到实验的重要性。物理学在研究物质组织成分及相互关系时，就是通过观察和实验，才认识这一自然现象。对这个现象加以分析，才能得出定律及推广。如果没有实验，现代科学永远也不会达到目前的高度。

物理学能发展到今天这样系统的实验科学，不是生来就有的，而是经历了一段漫长而曲折的过程。

原始社会，人类的生产劳动是以创造工具开始。那时根本不知何为实验，人们只是从经验中发现，石刀、石斧的刃部可以集中较大的力。但他们并不知道为什么产生这么大的力。工具的进一步发展，导致了简单机械的出现。由于运输、举重物的需要，逐步出现了杠杆、滑轮、斜面等装置。

由此可见，人类在运用工具劳动及生产工具中，积累了大量的经验，其中也孕育了一些力学知识。

公元前 10 世纪到公元前 2 世纪，奴隶社会科学发展的最高峰在古希腊，它是欧洲古代科学发展的中心，也是近代科学发展的源泉，对后来科学技术的发展有着深刻的影响。

恩格斯说：“在希腊哲学的多种多样形式中，差不多可以找出以后各种观点的胚胎萌芽。因此，如果理论自然科学想要追溯到自己今天的一般原理发生和发展的历史，它也不得不回到希腊人那里去。”

当时，古代文明发达的地中海沿岸涌现了一大批自然哲学家，亚里士多德（公元前 384—322）则是他们的智慧集中的代表，在科学史上占有特殊重要的地位，被马克思称为“古代最伟大的思想家”。

亚里士多德集古代知识之大成，构成了一个无所不包的庞大的知识体系，他是最早区分哲学和自然科学研究的对象。

他把处在被观察之中的运动和变化的对象的研究，统称为“物理学”，对物体的始因、本质、存在的基础等等的研究则作为哲学的任务，称为“物理学续篇”，或称“形而上学”。亚里士多德把自然科学（物理学）和哲学区分开了，拉开了古代自然科学独立的序幕。

亚里士多德的“物理学”中对后世影响最大的是运动学。他在运动学中叙述：物体下落时，如果它越重，下落的倾向越大，落得越快；如果它较轻，下落的倾向小些，落得就较慢。

亚里士多德除了解释天然运动外，还解释了一种非天然运动或强迫运动。如马拉车行进，奴隶牵船行驶……这些运动必须有一个推动者。

他还解释一支箭射出去，是什么维持它连续不断地疾进呢？他认为空气是箭连续疾飞的推进者。箭的前面空气分裂开道，箭尾的空气合拢而推进它。一切抛射体的运动都需要空气的推动。

因此，他提出自然界不可没有空气，真空是不可能存在的，于是他提出

了一个错误命题：“自然界憎恶真空。”

由于古代生产水平低下，人们对自然规律的认识，除了直接的生产经验的积累外，就是靠对自然界的观察和在这些观察、经验的基础上进行的思考。他们很少或从来未试图以实验证据来验证他们的思考。

到了后期，大约从古希腊的阿基米德（公元前 287—212）时代开始，我们才发现有实验工作的迹象。

到了中世纪（公元 5 世纪到公元 15 世纪），欧洲科技处于“黑暗时期”，伴随着奴隶制的衰落而兴起的基督教成为国王君主统治的工具。

为了给宗教披上一层科学的外衣，他们需要寻找一种能与宗教教义相容的科学，为此，他们去掉了亚里士多德等人学说中的唯物部分，构成了一个与基督教教义一致的坚固大厦。

他们歪曲事实真相，如亚里士多德说：“凡是运动都需要不断施加力。”他们便由此推论：“天体是被有智慧的本质所推动。”这个智慧的本质，当然就只有上帝才能胜任。亚里士多德主张世界万物有一个基本属性，就是物各有其位，物知其位，土居最下，水居土上，风高于水上，火居最上，蚁自知勤奋，狗忠于主人……这些物性图象，正好满足封建等级制的要求，他们保留。

至此，人们思考问题，观察现象，都不能违背这些与教义相一致的权威思想，在这种观点的统治下，人们对实物观察与实际经验采取完全蔑视的态度，更谈不上有目的地进行实验。

人们对一些与实际不一致的理论，由于宗教思想的影响，只能一味地翻来复去地争论不休，却没有人去做实验。

宗教学院的学风又称为经验哲学，它的基本特征是：人的知识不是来源于自然界，而是存在于教义之中，科学和哲学的根本目的，在于适应神学。该教统治严重妨碍了自然科学的发展。

到了 16、17 世纪，随着航海贸易的兴盛，风力和水力的利用，采矿和冶炼的发展，印刷术和火药的传入，提出了一系列的问题，要求科学家冲破宗教的约束，用崭新的观点来看待世界。

首先受难的科学家是哥白尼。他在临终前出版了《论天体运行》，书中提出了日心说而非地心说，这就将上帝的特殊地位一扫而光，当然遭到了教会的竭力抵制，被列为禁书。意大利的哲学家布鲁诺，因宣传支持和发展哥白尼学说，被宗教势力残酷烧死于罗马的鲜花广场。

新的科技力量已萌芽，它的发展是漫长而曲折的，人们在怀疑、抵制旧科学的同时，也酝酿着研究自然科学的方法。

第一个探索新方法的是英国哲学家培根，其代表著就是《新工具》一书。他主张把经验和理性的职能统一起来，要获得科学知识首先要广泛地收集材料，进行实验，从而由经验和实验得出结论。

再一个提出科学实验并进行完整实验的是意大利的科学家伽利略。他认为真正的科学就是宇宙、自然界。人们必须通过实验去阅读这部“自然之书”，为此他进行了大量的实验工作。

他得出的许多结论，就是建立在实验基础上。尽管从今天角度看，他的实验工作过分简单、原始，但这原始形态里面，已包含最本质的特征。现代的科学实验是错综复杂的，它的基本道理和原始形态是一致的。

现在我们可以说培根、伽利略在实践和理论上的工作给科学指明了方

向，由此，自然科学才完全脱离哲学，成为一门独立的学科。

进入 17 世纪，试图作实验的人已经变得不稀罕了，但大多数所谓的实验都不系统、不准确，也都是在不明确的条件下进行的。所得到的只是一些混乱的观察材料。

伽利略做过哪些实验，目前不知。他在《新科学对话》中叙述了许多巧妙的实验，说明他有构思实验的才能。但他在书中没有具体记载实验结果，不清楚哪些是自己做的。

伽利略的学生托里拆利（1608—1647）是一位出类拔萃的实验家。

17 世纪 50 年代以后，通过对大气压和真空的研究，首次在物理学中确定了近代真正的实验方法。

17 世纪，承认真空存在的大有人在。例如，贝克曼（1588—1637）就承认真空，他注意到空气中各个方向都有压力作用，空气有压缩性，并想到了说明这些事实的模型。

但是，要把它们变成实验研究的对象，只有靠技术上的实际经验。

伽利略也叙述了一个工匠的经验知识：在大约 10 米多深的水井里，水泵不起作用。从罗马时代以来，就使用虹吸管输送水，然而丘陵太高，虹吸管不起作用了，这也是经验知识。

伽利略解释说，虹吸管和水泵之所以不起作用，是因为“克服自然对真空的阻力”的大小是有限的。

1640 年前后，以罗马数学家、天文学家伽斯帕罗·贝尔蒂为首，组织一批人进行了抽取真空的实验。

实验过程如下：把一个装有活栓的玻璃钟接到将近 10 米长的铅管上端，顺着房子的墙壁立放着。在管子下端加上活栓，然后放进充满水的桶中，给管子充满水后，关闭上面活栓，再开启下部活栓。这样一来，管内的水下降了，但是下降到一定的位置后，即使放一天，这个状态也不会变化。

直到 1648 年，除了参加的人员外，谁也不知道贝尔蒂的这个实验。因为无人知道出现这种现象的原因。

托里拆利也参加了这个实验，另外，伽利略也曾启发过托里拆利里用水银做同样的实验。

托里拆利对这个问题进行了长时间的探索，他从力学的观点出发，设想空气有重量，正是在空气重力的作用下，才把水压到一定高度，水只能上升到 10 米左右，证明空气压强有一定数值。

为了证实自己的观点，1643 年托里拆利将密度为水的 13.6 倍的水银，注入到 1.2 米长的一端封闭的玻璃管中。

当水银注满时，用拇指堵住开口的一端。垂直地倒立于水银槽里。松开拇指后发现，管中的水银柱开始下降，一直到比槽中水银面高出 0.75 米左右，并在管的闭端留下一段真空。这就是著名的托里拆利实验。

为了弄清楚上部空处确实是真空，他给水银槽的水银上面加满了水，把管子慢慢地往上提。当管子下端刚刚处于有水的部分时，管内的水银全部流下去了，水一下子就涌上管内，充满管子。

托里拆利认为，这一事实表明，管子的上部确实是空的。接着，他又就水银柱停留在管内的原因进行了探讨，想要打破以往的观点。

他提出，过去人们把原因归结为管内真空的阻力，或归结为稀薄的媒质，其实原因在管的外部，在于空气加压于水银槽的液面。

为了给这种想法寻找证据，他用一个上部粗大的管子和一个上下同样粗细的管子进行同样的实验，比较二者的结果。如果原因在于管内的空处，那么在这两种情况下，管内的水银高度当然应该不同。

但是，实验结果表明，无论在哪一种情况下，水银都升到相同的高度。这样就证实了以上结果。

托里拆利主张，真空是存在的，以往归结为害怕真空和阻力的现象，实际上都是由大气压引起的。他的真空观念是对中世纪教会哲学的大胆挑战，因此，实验结果被教会当作秘密保守起来。

1644年中，法国人迪·韦迪斯在意大利旅行时，写信把托里拆利的实验告诉了梅尔桑内。同年秋，梅尔桑内前往直利，拜会了托里拆利，让托里拆利亲自做实验给他看。从此，托里拆利的实验在法国传播开来。

梅尔桑内在法国立即进行了托里拆利实验，可是结果并不理想。原因在于搞不到合适的玻璃管。

法国物理学家、数学家、哲学家和散文家帕斯卡（1623—1662），从他父亲的朋友那里，听到了托里拆利真空实验的消息，立刻产生了浓厚的兴趣。他重复了托里拆利实验，使托里拆利实验在法国再现成功。

帕斯卡之所以成功地做了托里拆利实验，是因为他家住在玻璃工业区鲁昂，工厂按订货单的要求为他制造了各式各样的装置。

通过这个实验，帕斯卡确信真空的存在，可是为了使人们接受这一结论，还必须补充更多的实验才行。

人们都承认托里拆利实验，不过许多人却解释说，水银柱上部的空处充满着看不见的气。这种气被看作是从液体中升上去的。

帕斯卡公开进行了下述实验：用两根一端封闭的玻璃管，一个装水，另一个装葡萄酒，进行托里拆利实验。实验之前，他让见证人预言，哪一根管子的液体变得较低一些。他们都说，装葡萄酒的管子液面低，因为具有挥发性的葡萄酒要挥发更多的气体，会把液柱压下去。

实验结果与预言完全相反，下降得较低的却是水柱。在这些实验的基础上，帕斯卡在1647年10月出版了《关于真空的新实验》的小册子。

在这本小册子中，帕斯卡描述了托里拆利实验和虹吸管实验以及由他们演变而来的实验。他得出结论说，实验显示出的管内空处并不含有存在于自然界中的任何物质，也就是说它是真空，而且自然对真空的害怕是有限的。

照此来看，帕斯卡在这个阶段还没有讲到大气压把液体压入管内，还是使用了害怕真空这样传统用语。

帕斯卡后来想到了大气压，并且证明水银停留在管内是由于大气压的作用。他做了两个实验，其一是所谓真空中的真空实验，其二是表明水银柱在山顶上变低的实验。

第一个实验是把一个细玻璃管插入一端封闭的粗玻璃管内，把封闭的下端固定，给它充满水银，并用活栓将其塞住。接着，给粗管也充满水银，把整个装置倒立在水银槽内，这时粗管中的水银下降到76厘米左右的高度。然后打开固定在粗管内部的细管活栓，尽管细管口浸在粗管的水银内，细管内的水银也要下降到与粗管的水银面一样的高度。这无非是因为粗管内的水银面暴露在真空中，大气压不起作用的缘故。

其次，在山顶的实验更能直接地证明，水银柱停留在管内是由于大气压的作用。

帕斯卡委托住在克莱蒙的内兄弗洛兰·佩里埃进行了这个实验。因为在克莱蒙附近有一座高约 1000 米的山。佩里埃在 1648 年 9 月 19 日作了这个实验，确证了山脚下和山顶上水银柱高度相差将近 8.5 厘米。

帕斯卡得知上述情况后，也在巴黎约 50 米的雅克塔顶上和塔下面亲自进行了实验，确证塔顶的水银柱比塔底的低 0.45 厘米左右。为此帕斯卡写了一本小册子：《关于流体平衡的重大实验记叙》，报告了这些结果。他提出，以前归结为害怕真空的事实，都是由空气的重量和压力引起的。

帕斯卡运用各种各样的实验或思想实验，展开了巧妙的推论。

帕斯卡把水压机模型作为一切推论的基础。水压机模型是这样的：在一个盛满水的容器中，安装两个粗细不同的圆筒，把活塞分别插进各个筒中，如果在两个活塞上分别加上与其面积成正比的重物，那么两活塞下的水面受到相等的压力，整个装置就处于平衡。

帕斯卡阐述其理由如下：在流体内部加在某一部位的力，由于流体的连续性和流动性而传到容器的所有部分。而且，由于流体的某一部分没有任何理由比其他部分更多地让步，在上述情况下，容器中的水处于平衡而静止。这就是帕斯卡定律。

水压机平衡条件一经确立，就可以用它解释流体静力学。给底面积相等、形状不同的各种容器注满水时，其底面所受的力仅取决于水的高度，而与容器内水的重量无关。

根据流体平衡条件，可以解释各种各样的实验。

在长玻璃管的下端放一铜板，然后放入水中，刚一松手时，铜板受到水的压力紧贴在玻璃管的下端，由于上面只有空气的压力起作用，所以它们不下沉。

相反地、木块在水中不浮的实验也是可能的。木块受到来自上面的水压和来自下面空气压力的作用，由于水的压力大，木块就不会浮上来。

从上面实验可以得出结论，浸在水中的物体，在所有的方向受到与水的深度成正比的压力。在物体具有一定大小的情况下，通过计算来自各个方向的压力，就能导出浮力。如果把压缩的物体放入水中，由于受到来自各个方向的压力，它可能会变形。

经过不懈的努力，以托里拆利实验为开端，帕斯卡的流体实验为转机，实验科学很快就传播到欧洲各国。人们从此能够自觉地认识到科学实验的重要意义。

再说在托里拆利、帕斯卡进行各种实验的同时，德国的马德堡市市长格里凯（1602—1686）也对真空的争论产生了极大的兴趣。

他认为：“雄辩术，优雅的语言或争论的技巧，在自然科学的领域中，是没有用处的。”必须让实验事实来说话，为此他独立进行了一些实验工作，并花了大笔资金。

起初他用一只大酒桶，里面灌满了水，叫三个壮汉用黄铜抽水泵，把桶里的水往外抽，随即听到一些噪声，似乎桶内剩余的水在剧烈地沸腾，可是当水即将抽尽时，桶外的空气又从桶缝侵入，第一次实验失败了。

后来他又改用一个中空黄铜球作试验。开始时，抽水泵的活塞很容易被移动，而以后要用两个人的力气才能勉强拉动。由于容器不够坚固，到快要抽空时，突然出现大霹雳声，铜球被大气压瘪了，使大家大吃一惊。

最后，他改用一个又大又坚固的中空金属球做试验，终于获得了真空。

格里凯激动地描述道：“当打开活塞时，空气以这样大的力挤进铜球内，恰似它要把附近一个人拉进铜球里一样。虽然你在一段相当的距离内捂住你的脸，但你的呼气被吸走了。的确，当你用手抓住活塞时不能不冒着被猛然拉下的危险。”

1650年，他成功地发明了抽气泵，这是人类历史上最早的真空机械。利用抽气泵所获得的真空度，有了很大的提高，提供了获得真空的实用手段。

这个抽气泵是这样的：带着龙头的活塞是可以拆开的，因此可以将实验对象放进容器里。为了特别注意防止漏气，活塞固定于盛在圆锥形容器内的水的下面。

此后，格里凯的主要精力又投入到了真空特性的实验研究，获得了许多具有重大价值的发现。

人们用这个泵实验：放在真空中的钟听不到它的响声；放在里面的火焰熄灭了；放进去的鸟张开大嘴拼命地吸气，而最后死去；葡萄在里面能保存6个月。

他将抽气泵上头与抽空的玻璃球相接，下头浸没于水中的长管就制成了格里凯式气压计。与托里拆利一样，他以空气的压力来解释管中水面的上升。一个浮在水上的小木人在管中上下运动，并用它的手指指出各个时刻空气的压力。他观察水柱的高度的起伏，用作天气预报。

格里凯的另一重大发现是空气可以膨胀，产生强大压力，并发现了强大的空气压力对真空容器的作用。“马得堡半球”实验在科学史上传为美谈。

从1654年起到1663年，格里凯进行了大量的实验，证实空气压强的存在。他的实验结果，曾经引起当时社会上的轰动，简直令人难以置信。

1654年，他做了一项实验表演给帝国国会和皇帝斐迪南三世观看。实验是这样的：他做了两个中空的金属半球，直径有1.2英尺，扣在一起，然后抽去空气，再用16匹马，每个半球8匹马对拉也未拉开。他的实验和表演，在科学史上留下了重要的一页。

格里凯的实验结果，今天看起来很简单，但是在17世纪中叶，曾经是难以攻破的难关，不但需要高超的实验技巧，而且要冲破传统观念的严重束缚。

在大气压方面作出贡献的还有英国物理学家波义耳（1627—1691）。

他获悉了格里凯的抽气泵，亲自改良抽气泵实验。波义耳让他的助手胡克（1635—1703）制造抽气泵，胡克发挥了实验家的卓越才能，制造出了比格里凯性能更好的泵。

波义耳也是培根派的实验家，他不象帕斯卡那样，能够根据透彻的推理论的实验导出理论性的结论。

他在《关于空气弹性的物理、力学新实验》一书中，叙述了许多实验，其叙述不能说是明晰而系统的。重要的是，书中把托里拆利管内水银的上升看作是由外部气体的压力引起的，而且还包括显示空气具有弹性的许多实验。

波义耳发现了气体的压强与体积之间关系的定律，即波义耳—马略特定律。此后波义耳又进一步提出了这一定律可以用微粒说加以解释。后来牛顿和伯努利对波义耳定律的证明都采用了微粒说。

除此以外，波义耳还发现了声音传播需要媒质；对于水结冰时的膨胀力、物质的比重进行了测量；研究了光媒质的折射现象和折射率以及晶体的性质；还研究了电现象、流体静力学、热力学等。他还做过大量把力转化为热

的实验。

波义耳 1691 年 12 月 30 日逝世于伦敦，终身未娶。他是个虔诚的教徒，也具有同时代的科学家的流行观点，即上帝只是原始的推动力，但并不干涉科学的具体规律。

却说光现象的研究也和大气压研究齐头并进，通过出色的实验工作，在 17 世纪奠定了近代物理学的基础。

光是哲学家和自然哲学家十分关心的问题，在这个时期讨论的是关于光的本性的思辩和经验上的光的传播方式。欧几里德论述了光的直线传播和反射定律。在 2 世纪，托勒密就尝试依靠经验发现折射规律。以望远镜的发明为转机，关于光传播的正规研究早在 17 世纪就开始了。

史料上记载最早进行光学实验的是希腊的天文、数学、地理、地图学家托勒密（90—168）。

他专门研究了折射现象，并为此作了专门的实验。他做了一个圆盘，围绕圆盘的中心有两个直线形标尺，他把有一个标尺的半个圆盘浸入水中，然后转动水上面的另一个标尺，使它看上去与水面下的标尺的延长线相重合，再将圆盘从水中取出，就可测定入射角和折射角。

尽管托勒密的实验方法是正确的，但由于测量得不够精确，得出的结论却是错误的。他认为折射角与入射角成正比。不管怎样，他是第一个用实验测定折射角与入射角关系的人。

到了 17 世纪，刻卜勒对折射现象进一步作了研究。他断定托勒密关于折射定律的实验结论并不正确，他认为折射角与入射角的关系应分成两种情况：一种是当入射角小于 30 度时，折射角才正比于入射角，另一种情况是正比于入射角的正割。

刻卜勒还得出，玻璃的折射角不会超出 42 度，根据光路的可逆性，得到全反射的重要结论：如果光线从玻璃入射到空气的入射角大于 42 度，那么就不会发生折射，而将完全反射。

正确的折射定律可以说是由两个人建立的。一个是荷兰的数学家斯涅尔（1591—1626），另一个是法国的笛卡儿（1596—1650）。

斯涅尔于 1621 年做了实验，观察实验，他发现任意入射角和折射角的余割比为常数。斯涅尔从实际测量中抽象出这一定律，但并未公开发表，以上关系是在他去世后于 1626 年在他的遗稿中找到的。

1637 年，法国数学家笛卡儿认为光在本质上是一种压力，提出了光就是由某处介质传递压力的模型，从数学上导出了用正弦函数形表述的折射定律。

传统上人们认为，斯涅尔是第一个从物理上阐明了光的折射定律，而笛卡儿是第一个给出他的数学表述形式。因此，有人称折射定律为斯涅尔定律，有人称为笛卡儿定律。

牛顿不仅在经典力学研究上作出了巨大贡献，而且在光学上也有不少重大贡献。

牛顿在光学领域中的一个重要成就，就是发现了光的色散现象。

1666 年初，他开始对光颜色的本性问题进行研究。他用一个简单的实验证明了不同颜色的光有着不同的折射率。

实验是这样做的：他用一块长纸板；一半涂成鲜红色，另一半涂成蓝色，把它放在窗户边，人眼通过一块玻璃棱镜来观察它。

他发现如果把棱镜的折射棱角朝上，这样纸板由于折射看起来好像被抬高了。而且折射的结果使蓝色半边比红色半边升得更高了；但当折射棱角朝下，则纸板由于折射看起来像是被放低了，此时蓝的半边比红的半边降得更低。

他由此断定：蓝光折射率比红光更厉害。

并且他发现用透镜来聚光时，蓝光与红光一定聚集在离透镜不同的地方。通过实验，果不出所料，纸板上蓝光成像清晰处比红光离透镜距离更近。

牛顿的另一个实验是观察白色阳光通过棱镜时所发生的现象。他用一个简单的装置将太阳光分解成光谱，并进行了观察。

他在暗室的一扇窗上开一个小圆孔，让一束窄的太阳光通过这个小孔进入室内，在光束经过的路径上放一块棱镜，再在棱镜后面置一屏幕，牛顿在屏上观察到一个由各种颜色的圆斑组成的像，这些圆斑依次排列，偏离最大的一端是紫光，偏离最小的一端是红光。

牛顿的光谱实验现在看起来无可非议，但是对于同代人来说，并不是容易理解的。人们觉得，牛顿提出的光和颜色的理论过于新奇了，因此，人们对牛顿的报告进行了各种不同的批判。

如巴黎耶稣教修士帕迪斯神父读了牛顿的论文后，立即于 1672 年 4 月 9 日写信给皇家学会反驳说，光谱的伸长是由于太阳各部分发出的光线的入射角不同而产生的。

与此同时，科奈斯也在 1675 年批判了牛顿，他说光谱伸长是由于空中的云彩引起的。他是把带光阑的小孔和三棱镜分开进行实验的，也没有很好地研究就说光谱在三棱镜轴线方向伸长了。

为了反驳这些人，牛顿必须有充分的实验为依据。为此，牛顿又设计了另一个实验，即在上面实验的屏上再开一个小孔，让透过这个小孔的光线再经过第二个棱镜，并在它后面放一个新的观察屏。

他设想：若白光通过棱镜变成各种颜色的光是由于白光与棱镜相互作用的结果，那么，第二个棱镜还会与这些光再发生作用而改变这些光的颜色。

但实验表明：第二个棱镜只把这束光整个地偏转一定的角度，并没有改变光的颜色。牛顿转动第一个棱镜，使光谱中不同颜色的光先后依次通过第一个屏幕上的小孔，在所有这些情形下，这些不同颜色的光并不能被第二个棱镜分解，都只是偏转了一个角度，并且不同颜色偏转的角度也不同。

为了进一步证明白光是由各种颜色的单色光组合而成的，牛顿还做了一个实验，他用棱镜将白光束分解为光谱后，再通过另一个顶角较大的倒置棱镜。他设想，由于第二个棱镜顶角较大，使不同色光的偏折大于第一个棱镜，所以不同色光又会聚起来，在第二个棱镜后面的某一区域交迭，如在这区域内置一屏幕，则屏幕上将重现白光。

这一实验成功了，从而证实了白光的确具有复杂的成份，并能分解成不同颜色单色光。而棱镜不能再分解它们，且每一种颜色的光都有自己确定的折射率。这就是著名的“光的色散实验”。

通过这一实验，牛顿为光的色散理论奠定了基础，并使人们对颜色的解释摆脱了主观视觉印象，从而走上了与客观量度相适应的轨道。

牛顿在光学中的一项精彩发现就是“牛顿环”。这是他在考察胡克研究的肥皂泡薄膜的色彩问题时提出的。

牛顿的牛顿环实验是这样的：取来两块玻璃体，一块是 14 英尺望远镜用

的凸透镜，另一块是 50 英尺左右望远镜用的大型双凸透镜，在双凸透镜上放平凸透镜，使其平面向下，当把玻璃体相互压紧时，就会在接触点周围出现各种颜色，形成色环。这就是牛顿环。

牛顿发现了牛顿环后，又对环的厚度进行了精确的定量测量，可以说他已走到光的波动说的边缘，但由于过分偏爱他的微粒说，故无法正确解释牛顿环现象。

关于光的本性的争论，大约持续了 300 多年。争论的焦点不外乎微粒说与波动说。微粒说以牛顿为代表，波动说以惠更斯、笛卡儿等人为代表。由于牛顿在物理领域的威望，以及利用光的微粒说解释光的色散的成功，直到 19 世纪以前，微粒说在光学中占统治地位。

英国的物理学家托马斯·杨（1773—1829）发现了干涉现象。

19 世纪初，由托马斯·杨等人的一系列努力，又使光的波动说复苏起来，为沉默已久的光的波动说的复兴吹响了号角。

他难能可贵的地方在于他不因牛顿的名望和权威，而对牛顿达到迷信的地步，杨氏从事实出发敢于对牛顿的微粒说提出异议。

他曾经说：“尽管我们仰慕牛顿的大名，但我并不因此非得认为他是百无一失的，我……遗憾地看到他也会弄错，而他的权威也许有时甚至阻碍了科学的进步。”

杨氏从观察水波中的干涉现象受到启发，发现了光的干涉现象。

他说：设想有一组水波，它们以某个不变的速度沿平静的湖面运动，并进入一个狭窄的水道，水道是与湖相连通的。现在我们再设想，在某种因素的作用下形成了另一组同样的波，它与第一组波一样，以相同的速度到达该水道。这两组波互不干扰，它们的作用将结合在一起。如果它们到达水道时，一组波的波峰与另一组的波峰相重合，那么将形成一组波峰更高的波。如果一组波的波峰与另一组波的波谷相重合，那么波峰将填平波谷，水面将平静。我假设，如果以与此相同的方式将两束光混合在一起，则会出现类似的效应。我们把这一现象称为光的干涉规律。”

杨氏巧妙地设计了一个演示实验。他在室外用镜子将阳光水平地反射到百叶窗上，阳光通过窗上一个事先钻好的小孔进入室内，他又将两张用卡片做成的纸屏放在桌上，第一个屏上用细针钻一个小孔，第二个屏上有两个小孔，进入室内的这束阳光经过第一个针孔后落在后面两个小孔上，从它们射出的两束很细的光，在纸屏上重叠后就形成了彩色干涉条纹。

若用单色光作实验，就会看到明暗相间的非彩色光带。后来，杨氏又改进了实验装置，用狭缝代替针孔，取得了更好的效果。人们把杨氏所做的这类实验，称为“杨氏干涉”或“双缝干涉”。

杨氏在 1800 年发表了题为《关于声学 and 光学方面的实验和问题》的著名论文。他指出，光如同声音一样，是一种振动，这种振动是靠以太传播的。

他认为以太是充满整个宇宙空间的，当物体发光时，就在以太中激起振动，而人们之所以能感觉到颜色的不同，正是由于以太作用于视网膜上振动频率不同所致。

杨氏对波动光学的贡献是多方面的，他不仅第一个从实验上成功地演示了光的干涉现象，提出了干涉理论，而且还用干涉的概念解释了光的衍射现象。

他还根据他的干涉实验估算了光波的波长，认识到光波的波长是极短

的，这一点的意义也是重大的。

他还知道光所以会按直线传播而投下清晰的影子，就是因为它的波长比起普通物体的尺度小得无可比拟。此外，杨氏在解释双折射现象时，曾猜想光波的振动不是纵向而是横向的，光是横波这一点不仅对偏振光理论的发展起了决定性的作用，而且催生了麦克斯韦关于光就是电磁波的观点。

尽管托马斯·杨对光的干涉理论作了很好的有说服力的解释，然而在当时的英国却遭到了许多非难，甚至还出现了一些对他进行粗暴攻击的文章。

有人宣称杨氏的文章“没有任何价值”，“没有值得称之为是实验或是发现的东西”，指责他“除了阻碍科学的进展以外不会有别的效果”，还说干涉原理“荒唐”和“不合逻辑”等等。

可见，一个新的理论要得到社会的承认，并非易事。因为承认杨氏的结论就意味着对牛顿威望的挑战，而在当时，除了杨氏本人以外，大概暂时没人会这么做。

再说“光传播需要不需要时间？”这一直是物理学家颇感兴趣的问题。最早尝试测定光速的是伽利略。

他提出一种类似测声速的方法来测光速。由两个实验者各提一盏信号灯，分别站在已知距离的两端。第一个人先打开自己的灯，并同时开始计时；而第二个人在看到第一个人发来的光信号时也立即打开自己的灯，当第一个人看到第二个人发回的光信号时立即停止计时，若测出的光信号往返所经过的时间，再除两地距离的2倍，就得到光速了。

在一个漆黑的夜晚，伽利略与他的助手来到佛罗伦萨郊外，在相距数公里的两个山头上做实验，结果却失败了。

伽利略测量光速的方法，从原理上说是正确的，但实际测试却未获成功，其原因是光传播得太快了，光信号在这样两个山头之间一个来回的时间不到万分之一秒，靠当时简陋的计时仪器无法测出。

即使如此，并非一无所获，至少使人们认识到，光速实在太快，为测光速必须测极短的时间间隔。

第一个成功地进行光速测量的是丹麦天文学家罗默（1644—1710）。

他在观察木星时发现每隔一定周期会出现一次卫星蚀，而卫星蚀的时间间隔却有长短，他就用光传播速度有限来解释。

所谓卫星蚀就是木星的卫星绕木星公转时，就像月亮有月蚀一样，当木星处于卫星和太阳中间时，也会发生木星的卫星蚀，木星的卫星绕木星公转一周要消失在木星的影内一次，两次消失所间隔的时间即为卫星公转的周期。

罗默发现地球并不能影响木星卫星的运动，木星卫星的周期有长短变化，从地球上观察木星卫星公转周期之所以有变化，乃是因为当地球背离木星运动时，从木星卫星发出的光要多走一段路程，这段附加路程需要附加时间，因此光不是瞬时传播的，而需要时间。罗默对木星卫星蚀周期进行了长期观察，求得光速为 2.15×10^8 米/秒，即每秒 21.5 公里。虽然这个数值并不精确，但求得光速有限的结论仍是一大贡献。

继罗默之后，英国天文学家布喇德累（1693—1762）又利用光行差法测定了光速。

由于地球绕太阳沿公转轨道运动，具有速度 v ，因此由地面上的望远镜观测到天体的方向并不是它的真实方向，而是地球速度 v 与光速 c 两者的合

成，真实方向与速度合成方向夹角 Q 称为光行差。

1728 年，布喇德累测得光速为 3.03×10^8 米/秒，即每秒 30.3 万公里，这个数值已十分接近公认值。

物理学家不满足于天文的方法来测定光速，他们进一步寻求在地球上测量光速的物理方法。1849 年，法国科学家斐索（1819—1896）用一个快速旋转的齿轮首次在地面上测得光速。斐索用这种方法算得光速为 3.133×10^8 米/秒，即每秒 31.33 万公里。

此后，又有许多地面上测定光速的方法，较为成功的有 1860 年傅科的旋转镜法。1926 年迈耳逊的多面镜法，测量的精确度逐步提高。

本世纪初，诞生了一种新的光学部件——克尔盒，它能让光束强度以极高频率作周期变化。

1941 年，美国的安德森用克尔盒测定光速。

他用克尔盒来调制光束，使光强度以 1.9×10^7 周/秒的频率变化。光束先经克尔盒 K ，再经半反射镜 M_0 分为透射和反射两束，经过 M_0 的光束 1 由反射镜 M_1 反射回来，经 M_0 反射到光接收器 E ； M_0 反射的光束 2 经 M_2 反射折回，透过 M_0 也到达 E ，在 E 点，两束光会聚在一起，发生干涉，若两束光位相同，则两束光相互增强， E 接收到的光最强，见下图；若 M_2 移动一个距离，致使光束 2 返回时间延迟，光束 2 相对于光束 1 位移半个周期，则 E 接收的光最弱，见下图。若 M_2 位于 A_1 时， E 接收的光最强， M_2 移至 A_2 时光最弱，移至 A_3 时光强又达最强，则 A_1A_3 就是由克尔盒所调制的光变化一个周期的时间中光所走的距离，以此距离乘上克尔盒的调制频率，即得光速。

{ewc MVIMAGE, MVIMAGE, !07300160_0097_1.bmp}

安德森用此法测得光速值为 2.99776×10^8 米/秒，即每秒 29.9776 万公里，此值的前四位均与现在值一致，故误差已在万分之一以下。

人们还不满足已经达到的精度，又进一步探索新的更精确的测量方法。因光速 c 等于光波波长 λ 与光波频率 ν 之积，即 $c = \lambda \nu$ ，所以直接测量光波波长与光波频率而求得光速是最吸引人的光速测量方案。

由于以往所用的光源多为气体放电灯，它们发出光波波长与频率都不稳定，不可能获得精确的光速值。

本世纪 60 年代激光器的诞生，由于激光的良好单色性和稳定性，使得直接地精确测量光速已成为可能。

1970 年美国国家标准局和美国国立物理实验室最先运用激光测定光速。

波长的测量原理就是用迈克耳逊发明的迈克尔干涉仪来直接测定，其原理如上图，移动 M_2 反射镜，同时记录待测波长的干涉条纹变化数，根据干涉条纹变化数与波长成反比，即求得待测波长。

光波频率的直接测量是当代科学的一项前沿技术，光频率约为 10^{14} 赫，这样高的频率目前还不能直接测定。至今用电子学方法可以由低频通过混频、倍频、差频技术，过渡到高频。

通过对红外光频率与波长的直接测量，由公式 $c = \lambda \nu$ ，求得光速值，达到 9 位有效数字的精确度，1975 年第十五届国际计量大会提供的数据，真空中光速最可靠值是：

$$c = 299792.458 \pm 0.001 \text{ 千米/秒}$$

从 17 世纪伽利略第一次尝试测量光速以来,各时期人们都使用当时最先进的技术测量光速。光速测量有何意义呢?

第一,根据光在真空中的速度是一个恒定值,它的精确度很高,所以 1979 年“米”定义咨询委员会终于决定以米在一定时间中所走的距离作为标准米,即“米的长度等于真空中光在 $1/299792.458$ 秒的时间间隔中所传播的距离”。这样,光速测量的精确度就直接关系到长度的精确度。

第二,光速已经直接应用于测量距离。激光用于大地上几十米到几十千米的测量。它测量的是光脉冲在两地间来回传播的时间,再乘以光速即得距离。

科学家已在月球上安放了反射器,将强大激光束射向月球,测量激光往返的时间,可以精确测量地球和月球间的距离。

光速又与天文学密切相关,由于天文学所关心的是宇宙间的距离,大得惊人,故采用“光年”,即光在一年中所走的距离作为度量星际距离的单位。在宇宙航行时代,要求对星空位置作出精确测定,就必须提高光速精确度。

再有,光速是物理学中的一个重要的基本常数,许多其他的物理量都与它有关。光速已成为物理学中基本单位测量最精确的一个,它的精确度的提高将使一批基本常数的精确度得到提高。

激光器已在军事、医学等几个领域广泛使用,下面我们来研究它的诞生及发展过程。

人们对于光的种种性质的了解,都是通过观察光与物质的相互作用获得的。

光与物质的相互作用,可以归结为光与原子的相互作用。这种相关作用,主要有三种过程:吸收、自发辐射和受激辐射。

如果有一个原子,开始时处于基态 E_1 ,若没有任何外来的光子接近它,则它将保持不变;如果有一个能量为 $h\nu_{21}$ 的光子接近这个原子,则它就有可能吸收这个光子,从而提高它的能量状态,被激发到 E_2 。

不是任何能量的光子都能被一个原子所吸收,只有当光子的能量正好等于原子的能级间隔 $E_2 - E_1$ 时,这样的光子才能被吸收。

从经典力学来看,一个物体如果势能很高,它将是不稳定的。同样,处于激发态的原子也是不稳定的,它们在激发态停留的时间都很短,大约在 10^{-8} 秒的数量级。

在不受外界的影响时,它们会自发地返回到基态,而放出光子,这种自发地从激发态返回到较低能态而放出光子的过程,称为自发辐射过程。

实际生活中,如霓虹灯,当灯管内的低气压氖原子,由于加上高压电而放电时,部分氖原子被激发到各个激发态的能级,当它们从激发态跃迁回基态时,便发出各种频率的红光。

爱因斯坦于 1905 年推广了普朗克的能量子概念,提出了光量子的假设,因而成功地解释了光电效应。并且爱因斯坦预言受激辐射的存在。

但是在室温下,在可见光区域,受激辐射的几率远小于自发辐射,以致无法为人们所觉察。直到 1951 年美国物理学家汤斯(1915—)才想出了一个实现受激辐射的方法。

他拟定了一种分子束系统,并计算出它所满足的要求,这种系统能从低能量的分子中分离出高能量分子,并使它们通过谐振腔形式反馈及连续振

荡。

1954年，汤斯、戈登等在大约1厘米波长的微波范围内产生电磁波，再利用这个原理制成了第一个氨分子振荡器，并以“脉塞”这个名称来表示这种受激辐射的微波放大器。

不久，又制成了固体的“脉塞”。后来，荷兰籍的美国物理学家布卢姆伯根采用了一种三能级系统——低能级、中能级、高能级。

1960年，世界上第一台激光器由美国物理学家梅曼（1927—）制成。

他所用的材料是一根人造红宝石棒，其主要成份是掺有少量氧化铬的氧化铝。红宝石受到光照时，其中铬原子的电子被激发到较高的能级，经短暂停留后开始向下跃迁，最先产生的少数光子刺激其他铬原子，使它们释放出相同的光子，于是红宝石棒突然射出一束深红色的光，它的亮度是太阳光表面亮度的4倍。

同年内，在贝尔实验室工作的伊朗物理学家贾万和其他几位科学家一起制成了连续发射的激光器。他们所用的工作物质是氦氖混合气体，故称氦氖激光器。

在汤斯研究“脉塞”的同时，苏联的无线电物理学家巴索夫（1922—）和普罗霍罗夫（1916—）等人也独立地设计出了这样的振荡器，并且是波长更长的“脉塞”。他们三人共同获得了1964年诺贝尔物理学奖金。

激光器所产生的是一种完全新型的光，它具有前所未有的极强的亮度和单色性。

激光刚一发明，它的发展前景立即引起人们极大的兴趣，人们努力探索它的用途。大至核聚变反应中的触发作用，小至实验室内检测工作的改革，都有激光的作用。

利用激光的高亮度，可作为热源。激光束细小，带有巨大的能量，若经透镜聚焦，照在物体的微小面积上，会产生巨大的热量，可使这一部分物体熔化或气化，因此可用来进行细小的打孔、切割、焊接，医院可用来作为手术刀。

利用激光的方向性好，发散度小，能射远的特性，可作为测距仪的光源。

激光的聚焦可以精确到能够从1600公里以外来加热一壶咖啡。1962年激光射到月球，它经过大约40万公里的路程，散开的光斑直径也只有3公里。

与激光测距相似，以光波载波，以信息振幅去调制光载波，可进行激光通讯。由于光波频率在 10^{11} — 10^{15} 赫，比普通无线电载波的频率（ 10^6 — 10^{10} 赫）高得多，故可容纳更多的信息量，足可为地球上每个人提供一个他自己专用的通讯波长。

利用激光的巨大能量，将激光射到氘和氚的混合体中，产生高压和高温，促使两种原子核聚合变成氦和中子，并同时放出巨大的辐射能量，这就是核反应。

总之，自1960年制成了第一个红宝石激光器后，激光物理、激光技术和激光应用等各方面都取得了巨大进步，它是现代科技领域最有前景的。

总之，物理学归根结底是一门实验的科学。物理实验在物理学的发展中占有极其重要的地位，离开了物理实验，物理学就很难向前发展。有了物理实验，从而引起了一系列新发展。欲知后事如何，且听下回分解。

第五回 工业革命 顺时蓬蓬发展 经典物理 应运勃勃兴旺

以蒸气动力的普遍应用为主要标志，迎来了机器大工业时代。第一艘实用的轮船是由美国发明家富尔顿发明的。电和热的研究深化，物理学的前沿阵地不断扩大。

且说物理实验已形成独立的体系，在此前提下，物理学又增添了许多新的发明和发现。科学技术的迅猛发展为社会发展提供了后备力量，推动了社会的进步。

在牛顿力学建立以后，19世纪近代自然科学进入全面繁荣。首先在英国，继而在欧美其他国家，掀起了一场工业革命。

18世纪中叶到19世纪中叶的工业革命是以技术革命为中心内容的社会变革。它以工作机的发明为起点，以蒸汽动力的普遍应用为主要标志，迎来了人类历史上一个崭新的时代——机器大工业时代。

机器—蒸汽时代的到来是资本主义发展的必然结果，同时又为生产方式的巩固提供了坚实的技术基础，造成了社会生产力的空前发展，并为自然科学的发展开辟了广阔的道路。

从某种意义上说，资产阶级是依靠技术的力量登上统治阶级的宝座的。火药、指南针、印刷术等一系列发明，被资产阶级广泛运用，发挥了它的作用。

经过16、17世纪的变革，资本主义生产方式开始在欧洲各国出现。伴随着资产阶级革命，近代自然科学作为定量的实验科学也宣告诞生。

同时，市场的需要，引起了社会需要同原有生产技术手段之间的矛盾，这一矛盾就成了推动技术发展的社会动力。企业资本家对于技术革新的渴求正是在这种矛盾的刺激下产生的。

早在文艺复兴时期，人们就已经设计和创制了许多加工机械。如脚踏式车床，即采用脚踏式曲轴把直线运动变成圆周运动，从而带动工件旋转的机械，利用曲轴带动锯齿作往复运动的锯床，以及加工螺丝用的丝锥和板牙等。

17、18世纪科技上的发展，不仅改变了人们传统的科学观念，而且改变了人们对技术的态度。当时人们所特别关心的不再是未来的命运，而是现实的生活，金钱在人们生活中的重要性和地位也被提高了。

工业革命的最本质特征是实现了从手工技术向机械技术以及工场手工业向机械大工业的转变。这种转变既需要政治、经济因素，又是技术本身发展的必然结果。

工场手工业的发展对机器的使用提出了要求。近代又产生了许多新机器，所有这些都是原有技术的基础上发展起来的。

马克思说：“水（风）磨和钟表，这是过去传下来的两种机器，它们的发展还在工场手工业时代就已经为机器时期作了准备。”

18世纪，水磨机器已具备了三要素：工作机、传动机和动力机。16世纪中叶，已经出现了适合家庭用的能打点报时的钟表，同时也制造出了小型怀表。英国人哈里逊在1789年造出的一台航海钟，重66磅，走时误差每昼夜不超过1/10秒，可以说是一台相当复杂而精密的机器。

文艺复兴运动以来的许多发明都为近代技术和工业革命的产生提供了技

术上的准备。工业革命的原材料基础是铁和煤。早在 16 世纪高炉炼铁已在西欧各国普及。

应该指出，早在文艺复兴运动以前，也曾有过一些技术发明，但由于当时尚未形成强有力的社会需要，不能得到社会的支持，因而没能得到很好的应用，或者毫无结果地消失了。

18 世纪以后，情况大大不同，随着商业和航海业的兴起，资本主义市场的扩大，社会的支持等都为技术的发展提供了前提。技术上的发明得以应用，由此可以看出近代工业技术的兴起和工业革命的产生是相互作用的结果。

再说纺纱机的发明和实际应用为英国开始工业革命提供了机会。由于纺纱机的使用，17 世纪发展起来的纺纱业有可能突飞猛进地发展。

原纺纱机的动力能源是水力，扩大的纺纱业要求纺纱机有新的能源，刚刚面世的蒸汽机正好满足这个要求。这样，在工厂便开始广泛地使用原动机和工作机之类的机械，这使机器制造得到了发展。另一个条件是冶铁业的扩大，生产出了更多的制造机器的材料。

在 18 世纪后半期，随着新的熔炼法和炼铁法的实施，铁的生产有了显著提高。在新的炼铁业中，已广泛使用蒸汽机作为鼓风、锻造、压延的动力源。

由于蒸汽机的普及，对煤炭的需求量也大大增加了，煤炭产量的增加反之又促进了对蒸汽机的需求。蒸汽机可以采掘搬运煤炭、抽走坑道内的积水。由于工业革命，越来越多的原料、产品的输送也使蒸汽机大显身手。

1807 年，首次用蒸汽机作为原动机的船只出现了；1829 年，最早实用的蒸汽机车也在铁轨上运行起来。这样，由于产业革命，促进了蒸汽机的发展和普及，蒸汽机反过来又作为工业革命的推动力而广泛存在。

早在 17 世纪，惠更斯就有过利用热而获取动力的设想。他想利用火药的爆炸力，让助手帕潘（1646—1712）从事这项研究工作。而帕潘不久就想出了另一种方案，用蒸汽的压力代替危险的火药，他于 1687 年试制了这种装置。

1707 年帕潘曾用他的蒸汽机开动了一条模型船。这些先驱者们的大胆尝试都为蒸汽机的实用化提供了重要的技术准备。然而，在当时还没有出现大规模使用蒸汽动力的需求，所以不论多么杰出的发明还不能走向实用，成为现实的技术。

17 世纪末，由于英国矿业深受矿井积水之害，排水问题已成为矿山生产的关键。英国的军事工程师萨弗里最先攻克了这一难题。

1698 年，他发明了第一台可以实际应用的蒸汽泵——被称为“矿山之友”的蒸汽抽水机。

其工作原理是：在容器中通入高压蒸汽，再使蒸汽在容器内冷凝，利用形成的真空把矿井中的水经吸管抽到容器中。不过，这种泵由于热损失太大，扬程也不能超过 10 米，并常有爆炸的危险，没能推广。

英国人纽可门首次制造出基本可实用的蒸汽机。他的蒸汽机于 1705 年获得专利，这种机器是利用蒸汽把装在竖直气缸里的活塞推上去，接着冷却气缸使蒸气凝结，再由大气压把活塞推下来。如果从它的作用原理上讲，这种蒸汽机叫大气压发动机更合适。

这种蒸汽机在一分钟内活塞只不过往返约 10 次，不久即被广泛用于矿山抽水。因为这个时期，在英国用于燃料、工业、造船的木材严重短缺，对煤的需求急剧增加。

此时，蒸汽机已成为动力机，它与工作机已完全分开。纽可门蒸汽机的效率比用马来提水提高 3 倍，而成本还不到马提水的 1/3。不久，在德、法各国也都采用了此机器。

继纽可门之后，对蒸汽机作出重大改进的是瓦特。

瓦特（1736—1819）是英国发明家、工程师，1736 年 1 月 19 日生于英格兰格拉斯哥附近的格林诺克。他未受过正规教育。18 岁时到伦敦一家钟表店当学徒。由于刻苦勤奋，他很快掌握了各种机器的制造技术。1756 年瓦特被聘为格拉斯哥大学的机器制造和仪器修理工人。

1761 年他开始热心于蒸汽机的改进实验工作，终于取得成功。

瓦特进入格拉斯哥大学工作后，有机会接触到早期的纽可门蒸汽机。纽可门机是一种笨重、低效、不太实用的蒸汽机。瓦特决心对它进行改造。

1763 年瓦特对纽可门机的研究取得了重大突破，他总结了提高蒸汽机效率的关键环节，并于 1765 年成功地发明了冷凝器。此后瓦特开始与工厂主罗巴克合作，专门从事蒸汽机的实验和生产。

1769 年，他申请了关于制造蒸汽机的第一个专利。1775 年罗巴克破产后，瓦特又与博耳顿合作在伯明翰开设了专门生产蒸汽机的公司。

1781 年瓦特又发明了蒸汽机的双动作，并发明了利用曲柄把直线运动变成转动的方法，同时取得了第二个专利。1782 年瓦特又利用飞轮解决了转动的稳定性问题，取得了第三个专利。1784 年他又获得了第四个专利，同时建议蒸汽机可以应用于生产中。

纽可门是世界上最早的大规模地把热能转变成机械能蒸汽机的创造者。1712 年纽可门蒸汽机在英国开始应用，1720 年开始传到外国。

斯米顿对纽可门蒸汽机进行了系统的研究和调查，并进行了 130 余次实验，以创制自己的蒸汽机，但没有提出新的理论。

瓦特总结了前人的经验，在研究纽可门蒸汽机的基础上发展了新的理论，制成了高效实用的新动力。他的一系列创造性的研究成果，为蒸汽机的发展奠定了丰富的理论和实践基础。

1785 年，第一批新设计的蒸汽机交付纺纱厂使用，从此 1 万只纱锭通过蒸汽机的带动可同时运转。工厂由于不再受水力的限制而可以在任何地点修建了。

到 1880 年瓦特专利失效以后，无数生产蒸汽机的工厂纷纷建立，蒸汽机已被广泛应用于采矿、冶金、机械、酿酒、磨粉、造纸、制革等工业部门，并促进了新的行业出现。瓦特被英国人尊为本国的伟大人物之一。

任何一项技术上的发明和应用都不是孤立的事件，都必须有一系列其他的发明来支持。纺织技术上的新发明曾导致纺纱与织布之间生产率的不平衡，工作机的发明暴露了工作机与动力机的不协调，工作机与动力机的发明和应用又造成了它们与机械加工技术之间的矛盾。

蒸汽机确实比水车更强大有力，但是它必须使用更坚固的金属材料，其各个部分零件必须尽可能按准确的尺寸加工，而为了输出更大的功率各个部件还必须有足够的强度，这些原因使它制造起来相当困难。

如纽可门在加工他的蒸汽机时，汽缸为 710 毫米的内径误差达 13 毫米。为了制造性能良好的机器，必须有可靠的制造机器的机床。只有当能够用机器生产机器时，大工业才能获得坚实的技术基础并找到自己的立足点。

在纺织机和蒸汽机的发明和应用之后，陆续出现了一批专门从事制造和

修理机器的工厂。从 18 世纪到 19 世纪，由于许多机器技术的发明家和制造家的努力，机械加工技术有了很大的变化。

机床发展史上最伟大的创造，是英国机械师莫兹利 1794 年发明的移动刀架，以及 1797 年制成的带有移动刀架和导轨系统的车床。

在车床上安置刀架代替人手夹持刀具，并使其按照导轨所给运动，可以比人手握持刀具更方便、迅速和准确地加工机器零件，实行机械加工机械化。有人认为移动刀架的发明对机器的影响不亚于瓦特对蒸汽机的改良。

从 19 世纪初到 40 年代，不仅有大型的炮筒镗床、刨床、各种精密车床，而且有了多刀切削的铣床和刀具作垂直运动的插床等一大批工作母机。

上面介绍的是英国近代工业革命的序幕，工业革命不仅造成了生产力的快速发展，而且也创造了崭新的机器体系，以及崭新的社会文化。

英国作为世界上第一个工业化国家，引起了欧洲各国的瞩目，他们派人参观，引进技术，聘请英国专家和技术工人协办本国工业。从 1750 年到 1850 年 100 年的时间内，比利时、瑞士、德国、法国和美国等都发生了工业革命。

工业革命在英国轰轰烈烈发展的同时，法国也于 1789 年进行了工业革命。1789 年资产阶级领导的法国大革命为工业革命提供了政治条件。从此，各种工业得以迅速发展，机械纺织厂陆续建起，英国的先进技术得以引进和应用。

法国的技术发明也受到重视和推广。1810 年，加卡发明了提花织布机。1839 年机械师蒂蒙尼埃发明了缝纫机，首先在城市中建立了服装工业。

拿破仑一度实行的大陆封锁政策，不仅影响了法国的经济发展，也阻碍了技术的转移和交流。法国的工业化打破了这种封锁，在本国首先创立了综合技术学校，曾被拿破仑称为“下金蛋的母鸡”，它为法国培养了一批科学家，也培养了大量的工程师。

德国是在 1810 年以后，在外力推动下，经过上下改革，在极端落后的国家中首先进行了工业革命。

德国首先从英国引进了纺纱机、蒸汽机，从法国引进了穿孔提花织机，带动了工业技术迅猛发展。德国人在采煤、钢铁、精密机器制造和化工等方面都有自己的方法，并取得了后来居上的地位。

克虏伯首先在埃森建立钢厂，并于 1815 年生产出铸钢，发展为欧洲最大的军火企业——克虏伯公司。1837 年，龙格从煤焦油中获得了苯胺和苯酚，使染料工业问世。德国在工程教育方面积极投资，创办了各种工程学校和高等工业学院，积极促进科学和工程、研究与企业的合作。

美国在同时也进行了工业革命。在美国独立以前，它作为英国的殖民地被禁止不许建立任何工业。1789—1815 年欧洲频繁战争使英国无暇顾及美国，这为美国的工业革命创造了机会。

1793 年，美国人惠特尼发明了轧花机，1831 年，麦考密克发明了收割机。1845 年，哈威发明了第一架实用的缝纫机。美国人在枪支生产上也有较大贡献，1846 年，柯尔特和洛特生产出连发式手枪，引起了全世界的瞩目。

总之，各国根据不同的社会条件和技术基础，都在本国进行了工业革命。在工业革命发展中，每个国家都吸收了别国的新发明、新技术，又在自己基础上完成了自己的革新和创造，为别国使用。工业革命冲破了阻止技术交流的障碍，开始了世界技术大转移。

18 世纪的技术发展，主要表现在工作机、动力机和机器系统方面的新发

明，并开始在工业生产中应用。工业革命的发展，逐渐形成了机器——蒸汽时代的技术体系。

在 19 世纪之前，工业革命的经济效益和社会作用还没有完全显现出来。在英国，蒸汽机虽已应用，主要动力还是水力、畜力和人力。蒸汽机在开始应用时还不够完善。甚至时有爆炸事故发生。

蒸汽动力技术经过长时期的完善和改革已经逐渐成熟。蒸汽机经过瓦特的改进已成为可以普遍应用的动力机，效率为 3%。1800 年，美国的伊万斯发明了高压蒸汽机。1812 年，俄国的季特维诺夫制成了水管锅炉，使锅炉技术也获得了重大改进。

在许多工厂、矿山都利用一台或少量蒸汽机带动许多工作机运转。需要动力的地方就可以通过天轴、皮带等把蒸汽动力传送给许多工作机工作。

蒸汽动力不仅推动了工业的机械化进程，也促进了燃料、采矿业、机器制造业、钢铁冶炼业和交通运输业的发展。蒸汽动力技术是近代工业技术的主导和核心。

交通运输是社会生产和交往的必要条件。在封建社会里，除了海上运输需要较大的船只，运输工具的作用还没显出。

随着工业革命的兴起，世界贸易的发展和国际市场的开拓，各种原料进出口的运输已成为当时必须解决的问题。直到 19 世纪初期，水陆运输工具仍用古老的帆船和马车，这种工具不仅载重量小，而且速度也慢。

落后的交通工具已成为迅速发展的工业大生产的障碍，崭新的社会需要更新运输工具，导致了蒸汽机车和蒸汽轮船的发明和应用。

18 世纪 80 年代，英国开始把木轨改为铁轨，出现了马车铁轨，马拉四轮车在铁轨上行走，提高了运输效率。同时，有人设想用蒸汽机作动力代替马的拉力，瓦特在他的专利说明书中也设计了用蒸汽机推动车辆的略图。

1787 年，英国的默多克曾设计并制造了无轨火车。1802 年，特里维西克在发明了高压蒸汽机后，也制造了蒸汽机车。但这些机车仍在普通路面上行驶，时速仅为 8 公里，未获应用。

1814 年，英国煤矿工人出身的史蒂芬终于造出了可实用的蒸汽机车，并解决了火车易于脱轨的技术问题。1825 年，由他负责勘测和兴建的铁路正式通车。史蒂芬驾驶着由他设计和指导制造的“旅行号”机车，成功地到达了目的地。

由于许多人对火车的运行安全有顾虑，又由于马车运输公司和帆船运输公司出于竞争的坚决反对，蒸汽机车仍处于试验阶段。1829 年，英国举行了蒸汽机车比赛，史蒂芬驾驶他的“火箭号”机车，以每小时 22 公里时速，牵引 17 吨货物，安全行驶了 112.6 公里的成绩荣获第一。从此，火车才正式使用。首先在英国出现的铁路建设热蔓延到欧美各国，从而开辟了陆上运输的新纪元。

与蒸汽机实用化同时，轮船运输也实用化了。蒸汽机的早期发明者巴本在 1690 年就提出有桨轮的蒸汽动力船的设计。萨弗里也认为蒸汽机对推动船可能有用。

第一艘实用的轮船是由美国发明家富尔顿发明的。1807 年，富尔顿等人建造的“克勒蒙特”号汽船首航成功，标志着动力船代替帆船的开始。

1819 年，兼有帆船和蒸汽动力船的“萨凡纳”号轮船满载棉花，横渡大西洋，用 26 天时间走完了帆船用 70 天走完的路程。1838 年，英国轮船“天

狼星”号和“大西方”号完全依靠蒸汽动力横渡大西洋取得了成功。

火车、轮船的应用和普及，给社会经济发展带来了巨大进步。过去由于运输工具的落后而积压的燃料、砂石、工业原料、农产品等都可以远销它地。轮船、火车的高速度标志着工业革命的新开端。

工业革命开始了科学和工业以技术为中介的结合，它为科学技术的发展和应 用开辟了崭新的道路。18 世纪中叶以前，科学技术活动基本上是靠个别的学者和工匠分散进行的。在工业革命中，科学技术团体在资本家的赞助下纷纷建立。

最早出现的科学团体是 1766 年在英国伯明翰建立的太阳学会。这个学会是由博尔顿发起的，成员包括一些工厂主和一批科学家、发明家，其中有瓦特、默多克、普列斯特利等。他们在月圆之夜，讨论本区的工艺技术和科技问题。

1781 年，在英国又成立了曼彻斯特学会，也是由工业家和科学家组成的地方性科技团体。到 19 世纪末，在英国已有 100 多个科学社团。

在 1799—1815 年间，美国总统杰弗逊亲自担任包括农艺、医学、天文等学科的美国哲学学会会长，并为科研拨发基金，使美国的科技活动带有“官方”的特点。

19 世纪，在美国共建立了 400 多个科技团体。科技社团的建立，大大地促进了科技的交流和发展，并使科技研究从个体研究进展到团体研究时代。

顺便提一下，在太阳学会成员中，普列斯特利就电现象进行了实验，写出了论著。1767 年，他根据实验提出了电力的反平方定律。他还受到富兰克林的启发，让中空的金属箱带电，亲自进入箱内，从而确证内部不存在电力作用。

在曼彻斯特学会中，道耳顿是近代原子论的创立人。他的原子论是在该学会中的会议席上首次发表的。

在英国，由工业革命所创造的环境，大大加速了物理学各个领域的发展。但在那些学会中，中坚力量都是业余爱好者，他们的研究都是实用的，对问题的研究着眼于经验。

与此相反，从 18 世纪到 19 世纪，被看作理论科学的物理学，它的多方面发展的动力则是来自法国。

在法国，工业革命姗姗来迟，作为这次革命的成果，建立了与科技发展有关的制度，即米制的制订和专门的科技教育机构的设立。

在 1789 年法国革命之前，要求统一因地制宜的度量衡的呼声很高。这种统一，必须有政府出面才有可能。1790 年 5 月，立宪议会作出统一度量衡的决议，科学院指令把巴黎秒摆的长度选作单位制成标准尺。

1794 年，政府出面，组织了科学技术的教育和研究机构。从 1792 年起，法国与欧洲各国兵戎相见的必须品——火药、大炮、粮食严重匮乏。面对这些危机，科学家做出了应有的贡献。他们研究了炮身的铸造方法和钻孔方法，发明了从堆肥中提取火药原料硝酸钾的方法。

1794 年法国建立了中央公共事业学校，第二年 9 月改为综合工科学校，沿用至今。当时，蒙热、拉格朗日等一流的科学家担任了该校教授，不久，安培、傅立叶等人也加入了教授行列。法国 19 世纪的科学家几乎都是该校的毕业生，由于这些人的积极活动，19 世纪前半期的科技主导权掌握在法国人手里。

19 世纪后半期，科学的主导权转移到德国。在此时，作为科学中心的大学作出了很大贡献。

1810 年柏林大学的创立是德国的一个丰硕成果。柏林大学体现古典的大学形象，它坚持这样的方针：大学应为综合性大学，大学应该培养为科学而科学的接班人。

从 19 世纪中叶起，德国在科学上开始崭露头角，国家有意识地使科学和技术相结合。同时，国家和大企业又创办了大规模的科学研究机构，这些机构和大学相互有利，使德国在一切科学领域上，把握了主导权。

在英国的工业革命中，从蒸汽机这样一个典型例子可以看出，新的技术都是从实践家成功的经验和失败的教训中产生的。

19 世纪后半期，由于电力工业和化学工业的兴起，技术上的发明和发展才可能以科学研究为前提。从发展趋势看，有计划地培养具有科学素养的技术专家势在必行。还是德国站在前头，在全国各地建起了工科大学。到 1884 年，形势发展要求把物理学作为技术研究的基础，为此德国设立了国立物理技术研究所。该所第一任所长是物理学家亥姆霍兹。

与法国和德国的发展相比，19 世纪中叶以后，英国的科学教育和研究机构显著落后。为了改变这种状况，英国在伦敦设立了大不列颠皇家科学研究所，在这里，戴维（1778—1829）和法拉第（1791—1867）取得了重大的研究成果。

1874 年，由贵族卡文迪许捐赠，在剑桥建立了物理学实验室。它被命名为卡文迪许研究所，麦克斯韦被任命为第一任所长。从 19 世纪末到 20 世纪初，该研究所被视为原子物理学、核物理学的发源地，吸引了全世界的物理学家。

自 18 世纪末以来，大约 100 多年间所发生的主要变化是：科学教育和科学研究在大学中牢牢扎根，官方设立了研究所，科学家以教学和研究为职业，并以此为生。国家已开始资助科学研究，科学研究也成为一种职业。

18 世纪完成了经典力学和经典天文学，为人们指明了近代科学所遵循的正确道路。在实践中人们得出这样一个经验：一旦得到普遍性的定律，通过数学方法可以解释其他现象。

例如法国物理学家、工程师库仑（1736—1806），曾参与子弹性能的研究，根据自己的研究结果发明了扭秤。库仑用扭秤确立了电引力、磁引力二者都服从反平方定律。

库仑在 1785—1789 年间进行的研究，不仅是精密测量和数学解析相结合的典范，而且作为其结果的反平方定律为电磁学奠定了定量的基础，迅速推进了这个领域的数学化。

在工业革命中，从蒸汽机把大量的热转化为功开始，热运动学在科学的基础上复活了。到 18 世纪末，美国的物理学家伦福德开始从事火药性能的研究，他还亲任巴伐利亚公国的军事大臣，监督慕尼黑兵工厂。以镗炮筒作业时产生大量的热这个极其实际的问题为转机，他终于提出了热运动说。

热运动说首先由英国的戴维从实验上加以发展，作为其发展的结果，在 19 世纪 20 年代开始了气体运动论的尝试。在当时的热运动说中，对于物质的微小部分分子的热运动来说，不是分子在空间杂乱无章的运动，而是在一定位置上的振动或脉动。

人们想象，气体的弹性是由分子自身具有的弹性而引起的。伯努利曾认

为，气体分子只有在空间中平动时才产生气体的弹性，由于这种想法而引出的气体运动论终于在 19 世纪 20 年代以后出现了。

19 世纪物理学确立的最基本的和高度概括的原理是能量守恒定律，它的一部分以机械能守恒的形式表现出来，18 世纪末的力学已经证明了这一点。

焦耳从电流产生热的研究中确信电流和热的同等性，接着通过电磁感应转向定量地证明力学上的功和热的同等性。为此，他从 1840 年一直到 1849 年进行了实验研究，到 1878 年以前，他还反复作了多次实验。

焦耳也是加入曼彻斯特文学科学协会的一位酿造业者，其研究的动机是电磁发动机的实用化和效率的提高。焦耳出于对实际问题的关心，彻底进行了实验研究。

作为蒸汽机的发展和应用，前面已作了介绍，由于蒸汽机发展和应用的局限性，蒸汽机又发展为内燃机和外燃机。

1794 年，英国人斯特列斯提出了燃气发动机的设想，试图以松节油或柏油为燃料与空气混合送入汽缸燃烧，第一次提出了将燃料与空气混合作为内燃机能源的原理。

1799 年，法国工程师勒蓬又提出了以煤气为燃料与空气混合，并用电火花点火的内燃机的设想。这些设想都未实现。1820 年，塞西尔发明的以煤气为燃料的煤气机，在实验室里初次成功。

最早的商品化内燃机，是由法国的雷诺发明的。1860 年，雷诺制成了一台二冲程、无压缩、电点火的煤气机。它与二冲程卧式蒸汽机十分相像，但却用煤气在缸内的燃烧代替了从外部通入的蒸汽。

雷诺的内燃机效率仍然很低，只有 4%，但它可以平稳地运转了。由于它没有锅炉、燃烧器和煤仓，无需加热就能把机器发动，作为小型发动机很受欢迎。

1860 年，德国的报纸报道了雷诺的发明，并预言内燃机将取代蒸汽机。德国的发明家、工程师奥托（1832—1891）在一个小车间内制成了德国第一台煤气机。虽然它的功率只有半马力，但工作性能良好。1864 年，他与欧根·朗根合伙创办了奥托公司，世界上第一家专门生产内燃机的工厂由此诞生。

内燃机的进一步发展，有赖于科学的指导。蒸汽机的发展促进了热力学的研究。现在，热力学理论又应用于内燃机的改进。

1862 年，法国工程师德·罗沙斯发表了一本小册子，提出根据热力学理论的研究可以制造高效率内燃机的理想操作循环，即等容燃烧四冲程循环原理。

1872 年，奥托为发展小型内燃机生产又创立了多伊茨煤气发动机厂，并聘用了曾在英国、比利时和法国工作过的工程师戴姆勒。奥托与朗根、戴姆勒共同合作，在罗沙斯四冲程循环原理的指导下，于 1876 年制成了第一台四冲程卧式煤气机。这种发动机被称为奥托机而载入史册。

19 世纪 60 年代，欧洲市场上已有石油供应。这使内燃机的制造者们开始考虑用这种液体代替煤气。1864 年，马尔库斯在维也纳获得了一次把汽油、空气混合体用于内燃机以驱动车辆的专利。

1882 年，戴姆勒离开多伊茨煤气发动机厂，迁居于斯图加特并开设了自己的工厂。他与迈巴赫合作研究一种空气冷却式高速汽油发动机，于 1883 年制造成功。用汽油作燃料，内燃机可更小型化，转速也从煤气机的 200 转/分提高到 900 转/分，达到了可驱动车辆的程度。

在煤气机、汽油机相继问世之后，许多人又探索用石油的重油成份作燃料。1885年在英国出现了煤油机。燃烧重油的技术问题是由德国的机械工程师狄塞尔解决的，他于1892年发明了一种压燃点火式柴油发动机。

狄塞尔在《一种合理热机的理论与制造》中阐述了这种内燃机的工作原理：它不是先把燃料和空气混合再从外部将其引燃，而是先将汽缸里的空气压缩使其升温，再向汽缸里喷入燃料，不用点火就能燃烧起来。狄塞尔经过多年努力，于1897年制成了柴油发动机。

由于柴油机所使用的柴油比汽油便宜，输出功率又大，因而柴油机也获得了广泛应用并成为内燃机发展史上又一起点。最初柴油机作为固定式发动机用发电厂，1903年起，柴油机又被用作船舶、潜艇、机车的动力，发挥了它重型内燃机的作用。

上述各种内燃机和蒸汽机一样，都是往复式活塞发动机。19世纪人们开始对转动式发动机进行探索，由此出现了燃气轮机和汽轮机。

转动式发动机的设想出现得很早，如我国古代的走马灯，罗马古代的烟风车等，都是燃气涡轮的雏形。燃气轮机是一种用燃气推动涡轮而产生旋转运动的动力装置。

在蒸汽机迅速发展的基础上，有人提出了汽轮机的设想，即利用高压蒸汽直接推动涡轮叶片以产生旋转运动。它的优点是可以利用低热值燃料，能连续平稳作功，并能提供更大的功率，且结构简单，热效率高。

到19世纪80年代中期，出现了大型发电站，对于强大动力的需要，设计并制造大功率汽轮机势在必行，首先完成这一任务的是英国发明家帕森斯。

1884年，帕森斯为驱动自己设计的高速发电机，制成了多级反作用式汽轮机。1897年，帕森斯建造了世界上第一台用汽轮机驱动的轮船“达比尼亚号”，船速达64公里/时。这说明汽轮机是一种可以提供大功率并能连续驱动的新型动力装置。

自从奥托汽油机和狄塞尔柴油机出现后，内燃机很快就在各个领域得到了广泛应用。它的一项重要应用，就是导致了汽车的发明和制造。汽车制造业由此迅速兴起并成为20世纪最重要的工业部门之一。

戴姆勒不仅是汽油机的发明者，而且也是第一个认识到迫切为交通部门制造动力车的人。1885年，他把一台轻便的单缸汽油发动机装在自行车上，制成了第一辆摩托车。1886年，他制成了用1.5马力汽油机驱动的木制轻便游览车，外形似汽车。

此外，德国发明家本茨发明了三轮汽车。1890年本茨采用差动传动装置和水循环冷却系统生产了四轮汽车。1893年，这种汽车已批量生产。

轮胎充气的发明，对于汽车发展具有重要意义。1839年，英国人古德伊尔把巴西的天然橡胶与硫磺混合起来，发明橡胶的硫化法。因此，在美、英等国出现了第一批橡胶工业。

1845年，汤姆森在爱丁堡获得带有气阀和外胎的车轮轮胎专利。1888年，博伊德·邓禄普获得充气轮胎的专利权并首先用到自行车上，到19世纪末又开始广泛用于汽车制造。

德国由于天然橡胶资源缺乏，20世纪20年代开始研究合成橡胶。随着汽车的制造，其附属工业技术也得到发展。如电磁点火装置、起动机、车灯、喇叭等制造技术，钢铁的轧制技术及玻璃制造等其他配套技术。

迅速飞驰的汽车逐渐代替马车，成为城市的主要交通工具。汽车的普遍应用，不仅改变了城市的交通面貌，而且促进了公路网的兴建、道路和桥梁的建筑，因而使国与国之间、城市之间、城乡之间联系更为加强，农村的闭塞状况也得以消除。

内燃机的发明还使铁路运输的状况得以改善。当内燃机被用于铁路后，内燃机逐渐取代了蒸汽机。帝国主义国家为了侵略扩张，竭力发展与备战有关的科学研究工作。1903年12月17日，人类进入了航空时代。美国人赖特兄弟发明了内燃机为动力的世界上第一架飞机，并试飞成功。

1870年以后，帝国主义为了侵略扩张，非常重视军事技术的发展。人们先后发明了炮筒和枪筒内的来复线，使命中率提高5倍。

原先人们发明的枪炮膛内是光溜溜的，从这种滑膛枪炮打出去的弹丸，往往在空中翻筋斗，这就影响射击的准确性。

枪炮传到西方以后，到了近代，欧洲枪炮专家想出一个防止弹丸在空中翻筋斗的巧妙方法。那就是在枪炮膛内刻出螺旋线，称为“来复线”。这样，枪炮膛就成了“螺母”，而弹丸成了“螺丝”。射击时，弹丸在膛内旋转前进。出了枪炮口，旋转惯性使弹丸一边飞行一边旋转，保证弹丸总是头朝前、尾朝后，射击的准确性就提高了。

同时，他们又发明了机关枪和各种新的炸药和武器，还制成装有内燃机和无线电设备的巨大军舰和潜水艇。

内燃机特别是柴油机发明以后，很快变为农业生产的动力，从而促进了农业技术的发展。在内燃机发明以前出现的许多农业机械，由于有了内燃机这个新动力而迅速获得推广应用。

以内燃机为动力的拖拉机的出现，彻底改变了农业生产状况。1910年，拖拉机已批量生产，促进了农用机具的进一步发明和改进。在美国，从1890年到1930年，农业机械增长了6倍多，同时，劳动生产率也增加了4倍。

内燃机的发明和应用，促进了汽车工业的发展。19世纪末，美国的福特看到了汽车对交通工具变革的巨大意义，他坚信只有大量生产简便而结实的汽车才能降低价格，而价格低又能促进人们的购买力，反过来又可以增加生产量。

1903年，福特在底特律创立了福特汽车公司，1908年开始生产T型汽车，同时建立了大批量生产的方式。过去装配汽车的方法是全组人员围着车架工作，而零件要靠拖车或载重汽车从别的车间运来，很费时间。

福特改变了这种大批量生产的传统方式，把工作分成最简单的基本单元，让工人在装配线两侧只做某一种作业，从而大大提高了生产率。

这种作业大大降低了汽车价格，使汽车成为大众化的消费品。从小批量生产转入大批量生产，是生产方式的一次重大改革，它很快就在世界各地得到普遍推广，这种生产不仅在汽车工厂，在其他行业都得到普及。

从19世纪中叶到20世纪初，是技术体系结构发生革命性变革的时期。钢铁技术的发展，不仅适应于已有技术对材料的需要，而且为新技术体系的形成提供了基础。

1713—1735年，达比父子发明的焦炭炼铁方法使炼铁技术有了重大进步。相比之下，炼钢技术明显落后了。在19世纪中叶以前，炼钢方法主要有两种：一是英国在18世纪初用的渗碳方法，把低含碳量的熟铁放在木炭上加热，使其含碳量增高，生产出“泡钢”；二是英国人亨茨曼发明的坩锅法，

用煤气作燃料，在坩锅中把铁炼成钢，称为“铸钢”。

第一种方法周期很长，生产一炉“泡钢”约十几天时间，后一种方法产量有限，一次产量不过几十公斤。

在 19 世纪中叶以前，钢是一种特殊产品，价格为铁的 5 倍。但是，社会对钢的需求量却在日益增加。

值得一提的是 1830 年以后，欧美各国兴起了修筑铁路的热潮。这样，对钢的需求更加突出。在这种迫切需求下，新的炼钢法在 19 世纪下半叶出现了。

1847 年，美国匹兹堡的糖锅制造者凯利在自己办的铁工厂里，实验了一种新的炼钢方法，即所谓空气沸腾法。

其方法是给炼钢炉中的铁水吹入空气，这样可以除去铸铁中所含的碳，并由于铁水中碳的快燃而获得高温，这样就可以在不加燃料的情况下把铁炼成钢。

当凯利对自己的发明严加保密时，英国人贝塞麦也几乎在同时发明了相同的方法，并立即于 1855 年取得了美国专利。

凯利直到 1856 年才提出申请专利。两个几乎在同时作出同样的发明，在技术史上并不少见，这表明技术发明出现的必然性。

使贝塞麦研究新的炼钢方法的直接动机是为了研制新式枪炮的需要。

在英、法支持土耳其同俄国进行克里米亚战争期间，贝塞麦在枪筒内部加了来复线，提高了步枪射程和命中率。但要将这项发明用于大炮，在炮筒内加来复线必须使炮弹与炮筒配合得十分严密，而这种严密配合使炮弹出膛前一直保持高压，若用原来的铸铁作为炮筒则可能使炮筒被炸裂。

为此就必须炼制一种能耐受高压的铁。贝塞麦在实验中发现强化鼓风既可以提高炉温，又可以减少铁水中的杂质和含碳量。他经过反复实验，终于取得了预期的结果。

贝塞麦在总结他的发明时说：比起许多研究同样问题的人，我有一个极大的有利条件，那就是我没被长期既定的惯例所形成的观念束缚思想，造成偏见。

不为传统观念所束缚，正是一切发明家取得成功的共同要素。后来，贝塞麦的炼钢法又经过许多人的改进而日趋成熟。

任何技术发明的适用范围总是有限的。当贝塞麦的转炉炼钢法迅速推广时，许多应用此法炼钢的企业却发现炼出的钢质太脆，由此引起了一场对贝塞麦的攻击。

经过认真研究，贝塞麦发现凡是出现上述毛病的转炉，所使用的都是含磷、硫较高的矿石，由于铁水中磷成份过高而使钢变脆。

转炉炼钢法的应用，使钢产量激增。钢的大量使用又产生了大量工业废钢。转炉只能利用铁水作原料来炼钢，而要把废钢再炼成新钢，又是一个技术难题。

1864 年，法国人马丁改造了炉体结构，在英国籍德国人西门子兄弟的帮助下，终于用废铁和生铁合金试炼出了优质钢，创造了西门子—马丁平炉炼钢法。

尽管平炉法冶炼时间较长，一般约 24 小时左右，但它的炉容很大，一炉便可炼出上百吨钢水，所以产量很高。因而它也得到迅速推广，且与转炉炼钢法并驾齐驱。

随着钢铁冶炼技术的发展，钢铁加工技术也迅速发展起来了。轧机作为主要加工钢铁的设备而不断更新，相继出现了三段轧辊、四段轧辊和万能轧机。

就像纺纱与织布技术相互影响一样，炼铁与炼钢技术从 19 世纪中叶开始也相互促进，形成了高炉、平炉、转炉、铸钢、轧钢的产业技术系统，并日益完善。

19 世纪中叶以后，钢材在许多方面代替了铁，成为工业的重要支柱，开创了材料工业的钢铁时代，以至进入 20 世纪以后，人们把钢铁拥有量作为国家经济军事实力的重要标志。

通过以上分析可以看出，工业革命推动了技术进步，科学技术反过来又推动社会的发展。一方面大工业生产提出了许多自然科学研究的课题，并为解决这些课题提供了大量的可供研究的资料。另一方面，大工业生产又为科学实验活动的开展提供了大量的先进仪器和设备。一大批“智慧工具”随着工业革命的发展被发明和制造出来。

各种精密仪器的出现，推动了 19 世纪科学实验活动的发展。如精密天平、光谱分析、精密显微镜、电流计、电压计等，这些科学仪器都是科学和大工业的产物。有了这些仪器，加快了物理进程。欲知后事如何，且听下回分解。

第六回 探幽烛微 物理学家呕心沥血 执因果 电磁现象原形毕露

富兰克林用特制的风筝“捉天电”。利赫曼用自己制做好的“检雷器”验电，被巨雷打死。伽伐尼通过蛙腿神经痉挛，发现了电位差。法拉第发现了电磁感应，完成了电和磁的统一。

且说上回书讲到 18 世纪末以英国为首的欧洲各国开展了工业革命，进而蔓延到世界各地。从 19 世纪中叶到 20 世纪初，由工业革命带动，技术体系结构发生革命性变革，物理学的前沿一下子扩大了，电磁学体系就是在此期间完成的。下面我们就来叙述电学发展过程。

关于电和磁现象的系统研究开始于 18 世纪。毫无疑问，实验技术和理论研究方面的成就对此有一定的影响。但是最主要的原因还是当时社会生活的实际需要。尽管电学和磁学直接用于生产技术是 19 世纪中叶的事情，然而社会实践对于物理学科这一领域的发展，也是决定性的。

且说对“神秘”的电磁现象的全面探讨。

对于电和磁现象第一个系统地进行科学研究的是英国的吉尔伯特（1540—1603）。

他的研究成果记载在 1600 年出版的《论磁、磁体和地球作为一个巨大的磁体》一书中。作为伽利略和培根的同代人，吉尔伯特跟他们一样，认为科学应建立在实验的基础上。

吉尔伯特对电和磁现象进行了实验研究并确定一些重要事实，他确立：

- （1）只有磁性物体（磁铁矿、铁和钢）才具有磁的引力或斥力。
- （2）磁体恒有南、北两极，而同名极相斥，异名极相吸。把一个磁体锯断时，不可能得到只有一个磁极的磁体。
- （3）铁制物品在磁体的影响下也会磁化。

他在解释磁性罗盘的作用时，断定地球本身也是一个大磁体，它的磁极与地球上两极不重合。他还解释了磁倾角。

吉尔伯特对电现象也进行了研究。他从琥珀经摩擦后会吸引轻小物体的现象中受到启发，有意识地收集了金刚石、蓝宝石、水晶、硫磺等物质，经过摩擦后，发现它们都具有吸引轻小物质的能力，吉尔伯特把这种作用和磁作用加以区别，引入了“电的”作用。

他通过实验认识到电现象也是物质存在的一种普遍现象，从而破除了人们对电的迷信。他把电与磁作比较，发现了它们所具有的不同性质：

第一，自然界中只有磁体才有磁性，它是磁体本身具有的一种性质，而电是可以通过摩擦等手段产生的。

第二，磁性有两种：吸引和排斥；而电性仅仅有吸引作用。磁石只对可磁化的物质才有力的作用，而带电体可吸引任何轻小物体。

第三，电吸引比磁吸引弱。

第四，磁体间的作用不受中间的纸片、亚麻布等物体的影响，而带电体之间的作用要受中间这些纸或布的影响。当带电体浸在水中时，电力的作用就消失，而磁体的磁力不会消失。

吉尔伯特还制作了第一个实验用的验电器，他用一根极细的金属棒，中心固定在支座上，可以自由转动。由于金属细棒极轻，因此当摩擦后的带电物体靠近它时，金属棒会被吸引而转向带电体，由此可探测物体是否带电。

吉尔伯特着重强调电与磁本质上的不同，给整个电磁学的历史留下了深刻的痕迹。在很长一段时间内，人们都认为电与磁是相互无关的两种现象，分别进行研究。后面我们将介绍直到法拉第和安培才找到了它们之间本质的联系。

吉尔伯特之后，电和磁现象方面的工作很少有进展，在此期间有葛立克利用他自己制成的一个起电球发现轻微物体不仅为带电体所吸引，而且也可以被它们排斥，从而纠正了吉尔伯特的看法。

从18世纪开始，电和磁的研究迅速发展起来了。英国科学家格雷（1670—1736）在1729年研究了导电现象。

他注意到受过摩擦的玻璃管，可以把它的电力传递给其他物体。这一发现使人们知道除去摩擦之外，还有其他可以使物体带电的方法。格雷还发现不是所有的物体都具有这种性质，于是他把物体分为两类：导体和非导体。

接着，法国科学家杜费（1698—1739）在18世纪30年代初发现存在两种电，他称为“玻璃电”和“树脂电”。随后，在电现象研究中，有着重要影响的有：莱顿瓶的发明、大气电现象的研究。到18世纪中叶，在物理学家面前出现了电本性问题。

莱顿瓶的发明是电学发展中十分重要的一步。它是由荷兰物理学家马森布洛克（1692—1761）在1745年发明的。因马森布洛克是荷兰莱顿人，故这种发明称莱顿瓶。

在那时候常会出现这种现象：好不容易取得的电往往在空气中逐渐消失。因此，人们试图找一种保存电的方法。

马森布洛克想能否使电藏在装水的瓶中呢？他将一根铁棒用两根丝线悬挂在空中，用起电机与铁棒相连，再用一根铜线从铁棒引出，浸在一个盛有水的玻璃瓶中，然后开始实验。

他叫一助手一手握住玻璃瓶，马森布洛克在旁使劲摇动起电机。这时，他的助手不小心另一只手碰到铁棒，猛然感到一阵强烈的打击，全身颤抖了一下，不禁喊叫起来。

马森布洛克注意到这种情况后，与助手交换了一下位置，让助手摇起电机，他自己用右手托住水瓶子，用另一只手去碰铁棒，这时他的手臂与身体也产生了一种恐怖感，“像受到一次雷击那样”。

他由此得出结论，把带电体放在玻璃瓶内可以使电保存下来。但是他搞不清楚保持电荷作用的是瓶子还是水。

不久，马森布洛克对莱顿瓶进行了改进，把玻璃瓶的内壁与外壁都用金属箔贴上，在莱顿瓶顶盖上插一根金属棒，它的上端连接一个金属球，下端通过金属链与内壁相连。

实际上莱顿瓶是一个普通的电容器。若把它的外壁接地，而金属球连接到电荷源上，则在莱顿瓶的内壁和外壁之间会积聚起相当多的电荷，当莱顿瓶放电时可以通过相当大的瞬间电流。

莱顿瓶的发明，为科学界提供了一种贮存电的方法，为进一步研究电学提供了依据，对电知识的发展起了重要作用。

莱顿瓶发明以后，英国的物理学家考林森邮寄了一只莱顿瓶给美国费城的物理学家富兰克林（1706—1790），并在信中向他介绍了使用方法。这样莱顿瓶很快传播到了北美。

富兰克林对此极有兴趣，并且他利用莱顿瓶作了一系列实验，对莱顿瓶

的功效进行了深入的分析。

富兰克林用莱顿瓶做的第一个重要实验是发现了正电和负电，以及电荷守恒定律。

他让两人分别站在绝缘的箱子上，第一个人摩擦一支玻璃棒，然后让第二人用肘部接触这根玻璃棒；并让两人分别与站在地上的第三人相互接触。结果发现第一、第三人，第二、第三人之间都有火花。这说明第一、第二人都带电。

他又做了这个实验，先让第一、第二人摩擦带电，相互接触，再让第三人分别接触，结果都没有火花。这说明第一、第二人接触后都不带电。

富兰克林解释了这一现象，他提出了单元电液理论，即平衡时电液以一定的比例存在于物质中。

在上面实验中，摩擦的作用使得第一人身上的某些电液转移到玻璃棒上，第二人与玻璃棒摩擦后又转移到第二人身上。因此第一人缺少的电液，正是第二人多余的电液；第一、二人接触后，又使多余电液回到第一人身上，从而使第一、第二人都带有正常数量的电液，即不多也不少，故不显电性。

在此基础上，富兰克林提出了正电和负电的概念，认为缺少电液就带负电，用“-”号表示；多余电液就带正电，用“+”号表示。而且正、负电荷可以相互抵消。

富兰克林认为摩擦之所以带电，只是使电液从一个物体转移到另一个物体上。“电不因摩擦而生，只是从摩擦者转移到玻璃棒，摩擦者失去的电与玻璃棒得到的电完全相同”。这就是电荷守恒定律。

富兰克林又做了另一项重大实验，证明了雷电与摩擦电本质是一致的，破除了人们对雷电的迷信。

长期以来，由于雷电的破坏性太大，人们都有一种恐惧心理。再因为当时技术知识落后，无法解释这一现象。宗教为愚弄人们，借机说“雷电”是“上帝之火”，是天神发怒的结果。

富兰克林不信这种说法，他一直在思考雷电与摩擦起电是否一致，如果不同又有什么区别。

有一天他加大容量，将几只莱顿瓶连起来做实验。当实验正在进行时，他的夫人丽达进来观看，一不小心碰倒了莱顿瓶，突然闪过一团电火，随着一声轰响，丽达被电击倒在地，不省人事，经抢救才脱险。

这件事给富兰克林留下了深刻的印象，唤起了他的联想，尤其是那伴随轰鸣声的电火，也是电光闪闪，轰声隆隆。因此他觉得有必要将雷电捉下来研究。

他在1752年7月的一个雷雨天作了一个实验，企图把天电捉下来看看。

实验时富兰克林用绸子作了一个大风筝，风筝顶上安上一根尖细的铁丝，用它来捉天电，并用绳子与这铁丝连起来，麻绳的末端拴一根铜钥匙，钥匙塞在莱顿瓶中间。

他和他的儿子一起将风筝放到天空中，这时一阵雷打下来，富兰克林顿时感到一阵麻木，于是他赶紧用丝绸把绳子包起来，继续捉天电。当他用另一支手去靠近钥匙时，蓝白色的火花向他手上击来，天电终于捉下来了。

富兰克林用这种方法使莱顿瓶充电，发现这种天电同样可以点燃酒精灯，也可以用做充电机产生的电来做许多电的实验，从而证明天电和地电是一回事。

富兰克林的实验有很大的危险性，雷电的伤害性时有发生，富兰克林为了实验而把生命置之度外的精神是值得学习的。他所以未出事故，也是一种侥幸。

当富兰克林的实验传到俄国后，俄国科学院院士利赫曼教授和他的学生罗蒙诺索夫也研究了实验，并对雷电现象作了大量的研究。他们自己设计了一个“检雷器”，想断定云中是否有电。

1753年夏天，利赫曼正在实验室作实验，突然电闪雷鸣，下起了雷雨。他便匆匆赶回家，准备观察“检雷器”的仪器指针有什么变化，不料一个巨雷打来，击倒了利赫曼，待其他人赶到，利赫曼已贡献了自己的生命。从这里可以看出，人类在攀登科学高峰时，需付出艰辛的劳动，甚至生命。

弄清了雷电的本质后，富兰克林提出了用避雷针来保护建筑的建议，即在屋顶上安装尖端铁丝，通往地下。1754年首先在普兰梯兹城安装了避雷针。

有人问，尖端为何能削弱雷电？富兰克林回答：雷电酷似静电放电，如它的颜色、扭扭曲曲的放电路径、声音、危害性等。因此用一个矗立的尖端能吸引雷电到地上。

避雷针的发明是电学史上第一个实际应用，至今我们还在利用。

到了18世纪，人们已在静电学和静磁学的领域中，确立了一系列基本概念，确立了一些个别规律，也形成了关于电现象和磁现象的一些学说。但电学和磁学仍是相互独立的学科，本身没有大的进展。从1780年伽伐尼发现生物电开始，人们更深一步研究电学和磁学，并把它们统一为一体，开辟了电磁学新领域。

从很早的时候，人们就知道水生动物有引起电震的能力。在莱顿瓶发明以后，人们开始考虑莱顿瓶放电生理效应与动物引起电震的相似性。

在对动物电有兴趣的人中，有一位意大利动物学家和医生伽伐尼（1737—1798），他在偶然的发现了一种动物电，后人称为“伽伐尼电流”：

有一次，他妻子身体不好，要吃蛙腿肉。伽伐尼亲自去宰青蛙，当他把青蛙剥了皮后，就把青蛙放在靠近起电机的桌子上，然后离开了房间。他妻子偶然拿起外科用的手术刀，刀尖碰到了蛙腿外露的小腿神经，结果打出了电火花，蛙腿激烈地痉挛起来。

她把此事告诉了丈夫，伽伐尼觉得有意思，自己也做了这个实验，结果看到同样的现象。出于对科学的责任感，伽伐尼决定探索其原因。他选择了不同的条件、不同的时间重复这个实验。

开始时，伽伐尼用铜丝与铁窗连着，在晴雨天做实验，青蛙腿都发生痉挛。接着，他只用铜丝去接触蛙腿，结果不发生痉挛。

后来他找了一间封闭的房间，将青蛙放在铁板上，用铜丝去触它，结果一样，蛙腿发生了痉挛。这样就排除了外来电的可能。

以后，他又用其他动物做这个实验，用玻璃、橡胶、松香、石头等代替金属本身，结果都不发生这样的现象。他根据以上情况总结这个电是动物本身所有的，只要用一种以上的不同金属与之接触，电就能激发出来。

伽伐尼的青蛙实验在学术界引起了很大反响，尤其是“动物电”的观点，得到了很多人的支持。因为人们知道海洋中有许多带电的鱼，如电鳗、电鲷等，除青蛙以外，还有其他动物体内也贮存“动物电”。

也有一些科学家不赞成这种说法，意大利的物理学家伏打（1745—1827）

就是其中的一位。他打算深入地研究这个问题，又做了伽伐尼实验。

他推算一下，如果不是“动物电”，用其他已知电通过青蛙的肌肉，会有什么反应呢？结果发现，像伽伐尼所做的实验，青蛙的肌肉也会发生抽搐。由此他得出结论，青蛙的神经反应是被动的，它像“仪器”一样，记录了电荷的通过，不存在什么“动物电”。

在伽伐尼实验中看到的电荷现象，电来自于何处？他研究这种实验，以及两种不同金属接触情况。伏打猜想，可能是两种不同金属接触时产生的电。

伏打认为，每种金属都含有电液，当金属不带电时，电液处于平衡状态，并不显示电的存在。如果把两种不同的金属连接起来，金属内的电平衡被打破，电液移动，从一种金属移到另一种金属，在这种情况下，两种金属都带电了，一正一负。

从1792年起，伏打花了3年时间，用各种不同金属搭成一对一对的，做了许多实验，在实验中他把金属排成一行：锌、锡、铅、铜、银、金……等，他发现按这个序列，将前面的金属和后一个金属连接起来，前者带正电，后者带负电。伏打就这样发现了“接触电位差”，这是伏打引进的新概念。

但是利用上面发现的不同金属材料之间的接触电位差，不能解释伽伐尼的青蛙实验。因为用不同的金属材料制成的导线连成闭合电路，在这些金属之间也会产生电位差，但并不形成恒定的电荷流。

{ewc MVIMAGE, MVIMAGE, !07300160_0136_1.bmp}

实验时取铜和锌各一根，并把它们的一端连接起来。此时铜带正电，锌带负电；如果再把它们另一端也连接起来，则铜的第二个端点也带正电，锌导线的第二个端点也带负电（见上图）。因而在这个回路中不会得到恒定的电荷流。

伏打进一步分析了伽伐尼实验，指出，不仅两种金属接触时会产生电流效应，而且金属浸在液体中时，也会有同样的效应。

1795年伏打还把导体分为两类：一类是金属和其他固体（如石墨）；另一类是导电液和纤维物。这样就可以解释伽伐尼实验。

他解释说：由两种不同金属的接触，使其中电的平衡遭到破坏；又因为金属通过青蛙肌肉连接在一起，使电的平衡得以恢复。这样电的平衡不断破坏，又不断地恢复，这种情况下电始终在运动。

从现在观点看，伏打对伽伐尼实验的这种解释是错误的，但这种情况也促使伏打产生了发明直流电源的想法。

开始时伏打用几只碗盛了盐水，把几对黄铜与锌做成的电极连结起来，发现会有电流产生，这样伏打于1800年制成了“伏打电堆”。

电堆是由数十个银与锌的圆板相互迭加而成，在这些圆板之间放上一张浸液片，这样就成了一个电堆，它能产生相当多的电荷。

伏打不仅用这个电堆产生了同莱顿瓶一样的电，而且还具有明显的反复产生的性能。把电堆两端用金属导线连结起来就可以获得持续的电流。

如果用手指接触上下两端，就感到强烈的电击。这种作用与莱顿瓶相似，但不像莱顿瓶一次放完电。

伏打把“伏打电堆”叫做电池组。他又把接在电池组两端的金属丝触及皮肤的两个地方，他亲自实验，一动不动地忍受着。在接触的瞬间，他感到电击，不一会儿他觉得金属接触之处疼得厉害。

在回路闭合期间，这种疼痛一直继续着，断开时就消失了。伏打从这种

实验中得出结论：电池组的作用能使电流持续不断地循环流动，直到断开回路。

伏打电池组的发明，使人们第一次可以获得稳定而持续的电流，这为科学家们从研究静电现象跃到动电现象提供了技术基础。

有了电池组，不仅使人们进一步对电池组产生电荷现象的原因进行了研究，而且使人们在电化学、化学电源等方面的研究更进一步。更重要的是使人们对有了电流以后有什么新现象，电流对人类有何新用途等问题进行了广泛的研究。

伏打是电学的奠基人，他发现了电位实验定律，对电流的回路进行了正确的描述，这无疑为电磁学研究的高潮到来创造了条件。

1801年伏打到巴黎进行学术访问，法国皇帝拿破仑一世召见了她，并且亲自观看了伏打的实验表演。拿破仑看到了伏打电池对科学与社会的潜在影响，认为化学电源“是通向伟大发现的道路”。

拿破仑还提议设立“伽伐尼电”奖金，每年奖给一位做出巨大贡献的电学家。为了纪念伏打的贡献，以他的名字命名了电源的电动势和电路中电势差的单位，即伏特。

1800年3月20日，伏打把伏打电堆的发现告知皇家学会，该学会会刊马上登载了伏打的报告。尼科尔森（1753—1815）从皇家学会主席班克斯那里获悉这个消息后，立即和朋友卡莱尔（1768—1840）一起着手实验，他们于4月30日在英国成功地组装了最早的电池组。

他们还在5月2日发现了电解这一重大成果。

这个发现源于下述事实：他们为了使金属丝和极板良好接触，便在接点处滴上一滴水，结果产生了小气泡。

他们由此想到，把浸在电池组两端的金属丝浸在装满水的管里，结果从一个金属丝处产生可燃气体，而另一个金属丝被氧化。如果使用铂丝，则不是氧化，而产生氧气泡，可燃气体为氢气。同一年，李特利利用电池组成功地使水分解。

电解的发现使人们对电具有的能力抱有更大的希望。电池组可以使电流持续不断地流动，人们以为这显示电的异常能力，电池具有无限的能力。

有人期待，用它可以造出永动机。可是，不久人们便了解到，电池使电流持续流动时，本身也受到操作，能力显著减低。最后人们也弄清楚了，电流流动时，在电池内的溶液发生电解，由于生成的离子附在电极的周围，在电极处产生了相反的电势差，从而使电动势显著下降。

人们为了防止电解极化，开始努力排除电池作用的变化。物理学家丹聂有（1790—1845）于1836年首次制成了稳定的电池。

其后，许多人在早期电池改进方面做出了贡献。1859年，普朗忒（1834—1899）发明了反过来利用极化而能够反复充电多次使用的蓄电池。

自古以来，人们就注意到电现象和磁现象的类似。而且库仑在电磁学研究中也指出：电力和磁力都遵守反平方定律，这使人们想到，这两者之间存在着某种联系。

电池的发明，更使人们想知道这种联系。有人猜想电与磁之间存在化学现象，也做了大量的实验。到1805年，一些人不间断地做同样的实验，结果没有看到预期的现象，从此物理学家不再关心这个问题了。

在上述早期实验中，1802年意大利法律学家、哲学家罗马诺西所做的实

验接近电磁现象的边缘，引起了人们的注意。因为罗马诺西在寻找电池组对磁针的影响时，无意识地观察到磁针和电流的磁作用。

但是，人们在寻求电池组的两极和磁铁两极之间的类似性时，仅仅预料到电池组和磁铁之间存在着静力作用。罗马诺西没有意识到自己所观察到的事实的意义，也不打算进一步深入研究它。

罗马诺西电流磁作用的发现就这样半途而废了。经过近 20 年以后，由奥斯特（1777—1841）于 1820 年初完成了这一发现。

奥斯特是丹麦物理学家、化学家。奥斯特在物理学和化学等方面都有重大发现，特别是在电学实验和研究中，有突破性的重大发现：电流的磁效应。

长期以来，磁现象与电现象是被分别研究的，特别是吉尔伯特对磁现象和电现象进行深入分析对比后断言电与磁是两种截然不同的现象，没有一致性。

以后，许多科学家也断言电与磁没有什么联系。连伟大的物理学家库仑也认为：电与磁是两种不同的实体，它们不可能相互作用或转化。

电与磁是否有一定的联系的疑问还存在于一些科学家头脑中，包括丹麦物理学家奥斯特。奥斯特坚信客观世界的各种力具有统一性，并开始对电、磁的统一性进行了研究。

1751 年富兰克林用莱顿瓶放电的办法使钢针磁化，对奥斯特启发很大，他认为电转化为磁是完全有可能的，问题是如何来实现。电与磁转化的条件才是关键。

开始时，奥斯特根据电流通过直径较小的导线会发热的现象推测：如果通电导线的直径进一步缩小，那么导线就会发光，如果直径缩小到一定程度，就会产生磁效应。

奥斯特按照这种方法实验并未发现电向磁转化现象。他并没有灰心，仍在不断实验，不断思索。他分析以上实验都是在电流方向上寻找电流的磁效应，结果都不行，是否是电流对磁体的作用根本不是纵向的，而是一种横向的力，于是奥斯特继续探索。

1820 年 4 月的一天晚上，奥斯特正在讲课，突然来了“灵感”，在讲课结束时说：“让我把通电导线与磁针平行放置来试试看。”于是他在一个小伽伐尼电池的两极之间接上一根很细的铂丝，在铂丝正下方放置一枚磁针，然后接通电源，小磁针微微地跳动，转到与铂丝垂直的方向。小磁针的摆动，对听课的听众来说并没什么。但对奥斯特来说实在太重要了。多年盼望出现的现象，终于出现了。他又改变电流方向，发现小磁针向相反方向偏转，说明电流方向与磁针转动之间有着某种联系。

奥斯特为了弄清楚电流对磁针的作用，于 1820 年，花了几个月时间，做了 60 多个实验。他把磁针分别放在导线的上方、下方，考察了电流对磁针作用的方向；把磁针放在距导线不同的距离，考察了电流对磁针作用的强弱；把玻璃、金属、木头、石头、松脂等放在磁针和导线之间，考察电流对磁针的影响；

1820 年 7 月 21 日他发表了题为《关于磁针上电流碰撞的实验》的论文，这篇论文仅用 4 页纸，简洁地报告了他的实验，向科学界宣布了电流的磁效应。

奥斯特当时把电流对磁体的作用称为“电流碰撞”，他总结出了两个特点：一是电流碰撞存在于载流导线的周围；二是电流碰撞沿着螺线方向垂直

于导线的螺旋线传播。

1820年7月21日作为一个划时代的日子载入史册，它揭开了电磁学的序幕，标志着电磁学时代的到来。

奥斯特的发现轰动了整个欧洲，对法国学术界震动很大。法国物理学家阿拉果听到了奥斯特发现电流磁效应的消息，感到这一成果的重要性，立即于1820年9月初从瑞士赶回法国。

阿拉果回国后即向法国科学院报告了奥斯特的这一发现，他详细地向其他学者们描述了电流磁效应的实验。阿拉果的报告，在法国科学家中引起了很大反响。

当时，法国物理学家安培（1775—1836）对此作出了异乎寻常的反应。他于第二天就重复了奥斯特实验，并加以发展。在同一周内他向法国科学院报告了第一篇论文，阐述了他重复做的电流对磁针的实验，并提出了圆形电流产生磁性的可能性。

安培在他做的实验中发现磁针转动方向与电流方向的关系服从右手定则，即是后人称呼的“安培右手定则”。

安培在此基础上又发展了实验内容，研究了电流对电流的作用，这比奥斯特实验大大前进了一步。

8月25日他又向科学院递交了第二篇论文，阐述了他用实验证明了两平行载流导线：当电流方向相同时互相吸引，当电流方向相反时互相排斥。

安培又用各种形状的曲线载流导线实验，研究了它们之间的相互作用，并于10月9日递交了第三篇论文。

之后安培又花了两三个月时间集中力量研究电流之间的相互作用。安培用精巧的实验和丰富的数学知识结合起来，做了4个实验：

第一个实验，安培用一无定向秤检验对折通电导线有没有作用力，结果是否定的，从而证明当电流反向时，它产生的作用也相反。

第二个实验，安培仍用一无定向秤检验一对折通电导线，只是这时对折导线另一端绕成螺旋线，结果也是否定的。从而证明，电流元具有矢量作用，即许多电流元的合作用等于单个电流元所产生的作用的矢量和。

第三个实验，安培设计了一个装置，用一端定于圆心的绝缘柄固连一圆弧形导体，再将圆弧形导体架在两个通电的水银槽上，然后用各种通电线圈对它作用，结果却不能使圆弧形导体沿其电流方向运动。从而证明，作用在电流元上的力是与它垂直的。

第四个实验，安培用A、B、C三个相同的线圈，这三个线圈的长度之比与三线圈间距之比一致，通电后发现：A、C线圈对B线圈的合作用为零。从而证明，各电流强度和相互作用距离增加同样倍数时，作用力不变。

安培在实验的基础上，总结得出了两电流元之间的作用力与距离平方成反比的公式，这就是安培定律。安培于同年12月4日法国科学院报告了这个极其重要的成果。

为了解释奥斯特效应，安培把磁的本质简化为电流，认为磁体有一种绕磁轴旋进的电流，磁体中的电流与导体中的电流相互作用便导致了磁体的转动。

安培认为，闭合回路具有和磁铁一样的行为，反过来说，磁铁的各种性质就是闭合电流的效应。

安培还想到，在磁铁的所有部分都存在着球形电流。安培把磁铁视为内

部具有微小圆电流的分子的集合，他的分子电流说诞生了。

1827年安培发表了《电动力学现象的理论》，认为在磁性物质中，电流沿着磁轴方向规律地排列，从而显现一种绕磁轴旋转的电流，如同螺线管电流一样。

后来法国数学家拉普拉斯（1749—1827）用绝妙的数学分析，把实验结果提高到理论高度，给出了电流元所产生的磁场强度公式，阐明电流元在空间某点所产生的磁场强度的大小正比于电流元的大小，反比于电流元到该点距离的平方，磁场强度的方向按右手螺旋法则确定，垂直于电流元到场点的距离。

奥斯特的发现揭示了长期以来认为性质不同的电现象和磁现象之间的联系，电磁学进入了一个崭新发展时期。为了纪念这位科学家，人们从1934年起用“奥斯特”的名字命名磁场强度的单位。

从1820年7月奥斯特发表电磁效应到12月安培提出安培定律，仅经历了4个多月时间，电磁学产生了飞跃，开创了电动力学理论。

奥斯特的重要发现是电流的磁化作用。1820年秋，英国的发明家阿拉哥和戴维各自独立地发现了这一现象。在德国，物理学家施魏格乐（1779—1857）和波根多夫也在这一年利用奥斯特的发现分别制成了检流计。

检流计的构造是这样的：把小磁针放在几层导线绕成的环的中心上。后来在相当长时间内被称为倍增器。

再说，戴维是英国的著名化学家，他对物理学也有重要贡献。

戴维的重要贡献是发明了弧光灯、矿灯等。1809年，戴维在进行电学实验时，发现了电弧的强烈光芒，经过反复实验制成了弧光灯，这是历史上最早利用电光源。

他对白炽灯的研究也作过很大努力，实验时他发现电流通过白金丝时会发出微弱的光，这为后来爱迪生和斯万（1828—1914）发明白炽灯，提供了实验依据。

1815年戴维受一位煤矿主的请求，开始研究安全灯。他发现，用金属网把灯罩起来，罩内的火焰便不会烧到外面，因此可以避免瓦斯爆炸。

根据以上观察，戴维发明了矿井使用的安全灯，并在皇家学会上发表了论文。同年，史蒂芬森也发明了安全灯，他们曾在安全灯发明权上进行激烈的争论。

1817年以皇家学会为名的调查组经过调查宣布戴维是安全灯的发明者。事实上，史蒂芬森发明的时间要早些，只不过戴维的名望大些而已。

戴维的另一功劳是发现了法拉第（后面将作介绍）这个伟大物理学家。

1817年，在圣诞节前夕法拉第曾写信给戴维。1813年1月戴维接见了出身低微的法拉第，并把他安排在自己手下工作。因为戴维出身也贫苦，1789年以前曾在一家药店当药剂师的徒弟。

法拉第在戴维的培养下，迅速成长为著名的物理学家。后来戴维忌妒法拉第的成就，两人矛盾日益尖锐。1824年法拉第被选为皇家学会会员时，作为会长的戴维却投了反对票。

在奥斯特的电磁效应论文发表后，欧洲的科学家产生了极大的兴趣，他们投入了大量的人力、物力对电磁现象进行研究。他们想，既然电与磁有密切联系，电能产生磁，那么它的逆效应，“磁能产生电”吗？

科学家们进行了长期的这方面的实验探索。从1820年到1831年的10

多年时间内，许多科学家，如欧姆、安培、菲涅耳、阿拉果等都投身于探求磁与电的关系中。

他们用各种很强的磁场试图产生电流，均无结果。其根源是他们抱着稳态条件，没有考虑动态效应，结果 10 年研究进展不大。

在此期间，法拉第在他老师戴维的推荐下，也开始了电磁学方面的研究，取得了丰硕成果，并于 1831 年发现了电磁感应，开创了电磁学新里程。

法拉第（1791—1867）是英国物理学家、化学家。1791 年 9 月 22 日生于伦敦的一个贫苦铁匠家庭。由于生活困难，法拉第没有机会进入学校接受正规教育，仅仅读了两年半小学。也许这正是他成功的依据，法拉第的知识是完全靠自学的。

法拉第对电学和化学实验有较深的研究。1810 年，法拉第听了科学家塔特林的自然科学讲座，并在美术家玛斯克力那里学会了制图。

1812 年，法拉第开始听戴维的化学讲座，并自荐到皇家学会工作。戴维是学会会长，很赏识法拉第，并于 1813 年 3 月接收他为自己的助手。

1812 年 10 月，法拉第到欧洲各国讲学和参观，使法拉第得到了很好的学习机会，并且结识了安培、吕萨克等人。1815 年 4 月回国后，才致力于电磁学研究，取得了一系列重要成果。

1821 年他提出了“用磁生电”的设想，同年担任了皇家学院实验室总监。法拉第的研究成果层出不穷，引起了戴维的嫉妒之心，以至反对法拉第加入皇家学会。

但在 1824 年的选举中，法拉第还是被除了戴维以外的全体皇家学会会员投票通过，加入皇家学会。1825 年法拉第接替了戴维的职务，担任了皇家学会实验室主任。

以后法拉第把全部精力转向电磁学的研究。他仔细分析了电流的磁效应等现象，认为电流与磁的作用应分几个方面：电流对磁、电流对电流、磁对电流等。

当时已发现了电流产生磁作用，电流对电流的作用。反过来，磁也应该能产生电。法拉第认为既然磁铁可以使近旁的铁块感应带磁，静电荷可以使近旁的导体感应出电荷，那么电流也应该在近旁的线圈中感应出电流。

开始时法拉第也简单地认为用强磁铁靠近导线，导线中会产生稳定电流，或者在一根导线里通以强大的电流，那么邻近的导线中也会产生稳定的电流。

法拉第就这样反复实验磁能转化为电、电流产生电流。1831 年他又做磁产生电流这一实验时，终于取得了实质性的进展。

1831 年 8 月 29 日法拉第发现了电磁感应的第一个效应，即以一个电流产生另一个电流。实验如下：

（1）用软铁作材料制成 $7/8$ 英寸粗的圆铁棒，将它弯成一个外径为 6 英寸的圆环。在圆环的半边，用三股纱包铜线缠绕，每股 24 英寸长，每绕一股后用白布包裹隔开。使用时，既可以将三股铜线连成一股，也可分成三股单独使用。然后检查各股铜线相互间是否绝缘。我们称铁环的这半边为 A，与这一边隔开一段空隙的另一边用铜线绕两股线圈，总长为 60 英寸，绕向与 A 边线圈相同，我们称铁环另一边为 B。

（2）用由 10 对 4 英寸见方的金属片组成电池供电。用一根较长的铜导线将 B 边线圈的两端连接起来，铜线的一段置于离铁环 3 英尺远处的一个小

磁针的上方。将电池与 A 边线圈中的一股接通；接通时，小磁针立即产生了明显的效应。小磁针来回摆，最终稳定在原来的位置上。当切断 A 边与电池的连接时，小磁针又来回摆动。

(3) 若将 A 边上三股铜线接成一单股线圈，然后让来自电池的电流通过总的线圈，这时小磁针产生的效应比上述情况强得多。

(4) 将简单的 B 边线圈改装一下，作成一個扁平的线框，线框沿磁子午线平面放在小磁针 S 极的西边，当有电流通过时，便显示最好的效应。实验时，线框与小磁针距铁环约 4 英尺，铁环与电池相距 1 英尺。

(5) 当上述准备就绪后，将电池与 A 边线圈的两边接通，在接通的瞬间，线框强烈吸引小磁针，在几次振动之后便又回到它原来的自然位置；接着当切断电池的连线时，小磁针被强烈地排斥，几次振动后，又回到与前相同的位置，处于静止状态。

(6) 开始接通电池时，小磁针的方向指向线框，好像 B 边线圈是 A 边线圈的一部分，即两者中的电流方向具有相同的方向；而当切断电池的连线时，由小磁针的运动方向判断此瞬间 A、B 边的电流方向相反。

这是法拉第第一次成功地观察到电磁感应现象的生动记录。从法拉第的实验记载中可以看到，电磁感应现象（即由磁产生电）的发现是应该的，意外的是电磁感应竟是一种短暂效应。

在此之前奥斯特发现的电流磁效应是一种稳定效应，以此类推，电磁效应也应该是一种稳定效应。在实验中他发现电磁效应是短暂效应，他在实验记载中特别强调这一点。

法拉第做了圆环实验后，提出了两个很重要的问题：一是圆铁环能否不要，没有它能否仍有感应现象？二是不用 A 边线圈，若用磁铁相对于 B 边线圈运动，B 边线圈内是否会有感应效应产生？

针对这些问题，法拉第又做了许多实验。1831 年 9 月 24 日，法拉第在两条磁棒的 N、S 极中间放上一绕有线圈的圆铁棒，线圈与一电流计连接。他发现当圆铁棒脱离或接近两极的瞬间，电流计的指针就会偏转。

10 月 17 日法拉第又发现了另一种形式的电磁感应现象。他用一线圈与电流计相连接，然后将一永久磁铁迅速插入与拔出线圈，发现电流计指针也会偏转。

10 月 28 日法拉第进行了最早的发电机实验。通过实验，他发明了人类历史上第一台发电机——直流发电机。

法拉第在 1831 年前前后后一共做了几十个实验，最终认识到感应现象的暂时性，提出只有在变化时，静止导线中电流才能在另一根静止导线中感应出电流。而导线中的稳恒电流不可能在另一根静止导线中感应出电流。

1831 年 11 月 24 日，法拉第向英国皇家学会写了一篇论文，报告了整个实验情况，他把产生感应电流的情形概括为五种情况：一是变化的电流；二是变化的磁场；三是运动的稳恒电流；四是运动的磁铁；五是在磁场中运动的导体。

他在论文中正确地指出感应电流与原电流的变化有关，而与原电流本身无关。法拉第把上述现象正式命名为“电磁感应”。法拉第虽然发现了电磁感应现象，但电磁现象的规律，直到 1851 年才最后建立。

当时在电磁现象上作出贡献的不只是法拉第一人，在其他国家也有人在进行这方面的研究。瑞士的物理学家科拉顿曾企图用磁铁在线圈中获得电

流。

实验时他用一个线圈与一检流计连成一闭合回路，为了使磁铁不影响检流计中的小磁针，他把检流计放在隔壁房间。他把磁铁棒在线圈中不断插入或拔出，检流计的小指针都没能移动，他的实验没有结果。

美国的物理学家亨利（1797—1878）在 1827 年也进行了电磁感应的实验。他用纱包铜线在一铁芯上绕了两层，然后在铜线中通电，发现铁芯上仅 3 公斤的铁片能吸引 300 公斤的物质。

亨利以此为起点，终于发现了自感现象，他把这一发现记在《螺旋状长导线内的电气自感》一文中。从书上看，亨利先于法拉第发现了电磁感应，因他没能公开发表这一结果，使他十分后悔。

1832 年，俄国物理学家楞次（1804—1865）受法拉第的启发，也开始研究电磁学，并取得了成果。

1833 年楞次发表了《论动电感应引起的电流方向》，宣布了电磁感应现象的基本规律，指出感应电流的方向是使它所产生的磁场与引起感应的原磁场的变化方向相反，这就是楞次定律。

由此可见，在法拉第同代，不少物理学家对电磁现象花了较多时间研究，也有成功的。但就其规模、时间及深度都不及法拉第。

电磁感应规律的发现，对人类有着重大贡献。正因为有电磁感应作指导，才能在后来发明发电机、电动机和变压器等。今天，我们走入电气时代，与电磁感应的发现是不可分的。

早在 19 世纪 20 年代，英国的物理学家赫谢尔（1738—1822）就曾发现，一些自然晶体具有使偏振光的偏振面发生旋转的现象。赫谢尔的发现引起了法拉第的极大兴趣，他决心找出电力与偏振光的关系。

多次实验都失败了，直到 1845 年他还在研究这个实验，同年 9 月他终于成功地观察到磁使偏振光旋转的现象。

他的实验是这样安排的：先用一对磁极夹住一根玻璃棒的两端，然后让一束偏振光沿磁力线的方向通过玻璃棒，他通过检偏器发现从玻璃棒出来的偏振面，的确与这束光刚入射时的偏振面形成一定夹角。

法拉第还考查了既然磁是电流的一种效应，磁能使偏振光旋转，电流也应能使偏振光旋转。通过实验，果不其然，通电螺旋管是使偏振光旋转了。

法拉第的这一发现不仅是人类历史上首次发现磁对光的作用，而且还有它的前景应用。它在光信息处理、激光、光纤通讯、计算机等方面都有应用。

从上述所说，可以看到，进入 19 世纪以后，在电学和磁学方面已经取得了一些初步的成就。特别是伽伐尼和伏打的发现，使得对于电现象的研究，开始由静电转向动电领域。

19 世纪电磁学方面也健全起来了，特别是法拉第，堪称魁首，他做了大量电学、磁学、电化学、光学等方面实验，寻找电与磁、电与光、磁与光之间的关系，总结出一系列实验定律，为今后电磁学应用提供了理论依据。关于电磁学的发展，后面再作介绍。欲知后事如何，且听下回分解。

第七回 近代西方 物理进展神速 同期中国 科技落后挨打

唐宋以来，中国科技处于顶峰，并广泛向外国传播。到了明清之时却徘徊不前，原因何在？死水有微澜，方以智发表了《物理小识》；黄履庄发明的“瑞光镜”则是世界上最早的探照灯。

且说从 16 世纪到 19 世纪，是科学技术发展的重要时期。在欧洲，随着商品经济的兴起，欧洲各国纷纷建立了资本主义制度，并得到了巩固，近代科学技术有了突飞猛进的发展。

此时中国仍处于明清封建王朝的统治之下，曾经领先于世界的中国古代科学技术，与迅速发展的近代科学技术相比，显得太落后了。

中国的科学技术仍停留在原有水平上，没有向自然科学的实用化过渡，技术也缺乏科学理论的指引，特别是缺乏社会要求的激励，没能出现突破。西方的科学技术在工业革命的推动下，有了新的发展，开拓了物理学的前沿。可以说，古代科学技术是中国向西方传播科技成果，近代的科学技术从西方逐渐向东方传播。

从历史上看，每个国家都有自己的科学技术创造，同时也吸收别的国家的科技成果丰富和提高自己。

中国古代的科学技术虽受地理因素和政治、经济条件的约束，但还是发展了起来。中外交流在不断进行着。在近代前，中国科技成果外传的多，近代科技中国吸收的多。

中国与外国之间的科技交流是随同外事活动、文化交往和贸易往来发展的。汉朝张骞出使西域后，汉武帝又陆续派遣使者到西亚、印度、阿拉伯等国。

同时，中国也发展了海上运输。在海上，人们开辟了从福建泉州出南海，经缅甸、印度到斯里兰卡的航线，还有东到日本，南到印度尼西亚的航线。在陆上，则开辟了从长安到大秦的“丝绸之路”。

在外交中，促进了各国人民的经济、文化往来，同时也促进了科技成果的交流。主要是中国的科学技术直接传入阿拉伯国家和东南亚各国，又通过阿拉伯国家间接地传入希腊、罗马和埃及。

唐宋以后，海外贸易更为发展。随着海外贸易的繁荣，中外科技交流运动也日益发展。特别是明代郑和率庞大的船队 7 次下西洋，访问了亚洲和非洲的 30 多个国家，远到非洲的索马里、肯尼亚一带，在促进通商贸易和文化交流方面做出了重大贡献。

中国在封建时期的发展，自唐以后，不仅在经济上而且在科学技术上都逐渐达到高峰。

唐朝的经济、文化和科学技术首先对日本产生了深刻的影响。日本从 646 年开始文化革新，逐步完成了从奴隶制度向封建制国家的过渡。

日本这一“建设新国家”的历史业绩，就是“因为全国人民旗帜鲜明地把建设以唐朝为模范的文化国家作为标准而取得的”。唐代名僧东渡日本，不仅带去了佛教文化，而且使我国的天文仪器、造纸法、印刷术以及瓷器、铜镜等技术，在唐朝传入日本。

从 894 年到 1401 年，日本断绝了与中国的正式外交关系，但是两国的僧

侣、商人依然往来频繁，中国的先进文化，继续对日本有深刻的影响。

可以说在日本明治维新以前的文化史中，有很大一部分是中国文化的转移和延长。直到明治维新之后，西方文化的移植才成为日本文化史的主流。

中国古代的科学技术成果除了向日本传播以外，还向印度、伊朗、阿拉伯国家传送，并经那些国家传到欧洲。我国的造纸术首先传入阿拉伯国家，又通过阿拉伯传入欧洲，并在欧洲广泛传播。

我国的制瓷技术 11 世纪传到波斯，15 世纪传到意大利后，才在欧洲逐步推广。早在唐代，我国生产的硝石技术传到印度、阿拉伯和波斯等国。

到 13 世纪初，我国发明的火药又经印度传到阿拉伯国家，欧洲人在同阿拉伯人的战争中学会了由中国传入的火药和火器制造技术。后来欧洲又利用火药发展成了近代武器，近代武器成了他们欺压弱小国家的工具。

同时，唐代刚发明的雕版印刷术也开始外传，到 14 世纪末，欧洲才出现木版雕印的纸牌、圣像和书籍。德国谷腾保于 1456 年发明的活字印刷比毕昇的活字印刷术晚了 400 年。

众所周知，指南针也是我国四大发明之一，我国在发明指南针后，大概于公元 12 世纪末到 13 世纪初通过海上航路传到阿拉伯，然后再从阿拉伯传入欧洲。

我国用磁针指引航海方向的记载起始于公元 838 年至 1102 年这一段时间。稍后，我国古籍上有关指南针导航的记载还有公元 1123 年，北宋徐兢著《宣和奉使高丽图经》：“是夜洋中不可住，维视星斗前迈，若晦冥则指南浮针以揆南北。”生动地描述了航海与针盘之间的密切关系。

至宋末，船舶交通就已相当繁荣，到元代海运更发达，当时我国的大商船队活跃在南中国海及印度洋上，并到过波斯湾和非洲东边的岛屿。

到明代，我国的强大舰队曾几次远征到印度洋。这种长途的海上活动，如果没有构造进步，读数可靠的指南针来指引航路，是根本不可能的。

明、清时期，我国海道针经一类书籍相当丰富，许多已流传国外，像分别成书于 16 世纪及 18 世纪初的《顺风相送》和《指南正法》，迄今仍藏于英国牛津大学鲍德林图书馆中，最近国内才重新印行。

中国的罗盘指南针输入欧洲，促进了欧洲航海事业与探险事业的发展。1487 年，葡萄牙人迪亚士发现了非洲南端的好望角。

1492 年至 1500 年，意大利人哥伦布发现了新大陆，葡萄牙人伽马经好望角到印度，开辟了新航线。

1512 年至 1522 年，葡萄牙人麦哲伦率领的船队绕地球一周。航海事业的发展大大促进了交通运输业和商业的繁荣，使资本主义进入萌芽时期。

航海事业的发展，要求随时知道船舶在海上航行的位置，这就引起了人们对天文学研究的重视，绘制星图、星表的工作使天文学成为近代科学带头学科之一。

火药和罗盘指南针的应用和发展，构成后来的一“炮”一“舰”，成为资本主义掠夺殖民地的武器。另一方面，火炮的生产与使用需用力学，从而使力学成为近代科学发展史上的带头学科。

经过海上运输，中国的造纸术、火药、印刷术和指南针分别传入欧洲，使他们成了欧洲资产阶级摧毁封建统治的强大武器。

16 世纪近代自然科学在欧洲产生以后，中国在科学上已变得落后。18 世纪中叶，欧洲各国又相继开始工业革命，中国便在技术上日益落后于西方

了。所以从 16 世纪末开始了西方科学技术向中国传入的时期，结束了中国科学技术独特发展的局面。

中国古代的科学技术成果对中华民族屹立于世界民族之林作出了重大贡献，而且还对世界各国科学技术的发展产生过深远影响。

在古代，中国给予世界各国的科技知识远比世界各国给予中国的要多得多。我国古代的科学成果，包括它所蕴含的科学思想和科学方法，是一个极为丰富的宝库。

有些西方学者认为，中国古代的许多科学技术成果都是从印度、阿拉伯乃至西方传入的，他们坚持“欧洲中心论”，以为中国古代没有科学，只有技术，这是对历史的否定。

即使在现代条件下，我们仍有必要去开发中国古代科学技术的宝贵财富，从那些丰富的实用成果中，去发掘、剖析和揭示理论原理，这将有助于发现新的科学事实和科学规律。

中国古代的天文学所积累的观测记录对于研究超新星爆发已显示重要的科学价值。据说德国莱布尼兹在计算器研究中运用二进制，曾受中国《易经》阴阳八卦学说的启发。日本现代杰出的科学家汤川秀树自称，他在研究原子核内部结构从而提出介子假说时，是受中国古代庄子思想的影响。

正因为中国古代科学技术成果十分宝贵，在外国学者中研究中国古代科技史和思想文化史的人日益增多。我们自己应对我国古代科技成果采取积极的态度，应继承这些宝贵的财富，并把它发扬光大。

中国古代科技虽有辉煌的成就，但近代科学技术并未在中国诞生。只有当欧洲已经完成了哥白尼的天文学革命，建立了牛顿力学，整个自然科学都获得划时代的发展，以至到了近代科学技术崛起而完成了工业革命之后，近代科学技术才开始传入中国。

为什么中国古代的实用科学未能发展成近代科学呢？为什么明清以来我国的科学技术日益落后于西方？下面我们就来分析这个原因，以便我们能吸取教训。

中国的科技落后了，这是我们承认的事实。从科学内容和科学形态上看，中国古代的科学一直到明末清初，仍然处在经验的水平上。

翻开中国的科技史，可以看到，把《本草纲目》与过去的《本草》，《农政全书》与 1000 多年前的《齐民要术》，《天工开物》与 600 年前的《梦溪笔谈》相比较，就可以发现它们在科学形态上颇为相似，都是以记载和描述为主的实用科学，而未能上升到理论的高度。

同一时期在欧洲，从哥白尼、伽利略、刻卜勒直到牛顿，已把天上的力学与地上的力学结合起来，形成一个完整的理论体系。理论自然科学的诞生是科学形态的根本变化。

从科学的社会功能看，像哥白尼的天文学革命所起的巨大思想解放作用，或者牛顿力学在人们思想观念上引起的变革以及在社会实践中造成的后果，都是我国当时的无论哪一项科学成就所无法比拟的。

从这里可以看到从 16 世纪起中国的科学已经开始落后，到 17 世纪这种落后的状况已十分明显。

至于技术的发展，一方面要看到什么时候有什么样的杰出发明以及发明的多少；另一方面更要看到现实的技术，即发明的技术是否适用于社会需要。

我国在明代已发明了炼焦法，而英国到了 18 世纪初才发明炼焦法。这项

发明却在西方很快用于炼铁，并很快与蒸汽鼓风技术相结合，促进了近代钢铁冶炼技术的兴起；而中国的炼焦发明却未能引起中国钢铁冶炼的变革。

即使到明清时期中国仍有很多技术发明出现，但因为缺少科学理论指导而水平不高，或者也由于缺乏社会需求而未能获得广泛应用。

而欧洲从 15 至 18 世纪的技术发明单从数量上看也不突出，但在水平上却要高得多，特别是这些新发明几乎都迅速地得以广泛应用，并且为以前的发展开辟了应用途径，最终促成了工业革命。

分析中国科学技术在近代落后的原因，还有一个重要问题：既然中国古代有着辉煌科技成果，为何未能向近代科学技术转化？

一个原因是中国没有发生资产阶级革命，近代科学技术是伴随欧洲的资产阶级革命诞生的。但是在欧洲，近代科学技术也是早在欧洲的封建社会中就已开始孕育了。

有人提出，为什么在中国的封建社会里没孕育产生近代的科学技术呢？根据中国古代科学发展的特殊性，有人提出这是由于中国的独特科学发展道路和科学传统所致。

在世界各国的科学技术发展史中，都有过实用科学这种形态的自然知识，这是世界各国科技发展的共同性。但是，在中国，实用科学的发展却异常持久，异常丰富，且遥遥领先于其他国家。

中国实用科学稳步发展是由以下几个方面造成的。

第一，对于封建统治者来说，尽管他们出于奢侈生活和军事征战的目的也需要利用科学技术，然而封建依附不能产生科技发展的内在动力。

如郑和下西洋与哥伦布的航海冒险尽管在形式上相似，但目的却不同。前者是为了显示天朝帝国的国威，带回国内的只是贡品、礼品为统治者享受；后者则为了海外扩张的需要，两者最终都促进了海外贸易的发展。

当时中国社会重视君臣之礼、宗法伦常，重文学轻自然，重伦理轻科学，他们视科学技术为“奇技淫巧”。科学技术既然为封建王朝及“大业文人”所不齿，故就不能给科学技术的研究提供必要的条件。

在封建社会中，科学技术的发展只能是以自然经济为基础的缓慢积累过程。由农业和手工业生产方式的保守性，通常只要比原有状况略有改善就满足了。

第二，从我国古代科学家组成上看，他们大致包括工匠、失意文人学者、僧侣学者和官方科学家。

工匠是古代科学发展中的基础力量，是实用科学知识的直接创造者。古代许多科学著作都来源于他们的实践经验，然而，工匠毕竟文化素养不高，他们没有感到知识理论化的必要，也没有足够条件去实现知识的系统化和理论化。

在古代科学家中，有相当一部分人是由于反对正统思想和仕途失意而转向自然科学研究的人。如李时珍、宋应星等，他们十分重视生产经验和亲身体察，并利用他们的文化素养写下了著作。

中国的天文学、数学是由官方支持的，一些天文学家及数学家都是任职的。然而官方要求他们制订历法，用“天理”去整人，而不是要求人们去揭示自然的“天理”。

近代科学在欧洲兴起，其主要原因是实现了经验和理论的结合，实现了学者和工匠的统一。中国却没有这种结合的需要和条件，即使现在也不是解

决得很好。

第三，从科学和哲学的关系看，封建正统哲学对中国古代科学的影响，主要是它制约了哲学的主题。儒家哲学基本上是关于社会伦理的哲学，伦理哲学并不反映在人们对自然真理的认识和探索上，而是突出地反映在伦理道德观念上。

中国古代从孔子开始，对仁爱善恶等问题的兴趣，远比对“万物由什么构成”、“行星如何运动”、“天为何会下雨”之类问题更有兴趣。

尽管欧洲中世纪曾把柏拉图主义的伦理学加以发展，形成了经院哲学的统治，然而文艺复兴却冲破了经院哲学的束缚，为自然科学的发展开辟了道路。

孔子哲学在历史上虽有几次改造，在形式上也有一些变化，但是换汤不换药，其基本思想体系并无更易，它一直成为正统的哲学，阻碍了自然科学的发展。

事实上在我国古代科学家中具有明确哲学意识的人并不多，而在哲学家中对科学有深入研究的人也很少。中国的自然哲学相对薄弱，使用的实用科学的感性材料虽然丰富而未能理论化、系统化。

除了中国的实用技术未能向理性科学转化以外，造成中国近代科学落后的，还有其深刻的社会经济、政治的原因。

西方技术传入中国以后，也出现了“机户出资，机工出力”的资本占有者与雇佣劳动者之间的关系，即出现了资本主义的萌芽。随着手工业的发展，商业也日益繁荣，涌现了不少著名的商城。不少富户不再经营土地，而转向手工业和商业，成为早期的资本家和城市市民阶层。

但是中国封建统治者感到它会导致封建秩序和封建社会经济的瓦解，于是大力推行“重农轻商”政策，把萌芽的资本主义扼杀在摇篮中，封建经济关系一直保持着统治地位。

科学技术的发展取决于生产和社会的需要，同时也受生产关系的制约。由于科学技术在中国缺乏社会需求的推动力，西方近代科学技术虽然传入了，但不能在封建经济关系中发展。

鸦片战争后，伴随着西方科学技术的传入，中国又沦为半封建半殖民地社会。帝国主义同中国实行所谓的“合作政策”，主要是为了实现其经济扩张的需要，并非想把中国变为资本主义社会。

因此，西方的近代科学技术在中国只能在某些方面得以发展，如军事技术，而在很多方面又受到摧残。经济发展的畸型化又导致了科学技术发展的畸型化。

明清以来实行封建专制的思想统治，也是阻碍近代科学技术在中国进一步发展的重要因素。统治者们把知识分子引向死胡同，使他们把读死书、应考作为做官的资本；另外则大兴文字狱，加强文化专制。

明清以来在对外政策上采取时而开放，时而锁国的政策，而闭国自守则是主要的一面。16世纪明嘉靖年间为防止外寇对沿海的侵扰，曾实行了严厉的海禁政策。

到了雍正时期，又实行了更加严厉的海禁政策，中止同外国的一切经济、文化交流。直到鸦片战争，中国才无可奈何地开放门户。西方近代科学技术知识就是在这种过程中传入中国的。

近代以来，有许多国家也曾实行闭关锁国政策，如英法战争期间的法国，

19 世纪中叶前的日本，但没有一个像中国这样持续不断地坚持闭关锁国政策，并以“天朝大帝国”妄自称大。

科学技术的国际交流是科学技术发展的重要条件，闭关锁国政策严重阻碍了这种交流。中国即使在实行开放政策的时期，这种交流也是在官方的严密控制下进行的，且开放时间极短。

直到 19 世纪末在中国也未出现过整个社会同世界各国进行学术交流的气氛，这种状况妨碍了西方先进的科学技术在中国传播和发展。即使这样，西方科技在中国实行时开时闭的过程中也断断续续地传入一部分。

西方科学知识传入中国，以罗马教皇派遣耶稣教传教士来华为标志。从 16 世纪下半叶开始，西方国家派遣传教士来华，是为了配合其资本主义殖民扩张的需要。

且说中西方文化交流源远流长，最早可追溯到 13 世纪时意大利人马可波罗（1254—1324）来华参观学习。他 17 年后回国，积极向欧洲人民介绍东方文化，促进了西方航海事业的发展，导致了哥伦布发现新大陆，迪亚士发现好望角等。

明代以后，我国科学技术由先进转变为落后，而欧洲随着资本主义的兴起，自然科学得到了迅猛发展。所以从明末清初开始，西学东渐成为中外自然科学、包括物理学发展中的主流。

随着一大批耶稣会传教士来华，近代刚刚兴起的西方物理学和其他自然科学开始输入中国。

传教士中最先来华的是意大利人利玛窦（1552—1610），他虽是传教士，但对西方科学有较深的造诣。他自明万历九年（1581 年）来我国后，就努力学习汉语。

他来华后，一方面传教，一方面灌输西方的自然科学知识。而在接受和传播西方自然科学过程中，明末清初的学者徐光启（1562—1633）起了主导作用，他成为我国第一个自然科学翻译家。

公元 1604 年至 1607 年，徐光启从利玛窦口中得到了许多西洋的科学知识。他觉得西洋科学内容很丰富，而且可以从传教士身上学到。于是他便专心跟随利玛窦去学习西洋的数学、天文学、历法和物理等学科。

在此期间，徐光启随利玛窦左右边听边记，夜晚整理、修改，加以复印，译制成书。徐光启翻译的自然科学著作达 60 余种，其中《几何原本》一书，是中译西欧自然科学的第一部著作。在徐光启所著的《农政全书》中，引用了《泰西水法》内容，叙述了西方在取水、蓄水方面如何应用力学和机械知识。

宋朝以后，我国力学的发展开始停滞不前，并且由于历史条件的限制，我国古代宝贵而丰富的力学知识一直没有总结成为系统的科学理论。

直到明末清初，随着西洋科学东渐，力学这一门科学的系统理论才开始在我国得到传播和研究。

最早传播西方力学的是意大利人艾儒略。1623 年，他编著了《职方外积成》一书，早年就喜欢钻研古器与机械制作的王徵（1572—1644）读了该书，看到里面所载的奇人奇器很多，引起了极大兴趣。

其后，瑞士人邓玉函（1576—1630）于 1621 年来华，日耳曼人汤若望（1591—1666）于 1622 年来华，他们都把有关西方奇器的书籍供王徵阅读。结果由邓玉函等口授，王徵笔译并绘图，写成了《远西奇器图说》一书。

这本书可以说是中国出版的第一部力学与机械原理专著。从内容上看，它专门论述了力学知识、简单机械原理和各种实用机械的构造及原理。

全书共分为绪论，第一卷重解，第二卷器解，第三卷力解等几部分。

第一卷叙述了力学中的基本知识和原理以及与力学有关的知识，共分 61 款。主要讨论：地心引力、重心、各种几何图形重心的求法、稳定与重心的关系、各种物体的比重、浮力等等。

第二卷阐述各种简单机器的原理与计算，共分 92 款。前 8 款叙述简单机械的一般知识；第 9 款至 48 款叙述杠杆的原理和计算，其中的计算大都符合力矩原理；第 49 款至 71 款讨论定滑轮、动滑轮、滑轮组、齿轮的原理和计算；第 72 款至 92 款叙述螺旋和斜面的原理及计算，大都符合力学原理，其中还掺杂一些机械零件和工艺方面知识。

第三卷有起重机械 17 种，汲水机械 9 种，机械磨 15 种，锯床 15 种，杂类机械 6 种。主要叙述这些实用机械的构造与运用。

这本书可以说是当时西方物理学、力学与机械学知识的汇编。由于邓玉函对近代伟大的力学家和实验科学奠基人伽利略的研究十分钦佩，所以这本书的不少内容取材于伽利略的著作。从这本书叙述的零碎性，可以看出他只是反映了当时物理学刚刚从力学基础上开始起步的实际情况。

汤若望所译的《远镜说》于 1632 年出版，它标志着西方光学输入中国的开始。其中的“远镜”就是望远镜。该书只有 15 页，仅 5000 字左右，内容十分简洁。

全书首先讲远镜的用法，中间讲原理，最后讲制作方法。书中涉及远镜的制作法这部分，只有 200 字左右。书中对光在水中折射、光经过远镜的折射、凸透镜聚像凹透镜散像以及凹凸镜组合以放大物像的光学现象都作了一些解释。这本书出版以后，传教士还从西洋带来了少量的远镜实物。

在西方科技东传的影响下，我国古代物理学的分支中，中国学者唯有对光学独立进行过许多研究，并在光学理论和光学仪器中取得了一定成绩。

在此期间，光学家有孙云球、郑复光、邹伯奇等。

孙云球曾创制眼镜，后半生以制造眼镜为业。根据我国眼镜发展的历史，最迟宋代已用水晶映物。在元、明朝时，眼镜虽从国外输入，但数量不多，这些眼镜都用玻璃制成。

孙云球在苏州制造的眼镜则是采用水晶为原料，用手工来磨制。他不但能制造远视眼镜，也能制造近视眼镜，并采用“随目对镜”的办法，使患者配到合适的眼镜。

孙云球还是我国民间最早独立制造过望远镜的人。他在磨制凸透镜和凹透镜的基础上造出了“千里眼”（即望远镜），他还用制成的千里眼在虎丘山上观察，清楚地看到苏州城内的楼台塔院和天平、灵岩等山。

孙云球除了制造眼镜、望远镜外，还制造了存目镜、察微镜、万花镜、多面镜、夜明镜等 70 多种镜子。为了总结造镜的经验，孙云球还写了《镜史》一卷，此书现已失传。

清朝时期，光学家郑复光曾把当时认为奇怪的各种现象，归纳成为 200 余条，用物性、热学、光学等原理加以解释，在 1842 年写成《费隐与知录》一书。1846 年又写成《镜镜詵痴》一卷，此书集当时已输入的西方光学知识和我国固有知识的大成。

在后一本书中关于望远镜、放大镜和各种透镜的制造、应用及其原理，

均有详细说明。并仿《几何原本》的推演、定理或事实，由前演后，步步相承，成为我国第一部较系统的几何光学著作。

邹伯奇的光学研究，受到郑复光等人的影响，可是取得的成果超过前人。

他一生从事了不少光学实验工作，并制造了不少光学仪器，如折射望远镜、显微镜、回光铁镜、观象仪、“摄影器”等。他还写过两篇光学论文，即《格术补》和《摄影之器记》，都收入《邹征君遗书》中。前篇主要讨论光学理论和光学仪器，后篇则是记述他自己制造的“摄影器”。

邹伯奇所制的“摄影器”是一种像简单照相机的光学仪器，制成于 1844 年，当时他 25 岁。他曾用此仪器测绘地图。

这种“摄影器”的构造为：选一个木头箱，中间装一张白纸或白色玻璃。木箱的前边开孔，安装一个筒，筒口安透镜，筒能进退，可以对焦，木箱后面开“窥孔”，又使木箱能“随意转动而观之”。

邹伯奇是我国最早研制照相工艺的成功者。解放初邹伯奇的后代献给广州市博物馆的文物中有一幅邹伯奇的遗像，据说是“邹氏自己用摄影方法制成，保持 100 多年还清晰没有脱色”。

在邹伯奇的遗稿中存有讲述照像原理、照相机结构以及照像过程到洗相和药料配方的材料，这是我国科学史上关于照相工艺的最早文献。

顺便介绍一下，法国阿拉戈（1786—1853）于 1839 年 1 月 7 日第一次公布摄影法，邹伯奇独自发现摄影法仅晚了 5 年，这在我国现行条件下是很了不起的成就。在 1851 年至 1853 年外国传教士开始把西方摄影术传入中国，邹伯奇的发明反被埋没。

在明末清初之际，西方传入的物理学对当时中国学术界的影响还不是很大。但方以智（1611—1671）的《物理小识》等却是受到西方科学一定的影响而作的。

方以智是唯物主义哲学家和自然科学家，他在西方学说的影响下，在我国首先将科学分为自然科学、社会科学、哲学三类。他既注意吸收当时西方的先进科学技术，又重视、整理我国数千年来的科学技术遗产。

具有丰富内容的《物理小识》就集中反映了这方面丰硕成果。

《物理小识》是一部汇集我国人民科学技术成果的带有综合性的重要著作。全书 12 卷，共分天、地、医药、饮食、衣服、金石等 16 类，记录了包括天文、历算、物理等方面的自然科学知识近 1000 条。其中虽然物理学的内容占全书的比重较小，但在力、声、热、磁、光等方面都有记录和阐述。

《物理小识》中也对西方科学技术作了介绍，他还阐述了一些研究物理问题的科学方法。方以智提倡“质测之学”，它的特征是重视对自然现象的实际观测和对自然知识的实际检验，从而分类比较，以推出不变和变化的原因。

从《物理小识》可以看到，方以智在记录和阐述有关物理内容时，流露出这种重视实验的精神。由于当时腐朽的封建制度的严重束缚，方以智的这种“质测之学”后来却没能得到继承和发展。

明末清初之际，如果说方以智对我国古代物理学在理论上和方法上有所建树，那么黄履庄对我国古代物理学则在实践上和制造上有所贡献。黄履庄的创造发明很多，制有验器、诸镜、水法等。

黄履庄发明了验冷热器，即温度计。据记载，“此器能诊试虚实，分别气候、证诸药之性情，其用甚广，另有专书”。他又发明了验燥湿器：“内

有一针，能左右旋，湿则右旋，并可予证阴晴。”

黄履庄发明的“瑞光镜”则是世界上最早的探照灯。据《虞初新识》记载：“制法大小等，大者近五六尺，夜以灯照之，光射数量，其用甚巨。冬月人坐光中，遍体生温，如在太阳之下。”

当然，这里所提的光源可能是蜡烛，但能造成口径如此大，光射数里的探照灯是相当不容易的，这说明我国当时制镜技术的高明。

黄履庄还发明了不少自动机械。如“真画”（即人物马兽，皆能自动，与真无二）、“自动戏”。“自行驱暑扇”等。上述这些发明创造，黄履庄曾注入《奇器图略》一书中，现已散失。

通过以上介绍，可以看出耶稣会传教士将西方近代科技知识传入中国，不论其动机如何，在客观上对我国科学技术的发展起了一定的作用。

受西方近代科技知识传入的影响，明末以来许多科学家注意科学考察活动，进行科学实验的人也越来越多。如徐霞客，清初还进行了对黄河源头的勘察，获得了一大批十分宝贵的第一手资料。清代的钦天监、畅春园、蒙养斋等，也进行了某些科学实验活动。

总之，随着传教士来华，西方的某些科技知识已开始传入中国。但是中国的经济和社会的发展尚未产生对于先进科技知识的需要。

中国的封建统治者虽然也在一定程度上支持了这些科技知识的传入，但他们并不是为了发展经济而是为了巩固封建统治，因此，只有某些科技知识在上层社会产生了一些影响，而未能在整个社会中传播并使我国的科学技术发展获得转机。

自清朝中叶以后中国又实行锁国政策，这使得西方近代科学技术的传入反而一度减少了。

自清雍正年间到鸦片战争的100多年内，清王朝推行了闭关锁国政策，对正在迅速发展的西方科学技术采取了视而不见的拒绝态度，从而阻滞了西方先进科技知识的继续传入。

同时，清王朝屡兴文字狱，禁锢了人们的思想。乾隆、嘉庆年间又兴起考证学派，使一批学者走上了校勘注释考证古典文献的道路。这种错误的思想妨碍了人们对自然的探索与研究，对科学的发展起了阻碍作用。

就在清王朝日趋腐败没落，且以天朝帝国自居，拒收西方先进科学技术的时候，已完成工业革命的英国，开始大肆推行对外侵略扩张政策。

1840年他们挑起了鸦片战争，西方列强随之侵入中国。帝国主义用坚船利炮打开了闭关自守的中国国门，从此中国沦为半封建半殖民地社会达百年。

鸦片战争暴露了清政府的腐败无能，农民起义也随之而来。清王朝的地主阶级内部也涌现一批主张改革的知识分子，他们认为要对付西方就要了解西方，学习西方的先进科学技术。

另一方面，少数革命知识分子也开始觉醒。他们提出发展近代交通运输和通讯、奖励科技发明、保护专利、鼓励私人集资开矿等主张。

实际上这些主张的影响很有限，在这一时期内，真正对近代科学技术在中国的发展有重要影响的则是“洋务运动”。

第二次鸦片战争（1856 - 1860年）之后，在封建统治阶级内部也出现了分化。恭亲王和曾国藩、李鸿章等以“自强”、“求富”为口号，主张兴办洋务，形成了“洋务派”。清政府在1861年1月设立“总理各国事务衙门”，

负责涉外事务即“洋务”，由此开始了“洋务运动”。

“洋务运动”的宗旨是“中学为体，西学为用”，“借师”（学习西方技术）以“助剿”（镇压农民起义）。

“洋务运动”的具体内容包括：向西方购买船、炮、机器，雇用外国技术人员，依靠他们的力量制造兵器船只，进而建置海军，操练新军。随后又从军事发展到经济领域，兴办民用工矿、交通、电讯企业，又设立同文馆，翻译外国技术书籍，培训人员，派人留洋等。

洋务派是统治阶级内部的一个派别，目的是通过办洋务与帝国主义合作，镇压农民起义运动，维持清王朝统治。

但洋务派必须要向“番帮”、“四夷”学习，这也是对以往锁国政策的一个转变。由于组织者是掌权者，办洋务便成了国家的一项基本政策。

清政府大规模引进西方科学技术正是从洋务运动开始的，但洋务运动经历 30 余年，到 1894—1895 年的中日甲午战争，终于以失败而告终。

洋务运动的失败进一步暴露了清朝政府的腐败无能。要维护封建的旧制度，就既不可能“自强”也不可能“求富”。即使引进了先进的科学技术而练新军、办工厂、修铁路，但由于政治制度的腐败，也将是空耗资材，无济于事。

洋务运动在政治、经济、军事等几个方面都彻底失败了。但从它对中国近代科学技术发展所造成的影响来看，洋务运动的作用也有好的一面。近代科学技术在中国传播，毕竟还是从洋务运动时期开始。

在洋务运动中陆续建立一批近代工矿企业，首先是由政府官办的军工厂。从 19 世纪 70 年代开始又采取“官督商办”形式，兴办了一些民用工矿企业。

同时，民族资本也有一定的发展，陆续开办了机器制造、缫丝、纺织、面粉、火柴等近代企业。

随着近代工矿企业的建立，也引进了近代技术知识和装备。1865 年设厂建起了江南制造局，就从美国引进了锅炉、蒸汽机作为原动机以及各种工作机械。

1866 年开办的上海民营发昌机器厂，于 1869 年已开始使用近代车床。由于造船技术的传入，1865 年在安庆制造了我国第一艘轮船，1868 年江南制造局建造的“惠吉号”轮船又下水。

江南制造局在 1890 年设立炼钢厂，日出钢 3 吨。1890 年建立的大冶铁矿，乃是我国第一座用机器开采的露天铁矿。到 1908 年，我国已初步形成了一个钢铁联合企业，其钢铁冶炼技术装备水平在世界上也是较为先进的。

1876 年，开平矿务局成立。为解决煤炭外运，先后建起了铁路，同时还造出了一辆机车，尽管机车上许多部件是进口的，但它毕竟是我国制成的第一辆机车。

1878 年，李鸿章出于军事需要，架起了一条长 40 英里的电报线，同年 5 月投入使用。到 1895 年，我国已形成电讯网，遍布全国。

19 世纪 60 年代以后，介绍和翻译出版西方近代科技知识的学馆、学堂陆续建立。1868 年，江南制造局专门设立译书馆，聘请外籍教师传授科学知识，或与中国人共同合译出版了大量科学著作。

从咸丰三年（1853 年）到宣统三年（1911 年）近 60 年间，共有 468 部西方科学著作被译成中文出版。同时，西方传教士也在中国设立学堂、书馆、

医院，促进了西方各种科技知识的传播。

在这一过程中，产生了我国近代的第一代科学工作者，他们既注意学习与传播西方科技知识，又善于研究和独创。他们不但把西方科学知识传入中国，而且在极其艰难的条件下，与外国人合作进行了编译工作。

这些著名的科学家不仅在一个领域，而且在许多领域都作出了贡献。1867年，徐寿和华蘅芳自行设计制造了中国第一台蒸汽机，次年又制成了中国第一艘蒸汽轮船。

为向西方学习，洋务派作出决定，在19世纪70年代由国家正式派出留学生。在此之前只有教会资助的留学生和自费留学生，最早由教会资助的留美学生为容闳、黄宪、黄胜三人。

甲午战争之后，在中国又掀起了全面的留学运动，这一运动反映了中华民族已经放下了抱残守缺、固步自封、妄自尊大的思想包袱，是中华民族求进步、图生存的精神体现。

留学生运动促进了中国文化与世界文化的交流，引起了知识分子治学态度和学风的转变，促进了教育的改革。从对科学技术发展的影响看，许多留学生回国后使西方的科学技术在中国土地上生根开花，从而也促进了经济增长。

从19世纪中叶开始，直到20世纪初，西方发达国家已经完成了机器——蒸汽机时代的技术革命，并兴起了以电气为中心的技术革命。

而在中国，近代科学技术还处在引进和初创时期，还未能形成真正意义上的技术革命。刚刚在中国出现的近代科学技术，在清王朝的专制统治下，在帝国主义列强的控制下，在封建的自然经济包围中，始终没能达到体系化的发展程度。

由于西方科学技术在迅速发展，中西之间的差距不仅没有缩小，反而日益被拉大了。

总之，在近代科技发展过程中，起始时中国科技处于领先地位，并随着贸易往来而向外传播。自明清以后，我国由于受封建统治的影响而停留在原有水平上。而欧洲经历了技术革命而使其科技迅猛发展，而后西方科技随传教士传入中国，中外技术广泛交流，这样就促进了科学技术的发展。欲知后事如何，且听下回分解。

第八回 以太假说 激发学者探索 射线发现 导致物理危机

迈克尔逊和莫雷做了一系列极为精确的测定，否定了“以太”的存在。伦琴用X射线照射出他夫人的手骨像。居里夫妇发现了镭，获诺贝尔大奖。原子嬗变现象，用经典物理是无法解释的。

且说在19世纪的物理学中，原子论取得了显著的成就，得到了人们的承认。把原子论用于其他现象，也收到了不少成效。特别是电磁学方面，取得了很大成就，建立了电磁场理论。

为了解释电磁场现象，人们用充满空间的媒质——以太的作用来解释，电磁场理论就是这样开始的。

回顾一下历史，在19世纪自然科学的全面发展中，物理学取得了特别突出的成就，物理学在自然科学中的地位也越来越重要。麦克斯韦磁理论的建立使经典物理学发展到了顶峰，在许多科学家看来，物理学的理论大厦已经建成。

就在大多数人陶醉于物理学已取得的成就时，一场物理学理论革命正在酝酿。这场物理学革命使物理学进入一个全新的发展过程。

18世纪以前的物理学，为解释它尚不能解释的自然现象，曾把这些现象作假设物质存在。随着19世纪科学的发展，这些现象要么被解释，要么被否定。但是直到19世纪末，还有一种特殊的“物质”是物理界所不能抛弃的，这就是所谓的“以太”。

在光的波动说中，“以太”曾被作为光的媒质。当麦克斯韦证明了光与电磁波的一致性后，又需要“以太”作为光与电磁波的共同传播媒质。因此，“以太”一直被认为是一种无处不在的东西。

按照力学计算，能以每秒30万公里的速度传播像光和电磁波这样的横向振动的介质，必须是弹性切变模量比钢还要大得多的固体。而实际上“以太”不可能是这样一种固体，因为它作为一种无处不在的东西竟然从来没有人感知。

这样，就产生了一个难以解决的矛盾：一方面，只有设想“以太”存在才能保持原有理论的完整性；另一方面，人们却无法找到关于“以太”存在的实验证据。于是，“以太”到底是什么东西以及它是否存在，就成了物理学中的一个谜。

1728年布拉德雷发现恒星的光行差现象以后，人们曾设想“以太”相对于太阳是静止的，以解释这一现象。如果“以太”相对于太阳是静止的，那么它就必然有相对于地球的运动并形成“以太风”。

既然“以太”是光的传播媒质，在有“以太风”存在的情况下，光在地球上的传播速度应当与其传播方向有关，因而也就可以通过光在不同方向的传播实验来测定“以太风”对光速的影响，并由此证实“以太”的存在。

到了19世纪，光的波动说取得了很大成功，人们根据经典力学观点认为波的传播必须要有介质，既然光也是一种波，那么它也必须要通过某种介质才能传播，人们就把这种介质称为“以太”。

“以太”这个词早在古希腊就有了，那时的意思是青天或上层大气；在古宇宙学中，这表示占据天体间的物质。

随着光的波动说取得很大进展，对“以太”的研究也随之兴盛起来，许多物理学家都试图通过有关实验来检验“以太”的存在和确定它的属性，希望测出地球相对于“以太”的速度——即“以太”的漂移速度。

人们对此进行了一系列实验与天文观察，都不能得出肯定或否定的结论。直到1879年至1887年，美国的物理学家迈克尔逊（1852—1931）和莫雷（1838—1923）做了一系列极为精确的测定，才得到明确的否定结论。

1879年3月，迈克尔逊正在美国华盛顿市与美国航海历书局局长纽科姆合作进行光速测定的实验，这时恰巧看到了麦克斯韦写给美国航海历书局的一封信。

麦克斯韦信中的最后一段写道：“地球上一切测量光速的方法，都是使光沿同样的路径返回，因此测不出地球相对以太的速度，只有地球速度与光速之比的平方，才会影响往返的时间，但这是一个极小的量，无法观察出来。”

信中最后一段话引起了迈克尔逊的极大兴趣，他决心要实现麦克斯韦提出的二级效应（即与地球速度与光速之比的平方有关的效应）来测“以太”的漂移速度。

1880年他有机会到欧洲进修，开始思索一种探测的方法。当时的困难就是不知用什么方法才能达到地速与光速之比的平方量级的灵敏度。

后来他受“贾满干涉仪”的启发，在此基础上作了改造，发明了自己的干涉仪——迈克尔逊干涉仪。

接着迈克尔逊用干涉仪作了实验：将一束光分为两束，使它们沿相互垂直的两个方向传播相等的距离后再合并为一束。假如两束光在两个相互垂直的方向上因受“以太”速度的不同影响而产生传播速度的差异，当它们合并后就应产生干涉条纹。

1881年，迈克尔逊首次测量。根据计算，他推测干涉条纹的移动数为0.04条。但实验结果出乎迈克尔逊的意料，测到的干涉条纹的移动远小于0.04条，约为0.004—0.005，在实验误差范围之内。

实验结果与当时普遍接受的光行差现象的解释直接矛盾，由于实验精度还不够高，数据计算也有错误，所以无论是迈克尔逊还是其他人都没把这次实验看作决定性的。

迈克尔逊对自己的实验也不满意，他认为这种实验没有成功。他本人以后转移到精确测定光速值的研究中去了，对上述实验的改进工作就搁置一边去了。

1884年，英国物理学家汤姆逊（1856—1940）访问美国并进行讲学，迈克尔逊有机会聆听了这次演讲，并会见了与汤姆逊一起访美的物理学家瑞利，就1881年的实验交换了意见。

他们给迈克尔逊许多劝告和鼓励，这给了他很大的勇气，激起了他重做实验的兴趣。他下决心与著名化学家莫雷合作，继续做测量“以太”漂移的实验。

为了提高实验精度，他们改进了实验装置。为了维持稳定，减小振动的影响，他们把干涉仪安装在很重的石板上，并使石板悬浮在水银液面上，这样可以平稳地绕中心轴转动。为了尽可能增加光程，尽量使干涉仪的臂长增大，他们还在石板上安装了多面反射镜，使两束光来回往返8次，有效长度达11米。

他们在仪器连续转动的情况下对干涉条纹进行观察，并且在白天和夜晚

以及一年的各个季节都进行观察。

该仪器精度很高，如果有小到 1% 的条纹移动，该仪器都可探测到。可实验结果都未观察到预计的条纹移动。

1887 年 11 月，他们将这一结果公诸于世，在美国科学杂志上发表了他们的报告：“实际观测到的位移（指干涉条纹的移动）肯定小于预期值 0.05，或许还小于 0.025，似乎有理由相信，即使在地球与以太之间存在着相对运动，它必定是非常小的。”

以上的实验实在使人出乎意料，它使所有持有光在以太中的波动这一观点的人都感到失望。当时人们并未认识到这个实验的意义，连迈克尔逊也大失所望，并认为自己的实验没有什么重要的意义。

值得安慰的是，为了实验，他设计了一个灵敏的干涉仪，因而在“精密光学仪器和用这些光学仪器进行光谱学的基本量度”方面的研究中，他获得 1907 年诺贝尔物理奖。

为寻找地球穿过以太运动而设计的每一个实验都得出相同的结果，似乎地球相对“以太”的运动并不存在，或者“以太”并不存在。

当时的物理学家对那种通过力学现象总结出来的基本概念与规律都是深信不疑的。因此在实验和理论面前，他们极力弥补理论上的缺陷，提出种种修补方案，使它成为普遍的规律，但这一切努力都失败了。

针对这种情况，唯有突破经典物理的框架，引入新的思想，建立新的体系，才能解释迈克尔逊—莫雷实验的结果。

因此，迈克尔逊—莫雷实验是有重大历史意义的一个实验，它动摇了 19 世纪占统治地位的以太假说，也为爱因斯坦创立狭义相对论铺平了道路，爱因斯坦为以太学说作出合理解释，在下一回将作介绍。

19 世纪末的物理学不仅苦于像“以太”之谜这样从过去有理论中遗留下来的问题，而且还面临一系列新发现的实验事实用旧理论也难以解释的问题。第一个发现的新的实验事实，便是 X 射线的发现。

X 射线的发现，又是由对阴极射线的研究引起的，下面先介绍阴极射线的发现。

19 世纪中期，随着电学知识的积累和真空技术的提高，真空放电及电的本性的研究越来越引起人们的兴趣。法拉第也将注意力移到对真空放电现象的研究上来。

1838 年他做了低气压气体的放电实验，将两根黄铜棒插入一支玻璃管的两端作为电极，抽去管中的空气，两极通以电流，当把两根极棒分开时，一股光柱从负极发出，而正极是暗的。

增大两极间距离时，从正极的一端向负极发出一束紫红色的光束或紫色雾；随着距离的增加，光束也加长了，但在紫光束与雾之间总有一暗区，暗区的长度几乎不变。

法拉第把这个暗区叫做“法拉第暗区”，他还预言，这种放电现象也许会给以后的电学研究带来极大的影响。

真空放电的正式研究是由德国的物理学家普吕克尔（1801—1868）开始的。

他发现气压越低，法拉第暗区变得越大，阴极的辉光也有扩展。最重要的是他发现从铂阴极发出的粒子飞向玻璃管，粒子流打在管壁上会发出荧光，荧光斑能够被磁力所偏转。

普吕克尔把荧光的产生归功于阴极发出的电流。普吕克尔的学生希托夫发现，如果把各种形状的固体放在阴极与发荧光的玻璃壁之间，物体的影子就明显地映在管壁上，他由此推断这种射线是直线传播的。

1871年物理学家瓦尔莱根据这种射线在磁场中的偏转特性指出，这种射线可能是一些带负电的物质微粒组成的，因为只有负电微粒穿过磁场，其偏转方向与这种射线相同。

1876年德国物理学家哥尔德茨坦（1850—1930）进一步证实阴极射线的直线运动。他用各种形状、各种大小和各种不同材料的阴极作实验，得出以下几个结论：

（1）这种射线不像一般的白炽灯丝发出的光那样，向四面八方散射，而是从阴极表面垂直地发射。

（2）这种射线与阴极射线无关。

（3）这种射线还会引起化学反应，如将某种材料（如银盐）放在真空管中，这种射线可使它改变颜色，正如紫外线的作用一样。

哥尔德茨坦根据以上性质，认为这种射线与紫外线没有区别，把它看成是以太的某种扰动，并把这种射线称“阴极射线”。

英国的物理学家克鲁克斯（1832—1919）也以大量的事实证明阴极射线是带电微粒的说法。1879年他设计并制作一个阴极射线管，这种管子能演示阴极射线的各种性质。

他也证实了阴极射线具有直线传播、能够聚焦、受磁场偏转等性质，确定阴极射线是带电的，他通过实验发现阴极射线具有两个重要性质：

（1）阴极射线能产生力，具有传递动量的性质。

（2）阴极射线具有热效应，具有传递能量的性质。如果使射线停止运动，就产生显著的热量，用磁铁使阴极射线聚焦打在管壁处，用手指接触，手指马上烫起了泡，聚焦形成的暗区近乎赤热。

克鲁克斯还提出一个模型：阴极射线是由带负电的“分子流”组成，这些分子是真空管内残余气体的分子，由于杂乱运动撞到阴极上，带走了负电荷，又受阴极排斥，于是沿与阴极表面垂直的方向迅速飞走。这些带电分子穿过暗区后，与其他分子相撞，产生荧光。

克鲁克斯的模型大体上能解释阴极射线的一些性质，但有些物理学家持另一种观点，哥尔德茨坦、赫兹是比较突出的。

哥尔德茨坦为了证实阴极射线发光波长是否受多普勒效应的影响，特地做了一支L型的放电管，如下图，A、B极都可作阴极。

{ewc MVIMAGE,MVIMAGE,!07300160_0181_1.bmp}

如图，当A作阴极，从光谱仪看到光束来自趋向光谱仪的“分子流”；当B作阴极，从光谱仪看到的光来自垂直于视线前进的“分子流”。

根据多普勒效应，光谱仪接收到的光频率应不一样。然而改变阴极，哥尔德茨坦未发现谱线位移。他测出发光分子的速率不大于22.4公里/秒，远比克鲁克斯模型所期望的值小。

赫兹于1883年也进行了一系列实验来研究阴极射线。

他发现阴极射线不是具有脉冲性质，而是连续发生的。他还发现阴极射线在经过一垂直的电场时，不发生偏转，因此断定阴极射线不可能是粒子，而只能是一种以太振动。他还发现阴极射线与光一样，可以穿透某些金属薄片。

赫兹的学生勒纳德进一步研究阴极射线穿透物质的性质，他把一小块铅箔嵌装在阴极射线的末端做成的一个窗口处，发现阴极射线可以通过窗口射到外面的空气中。

他发现阴极射线能使照相底片感光，显然原子、分子是无法穿过铅箔的，因为铅箔中含有几千个原子，只有光才有这种性质。

综上所述，这一时期物理学界对阴极射线看法形成两个学派：一派是以英国的克鲁克斯为主，他们主张微粒学说，认为这些射线是由带负电的物质组成，并以高速运动，在磁场中被弯折。

另一派是以德国的赫兹、哥尔德茨坦为主，认为这一现象是以太振动引起的，或者就是某种短波长的光，这些射线具有直线传播性，能激发荧光，对照相底片能起作用。

长达 20 多年中，双方各执一词，争论不休。最终促使更多人进一步进行许多有意义的实验，在围绕阴极射线的性质争论中，X 射线、放射性和电子相继被发现，大大推动了物理学的发展，完成了经典物理向量子物理的过渡。

下面我们就来介绍围绕阴极射线性质研究中，X 射线的发现。

X 射线是由德国物理学家伦琴发现的，当时他担任德国维尔茨堡大学校长兼物理所所长。他在研究赫兹、勒纳德等人的实验基础上，发现 X 射线。

伦琴在观察阴极射线性质时，用勒纳德管重做了赫兹等人的实验。不同的是，他用硬纸板和锡箔把放电管包起来，观察阴极射线的情况，这样可排除外界因素对放电管的影响，保证实验的准确性。

他发现，当放电管的薄铅窗和涂有亚铂氰化钡的荧光屏很接近时，荧光屏上有荧光产生。当他改用克鲁克斯管做这个实验时，发现仍有荧光产生。但由于这种管光线强烈，荧光显得模糊，于是他决定进一步实验。

1895 年 11 月 8 日，他为继续实验做准备，为防止外界对放电管产生影响，也为了不使管内可见光漏出管外，他用黑色硬纸板做了一个封套，把放电管严密地套封起来，并且检验封套没有漏光。

当他切断电源后，却发现在 1 米以外的工作台上有淡绿色闪光，闪光是从荧光屏上发出的。他又把屏一步步移远，即使移至 2 米以外，仍可以在屏上产生荧光。

这一现象使伦琴无法用以往阴极射线性质来解释，因为以往实验证明，阴极射线只能在空中行进几厘米，因此不可能使 2 米以外的荧光屏闪烁。

伦琴为了解释这种现象，接连 7 个星期吃、住在实验室里，从不中断实验研究。最后，他确信这是一种尚未知的射线，他把这种新射线取名叫“X 射线”。

为了检验这种射线的穿透本领，他选用了多种材料，逐一放在放电管和荧光屏之间进行实验，他发现 X 射线可以穿过上千页的书，2 至 3 厘米厚的木板，这表明 X 射线具有比阴极射线强得多的穿透能力。

不同的物质穿透程度也不同，当伦琴检验铅片的吸收能力时，他用手去拿铅片，意外地发现了自己手的轮廓。更使伦琴吃惊的是：如果把手放在放电装置和纸屏之间，那么在阴暗的手影中，可以看到较黑的骨骼影像。

他还做了一个有趣的实验，为使他夫人了解自己所做的工作，就把她请来充当实验对象。伦琴让她把手放在黑纸包严的照相底片上，然后用 X 射线照射 15 分钟，显影后，底片上就呈现伦琴夫人的手骨像，手指上的结婚戒指清晰可见。

伦琴还发现，X 射线通过的空气具有使与它接触的带电体放电的能力，而且磁场不能使 X 射线偏转，即使加上强磁场也如此。伦琴断定：X 射线是由阴极射线引起的，是在放电装置的玻璃管壁上发生的。

在做完一系列实验后，伦琴于 1895 年 12 月 28 日递交了他的第一篇论文——《一种新的射线——初步报告》。

在报告中，伦琴详细地介绍了实验装置和方法，初步发现的 X 射线性质，如射线的直线传播、穿透能力、不随磁场偏转等；他还提出 X 射线是从阴极射线撞击玻璃壁的地方发出的。

1896 年元旦，伦琴将他的论文和第一批 X 射线复制件（如手骨像、金属块等）分送一些物理学家，几天后，这种发现传遍了全世界。以后，世界各地的报刊杂志竞相报道 X 射线发现的新闻。

伦琴继续对 X 射线的性质进行一系列的实验，于 1896 年 3 月又提出了第二篇报告：《一种新射线——继续报告》。报告中叙述带正电荷或负电荷的物体放在空中，如果受到 X 射线的辐射，就会发出放电现象，射线越强，放电越迅速。

他还发现，在抽去空气的空间，直接受 X 射线照射的物体的放电作用进行得很慢。在报告中，伦琴进一步证明，用阴极射线轰击铂时产生的 X 射线的强度要比用阴极射线轰击铅、玻璃或其他物质所产生的 X 射线强度大得多，这对以后的研究很有意义。

1897 年 3 月 10 日伦琴又发表了第三篇报告：《关于 X 射线性质的进一步报告》。这篇报告讨论了影响 X 射线强度衰减的各种因素，又说明了 X 射线强度如何随方向而变。

这篇报告还指出不同密度或不同原子量的物体对 X 射线的吸收也不一样，轻元素构成的物体对 X 射线几乎是透明的，对重元素构成的物质则强烈吸收。

X 射线的发现标志着一个新时期的到来，它打破了物理学发展到顶点的说法，向人们展示了物理学亟待解决的新的未知领域，激发了人们去进行新的探索的热情。

以后的历史证明了这一点，X 射线本身及其应用在自然科学的各个领域中发挥了重要作用。X 射线衍射学、X 射线晶体学、X 射线光谱学应运而生，它们在科学研究、医疗诊断等方面起了重要作用。

再说 X 射线的发现，又引发了放射性的发现。

当伦琴把最早印出的论文稿寄给了彭加勒等各国物理学家时，在 1886 年 1 月 20 日在法国科学院的例会上，彭加勒介绍并展示了伦琴寄给他的 X 射线照片。参加这次例会的法国物理学家贝克勒耳当场提出：X 射线发自阴极射线管的哪个部位？彭加勒回答管壁是发出荧光的区域。贝克勒耳马上想到，X 射线很可能与荧光有某种关联，他从第二天起就开始寻找这种关联的实验。

贝克勒耳家族都是著名的物理学家，他的祖父和父亲都是以研究荧光和磷光而闻名的。他们的实验室里收集了许多荧光物质，这为贝克勒耳的研究提供了条件。

贝克勒耳是法国自然历史博物馆应用物理学教授，多年来他一直在研究磷光。然而最初的一些实验结果没让他满意，他用于实验的那些磷光物质或荧光物质并不发出 X 射线。

与此同时，彭加勒在《科学总评论》上发表了一篇关于 X 射线的论文。在论文中，他提出这样一个问题：不管荧光的起因如何，是否荧光强的物体，都既发射可见光又发射 X 射线呢？如果这样的话，他分析说，这类现象是不会与电方面的起因有关的。

彭加勒的提示，促使贝克勒耳继续进行实验，非要弄清荧光与 X 射线之间是否有联系。从 1896 年 2 月开始，他又进行了一次实验。这次他选用一种铀盐——硫酸铀酰钾，这种盐是他父亲研究过的。

开始时，他仍用惯常的办法，即把铀盐放在用黑纸包严的照相底片上，在日光下曝晒几小时，使铀盐发荧光，然后冲洗底片，看是否像 X 射线那样使底片感光。

实验结果如他所料，这样处理的底片确实已经感光了，因此他误认为这是由于日晒激起的荧光，发出贯穿射线，致使底片感光。

接着他改用反射光和折射光反射进行实验，都得到同样的结果。于是他在 1896 年 2 月 24 日向法国科学院提交了《论磷光辐射》的报告。

报告中说：“我用两张墨纸包住一张照相底片，包得如此之厚以致于在太阳下曝晒一整天，照相底片也不会有雾状出现。我在纸上放上一些磷光物质，把整个东西放在太阳下几小时。在我将底片显影时，我看见了磷光物质在底片上的黑色轮廓……因此，我们可以从这些实验得出这样的结论：磷光物质确实放射出了辐射，它穿过了那对光线来讲是完全不透明的黑纸。

因此，在他看来，似乎 X 射线真是由铀化合物发荧光时发射出来的。贝克勒耳打算进一步实验，以便在科学院例会上提出正式报告。由于天气不好，太阳整天不露面，故无法进行实验，他只得把铀盐包在底片一起放在抽屉里。

过了几天，他取出底片想预先检查一下，就冲洗了其中一张，原以为看到的必是非常弱的影像，可是出乎意料，他发现底片已经曝光，上面铀盐包的影像轮廓非常清晰。

这时他猜想，上面的作用是在黑暗中进行的，与日晒和荧光都有关。他推测，底片感光的真正原因必定是由于铀盐自身发出的一种神秘射线所致。

第二天正是科学院例会，他在会上公布了这个重要发现，这种神秘的射线被称为“贝克勒耳射线”。

贝克勒耳发现铀盐所发出的射线不仅使底片感光，还能使气体电离成导体。他检验了铀化物的活性，发现它们与荧光无关，温度变化、放电等对它们无影响，只要有铀元素的存在，就有这种贯穿辐射产生。

贝克勒耳还研究了铀硝酸盐在溶液中或结晶后的情况，这时铀盐虽然再不发磷光，但仍能放出射线，而且在光线照射下不发可见磷光的铀盐，也能发出不可见的射线。

贝克勒耳在 1896 年 5 月 18 日提出了他的报告：“我研究的铀盐，不论是发磷光的还是不发磷光的、结晶的、熔融的或在溶液中的，都具有相同的性质，这使我得出以下结论：在这些盐类中，铀的存在是比其他成份更重要的因素。”

与伦琴发现 X 射线的景况大不相同，贝克勒耳发现放射性并未引起多大反响，也未引起人们的激动。这种新发现也未在报纸上报道，因为这时科学家们继续在谈论和研究 X 射线。

贝克勒耳本人虽然继续从事这方面的研究，但由于只限于研究他所熟悉

的铀，且认为别的物质不可能发出更强的射线，因此研究工作进展也不大。

两年后，居里夫妇投身于放射性元素的研究中，取得了巨大发展，先后发现了钋、镭等新的放射性元素，才使放射性研究工作得到一次大飞跃，为物理学开辟了新的天地。

在居里夫妇结婚后的第二年，贝克勒耳提出了铀及其化合物的放射性现象，引起了这对夫妇的注意。

居里夫人（1867—1934）就选择了这个困难而陌生的问题作为她的博士论文题目。铀和它的化合物为什么具有放射性？放射线的性质是怎样的？产生放射现象的能量来自何方？这些问题全是谜。

居里夫人猜想，铀射线是铀原子本身的性质决定的，那么是否还存在其他一些像铀一样的元素呢？她利用居里（1859—1906）制作的象限静电计进行电流测量，这个方法比感光可靠。

她利用放射性能使气体电离而成导体的特性，将试验的化合物放在互相平行且相距3厘米的两极之间，两极间加上一定电压，再用静电计测量通过的电流。

居里夫人把实验室里的化合物一个一个拿来，测定它们是否有放射性，结果发现除了铀以外，钍也有放射性。

钍的放射性的发现，使居里夫人肯定原来的猜想，接着进一步研究各种不同的铀与钍的化合物的放射性强弱是否一样。

为了解决这个问题，她先给放射性强度一个明确的测量方法。她决定用放射线所引起的空气电离强弱，就是使空气变为导体使验电器放电的本领，作为量度放射性大小的依据，并用居里多年研究的压电水晶作为测量放射性强度的工具。

不久，居里夫人就获得了重要成果：铀或钍的化合物的放射强度只与化合物中铀或钍的含量成比例，所含铀或钍越多，则放射性越强，但与它的化合物情形和状态无关。

由此，她得出结论：放射性是原子的一种特性，也就是说，放射性是从原子内部产生放出的。

居里夫人进一步检验了各种复杂的矿物放射性的强度，出乎意料的是有几种矿物的放射性竟比它们所含一定份量的铀元素所应有的放射性大。

居里夫人怀疑自己是否测量错了，但经过反复仔细的试验，结论总是相同，这使她不得不相信这个新事实是完全正确的。为了解释这一现象，她推测，除了铀以外，这些矿物中必定还有一种新的放射性元素的存在，其放射性比已知的铀和钍要强。

她的这一想法提出后，很多科学家不相信。她丈夫居里也意识到这项工作的重要性，他放下了本人关于晶体的研究，与居里夫人共同投身到寻找新元素的工作中。

他们俩共同努力，昼夜不停，设法从沥青铀矿中提炼出这种稀有元素。他们所用的方法是以放射性测定为依据的新式化学分析法，把矿物中无放射性的部分去掉，把有放射性的部分留着。

通过这种方法，他们提炼到一种升华物，它的放射性比纯粹的铀要强400倍！

于1898年7月18日，他们向法国科学院报告了新元素的发现。他们为了纪念自己的祖国波兰，把这种元素叫做“钋”。

钋的放射线还不够强，为了达到他们预期的目的，他们继续寻找。钋是与铋共同沉淀而浓缩起来的，居里夫妇用钡作载体再进行浓缩，又得到了能产生放射性的极少量的钡化合物，其放射性比纯粹的铀要强 900 多倍。

居里夫妇推测，这种化合物中，还含有另一种未知的放射性元素，这种元素的放射性比钋还要强，在化学性质上类似于钡。

在这次发现后，居里夫妇又在法国科学院宣布了第二个新元素的发现，这种元素具有很强的放射性，它就是镭。

在几个月时间内，他们接连发现了两种新元素——钋和镭，这在物理界上是很惊人的。

1899 年至 1902 年，居里夫妇经过反复的试验终于分离出了纯氯化镭，并测定镭的原子量是 225，镭的放射性是铀的 200 万倍。又花了几年时间，居里夫妇终于又提炼出了纯镭。

我们来看一看居里夫妇的工作环境，令人肃然起敬。他们当年的实验室不是高楼大厦，竟是一个破烂的棚子，棚内只有两张破旧的桌子，一只火炉和一块黑板，别无它物。

后来他们又发现了镭有许多奇异性质，它能自发地释放热量，使近旁的空气电离，使许多物质发荧光，能杀死细菌和某些纤细植物。

居里夫人由实验测知，1 克镭 1 小时内能发出 567 焦耳的热量，而镭本身可以说毫无减少。1000 克镭经过 1580 年后大约还剩一半。

镭释放的热量虽然缓慢，但却持续不断。1000 克镭蜕变完的时候所放出的总热量，比 1000 克煤燃烧所得到的热量要大 40 万倍。因此自居里夫妇发现镭以后，就预示着原子能时代的到来。

镭的另一个奇迹是能治疗癌症。镭的生理效用于 1900 年被证实后，居里即与医生合作，共同研究用镭射氦气照射动物来做实验，证实镭的伽玛射线对病毒细胞的破坏作用甚于健康细胞。

为了表彰居里夫妇对镭的发现，1903 年，他们与贝克勒耳共同获得了诺贝尔物理奖，居里夫人成为有史以来第一个获得诺贝尔奖金的妇女。1911 年居里夫人再次获诺贝尔奖金，成为科学史上最杰出的女科学家。

1899 年，贝克勒耳发现，镭所发出的射线能被磁场偏转。居里夫妇通过一系列实验证明，磁场能把镭辐射分成偏转程度不同的两束，这说明它至少是由两种射线组成的。

在加拿大工作的新西兰出生的英国物理学家卢瑟福也把注意力放在仔细研究放射性的本性上。卢瑟福(1871—1937)，曾获 1908 年诺贝尔奖金，1930 年，卢瑟福担任了英国皇家学会会长，1931 年被英政府封为男爵，1937 年 10 月 19 日逝世，被安葬在牛顿的墓旁。

卢瑟福在研究放射性的本性上，利用铅箔检验铀射线的贯穿本领，发现铀射线由两种辐射构成，一种贯穿本领小，被命名为 X 辐射；另一种贯穿本领比前种强 100 倍，被命名为 α 辐射。

1900 年法国的物理学家维拉尔德(1860 - 1934) 又发现，在铀辐射中还有一种贯穿能力比 α 、 β 射线都强，而且在强磁场中也不会被偏转的射线，他把这第三种射线称为 γ 射线。

为了进一步研究这些射线的带电性质，发现它们是否相同，科学家们把这些放射源放在一个铅室中，让射线从狭小的通道射出来，进入一个抽空的磁场。

磁场垂直纸面向里， α 射线向左偏转较少，表示它是带正电但较重的粒子流； β 射线向右偏转较大，表示它是带负电的较轻的粒子流； γ 射线不受磁场影响，表示它是不带电的射线流。

下一个问题就是：组成 α 射线的带正电的粒子是什么？1904年，英国化学家拉姆塞和索迪注意到在镭的化合物中总伴随有氦出现。这使卢瑟福想到，混在镭化合物中的氦可能是镭辐射的产物， α 粒子很可能就是带正电的氦离子。

1908年，卢瑟福利用助手盖革发明的气体放电计数管测定 α 粒子携带两个正电荷。他又用鲍姆巴赫为他制造的双层玻璃管将 α 粒子分出，经光谱分析证明， α 粒子就是被双重电离的氦原子。

通过实验发现， β 射线的荷质比与阴极射线相同，就是高速电子流；射线类似于X射线，不过是波长更短的电磁波。

却说在放射性发现以前，人们已经发现了电子。电子的发现是在争论阴极射线究竟是以以太振动还是粒子流的过程中，由英国物理学家汤姆逊（1856—1940）发现的。

1890年汤姆逊开始关心气体放电的研究。他在一个15米长的真空管内，用旋转镜测时间差的方法测量阴极射线在低压气体中的传播速度，得到的速度远小于光速。

根据速度，他认为把阴极射线看作电磁波是没有道理的。为了进一步证明阴极射线是粒子流，并查明它的物理性质，汤姆逊完成了一系列阴极射线的实验。

首先他测定阴极射线所带电荷的性质。通过实验，他发现阴极射线与负电荷在磁场和电场作用下遵循同样的路径，因此它是由带负电荷的粒子组成。

接着他由阴极射线在电场与磁场中的偏转来测定带电微粒的荷质比和速率。虽然他已确定阴极射线是负电荷，肯定是物质的粒子。但这些粒子是原子还是分子，还是其他物质的微粒呢？为弄清这个问题，有必要测定这些带电粒子的质量和电荷之比值。

在实验中他测定阴极射线粒子是一种质量远比氢离子小得多的微粒。1897年4月30日，汤姆逊在英国皇家研究院报告了这一结果，断定物质内部有比分子小得多的带电粒子存在。后来人们把这种粒子称为电子。

汤姆逊为了证实电子的存在，花了大量的精力设计了许多极为巧妙的实验，取得了令人满意的成果。科学界公认他是“电子的发现者”，1906年，他荣获了诺贝尔物理奖。

电子的发展，物质的放射性和蜕变的发现，使人们认识到原子不是不可分的，原子是有结构的。从此，各国物理学家便开始探索原子的复杂结构。

既然电子是从原子内部发出的，而原子又是中性的，那么原子中必定还有带正电的部分。这些正电荷是如何分布的？具有什么性质？正、负电是如何相互作用的？怎样解释放射性？……而对这一系列问题，物理学家们根据自己的见解，从不同角度提出了各种不同的原子模型。

在这些模型中，汤姆逊模型影响最大。他对原子结构进行了长期研究，于1904年发表了《论原子的结构》论文。

他认为原子好像一个带正电的“流体”球，集中了原子重量的绝大部分，而负电荷则作为点电荷有规则地镶嵌在球中间，电子一方面受正电荷的吸

引，另一方面又互相排斥，因此必有一种状态可以使电子平衡。

汤姆逊采纳了 1878 年迈尔所作的悬浮磁针实验，使穿过软木的小磁针垂直地浮在水面上，从上部用大磁针接近它。

此时，一增加磁针的数目，磁针所处的稳定平衡排列就发生变化，在这个过程中可以看到周期性。汤姆逊以这种周期性为线索推测出原子中元素的周期律。

1903 年，汤姆逊接受艾利大学邀请前去讲学，他在《电和物质》的讲义中论述了自己的原子结构理论的基本思想。但是，在这本讲义中，重点放在物理概念上，具体计算放在第二年公开发表的论文中。

汤姆逊的原子模型是为了说明化学现象而构造出来的。根据推断，以 1903 年确立的放射性嬗变为转机，他再次正式提出了 1897 年以后放弃了的问题。作为需要原子结构理论的理由，他列举了三点：

(1) 1815 年提出的蒲劳脱的假说。

(2) 1869 年的元素周期律。

(3) 放射性，尤其是放射性起因于原子内部发生的变化是一个可信的理由。

汤姆逊的原子结构理论以元素演化说为基础。他认为，一切元素的原子都是激烈运动着的电偶经过长时间逐渐互相结合而形成的，放射性原子就是在其演化过程中处于不稳定状态的原子。

所说的电偶负电荷就是电子，由于把电子的质量完全看作起源于电磁，于是估计出电子半径约为 10^{-13} 厘米。正电荷比电子具有大得多的“广延”，因此电子的质量事实上可以忽略不计。

几千个电偶聚集起来构成原子，事实上，可以认为正电荷在原子中形成均匀的连续的“广延”。因此，可以把原子看作是在正电荷的“广延”内部有许多电子进行运动的系统，汤姆逊在 1899 年的论文中首次阐述了这些想法。

汤姆逊还认为，在均匀的正电球中，数个电子等间隔地排列在和正电球同心的圆周上，他把这个系统作为原子的模型。

卢瑟福开始时也相信无核模型，他与两名助手盖革和马斯登通过研究粒子的散射来加以确证。

他们设计了一个实验：在抽空的容器内放有放射源，它能放出 α 粒子。容器的中央有一个钻有小孔的铅板，以便从放射源射出一束很细的 α 粒子流。铅板的前面有一个厚约为 0.0004 厘米的金属箔，可以移动，以便让 α 射线穿过它或不穿过它。穿过金属箔的 α 粒子射到硫化锌的荧光屏上，产生闪烁，在外面用放大镜观察屏上的闪烁，并记录一定时间内屏上各处的闪烁数。

根据汤姆逊模型，卢瑟福以为 α 粒子穿过金属箔后的散射角度一定会很小，他预计 α 粒子的散射角平均应小于万分之一弧度。

根据统计知识，在金属箔上，散射角大于 30 度的粒子远小于 1%，而散射角大于 90 度实际上是不可能的。

按照汤姆逊模型，原子整体上是电中性的，只有当 α 粒子进入原子内部后才受到电力的作用。但 α 粒子质量大，速度快，原子内带负电的电子很轻，他对 α 粒子的作用不足以改变后者的运动方向，而原子内部的正电荷分布又很均匀、分散，也不能显著改变 α 粒子的运动方向。于是 α 粒子长驱直入，经过几千层的金属原子之后，平均偏转不超过 1 度。

卢瑟福和他的助手在 1909 年至 1910 年做了很多实验，实验结果表明，散射角小确实占优势，但他们却发现占万分之一左右的散射角大于 90 度，甚至达到 180 度的散射角，这与汤姆逊的预言极不相同。

卢瑟福为此思考了很长时间没有结果。1904 年，长冈半太郎提出了土星系模型，卢瑟福想能否用这种模型解释原子模型呢？

他猜想说：“经过思考，我认为反向散射必定是单次碰撞的结果，而当我计算时看到，除非采取一个原子的大部分质量集中在一个微小的核内的原子系统，否则无法得到这种数量级的任何结果。这就是我后来提出的原子具有一个体积很小而质量却很大的核心的想法。”

实际上，卢瑟福已提出了原子核的设想，只不过未用实验来论证。这是人们认识原子结构的一个阶段，随着科学的发展，人们才能更准确地认识原子结构。

为了检验他的设想是否正确，卢瑟福他们再增加金属箔的厚度，结果发现大角度散射的粒子数目也随之增加。

卢瑟福据此断定大角度偏转的粒子必定受到一种强有力的碰撞，因此他认为原子内的正电荷不是分散在原子内部的大范围内，而是集中在原子中心的一个半径极小的球体积内，这个小球，被称为“原子核”。

在卢瑟福的指导下，盖革和马斯登继续做了一系列散射实验。由于散射效应很弱，需要很强又很窄的粒子源，所有测量都用硫化锌屏，以观察散射粒子打到上面的闪烁。

实验过程记下 10 万次以上的闪烁，所有实验结果（用金、银、铜等不同金属的箔片作实验）都与卢瑟福的设想相符合。

根据实验，卢瑟福提出了强有力的假设：原子中心有很强的电荷，这个中心比原子的直径要小得多。

从此卢瑟福的有核模型代替了汤姆逊模型，且被整个科学界所接受。

卢瑟福模型虽能解释粒子散射实验，但这个原子模型不是稳定的。因为电子在核外绕核运动，必定不断加速，根据经典电磁理论，它应该不断地辐射能量，最终必将落到原子核上，这是无法解释的。

综上所述，到了 19 世纪末叶，物理学在各个领域中都取得了巨大成就，几乎是尽善尽美了。

在绝大多数物理学家看来，物质世界的运动已经构成了一幅清晰的画面，基本问题都研究清楚了，留下的问题似乎只是使公式中各个常数测得更精确一些。

正当人们为物理学的成就而欢欣鼓舞之际，在物理学的一些领域中却接二连三地出了问题，表现出与经典物理理论尖锐的矛盾。

迈克尔逊—莫雷实验的否定结果，使以太之谜变得更难理解。他们提出，试图通过一个机械模型去建立一个简单明了的物理概念已经不可能了。这就使人们感到他们原来对光、电、磁等物理现象的理解，都受到了可能被抛弃的威胁。

电子的发现，打破了“原子不可分”的观念。原子失去了它从古希腊以来就已获得的“被近代自然科学所巩固了的最基本的微粒”的地位。原子既已被打破，建立在这个基础之上的一些观念，也似乎被动摇了。

放射性的发现，特别是在放射性过程中一种元素嬗变为另一种元素的事实，无可辩驳地否定了原子“不可变异”的观念。

由于原子失去了过去的“不变性”和“固定性”，建立在这一原子概念上的整个物理图景也失去了原有的明晰性和确定性，在模糊和流动中显得不可捉摸了。

这一切，便构成了物理学危机。其实，所谓物理学危机，并不是物理学发展的危机，而是经典物理学旧理论的危机，即经典物理学的旧理论已经不能适应新的科学事实，因而必须被新的理论所代替。

科学只有在新的事实上建立起新的理论——这个理论既能解释新的事实又能解释旧的事实——才能把科学对自然界的认识提高到一个新的水平。19世纪末的物理学所面临的，恰好就是这样一种形势。欲知后事如何，且听下回分解。

第九回 举世称奇 爱因斯坦发现相对论 全球瞩目 原子物理引出核武器

爱因斯坦提出相对论时，仅 26 岁。“物理危机”被解除。玻尔的原子结构理论将原子研究推向一个新台阶。1945 年，美国投到广岛的原子弹炸死 20 多万人，受难者总数达 40 万人。美国和前苏联进行核竞争。

且说 19 世纪末，物理学面临着两大危机，一是迈克尔逊—莫雷的否定“以太”存在的实验，前文已有所述；另一个是有关热辐射现象的理论解释的困难。

所谓热辐射，就是一个物体温度升高时，向四周发射热量，随着温度升高，物体的颜色就由暗红变成橙红，直至白炽。此时它放射的热量越来越多，说明物体温度越来越高，热辐射也就越强烈。温度越高，光谱中最强的辐射的频率越高。

在通常温度下，一般物体都不能发射可见光，这时它的颜色就决定于外界的光的照射。当物体温度升高时，它们便自动发光了。

不同物体，在同样温度下比较，发现它们发光的强度和颜色也不同，即一定温度的炽热物体发射的连续辐射从强度到分布都各不相同，依赖于它们的组成材料。

由于生产发展和社会的需要，许多物理学家都致力于热辐射问题的研究。

1860 年德国物理学家基尔霍夫（1824—1887）通过实验得出如下结论：不论物体种类如何，它的辐射本领和吸收本领之比都是相同的，仅是温度和频率（波长）的函数，而与物体材料无关。这就是基尔霍夫定律。

1879 年德国物理学家斯忒藩（1835—1893）比较许多实验结果后发现：热辐射的总能量与绝对温度的四次方成正比。他的学生玻尔兹曼从理论上导出了它，现在称之为斯忒藩—玻尔兹曼定律。

1893 年维恩（1864—1928）把热力学理论与多普勒效应结合起来得到绝对黑体的各种波长的辐射中，强度最大的辐射波长 m 与黑体的绝对温度 T 之间存在着简单的关系：

$$mT = \text{常数}$$

这就是维恩位移定律。

1895 年德国物理学家卢默尔（1860—1925）和维恩都提出了空腔辐射和黑体辐射等同的推理。

他们设想，空腔的一个壁上有一个小孔，小孔的面积与腔壁表面相比很小，从外面射到小孔上的所有射线几乎进入空腔中，并因在腔壁各个面上的多次反射而成为封闭状态，所以这种有小孔的空腔类似于黑体。

卢默尔与另一位实验物理学家普林斯海姆利用空腔辐射来研究黑体辐射的性质。

他们所做的实验是验证斯忒藩—玻尔兹曼定律。辐射能量是用辐射热量计来测定，在测量计中，将需要测量其能量的辐射线投射到涂黑的铂金丝上，铂金丝吸收辐射之后，温度升高，因而电阻增大，电阻的变化是用与另一根铂金丝电阻进行比较确定的。通过实验，他们验证斯忒藩—玻尔兹曼定律是正确的。

为了探求能量密度与波长具体函数形式，维恩根据斯忒藩—玻尔兹曼定律、位移定律及麦克斯韦速度分布律，并借助于一些特殊的假设，导出了一个分布律，这就是维恩辐射定律（也称分布律）。

1897年卢默尔与普林斯海姆对空腔的能量分布的测量，发现维恩辐射定律在波长较短、温度较低时才与实验结果相符合，而在长波区域则系统地低于实验值，具有很大的偏差。

1900年英国物理学家瑞利（1842—1919）和金斯（1877—1946）假定空腔内的电磁辐射形成一切可能驻波，根据经典统计物理的能均分定理，推导了后来称为的瑞利—金斯定律。

此公式同样在长波范围内与实验相符，但在短波范围内却很不一致。而且随着频率的增大而单调地增大，在高频部分出现无穷大。

因此无论是维恩辐射定律还是瑞利—金斯定律，它们都无法解释黑体辐射的情形。而这两个定律是按经典力学与经典电动力学推导的，现在由卢默尔等人作的空腔辐射实验所测得的辐射能量分布曲线引起的“反常”现象，暴露了经典理论的严重缺陷，看来对经典理论的修正已势在必行。

19世纪的物理学家认为光是波动的，光是借助一种媒质传播的，这种媒质被称为“以太”。人们认为“以太”充满宇宙，是人无法感觉到但它能传递光、电、磁、力的球形无重物质。

后来，胡克、惠更斯、牛顿都假设以太存在来解释一些自然现象。19世纪，随着光的波动理论和电磁理论的胜利，以太就成为物理学家研究的目标。

人们在想：“既然以太是存在的，是绝对静止的，那么运动的地球一定会与绝对静止的以太产生一个相对运动，自然这个相对运动是可以测量的。”

在讨论这个问题中，迈克尔逊与莫雷所做的试验成为人们推翻牛顿经典时空观的起点。

1904年，法国数学家、物理学家彭加勒（1854—1912）提出了电动力学的相对性原理，并根据观测记录认为物体运动的速度不可能超过光速。

彭加勒指出：物理危机是个吉兆，物理学将有大的突破。1904年9月他很有远见地预言，必将产生一种全新的动力学。

且说1905年，美国物理学家爱因斯坦（1879—1955）在美国物理学家米切尔森和莫雷的实验启发下，提出了《狭义相对论》。

相对论主要是关于运动物质与时空关系的理论。相对论时空观的建立，是人们对物理现象认识上的一个飞跃。相对论对于现代物理学的产生和发展，起到了极其重要的作用。在现在，相对论已成为物理学研究中最根本的基础理论。

狭义相对论，是在电动力学的发展中产生的，其主要内容包括四个方面：

第一，惯性参考系之间时空坐标的洛伦兹变换及其物理意义。这是相对论时空观的集中反映，它的基本依据是相对性原理和光速不变原理。

第二，物理规律在任意惯性系中，可表现为相同的形式，即物理规律的协变性。

第三，电动力学的基本规律，即麦克斯韦方程组和洛伦兹公式，表现为协变形式，从而使电动力学成为明显相对性的理论，可用来解决任意速度带电粒子与电磁场的相互作用问题。

第四，把力学基本规律推广为协变性的相对论力学，由此得到相对论的质能关系 $E=mc^2$ ，这些关系是原子能应用的主要理论基础。

相对性原理是相对论的基本依据之一，要把一个参考系与另一个以不变速度相对于该参考系运动的参考系加以区别是不可能的，这便是惯性参考系。

也就是说，在惯性参考系中对于任何一个参考系所做的物理实验，都具有相同的结果。光速不变原理，则是假定光速与光源的运动无关。

据说爱因斯坦在写相对论论文时，完全不知彭加勒的工作，当时他只有 25 岁，他发表论文的题目是《论运动物体的电动力学》。可见他是在电动力学基础上提出自己的相对论观点，否定了时间和空间是绝对的观点的。

如果说牛顿是以天体运动和物体运动的规律为基础提出了经典力学理论的话，那么爱因斯坦则是在新的力学与电磁学的基础上，提出了包括宏观与微观世界在内更为广泛范围的物体运动的规律。

把经典力学和经典电动力学作为物质低速运动特例，爱因斯坦的理论既适用于低速运动的物质，又适用于光速运动和接近光速运动的物质，从而达到牛顿以来一个新的理论高度，使科学界、思想界发生了一场革命。

爱因斯坦相对论在科学技术领域中产生十分深远的影响。如 1905 年 9 月，他根据相对性原理推导出物体能量与质量的关系式： $E=mc^2$ ，即能量等于质量与光速平方的乘积。

这个公式表明，微小的物质可释放出巨大能量（一克物质相当于 2.5×10^7 度电能），这不仅在理论上把物理学上质量与能量守恒的两个定律统一起来，而且揭示了人类可以从原子核内获得巨大能量的前景。

1916 年爱因斯坦又把“狭义相对论”扩展到“广义相对论”。如果说，狭义相对论是在互相以相等速度运动的坐标系内的物理法则，那么广义相对论就是把这一理论扩展到能适应有加速度的更为广泛的范围。

广义相对论，是相对论的引力理论。它的基本依据是：引力场和惯性场的等效性原理和广义相对性原理。引力理论必须研究非欧几里得空间，即研究不能引入惯性坐标系的空间。

广义相对论所建立的引力场理论指出，万有引力的产生是由于物质的存在和一定的分布状况，使时间、空间性质变得不均匀（即时空弯曲）所致。

广义相对论的结论有：水星近日点的进动规律、光线在引力场中发生弯曲、较强的引力场中的钟较慢等。这些结论都被后来的实验所证实。

1905 年，是爱因斯坦的超人才华大放异彩的一年，那时他仅有 26 岁。这一年他发表了三篇论文，且又在 3 月、5 月和 6 月相继发表。

除狭义相对论以外另两篇是：第一篇论文是关于光的产生和转化的一个启发性观点，发现了光量子并解释了光电效应；第二篇论文是关于热的分子运动论所要求的静止液体中悬浮粒子的运动，再一次证实了原子真实存在的布朗运动理论。

狭义相对论是现代物理学不可缺少的基础原理，而广义相对论在本世纪 20 年代应用到天体物理上取得了光辉成就。相对论不仅是物理学的基础概念和法则，也丰富了哲学的基本内容。

1903 年 3 月，年仅 26 岁的爱因斯坦发表了论文《关于光的产生和转化的一个启发性观点》。这是他在这一年里连续发表的三篇历史性论文的第一篇。这篇论文，正如他本人所说的是“非常革命的”。

他提出，应把光看成具有能量 $e=h\nu$ 的量子集合，并把这种光的量子称为“光量子”，即后来被称为“光子”。爱因斯坦的光量子论，把能量

不连续的量子化特征从辐射的发射和吸收推广到了传播过程。他还用光量子论，成功地解释了荧光、光电离，特别是光电效应等过去经典物理学难以解释的现象。

所谓光电效应就是电子在光的作用下，从金属表面发射出来的现象。

1887年，赫兹发现了光电效应。他在研究电磁波发射与接收的实验中，利用一调谐电路中的火花间隙来产生电磁波，同时又应用另一检测电磁波的类似电路。

无意中，他发现当使发生火花的间隙产生的光与接收间隙隔绝时，则接收间隙必须缩短，才能使它发生火花！任何其他火花的光射到间隙的端点，都能使间隙之间发生火花。

赫兹进一步研究后，得出结论，这一现象中起作用的是光的紫外部分，当光射到间隙的负板时，作用最强，显然紫外光照射负电板，更易于放电。

他当时无法解释这一现象，只是如实地作了记述，在1887年发表的题为《论紫外光对放电现象的效应》一文中，首次描述了这些现象。

赫兹本人没有再做下去，但这一发现却吸引了许多人去作这方面的研究。1889年，海华兹做了一系列实验，实验结果表明起作用的确是紫外光。

俄国的物理学家斯托列托夫对光电效应也进行过研究，并取得了重要成果。他发现，为了产生光电流，光必须被电极吸收；光电流的大小与入射光的强度成正比；光电流实际上是在照射开始立即产生，无需时间上的积累。

在光电效应的研究上起过重要作用的是德国物理学家、赫兹的助手勒纳德。他在1889年就开始做一些简单的光电效应实验。

开始他设想光电效应是阴极射线引起的，但1894年他的实验证明这一想法不符合事实。

1899年，汤姆逊用磁偏转切断电流的方法，测定出电流的荷质比，肯定光电流与阴极射线部是同一类带电粒子组成，勒纳德随即于1900年也用磁偏转法测定光电流的荷质比得到了同样的结果。

同时，他还做了一系列实验，从实验中寻找光电效应的基本规律。实验如下：当光入射到清洁的金属表面，就有电子发射出来，若有些电子射到阴极上，外电路上就有电流通过。阳极相对于阴极的电势可正可负，以使到达阳极的电子数增加或减少。

勒纳德还创造了一种实验方法：用加反向电压的办法来测电子的最大速度，从而得到反向电压与入射光强无关，即电子离开金属极板的最大速度与光强无关。

这一结论与经典理论显然相矛盾。按经典理论，当光束强度增大时，作用在电子上的力也增大，因此电子的功能也应增大；而且按照经典理论，光是一种电磁波，因而光的能量是连续的，当照射光不太强时，只要有足够长的时间照射，电子也可以积累到为逸出金属表面所必需消耗的能量。

但实验事实却不然，要么电子不能逸出金属表面，不管照射多久；要么一经照射，就立刻有电子从金属表面逸出，根本不需要延迟时间（至多需 10^{-9} 秒的数量级）。

光电效应使经典电磁理论陷入困境，给物理学晴朗天空又增加了一朵乌云。正在这个时候，理论物理学家普朗克发表了能量子的假设，成功地解决了黑体辐射问题。

爱因斯坦对普朗克的能量子假设进行了研究后，把量子论彻底贯彻到整

个辐射场和吸收过程中去，提出了崭新的光量子假设，从而解决了光电效应问题。

爱因斯坦认为，在光传播所经过的空间里，光的能量并不是均匀分布的，而是由个数有限的局限于空间各点的能量子所组成。

按照这种新观点，光照射到金属板，就把它的全部的能量传递给某一电子，每一份量子的能量为 $h\nu$ ， h 是普朗克常数， ν 是光的频率。光源不同，光的频率就不同。

爱因斯坦还提出，当光照射到金属板后，应该满足能量守恒方程，即光电方程。电子吸收了光子能量后，如果这一份能量大于束缚能，则可以从金属表面逸出；反之，则无法从金属表面逸出。

爱因斯坦的光量子假设和光电方程完全能够解释光电效应中的各种现象，但并没有得到人们的承认。

由于经典电磁理论的传统观念，深深地束缚了人们的思想；另一方面也是由于这个假设并未得到全面验证，人们对这种观念持反对态度。

从 1907 年起就不断有人从事这方面的工作，其中主要困难是接触电位差的存在和金属表面氧化膜的影响。

直到 1916 年由密立根的精确实验才完全证实了爱因斯坦的光电方程。

回过头来，再谈一下爱因斯坦广义相对论的建立过程。

在狭义相对论创立之后，在大多数物理学家还对它深表怀疑的时候，爱因斯坦又向建立广义相对论的目标进军了。

1907 年，他在论文《关于相对论原理和由此得出的结论》中，提出了能否将只适用于惯性系的相对性原理推广到非惯性系即加速运动的参照系的问题。

在探索加速运动的过程中，爱因斯坦抓住了一个已经习以为常而谁也没有特别注意的事实，在“力学里两个物体的质量之比有两种不同的定义方式：第一种，作为同一推力给它们加速度的反比，第二种，作为同一引力场里作用在它们上面的力的比。定义下得这样不同的两种质量相等，是经过高度准确的实验所肯定的事实，而经典力学对于这种相等没有提供解释。但是显然只有在将这两个数值上的相等化为两种概念在真实性质上的相等之后，才能在科学上充分证实我们规定这样数值上的相等是合理的”。

爱因斯坦认为，解决这一问题的实际途径就是把相对性原理推广到加速运动的参照系。

从这里，爱因斯坦着手建立引力理论。在别人帮助下，他找到了曲面几何和张量分析作数学工具。到 1916 年，爱因斯坦发表论文《广义相对论的基础》，提出任何坐标都是协变的引力方程，建立起了一套完整的广义相对论理论。

爱因斯坦在德国完成广义相对论之时，正值第一次世界大战，可是英国的爱丁顿（1882—1944）在大战期间通过荷兰得到了爱因斯坦论文，给他以极大重视。

战争刚一结束，爱丁顿打算等待 1919 年 5 月 29 日的日全食，用来检验爱因斯坦的理论。

1915 年，爱因斯坦根据已经完成的广义相对论重新论证了由引力场引起的光线弯曲，计算出在太阳附近的弯曲是 1.75 秒。

爱丁顿组织了两个观测队，分别前往巴西北部的索布拉尔市和西非几内

亚湾的葡萄牙领地普林西比岛，拍摄了日全食时在太阳周围看到的恒星照片。

爱丁顿把这些照片和半年后的夜晚拍摄的天空同一位置的照片进行细致的对照，结果得出结论，确认了爱因斯坦预言的光线弯曲。

这个结论于 1919 年 11 月 6 日在皇家学会发表了，新闻界在报道这一消息时称“科学的革命，牛顿的见解被推翻了”。

以此为转机，相对论的名字迅速地传播到全世界。这样一来，引起了世界性的大反响，甚至在哲学家中间，从这时起也争相讨论相对论对于认识论的意义。

广义相对论扩展了狭义相对论的结果。按广义相对论，物理规律对于以任何形式运动的观察者来说都是一样的；物质存在的空间不是平直的欧几里得空间，而是弯曲的黎曼空间；某一区域空间弯曲的曲率决定于该区域的物质质量及其分布状况；在引力场中的一切运动都在时空中走短程线；光线的路程要弯曲，时空的走时要变慢。

爱因斯坦曾提出可供验证广义的相对论的三个现象，不久就得到了实践的证明。其一是，爱因斯坦指出，水星近日点的进动包含着广义相对论的效应，用广义相对论计算比用牛顿力学计算，这种进动每年应多 43 秒。其二是，1915 年爱因斯坦按广义相对论计算出从太阳边缘通过的光线要发生 1.7 秒的偏转。其三是，爱因斯坦根据广义相对论引力论预言，在强力场中因时钟要走慢，所以从大质量星球表面射到地球上的光的谱线将向红端移动。

事实上，自 1859 年发现水星近日点的进动以来，恰巧有每百年 43 秒的进动是用牛顿力学无法解释的。1919 年 5 月 29 日日全食的观察已应验了第二种现象。

1925 年，美国天文学家亚当斯观测到了天狼星伴星发出光线的引力频移，到 1965 年用穆斯堡尔效应测得更准确的相对频移值，同相对论的理论预测值误差不到 1/100 秒，这也应验了第三种现象。

粒子物理学是研究比原子更深层次的微观粒子内部结构及其转化规律的科学。由于研究这些微观粒子之时，往往需要用很高能量的粒子作“炮弹”去轰击“靶”粒子，所以又叫高能物理学，它是当代的一门前沿科学。

到 20 世纪 20 年代，人们只知道微观粒子只有电子、质子、中子和光子 4 种，以为这些粒子是物质微粒结构的最小单元，称为“基本粒子”。

50 年代，对介子研究十分盛行，于是在电子、粒子、中子、质子、中微子和其他基本粒子相互转化以及它们之间的作用力等问题方面的研究取得了许多成果。

随着实验技术和理论研究水平的提高，人们便发现基本粒子为数甚多，至今已知的即达 400 多种。所谓基本粒子已不是最基本的了。

在基本粒子发现史中，早期发现的一些粒子，常是首先由理论所预言后经实验所证实的。正电子、中微子和介子等，都是这样发现的，还有其他粒子等待去发现。

正电子的发现第一次证明了反粒子的存在，它显示了自然界的一种基本对称性。由此，又启发人们到微观世界中去寻找新大陆——反物质。

正电子的发现和电子不同，它是先有理论预言，然后得到实验证实的。

电子发现以后，物理学家们就在思考一个问题：质子与电子所带电量相等，符号相反，然而二者质量相差甚大，那么在自然界中有没有与电子质量

相同而电荷相反的粒子呢？

1928年，英国物理学家、量子力学创始人之一狄拉克把量子力学的薛定谔方程推广到相对论领域而得到相对论量子力学，他把这种力学用于描述微观粒子，粒子以接近光速的速度运动时，则又服从相对论力学，因此，对于描述高速运动的微观粒子的运动规律，则需要用相对论量子力学。

狄拉克理论的许多结果都与实验相符合，但是它却遇到了一个特殊的“负能困难”。

按照狄拉克方程进行计算的结果，竟允许存在电子的能量为负值的状态，而且负能级没有下限。这样一来，任何一个电子都可以无止境地落入这个无底的负能深渊，从而无限地释放出能量。

这个结论显然与事实不符，为了解决这个困难，他又提出了一个假设，他认为所有电子的负能级事先已被大量的电子占满，所以正能级上的电子就无法再向下跳；而且还必须假设整个充满了负能的“电子海”所造成的总效果为零，即整个“电子海”所有可观察量——电荷、质量、动量均为零，也就是平时所说的“真空”。

由此可推论出将负“电子海”中搬走一个电子，显然相当于出现一个“反电子”。当然“反电子”的性质与电子相反，电子电荷为负，反电子的电荷就应为正，因此称为正电子，记为 e^+ 。

这样狄拉克在1930年从理论上预言了自然界中存在正电子。他还提出正、负电子对能够由电子在真空中产生出来；当正电子和负电子碰撞时，就覆灭变成光子。

正电子虽然有了理论预言，但在实验上还未发现。当时物理界与现在不同，它不轻易承认新粒子存在。当时带正电荷的粒子只有质子，所以有人就认为，狄拉克方程中所出现的带正电的粒子很可能就是质子，不然为什么在实验上没有发现呢？

时隔不久，狄拉克的预言被实验证实了。那是美国物理学家安德森在研究宇宙射线在磁场的偏转情况时发现的。

1930年，安德森在密立根教授指导下研究宇宙射线，他采用了威尔逊首创的一种设计极端巧妙的云雾室，他能捕获带电粒子留下的“蛛丝马迹”。

实验中，安德森让宇宙线中的粒子通过云室中的强磁场，并用快速的方法拍下粒子的径迹照片。然后根据径迹的长度、粗细、曲率半径以及磁场的强度、方向等数据来判断粒子的带电性质、质量等。

安德森从摄得的照片中看出，当粒子从下向上穿过铅板并在云室中受阻，速度减慢，损耗了动量，轨道曲率增大，从它的运动轨迹与磁场方向可判断它是带正电荷的粒子。

那么它是否可能是质子呢？不可能，因为一个有足够动量穿过铅板的质子轨迹，在云室的磁场中是不可能显示出可见的曲率的；相反，要是它的轨迹是弯曲的，它就没有足够的动量去穿透这层铅板。

因此，仔细分析照片后，不得不作出这样的结论：这是一种电量与电子相等，符号相反的正电子。

第二年，安德森用射线轰击方法产生了正电子，从而从实验上完全证实了正电子的存在，这样狄拉克所预言的正电子被实验证实了。

正电子的发现，引起了人们极大的兴趣。很快就查明，正电子不仅存在于宇宙射线之中，而且某些有放射性核参加的核反应过程中，也可以找到正

电子径迹。

实验还发现，正电子总是与普通电子成对地产生。它们所带的电荷相反，因而在磁场中总是弯向相反方向，明显地呈现出一对半径相同，但取向相反的图。此外电子对覆灭成光子的说法也得了实验证实。

电子对的产生和覆灭现象的发现，促使人们不得不重新考虑究竟什么是基本粒子问题。

本来“基本粒子”意味着这些微粒是构成物质最基本的、不可再分的单元，像电子这样的基本粒子既不能产生，也不会消灭，但现在发现在适当的条件下，正、负电子可以成对的产生或覆灭，也就是说可以互相转化。

物质的各种形态可以互相转变，这在认识上是个巨大的飞跃。在这以后，又发现了更多的反粒子。

在正电子发现 23 年之后，美国科学家钱伯林等人发现了反质子，次年塞格雷等人又发现了反中子。此后人们还发现了一系列的反粒子。

1965 年，美国科学家莱德曼等人在实验室中用反质子和反中子合成了反氦核。1971 年，苏联科学家利用高能加速器，在极短的一瞬间产生了一种反氦原子核。

这些都为反物质的存在提供了证据，使人们有理由去进一步设想反原子、反物质、反天体、反宇宙的存在。

泡利认为在 β 衰变过程中，不仅放出电子，还有一部分能量被一种未能探测到的新粒子带走了。

这各种新粒子质量极小而不带电荷。物理学家费米称这种粒子为“中微子”，并于 1934 年提出了 β 衰变理论，认为 β 衰变是中子转变为质子、电子和中微子的过程。

同样，质子也能转变成为中子、正电子和中微子，这就是发射正电子的衰变。由于中微子物质作用极弱，探测非常困难，多少年来对于它是否真的存在仍有疑问。

1956 年美国物理学家莱因斯和柯恩等人利用大型反应堆经过 3 年努力，才终于直接探测到反中微子。1962 年，美国布鲁克海文国立实验室的科学家们又发现了另一种中微子，1968 年，他们又探测到来自太阳的中微子。

我们知道，原子核是由质子和中子所组成，然而是什么力量把它们紧紧结合在一起呢？这种完全不同于万有引力和电磁力的新的结合力又是什么呢？

德国物理学家海森伯（1901—1976）于 1932 年提出“交换力”的概念，认为质子与中子之间核力是由于它们不断相互交换电子而引起的。

日本物理学家汤川秀树（1907—1981）发展了海森伯的交换力思想，他于 1934 年提出了介子场理论，设想存在一种传递核力的媒介粒子，并推断出它的重量约为电子的 200 倍，介于电子和质子之间，故称为介子。

质子和中子就是通过交换分子而紧密结合在一起的。汤川秀树的介子理论开始并未引起人们的注意。

1936 年，安德孙和尼德耶尔在宇宙线中发现了一种质量约为电子质量的 207 倍的带电粒子，人们以为它就是汤川秀树所说的介子，汤川秀树的理论开始受到人们的重视。可是后来发现这种粒子与核力无关，汤川秀树的预言又落空了。

直到 1947 年，英国物理学家鲍威耳利用照相乳胶技术，在宇宙线中终于

找到了汤川秀树预言的粒子，它的质量是电子的 273 倍，称为“ π 介子”。

汤川秀树的理论和介子的发现，揭示了自然界中物质间的一种新的相互作用——核子间相互作用的存在，这种相互作用力比万有引力大 40 个数量级，但它只在十万亿分之一厘米内起作用。

这种强相互作用，还有后来知道的衰变中与中微子有关的“弱相互作用”，与早先知道的引力相互作用、电磁相互作用，构成了自然界中四种最基本的相互作用的形式。

到 1947 年，人们知道的基本粒子已有电子、光子、质子、中子、中微子和 π 介子等，它们当中的多数，都是由理论首先预言的。到此为止，人们以为基本粒子世界的主要角色已经齐全。

但是，从 1947 年开始，随着探测和实验技术的提高，又有许多新粒子出乎意料地被相继发现了。

这些粒子，可按质量大小分为两组：一组比核子（如质子、中子）重，称为超子；另一组介于核子和介子之间，称为重介子。

这些粒子都有一种奇特的性质，就是产生得快，衰变得慢。人们设想它们是在强相互作用过程中产生的，而衰变量通过弱相互作用进行，两者时间相差 13 个数量级。由于这种特性令人难解，因此人们便把这些粒子统称为奇异粒子。

上述大多数基本粒子，都是从宇宙射线中发现的。宇宙线虽然是很好的天然的“高能实验室”，但它也有很大的局限性：发现的机会少，难以重复。

为此，科学家们研制了人工控制的大型加速器探测仪器。借助这些实验工具，费米等人在 20 世纪 50 年代初，首先发现了 π 介子的共振态粒子。

从 60 年代起，一大批寿命极短的共振态粒子被相继发现，使人们意识到共振态是基本粒子所共有的，它们的寿命极短，大约在 10^{-24} 至 10^{-23} 秒之间，可以看作是一些通过强相互作用而衰变的不稳定粒子。

目前已被发现的共振态约二三百种，它们是基本粒子的主要组成部分。

随着基本粒子数量不断增多，物理学开始了对基本粒子性质和结构的理论研究。基本粒子可按其质量、寿命等性质，分为轻子（如电子、中微子等），重子（如质子、中子等），介子（如 π 介子、K 介子等），以及相互作用的传递子（如光子、预言的胶子、引力子等）。由于重子和介子都参与强相互作用，所以它们又统称为强子。

基本粒子如此众多，它们之间又相互转化，使人们对其是否具有内部结构和继续可分的问题进行了更深的探索。近 30 年的发展以及大量实验事实可证明，至少强子是有内部结构的。

1930 年，德布罗意就提出光子可能是正反中微子复合体的想法，1949 年，费米和杨振宁提出了 π 介子是由正反核子组成的费米—杨振宁模型。

奇异粒子发现后，日本物理学家坂田昌一从物质可分的无限性思想出发，于 1956 年提出了强相互作用的复合模型，认为强子都是由质子、中子、超子及其反粒子构成的。

坂田昌一模型不仅解释了介子、重子的一些性质，而且成功地预言了中性介子的存在。1964 年，美国物理学家盖尔曼在建立强子的周期表后提出了夸克模型。

夸克模型认为：介子由一对正反夸克组成，重子由 3 个夸克组成。夸克有 3 种：上夸克 u、下夸克 d 和奇异夸克 s，均带有分数电荷。

1965年至1966年，我国物理学家们提出层子模型，认为强子是由更深一层次的粒子——层子所组成。

1977年，美国的斯坦福大学曾宣布他们在实验中得到了分数电荷，证明了自由夸克的存在。但是，这一实验结果还有争议，因为无第二人做过。

基本粒子之所以能够相互转化，是由于在它们之间存在着各种相互作用。物理学家们相信，存在着支配整个物理世界的统一规律，于是又致力于研究目前已知的自然界中四种相互作用的统一。

粒子物理学的发展必须有强大的高能加速器的支持。最早的直线型加速器于1932年建成，同年还制成了回旋加速器。直线加速器能把质子加速到 7×10^5 电子伏，在历史上第一次用人工加速粒子成功地实现了分裂铀原子核的核反应。

经过改进，1946年美国加利福尼亚大学建成的稳相加速器使质子能量达200兆电子伏，用它第一次产生了 π 介子。

1954年，加利福尼亚大学又建成了同步加速器，可把质子加速到6.4京电子伏，用它第一次产生了质子和反质子对。

半个世纪来，加速器和粒子物理学相互促进，同步发展，加速器的能量提高了6个数量级（由 10^6 电子伏提高到 10^{12} 电子伏），加速器直径由不足1米发展到2.2公里。

和加速器平行发展的还有用于记录和测量各种粒子的设备——探测器，它也是粒子物理学不可缺少的实验工具。

探测器一般分为径迹探测器和计数器两大类。1912年，英国物理学家威尔逊根据带电粒子经过饱和气体产生液珠径迹的原理建成了威尔逊云室。

在计数器方面，1928年发明了盖革—弥勒计数管。1944年，有了光电倍增管，产生了闪烁计数器。1949年又出现了半导体探测器。从发展趋势看，计数器已突破单纯计数的局限性，还能精确地描绘出粒子的径迹，出现了取代径迹探测器的可能性。

19世纪末有两大发现，一是放射性同位素，一是电子。20世纪初，人们又进一步发现原子核。

从1925至1928年，人们不断发现描述电子、原子等微观世界的物理规律，确立了量子力学。这时候，物理学的主流沿着原子结构和基本粒子两个方向发展着。

原子结构与太阳系相仿，中间带正电的核占原子重量的99.9%，其体积只有整个原子空间的十万分之一。原子核到底是由什么组成的，它的结构如何，原子核打碎以后，元素的转化规律又是怎样的等问题的研究就构成核物理这门新学科。

前面我们已介绍过，1905年爱因斯坦在狭义相对论中提出了一个质能关系式： $E=mc^2$ ，即能量等于质量乘以光速的平方，在理论上已预言了从微观粒子开发新的强大能源的可能性。

1919年，卢瑟福就用 α 粒子从氮原子核中打出原子，首次实现了人工原子核反应，这是原子核反应研究的开始。

20世纪20年代英国物理学家阿斯顿通过计算论证了重核裂变和轻核聚变都将释放出巨大能量。30年代居里等人用 α 粒子轰击原子核引起原子蜕变后人们更看到了这种可能性。

直到量子力学和原子结构的研究告一段落后的1928年，人们才开始以量

子力学为武器研究原子核。最初取得成绩的是美籍俄国人伽莫夫，他于 1928 年应用量子力学解释原子核的衰变现象，并取得了成功。

1932 年，英国人查德威克在人工核反应的研究实验过程中发现了与质子质量相同的不带电的中子，从而确认：原子核是由中子和质子组成的。在查德威克发现中子以后，核物理有了迅速发展。

1934 年，费密开始用中子进行轰击原子核试验，很快发现并不需要很大的能量中子即可击破原子核，而且慢中子比快中子的击中率还高，这对原子能的开发是决定性的一步。

由于发现了中子，就容易实现核反应。因此从 1933 年开始，核反应的研究有相当快的发展。1935 年，丹麦人波尔提出核反应的复合核模型理论，成为当时核反应的中心理论。

1938 年下半年从柏林传出一个引人注目的新闻：德国科学家哈恩和斯特拉斯曼用中子轰击重元素铀时发现生成的物质中有放射性钡同位素。

元素钡的出现暗示这样一个问题，就是中子并不是从铀的原子核中除去少数粒子，而是把它分裂为两个，而且发生裂变之后的总重量比铀的原子核的总重量要小。

根据爱因斯坦的相对论理论可以得出结论，这是因为在裂变过程中放出大量能的缘故。但是，人们对于原子能作为动力来源并不乐观，如果将它用到战争上将可能是破坏力极大的武器。

也就是在人们热衷于研究原子能的时候美籍德国人贝蒂、美国人克里菲尔德、德国人韦次萨克等人在 1938 年几乎同时指出：太阳和一切恒星的光和热量是以氢为燃料的热核反应的结果。

在热核反应中碳是催化剂，氦是灰烬，即两个重氢原子核聚变成一个氦原子核时，放出巨大能量。而这种反应要比“裂变反应”放出的能量更大，这种反应称为“聚变反应”。

在煤燃烧时，是碳原子与空气中氧原子通过化学反应结合而成二氧化碳，放出能量。但是原子核反应所释放出来的能量比化学反应释放的能量要高 100 万倍，即 1 克铀裂变所产生的热量相当 3 吨煤燃烧放出来的热量。而聚变反应又是裂变反应释放能量的几十倍。

从此，人们发现了比裂变反应更好的释放原子能原理，即氢弹的核聚变反应原理。氢弹为继原子弹之后的“第二代核武器”，中子弹为第二代核武器。从此，太阳不断发出光和热的谜也彻底揭开了。

我们再谈一下原子弹的制造过程。

1939 年，奥地利女科学家迈特纳和弗里什在波尔的试验室进行裂变反应实验，实验证明了这种可能。后来，费米在美国重复做了这个裂变实验。

1940 年，英国人认识到 U^{235} 同位素不仅用慢中子可以引起核裂变，快中子也可以。这样很少量的 U^{235} 就有可能引起连锁反应，发生异乎寻常的巨大爆炸，因此用这个原理制造原子弹将成为可能。

英国科学家们通过实验室实验，找到了大规模分离出比较纯的 U^{235} 的方法，这就使生产原子武器即将成为现实。

可以看出，要真正实现原子能的开发利用，就要解决裂变材料的来源、链式反应的控制等问题。

铀是当时已知的主要核裂变材料，但铀多与其他元素共生，含量比例小，首先得提纯，而提纯技术又较难，英国已解决了铀的提纯问题，而美国直到

1940 时纯铀储备还不到 40 克。

为解决这一问题，美国成立了一个专门小组，用离子树脂交换法提炼纯铀成功，到 1942 年获得纯铀 2 吨，为解决核燃料来源开辟了道路。

但铀有两种同位素，一为 U^{235} ，另一为 U^{238} ，其中只有 U^{235} 能由慢中子引起裂变，而 U^{238} 则不能，因此还必须从铀元素中把 U^{235} 单独分离出来。

可是要把 U^{235} 与 U^{238} 分开并不容易，这是因为在天然铀中， U^{238} 占 99.3%， U^{235} 仅占 0.7%，而且两者化学性质相同，很难用化学方法分离。1942 年，美国化学家尤里用一种物理方法——气体扩散法把这两种铀同位素分开。

为获得足够数量的可裂变物质，除了分离铀以外，还得另外找寻别的途径。美国科学家还发现，钚也可以在慢中子作用下发生裂变，从而发现了另一种新的裂变材料。

在当时，原子物理学的成果还是公开的，但对原子能技术怎样用到军事上都是绝密的。因此，要在几个月内了解到别的国家的进展情况是不可能的。

1941 年底，英国、美国的科学家从不同途径发现了制造原子弹是可能的。有了这个判断以后，美国于 1941 年 12 月 7 日正式参加第二次世界大战，且在英国的直接援助下，大规模地加紧进行 U^{235} 和钚的制备和研究。

法国的战争失败使法国科学家逃往英国、加拿大，失去了对原子武器的研究机会；苏联当时的研究十分保密，在柯查托夫的领导下开始了核裂变和气体扩散分离方法的探讨。

美国在奥本海默领导下组织了几千名科学家和几十万名工人，投入 20 多亿美元，进行原子弹的研究。

参加研究的有哥伦比亚大学、加利福尼亚大学等许多单位。当时为了尽快完成他们制定的曼哈顿计划，仅同位素分离就提出三种不同的办法。

原子反应堆是研制原子武器的核心部分，是曼哈顿计划的关键。这项工作的功劳除奥本海默以外，就是在美国的意大利人费米。

费米先后在哥伦比亚大学和芝加哥大学工作，到 1942 年 12 月 2 日他终于研究成功世界上第一座原子反应堆，在华盛顿州亨福特还建立了 3 台大型钚原子反应堆，它成为提供原子弹原材料钚的主要基地。

1945 年 7 月 16 日在新墨西哥州试验的第一颗原子弹和轰炸日本广岛和长崎的两颗原子弹都是用这个基地提供的钚制造的，该反应堆还为以后建立更大规模的原子反应堆提供了大量数据。

美国在临近第二次世界大战结束时作出了对日作战使用原子弹的决定，在没有使用原子弹以前，美国几十名物理学家联名向美国政府写了请愿书，要求不要使用原子弹，但是美国政府没有听。

1945 年 8 月 6 日投到广岛的原子弹炸死 20 多万人，受难者总数达 40 万人；8 月 9 日在长崎市投下了第二颗原子弹，又使 10 万多人丧生。

1946 年，美国颁布了“原子能法”。根据这个法律，只有政府有权制造任何一种原子武器。另外，美国成立的“原子能委员会”，是政府专门管理原子能事业的机构，它有权和企业订合同。

同年，前苏联为和美国对抗，开始了原子能研究。美国原子弹研究工作的组织领导者是奥本海默；苏联原子弹组织者是柯查托夫，他建立了苏联第一个原子核反应堆，并组织生产了苏联第一颗原子弹。

苏联最初的原子能反应堆是直径为 6 米的球体，所用的燃料是天然铀，

为了让中子反射，外侧用一米厚的石墨困住，控制连锁反应用的是镉棒。

1946年未建成的这个反应堆，他与4年前费米在美国芝加哥建成的反应堆很相似。接着，苏联科学家117开始研制原子弹。1949年9月，前苏联第一颗原子弹爆炸成功，比美国晚了4年多。

前苏联原子弹爆炸成功对美国震动很大，因为美国从此失去了原子弹的垄断。于是，美国在1949年11月爆发了一场要不要生产氢弹的争论。

美籍匈牙利人、物理学家特勒主张研制氢弹，而原子弹的生产者奥本海默则坚决反对。以后奥本海默因阻止美国政府执行制造氢弹的政策而受到政治迫害。

1950年元月，美国总统杜鲁门下令研制氢弹。由特勒负责，投资10多亿美元建设氢弹工厂。同时，原子能委员会决定延期进行原子能发电计划，集中力量加紧进行核潜艇的研究，世界形势越发紧张。

在世界各国政府掀起反对使用核武器的时候，美国为了防止在核武器竞赛中落后而加紧进行氢弹的研制。1951年5月美国制成了以原子弹为点火装置的氢弹，但没有立即试验。

1952年11月1日在爱纽维特克首次进行了氢弹试验并获得成功。长3英里、宽1英里的一个小岛完全消失，这颗氢弹的爆炸威力相当于12兆吨的TNT火药，相当于投到广岛的原子弹威力的600倍，氢弹就这样在反对核武器运动中诞生了。

1952年6月14日美国第一艘核潜艇“鹦鹉螺号”下水了。接着，1953年5月25日，装有核弹头的炮弹又发射成功。

前苏联为了与美国进行核竞争，1953年8月在西伯利亚进行最初一次氢弹试验获得成功。1952年11月，美国氢弹采用了液体重氢和三重氢的“湿式燃料”，但它不适宜在实战中使用。半年多后，前苏联采用“干式燃料”（固体燃料）氢弹，体积和重量都比美国的小，很适合用于实战的需要。

1954年3月1日，美国在太平洋毕基尼岛也进行了“干式燃料”氢弹试验，此氢弹的威力相当于15兆吨TNT火药，是投到广岛原子弹威力的750倍。

由于这个氢弹外侧覆盖一层 U^{238} ，外侧铀在爆炸时吸收中子而分裂成为放射性微尘“死灰”，它可以飞散到200公里以外危害人的生命。当时在远离爆炸点200公里外有一艘日本渔船，船上23人全部受到放射性微尘污染的危害，日本本土上也降落了放射性微尘。

毕基尼岛试爆的氢弹是“超铀炸弹”，即经过核裂变 核聚变 核裂变三段核反应，所以也叫“三F炸弹”。

1955年7月18日召开了一些国家的首脑会议，还召开了第一次世界和平利用原子能会议。大家对核能发电展开了讨论，有人提出20年后实现核聚变发电的目标，引起世界各国注意，不少国家组织人力物力积极开展核聚变发电的研究。

苏美两国为解决原子能发电，首先研究解决了建立材料试验反应堆的问题。1954年6月27日前苏联原子能发电站开始运转。

前苏联是最早利用原子能发电的国家，为了在政治上向美国展开攻势，于1955年召开了原子能和平利用的国际会议。

1956年10月17日，英国第一号原子能发电站也开始运转。电站功率为

10 万千瓦，英国决心用原子能代替煤来发电，开展了大规模建立原子能发电站的活动。

美国为了在经济上取得原子能工业的潜在市场和军事上的需要，与很多国家签定了提供核燃料的双边协定。

50 年代中期，美、苏、英三大强国都建立了原子能发电事业，原子能发电取得了很大进展。

原子能作为能源推广使用的速度是缓慢的，但是原子反应堆所提供的大量的放射性同位素是除原子能以外最重要的东西，在许多方面得到应用。

原子能和平利用另一个方面是原子能船。美苏在 50 年代末先后制成原子能船。美国最初制成的原子能商船于 1957 年 7 月下水，可载客 60 人和 1 万吨货物。1959 年，苏联制成原子能破冰船，它可破碎 2 米多厚的冰并保持正常运行。

综上所述，从 19 世纪末至 20 世纪中叶，物理学又进行了第二次飞跃，从放射性到粒子世界，从原子结构到原子能运用都得到了迅猛发展。欲知后事如何，且听下回分解。

第十回 空间技术 尖端且高难 物理前景 迷茫又灿烂

“二战”中，德国一共向英国发射 1120 枚 V—2 火箭。1957 年 10 月 4 日，第一颗人造卫星“伴侣一号”由前苏联发射成功。1982 年 11 月 11 日，美“哥伦比亚”号航天飞机正式开航。前苏联发射的“和平号”第三代空间站，已显示出建立空间城市的可能性。

且说第二次世界大战结束后，科学和技术都有新的发展，技术的进步尤为突出。40 年代中期开始陆续产生的一批主要来源于科学的新技术，进入 70 年代已经形成一次新的技术革命的浪潮。自动控制与电子计算机、原子能、航天飞行器、火箭等，形成科学技术总体化发展的趋势。

现代空间技术是研究人类如何进入、利用和开发外层空间的工程技术。它包括动力推进、空间飞行器和运行制导三大技术系统。1957 年，前苏联发射成功第一颗人造地球卫星，标志着空间时代的到来。为了这一时代的到来，人类已进行了长时间的理论和技术准备。

历史上最早出现的升空动力推进器，是中国古代发明的火箭。最迟在南宋，我国已把火箭当作武器。到了明代，已有把多个火箭绑在一起和使用二级火箭的记载，前者称为“神火飞鸦”，后者称为“火龙出水”。

到了元代，中国火箭先后传入日本、印度、阿拉伯和欧洲。19 世纪初，英国人康格雷夫曾对火箭武器作了较大改进。这些火箭虽不能与现代火箭相提并论，但就其基本原理和基本结构来说却大致相同。

火箭技术是现代空间技术的基础。为现代火箭技术奠定理论基础和开辟实验道路的代表人物，是俄国的齐奥尔科夫斯基、美国人戈达德和罗马尼亚人奥伯特。

齐奥尔科夫斯基从 1903 年起发表了《利用喷气仪器研究宇宙空间》等一系列论文，通过严密的数学计算，提出利用火箭作为探索宇宙空间的工具的设计，建立了著名的齐奥尔科夫斯基公式。

按照他的公式，火箭排气速度的大小是决定火箭末速度的关键因素。在火箭排气速度一定时，火箭总重量与结构总重量之比则是影响火箭推力的主要条件。

根据这个原理，他提出了使用液氧作氧化剂、液氢作燃烧剂、采用多级火箭以提高质量比的构思，并计算出了第一、第二和第三宇宙速度。

齐奥尔科夫斯基公式至今仍然是火箭设计的重要理论基础。戈达德独立地研究了火箭推进原理，1919 年出版了有关著作，并亲手制造了世界上第一枚液体火箭。

火箭用液氧和汽油作推进剂，于 1926 年 3 月 16 日发射，在 2.5 秒的时间内，上升到 12.5 米的高度，水平飞行了 56 米。奥伯特也对宇宙进行了独立的研究，并于 1923 年出版了《深入星际太空的火箭》一书。

第一次世界大战结束后，许多国家都大力进行了火箭的研究，其中尤以希特勒当政后的德国最为积极。

德国在极端保密的情况下，集中一批科技力量，由布劳恩主持，从 1933 年起开始设计研制火箭。通过对 A 型火箭系列的研制和试验，在燃料冷却技术、发动机性能、弹道设计、制导与控制方面都积累了大量经验。

1942年10月3日，他们成功地发射了第一枚液体军用飞弹“V—2”。这种飞弹全长14米，结构重量3.99吨，携带8.96吨推进剂和1吨弹头，总推力为27.2吨，最大射程为300公里，最大速度1.5公里/秒。

它以75%的酒精作燃料，液氧为氧化剂，用自动控制装置从地面垂直起飞，由燃气舵和陀螺仪进行制导，用燃气涡轮泵将推进剂注入燃烧室。这些技术创新成了第二次世界大战后火箭继续发展的基础。

1944年6月，德国将V—1飞弹（喷气机推进装置）发射到英国本土，英国用喷气式战斗机还击获得成功。

1944年9月，德国使用了新武器V—2火箭。这已不是喷气机作推进动力，而是很好的火箭，前面已作了介绍。

对科学一窍不通的希特勒，对火箭技术不信任。1939年9月，他说“V—2火箭在这次大战中用不上”。于是大量削减火箭的研究经费。

在完成V—2火箭的1942年，由于已经不能实现用V—2火箭攻击英国本土的任务，只好停止制造V—2火箭。因此，V—2火箭的实用推迟了。

可以想象，如果德国V—2火箭的研究与制造一直进展下去，能在1943年用于战争，那么，英美等国军队将遭受巨大损失。

当时，V—2火箭是从荷兰的瓦萨纳森林向伦敦发射的，速度超过了音速，因此防备V—1飞弹的方法对V—2火箭无效，德国一共向英国发射了1120枚V—2火箭，有1050枚命中伦敦，很多建筑物被破坏，大量市民死亡。

后来德国受东西两个方面军的包围，到1945年，德国生产V—2火箭的工厂和发射基地被占领后，才解除V—2火箭的威胁。

在第二次世界大战中，德国的火箭技术占绝对优势。战后，苏美的火箭技术都是从继承德国遗产开始的。

1945年4月，德国无条件投降的时候，以布劳恩为首的150名德国火箭技术科学家都向美国投降，并把100枚V—2火箭的零部件从德国抢运到美国。

在美国掠夺德国火箭技术的时候，苏联也抢占了位于民主德国地区的德国火箭研究所，俘虏了遗留下来的德国全部科学家和技术人员。总之，美苏的火箭技术正是从此开始的。

战后很长一段时间，美国并不重视火箭技术的研究，其重要原因是美国政府对火箭技术的意义缺乏认识，资本家则认为这是不赚钱的研究，也不积极。

战后的最初10年，用于军事目的的探空火箭和导弹的研制和发射，使火箭发动机技术、飞机控制、跟踪、遥测和遥感技术、基本元件制造技术等都得到了提高。

美国从1946年起开始执行一系列探空火箭计划。1947年，美国将装有科学仪器的V—2火箭发射到73至130公里的高空，并用降落伞完好收回。1949年，美国第一次给V—2加上第二级，发射到393公里的高空，真正进入了外层空间。

前苏联于1947年10月第一次发射V—2，不久，在科洛廖夫主持下设计出RD—101火箭发动机，用它推动V—1—A地球物理探空火箭，并于1949年试射，将2.2吨重的载荷带到2121公里的高空。

1957年7月—1958年12月，国际地球物理年的活动把探空火箭的发射推向一个新高潮。

在此期间，美国发射 210 枚，前苏联发射 125 枚探空火箭，最大高度达 4760 公里，获得了有关大气层物理化学性质、地磁场、宇宙射线和太阳辐射、X 射线和紫外辐射以及陨石等大量资料。

苏美两国频繁发射探空火箭的目的，是为发射导弹武器作准备。它们同时都积极进行着导弹的研究。

为了制造大型火箭，需要动员极为广泛的科学技术力量，突破重重难关。

众所周知，液体燃料比固体燃料能量大，调节使用容易，所以液体燃料受到重视。但是液体燃料的火箭在装载液体燃料与液氧时困难，液氧的沸点为负 183 摄氏度，处理时需要特别慎重。

燃料箱壁越厚越安全，但是燃料箱壁厚就要增加整个火箭的重量，从火箭射程角度考虑，要求燃料箱越轻越好。可是，燃料箱壁太薄就不能承受高压和低温。其次，火箭燃烧室要承受 100 个大气压强以上的高压和 4000 摄氏度的高温，所以，发动机要用长时间能承受高温的耐热金属制成，并且需要冷却系统，这又使结构变得复杂。

大型火箭的内部构造也是非常复杂的，在内部实际上有几十万个部件。它一方面承受极高的高温，另一方面又得经受极低的低温的考验。所以一切要求都很高，只要有一点差错就不能运转。

前苏联在 1950 年开始研究射程为 3000 公里的火箭，1954 年 6 月完成了这个工程。这种火箭已属于 2000 至 6000 公里射程的“中程弹道导弹”，它能从莫斯科飞到伦敦。当时赫鲁晓夫就曾用这种火箭威胁过英国和法国。

美国于 1950 年在布劳恩主持下开始实施“红石计划”，1953 年 8 月试飞成功。红石中程导弹在技术上有许多新进展：它有极好的制导系统，由带有空气轴承陀螺仪的稳定制导平台、空气轴承加速表和空气轴承校平摆组成。它还首次在自动控制装置中利用了晶体管，使导弹的命中精度提高。

以后，美国又批准了第一代远程导弹 MX—774 和 MX—1593 研究计划，但初期进展缓慢。1953 年 8 月 12 日苏联在空中爆炸了一颗氢弹后，才刺激了美国，使它在 1954 年决定给“宇宙神”计划以最高的优先权尽快研制。

且说第二次世界大战后，前苏联的导弹研制优于美国。

苏联在中程导弹取得成功以后，立即开始洲际导弹的研究，并制订了研制洲际导弹的计划。

为了造成更大推力，前苏联采取了新的“集束式”技术路线，设计出全燃烧室发动机，使几个燃烧室共同使用推进剂贮箱，各有自己的喷管，联合起一个大发动机的作用。为避免一级火箭脱落后二级火箭不能及时点火的危险，在主动机上又附加四个助推器，各有独立的发动机系统，发射时一起点火以加大推力，上升到一定高度后再抛掉助推器以减轻重量。

按照上述思想设计的 RD—107 和 108 火箭发动机于 1954 年制造成功。然后以 108 为主发动机，107 做助推器，制成了 SS—6 洲际导弹，总推力达 504 吨，并于 1957 年 3 月 3 日首次试射。

事实表明，发射射程为 8000 公里的导弹所需要的动力和发射人造卫星所需要的动力是相等的，这两方面都需要每秒 8 公里的初速度，从而可知，发射与洲际导弹弹头重量相等的人造地球卫星是可能的。

只要能解决火箭或导弹的自动控制技术的问题，人造地球卫星就可以发射了。

1957 年 10 月 4 日，第一颗人造卫星“伴侣一号”由苏联发射成功，这

颗卫星就是用这种火箭送入轨道的。

这颗球形卫星直径为 58 厘米，重量为 83.6 公斤，球上有 4 根长度为 2 米多的天线。卫星飞行的最高高度为 900 公里，绕地球一周为 1 小时 35 分钟。

人造天体的诞生，空间科学时代的到来，对世界是一次冲击，特别是对美国、西欧各国的刺激、震动最大。

人造卫星发射成功，表明科学技术已经进入一个新的发展阶段。特别是电子学、金属学、热工学、化学燃料的研究已达到一个相当高的水平。同时，它还会对物理、天文、化学、地球科学和生物学等的发展产生巨大影响。

现在，对人类来说，地球显得小了，人造地球卫星绕地球一圈只需 1.5 小时，这对今后和平利用宇宙空间、开展国际间交往和合作提供了美好前景。

前苏联在发射第一颗人造卫星以后一个月，1957 年 11 月 3 日发射了带狗上天的人造卫星“伴侣二号”，其重量为 508.3 公斤，最高飞行高度为 1500 公里。

第二颗人造卫星发射的目的是观测狗在宇宙空间的生活状况。在卫星内部有空气再生装置、定期给狗提供食物的装置和保持一定温度的装置。

这些装置顺利地工作，对狗的呼吸、脉搏、血压能够很快测定出来，一切正常，这说明载人飞船指日可待了。

在这颗人造卫星上，还装有很多重要的观测设备，其中包括测量宇宙射线、大气层以外的电子密度和太阳紫外线等重要数据的设备，它对空间科学的发展是一大推动。

到 1965 年时，前苏联已使用了能把 5500 公斤的有效载荷送到月球轨道、可载 4650 公斤进行火星飞行、可将 3000 公斤送入地球同步轨道的多级火箭，并用它将几个 18.6 吨的“礼炮号”航天站送入太空。

前苏联火箭—导弹的巨大成就震惊了美国，促使它从 1955 年起同时加快了洲际导弹“宇宙神”和中程导弹“丘辟特—C”、“雷神”计划的执行。同年 9 月，美国又开始了“大力神”洲际导弹计划。

“宇宙神”火箭系统的技术特点是：利用弹壳本身作为推进剂箱的外壳以减轻结构重量；用万向架喷嘴代替燃气舵；依靠与制导系统联在一起的可旋转喷嘴保持预定方向；采用助推发动机和微调发动机设备，以加强推力、精确调整位置和速度。

1957 年 12 月 7 日，“宇宙神”首次试飞成功。1959 年 1 月 6 日，使用液氧煤油二级火箭结构的“大力神”也试飞成功。

60 年代至 70 年代，美国的航天器主要都是由这些火箭系列再加上“上面级”构成的多级火箭发射的。

60 年代初，美国开始实施“阿波罗登月计划”，从而使火箭技术发展到了新高峰。

运载阿波罗航天器的“土星”系列火箭是实现这一计划的关键。

“土星—V”是三级火箭，第一级由 5 个用液氧、煤油为推进剂的“F—1”火箭组成，总推力为 3400 吨；第二级由 5 个“J—2”发动机组成，总推力为 520 吨；第三级只有 1 个“J—2”发动机，推力为 92 吨。

整个“土星—V”可将 1150 吨负载推入低地球轨道，将 450 吨负载推上月球，到目前为止它仍是推力最大、有效载荷量最大的先进火箭。

“土星—V”火箭的“J—2”发动机使用的是液氧—液氢推进剂，比冲高达 424 秒，并有第二次点火的能力。它装有最先进的电子制导系统，可保证

火箭稳定飞行。

1967年11月，“土星—V”首次试飞成功，1969年，它把阿波罗航空飞船送上月球。

火箭是现代空间技术的动力装备，没有它，所有的航天飞行都不能实现。通过上面的介绍，可以看出，火箭已具备这个能力。但是，可以在空中运行并执行任务的，则是由火箭送入轨道的各种航天飞行器。

前面已说明，第一颗人造地球卫星是由前苏联发射的，它标志着“空间时代”的开始。从此，各种人造卫星陆续升天，现已达3000多颗，其中苏、美占90%以上。

我国从1971年开始到如今，也发射了19颗卫星，成为5个能独立发射卫星的国家之一。

人造地球卫星按用途大体上可分为侦察卫星、通讯卫星、气象卫星、资源卫星和科学卫星五大类。为了军事和政治目的，其中以军事侦察卫星的数量最多。

美国从1959年开始试验发射照相侦察卫星，1962年投入使用，属于第一代侦察卫星，其分辨力低，工作效率短。

到70年代末，照相卫星发展到了第四代，水平有了显著提高，如分辨率高于0.3米，从160公里处拍摄的照片可分辨出汽车的型号，照相胶卷可以随时收回。卫星可变换轨道高度，它的寿命可达179天。

此外，海洋监视卫星、导弹预警卫星、核爆炸探测卫星等也发展起来了。苏美两国现在都发射了多种侦察卫星，互相搜索着对方的军事秘密。

通讯卫星发展得也较快。早在1945年，英国的克拉克就论证了在空间建立通信中继站的可能性和优越性。1958年12月18日，美国发射了第一颗通信卫星“斯科尔”号，它是一个单向传输延迟通信卫星，轨道低，使用寿命仅13天。

1960年8月12日和1964年1月25日，美国又先后发射了“回声”1号和2号，转发宽带信号良好，能够传输电话、电报和传真。

1963年至1964年，美国发射了三颗试验性同步卫星，其中“辛康—3”号获得成功，可通两路电视。

1965年4月6日，以美国通信卫星公司为首组成的“国际通信卫星财团”发射了一颗半试验半实用的同步卫星“晨鸟”即“国际通信卫星—1”号，从此通信卫星从试验阶段转入实用阶段。

从1965年至1971年，国际通信卫星发展了四代，在转发器、天线、稳定系统、通信体制、卫星功率、通信容量和工作寿命等方面每代都有提高。

1974年7月29日，前苏联才发射了第一颗同步卫星，并成为全球通信系统的组成部分。

1984年4月8日，我国发射了第一颗地球同步静止轨道卫星，4月16日定点成功。1986年2月1日，我国又成功发射了一颗“实用通信广播卫星”。

通信卫星系统具有容量大、覆盖面广、通信距离远、可靠性高、灵活性好、速度快、投资少和费用低等优点，所以发射数量迅速增加。

现在同步轨道卫星的数目已使轨道可容量饱和，今后的发展方向最终是建立大型同步通信站。

由于加强气象预报和勘察资源的需要，气象卫星和资源卫星应运而生。这两种卫星在技术上的特点是使用高功能遥感仪器，因此，它和遥感技术联

在一起。

1960年4月，美国开始发射“泰勒斯气象实验卫星”，接着又发射了一系列气象卫星。

美国第一代气象卫星基本上采用的是一系列可见电视的摄像技术，接受白天云层对太阳可见光反射的光信号，取得白天光云图资料。

第二代使用双波段扫描辐射计，除接收可见光反射辐射外还接受红外辐射，可分辨0.85公里高度的云层结构。

第三代使用的扫描辐射计发展到4—5个波段，装置了泰勒斯垂直探测器，可给出距地50公里的温度、水汽和臭氧含量等资料，用数字传回地面。

同时，前苏联也发射了一系列“流星”气象卫星。1974年世界气象组织还施行了“全球大气研究计划”，美、日、西欧等国按计划发射了几颗同步和极地轨道卫星，构成了全球气象卫星网。

美国从1972年至1982年连续发射了地球资源卫星“陆地卫星”1—4号。苏联从1977年开始发射地球资源卫星“宇宙—912”。

美国还发射了“海洋卫星”系列，进行海洋资源探测。

资源卫星上均装有高分辨率的电视摄像机、多光谱扫描仪、微波辐射仪等遥感仪器，可提供地下矿藏、地下水源、海洋资源、地质地貌、植物分布、作物生长等多方面的资料数据，具有重要的经济意义。

除了各种应用卫星之外，无人航天器还有科学卫星和空间探测器。科学卫星是专门用来进行各种科学研究的地球卫星；空间探测器是用于科学考察的星际飞行器。

1964年9月美国开始发射轨道地球物理观测站系列，卫星重量超过500公斤，分别携带二三十种实验仪器，在不同轨道上探测不同项目，如宇宙线、磁场、极光、微流星、星际大气和太阳耀斑等。

连续发射的空间探测器，先后对月球、金星、火星、水星、土星、木星和天王星进行了程度不同的考察。

1959年，前苏联发射的“月球—3”号拍回了月球背面的照片。此后发射的“月球”系列曾在月球上软着陆，取得了大量资料，带回了月球土壤。

1962年8月27日美国发射了“水手—2”号，首次对金星进行了42分钟的考察。1964年11月28日发射的“水手—4”号于1965年7月15日逼近火星，拍摄了火星表面1%的照片，其后“水手”6至7号也都成功地飞经了火星。

美国于1972年开始执行探测木星和土星的“旅行者计划”。旅行者—1号于1977年9月5日发射，旅行者—2号于同年8月20日发射。

两个“旅行者”具有良好的信息传输系统、制导和温控设备、可靠的部件，并使用了核电源；它们携带11种科学实验仪器，可以执行宇宙射线、磁场、等离子波等11项科研任务。

现在它们已完成对木、土星的探测，其中2号于1986年1月24日抵达天王星的最近点，以后它将离开太阳系进入茫茫的宇宙，带着录有“地球之间”的铜盘唱片，寻找不知是否存在的“外星知音人”。

载人宇宙飞船和地球轨道空间站的发射成功，在空间技术发展史上具有重要意义。

载人飞船和空间站除了发射、飞行、制导技术要求更高之外，关键问题是必须解决返回技术，并保证人的安全。经过多次实验，苏美两国都在60

年代解决了这种返回技术，开始了载人飞行。

1961年4月12日，前苏联第一次发射飞船成功，把宇航员加加林送入地球轨道，运行108分钟，安全返回地面，开辟了人类航天的新纪元。

这一成功震动了美国，美国总统肯尼迪在国会上指出要在10年内把人送上月球并安全返回，并批准了“阿波罗登月计划”。1969年7月16日，阿波罗—11号发射成功，宇航员阿姆斯特朗、奥尔德林登上月球，7月25日返回地球，取得了完全的成功。

1973年5月14日，美国利用“土星—V”火箭，发射“天空实验室—1”号，并取得成功，该实验室重82吨，携带58种科学仪器，美国还用阿波罗飞船作为交通工具，先后共把9名宇航员送进实验室，进行了20多种科研。

在此期间，前苏联则以建立空间站为重点与美竞争。

空间站具有多学科实验室和多用途卫星的作用，是今后建设太空工厂和太空城市的技术基础，还可以作为更远宇宙飞行的中继站，预计它是今后空间科学技术的重点发展方向。航天飞机兼具飞船和飞机二者之长，是可执行多种任务和反复使用的航天器。它的技术要求更高更困难。

但到60年代末，人类已经掌握了大推力火箭、载人飞船、空间站和大型喷气客机等技术，研制航天飞机的条件已经成熟。

美国于1970年7月开始设计航天飞机，1976年2月确定采取“哥伦比亚”设计方案。“哥伦比亚”航天飞机由轨道器、助推火箭和推进剂外贮箱三个主要部分构成。

轨道器分前、中、后三段，前段载人，中段载各种仪器设备和准备施放的卫星，后段装使用液体燃料主发动机，推力为510吨。助推火箭有两个，使用固体燃料，重580吨，推力为1315吨。推进剂外贮箱内有两个分装液氢和液氧的贮箱，为轨道器主发动机提供燃料。

飞行过程分上升、轨道飞行和返回三个阶段。发射时助推火箭和主发动机同时点火，先垂直上升，到50公里高时，助推火箭熄火并与轨道器自动分离，溅落在海面上由船只收回另用。

在将进入绕地轨道时，主发动机熄火，抛掉外贮箱，另由两台机动发动机推动，进入地球轨道，轨道器开始绕地球无动力飞行，乘员执行各项任务。

在返回阶段，机动发动机再次点火，进行制动减速，使轨道器脱离轨道，进入大气层时则利用大气摩擦减速，靠轨道器的机翼滑翔下落。

“哥伦比亚”号经过三次试飞后，于1982年11月11日正式开航，将两颗卫星发射到预定的地球同步轨道位置上。

1983年美国第二架航天飞机“挑战者”号也试飞成功，到1986年1月28号“挑战者”号进行第10次飞行时发生爆炸事故为止，美国航天飞机共飞行了24次。

前苏联还没有发射航天飞机，但研制的第一台样机已基本装成，并于1986年12月完成了发射前的各种检验和试验工作。

这架航天飞机与美国的“挑战者”号不同的是：它把四个液体推进剂捆绑式助推器都装在轨道飞行器上，在轨道器的尾部加装了喷气发动机，三台主机则装在外挂燃料箱上。

航天飞机的出现是空间技术发展史上的一个重要阶段，但最初几次飞行后，人们从几个方面已认识到它还存在不少需要继续解决的问题。

因此，在“挑战者”号不断发射的过程中，改进研制就已开始了。其目

的在于制出能水平起飞，能平稳返回地面的航天机。

美国于 80 年代初开始进行“X—30”研究计划，后来该计划公开名称叫“东方快车”，目前正加速进行。

英国则正在研制一种“霍托尔”航天机，按照设计，该机有效载荷舱长 7.8 米，起飞总重近 200 吨，总长 63 米，翼长 20 米。

起飞时，在跑道滑动 2300 米，用滑车加速到 540 公里/时，然后离地升空，2 分钟后达到超音速，9 分钟高度可达到 26 公里，速度达 5 马赫，然后由液氧火箭发动机发动，最后进入绕地轨道。

欧洲航天局也正在研制一种由法国设计的“赫姆斯”小型三角翼航天飞机。它只有喷气战斗机那么大，预定由“阿丽亚娜—V”火箭发射，返回时可在普通机场着陆。

联邦德国 1986 年 6 月又向欧洲航天局提交了“詹格尔”航天飞机方案，它的设计是上下两层（级）。

发射后在第一级飞到约 30 公里高度时，第二级开始点火，继续飞向轨道，第一级脱离第二级返回地球，还可单独作喷气客机使用，第二级完成任务返回地球时亦能在机场降落。

综上所述，从火箭到航天器，可以看到，空间科学技术是一门综合性的科学技术。没有电子学与电子计算机、自控与遥控、遥感与遥测、材料和能源等科学技术的发展，就不会有空间技术。

反过来，空间技术发展中需要解决的问题，又推动了这些科学技术的研究与进步。所有这些，都使空间技术为人类创造了难以估计的经济效益与社会效益。

人类已着手准备在空间建立卫星太阳能电站，卫星电站可把太阳能转化为电能，再通过微波发射输送给地球。

卫星太阳能电站一旦取得突破，将给人类提供清洁、安全和极为丰富的能源。现在许多国家都在研究利用大型电池板转化太阳能的技术，并取得进展。

人类已在准备建立空间工厂。空间特有高真空、无重力、无尘埃的优越条件，可以制造在地球上无法制造的高纯度、高精度、高功能的特殊合金材料和产品。

现在建立空间工厂的技术基础已初步具备，可以预期在不久的将来这种理会由少到多，由小到大地逐步实现。

人类已在设想建立空间城市。空间城市要有居住、生活、生产和科研等环境条件，是一种具有系统配套设施的综合空间，体积要比空间站大得多，技术上有更高的要求 and 困难。

美国有的科学家已经指出，前苏联发射的“和平号”第三代空间站，已显示出建立空间城市的现实可能性。

人类已准备开发月球。月球离地球最近，也知道它虽是一个没有生命的荒凉世界，但却是一个丰富的资源宝库，铁、钴、钛、铀、钍等重要金属原料都有蕴藏，而且建立生产和生活设施所需的材料，月球本身能提供 90% 以上。

月球开发不但可以成为新的生产基地，成为宇宙航行的中继站，还可以成为地球人类的“殖民地”。

美国已决定耗资 100 亿美元建立月球太空城，计划第一步于 2007 年先在

月球上建立太空基地，以此为基础再行扩大。

人类还在准备登上其他星体，更深入地探索宇宙奥秘和利用宇宙空间。苏美两国都已有登上火星的计划。

宇宙是个广阔无垠的空间，依靠空间技术的发展，人类将改变被束缚于地球表面的状况，扩展自己的活动范围。

除了空间技术以外，我们再谈一下物理学在其他几个领域里的发展情况。

雷达技术是电子应用技术发展的一个重要方面。雷达是无线电探测和定位的简称。它的基本原理是电磁波遇到物体时被反射回来并在荧光屏上显示。

1922年马可尼提出用电磁波进行探测的论文后，美国海军研究实验室验证了他的设想。

1925年，美国开始研究利用脉冲调制技术探测目标的手段，1936年，研制成第一台脉冲式雷达装置。

1935年，在沃森瓦特的建议下，英国空军开始雷达的秘密研究，并很快用于第二次世界大战中的飞机舰船的报警系统。

1939年9月1日，即第二次世界大战爆发的时候，英国已在东海岸建立了雷达网。1939年9月7日，德国空军开始轰炸英国领土。

但是，英国通过雷达总是在德机没到之前就派出战斗机迎击，使德军一筹莫展，被迫将白天轰炸改为夜间偷袭，但由于雷达昼夜都能发挥作用，德国轰炸仍然不能达到预期目的，德国空军只好放弃轰炸英国的念头。

当时，人们使用最短的电波波长为1.5米，而雷达所使用的波长越短越有效。英国物理学家于1939年秋季开始研究厘米波，1940年7月试制成功发出厘米波的磁控管。

深深了解雷达重要意义的美国，在物理学家拉比的领导下，从1940年8月起投入大量资金，有组织地进行雷达的研究。到1942年7月，制成了用磁控管的雷达装置。

在这以后，美国科学家又制出了比磁控管雷达更好的克来斯管雷达。1942年末，英美利用装备了雷达的有利条件，发起了对德日的进攻。

临近大战结束时，德国也制出600兆赫的雷达，可惜它还未来得及用于战争。雷达技术的重大发明是在可以发射高频率微波的磁控管问世以后。

第二次世界大战中，美国和英国利用高频率的微波管先后制成了先进的雷达系统，用于投弹指挥和报警。战后，雷达技术继续发展。

1946年，美国成功地探测了从月球反射回来的雷达信号，这实际上是射电天文学的开始。电子计算机发明以后，雷达和计算机结合起来又出现了自动雷达侦察系统，在导弹防御系统、空间飞行的跟踪及定位等方面发挥重大作用。

自动化技术是不由人直接操纵而利用一定装置，对机器或其他设备进行程序控制，使之准确实现预定目的的技术。自动化可以提高效率，节约人力，对各种劳动、工作和生活都有重要意义。

我国古代用以计时的“铜壶滴漏”、自动记录行程的记里鼓车、自动指示方向的“指南车”以及欧洲中世纪出现的钟表等，都是早期自动装置的雏形。

进入20世纪，自动控制技术有了飞速发展，自动调节进入了系统水平。

到 50 年代末，电子计算机用于辅助设计之后，又促进了自动调节系统的更快发展。

自动调节系统是在与自动化技术科学相互促进中前进的。自动化技术的提高促进了自动化技术科学的产生和发展，自动化技术科学的指导又使自动化技术得以更快地提高。

在第二次世界大战期间，由于火炮、雷达、战斗机等设计和生产的需要，科学家和工程师们在总结以往自动调节器、反馈放大器等控制技术的基础上，逐渐形成了调节原理、伺服系统理论，并以此为指导生产了具有高精度、快速响应的伺服机构的武器装备。

1949 年，美国数学家维纳出版了《控制论》一书。控制论是一门以数学为纽带，把横贯工程、技术、通讯、人的神经生理病理等自动控制共同规律加以提炼而形成的一门边缘学科，它把人和机器的自动控制统一起来进行研究，为自动控制技术的发展开创了新路。

随后，经典控制理论成立，自动化技术科学已经形成，自动化技术开始成为一门将应用数学、控制论、信息论、电子学、电子计算机等多种现代科学技术结合起来，运用推理、判断、测量、操纵等多种精密技术的科学。

从自动化技术科学形成和经典控制理论建立之后，第二次世界大战后 30 多年来的自动化技术，主要是在自动控制科学理论的指导下继续发展的。

现代控制理论是由匈牙利出生的美国学者卡尔曼奠基的。他以维纳的控制论为基础，引进了数学计算方法中的“校正”概念，吸取了“最佳化”研究的成果，发表了一些著作，对控制系统的属性和关联作用提供了深入的认识。

微处理器、高集成度的半导体存储器的发明和电子计算机的发展又使控制装置形成为一个综合控制系统成为可能。

70 年代以来，随着经济、科技和社会的进步，各种社会部门和机构的规模越来越大，活动内容日益复杂，人们把这种规模庞大、内容复杂而又紧密联系的动态整系称为大系统。

可想而知，大系统和复杂系统的控制难度很大，大系统理论或大系统工程也难于在短期内十分成熟。但 70 年代以来的大系统研究已取得了颇为丰富的成果，大系统理论也已具有了相当的基础。

大系统工程的一个重要特点是，它不但要控制物质、机器系列，更重要的是把人、事、物统一起来实现综合控制。

现在大系统理论已同计算机、电子学、信息科学、经济管理学、生理和环境等许多现代科学技术相互渗透，成为一种非常重要的交叉科学或软科学学科，在大科学、大工程、大经济和社会管理中得到广泛应用，也使自动化控制技术发展到一个新水平、新阶段。

在复杂系统和大系统自动控制技术不断取得进展的同时，实现智能控制是自动化技术已经呈现出来的一个重要发展趋势。

所谓智能控制主要是指利用智能机进行自动化操作和自动化管理，而智能机本身就是一种自动化技术高度发展的反映，利用智能机进行系统的控制和管理则又是系统控制技术的深化发展。

智能机器人是具有仿人智能的自动机器。1959 年，出现了弈棋机器人，它战胜了自己的设计者和美国一个州的跳棋冠军。

60 年代后期，出现了一些工业用机器人，可以自动进行一些简单的搬

运、装配和某些连贯性操作。

70年代初研制出的机器人已具有一定的环境识别能力，逐步解决了多关节手臂、步行、手脚协调、根据对象的简单位置变化作出自适应调节等问题。

1969年，美国斯坦福研究室研制的一个机器人就可以爬高摘香蕉。到此时为止出现的实用机器人，虽然是自动化的，但还不是真正具有智能的，它主要还是代替人的体力劳动的机器。

能够代替人的智力，或者说具有一定人的智力的才是真正的智能机，它不但要能进行环境识别，还要能进行分析、判断、决策，做出相应的变化，直到能够与人对话，领会和执行人的口述命令。

70年代微处理器出现以后进行的人工智能研究，加快了智能控制的步伐：机器翻译与定理证明、程序设计与程序检验的自动化，可以自学的信息—咨询系统、使用自然语言的人机对话、对复杂系统过程的自动控制等方面都陆续开展了研究并取得了发展。

1972年，美国斯坦福大学的费根巴欣研制出医用“专家系统”，可以代替人进行诊断和处方。

1981年，日本富士通公司的一家工厂已经利用机器人建立了无人车间，原料进厂、零件加工、机器装备、故障排除、产品进仓等都由机器人担当。

可以预计，随着超大规模集成电路、微电器和电子计算机向更高水平发展，大系统的智能控制水平也将进一步向广度、深度发展，对社会生产和各个领域都会产生深刻的影响。

激光技术的理论基础是由爱因斯坦奠定的。他指出，能量辐射有自发辐射和受激辐射两种方式。

在受激辐射过程中，一个处于高能态的粒子在一个频率适当的辐射量子的作用下，会跃迁到低能态，同时发射出一个与入射量子同样频率的辐射量子。

按照这一理论可知，如果能采用某种激励方式，形成高能态粒子多于低能态粒子，即“粒子数反转”的状态，则在外界辐射场作用下，受激辐射过程就会占优势。

对应于光辐射来说，处于粒子反转状态的光源，只要有一个粒子引发，就会迫使另外一个处于高能态的粒子辐射出一个与之相同的光子，这两个光子又会继续激射下去，实现光放大，再加上适当的谐振腔的反馈作用，就可以发射出激光。

有了理论基础，还要有技术条件。微波波谱的研究和微波激射器的发明，为激光器的诞生作了必要的技术准备。

在第二次世界大战中为研究雷达而成熟的一批物理学家，他们把光谱学、波谱学和微波电子学结合起来，开创了微波波谱学。

随着这门学科的发展和许多微波波段的发现，粒子数反转的可能性和利用受激辐射实现相干放大的问题，逐渐引起了他们的兴趣。

自从爱因斯坦提出受激辐射原理之后，一些科学工作者和工程师们就沿着这一方向继续从理论和技术上进行更为具体的研究。

1924年，荷兰物理学家克喇末将拉登伯格色散公式用于激发原子，证明受激辐射过程存在“负吸收”。

1928年，拉登伯格和克夫曼在研究由放电受到激励的氖气时，首先从实验上证实了受激辐射的产生。

以后他们用实验验证了粒子数反转，此后，各种微波激射器相继问世。微波激射器的诞生，打开了相干放大波长为厘米或更短的电磁波大门，也为激光器问世准备了条件。

在微波激射器不断改进的过程中，继续向更短的波段努力。在向毫米和亚毫米波段进军时，在技术上遇到了实现粒子反转和制造谐振腔的困难。

1958年，肖洛和汤斯首先公开发表了在光频段工作的激射器即激光器的理论分析和设计方案，提出了开放式谐振腔的设想，讨论了可能用于激光器的工作物质等。

1960年7月7日，美国的梅曼报告了他制成第一台红宝石激光器的消息，同年8月6日在英国《自然》杂志上正式公布了这一结果。

这台激光器采用脉冲氙灯进行光激励，激光以脉冲方式输出，波长为6943埃，峰值功率为 10^4 瓦。

1960年12月，贾万等人在两周时间内又连续制成两台在1.15微米处工作的氦氖激光器，并将这两台激光器的输出平行地重叠在一起，输入一个光电管中，形成了清晰的正弦波形拍频信号。

激光所具有的极好的相干性、单色性、方向性和亮度得到了实验的证明。

第一台激光器诞生以后，由于它表现出一系列优越性，加上不断发展的放电物理学、等离子物理学、高能物理学等相关科学给它的支持，激光器品种和输出水平的进展十分迅速。

人们不但希望能有不同波长和不同用途的激光器，而且希望激光器能像收音机那样可以自由调频。这一希望由于激光器的工作物质范围的不断扩大而得以逐步实现。

1966年以后，可调谐的激光器陆续问世，它对光谱学、非线性光学、光通信和同位素分离等科学技术领域的研究有重要价值。

激光技术的进展还表现在大能量激光器的出现上。大能量是制造激光器武器和激光核聚变的前提条件。

1964年，佩特耳研制出有较大能量的二氧化碳激光器以后，人们看到气体工作物质是制造大能量激光器的一个现实方向。在研制高能量二氧化碳激光器的同时，人们又发现不必靠外部电源的化学激光器也是产生高能量的另一有效途径。

激射超短脉冲和巨脉冲的技术成就是激光技术发展的又一重要表现。调Q技术、腔倒空技术和锁模技术，是其中几个主要成果。

自由电子激光器的研制成功，是激光技术发展中的重大成就。目前人们正在研制可以产生长波端的毫米波和短波端的X射线和V射线的自由电子激光器。

激光的高亮度与物质作用时所产生的极强的热效应，可以用来对工业材料进行打孔、切割、焊接等精细加工。

由于激光的热效应，它不但对硬性、脆性和柔性材料都可以切割，而且速度快，质量好。激光焊于1964年开始应用。

激光能焊接高熔点或极易氧化的金属，还能进行不同金属之间以及金属和非金属之间的焊接。对微电子器件引出线的焊接具有明显的优越性。现在已经形成了一门相对独立的激光工艺学。

激光医疗与激光工艺的原理类似。激光最早被用于焊接脱落的视网膜，以后又用于治疗青光眼和进行角膜移植。

1972年，激光开始作为“手术刀”用于脑、胸和普通外科的精微手术。近来用激光治疗鼻癌、皮肤癌等也有疗效，激光现已成为治疗许多内、外科疾病的常规手段。

激光用于通信是通信技术的一次革命性进展。

因为光也是一种电磁波，所以激光通信与电通信在原理、结构和过程方面基本相同，而且它具有信息容量大、保密性能好、抗干扰能力强、结构简便、设备经济等许多优点。

近年来美、日、西欧等国每年都在扩大激光通信线路，我国也已开始起步。目前实用的光纤最高水平能通15000话路，同时传输几套电视。

激光用于激光电视唱片制作、全息照相和传感，也是它为信息技术发展所作的贡献。

激光用于引发可控热核聚变已不断取得新进展。巴索夫首先提出用激光加热获得高温等离子体的可能性。

激光分离同位素是激光应用的一个重要方面。过去用气体扩散法对铀²³⁵进行浓缩需多次重复，花费很大，用激光分离基本上一步就能达到所需的浓度。

用激光制造战略武器一直受到超级大国的重视。激光武器的原理就是利用激光的高辐射能量摧毁对方目标，激光武器具有速度快、命中率高、可迅速改变方向等优点。

美国凯特兰空军基地进行地面激光射击试验：1978年初，用氟化氢化学激光器摧毁了一枚正在高速飞行的反坦克导弹。1979年，美国海军用激光打下一枚慢速飞入目标区的导弹。

美国于1985年开始实施“战略防御系统计划”，也把激光武器作为拦截导弹的主要手段之一。

此外激光还被用于制作激光准直仪、激光雷达、激光测距仪以及用激光进行育种和各种科学技术研究等。目前，激光工业正在迅速发展，它将和电子技术一起深入社会生活，为人类造福。

现代物理学分为基础理论和应用技术两大部分。基础理论大致有基本粒子物理学、凝聚态物理学和天体物理学三个方面。应用技术学科非常之多，大致有工程学科、离子体物理等尖端学科。

基本粒子物理学，通常称为高能物理学，这门学科目前已成为物理学中最基本也是最重要的领域。人们预测，用数学模式把所有基本粒子和相互作用联系在一起的宇宙“大统一体”的研究，不久有可能取得成果。

凝聚态物理学，是研究原子、分子、固体、液体直到生物大分子的各种特性以及这些特性与一切辐射形式相互作用的一门学科，它正向物质更复杂、更高级的运动形态研究方向推进。

天体物理学的主要任务是研究天体起源和演化。今天的天体物理学从理论上对宇宙的总体和每个局部都在进行研究，这将使天体演化规律的研究有所突破。

激光是发展极快、应用面广的一门新技术。预计到本世纪末，将出现一个新兴的激光工业部门，由于激光的促进，光学、光谱学将获得迅速发展。

电子学是一门内容丰富、应用广泛、发展迅速的学科。虽然发展迅速，但仍有光电子技术、声电子学、分子电子学等重大领域有待进一步开辟。

研究等离子体物理，是实现受控热核反应的基础。受控热核聚变有可能

在 21 世纪初形成新的、无污染的能源。

此外，固体力学、流体力学、电磁流体力学、爆炸力学等许多物理学在技术领域中的分支学科也都将获得进展。

附 录：

附录一世界大物理学家一览表

泰勒斯（希腊，约前 624—前 546）米利都学派的主要代表。

毕达哥拉斯（希腊，前 580—前 500）毕达哥拉斯学派的创始人。

亚里士多德（希腊，前 384—前 322）主要著作有《工具论》、《物理学》等。

欧几里德（希腊，前 330—前 275）主要著作有《光学之书》、《反射光学之书》等。

阿基米德（希腊，前 287—前 212）发现了浮力定律，总结出了杠杆定律，利用和发明了滑轮和螺旋器。

托勒密（希腊，90—168）提出过“在给定的介面上入射角和折射角成正比”的光学定律。

罗吉尔·培根（英，1214—1292）对光学研究极深，制造出望远镜，显微镜和眼镜等，且证明了虹是太阳光照射空气中水球而形成的自然现象，并非上帝所造。

哥白尼（波兰，1473—1543）著名著作《天体运行论》。

吉尔伯特（英，1540—1603）所著《磁石论》是历史上最重要的关于磁性质的论著。

伽利略（意，1564—1642）建立摆的定律、惯性定律、落体运动定律以及对抛体运动的研究和相对性原理，建立了动力学的主要基础。

刻卜勒（德，1571—1630）对光学贡献卓著，发表了《拆光学》。

费马（法，1601—1665）确立了几何光学原理，命名为费马原理。

格里凯（德，1602—1686）是最早获得真空的科学家，他发现了强大空气压力对真空容器的作用，并做了马德堡半球实验。

托里拆利（意，1608—1647）做了托里拆利实验，制成了第一具水银气压计。

马略特（法，1620—1684）对气体压强进行深入研究，发现了马略特定律。

帕斯卡（法，1623—1662）致力于真空和流体静力学的研究，提出了帕斯卡定律。

波义耳（英，1627—1691）发现了气体的压强和体积之间关系的定律。

惠更斯（荷兰，1629—1695）对力学的发展和光学的研究都有杰出贡献。

胡克（英，1635—1703）对力学、光学等都有重大贡献。

牛顿（英，1642—1727）总结了运动三大定律，创立了经典力学体系，通过实验，他总结了万有引力。他在热学、光学等方面都有巨大成就。

罗梅尔（丹麦，1644—1710）是第一个测定光速的人。

莱布尼兹（德，1646—1716）是“动能”这一概念的最早提出者。

哈雷（英，1656—1742）是第一个把万有引力应用于天体的人，并且预测了“哈雷彗星”。

华伦海特（德籍荷兰人，1686—1736）在热学发展中有重要贡献，他最早创立了测定温度的标准。

丹尼尔·伯努利（瑞士，1700—1782）对流体力学和气体动力学的研究

最为突出，提出了伯努利定理。

摄耳修斯（瑞典，1701—1744）创立了温标，1948年，国际计量大会将温标命名为摄氏温标，记作 $^{\circ}\text{C}$ 。

富兰克林（美，1706—1790）开创了电学史，他用风筝实验证明闪电是一种放电现象，并发明了避雷针。

欧勒（瑞士，1707—1783）是理论流体力学的创始人。

罗蒙诺索夫（俄，1711—1765）是近代物理学重要基本理论的创始人。

卡文迪许（英，1731—1810）进行了扭秤实验，验证了万有引力定律，确定了引力常数。

库仑（法，1736—1806）在力学和电磁学方面做出显著贡献，总结了库仑定律。

拉格朗日（法，1736—1813）奠定了现代振动理论的基础，在力学、流体力学中也有贡献，著作有《分析力学》。

瓦特（英，1736—1819）发明了蒸汽机。

伏打（意，1745—1827）发明了伏打电池、起电盘、验电器等。

查理（法，1746—1823）对电学、热力学、分子物理学都有研究和实验，并发现了查理定律。

拉普拉斯（法，1749—1827）发表了《宇宙体系论》、《天体力学》。

伦福德（美，1753—1814）对热学、光学等都有研究。在光学方面发明了光度计，后称为“伦福德光度计”。

克拉尼（德，1756—1827）用数学理论研究振动和声学，有“声学之父”誉称，发现了“克拉尼图形”及对声速的测量。

高尔顿（美，1765—1815）致力于多种机械的设计，发明了动力轮船。

道尔顿（英，1766—1844）近代原子论的创始人。

傅立叶（法，1768—1830）著《热的分析理论》一书，奠定了宏观热传导理论的基础，还提出了傅立叶定律。

托马斯·杨（英，1773—1829）对光学、材料力学、生理光学等都有贡献，他做了著名的光的干涉实验。

安培（法，1775—1836）电动力学的创始人，在电磁学方面贡献卓著，发现了一系列重要定律、定理。

里特（德，1776—1810）是紫外线的发现者，最早提出了蓄电池的基本原理。

阿伏伽德罗（意，1776—1856）提出了“分子”概念，提出了阿伏伽德罗定律。

奥斯特（丹麦，1777—1851）发现了电流的磁效应，打开了电磁学发展的

的大门。

戴维（英，1778—1829）做了热学实验，发明了弧光灯、矿灯等。

盖·吕萨克（法，1778—1850）发现了关于气体性质的盖·吕萨克定律。

斯蒂芬森（英，1781—1848）发明了蒸汽机车，被称为“铁路之父”。

布儒斯特（英，1781—1868）在光学方面发现了布儒斯特定律。

阿拉果（法，1786—1853）发现了磁感应现象，色偏振现象，光偏振基本定律。

夫琅和费（德，1787—1826）创立了天体分光学。发明了衍射光栅。

欧姆（德，1787—1854）发现了欧姆定律。

柯西（法，1789—1857）是弹性力学的奠基人之一。

法拉第（英，1791—1867）发现了电磁感应定律，磁致旋光效应，电解定律等。

莫尔斯（美，1791—1872）电报发明家。

格林（英，1793—1841）是制定电磁数学理论的第一人。

卡诺（法，1796—1830）提出了卡诺循环和卡诺定理。

亨利（美，1797—1878）从事电磁学方面的研究，发现了自感作用现象。

普吕克（德，1801—1868）阴极射线的发现者。

惠斯通（英，1802—1875）在理论上研究了电本质，发明了自激发电机。

多普勒（奥地利，1803—1853）发表了《论双星的色光》，说明了多普勒效应。

楞次（俄籍德国人，1804—1865）发现了楞次定律。

韦伯（德，1804—1891）贡献在于对电磁学两种单位制比值的测量。

埃斯特朗（瑞典，1814—1874）是现代光谱学的创始人之一，埃作为波长单位。

迈尔（德，1814—1878）是第一个发表能量守恒定律的科学家。

西门子（德，1816—1892）对发电、输电、配电、电动机等普及和应用有贡献。

焦耳（英，1818—1889）发现了焦耳定律，发表了《水电解放热》一书。

傅科（法，1819—1868）测量了光速，做了证明地球自转的实验。

亥姆霍兹（德，1821—1894）发表了《论力的守恒》，论述了能量守恒定律。

基尔霍夫（德，1824—1887）对电学和电磁波研究中，发现了基尔霍夫定律。

汤姆逊（英，1824—1907）一生发表论文 600 多篇，70 种发明获专利，主要集中在热学和电磁学方面。

克尔（英，1824—1907）发现了两种不同的电光效应，称克尔效应和普克尔斯效应。

麦克斯韦（英，1831—1879）发表了《论物理的力线》、《论电和磁》等著作。

克鲁克斯（英，1832—1919）制成了高真空放电管，称为阴极射线。

诺贝尔（瑞典，1833—1896）一生获得了 350 多项发明专利，设立诺贝尔奖。

斯特藩（奥地利，1835—1893）对气体动力学、电磁学、光学等都有贡献。

莫雷（美，1838—1923）同迈克尔逊合作，做了迈克尔逊—莫雷实验。

雷诺（英，1842—1912）对流体力学进行了研究，贡献最大。

瑞利（英，1842—1919）发现了瑞利散射公式和瑞利—金斯辐射公式。

玻尔兹曼（奥地利，1844—1906）是气体分子运动论的奠基人。

李普曼（法，1845—1921）对电、热、光学都有贡献，发明了天然彩色照像术。

伦琴（德，1845—1923）发表了 50 多篇论文，发现了 X 射线。

法拉里（意，1847—1897）首先发现了旋转磁场现象。

贝尔（美，1847—1922）发明了电话、助听器等多种仪器。

爱迪生（美，1847—1931）发明了发报机、白炽灯、电影摄放机等。
布劳恩（德，1850—1918）无线电技术专家，发明了阴极射线示波管。
贝克勒尔（法，1852—1908）发现了放射性辐射现象。
迈克尔逊（美，1852—1931）发明了迈克尔逊干涉仪。
洛仑兹（荷兰，1853—1928）创立了经典电子论，发现了洛仑兹力。
彭加勒（法，1854—1912）在《论电子力学》中，阐述了相对论的部分思想。

霍耳（美，1855—1938）现代电磁理论的奠基者，发现了霍耳效应。
J·汤姆逊（英，1856—1940）发现了电子的存在。
赫兹（德，1857—1894）发现了光电效应。
普朗克（德，1858—1947）量子物理学的开创者和奠基人。
皮埃尔·居里（法，1859—1906）从事磁学研究，和夫人共同发现了镭和钋元素。

维恩（德，1864—1928）建立了关于黑体辐射的维恩公式，发现了维恩位移定律。塞曼（荷兰，1865—1943）发现了塞曼效应。

密立根（美，1868—1953）是一位有非凡才能的实验物理学家。
达伦（瑞典，1869—1937）发明了自动太阳阀。
C·威尔逊（英，1869—1959）创制了云雾室。
卢瑟福（英，1871—1937）发现了 射线、 射线。
史瓦西（德，1873—1916）是现代天体物理学的创始人。德福雷斯特（美，1873—1961）发明了有声影片。

斯塔克（德，1874—1957）提出了原子的电子模型，发现了斯塔克效应。
巴克拉（英，1877—1944）。

罗素（美，1877—1957）。
金斯（英，1877—1946）。
梅特纳（德，1878—1968）。
爱因斯坦（美，1879—1955）提出了相对论。
劳厄（德，1879—1960）。

哈恩（德，1879—1968）发现了核裂变现象。
戴维孙（美，1881—1958）。
卡门（美籍匈牙利人，1881—1963）。
爱丁顿（英，1882—1944）。
戈达德（美，1882—1945）是火箭发明家。
玻恩（英，1882—1970）对量子力学的发展，作出卓越的贡献。

玻尔（丹麦，1885—1962）。
贝尔德（英，1888—1946）是电视的发明者。
泽尔尼克（荷兰，1888—1966）。斯特恩（美，1888—1969）。
接曼（印度，1888—1970）。
波特（德，1891—1957）。
查德威克（英，1891—1974）。

康普顿（美，1892—1962）在 X 射线的衍射研究中，发现了康普顿效应。
德布罗意（法，1892—）是波动力学的创始人。
尤里（美，1893—1981）是第一颗原子弹研制的重要成员。
玻色（印度，1894—1974）。

布莱克特（英，1897—1974）。
拉比（美籍奥地利，1898—）。
F·伦敦（德，1900—1954）。
泡利（奥地利，1900—1958）发现了泡利不相容原理。
伽柏（英，1900—1979）。
费米（意大利，1901—1954）。
劳伦斯（美，1901—1958）是回旋加速器的发明者。
范德格喇夫（美，1901—1967）。
贝尔纳（英，1901—1971）。
卡斯特勒（法，1902—1984）。
鲍威尔（英，1903—1969）发现了 介子。
奥本海默（美，1904—1967）。
塞格雷（美，1905—）。
C·安德逊（美，1905—）。
布洛赫（美，1905—1983）。
朝永振一郎（日，1906—1979）。
贝特（美，1906—）。H·伦敦（德，1907—1970）。
汤川秀树（日，1907—1981）。
麦克米伦（美，1907—）。
巴丁（美，1908—）。
阿尔文（瑞典，1908—）。
坂田昌一（日，1911—1970）。
福勒（美，1911—）。
库什（美籍德国，1911—）。
珀塞耳（美，1912—）。
吴健雄（美籍华裔，1912—）。
霍夫施塔特（美，1915—）。
K·西格班（瑞典，1918—）。
费曼（美，1918—）。
施温格（美，1918—）。
赖尔（英，1918—）。
张伯伦（美，1920—）。
杨振宁和李政道（美籍华裔，1922—，1926—）。
赫威斯（英，1924—）。
萨拉姆（巴基斯坦，1926—）。
盖耳曼（美，1929—）。
库珀（美，1930—）。施里弗（美，1931—）。
丁肇中（美籍华裔，1936—）。
威尔逊（美，1936—）。
约瑟夫森（英，1940—）。
克利青（联邦德国，1943—）。

附录二 中国大物理学家一览表

鲁班（约前 507—前 444）。

墨翟（约前 468—前 376）。

蔡伦（？—121）我国造纸技术发明人。

张衡（78—139）创立了浑天说，制造了候风地动仪。

马钧（220—265）发明了龙骨水车和指南车，创制了攻城用的转轮式发石器等。

祖冲之（429—500）。

毕昇（？—1051）发明了活版印刷术，还发明了简单的印刷机。

沈括（1031—1095）发表了《梦溪笔谈》，发现了地磁偏角的存在。

郭守敬（1231—1316）。

黄道婆（1245—1320）发明了纺纱机。

宋应星（1587—1661）。

方以智（1611—1671）。

黄履庄（1656—？）发明有瑞光镜、验冷热器、验燥湿器、多级螺旋水车等。

詹天佑（1861—1919）。

饶毓泰（1891—1968）。

胡刚复（1892—1966）。

吴有训（1897—1977）。

严济慈（1900—）。

周培源（1902—）。

张国藩（1905—1975）对流体力学、分子物理学、原子物理学等都有研究。

汪德昭（1905—）主要贡献在大小离子平衡方面。

赵九章（1907—1968）我国气象学家和空间物理学家。

王淦昌（1907—）在我国核物理研究方面有很大贡献，发表了 30 多篇论文。

郭永怀（1909—1968）发表的《在中等雷诺数下绕不可压缩平板的粘性流动》论文，在国际上很有影响。在他组织下，我国试制的第一颗原子弹成功地爆炸。

张文裕（1910—）我国著名的核物理和宇宙射线的实验研究者，在他的倡议下，我国建立了三个大型云室。

钱学森（1911—）主要研究控制论，出版了《工程控制论》一书。

钱伟长（1912—）提出了线壳理论的非线性微分方程组，国际上称为钱伟长方程。他又是我国著名的力学专家。

钱三强（1913—）在核物理研究方面，获得许多重要成果。

卢鹤绂（1914—）在核物理方面，有卓越的贡献。

管惟炎（1928—）在低温物理研究方面取得很多成果。

附录三 诺贝尔物理学奖获得者

- 1901 年伦琴，德国人。
1902 年洛仑兹，荷兰人。
1903 年贝克勒尔，法国人。皮埃尔·居里，法国人。玛丽亚·居里，法籍波兰人。
1904 年瑞利，英国人。
1905 年勒纳德，德国人。
1906 年约·约·汤姆森，英国人。
1907 年迈克尔逊，美国人。
1908 年李普曼，法国人。
1909 年马可尼，意大利人。布劳恩，德国人。
1910 年范德瓦尔斯，荷兰人。
1911 年维恩，德国人。
1912 年达列，瑞典人。
1913 年卡梅林·昂尼斯，荷兰人。
1914 年劳厄，德国人。
1915 年亨利·布拉格和劳伦斯·布拉格，父子俩都是英国人。
1917 年巴克拉，英国人。
1918 年普朗克，德国人。
19
19 年斯塔克，德国人。
1920 年纪尧姆，法国人。
1921 年爱因斯坦，美籍德国人。
1922 年玻尔，丹麦人。
1923 年密立根，美国人。
1924 年塞格巴恩，瑞典人。
1925 年夫兰克和赫兹，都是德国人。
1926 年佩兰，法国人。
1927 年康普顿，美国人。威尔逊，英国人。
1928 年查逊，英国人。
1929 年德布罗意，法国人。
1930 年喇曼，印度人。
1932 年海森堡，德国人。
1933 年薛定谔，奥地利人。狄拉克，英国人。
1935 年查德威克，英国人。
1936 年赫斯，奥地利人。卡·达·安德森，美国人。
1937 年戴维逊，美国人。乔·佩·汤姆逊，英国人。
1938 年费米，美籍意大利人。
1939 年劳伦斯，美国人。
1943 年斯特恩，美国人。
1944 年泡利，奥地利人。
1946 年布里奇曼，美国人。
1947 年阿普顿，英国人。

1948 年布莱克，英国人。
1949 年汤川秀澍，日本人。
1950 年鲍威尔，英国人。
1951 年科克洛夫特和瓦尔顿，英国人。
1952 年布洛赫和珀塞尔，美国人。
1953 年塞尔尼克，荷兰人。
1954 年玻恩和玻西，都是德国人。
1955 年兰姆和库什，都是美国人。
1956 年肖克莱、巴丁和布拉顿，三人都是美国人。
1957 年杨振宇和李政道，美籍中国人。
1958 年切仑柯夫、弗兰克和塔姆，三人都是前苏联人。
1959 年布格里，美籍意大利人。张伯伦，美国人。
1960 年格拉塞尔，美国人。
1961 年霍夫斯塔特，美国人。穆斯堡尔，德国人。
1962 年兰道，苏联人。
1963 年维格纳，美籍匈牙利人。梅耶夫人，美国人。詹森，德国人。
1964 年汤斯，美国人。巴索夫和普罗霍罗夫，前苏联人。
1965 年费曼，美国人。施温格，美国人。朝永振一郎，日本人。
1966 年卡斯特勒，法国人。
1967 年贝脱，美籍德国人。
1968 年阿尔瓦雷兹，美国人。
1969 年盖尔曼，美国人。
1970 年阿尔芬，瑞典人。尼尔，法国人。
1971 年加柏，英国人。
1972 年巴丁、库柏和斯里弗，美国人。
1973 年约瑟夫森和加福尔，美国人。江崎玲于奈，日本人。
1974 年赖尔和赫威斯，都是英国人。
1975 年阿·玻尔和莫特儿逊，丹麦人。雷恩瓦特，美国人。
1976 年丁肇中，美籍中国人。里克特，美国人。
1977 年安德森和范弗莱克，美国人。莫特，英国人。
1978 年齐亚斯和伦·威尔逊，美国人。卡皮查，苏联人。
1979 年格拉肖和温伯格，美国人。萨拉姆，巴基斯坦人。
1980 年克罗宁和菲奇，美国人。
1981 年布洛姆伯根和肖洛，美国人。西格巴恩，瑞典人。
1982 年肯尼斯·威尔逊，美国人。
1983 年昌德拉塞卡，印度人。福勒，美国人。
1984 年卡洛、鲁比亚，意大利人。西蒙·范德美尔，荷兰人。
1985 年克劳斯·冯·克利青，德国人。

附录四 物理学发展新动向

如何看待现代物理学发展新动向,这成为 60 年代以来科学家们注意的重要问题。

本世纪 30 年代,物理学在理论上有了重大突破,形成近代物理学的理论基础,即相对论、量子力学。30 年代到 60 年代,新的分支学科相继出现,老的分支学科也获得了青春,并加快发展的进程。这使人们在对物质运动的规律认识的深度和广度方面进入到一个新的时期。

就现代物理学的影响来讲,主要有两个方面:一是核物理的巨大进展形成核反应堆、示踪原子等现代新技术;另一方面通过原子、分子以及固体里电子运动规律和电磁辐射在各个不同波段的特殊矛盾的研究,带动了电子学和电子技术的惊人发展,出现了半导体工业、计算机工业和工业自动化与遥控、遥感技术等。

今后物理学有可能在如下三个方面展开:

首先是以揭示物质微观奥秘为主要内容的物质物理,包括物性物理与核物理(包括基本粒子物理在内)两个方面。其次是以揭示宇宙空间物理现象的奥秘为主要内容的空间物理,包括地球物理、太阳物理、月球与行星物理和太阳系以外的天体物理等。第三个领域是以揭示与生命有关的物理现象的奥秘为主要内容的生物物理。

以上只不过是一种区分方法,不同区分观点可以有不同的分类。按照这三大类说法,60 年代研究物质物理的人类远超过研究空间物理和生命物理的人数总和。

在物质物理方面,异峰突起的是电子学。激光技术、半导体技术的基础都是物理学的问题;电子计算机技术的产生与发展也是数学和物理学的问题。

今后的空间物理与生物物理可能有较大发展,特别是生物物理将会受到重视。对一些生物学的基本问题,如核酸、蛋白质的结构与功能的研究,以及生物机体新陈代谢的研究等,核物理将为它们提供强有力的手段。

