

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界科技全景百卷书 (27)

仪器设备

 **eBOOK**
网络资源 免费下载

天文地理仪器设备

地震仪的鼻祖

公元 132 年东汉都城洛阳发生了一件事，太史令张衡发明了一种仪器，它能知道什么时候、哪里发生了地震。只要那个方向发生了地震，仪器上那个方向的龙口就张开，龙口中的小铜珠就落入下方的蟾蜍口中而发出响声。这件事引起朝中大臣们的纷纷议论，有不相信的，也有表示怀疑的。但时间一久，人们对这件事也就淡忘了。过了几年，公元 138 年的一天，张衡发明的那架仪器朝西方向的龙口突然张开，小铜珠落入蟾蜍口中。这说明小铜珠落入蟾蜍口中的时候西方发生了地震，但当时洛阳并没有人感觉到有什么震动。于是满朝文武又是议论纷纷，说张衡的那架仪器不可靠。但过不多久，现在甘肃境内的地方官府奏报来到，奏报称那里发生了一次强烈地震。这件事使当时的人们对张衡的那架仪器十分信服，史籍中也称其“验之以事，合契若神”。

张衡发明的那架仪器就是世界上第一架地震仪——候风地动仪。《后汉书·张衡传》记载说“地动仪以精铜制成，圆径八尺，合盖隆起，形似酒尊。”其里部主要构件是中间一根高而细的铜柱，张衡称之为“都柱”。都柱在接受到地震产生的地震波后，就向波源方向倾倒。在都柱周围架设有 8 条通道，使倾倒的都柱只能往一道中滑倒，其所倒方向即是地震发生的方向。尊外相应地设置 8 条口含小钢珠的龙，分别朝着 8 个方向。每个龙头下面都有一只蟾蜍张口向上，准备接住落下的小铜珠。都柱受地震波的震动而倾倒时，敲动一个像弩机装置似的牙机，利用杠杆原理传动，使龙首张开口，小铜珠便落入蟾蜍口中发出声响，人们就知道什么时候什么方向发生了地震。

张衡发明的候风地动仪虽然只能测知地震震中发生的大概方位，但在文明发展史上却是一项了不起的发明。一直到 19 世纪，世界才出现真正用来观测地震的仪器。候风地动仪领先世界地震科技达 1800 年，因此被公认为地震仪的鼻祖。

著名的浑仪

浑仪是中国古代用于测量天体球面坐标的观测仪器。它是由一重重的同心圆环构成，整体看起来就像一个圆球。有资料表明，在公元前 4 世纪中叶，中国就已经使用浑仪观测天象了，比古希腊约早 60 年。

浑仪的最基本构件是四游仪和赤道环。四游仪由窥管和一个双重的圆环组成。窥管是一根中空的管子，类似于近代的天文望远镜，只是没有镜头。双重圆环叫四游环，也叫赤经环，环面上刻有周天度数，可以绕着极轴旋转，

窥管夹在四游环上，可以在双环里滑动。转动四游环，并移动窥管的位置，就可以观测任何的天区。赤道环在四游环外，上亦刻有周天度数，固定在与天球赤道平行的平面上。这样，就可以通过窥管观测到待测量的天区或星座，并得出该天体与北极间的距离，称“去极度”，以及该天体与二十八宿距星的距离，称“入宿度”。去极度和入宿度是表示天体位置的最主要数据。

浑仪的改进和完善，经历了一个由简而繁，而又由繁而简的历程。从汉代到北宋，浑仪的环数不断增加。首先增加的是黄道环，用以观测太阳的位置。接着又增加了地平环和子午环，地平环固定在地平方向，子午环固定在天体的极轴方向。这样，浑仪便形成了二重结构。唐代起，浑仪又发展成三重结构。最外面的一层叫六合仪，由固定在一起的地平环、子午环和外赤道环组成，因东西、南北、上下6个方向叫六合，故名。第二重叫三辰仪，由黄道环、白道环和内赤道环组成，可以绕极轴旋转。其中白道环用以观测月亮的位置。最里层是四游仪。北宋时，又增加有二分环和二至环，即过二分（春分、秋分）点和二至（夏至、冬至）点的赤经环。

多重环结构的浑仪虽是一杰出的创造，在天文学史上也起过重要的作用，但其自身也存在着两大缺陷。一是要把这么多的圆环组装得中心都相重合，十分困难，因而易产生中心差，造成观测的偏差。一是每个环都会遮蔽一定的天区，环数越多，遮蔽的天区也越大，这就妨碍观测，降低使用效率。为解决这两个缺陷，从北宋起即开始探索浑仪的简化途径。这个浑仪改革的途径由北宋的沈括开辟，元代的郭守敬完成。沈括由两个方面进行改革，一是取消白道环，借助数学方法来推算月亮的位置；一是改变一些环的位置，使遮蔽的天区尽量减少。而郭守敬又取消了黄道环，并把原有的浑仪分为两个独立的仪器，即简仪和立运仪。

简仪由四游仪、赤道环和百刻环组成。赤道环的位置移至旋转轴的南端，这一方式，至今在各国的天文台上安装望远镜时，还广泛地被采用。百刻环的安装是一创新，环上等分成100刻，分为12个时辰，每刻又分作36分。它固定在赤道环内，既可承托赤道环，又可得到真太阳时的读数。四游仪窥管两端各设有十字线，这是后世望远镜中十字丝的肇始。

立运仪与简仪装于同一底座上，由两个圆环组成。一个是平铺的“经纬环”，代表地平环，环面上刻有方位。一个是“立运双环”，中夹有窥管，可测量天体的地平经度和纬度。

简仪和立运仪的设计和制造，在世界上领先300多年。近代天文台的赤道装置，测量仪器经纬仪等，都可从中找到其原始形态。

还应该指出的是，中国古代浑仪采用的是赤道坐标系统，比西方采用的黄道坐标系统要先进得多，今天已为各国天文台所广泛采用。

现在，人们还可以在南京紫金山天文台，看到明代正统二年到七年（1437~1442）间制造的浑仪和简仪。

张衡制造浑象

浑象是一种表现天体运动的演示仪器。它最初是在公元前 2 世纪中叶的西汉时，由天文学家耿寿昌创制的，而东汉著名科学家张衡在浑象的发展史上做出了重要的贡献。

浑象的基本构成是一个可以旋转的中空圆球，上面按观测到的实际天象布列星辰。转动圆球，即可演示天体的运动，其作用相当于近代的天球仪，堪称天球仪的始祖。

张衡制造了第一台自动的天文仪器——水运浑象。它以一直径 5 尺（约 1.18 米，东汉 1 尺约 23.5 厘米）的空心铜球表示天球，上面画有二十八宿，中外星官，互成 24 度交角的黄道和赤道等，黄道上又标明有二十四节气。紧附于天球外的有地平环和子午环等。天体半露于地平环之上，半隐于地平环之下。天轴则支架在子午环上，天球可绕天轴转动。同时，又以漏壶流出的水作动力，通过齿轮系的传动和控制，使浑象每日均匀地绕天轴旋转一周，从而达到自动地、近似正确地演示天象的目的。此外，水运浑象还带动有一个日历，能随着月亮的盈亏演示一个月中日期的推移，相当于一个机械日历。

张衡的水运浑象对后世浑象的制造影响很大，宋代的水运仪象台则达到历史上浑象发展的最高峰。历代制造的浑象大都已经毁亡，现存仅有两架，一架在南京紫金山天文台，一架在北京建国门古观象台，均是清代铸造的。除了天球仪式的浑象外，中国古代还创制有假天仪式的浑象，开了近代天象仪之先河。

现在北京天文馆里，有一个大圆顶的天象厅。当你坐在里面仰观屋顶，便会感到宛如置身于无涯的苍穹之中，看到繁星点点，其布列与实际天象一致。假天仪的功能和作用即与此相似。假天仪何时发明，现尚有争议，有人认为三国时即已问世。但有明确记载的，则以北宋时苏颂主持制造的浑天象为最早。

浑天象是苏颂主持创制水运仪象台后的又一杰作。它的天球直径有一人多高，在球面上相应于星辰的位置处凿有一个个镂空的小孔，外面的光线漏进后，人坐在球内就好像看到天上闪闪发光的星星。天球亦是由水力机械带动的，可控制其旋转与天体运行同步。与现代天象仪所不同的是，浑天象的光源在外，表演内容比较单一，而天象仪的光源在内，且能表演众多复杂的天象。

世界第一座天文钟

1092 年，在北宋都城开封的西南部，出现了一座形状奇特的木构建筑物。它就是“元祐浑天仪象”，一般通称之为“水运仪象台”，由当时著名政治家、科学家苏颂所主持创制。这是中国古代最宏伟、最复杂的一座天文

仪器，在古代世界上也是绝无仅有的。

水运仪象台的形状呈正方形，上狭下广，高三十五尺六寸五分（约近 11.3 米，宋代一尺约 31.6 厘米），底宽二丈一尺（约 6.64 米）。台分 3 重，第一、二重安装水力驱动系统和报时系统，第三重安装浑象。台顶平台上安装浑仪，浑仪由“板屋”覆盖，板屋上装有 9 块可以启闭的活动屋面板。由此可以看到，整座水运仪象台集观测、演示、计时等功能于一体，实际上成了一座小型的天文台。

水力驱动系统包括有提水机构、注水机构、回水机构和枢轮等部分，可以使水周而复始均匀流动，并驱动枢轮运转。枢轮直径十一尺（约 3.48 米），是全台机械装置的原动轮。其顶部附设有一组杠杆装置，起着控制枢轮定时转动，以及转动固定的距离的作用，相当于近现代机械钟表中的“擒纵器”。它和欧洲 17 世纪的锚状擒纵器非常相似，堪称擒纵器之始祖。

报时系统的前部建造成半座 5 层木楼阁式建筑的形状。第一层是昼夜钟鼓轮，轮上有 3 个不等高的小木柱，可按时拨动 3 个木人的拨子，拉动木人手臂，一刻钟木人击鼓一次，时初摇铃，时正敲钟。第二层是昼夜时初正轮，轮边有 24 个司辰木人，随着转子的转动，木人按时在木阁门前出现，表示 1 日 12 个时辰的时初、时正，相当于现今的 24 小时。第三层是报刻司辰轮，轮边有 96 个木人，每一刻出现一人。第四层是夜漏金钲轮，可以拉动木人击钲报更，并可以按季节调整，以适应昼夜长短的变化。第五层是夜漏司辰轮，轮边设有 38 个木人，木人位置可以按节气调整，从日落到日出按更筹排列，依次出现。

浑象为一球体，直径四尺五寸六分（约 1.44 米）。球面上绘有 283 个星座，1464 颗星辰，并绘有银河，黄赤道和二分、二至的位置。浑象下有木柜，使之半露于柜外，一半隐于柜中。浑象经传动机构与驱动系统相连，可随机轴由东向西转动，和天体的视运动一致，使球面上星辰的位置和实际天象相合。

浑仪亦经由传动机构与驱动系统相连，可随天球转动，以观测天象。这是现代天文台跟踪仪器——转仪钟的先驱。其覆盖的活动屋板，则开了现代天文台自由启闭式屋顶的先河。

整个水运仪象台结构精密、巧妙，标志着中国当时的天文仪器和机械制造的高超水平。现国内外学者已公认它是世界第一座天文钟，并认为是现代天文钟的直接祖先。

最早的指南针

李约瑟论证了磁罗盘是从中国传到欧洲去的论点。在欧洲的文字记载中，首次提到磁罗盘是在公元 1190 年。当时亚历山大·尼卡姆在《来自大自然》一书中写道：“海上航行的水手们在晴天可以靠阳光导航，但是遇上阴

天或在漆黑的夜晚，就无法辨别此时船正驶向罗盘的哪个方位。于是，他们就用一根针触一下磁铁，然后旋转此针，当针停止旋转后，针就指向北方。”

磁罗盘似乎不是经阿拉伯地区传入欧洲的。因为直到大约公元 1232 年，阿拉伯的文字中才出现关于磁罗盘的记载。记载描述了当时的水手用经磁石磨擦过的鱼形铁片来辨别方向的情景。而这鱼形铁片是非常典型的中国式样。由此看来，欧洲人和阿拉伯人通过在航海时与中国人的接触，大约是在相同的时间内获得了航海磁罗盘。只不过欧洲人也许要比阿拉伯人早几十年拥有磁罗盘。

我们可以从当时的书籍中发现能证实上述观点正确性的依据。中国中世纪的科学家沈括在其著名的著作《梦溪笔谈》（约刊印于公元 1086 年）中清楚地写道：“术士用磁石磨一根针的针尖，针尖就能指向南方……在指甲上或碗口上也同样可以指向，且其转动的速度很快。但这些支承物坚硬而平滑，针容易坠落。最好用一根新蚕丝以芥子大小的蜡拴在针的中心位置，吊在一个无风之处，它就会指向南方。其中有些针磨了以后可以指北。我家有指南的也有指北的针。”

这段文字记载的年代要先于欧洲首次提到磁罗盘的年代整整一个世纪。李约瑟评论说：“沈括提到的指南、指北两种针当然是在天然磁石的两极进行了磁化的……沈括描述的实验条件说明了当时人们做了大量仔细的研究。悬挂时仅用一根丝线可以避免因丝线相互缠绕所产生的影响；采用丝线意味着线仅由一条纤维组成，而不像麻线（几乎可以肯定地说，在沈括所处的时代，棉还不为中国所知），麻线是由多根短纤维在拉力作用下纺成的；采用新的丝线则说明，线上的弹性应处处保持一致。”

朱或于公元 1117 年写的《萍洲可谈》一书中，也有关于中国人使用航海磁罗盘的明确记载。该书同样是在欧洲首先提到磁罗盘之前写就的。朱或的父亲曾是广州港口的高级官员，后又做了广州的知州。在这部名称有些古怪的书中，朱或写道：“根据官对海船的规定，大船可载数百人，小船可载百余人……舵手熟悉海岸构造；夜间根据星辰的位置掌舵行船，白天则根据太阳的位置辨向驾驶。在阴天及无星月的夜里则看指南针辨向。他们还可以用一根端部带钩的 30 米长的绳子放下去，取海底的泥嗅一嗅，就知道他们到达了什么地方。”

文学家孟元老在他的《东京梦华录》（约公元 1126 年）中写道：“在黑夜或雨大，或多云之夜，水手靠罗盘行船。由大副负责此事。”

在《宣和奉使高丽图经》（公元 1124 年）中，作者徐兢写道：“夜里常常不能停船，因为风和海能使其漂移，所以舵手只有靠星星和大熊星座来辨向驾驶。如果夜间多云则使用指南浮针来测定南北。”

以上两段文字记载也都早于欧洲关于罗盘的文字记载。

很明显，用一条天然磁石来指示方向是磁罗盘最初和最简单的形式，它比使用磁针这一先进方法要早很长的时间。究竟是在什么时期中国就开始使

用天然磁石罗盘（注：即司南）？如果罗盘在开始之时不是用于导航，又是用于什么目的呢？

我们有把握将中国使用天然磁石罗盘的年代追溯到公元前 4 世纪。当时一部名为《鬼谷子》的书（书作者不详，但有人认为可能是思想家苏秦）对此有过记载。书中有一段文字写道：“故郑人之取玉也，必载司南，为其不惑也。”另一条记载出自思想家韩非子公元前 3 世纪写的《韩非子》一书，从中我们可以读到：

“臣民侵犯国君及其君权，就像漂移的沙丘和堆积起来的土坡逐渐形成一样。这就使君主忘却其位置，把东西方向搞反了而不自知。所以古代君王设立司南，以区分朝夕的方向。”

这是世界上各种文献中最早记载磁罗盘的两段文字（在一些埃及的古籍中或许也有记载，但对其文字的解释有分歧，在此不予讨论）。在上面两段文字中，没有一段提过“司南”是新发明的新奇之物。与此相反，文中却提到了“司南”应归功于“先王”，即早至公元前 3 世纪。

指南车的传说

指南车是中国古代用于指示方向的一种轮车式机械，又称“司南车”。一般在皇帝出行时使用，作为皇权象征的仪仗车辆之一。

关于指南车的发明，在历史上有这样的传说：

距今 4600 多年前，在北方有两个部族，一个姓姜，其首领是神农氏炎帝；一个姓姬，其首领是黄帝。在这两个部族的附近，又有一个九黎部族，酋长叫蚩尤。九黎部族非常强悍，经常侵袭姜姓和姬姓部族。有一次，蚩尤又率领部众攻打姜姓部族。姜姓部族在神农氏的带领下奋起抵抗，可是在战斗中却遇到大雾，迷失了方向，结果大败。为了保护自己的部族，神农氏向黄帝求救，两个部族于是联合起来，共同抵御蚩尤的侵略。不料作战时又遇到大雾，黄帝的部众虽然英勇善战，也无法取胜。为此黄帝特意制造了一辆指南车，利用它来识别南北，使不致于在战斗中因雾迷失方向，终于打败九黎族，生擒了蚩尤。

历史上还有另外一个传说：

在 3000 多年前，周公协助周武王推翻了商朝暴君纣王的统治，建立了周朝。周武王死后，周公又代周成王治理国家政事，一时天下太平，尤邦来朝。远在今越南境内的越裳氏也派遣使者，携带礼物来向周王朝致贺。为了答谢他们的盛意，周公造了一辆指南车，赠送他们，好让他们能够顺利回国，不致在路上迷失方向。

传说终究是传说，不能代替史实。从科技史的角度看，在黄帝和周公所处的时代还不可能发明和制造指南车。指南车究竟于何时和由何人发明，现在已成历史悬案。《三国志·魏书·马钧传》记载，马钧在魏明帝时（227

—239年）任给事中，曾与人讨论指南车，他认为过去有过，但已失传。他奉魏明帝之令，重新制造出了指南车。

指南车的机械传动和自动控制原理十分巧妙，它是通过齿轮系的配合作用来完成的。简单来说，齿轮系由与指示方向的木人相联接的大齿轮（或主齿轮）及与车子左右车辕相联接的左右小齿轮系统组合而成。当车子向正南方向行驶时，大齿轮与左右小齿轮系统脱离，木人不受车轮转动的影响；当车子偏离正南方向，向左转弯时，车辕的前端即向左转动，而其后端则向右转动，这时，右侧的小齿轮系统即与大齿轮啮合，进而产生传动作用，使木人向右旋转，车子转动（向左）的角度正好与木人向右转动的角度相等，二者作用相消，故木人仍指向正南方，反之，车子向右转弯，亦有相同效果。于是，当调定木人指向正南方向后，只要车子偏离正南，木人都能应时调整，从始至终直指正南方，为车队外出行进，指明正确的方向。

指南车是中国历史上一项杰出的机械发明。它的结构简单，构思灵巧。它的创制，表明至迟在三国时已对齿轮系统的传动原理有了较深刻的认识。

望远镜的发明者

望远镜，顾名思义就是一种能够望得见远处东西的仪器。如果你用来观赏足球赛或歌舞表演，你将会有身临其境之感；如果你用来看星星望月亮，天上的星星好像就在你眼前内烁，皎洁的月亮也仿佛伸手可及。望远镜的功劳就在于把你和远处物体的距离拉“近”了。

最早的望远镜竟被人们看作是一种玩具，你也许没有想到吧！

事情还得从1608年说起。

当时，在荷兰的米德尔堡，有一个眼镜匠，名叫李普希，他整天忙忙碌碌地为顾客磨镜片、配眼镜，在他的店铺里，各式各样的透镜琳琅满目，让人目不暇接。

由于眼镜生意本小利微，李普希勉强维持5口之家的生活，无钱给3个可爱的男孩买玩具，因此，父亲的废镜片就成了小兄弟们的玩具了。

一天，3个孩子在阳台上玩耍，最小的孩子两手各拿一个镜片，在阳台的栅杆上前后比划看着远处的景物，突然，他发现教堂尖顶上的风向标变得又大又清楚，两个小哥哥也好奇地拿着两个废镜片往远处看，果然，远处房上的瓦片、小鸟……都好像是近在眼前，看得那么清晰。孩子们高兴地将他们的发现告诉了父亲。

李普希将信将疑地按照孩子们说的那样试验着，他将一块凸透镜和一块凹透镜组合起来，把凹透镜放在眼前，将凸透镜放在前面一点，当他把两块透镜对准窗外远处教堂尖顶上的风标时，李普希惊奇地发现，这只风标被大大地放大了，似乎就近在眼前，伸手可及。

这一发现，立刻传遍了米德尔堡，人们纷纷来到他的工作室要求一饱眼

福，有人甚至愿出高价买下这个“玩具”，拿回家一人独享。

李普希意识到这是一桩赚钱的买卖，于是就向荷兰国会提出了申请专利的要求。1608年10月2日，国会审议了这件事，认为这种“玩具”应该有个正规的名称，并且要求发明者对它进行改进，使它能够同时用两只眼睛进行观看。李普希经过考虑，给它取了个名字，叫“窥探镜”。这一年的12月15日，他又交给国会一架经过改进的双筒窥探镜，国会给了他一大笔奖金。

尽管荷兰人想尽办法保守望远镜的秘密，但是，望远镜的消息还是不胫而走，很快传遍了欧洲。

1609年6月，居住在意大利威尼斯的物理学家伽利略听到这一消息后，立刻买来镜片，安装在一个铜筒的两端，经不断改进，制成了够观察天体的望远镜，它帮助伽利略打开了宇宙的大门。

1609年末到1610年初，伽利略利用望远镜这一工具，不断地对天体进行观察。他发现月球表面并不光滑，而是山峰高耸；他看到银河系是由无数星体组成；他找到木星的卫星；他还观察到太阳的黑子、金星的盈亏、土星的光环等等。

这一系列的发现，却触怒了教会，因为他们过去始终认为天上是完美无缺的，如今，不仅月亮上有斑点，连太阳也有缺陷，这如何了得？教会诬蔑伽利略是骗子，望远镜是“魔鬼”的发明，并于1616年和1633年两次将伽利略传到罗马，最后决定将他终身监禁，直到300年后的1980年罗马教庭才宣布取消对伽利略的审判。伽利略的望远镜与荷兰李普希发明的一样，都是由凹透镜和凸透镜组成的，我们称它们为“折射式望远镜”。这种望远镜有一个重要缺陷，就是所有的图像都带有彩色的边缘，这种情况有点像彩色电视机图像发生叠影时一样，科学家们称它为透镜的“色差”。如何才能克服这一缺陷呢？

英国科学家牛顿解决了这个难题。他在研究光的折射的基础上，提出了自己的看法。他说：

“望远镜的完善程度所以迄今受到限制的原因，主要不是由于缺乏那种其形状真正像光学专家们所规定的透镜（所有的人迄今都是这样想的），而是因为光本身是一种折射率不同的光线的复杂混合物。所以即使有一个透镜，其形状如此精确，能把任何一种光线汇集到一点，但它却不能把那些以相同的入射方向射到同一种媒质而会受到不同折射的光线，也汇集到同一点上来。……这就使我去考虑反射现象，而在我看到它是有规则的，一旦光线的反射角都等于它们的入射角的时候，我理解到如以反射现象为媒介，而且只要能够找到一种反射材料，把它像玻璃那样磨得光洁，又能反射像玻璃所能透射的那样多的光、并且也能获得把它磨成抛物面形状的工艺，那末光学仪器可以做到任何可设想的完善程度。”

1668年牛顿把这种设想变成了现实，制成了第一架反射式望远镜模型，

镜筒直径约为 2.5 厘米，全长约 15 厘米。

1671 年制成了经过改造的第二架反射式望远镜。这架望远镜至今还保存在英国皇家学会的图书馆里。现在制造的反射式望远镜的构造，与牛顿的反射式望远镜基本相同。

在美国新泽西州霍尔姆德尔，有一个非常著名的贝尔电话实验室，那是电话发明者贝尔在 19 世纪末创建的。这个实验室可出了不少名人，其中有一个是 20 世纪 30 年代在这个实验室工作过的一位无线电工程师，名叫央斯基。

1931 年 26 岁的央斯基在贝尔电话实验室进行有关长距离无线电通讯方面的研究。在这种通讯中，经常可以听到一种“嘶嘶”的声音，使他很伤脑筋，他根本不知道这种声音来自何方。为了找到这种干扰的原因，央斯基特地设计制造了一副可以转动的奇怪天线，这副天线看上去像个稀稀落落的平面网架，下面是 4 个从旧福特汽车上拆下来的轮子，人们戏称它为“旋转木马”。这副天线的方向性很强，投入使用以后，接收到了大量主要来自雷暴的干扰信号。不过，其中有一种微弱的、有规律的干扰信号引起了央斯基的注意，这种信号每隔 23 小时 56 分钟出现一次最大值。“它来自何方呢？”央斯基开始了认真调查。

1933 年 4 月，在一次国际性会议上，央斯基郑重地宣布：“……最初，我以为这种干扰信号来自太阳的无线电波，经过仔细观测，我发现它来自银河中心的方向。”于是，这份报告成了射电天文学的第一篇经典著作，央斯基也成了射电天文学的开创者。

1933 年 5 月 5 日，美国《纽约时报》头版发表消息——“来自银河中心的新的无线电波”，全世界不少报纸对此作了广泛报导。然而，奇怪的是，这一发现并没有引起科学界的广泛注意，就连央斯基本人对这项发现究竟有多大意义也表示怀疑。因此，他在这方面没有再花更多的精力，以后，央斯基实际上已经放弃了刚刚露了点头的射电天文学，而将注意力转向了其他领域。

有意思的是，央斯基的发现却引起了一个业余无线电爱好者——青年工程师雷伯的注意。1937 年，雷伯在美国芝加哥郊外自己家的后院里，安装了一架直径 9.45 米的抛物面反射器，这便是世界上最早的射电望远镜。1938 年初，雷伯开始用它进行观测，并接收来自太阳和其他天体的射电波，从而证实了央斯基的发现。雷伯于 1940 年发表了自己的观测结果。

在第二次世界大战期间，人们发现雷达的干扰与太阳的射电活动有关，这才开始认识到天体射电的重要性。战后，射电望远镜极大地扩展了人类的视野，揭开了一个又一个宇宙的奥秘，20 世纪 60 年代，天文学家发现的星际有机分子、类星体、脉冲星以及微波背景辐射，都是射电望远镜的伟大功勋呢！

人类居住的地球被大气层紧紧包裹着，它阻碍着天文学家对天上星星的观测。不知你注意到没有，夏天的夜晚，当你抬头仰望星空时，会发现许多

星星都在“眨眼睛”，其实，这就是大气捣的鬼。另外，大气中漂浮着的水蒸汽、烟雾和尘埃等，都会影响对星星的观测。

摆脱大气层，到空间去进行天文观测，这是天文学家梦寐以求的愿望。

这一天终于来到了！

1990年4月25日，美国航天飞机“发现号”将一架称为“哈勃”的空间望远镜发射进入到太空轨道，使天文学家们的梦想成真。哈勃是20世纪最伟大的天文学家之一，哈勃空间望远镜成了人类制造的第一架空间光学望远镜。

其实，早在1923年，德国火箭先驱奥伯兹就首先描述了在地球大气层外进行天文观测的优越性；23年后，美国天文学家斯别兹第一次对空间望远镜进行了详细的设计研究，提出了远距离观测的概念；直到1973年，美国宇航局和欧洲空间局才同意合作设计“空间望远镜”项目，然而由于经费限制等原因，1990年才得以完成升空。

哈勃空间望远镜的外形是一个圆柱形，长13.3米，直径4.3米，总重量为12.5吨，即使放在地面，它也可算是一架大型望远镜了。它由光学望远镜组件、科学仪器舱以及保障系统三大部分组成。按照设计要求，哈勃空间望远镜可以看到地面望远镜7倍的深空，弱50倍的星星以及扩展350倍的宇宙空间。先进的航天技术可以使望远镜上90%的部件得到保养、修理和更换，这样，哈勃空间望远镜可以在太空中飞行15年，为天文学家寻找宇宙中出现的任何蛛丝马迹。由于它的灵敏度和分辨率比地面望远镜强10倍，因此，天文学家期望它能够为他们观测到地面上无法观测到的“奇景异色”。例如，宇宙中暗弱天体发出的可见光、紫外线；测量暗弱天体的化学成份、温度、运动特征；研究神秘莫测的类星体、彗星和遥远星系；考察爆发星系、气体云以及恒星发射的物质。不过，由于哈勃空间望远镜的主镜形状存在一些问题，使得它拍摄的照片质量不能尽如人意，美国宇航局已于1993年重新安装望远镜主镜，使它完全达到所设计的要求。

当然，在太空中遨游的望远镜也存在不足之处，例如天文学家很难对它进行校准，而且这巨大的望远镜在空间运行时也并不十分平稳。下一步天文学家的理想是什么呢？天文学家们希望把天文望远镜搬到月亮上去，在月亮上建立天文台呢！

温度计的种类

在有文字记载的人类历史上，关于冷热一类的词很早就出现了。我国古代早在先秦文献上就有不少寒暑冷热的记载；到了战国时期，人们已经知道将水存放在瓶内，由水是否结冰来推知气温下降的程度；汉代初期，我国人民进一步发展了以冰测温的温度计雏形。《淮南子》这本书中有这样的说法：“睹瓶中之冰而知天下之寒暑。”

大家都知道“炉火纯青”这个成语吧！它的意思是比喻某人的品德修养、学问、技术或处事手段等达到精纯完美的境地。其实，“炉火纯青”还体现了我国古代的一种独特的光学测温术呢！据说，古时候的道家在炼丹时，必须到炉火纯青时才算炼成。

以后，这种技术又被广泛用于熔铸青铜合金的技术之中。战国初期有一本书，书名为《考工记》，其中这样写道：“铸金之状……青、白之气竭，青气次之，然后可铸也。”根据现代科学原理，它是说，当温度升至 1200 时，杂质锌将全部挥发，所以白烟消竭。“炉火纯青”说明炉温已经够高，可以浇铸了。

您看，这是多么有趣啊！

世界上很多物质都具有热胀冷缩的特性，水、空气、水银和酒精等等在加热的情况下体积都会膨胀，而在变冷的情况下则会缩小。因此，在日常生活中，我们发现夏天的电线往下垂、冬天的电线绷得直；铁路的路轨夏天变长冬天变短，中间空隙就有大有小；踩瘪的乒乓球放到热水中，凹下去的地方一下子就复原了……这些都是因为热胀冷缩的缘故。人类很早就知道了这种现象，公元前 3 世纪就有人做实验来演示空气的热胀冷缩，然而都没有想到利用它来测量温度。

据说，最早利用这一特性来反映冷热程度的是伽利略，他曾于 1581 年在意大利的比萨大学学习医学。在这过程中，他发现生病往往与体温的变化有关，可当时，人们除了凭人手触摸确定体温高低外，几乎没有什么可靠的办法。

“为什么不发明一种温度计呢？用这种温度计不就可以精确地测出病人的体温了吗？”伽利略的创造发明欲望又一次在心头涌起，“根据什么原理来制造呢？嗯，看来必须在和温度变化有关的热胀冷缩上下功夫！”

于是，伽利略一头钻进了“热胀冷缩”世界中去了。然而，发明创造并非一蹴而就之事，它必须具有灵敏的脑袋和灵巧的双手，必须经过认真仔细的思索和坚持不懈的努力，才能最后取得成功，温度计的发明同样如此。

一晃 10 多年过去了，在这期间，伽利略当然不仅仅考虑温度计一件事，他发现了摆动定律，可以使机械钟走得更准确；他在比萨斜塔上做了著名的落体实验；他还因故离开了比萨大学被聘为帕多瓦大学的教授。在帕多瓦大学，伽利略白天教书，晚上同学生们讨论学问，然后再回到自己家里休息。说是休息，其实他还要做实验、制仪器，天天如此。

就在这忙忙碌碌之时，1593 年伽利略发明了第一支空气温度计。这种仪器结构非常简单，但以前从未有人想到过：它是一根玻璃管，一端开口，另一端有一小泡，然后将它注满水，并将开口的一端立于水盆内的水面之下，这样，小泡内出现了一个含有空气的空间。如果手握紧小泡，就会使泡内空气受热膨胀，越热膨胀得越厉害，小泡中的空间也越大；相反，小泡内空气就变冷而收缩。如果在玻璃管边上装一个标尺，用来测定水的高度变化，

也就可以确定空气温度的变化了。

第一枝空气温度计制成以后，伽利略满心欢喜，马上用它到处去测定温度。不久，他就感到不满意了，因为他发现这种温度计很不精确，既不能测低温，又不能测高温：温度太低玻璃管内的水会结冰，温度太高水又会汽化。同时，伽利略还发现，即使温度不变，玻璃管内的水的高度也会有所差异，这是由于它还要受到大气压强变化的影响。由于工作繁忙，伽利略没有精力和时间去进一步研究、改进他的空气温度计了。

首先对伽利略的温度计加以改进的是一位名叫雷伊的法国化学家。1632年元旦，雷伊给他朋友写了一封信，信中提出了一种液体温度计，他建议把伽利略的温度计反过来装，在泡里充水，管子里充空气，用水的膨胀来指示温度。他在信中这样写道：

“使用的时候，将泡充满水直到颈部，把它放在阳光下或一个发烧病人的手中，热会使水膨胀而上升，上升多少则根据热的高低而定。”

但是，雷伊的液体温度计由于没有把玻璃管的上端封闭，水的蒸发就会带来较大的误差。

后来，在意大利托斯卡纳大公爵斐迪南二世的指导下，佛罗伦萨的院士们提出了将管子密封的设想，他们将玻璃泡装上酒精，然后熔化玻璃尖把它密封，并把刻度附在玻璃管上。这就是第一个与大气压强无关的温度计。

1657年，大公爵把这种温度计赠送给波兰皇后的使节，皇后的大臣又把温度计转送给巴黎的天文学家布里奥。两年以后，布里奥制造出了第一支用水银作为测温物质的温度计。这样，温度计可测的温度范围就更大了。

就在伽利略发明第一支空气温度计之时，他的一位朋友帕多瓦大学的医学教授桑克托留斯则在用一种特殊的验温器来指示人体温度的变化，这种独特的验温器可以说是世界上最早的体温计了。

桑克托留斯发明的这种体温计像一条蛇形，球状的上端可放在病人的口中，管子下端放在一个盛水的容器内；蛇形管的刻度用玻璃珠标示，玻璃珠之间的距离则是任意的。虽然这是一个粗糙的仪器，但桑克托留斯却利用它发现了人体在健康和患病时的体温变化。

在温度计发展过程中，我们不得不提到德国物理学家盖里克，他曾以马德堡半球实验而闻名于世，殊不知，他在1660年至1662年还创建了一个最不寻常的温度计呢！

盖里克这架独特的仪器有近20英尺长，它由一个绘成蓝色，上面嵌着金星的钢球壳和1英寸宽的铜管连接而成，铜管弯成一个很窄很窄的U形，管内灌入了一些酒精。U形管较短一臂的顶端是开口的，酒精液面上漂浮着一个微小的倒扣着的铜箔杯，它与一根绳子连着，绳子绕过悬挂在球壳下的滑轮，绳子的另一端是一个带翅膀的小天使，用小天使来指示管子上的刻度。大钢球壳的一侧加了一道阀门，用空气泵排除空气用以调节酒精的高度。当铜球内的空气膨胀时，U形管开口一端的酒精就上升，小天使则下降；相反，

当空气收缩时，小天使就上升。

盖里克制造的这个巨大的温度计安装在房子背阴的一面，它上面有 7 个标度，从“大热”开始一直到“大冷”。这个温度计在当时还真引人注目呢。

自从伽利略制成第一支空气温度计开始，人们始终碰到一个难题，那就是“温标”——温度计需要有一个共同的标准，才能被人们广泛接受呀！

首先意识到这一问题的是英国著名物理学家玻义耳，他为缺少一个绝对的测温标准而感到深深的苦恼。

“有什么办法呢？”玻义耳一边思索着，一边实验着。经过一番钻研，玻义耳建议用茴香油放在酒精温度计的周围，让油凝固，记下当茴香油开始凝固时的酒精高度，然后再计算酒精的膨胀。

玻义耳有个助手，名叫胡克，他也跟着玻义耳一起思考着温标问题。有一天，胡克做完实验以后感到十分疲劳，于是，他走到实验室外的酒柜里，倒了半杯葡萄酒，自个儿自斟自饮开了。突然，胡克的眼睛盯在那洋红色的葡萄酒上不动了。

“咦，这倒是个好主意，为什么不用这样红色葡萄酒酒精代替无颜色的酒精呢？这样的话，不是更容易观测温度的变动化了吗？”

这个灵感，使胡克感到十分高兴，不久，一支清晰易辨的温度计便制成了，它里面灌着红色的酒精。胡克制造的温度计变化非常大，夏天可以膨胀到顶端，冬天可以降低到底部。在杆上刻度时，胡克先是把它放在正在凝固的蒸馏水中，把它停留的位置当作零，再根据液体的膨胀程度分度。

著名英国科学家牛顿也曾研究过温标这个难题呢！1701 年，牛顿用笔名发表了一篇论文，报道了他在测温学方面的研究成果，牛顿做了一支温度计，取了两个固定点作为温标，一个是雪融化时的温度，另一个是人体的温度，然后，他将这两个固定点间分为 12 等份。尽管牛顿提出的这种温标并不十分令人满意，但是，他发现的固体冷却定律和他对溶解与沸腾温度稳定性的观察，对温度计的发展至关重要。

除此之外，还必须一提的是法国科学家阿蒙顿，他于 1702 年改进了伽利略温度计，他的温度计是由一个恒定体积的玻璃泡和一个 U 形管较短的一臂连接而成，U 形管较长的一臂内的水银柱高度表示所测得的温度。阿蒙顿的温度计测出的温度与大气压强无关，因此，不同地方的温度计读数可作比较，但是由于他选择水的沸点作为一个固定点，这又与大气压强有关，结果还是不能取得较高的准确度。

时间进入了 18 世纪。

由于物理学、医学和气象学等各个方面日益发展的需要，对温度测量的要求越来越高。真所谓“时势造英雄”，在这样的形势下，有 3 位科学家脱颖而出，他们便是华伦海特、列奥默和摄尔萨斯。

华伦海特于 1686 年出生在德国的但泽，他的父亲是一个商人，父亲为了让他继承家业，特地送他到荷兰学习商业。但是，华伦海特却对科学产生了

浓厚的兴趣。终于，他成了阿姆斯特丹一个有名的科学仪器制造家。

华伦海特最初是用酒精来制作温度计的，直到 1714 年，28 岁的华伦海特才制造了现在仍以他的名字命名的那种水银温度计。在他的温度计上，他选了 3 个固定点：第一点取冰、纯水和氯化镁混合物的温度定为 0 度；第二点取无盐的冰水混合物的温度定为 32 度，称之为凝结的起点；第三点取温度计插入人体口中或置于腋下的温度定为 96 度。这便是“华氏温标”。

有趣的是，水的沸点虽然不是华氏温标的一个固定点，但是 212 这一点恰恰与之重合。以后，为了使固定点更精确，人们便改以冰水混合物的温度为 32 度，以在标准大气压下水的沸腾温度为 212 度。

列奥默是一位法国贵族博物学家，他在不知晓华伦海特工作的情况下，沿着不同的路线，探索着温度计的改良工作。

列奥默于 1683 年生于法国的拉罗歇尔，他是一位数学家、动物学家。1730 年，列奥默引入了一种温标，他把水的冰点和沸点之间划分为 80 度，这是因为列奥默注意到，酒精和五分之一水的混合液在从水的冰点加热到沸点时，其体积从 1000 份膨胀到 1080 份。但是，由于他忽视了空气压强对液体沸点的影响，他的温度计的测量结果并不理想。列奥默发明的这种温标人们称之为“列氏温标”。

瑞典天文学家摄尔萨斯是 18 世纪前半叶以温标标准化著称的第三位科学家。1742 年，摄尔萨斯在一篇向瑞典科学院宣读的论文中，建议人们采用一种新的温标，即“百分温标”，又称“摄氏温标”。他选择了两个固定点，一个是沸水的温度记作 0，另一个是结冰的温度记作 100，中间分为 100 个分度。因此，摄尔萨斯当时的情况和我们今天恰恰相反：沸腾的水不是 100 度，而是 0 度！这个“摄氏温标”使用起来比以前所有的温标都更令人满意，渐渐地成了科学研究中应用最广的温标。第二年，有人对“摄氏温标”的方向不太满意，于是，将它倒了过来，取水的沸点为 100 度，冰点为 0 度，这种习惯便一直沿用至今。

对于气象观测者来说，最感兴趣的莫过于某一段时间，例如 24 小时内温度计所测得的最高温度和最低温度了。今天的报纸、广播和电视上的天气预报，所报的温度也是最高和最低两项。但是，这两项温度如何测定呢？如果使用普通的温度计，岂不是需要一个人每时每刻去观测温度计才行吗？有没有办法制造出可以测出 24 小时内最高温度和最低温度的温度计呢？

18 世纪，许多人都在考虑这个问题，也在设法解决它，英国科学家卡文迪许便是其中之一，他是 18 世纪英国受人尊敬的一名科学家。18 世纪 50 年代前后，卡文迪许发明了早期类型的最高温度计和最低温度计，它们是两个互相独立的仪器。

最高温度计的外表与普通温度计相差不大，关键在于它的上端：水银柱上部有一部分酒精柱，上端开口处还有一个小小的玻璃容器。当温度逐渐上升，达到最高时，水银柱顶着酒精柱达到最高处，多余的酒精便溢出到玻璃

容器中。随着温度的下降，酒精柱上方出现了一段空间，这段空间便能表示它曾达到的最高温度。

最低温度计就像一根倒置的虹吸管，长肢封闭，短肢通过一个玻璃球与一个大圆筒连通。玻璃球和大圆筒原先都装有酒精，水银则从短肢顶端延伸到长肢向上的某一点来表示环境温度。当温度下降时，圆筒内的酒精收缩，水银从短肢跑进玻璃球内就跑不出来了。如果后来温度上升了，则短肢上部充入一段酒精柱，其长度同温度上升成正比。短肢上水银高度将表明这温度计比它这时的温度低了多少，如果从现在的高度减去这个差值，就可以知道它所达到的最低温度是多少了。

卡文迪许发明的这种仪器直到 18 世纪末才被人们废弃，代之以带有小的活动指标的温度计。这个指标由温度计液体表面的升降来加以操纵，至今我们还可以看到它们的应用，这便是由一个名叫西克斯的人所改进的组合式最高最低温度计。对自己的这一发明，西克斯曾自豪地说：“我通常在晚上去察看我的温度计，从左边的指标看看昨天夜里的冷，从右边的指标看看今天白天的热。我将这些记录下来，然后把一块小磁铁作用于管子被指标贴住的部分，使指标向下移动到水银表面。这样，无需加热、冷却、分离或扰动水银，也无需移动仪表，便可以使这仪表一动也不动就已经调整好了，准备作另一次记录。”

发明了能测最高、最低温度的温度计对我们真是太有用了，我们今天的天气预报不就是预报每天的最高、最低温度吗？

到了 19 世纪末 20 世纪初，科学技术的发展要求更精确的温度计，同时，科学技术的发展也为更精确温度计的诞生创造了条件。在这一时期，诞生了温差电偶温度计、电阻温度计、辐射热计、光测高温计以及氢温度计等。

1874 年，德国科学家西门子首次制成了电阻温度计，它是利用金属或半导体的电阻随着温度改变的性质而制成的一种温度计，由于这种温度计比较精确，往往被用作温度测量的标准。

1902 年，由费里发明的辐射热计是一个带有手柄的圆柱型仪表，它可以测定来自一个方向的热辐射强度。仪器的背面有着棋盘形黑、白相间铝箔制成的辐射热接受体，正面则是一个电流表。如果我们要进行测量，只要将接受体对着辐射源直接读数就可以了。

光测高温计又称为光学高温计，它是利用炽热物体发出的光测量其温度的一种高温测量仪器。1878 年由克罗伐研制的这种仪器其实是一个内部装有特制电灯泡的简单望远镜，使用的时候，将它直对着待测物体，使待测物体的发光面在灯泡的灯丝处形成一个明亮的像，然后再调节灯丝的电，使其亮度与像的亮度相同，这时，由电流的大小就可读出炽热物体的温度。它可以测量 800 至 3200 之间的温度。

氢温度计是一种气体温度计，1901 年由霍尔本研制成功。氢温度计是利用氢气的压强或体积随温度而变化的性质制成的温度计。

今天的温度计已成了一个大家族，尤其是进入电子时代以后，小巧灵便的液晶显示温度计更是受人欢迎。

气象仪器的发明

我们每天都能从电台、电视台知道当天的天气情况和以后几天的天气预报，包括温度、风向和风力、雨情和雨量，有的还会告诉我们大气中的湿度。当然，这些“情报”全都来自气象台。

可是，你知道气象台是如何知道这些“情报”的吗？当然得靠仪器：用温度计测温度，用风速计测风速，用雨量筒测量雨量，用湿度计测湿度等。关于温度计的发明故事，我们已经作了介绍。这里，我们将谈谈其他几种气象仪器的发明故事。

地球上自从有了大气层，也就有了风，风伴随着人类在地球上经历了漫长的岁月——有时候微风轻拂，有时候暖风扑面，而有时候却狂风怒吼。

从感觉上，人们很容易知道风的大小和方向，但是，这是很粗糙的。能不能有一种测量风的仪器呢？

我国东汉时代科学家张衡，不仅设计制造了浑天仪和地动仪，而且他还是世界上第一个风信器的发明者呢！

所谓“风信器”就是用来指示风向的仪器，我们可以在一些较高的建筑物尖顶上看到它们在随风摆动。

当时，张衡在发明了浑天仪和地动仪以后，又对风产生了兴趣。“测天我有了浑天仪，测地我有了地动仪，而这天与地之间的风倒是一个难题。有没有办法制造一件测风的仪器呢？”张衡开始了对风的研究。

张衡感到，测风最主要的应该是测它的方向，“我制造的这件仪器，必须满足一个条件，就是能够随风转向，这样，将它安装在高处，抬头一看不就清清楚楚吗？”

对张衡来说，制造这样一件仪器并不是难事，不久他就制成了，并把它安在5丈高的杆顶上。

“嗨，这是什么玩意儿？大家快来看呀！”人们纷纷前来观看这个从未见过的东西。

只见杆顶上有一只铜铸的小鸟，鸟嘴里衔着一朵花。

“诸位，这是我刚刚制造成功的一件仪器，我叫它‘相风铜鸟’，这只铜鸟的头总是对着风吹来的方向，有了它，我们可以随时知道东西南北风啦！”张衡兴致勃勃地对大伙说着。

“你们看，这只铜鸟真的在转动了！”人们发出了啧啧赞叹声。

这只“相风铜鸟”又叫作“候风仪”，也就是我们现在说的风信器。同样的仪器在欧洲直到12世纪才出现，比张衡要晚1000多年呢！

风速怎么测呢？这不是一件容易的事。能测风速的“风速计”直到17

世纪才出现，它的发明者便是罗伯特·胡克。

胡克的这项发明真是绝妙！原来，它的关键是一块很轻的木板，这块木板可以自由摆动，当风吹来时，这块木板就在一个分度标尺上移动，这样就记录下了风的速度。胡克的这项发明大约在17世纪末期。到了18世纪，风速计又有了许多新的设计。例如，皮克林在胡克的基础上增加了一个抓钩，它可以防止木板在被风吹起后摆回去，这样就能观测到某段时间内的最大风力了。法国一位博学的教士于埃在一篇文章中记载了U形风速计。U形管中有一些液体，当风吹入U形管的一个弯肢后，风的压力使一边的液体表面下降，另一边则上升，风力便由这两边的高度之差来表示。

以后，风速计虽然有了很大的改进，但是其基本原理却是相同的。现在，在气象台的观测场地上，10多米高的测风仪总是“高高在上”，它既能测风向，又能测风速，日日夜夜为我们提供着最新的风向风速资料。

下雨是最常见的一种自然现象。人们如何了解下雨的程度呢？仅仅用形容词来形容，显然是不够的，还得发明一种仪器来进行测量。雨量计便应运而生，它是一种计量雨水量的仪器。

在雨量计的历史上，我们中国是走在前列的。早在宋代，数学家秦九韶，在他撰写的《数书九章》中，就有一道关于计算雨量计容积的题目。

到了公元1424年，明永乐末年，当时的政府为了掌握全国各地的旱涝灾情，同时也为了测算农业的收成，责成有关人员统一制定了一种雨量计。发到全国各地，命令各州、县将记录到的降雨量向政府报告。其实，这种雨量计十分简陋，和我们今天常见到的量筒差不多，上面标有刻度，可以清楚地知道某一段时间内某一地区下了多大的雨。因为有了统一的标准，当时的政府就可以了解全国各地的下雨情况。如今，在北京文献馆内还存有北京、江宁、苏州、杭州等地的晴雨录，这可算是世界上最早的气候记录了。

在欧洲，雨量计的发明则要晚得多。英国最早的测量降雨量的仪器是克里斯多夫·雷恩爵士于1662年设计的。到了1695年，发明风速计的胡克也设计了一种雨量计，它是一个玻璃漏斗，安装在一个木架上，漏斗的下端伸进一个较大的容器内。在漏斗上，有2根绳子将它牢牢地固定在木架上，以防被风吹动。所收集的雨水用秤称量就可以了。

与现代雨量计相像的仪器是1722年由英国人霍斯利制造的，他用一个漏斗把雨水收集在一个玻璃量筒里，这样不就省去了称量雨水的麻烦了吗？

后来，经过人们的改进，又出现了许多种类的雨量计，而且向自动记录的方向发展。其中最常用的便是虹吸管雨量计：它有一个承雨筒，里面装一个浮筒，浮筒会随着承雨筒中水面的升降而上下移动；同时，它还有一个装时钟的钟筒，当时钟走动时，钟筒就会转动起来。这样，钟筒外面的一张自记纸上就会记录下一条降雨量曲线，雨量大，线条就上升，雨量小，它就下降。

有了这种仪器，人们就可以很方便地从这些曲线上了解任何一段时间的

总雨量和其他数据了。

我们常常用“冷热干湿”4个字来说明周围大气的情况，“冷热”指的是温度，“干湿”指的便是湿度。

“能不能制造一种像温度计一样的制造一种湿度计呢？这样，一看上面的刻度不就知道大气干湿的程度了吗？”这一想法最早是德国人兰贝特在1774年前后提出来的，但是兰贝特对此却无能为力。

兰贝特的想法却引起了另一个叫布兰德的德国人的注意，“这倒是个好主意！湿度计，一旦发明出来，肯定会受人欢迎的。”

于是，布兰德一头钻进了干和湿的世界里，每遇到一种东西，他首先就要看一看这种东西在干和湿的情况下会有什么变化。

功夫不负有心人。布兰德终于找到了一种东西，可以用来表示干和湿的变化。说来你也许不相信，这种东西便是最最普通的绳子。

布兰德发现，同样一根绳子，弄湿了要比干燥时略微长一点点，利用这种变化不就可以制造湿度计了吗？于是，世界上最早的湿度计诞生了，它其实就是一根下系重物、上端固定的绳子，绳子背后标了一些刻度，可以表示它长度的变化。我们可以想象，这种绳子湿度计的精确度是很小的，只有在大气干湿变化十分悬殊时，它才会有一点点变化。

真正具有应用价值的湿度计是由瑞士科学家索绪尔发明的，时间是18世纪70年代。

索绪尔对地质学、气象学和植物学具有浓厚的兴趣。他长期从事着阿尔卑斯山的科学研究，是冰川研究的先驱者之一，在他的一生中，曾多次登上了阿尔卑斯山，并将他的所见所闻都记录到了《阿尔卑斯山旅行记》一书中。

在研究阿尔卑斯山及其冰川的形成过程中，自然离不开对气候的研究。除了温度之外，湿度成了一个主要问题。当时，温度计已经达到一定水平，但是湿度计却还不如人意。

“要是有一种像温度计那样的湿度计就好了，我可以随身携带，测量阿尔卑斯山上各处的湿度了，”索绪尔在撰写《阿尔卑斯山旅行记》一书时，常常闪出这样的念头，“我来设计制造湿度计，人家不会说我是越俎代庖吧！”

于是，他开始了湿度计的研制。他首先去图书馆翻阅了所有关于湿度计的论文资料，发现有人用野燕麦芒来制造湿度计，有人用羊肠线来制造湿度计，还有人索性用一根绳子来制造湿度计——周围空气的干湿变化会使绳子的长短相应发生变化……然而，所有这些材料制造的湿度计都不理想。

“有没有可能找到一种更合适的材料来制造湿度计呢？”索绪尔开始了新的探索。

他把自己能收集到的材料都进行了干湿度方面的测试，希望找到一种在干和湿时长度发生较明显变化的材料。

索绪尔对湿度计的研制并不顺利，他遇到了种种困难而进展缓慢，而且他还要外出去阿尔卑斯山勘探。

1775年的某一天，索绪尔对他妻子梳下的一堆长发发生了兴趣。

“哎，我怎么就没有想到用头发试一试呢？”

索绪尔小心翼翼地挑选了几根较长的头发进行了干湿研究。他发现，一根绷紧的头发在受潮时伸长，干燥时缩短，这种长度的变化可达四十分之一左右。

“这种湿度计不妨称‘毛发湿度计’吧！”

索绪尔首先设计的一种毛发湿度计，毛发的下端由螺丝夹住，上端则夹在一个圆筒上，毛发的伸缩会使圆筒旋转，从而带动一个指针转动。

索绪尔发现，这种毛发湿度计太脆弱了，外出考察携带很不安全。因此，他又设计了第二种毛发湿度计，这种新的湿度计虽然不及第一种灵敏，但却便于携带。

在这种湿度计上有一片金属制成的扇形指针，边上有2条槽，一条槽放毛发，另一条槽为丝线，当毛发长度发生变化时，指针便会显示出来。

在索绪尔之后，又出现了其他类型的湿度计。例如，利用木板吸湿变宽性质制成的“木板湿度计”，类似的还有“鲸骨湿度计”，另外还有利用某些材料吸湿后重量变化进行测量的“海绵湿度计”、“岩石湿度计”等。

以后，人们又相继发明了干湿球湿度计、电阻式湿度计、红外线吸收式湿度计等，为现代科学技术的发展做出了积极的贡献。

给大气测测压力

为什么人们登上高山时会出现头晕、心跳、呼吸急促的症状？原来，这是大气压力变化的缘故。由于平地上大气压力较大，空气中氧的压力比血液中的高，所以氧就往人体动脉里渗，再通过血液循环带往全身；高山上由于大气压力减小，空气中的氧气少，动脉血液中氧的压力比外界高，氧气便很难进入人体。通常，人到了海拔6000米左右的高原地区就会出现这些不舒服的症状了。

当然，平地和高山上大气压力的不同是通过一种仪器测量出来的，这就是气压计，气压计上的指针可以告诉我们此时此地大气的压力究竟有多大。通过测量大气压力的变化，我们可以预测天气会有怎样的变化等。

那么，我们是如何知道自己生活在有压力的大气中的呢？这还得从一次十分有名的实验说起。

故事发生在1654年的德国马德堡市。马德堡市市长叫盖里克，他是一位业余科学爱好者，这一年，他进行了一项非常壮观的实验——马德堡半球实验。

那天，春日融融，绿草如茵。远处山坡下人山人海，近处草地上热闹非凡，人们又是跳起德国传统的舞蹈，又是扬鞭策马举行赛马表演。

不一会儿，盖里克市长也来了，他容光焕发地向大家宣布：

“诸位，今天，我将为大家表演一个科学游戏！”

说着，他双手将2个铁制的半球高高举起。

“等一会儿，我将把这两个半球扣在一起，不用任何东西焊接，然后把里面的空气抽掉，看看谁有能力再把它们分开来。”

接着，盖里克“啪”地一声就把这两个半球合上了，他的助手递上了一个小唧筒，三下两下就将里面的空气抽光了。然后，盖里克将两根又粗又结实的绳子系在半球两边的环上。“现在，一切都准备好了，有谁想试一试自己的力气，把这两个半球拉开？”盖里克大声问道。

从人群中走出两个彪形大汉，他们自告奋勇地接过市长手中的绳子，一边一个地拔起了河。只见他俩脸涨得通红，但是那两个半球硬是纹丝不动。他们只好认输，垂头丧气地退下阵来。

人群一片啧啧声。

盖里克又将两边“拔河”的人数增加到2个、3个，可是，铁球还是纹丝不动。

盖里克又牵来两匹马，一边套上1匹，两个驭手挥起鞭子，两匹马仰天一声长嘶，4蹄扣地向两边猛拉，可那球仍是依然如故。盖里克又将两边再各加1匹，一会儿又加1匹，这样一直各加到7匹，还是不见动静。

盖里克又命令两边再各加1匹，驭手的马鞭霍霍，马嘶啸啸，尘土飞扬，人群也沸腾了起来，加油声此起彼伏……

只听“嘭”的一声，铁球终于裂成了两半，两边的8匹骏马各带着半个铁球一下子冲出好远。

这就是闻名于世的马德堡半球实验。

原来，这是大气压力捣的鬼。盖里克是如何知道大气压力的呢？

据说，有一天，盖里克让手下的工人用唧筒抽酒桶里的水，在抽的时候唧筒脱落了，工人用布条重新绑好，或许是由于堵塞过严，使桶口密封了，结果把空气也抽光了，只听得桶内一片沸腾的噪声。

盖里克得知这件事情以后，就以铜球代替木桶，让工人也用唧筒抽气。工人越抽越费劲，最后只听到“嘭”的一声，铜球瘪了。

从此，盖里克迷上了这种实验，并且开始对它进行了许多研究。马德堡半球的试验就是在这个基础上进行的。

其实，早在马德堡半球实验之前，就有人对大气压力进行了研究了。

早在1640年前后，有人告诉意大利著名科学家伽利略，说抽水机从深井里抽水最多不会高过10米。当时，伽利略年事已高，而且双目失明，无法亲自进行实验了，于是，他叮嘱自己的学生托里拆利，好好研究这个问题。1642年伽利略死后，托里拆利决心实践自己在老师面前的诺言。

托里拆利打算用水银来进行实验——比水的密度大13.6倍的水银究竟可以提到多少高度呢？

他让助手维维安尼拿来一根长约1米的玻璃管，一端开口，灌满水银，

并用手指封住开口，再倒立在水银槽中。当托里拆利放开手指以后，他们发现管顶的水银面降到距离槽中水银面 76 厘米的高处停住了。接着，他们又用其他形状的玻璃管做实验，结果总是相同的——水银的高度总是 76 厘米不变。

托里拆利认为，在玻璃管水银上方的空间内出现了真空，就是说那里几乎没有任何东西，后人便称其为“托里拆利真空”。这根水银柱管就成了最早的气压计。

是什么力量使水银柱上升到 76 厘米高度的呢？托里拆利猜想，水银柱是被水银面上的大气压力托起的，并且，他把水银柱高度的微小变动看作是大气压的变化而引起的。但是，托里拆利在 1647 年尚未证实这个假说时就逝世了，对于它的证实，只能留给后人去进行了。

托里拆利做的真空实验的消息不胫而走，人们竞相演示着这个实验。

消息传到了法国，科学家帕斯卡为了检验托里拆利的说法，在巴黎的教堂顶上做同样的实验，他希望能够测出高处和地面上气压计水银高度的差别，但是，这个实验失败了，因为巴黎市内的建筑不足以得到明显的结果。

怎么办？

帕斯卡想到山顶上去进行实验。但是，帕斯卡是个半残人，他自己无法爬山，只能求助于他的内弟佩利尔。

1647 年 11 月的一天夜里，帕斯卡在考虑了很久以后，提笔给佩利尔写信：

“亲爱的佩利尔，如果真的出现了山顶上水银比山脚下升得低，那么必然会得出这样的结论，空气的重量和压力是造成水银悬挂的唯一原因，因为我们可以肯定，山脚下比山顶上有更多的空气压下来。”

经过周密的思考，这个实验在第二年 9 月的一天进行了。佩利尔将气压计带到了多姆山顶上去，观测气压计水银柱高度有什么变化。果然，实验的结果证实了托里拆利的假说。

佩利尔在返回的路上，又作了分段观测，证明水银升高与高度降低成正比。当他回到出发点时，得知留在山下的另一支气压计在他离开的一段时间内水银柱高度并没有发生变化。

第二天，佩利尔又在克莱蒙最高的塔脚下和塔顶上重复了他的观测，虽然效果并不明显，但是结果却是肯定的。

这个结果使帕斯卡感到非常高兴，他又进一步做了很多实验，研究气压计水银柱高度和气候的关系，他认为，这些知识对农民和旅行家很有用处，因为这可以知道气候的现状以及即将发生的变化。

与此同时，还有人用鲤鱼肚里的鱼鳔做了一个实验，他把鱼鳔里的空气尽可能挤干净，然后再把开口扎紧，放到托里拆利真空区内，鱼鳔在里面膨胀了起来。如果在大气压下将鱼鳔充满空气，一旦它到了真空区域，就会膨胀得更大。

帕斯卡的实验使人们对气压有了更深的认识。

德国马德堡市市长盖里克除了那次惊心动魄的马德堡半球实验以外，还制造过一种水气压计呢！

当时，盖里克住在一幢四层楼的公寓里，上面用的水全靠下面提上去。有人为了图方便，设计制造了一个装置，打算通过一个抽成真空的容器，利用空吸作用，将水从底层“吸”到楼上去，这个装置有点类似我们今天使用的眼药水滴管，也有点类似自来水笔的笔胆。

然而，怪事发生了！

这个装置只能将水吸到盖里克所住公寓的第三层，第四层是无论如何也吸不上去了。

盖里克知道，这又是大气压在作祟。

为了精确地知道水究竟能升到什么高度，盖里克设计制造了一套设备，它由4根黄铜管首尾相连组成一个垂直的长管，上端为一个玻璃容器，下端为一个旋塞，旋塞浸在一个盛水的容器中。开始时，旋塞紧闭，管子全部充满水，玻璃容器也充满水，然后打开旋塞，管子中的水便下沉到一定的高度，这个高度可以从玻璃容器的边上观测，由浮在水面上的一个木头小人伸出手臂指点一个带刻度的标尺而作出指示。这就是盖里克发明的水气压计。

盖里克将水的上升归因于大气压力以及因气压变化而引起的水面高度的日常变动。他对这种变动作了长期研究，试图把这种变动同天气变化联系起来。果然，他成功地根据气压的突然下降预报了1660年的一次严重风暴。

托里拆利的气压计是最原始的，带有水银槽，很不方便。如何才能使气压计小巧玲珑，便于携带，而且测量也更精确呢？

开始，有人将托里拆利气压计改成虹吸气压计，它省去了水银槽，管子的开端弯过2个直角，利用封闭管和开口管中水银的液面高低之差来测量大气压。

1665年，阿蒙顿发明了一种气压计，它朝着封闭一端的方向狭窄下去，适合于海上使用；后来，到了1688年，阿蒙顿又发明了另一种复式气压计，气压由几个水银柱来平衡，这样可以缩短气压计的高度。

还有人将气压计的管子制成倾斜上升或者螺旋上升，使得大气压的微小变化在管子内引起较大的水银柱位移。

最著名的要数胡克轮式气压计了。它由一个泡、一根管子、一根U形虹吸管以及一个带刻度的圆环组成，上面有一根指针，有点像钟表上的盘一样。利用这种奇特的装置，放在U形虹吸管内的水银面高度如果有任何微小的变化，那么，就会由小指针的旋转运动明显表示出来。后来，胡克又想了一个方法，用更加简便的结构制造了轮式气压计。

为了更精确地读出水银面的高度，有人甚至将显微镜和测微计都用到了气压计上。

今天，随着科学技术的日益发展，气压计的精度越来越高，外观也越来越漂

亮，但是，其原理还是与原始气压计相同，一种为“水银气压计”，另一种为“空盒气压计”。

指针式标度盘装置

我国最早的指南针还没有使用针状的指针。当时是用形如汤匙、鱼甚至有时用甲鱼状的物品作为“指针”。此后，指针的设计和采用是一次巧妙的改进。有了指针和环绕在周围的标度盘，就使精确度大大地提高了。我们可以说，就是在这一发展阶段上，中国人开创了世界上第一代指针式标度盘装置。这种装置对现代科学来说仍是极其重要的。

在一些计算装置中磁针也被用做指针。在我国，人们在计算装置中使用磁针的历史最迟也可追溯到公元 570 年。该计算装置像是一种算盘，不过它是基于指针式罗盘读数原理制成的。在一部书名为《数术记遗》的古书中就对它进行了描述。书中附有甄鸾的评注。甄鸾写道：

“在这种计算中，其位数以针锋所指来定。第一位数为‘离’位，即指向正南；第二位数为‘坤’，乃西南；第三位数为‘兑’，乃正西……”

甄鸾还提到，对某个数字进行乘法运算时，则由针的尖端表示出其位置；而对某个数字做除法运算时，则由针的尾部表示出其位置（针的尖端和尾部形状不同）。

在我国，人们至少于公元 6 世纪就已应用指针式标度盘装置，而且很可能早在公元 3 世纪就已开始。

中国的指针式标度盘装置结构之精细复杂令人惊奇。而其中最精巧的，无疑地要首推堪舆家的堪舆罗盘了。其中有些标度盘装置竟由多达 40 个同心圆组成。在每个不同的同心圆上都标有一套不同的数字以测量各种情况，并可按要求读出数字。

物理学仪器设备

威尔逊云室

剑桥大学的年轻的苏格兰研究生威尔逊，决定用 1894 年暑期的时间帮助尼维斯山上的气象台解决难题。他回忆说：“当阳光照耀在山顶周围的云层上时，出现了一种非常奇妙的光学现象，使我十分感兴趣；我希望能在实验室里模拟这种光学现象。”于是在 1895 年，他开始了一系列的实验，企图用人工的方法产生雾、云和雨。

人们早就知道，空气的剧烈膨胀会使空气冷却，如果空气中的水蒸汽已饱和，水蒸汽就会凝结。于是他开始设计一种仪器，把空气装在一个圆筒形的玻璃室里，玻璃室的底部是一个活塞，活塞可以骤然下拉。当玻璃室里的

空气膨胀时，空气就变冷，就有水珠形成。但是要做到这一点，还需要有某种物质微粒，使水蒸汽能围绕着这个核凝结成水珠。在一般情况下，这种核是由尘埃的微粒来充当的。在威尔逊尚未从事这个题目的研究之前，科学实验停留在这样一个水平上：没有尘埃，除了仪器壁以外的地方就没有凝结现象发生。但是威尔逊这时指出，即使通过反复的凝结除掉了灰尘，如果空气的膨胀超过了一定的限度，仍然会出现“云”。也许空气中有某种其他的“核”，可以充当这种凝结的中心。这种凝结跟围绕着尘埃微粒进行的凝结不一样，当核沉落到底部时，凝结现象并不消失。他写道，这种核似乎“在任何时候的存在量都极少，一旦被除去，立刻就有同类的核补充上来”。这些核到底是什么东西呢？

如果空气暴露在当时新发现的 X 射线下，出现的核似乎要多一些。他很快就发现，这些核一定是离子——由于失掉了一个电子或获得了一个额外电子而带上了正电荷或负电荷的原子。在尔后的若干年中，他主要是研究雷电，但是由于受到卢瑟福等同事对在放射性中产生的 α 射线和 β 射线的研究工作的影响，他于 1910 年又转而研究人工气候。它们能跟 X 射线产生同样的效应吗？经过很长一段时间的研 究之后，他制造出了一些基于旧原理的新设备。新的云室能非常理想地显示出 α 射线和 β 射线在穿过云室时产生离子的效应。当水气围绕着每一个离子进行凝结的时候，能清楚地看到这此粒子的轨迹，而且能拍下来，看见照片上的粒子拖着蒸汽尾巴。

以前， α 粒子和 β 粒子的存在必须从它们的大量行为来推断，现在人们可以追踪单个的粒子，就像能根据马蹄印追踪马一样，十分清楚。更妙的地方是，像威尔逊在 1912 年指出的那样，这些照片似乎证实了卢瑟福关于这些粒子的真正性质的解释，还证实了他在这以后提出的关于原一子的理论。事实上，威尔逊云室在第一次世界大战后的若干年内，是研究亚原子粒子的物理学家手中最好的工具。科学家们拍了一些反映核转变和核裂变的结果的照片；宇宙射线和正电子都是用云室首次观察到的。因此我们说，威尔逊在两三个机械师的帮助下提供了一种变革基础科学的手段。

回旋加速器

科学家们在发现了镭之后的最初 40 年内对原子的研究，宛如侦察一个谁也没有看见过的罪犯的行踪，因为没有倍数足够大的显微镜来观察原子，更不用说观察比原子更小的核了。因此科学家们不得不像侦探一样工作：被“通缉的罪犯”干了这样和那样的事，留下了印迹，使专家们能够想像他像个什么样子，在某种情况下会干什么事情。只有实验工作才能证明科学家们的理论是否正确。

卢瑟福早在 1919 年就布置下了一个这样的圈套，采用的办法是用氦核（由两个质子和两个中子组成）轰击氮原子（由七个质子和七个中子组成），

把若干氮原子转变成了氧原子。在查德威克于 1932 年发现了中子(事实证明它是一种极好的“炮弹”)之后,科学家们在这个新的鼓舞人心的领域做了大量的工作。1931 年,加利福尼亚大学造了一台大型的机器,即劳伦斯教授设计的“回旋加速器”。这种机器是沿环形轨道加速原子核的粒子。回旋加速器的原理就像小孩儿打秋千一样,其运转由于不断的推动而加速。在粒子加速器中,粒子在两个强的电磁极之间通过,电磁极给粒子施加“推力”,使其达到最高速度。这就意味着增加能量(以电子伏为单位计算)。最后,当粒子束达到理想的能量时,就用磁场使其偏折,轰击靶子。

从入射粒子跟靶材料中的原子核碰撞的情况,可以知道关于物质的基本“建筑材料”的许多情况。由射入的“炮弹”从“靶”原子中打出来的亚原子粒子流,可以导入一个泡沫室;导入泡沫室的粒子的轨迹——液态氩里的极微小的泡沫线——可以拍成照片以供分析。速度、质量、电荷和其他特性都能从泡沫室里的轨迹照片看出来,使“侦探”能对“通缉的罪犯”进行正确的描述。

劳伦斯在 1930 年制造的第一台回旋加速器,是一台精密的小型设备,直径只有 4 英寸半,最多能把粒子加速到 125 万电子伏。这听起来也许已经很了不起了,但是从那以来,加速器造得越来越大,在日内瓦附近的法瑞边界建造了一台最大的加速器,直径达 3 英里,指望它能发出 3 千万万电子伏的脉冲。因此,要研究最小的实体,必须使用倍数最大的“显微镜”。

核研究还在继续进行,目的是为了寻找关于原子结构的一些尚未解决的问题的答案。在研究过程中又发现了一些奇怪的粒子(它们的“奇怪性”能准确地测出),它们的行为和作用尚未得到充分说明。但是,没有一种粒子能看成是构成原子核、原子和宇宙的最小的不可再分的单位。在探索物质奥秘的这个过程中,回旋加速器和从其演变出来的其他仪器继续起着重要的作用。

陀螺仪的性能

围绕着一个可转动的轴旋转的任何物体,不管它像儿童玩的陀螺那样小,还是像地球那样大,都可以称为陀螺仪。陀螺仪的首次实际应用也许应归功于塞逊。他在 1744 年说服英国海军部在海上试验一个旋转的、能为船舶指示出稳定的水平基准线的转子。它装在一个枢轴上,以免因船晃动而受干扰。它是现代飞机上使用的陀螺水平仪的祖先。

在塞逊之后很多年,有一个叫桑的苏格兰人和一个叫富科尔的法国人分别在 1836 年和 1852 年利用陀螺的稳定性来证明地球的自转,但是桑没有钱制造一个足够精确的转子。富科尔成功地制成了这样的转子,并创造了陀螺仪这个名词。

本世纪初,利用大型陀螺仪稳定船舶以防止左右摇晃的研究活动突然增

加。最初的发明者是奥托·施利克。这种方法于 1908 年在英国首次应用，后来被利用小型偏航显示陀螺仪来控制水下鳍板的方法所取代。大约在同一时期，布伦南、谢尔和希洛夫斯基等发明家正在建造能用两个轮子而不是四个轮子行驶的车辆，依靠内部的陀螺仪保持直立，但是他们的工作没有得到社会的承认。

陀螺原理在航海上的另一种应用是陀螺罗经；它现在是除最小的船只以外的所有船只上都有的一种重要仪器。人们普遍认为，这是德国人安许茨一肯普夫的发明（1908 年），不过紧接着美国的斯佩里也发明了陀螺罗经。陀螺罗经能够感测地球的旋转，然后将转轴对准北极，正指北方，甚至船舶在海上摇晃和颠簸时，也能对准。

陀螺仪在空中的应用取得了十分明显的进展。在空中，导航和控制的关键是要有一个精确的垂直基准线。一个单摆是不行的，因为如果它的支承点加速，单摆就会猛烈摆动。在仿真水平仪和自动驾驶仪中，使用一个带垂直轴的陀螺仪，就像一个直立的陀螺一样。飞机在上升或侧滚时跟固定的陀螺轴形成的相对角度会给出一个读数供驾驶员直接利用，也可用作自动控制系统的一个数据。

过去 20 年中，这些航空上的应用，最后发展成了复杂的惯性导航系统。其核心是微型的精密陀螺仪，它能测出每小时零点几度的轻微转动——这种转动比地球缓慢的自转还要小得多。此系统能独立运转，在几千英里的飞行中，不依靠任何外界的参改源，将飞机精确的位置和方向记录下来。

奇妙的万向支架

当一个宇宙飞船飞离地球后，在茫茫的太空里，是什么东西给它指引航向呢？用指南针？不行，因为飞船已经脱离了地球。

一般是使用陀螺来导航，陀螺过去是一种玩具，但是由于它转动后有一种保持转轴不变的惯性，所以可以用于导航。但是，必须有一个万向支架，使运动的船体不影响陀螺运行。飞行器无论怎样翻转，陀螺的支架必需保持“水平”才成。所以这种支架又叫作常平支架，它是构成现代陀螺仪的一个重要部件。

而这个常平支架在我国西汉时代就发明了，不过不是用在指引方向上，而是用在一种熏烘被子的“被中香炉”上。

在我国古代民间从西周起就有焚香除臭、熏烟灭虫的习惯，他们把香草放在一个特殊的盒子里燃烧，但有时会引起火灾。到了汉代，长安的一个叫丁缓的工匠发明了一种被中香炉，它是一个空心球体，里面盛有炭火，无论这个球怎样滚动，炭火也不会撒出来引燃被子。

汉代司马如的《美人赋》一诗里写道：“金钺熏香，浦帐低垂”，这里的钺，就是说的这种被中香炉，这种香炉制作非常精巧，外面镶嵌着美丽的

花卉图案，成为妇女的宠物，有的做成烤手的“火笼”，有的用一条链子配带在身上。

这种装置为什么不会把炭火撒出来呢？原来，它是由两个相互垂直的支架构成的，所以，无论怎样转动，盛炭火的容器始终保持水平。

人们还把它用在节日舞龙灯的“灯球”上，后来，又发展到装在马车上，李约瑟博士在它的《中国科技史》的巨著中，就讲过这种车子。由于车子里装了这种常平架，即使行走在崎岖的路面上，躺在里面的达官贵人也不会感到颠簸，这个支架和后来西方发明的陀螺仪的支架的原理一样，只是中国没有把它应用到更重要的地方。

第一个避雷针

雷电的破坏力是相当惊人的，它的温度大约有5万摄氏度，这比太阳的表面温度还要高出好几倍，1777年由于雷击高压线造成美国西北部大停电。因此，人类在很早以前，就探讨着避免雷击，驯服雷电的办法。

1752年7月的一天夜晚，在美国波士顿，阴云密布，狂风忽起，眼看一场大雨就要铺天盖地而来。就在这个时候，美国科学家富兰克林（1706～1790）却在野外放风筝。他的风筝很特别，是用杉树枝做骨架，用丝绸当纸，扎成菱形的样子。风筝的顶端安了一根细铁丝，放风筝的麻绳末端拴着一把铜钥匙。当风筝飞上高空不久，豆大的雨点就劈里啪啦地落下来。雨越下越大，狂风裹着暴雨把富兰克林浇了个透湿。富兰克林毫不在意，他紧紧拉住风筝下面的麻绳，不让它像野马一样挣脱缰绳。他等待着即将出现的电闪雷鸣。富兰克林此时对于可能被雷击致伤致命已毫无畏惧。在头顶上闪电忽闪忽闪的时候，他把一个手指靠近钥匙，引出了一个强烈的电火花，在钥匙与手指之间闪过，同时手指感到一阵刺痛。他意识到这是天空的电流通过湿麻绳和铜钥匙传到了他的手上。他高兴地大叫：“电，捕捉到了，天空的电捕捉到了！”他上把铜钥匙和莱顿瓶（一种蓄电瓶）连接起来，结果莱顿瓶蓄了大量的电，这种电同样可以点燃酒精，可以做“摩擦起电”的静电所做的一切。

这个实验证明了打雷实际上就是一种大规模的放电现象。富兰克林进而想到，如果在建筑物上装一根金属导线，导线下端接地，那么，根据尖端放电的原理，云中的电荷就会同导线尖端的感应电荷慢慢中和，这样就可以使建筑物免遭雷击。后来理论变成了现实，富兰克林在费城建造了第一个避雷针。这是一根竖直的金属棒，以不导电的材料固定在屋顶上。在棒上拴一根金属线通到地下。当闪电袭击房屋时，它沿着棒和金属线这条捷径到达地下。这样，建筑物就未受损害。当富兰克林的这一发明传开后，人们纷纷采用它。

我国古代劳动人民也观察到了雷电的放电现象，并懂得采用较为科学的方法予以避免。1638年，外国一位曾游历过中国的修道士马卡连出版了一本

介绍中国的书，其中谈到当时的建筑物时写道：“……屋顶的四角都被雕饰成龙头的形象，仰着头，张着嘴。在这些怪物的舌头上有一根金属芯子，其末端一直伸到地里，如果有雷电打在房顶上，它就会顺着龙的舌头跑到地里，不会产生任何危害。”

显微镜的出现

我们肉眼能看到的物体都是比较的，小到一定的程度，它就无能为力了。谁有本事看到指甲垢中的细菌、病毒呢？谁又有本事瞧见河水中的微生物？千百年来，人类对周围的微观世界真可说是“视而不见”。

确切地说，“放大镜”的科学名称应该叫“凸透镜”，它是一块有一个面或两个面凸起呈弧形的透明玻璃片。古希腊人和中世纪的阿拉伯人都知道，用这种放大镜可以看清楚物体的细节处，用它还可以通过聚焦太阳光而取火呢，因此，他们又称它为“取火镜”。

当然，仅仅能将物体放大一点还不算希罕，要是能把平时用肉眼看不见的物体放大到看得见了，才真正有意思呢！这种有“显微”作用的“显微镜”最早出现在荷兰。那里的人们很早就开始磨制玻璃和宝石了，这种专门技术经过几个世纪的流传，到16世纪已经相当成熟了。

1590年，在荷兰的米德尔堡，有一个眼镜制造商名叫扎哈里耶斯·詹森。詹森和他的妻子在米德堡开设了一家遐迩闻名的眼镜制造工场，由于詹森磨制镜片的技术精湛，待人和气热情，因此，很受顾客的欢迎。

在詹森的工作室兼营业室的架子上，陈列着他精心制作的各种杰作：有镶嵌绿宝石的眼镜架，有雕刻着花纹的眼镜，当然更多的还是大小、厚薄、形形色色的眼镜镜片。每一件杰作制造出来以后，都少不了他的妻子对它们作一番“评头论足”，严厉的妻子常常使詹森感到十分难堪。

一天晚上，詹森又像往常那样在工作台上摆满了家什，他的妻子则在厨房内忙着准备美味的晚餐。

詹森这天兴致所至，做了2个圆筒，一个圆筒的一端嵌着一块双凸透镜，另一个圆筒的一端嵌着一块双凹透镜。他手拿着这2个圆筒左右比试着，突然，他发现从双凹透镜前看自己放在双凸透镜一端的手指好像粗了很多。他又去捉了一只小甲虫放在下面观察：小甲虫确实变大了！

“亲爱的，快来看啊！”詹森兴奋地向厨房大声叫嚷，“我又制造了一件宝贝。”

妻子干完了手中的活，系着围裙走进了詹森的工作室。

“什么宝贝呀？让我看看！”她拿过詹森手中的圆筒看了起来。“我以为你发现了什么新大陆呢！原来是这玩意儿，不稀奇！不稀奇！要我说呀，如果能将远处的东西放大，看得清楚，那才叫稀奇呢！近处的东西，即使放大看，也没什么意思，眼睛直接看那个小甲虫，不也看得清清楚楚吗？”

詹森觉得妻子的话不无道理，“我应该使它看清眼睛看不清的东西，对！这才算稀奇。”经过一段时间的琢磨，他终于造出了能够看清很小物体的显微镜。今天，米德尔堡科学协会仍然保存着一架镜筒长 18 英寸、直径约 2 英寸的显微镜，据说这就是詹森制造的。

1665 年，30 岁的胡克在化学家波义耳的实验室里当一名助手。工作之余，胡克常常喜欢自己干一点事情，改制显微镜便是他的业余爱好之一。他用他改制的显微镜来观察各种物体的放大形象，同时，也用来测试显微镜的放大效果。

一天晚餐过后，胡克又端出了他的宝贝显微镜，拿出一小片木炭进行观察。接着他又拿出一小片软木塞片放到了显微镜底下。

“咦，这是什么？”胡克发现软木塞片有着其他材料所没有的结构，他仔细地进行了观察。“它看上去全部是多孔多洞的，很像一只蜂窝，但是这些蜂窝并不很深。应该给这些蜂窝起个名字，叫它什么好呢？嗯……对！就叫‘细胞’吧！”

胡克所指的“细胞”其实是那些一度被活的物质所占有过的小格子。从此以后，“细胞”一词就用来描述生命的基本结构单位，并且一直沿用至今。以后，胡克又观察过萝卜、芜菁等其他植物，也观察到了它们所具有的类似的细胞结构。只是胡克对生物学的兴趣不大，因此，很快他就不再对细胞进行深入研究了。不过，胡克对显微镜的改制，使得显微术广为流传开来；他还将他观察到的许多东西汇编成一本书，书名叫作《显微图志》。这本书中有 83 页插图，它记录下了人类最早发现细胞的许多珍贵资料，还记录了胡克观察雪花晶体结构的图形，以及微小的化石生物的结构。

胡克使显微镜从玩具变成了科学仪器，他的作用犹如伽利略将望远镜从对准枝头小鸟到指向茫茫星空一样。

几乎与胡克同时期的列文虎克，于 1660 年 28 岁时，在德耳夫特谋得了该城郡长总管的职务。列文虎克虽然跻身政界，身居要职，但他仍保留着自己从小培养起来的嗜好——磨制镜片。列文虎克研制的显微镜结构十分简单，严格地说它只是一种放大镜。他研制的显微镜的特点是将一个凸透镜装在一块铜板上，再用一个凹镜使光聚焦在所要观察的物体上。

列文虎克磨制了 400 多块镜片，许多镜片面积很小，有的甚至比针尖大不了多少。列文虎克通常将磨制好的镜片夹在两层钻有小孔的铜片之间，然后将铜片铆在一起，在铜片上还有微调器可以调节焦距。列文虎克就是使用这种自制的显微镜于 1674 年开始观察微生物和原生动物的。

第 2 年，列文虎克通过显微镜首先发现了原生动物，轮虫、滴虫、细菌等，它们的长度虽然很小很小，但是，它们确实是活的，是有生命力的东西。

以后，列文虎克又发现了其他许多东西。

他将牙齿缝中积留的牙垢取下来，用水稀释以后，首次看到了微生物；他将蝌蚪的尾巴放在显微镜下，观察到了 50 多处微细血管中的血液回

流，证明了动脉和静脉实际上是一根连续的血管；

他将雨水和泥水取来，也在其中发现了微小的“动物”，这些小“动物”还能沾在漂浮于空气中的尘埃上随风飘扬呢；

列文虎克的这些发现，在生物学史上开辟了一个崭新的研究领域，他成了在显微镜下观察到微生物和原生动物的第一个人。

以后，列文虎克的大部分显微镜按照他的遗愿都赠给了英国皇家学会，至今，这些珍贵的仪器仍然保存在博物馆中。

到了 19 世纪 20 年代，科学家们终于研制成功了消色差显微镜，为观察细胞提供了有力的工具。1938 年，德国植物学家施莱登发现了植物细胞；第二年，德国动物学家施旺发现了动物细胞。这当然都是在显微镜下才取得成功的。在此基础上，一门新科学——细胞科学建立了。

上面我们说的显微镜都属于光学显微镜，它通常是由用玻璃磨成的透镜组合在一起使物体放大的。第一块透镜产生物体的放大像，再用第二块透镜来观察这个放大的像。但是，光学显微镜并不能无限地放大物体，尽管人们在它发明之后的 300 年中作了种种努力——透镜越磨越光，设备越制越精。但是，遗憾的是，光学显微镜的有效放大率始终没有突破 2000 倍这个极限！

早在 19 世纪末，德国一位名叫阿贝的光学家就认为，光学显微镜的分辨本领大约是使用光线波长的一半。既然光线的波长可以影响分辨本领，那么如果使用波长短的光线来作光源，不就可以把显微镜的分辨本领提高一些了吗？分辨本领高了，放大倍数自然也就提高了嘛！当时，科学家已经知道紫外线、X 射线、 γ 线的波长要比光波短。经过多年的努力，在 20 世纪初出现了紫外线显微镜，后来又出现了 X 射线显微镜，但是并没有人马上联想到要制造电子显微镜。

1924 年，法国科学家德·布洛依证明了任何一种粒子，当它们在快速运动时，必定都伴有电磁辐射，辐射波的波长与粒子的质量及粒子运动的速度成反比。这真是一个好消息：如果能用高速运动的电子来作光源而发明出一台电子显微镜的话，那该是多么振奋人心啊！可惜，德·布洛依的证明并没有引起人们的重视。

那时，许多科学家都在从事高压阴极射线示波器的研究。1924 年，一个名叫加柏的科学家在德国柏林进行这项研究时，无意间制造出了一种短焦距、有会聚能力的线圈，然而，加柏不能解释为什么这种线圈具有会聚作用，也不知道这样的线圈有什么用处。

2 年以后，又一位德国科学家布施发现，加柏制造的线圈对电子可以起透镜的作用。他发现高速运动的电子在电磁场的作用下会发生折射，并且能被聚焦，就如同普通的可见光通过透镜被折射聚集一样。然而，这个重要的发现同样没有及时应用到制造电子显微镜方面来。

德·布洛依和布施的两个发现，为电子显微镜的发明指出了方向，但是，

谁是幸运的发明者呢？

布施的发现引起了许多人的兴趣。柏林技术大学于1928年成立了一个专门研究小组来研究高压阴极射线示波器。这个小组由一些大学生和研究生组成，为首的是克诺尔，其中刚从大学毕业不久的24岁的鲁斯卡专门负责有关电子光学部分的工作，他的第一件工作就是系统地研究磁场的光学行为。

经过鲁斯卡的努力，他发现经过电子光学放大12倍后得到的钨格的像和用玻璃透镜得到的同样放大倍数的像没有什么区别，这个结果使年轻的鲁斯卡感到十分兴奋，他决心把工作深入下去，并且作为计划报告提交给技术大学的学部，从而奠定了把磁透镜进一步发展为电子显微镜的基础。

1931年4月7日星期二，虽然这一天阴雨蒙蒙，但是对鲁斯卡来说，却是终生难忘的。

早晨，与往常一样，吃过早餐，喝了一杯咖啡，鲁斯卡便走进了自己已经工作了三四年的实验室。这一天，他将做一个实验：将2个磁透镜组成的电子光学光具座，对铂金网格进行二级放大。原来他认为这个实验不会很顺利，但是事实却使他大为惊讶：他成功地放大了17倍。

“哇！这真想不到，磁透镜竟然和光学透镜一样，不仅对光束具有折射聚焦作用，而且经过组合还有放大作用呢！”从这一天起，鲁斯卡便献身于电子显微镜的研制工作了。

鲁斯卡的成功仅仅是初步的，还存在很多困难需要解决，例如在电压很高的情况下，生物样品一放入镜体内就会受到高强度电子束的照射，从而造成严重的辐射损伤，使得图像很难被真实地记录下来。

在这种情况下，克诺尔打退堂鼓，转而去研究电视了，而鲁斯卡仍然坚持着，他把所有的时间和精力都贡献给了电子显微镜的研制工作。到1933年底，功夫不负有心人，鲁斯卡终于建成了一台真正的电子显微镜，它的最高放大倍数达到12000倍，为光学显微镜的6倍。而且，鲁斯卡想了个巧妙的办法来解决辐射损伤难题：他在镜内装了一个旋转台，一次可装好几个样品，当一个样品被电子束毁坏时，另一个样品很快就可取而代之。

虽然鲁斯卡费尽了心血，却得不到各方面的支持，他不得已也忍痛割爱，转而和老同事克诺尔一起研制电视去了。

就在电子显微镜研制工作濒临中断的时候，马顿在布鲁塞尔挽救了这个令人丧气的局面。1933年底以前，马顿构造成功了第一台磁式电子显微镜，利用这台仪器他真实地观察了一些生物样品，并且首次拍摄到某种植物根的厚切片的电子图像，这在当时来说，真是一个了不起的成就！在此基础上，马顿又成功地制造了第二台电子显微镜，他用这台显微镜观察了各种各样的生物材料，并且用事实证明：电子显微镜是可能具有实用价值的！

自从1933年鲁斯卡转到电视研究以后，许多国家都开展了电子显微镜的研制工作。英国也是其中之一。

1936年前后，英国科学家马丁说服了英国皇家学会，花了一笔经费制成

了一台光学电子显微镜，马丁在这台仪器上全面比较了光学显微镜和电子显微镜的性能。尽管马丁制成的电子显微镜操作起来相当不便，而且又确实存在样品的辐射损伤，再加上在电子显微镜和光学显微镜之间需要有移动样品的机械装置，使得它的设计更加复杂，然而得到的实验结果却清楚地表明：电子显微镜是有实用价值的，可以进行大批量生产。可惜当时正临近第二次世界大战，许多公司都要生产雷达，所以电子显微镜的商品生产就被搁置一旁了。

在这一时期内，鲁斯卡也始终期望着能早一天制造出一台真正实用的电子显微镜，可以供任何一个实验室使用。在马顿等人工作的激励下，人们对电子显微镜的前途已耳濡目染，所以鲁斯卡重新又得到了财政上的支持，他便立即着手电子显微镜的研制工作，重点放在改进仪器的设计和简便操作性能方面。

当鲁斯卡正要开始工作时，他还幸运地得到了他的兄弟赫尔穆特的大力协助。赫尔穆特是个医生，在医学界小有名气，生活富裕舒适，但他毅然放弃了这一切，决心和鲁斯卡一起把电子显微镜试用到医学上，以解决光学显微镜不能解决的疑难问题。经过几年的艰苦努力，鲁斯卡终于在 1938 年研制成功了世界上第一台真正实用的透射电子显微镜。次年，德国的西门子—哈尔司克公司以这台电子显微镜为样机，生产了世界上第一批商品电子显微镜，有 40 台左右，并在二次大战后运往其他国家。

到这时为止，电子显微镜便正式问世了，人类从光学显微镜时代进入了电子显微镜时代。

从 1938 年至今，电子显微镜大致经过了 4 个发展阶段。第一个阶段从 30 年代到 50 年代初，仪器结构相对简单，只由 1 个聚光镜和 2 个成像透镜组成，操作维修相当复杂，因此应用并不普遍，主要局限在科学水平比较发达的国家；第二个阶段从 50 年代初到 60 年代初，电子显微镜的性能有了很大改进，由 2 个聚光镜和 3 个成像透镜组成，操作维修也比较简单了，很多国家都能够生产制造，使它的应用范围迅速扩大；第三个阶段从 60 年代初到 70 年代初，一方面透射电子显微镜达到了比较完善的程度，另一方面它的种类增多，出现了扫描电子显微镜、超高压电子显微镜、分析电子显微镜等等。电子显微术也如雨后春笋般蓬勃发展，如电子显微图像的光学与计算机处理技术、X 射线显微分析技术等；第四个阶段从 70 年代初至今，仪器本身性能进一步完善，并且能直接观察重金属原子的成像，自动化程度更加提高。并且出现了各种专用电子显微镜，如扫描透射电子显微镜、光学电子显微镜、全息电子显微镜等，电子显微术与物理、化学、数学、生物、计算机科学等更加相互渗透、融合。

电子显微镜成了许多学科中不可缺少的工具。

有了光学显微镜和电子显微镜，当然使人类看到了层层深入的微观世界，但是，离开“看”到原子还相距很远。

1982年，国际商用机器公司苏黎世实验室的科学家宾尼和罗雷尔发明了真空条件下工作的扫描隧道显微镜，使人类第一次“看”到了物质表面的原子排列状态。为此，他们荣获了1986年的诺贝尔物理学奖。

扫描隧道显微镜能将原子图像放大上百亿倍，因此，可以直接观察物质表面的奇妙景色。在微电子、半导体生产工艺中，科学家正是利用这一火眼金睛深入了解半导体材料表面结构及表面粗糙度的。从1984年开始，扫描隧道显微镜就被用于真空、常压大气、室温、低温、蒸馏水、溶液、电解液等环境下研究不同物质的表面结构。

1991年11月，我国科学家运用自行研制的扫描隧道显微镜，观察了用德国重离子加速器实验中心高能带电重金属离子轰击的天然二硫化钼样品，清晰地看到了正常原子与辐射损伤坑共存的表面原子形貌图，这在世界上还是首次。1993年8月，第8届扫描隧道显微学国际年会在我国北京召开，它给我们带来了有关微观世界的更多信息。

工程仪器设备

齿轮的起源

齿轮的起源可追溯到公元前二三世纪的古埃及的托勒密王朝。那时，端面齿轮或伞形齿轮通常用来驱动一个像“灯笼”一样的极粗糙的小齿轮组件；小齿轮组件是用板条笼或栅笼连接起来的两个简单的轮圈，轮圈的两端被齿轮松松地咬住。在欧洲、亚洲和非洲，有齿轮的提水装置到处采用，而且在许多世纪内，不少村庄都只有一套齿轮。但大约在公元前1世纪，有人看出，可以用齿轮把卧式水磨同垂直提水的水车（两项较晚的发明）结合起来；维脱劳维斯在描述用垂直水轮、端面齿轮和“灯笼”驱动水磨时，最先向我们介绍了齿轮。这种水磨的推广比卧式的缓慢，但中世纪初期，至少在欧洲的低地国家和穆斯林世界的某些人口稠密地区，它却是磨面粉的普通方法。

蜗轮蜗杆，也就是中古和文艺复兴时期的工程师所说的螺杆，可能是阿基米德本人的发明，曾应用在几种工具中，但只有像亚历山大城的赫伦那样特别熟练的技术人材才有把握制造出一根合适的螺杆来。在这些小型的科学仪器中，齿轮是金属的。希腊—罗马时代遗留下来一组独特的黄铜齿轮，这组齿轮是从遇难的“安蒂西塞拉”号船上打捞起来的一台小计算器上发现的。金属齿轮一直用在某些天文仪器上，等到机械钟表问世后才得到普及。是那些钟表匠人首先寻求提高齿轮的效率，他们创造了一种跟钻齿的齿轮不同的齿轮。达·芬奇花了很长时间研究出齿轮传动比和理想的齿形。据说，16世纪的一位后继人屠里安诺制造了一台轮齿切割机，用来为皇帝查理五世建造巨型天象仪制作齿轮。但是，大规模生产精密轮齿的理论和机床则是在100年后出现的：英国王政复辟时期才开始普遍使用轮齿切割机，稍后，法国的

罗梅尔和拉伊尔又对轮齿切割进行了数学分析。

弹簧的历史

大多数材料都有不同程度的弹性，如果将其弯曲，便会以很大的力量恢复其原形。在人类历史上，一定很早就注意到树苗和幼树的树枝有很大的挠性，因为许多原始文化利用这一特性，在特制的门后或笼子后楔上一根棍，或者用活结套在一根杆上向下拉；一旦松开张力，这根棍或杆就会往回弹。他们就用这种办法来捕捉飞禽走兽。实际上，弓就是按这种方式利用幼树弹性的弹簧；先向后拉弓，然后撒手，让其回弹。中世纪时，这种想法开始出现在机械上，如纺织机、车床、钻机、磨面机和锯。操作者用手或脚踏板给出下压冲程，将工作机械往下拉，这时用绳索固定在机械上的一根杆弹回，产生往复运动。

弹性材料的抗扭性不压于它的抗挠性。希腊帝国时期（大概是公元前4世纪）发明了用搓成的腱绳或毛绳拉紧的扭簧，用以代替简单的弹簧来加强石弩和抛石机的威力。这时人们开始认识到，金属比木头、角质或任何这类有机物质的弹性更大。菲洛（其写作年代约为公元前200年）把它作为一项新发现来进行介绍。他估计读者是难以置信的。凯尔特人和西班牙人的剑的弹性，引起了他的亚历山大城的前辈的注意。为了弄清楚剑为什么有弹性，他们进行了许多实验。结果他的师傅克特西比发明了抛石机，抛石机的弹簧是用弯曲的青铜板作成的——实际上是最早的片簧；菲洛本人又进一步改进了这些抛石机。富有创造性的克特西比在发明这种抛石机后，又想出了另一种抛石机——它利用汽缸内空气在受压的情况下产生的弹性工作。

在很久以后人们才想到：如果压缩一根螺旋杆，而不是弯曲一根直杆，那末金属弹簧储存的能量就会更大。据伯鲁涅列斯基的小传记载，他制作过一口闹钟，其中使用了若干代弹簧。最近有人指出，在附有一些奇特的螺旋弹簧钟表图的15世纪末叶的一本机械手册中有这架闹钟的图样。这类弹簧也用于现代的捕鼠器。带圈簧（水平压缩而不是垂直压缩的弹簧）的钟表，在1460年左右肯定已开始使用了，但基本上是皇室的奢侈品，大约又过了1个世纪，带弹簧的钟表才成为中产阶级人士的标志。

控制流动方向的阀门

由于阀门只让水或其他流体（如空气）沿一个方向流动，几乎可以肯定地说，它最先是作为需要这种运动的早期工具——风箱的一个部件出现的。阿格里科拉在研究文艺复兴时期的冶金学的文章中说，锻铁炉风箱有一个比风眼稍长和稍宽的薄板，“薄板上覆盖着山羊皮，是用皮带捆在板上的，毛边一侧冲地面”。放置的方式是：当风箱鼓起来时，薄板打开；当风箱收缩

时，薄板关闭。”瓣阀肯定远比阿格里科拉的时代为早，同楔形板风箱一样古老。但它问世的具体年代却很难确定，因为瓣阀这个术语来自古老的皮袋型风箱（在这种风箱中，操作的人可以用脚或手将风眼堵住）。显然，最早的模型大约是希腊王朝时代的青铜灯，但在罗马后期的诗人奥索尼乌斯之前还没有人提到过青铜灯的阀门。奥索尼乌斯把陆上快咽气的鱼的鳃。比作在掬木腔内往复运动时通过孔眼交替进风和挡风的羊毛阀。

可以说，机械上使用阀门的历史起始于克特西比的压力泵。维脱劳维斯和赫罗对压力泵作了详细的说明，他们说：“灵巧地安在管道口内的环形薄片，不会让压入容器的东西再往回跑。”看来克特西比压力泵的原始瓣阀呈长筒形，那时已用来搞屋顶通风。后来改用矩形阀，但名称仍保持不变。已经修复了几台罗马压力泵，其阀门已严重腐蚀，但还是可以辨认出来。赫伦在讲到用双气缸压力泵作灭火器时，还介绍了一种原始的跳动活门，一些在三根弯柱上滑上滑下的小圆盘。克特西比的水力机件有用来控制空气进入管道的滑阀。除此以外，在文艺复兴时期前，所有的泵和风箱阀都是瓣阀（或铰形阀）。

达·芬奇发明的一种锥形跳动舌门，无疑是拉梅利的机械发明手册（1588）中所画的那些舌门的来源。跟拉梅利同时代的阿勒奥蒂，在自动木偶戏中采用了一种蝴蝶阀来控制管道内的水流。但是，从赫伦的时代直到发明蒸汽机，这些跳动舌门没有一种得到广泛应用，各种阀门也没有什么变化。蒸汽机（需要对流入和流出顺序进行更精确的控制）导致了跟发动机的运转有关的精密阀门的出现，这些阀门包括纽科门设计的释放积蓄在气缸中的空气的“喷气阀”、默多克的滑阀（1799）和使双动发动机的活塞保持平衡的平衡阀。

蒸汽机上的曲轴

9世纪的一首赞美诗曾讲到西方用曲柄跟曲柄销和曲柄臂连成一体来转动磨石的事。此后500年内，曲轴只偶尔见于图例。在公元1400年之后不久，至少在低地国家的带旋转升降机、罐笼，甚至测试仪表等插图的手稿中似乎都突然出现了曲轴。组合曲轴在同一时代问世，最初为拉杆式，是一种简单的手持工具。但是，在拉杆曲轴首次出现后几年内，有人就想到转动拉杆的曲柄臂可以用连杆代替，在手磨机中，连杆仅仅是人的手臂的延伸，但是，连接机构可以反向运动，通过旋转曲柄驱动连杆来操纵一台泵，如同公元1431年的一部手稿中所描绘的那样。于是，曲轴诞生了。15世纪和16世纪普遍采用曲柄来驱动风箱和大型锯机，它们是需要双向控制的仅有的两种机器。虽然偶尔也在泵中采用曲轴，但已经设计出双拐甚至四拐曲轴，并且很可能已经到处安装使用。然而，在很长时间内，人们并不真正欢迎曲轴，因为只要重型机器都是木制的，曲轴就不易制成整体，就会使连接处受到很大

的应力。

不管怎样，在铸铁时代以前，曲轴并未获得应有的信誉。公元 1780 年，瓦特发觉自己受到一项专利的限制，不能利用曲轴将他的蒸汽机的往复运动转变为旋转运动——旧式运动路线的倒转。虽然他很气愤，但却从中受到了启发，设计出了达到同一目的的恒星与行星齿轮。但是随着专利的过时，曲轴变成了进行这种作业的标准设备。如果使用两个或多个汽缸，或必须从两侧提供动力（例如向汽船的桨轮上提供动力），那么，曲轴就是一个解决办法。在尔后的蒸汽时代，曲轴被用在 20 世纪所有的活塞发动机上，无论哪一种燃料都可以驱动。

螺钉和改锥的来历

木螺丝（在美国有时称为螺钉）是比较近代的東西。但是，在 16 世纪，军械工人和军械士已经使用一种带凸片的小型工具——最初的“螺丝起子”——来调节他们的步枪机构了。步枪机构用铁钉钉在枪托上。有人发现，在铁钉上加螺纹，会固定得更牢。像所有其他铁钉一样，它们都是被敲进去的，取出来很困难。唯一的解决办法，是在将铁钉敲入之前，在其头部切出沟槽。这样，利用“螺丝起子”就可以将它们取出。于是，螺丝起子就成了最早的螺丝钳子或拧松器。费利比安的 1676 年的改锥就是这种类型。

由于螺钉是手工制造的，造价自然昂贵，只用在特殊的工件上。然而，到 18 世纪末，一些不知名的天才（可能是在英国伯明翰）发现了一种更好的制造方法，不过仍然是用机器制造平端螺钉。这使得螺钉的造价低廉，能普遍地用于固定铰链、门、家具等。但是，细纹螺钉的作用由于敲击而减低，需要用有较长凸片的工具将其拧进去。大约在公元 1780 年，伦敦装配工具的制造厂商引进了有较长凸片的改锥，这种改锥的商标至今还称为“伦敦牌”。大约在公元 1840 年，内特尔福德改进了木螺钉，将其制成带尖的。改锥从此一直向前发展。

空气泵

德国马德堡市市长盖里克对科学家和哲学家关于形成真空的可能性的争论很感兴趣。作为一个受过专门教育的工程师，他决定通过实验来解决这个问题。公元 1650 年，他制造出了第一台空气泵——像一台手工操作的水泵，但有制造精密的零件，不透气。这台空气泵是成功的。他指出，在一个抽尽了空气的容器内，听不到钟响，蜡烛不燃烧，动物也会闷死。

他的大规模的演示是十分壮观的。有一次实验是当着皇帝斐迪南三世的面在其宫廷前面的空旷处进行的。在这个实验中，在直径 12 英尺的两个半球的周边凸缘上涂上润滑脂，将两个半球的凸缘嵌合，然后将球内空气抽尽。

将 8 匹马分成两组拉拴在每个半球上的钢索也未能将其分开，可是放进空气后，它们就分开了。在公元 1654 年的另一次实验，是将一个立式开口圆筒活塞下面抽成真空，用 50 人拉拴在活塞上的绳子，他们反而被活塞拉动了。人们就是用这种方法来使活塞做功的；活塞的下面必须始终有一个真空。

但是，没有空气泵能形成真空吗？经过许多年之后，人们发现用蒸汽可以解决这个问题。公元 1698 年，托马斯·萨弗里第一个利用蒸汽排水，使蒸汽通入密闭容器，然后在容器上喷冷水，使其中的蒸汽冷凝，从而产生真空。他利用这种真空从矿井抽水，又利用锅炉蒸汽将容器中的水排空。这个循环过程反复进行。

萨弗里的设备被称为“矿工之友”。它没有任何活塞或活动零件，也不是一台发动机，而只是一台泵而已。

在此以前的 1690 年，法国的丹尼斯·帕平已经制造出了一个模型设备，一个直径 2.5 英寸的活塞刚好能放进汽缸里。在汽缸内盛少量的水，他就能通过连续地将水加热和冷却的办法，证明汽缸冷却时在活塞下面形成真空。虽然这种设备没有得到实际应用，但却是第一台利用冷凝蒸汽推动活塞和做功的设备。

公元 1712 年，将居里克、帕平和萨弗里的上述 3 项成就结合在一起，达特默思的托马斯·纽科门制成了一台实用的蒸汽机。

胡克发明了万向节

公元 1676 年，被誉为“英国的达·芬奇”的罗伯特·胡克发表了他关于“太阳镜”的演说。这是一台采用反射镜系统安全地观测太阳的仪器。这台仪器是用他新奇的万向节进行操纵的。万向节是一种万能仪器……用来通过任何不规则的弯曲轨道产生环形运动。虽然胡克比较详细地讲过这种新仪器的制造方法，并且含糊地指出，这种仪器可能在各方面获得应用，但他自己只想用它来进行天文观测，或用在时钟和日规的设计中，故在当时没有引起多少人注意。

胡克是个才华横溢的人，他在系统提出物理学、化学和地质学方面的革命性理论之余，在伦敦咖啡馆内同思想相近的朋友们无休止地讨论之余，抽空儿搞了二十几项发明。他的日记通常略为提及某些新设想是如何在他的高度活跃的头脑中逐步酝酿成形的。英国皇家学会会议记录，记载了那些使他最新的发现得以驰名的实验。

但是，日记并没有讲他在万向节上花费了许多时间；他也不曾想学会演示万向节。就这种机器而言，发明完全属于他个人看来是毋庸置疑的。但是，在动力传输方面，在 19 世纪的运输革命之前，和许多其他的发明一样，并不需要一个具有向各个方向传动的自由接头。

瓦拉发明了调速器

瓦特在 1789 年发明的蒸汽机中使用的离心调速器，在当时引起的轰动不是太大；瓦特重视动力系统，只把调速器看成是蒸汽机上的一个附件。然而它是第一台通过改变燃料输入量而有效地控制速度的装置，是使一台机器能进行自动调节的一切反馈装置的鼻祖，在发明史上的地位已确定无疑。瓦特的调速器是由一对离心摆组成，最远处与蒸汽机的旋转飞轮相连，直接连在一个套筒上，套筒又与汽缸的进汽阀连接。当飞轮转动较快时，两个球体就向外摆动，使套筒下降；当速度减慢时，球体就随之下垂，迫使套筒上升。汽阀可开大开小，以维持均匀的速度。

瓦特调速器的历史，也许可追溯到中世纪和文艺复兴时期机器上有时用来代替飞轮的球—链装置或球—杆装置。然而这些装置只发挥飞轮的功能，通过贮存能量、使钻床或曲柄产生较有规律的运动来带动工具越过“死点”；它们不能控制速度或功率输入，最多只是对调速器的造型有所启发。直到力学发展了，人们知道了钟摆的性能，懂得了离心力后，才有人想到利用球—杆组合装置来进行控制。

磨坊工人经常碰到的一个问题是无法利用强风力。因为当轴旋转很快时，磨石容易向上移动，扩大两块磨石之间的距离，以至夹在两块磨石当中的谷粒不能完全磨碎。人们靠手将两块磨石拉紧，使它们之间保持适当的距离。直到 1787 年，托马斯·米德才想出一种方法，将两个摆分开挂在驱动磨石的正齿轮上，通过链条和万向节提升和调节拉杆。另一对摆与风车翼板相连，这样就使后者随速度的变化而张合。磨坊工人只要改变翼板承受的风力，就能调节旋转轴的速度。两年后，斯蒂芬·胡珀用齿条和扇形齿轮代替链条，设计了一台可以同它匹敌的机器，取得了专利权。

与此同时，约翰·伦尼在伦敦建的第一个用蒸汽驱动的磨房——“阿尔比恩磨房”。装有和米德调速器一样的调速器。博尔顿在 1788 年 5 月给他的合作者瓦特写信说，“有一种调节顶磨石和底磨石之间的压力或距离的装置。用这种调节装置，蒸汽机运转得越快，上下磨石就越密合……当蒸汽机停止运转时，顶磨石就升起……这是由于两个铅镇重的离心力所致。全速运转时，铅镇重水平上升；运转减慢时，铅镇重就下落。它们通过这种方式对杠杆产生作用。”这一定是瓦特的妙想，因为虽然这种调速器最初是用在磨石上，而不是用在蒸汽机上，但在 1788 年底，瓦特就按后一种用途将它进行改装了。由于他知道自己不能声称发现了这个基本原理，因而没有想申请专利权。他先于竞争对手对调速器采取保密措施。

流珠轴承

看来很可能是意大利文艺复兴时期的雕刻家和金匠的塞利尼（1500～

1571年)，首先看出一圈自由旋转的滚珠可能减少两个转动体之间的摩擦力。1543年，他在自传中写道：“我已作成了一尊美丽的朱庇特雕像，将它放在一个木制底座上。我在底座内安了4个小木球，木球的一大半埋在球窝内。整个设计十分巧妙，一个幼小的孩子也能轻而易举地使其前后移动和转身。

但是松动地安在滚道里的进行滚动接触的滚珠轴承，直到18世纪最后25年才开始用在风车上。最先用滚珠轴承的风车是柱式风车（约1780年），机器的整个结构围绕中心柱旋转。1794年，威尔士卡马森的一个叫菲利普·沃恩的铁器制造商用经向滚珠轴承作为四轮马车的车轴轴承，并为此申请了专利权。从那时起到19世纪，特别是在19世纪的50年代和60年代，人们将滚珠轴承用在儿童玩的旋转木马、螺旋桨轴、军舰上的机枪转塔、扶手椅和自行车等器械的轴上，并取得了若干专利权。但是，直到有动力装置的车辆出现以后，金属部件因快速行驶而发生大量的磨损时，这项发明才开始得到充分利用。因此，在汽车和能大批生产的精密的球磨机出现以前，滚珠轴承并没有真正起到像今天这样重大的作用。

传动链条

1864年，斯莱特获得了一种传动链条的专利，这种传动链条可以看作研制一种能驱动自行车和其他机械的精密链条的第一步。他在索尔福德一个工厂制造纺织机械链条。后来这家工厂被瑞士人雷诺德买去。雷诺德又于1880年获得套筒链的专利。把套筒装在这种链上，比斯莱特的设计能提供大得多的承载表面。

人们所知的最早的传动链的设计图是达·芬奇画的，然而不知道他画的传动链是否真的制造出来了。我们从拉梅利的《不同的人工机械》一书上，可以看到公元1588年的一种抽水机的插图，这种抽水机就是利用链传动。图上的链有一个方形的链环，与木轮上凸出的齿相配，每一个方形链环都通过3个椭圆形的链环与下一个方形链环连接。

因为适合做传动链的金属又稀有又昂贵，又缺乏良好的制作工具，所以传动链未能广泛使用。然而到19世纪初期，由于工业革命的缘故，传动链获得了较为广泛的应用。

后轮用链传动的最早的法国自行车是吉尔梅设计的，由梅耶和吉埃于1868年制造出来。虽然传动链已经使用了一段时间，但主要是用于纺织机械，自行车链条仍然相当差劲。后来，一个叫朱赞的法国人于1885年研制成功了所谓的“现代自行车”，它的两个轮子一般大，后轮用链传动。英国人斯塔利于1885年制造出了称为“安全漫游者”的自行车。这种自行车有新的改进，但后轮仍用传动链传动。于是考文垂成了自行车的中心，开始了现代自行车的时代。后来人们又把链传动原理用于摩托车和汽车。现在，精确的

传动链已经成为工业机械的最重要的零件之一。

抓斗大王

几十年来，工人们全靠人工使用 28 毫米粗的钢丝绳在船舱内捆扎原木，然后再用吊车吊起。年复一年，谁也没有想到这有什么不妥。然而有一天，有一个人却着意要改变这种落后的状况。他就是包起帆，人称“抓斗大王”。说起他发明的抓斗，还要从血淋淋的事故说起。

1968 年，17 岁的包起帆初中毕业，一场“文化大革命”断送了他学文化、升高中的梦想。他不得不到上海港木材装卸公司报到，当了一名装卸工。从此，包起帆便和木头、吊车打起了交道。夏天，船舱里闷热难耐，他和工人们也要在里面搬运木头；冬天，木头上都结了薄薄一层冰，他们也必须按时完成装卸任务。在这样的工作条件下，稍不留神，就会祸从天降——那些又重又粗的原木就像一只只“木老虎”，随时有可能挣脱钢丝绳的束缚，从高高的吊车上滑落下来，一旦砸在工人们的身上，其后果真是不堪设想。

包起帆就曾亲眼目睹过这样的惨状。

有一天，包起帆和一位同事正在船舱内工作，只见吊车吊起的大木头在空中打转。突在，险情发生了，一根原木从吊车上滑了下来，压在了这位同事的身上。只听“啊”地一声，这位同事便在包起帆的身边倒了下去，鲜红的血液从嘴里吐出。经过医生的检查，砸下的原木压断了这位同事 10 多根肋骨。

这种事故在包起帆的身边是经常发生的，从他进公司以后，就有 500 多人受重伤或轻伤，10 多人死亡。

同样的事故也在包起帆的身上发生过。那是 1974 年春天的某一天，包起帆正在船舱里拉着钢丝绳捆扎原木，就在他把钢丝绳挂上吊钩的一刹那间，挂钩升起来了，将他的左手大拇指连同手套都拉碎，鲜血直流，手上露出了白白的骨头。伤好了以后，包起帆重新进入船舱装卸原木，不料又被木头砸伤了脚腿。

面对此情此景，包起帆心想：“这种落后的装卸方法劳动强度高，生产效率低，真是一只令人畏惧的‘老虎口’啊！我一定要想点办法，治一治这只‘木老虎’！”

由于伤病在身，包起帆不得不离开自己洒了多年血汗的工作岗位，来到了机修车间当修理工。包起帆就是这样，到哪里都想有所作为。于是，他到新华书店去买了许多书籍——《机械制图》、《车工基础》等，然而，对一个文化水平只有初中二年级的人来说，要读懂读通这一本本厚厚的书，谈何容易啊！包起帆真想有一个重新学习的机会，补上科学文化这一课。

机会终于来了。1978 年，大学恢复了招考，包起帆如愿以偿，考取了上海市第二工业大学。当然，他读的是半脱产的业余大学，4 天脱产学习，2

天工作。

从初中二年级的水平一下要跃到大学，其困难是可想而知。然而，包起帆却知难而进。三角函数、解析几何虽然是第一次碰到，但是人家做10道习题，他就做20道、30道；电学、光学、力学尽管理解起来有困难，但是人家复习1遍，他就复习2遍、3遍……功夫不负有心人，学习上的困难在一点点地克服、一步步地后退，而包起帆却在一天天地进步。

为了补上初中、高中的知识，他特地到书店买来了数理化自学丛书，每天晚上做完功课后就从基础知识补起。包起帆还摸索出一套他自己的学习方法呢，他把厚厚的书本拆成薄薄的几本，揣在口袋里，走到哪里学到哪里，马路边、车站上、汽车里……所有零星的时间都被他利用了起来。就这样，包起帆终于跟上了学习的步伐。

就是在拚命读书的时候，包起帆也没有忘记治服“木老虎”的使命。

平时，包起帆常常在码头边散步，看到别的公司在装卸黄沙、石子时都是用抓斗，一上一下，一张一合，非常自如。于是，他想：黄沙、石头能用抓斗，为什么木头就不能用抓斗呢？对！我得制造一种安全的能抓木头的抓斗。

他利用读书的空闲，又来到自己工作过好几年的船舱调查研究；他还到图书馆、情报所、资料室查数据、找公式；回到家里，他还用硬纸板做成各式各样的抓斗模型……

一次次的试验，一次次的失败，关键都在抓斗的开闭结构：抓木头时，它必须张大口；抓起木头时，它又必须紧闭口，将木头紧紧夹住，不让木头滑脱。

有一天，包起帆将自家的缝纫机零件拆下来，做成了一个小抓斗，再用两根绳子代替起重索，一上一下地来回放松、收紧，嘿！这小玩意儿竟然能够抓起东西了。

经过紧张地画图设计、制造加工，包起帆终于梦想成真。第一只木材抓斗发明成功了！时间是1981年10月，这是包起帆永远难忘的一天，他眼看着自己发明的抓斗轻松地装卸着原木，心中涌起了一股自豪感。

包起帆发明的第一种抓斗叫“双索门机抓斗”，它是用两根起重索使抓斗打开和闭合的。有了这种抓斗，工人们终于从“老虎口”中解放了出来。

这项发明不仅使包起帆获得了国家发明奖，还使他荣获了第16届日内瓦国际发明银奖呢！

大学毕业以后，包起帆调到了公司技术科当技术员，这更使他如鱼得水，几乎每年都有新的发明问世。

1983年10月，包起帆被推选为工会代表，赴京参加全国总工会召开的“十大”。在开幕式上，他忽然发现大会发给每位代表用作记录的圆珠笔的伸缩结构十分灵活，“哎，这个结构能不能用到我的抓斗上去呢？”真所谓“心有灵犀一点通”。正是这枝普普通通的圆珠笔，使包起帆想到可以将“双

索抓斗”改为“单索抓斗”，用一根绳索就可以完成打开、闭合抓斗两个动作了。

晚上，代表们都去看电影了，而包起帆却呆在宿舍里拿着这枝圆珠笔出了神，这枝圆珠笔是怎样的结构呢？一连几个晚上，他都没有得出什么结论。

一回到上海，包起帆就直奔黄浦江西岸的一家圆珠笔厂，向工人请教圆珠笔芯伸缩的奥秘。但是，接待他的人以为他是同行，是来窃取情报的，对他十分冷淡。包起帆仍不死心，去公司开了介绍信，还是不管用。后来，他又几次登门求教，终于感动了圆珠笔厂的接待人员。当他们知道包起帆是为了搞抓斗发明，才希望弄懂圆珠笔芯的伸缩原理，别无他意时，接待人员才把“秘密”告诉了他。

包起帆如获至宝，立刻投入了紧张的发明之中。他和工人们在试验现场连续工作了3天3夜，连春节也是在码头上度过的。就这样，“单索抓斗”诞生了！只见两对平行的爪子，插进原木堆里，原木就顺势滚到抓斗里，起吊轻轻启动单索抓斗，被夹得紧紧的原木，立刻就成捆成捆地从船舱里抓了上来。

一种新的抓斗终于在包起帆的刻苦钻研下诞生了。

传送带

现代工业的大规模生产主要依靠传送带。

亨利·福特设计了第一条大型“装配线”，用来大规模地生产著名的T型福特牌汽车（这种车是1908年开始生产的）。在大多数欧洲汽车还用手工制造时，专门为大规模生产安装的传送带是福特新建的汽车厂的“心脏”。它有1/5英里长，然而这种想法却是基于可替换的部件。可替换的部件可追溯到工业革命的初期。

1789年，美国教师惠特尼（轧花机的发明者）跟政府订了一项合同：在15个月内向政府交10000支滑膛枪。如果采取传统的方法，让造枪工人从头到尾一支枪一支枪地造，在15个月内要造这么多的枪是不可设想的。因此惠特尼想出了一个新主意，把造枪的工作化整为零，每一个工人都用一种连续的操作生产一种部件，而所有的部件都必须制造得很精确，能够互相替换。

在那时，它是一种完全新的系统，需要新的工具。为此，惠特尼设计了使工人便于使用锉刀的夹具，在适当的地方可钻多达12个孔的型板，使生产的工件不至于太长或太短的固定在车床上的机械止动器，用来铸造各种部件的铸模。惠特尼带了若干个袋子，每个袋子里装着10个同样的部件，到费城的财政局去，叫财政局的官员在每一个袋子里任意拿出一个部件来。他用这些部件当着这些官员的面装成了一支完整的枪。惠特尼证明这种系统是非常有效的。比能“很好地装配”更令人惊异的事情是，他用事实证明不用熟练的军械工人制造的部件，而是用半熟练的机械工人制造的部件，也能在很短

的时间内装配起来。

对福特有帮助的另一个重要因素是皮带运输机的发展，这种机器在整个19世纪都在发展，主要是用来在港口运输大宗货物。利物浦在1868年安装了第一台大型的粮食传送机。而福特则用他的装配线把正在装配的汽车连续不断地从一个工人传给另一个工人。每一个有工具和部件的工人，必须在给定的时间内干完一件工作。工人不断地干活儿，工件不停地传送。

电学仪器设备

电流计的发明

1780年的一天，当伽伐尼（意大利波伦亚的一位医学教授）在自己的家里给学生们讲课的时候，他的妻子正在隔壁的厨房里用他的解剖刀来剥青蛙皮。她一边干活儿，一边听丈夫讲课，不觉听得出神了，手术刀从手里滑落到了放在锌板上的青蛙的腿上。青蛙突然急促地抽动起来，吓得西格萝娜·伽伐尼一声惊叫。伽伐尼教授急忙跑进厨房，看发生了什么事。经过一番研究之后，他立即向学生们宣布：“我有一个伟大的发现，发现了动物电——生命的本源！”

然而他并没有作出什么伟大的发现。他终生都坚持这种错误的看法，用死青蛙作了无数的实验，当然，什么也没有证实。然而这却使他的声名传遍了欧洲，使他的名字永远跟“电镀”、“验电器”和“电流计”这些术语联在一起了。帕维亚的伏打——一个比伽伐尼更伟大的科学家——正确地解释了这种神秘的现象。伏打说：“抽动的青蛙并没有证明什么‘生命的本源’，只起了电的导体的作用；解剖刀是钢制的，板是锌制的——这倒是更重要的因素。伏打指出，用一个潮湿的导体把两种不同的金属隔开时便会有电流流动。青蛙大腿的抽动只表明有电流存在。伏打在这个发现的基础上发明了第一个电池——伏打电堆。然而伏打电堆产生的电却被荒谬地称为“伽伐尼电”。

那是1800年的事情，从那以后，科学家们就有了一种供做实验用的有效电源。长期以来，他们一直怀疑电与磁之间存在着某种关系。1819年，丹麦物理学家奥斯特偶然发现，把一根有电流通过的铁丝拿近航海罗盘时，罗盘的指针会猛烈摇摆。由电流产生的这种磁效应，成了一种用来测量低压电流的仪器（电流计）的基本原理。

19世纪20年代，电流计被各种研究人员发展成了各种各样的形式，并为德国格廷根天文台台长高斯首先用来派上实际用场。1832年，他发明了最初的电报（虽然法国科学家安培在此之前已提出了这种想法）。高斯利用靠近电流的磁针会偏转的现象，通过一根铁丝把信号从家里输送到天文台。这种电流计称为动磁式电流计。然而现在应用得最广泛的却是动圈式电流计或

镜式电流计。它由一个用细金属丝紧密地绕成的一个线圈组成，线圈悬于一个磁场中。当电流接通时，施于线圈上的“转矩”为悬置导丝的“扭力”所平衡，偏转角的测量由装在线圈上的一面镜子的方位、一盏小灯和能读出电流单位（安培数）的表来进行。

1866年在欧洲和美洲之间敷设第一条激动人心的永久性电报电缆时（在1858年曾敷设过一次，但是失败了），镜式电流计起了决定性的作用。杰出的英国科学家汤姆孙教授——后来称为开耳芬勋爵——在敷设电缆的船“伟大的东方号”上利用电流计来不断地检测流经电缆的电流（如果有电流的话）的大小。横跨大西洋的海底电缆有2500英里长，从电报信号转变成的电流，从大西洋的彼岸传到岸上时，当然已经是非常微弱了，因此，汤姆孙设计的是最灵敏的电流计。他使用的记录器叫“虹吸记录器”，包括一根极细的玻璃虹吸管，黑水由于毛细作用可在管内流动，把到达的信号记录在纸带上。拾取信号的电流计本身由一个用极细的金属丝绕成的线圈组成，线圈悬置于一个马蹄形磁铁的两个磁极之间。没有汤姆孙的虹吸记录器，要在这两个大陆之间保持可靠的电报服务，而且保持了这许多年，简直是不可能的。

蛙腿的启示

意大利波洛尼亚大学解剖学教授伽伐尼有一个设备完善的实验室。室内有许多标本、解剖用具；还有像起电机、莱顿瓶等电器设备。伽伐尼早年学习神学，后来学医，成为人体、疾病和治疗方面的权威学者。

1786年的一天，伽伐尼指导学生解剖。有一位调皮的学生没有认真地做实验，反倒对旁边的起电机发生了兴趣，他趁教授不注意的时候摇起了起电机，突然啪的一声起电机和盛蛙腿的铜盘打出一个大火花，把这个学生吓了一跳。伽伐尼和同学们都转过身来，但是此时一个更奇怪的现象引起了大家的注意，摆在金属盘里的蛙腿随着电击抽动了一下，教授的眼睛瞪大了，他顾不上批评这位淘气的学生，而让他从新摇动起电机，全体同学都注视着那个蛙腿，啪的一声铜盘上又打出一个大火花，蛙腿随着电击又抽动了一下，学生们你看我、我看你地议论纷纷。

伽伐尼走过来，用解剖刀的刀尖翻动一下蛙腿打算探个究竟，此时蛙腿像活了一样忽然又跳动了一下，这可又使伽伐尼大吃一惊，他用颤抖的手又触动一下蛙腿，果然又引起蛙腿肌肉的抽搐。实验课再也不能正常地进行下去了，同学们都回到自己的桌子上用解剖刀去触动蛙腿希望能看到同样的现象，不过有的学生能使蛙腿抽动。有的则不能，课堂里像开了锅一样，同学们在实验室里跑来跑去，伽伐尼也顾不上去管学生，只是满腹疑惑地用解剖刀去触动蛙腿，直到下课铃声响。

尽管伽伐尼不明白其中的道理，但是他像一切科学家一样不放过任何偶然现象。他花费了11年的工夫去研究这件事。

有一天，伽伐尼用铜丝勾住蛙腿把一些蛙腿挂到阳台的铁栏杆上去晾干，一阵微风吹来，蛙腿在栏杆上荡来荡去，伽伐尼发现蛙腿每次碰到铁栏杆时都要抽搐一下，这个偶然事件又引起他的思考。他目不转睛地注视着这个怪现象。忽然产生了一个念头：蛙腿的电是来自大气中和生物体中，但是这是一个错误的结论。

有一个最不肯接受“生物电”的人就是伽伐尼的同胞意大利帕维亚大学的物理学权威伏打，伏打的性格比较内向，幼年时是一个十分安静的孩子，他4岁才会说话，家里人曾认为他智力迟钝，但到了7岁，他就赶上并超过了其他学生，14岁时就决心当一名物理学家。因此，伏打从小养成了善于思考和不盲从的习惯。伏打在戳蛙腿时注意到，只用一种金属或不用金属时蛙腿是不抽动的，只有两种金属同时存在的时候，蛙腿才会抽动。这个现象伽伐尼已观察到了，但是并不理解，这个现象却引起伏打的深思，他觉得似乎真理就在这里面。

伏打用两种金属制作了一根弯棒，一头是钢，一头是铁，中间连在一起。他把一头放在嘴里、另一头靠在眼睛上，当金属棒和眼睛接触的一瞬间，眼睛里有一闪的亮光。如果是同一种金属做成的棒就不会有这种现象。还有一次他用舌头舔着一个金币和一个银币，当用一根导线把金币和银币接通时，舌头就会尝到苦味。这些现象伏打认为都是电造成的。而不是生物特有的，但是，电是从哪里来的呢？

他想可能是从两种金属加唾液来的。唾液是一种复杂的化学物质，它能使金属生锈，在这种化学反应中会不会产生电呢？

他在两种金属片之间夹上一层饱含盐水的布片，电立即加强了许多倍！而且能输出稳定的电流。

“成功了！”

伏打高兴极了。

“是化学反应！化学反应产生了电，蛙腿的抽搐只是对电的检验，起了验电器的作用。”

他明白了腿蛙抽动的真正原因：腿蛙中含有水和盐类，钢制的解剖刀和铜盘是两种金属，当两种金属中间有盐类物质的时候就会产生电，与蛙腿本身无关。不用蛙腿换一个别的方法也能检验化学反应产生的电流。

伏打进一步实验，他用了铜片和镀锌的铁片交替放置，中间再用一层层在盐溶液里泡过的布片隔开，制成了一种称为“伏打电堆”的东西，这就是现代电池的原形。

电池后来又经过许多科学家的改进，1887年，英国人赫尔森发明了第一块干电池，使电池便于携带，干电池中的电解液是一种黏稠状物质，所以液体不会溢出。

从电变磁到电磁铁

19 世纪初期，丹麦物理学家奥斯特在对伏打电池改进时，曾对电流做过各种研究，还特别研究了电与磁之间的关系。

有一次，他在试验中发现当电流流过铜丝时，放置在铜丝旁边的磁针产生了哆哆嗦嗦的抖动。奥斯特感到很惊奇，不知磁针为什么会摆动。于是，他重复进行试验，以查找磁针抖动的原因。

他将磁针平行地放置在铜丝下面，当铜丝中有电流通过时，磁针确实发出厂摆动；而当把磁针平行地放在铜丝上面，并给铜丝通电时，磁针又向相反的方向摆动；当磁针与铜丝很接近时，磁针摆动的角度最大，达 45° ；而在磁针逐渐离开铜丝时，磁针摆动的角度也随之逐渐减小。

接着，奥斯特还用铁丝、黄铜丝代替铜丝进行同样的试验，但所得结果也是一样的。随后，他又在磁针与铜丝之间放置玻璃板、水和木板等，进行仔细观察。尽管如此，磁针的偏转摆动仍然不变。

奥斯特对这些试验进行了分析研究，得到了这样的结论：当电流流过导线时，在导线附近产生了像磁铁那样的磁性，即电流也具有和磁铁一样的磁力。1820 年，他发表了这一研究成果，引起学者们重视与注意，也为电磁铁的发明揭开了序幕。

后来，法国物理学家安培根据奥斯特的发现作了更深入的研究。他在试验中发现，在两条平行的铜线中，如果流过方向相反的电流时，就会看到两条铜线互相吸引而靠近；而流过方向相同的电流时，两条铜线相互排斥而远离。安培还通过这个试验建立了电磁学计算中最常用的公式，即人们常说的安培定律。但更为重要的是，安培得到了这样独到的见解：用通过电流的线圈完全可以代替磁铁的作用。

除安培外，当时的法国科学家盖吕萨克也对奥斯特的试验进行了研究。他也制作了像安培那样的线圈，并在线圈中挂了一枚钢针。当电流通过线圈时，他发现钢针竟被磁化了，变成了永久磁铁。

到了 1825 年，英国人斯特金用软铁棒代替放在线圈中的钢针做试验，结果软铁棒也变成了和钢针一样的磁体。但当切断电流时，和钢针不同的是，软铁棒却未能变成永久磁铁。斯特金觉得挺有趣。他想，如果将流经线圈的电流交替地接通、切断，有电流时软铁棒即有磁性，而切断电流后软铁棒的磁性就消失，这不正好符合人们所需要的那种“通电变磁铁”吗！于是，他深入钻研，终于发明了电磁铁。

斯特金发明的电磁铁，是将软铁棒做成 U 字形，即我们平常说的马蹄形，然后涂上清漆，再在上面绕上 18 圈左右的铜线。

当斯特金制成电磁铁后，美国青年学者亨利给予了很高的评价，并对斯特金的电磁铁进行了改进。亨利不是在软铁棒上涂清漆，而是往软铁棒上绕绝缘导线，这样制成的电磁铁有更强的磁力。

电磁铁发明后不久，发电机和电动机便相继问世，它们都采用了 U 形电

磁铁作为主要组成部分。由此可知电磁铁发明的重要意义了。另外，现在许多电磁式仪表，以及速度达到每小时几百千米高速磁悬浮列车等，也都是电磁铁的“用武之地”。因此，电磁铁还有着灿烂的发展前景。

法拉第发明了变压器

爱迪生发明了电灯，但是有一个问题使他很为难。因为，当时输电距离不能超过3千米，电流沿着电线走得太远以后，电压下降，不能把电灯点得雪亮，只能发出黄晕的光甚至不如煤气灯。

如果提高输电电压，靠近发电机的电灯就会被烧毁，为了解决这个难题，爱迪生在大约方圆3千米的区域内，就建一个冒着浓烟、隆隆作响的发电厂。居民常常抱怨发电机发出的噪音、震动和烟尘，但是，为了解决越来越多的需求，爱迪生还是投资建厂。

正当爱迪生计划建立大量的发电站的时候，因发明空气制动器发了横财的威斯汀豪斯察觉爱迪生的方法存在着很大的局限性，他不断地思考用什么更好的办法输电，恰好这时候他得知，法国的化学家和物理学家哥拉尔在1882年发明了变压器，这为他解决这个问题提供了一把钥匙，他立即购买了他的专利。

变压器的原型应该是法拉第发明的，他曾经做过一个实验，就是把两组线圈绕在同一个软铁环上，当在一个线圈内通电的瞬间，会在另一个线圈上感应出电流来。断电时也会感应出电流。但是当稳定的直流电通过时，另一个线圈中什么电流也没有。只有通以交流电，另一个线圈中才可以不断地感应出电流来。

这种大小和方向不断变化的电流，叫交流电。虽然电流大小在变化，但是对点电灯是无妨的，因为电流瞬时间断，灯丝还没有来得及冷下来，又接通了，电灯一点也不会闪烁。

但是，当威斯汀豪斯买来了专利后发现，变压器的毛病百出，只好又组织专门的班子进行研究。

1885年，正式成立了威斯汀豪斯电气公司，第二年春天就实现了用3千伏高压输电6.4千米的输电网。

新成果立即引起了大家的重视，公司的生意日益红火，威斯汀豪斯并不以此为满足，他得知在爱迪生的研究所里有一个叫特斯拉的年轻人，对交流电动机很有研究，就专程到纽约去拜访。特斯拉出生于克罗地亚，在匈牙利格拉茨大学学习工程学，后来移居美国。

特斯拉是一个脾气有些古怪的人，他和爱迪生之间有些矛盾，后来特斯拉终止了与爱迪生的合作，威斯汀豪斯用100万美元的代价买下了特斯拉的40多件专利，以借助他的新技术发展交流电动机。

爱迪生对这悄悄兴起的对手大为光火，于是掀起了一场诋毁交流电的宣

传战，他花了数千美元组织了新闻、杂志和广告画，向外界宣传交流电的可怕，威斯汀豪斯也不甘示弱，舌剑唇枪地给以回击，但是，他没想到，纽约的法庭决定用交流电来执行犯人的死刑，还说只有交流电才有把人很快电死的效果，这是爱迪生做的手脚，对威斯汀豪斯是一个致命的打击。

为了抵消电椅的冲击，威斯汀豪斯盼望着有一个国际会议，恰好在芝加哥举办纪念哥伦布发现美洲 400 周年的国际博览会，作为会上的精品之一，就是点燃 25 万只电灯，威斯汀豪斯不惜血本以极低的价格竞争承担这项工程。1893 年 5 月 1 日，数万支灯火在夜幕下光耀夺目，蔚为奇观。

在会上，尼亚加拉大瀑布建筑公司的经理拟建一座水电站。但是这座水电站远离城市，他看到威氏在展览会上的成就之后，就决定由他来承担这项任务。这件事也只有用交流电和变压器才能完成。

1892 年，爱迪生通用电气公司由于直流电的主张而遭到惨败，公司责令爱迪生退出公司，并去掉爱迪生 3 个字，改名为通用电气公司，又向威斯汀豪斯公司提出和解，两公司修好，共同使用技术成果，而爱迪生则从此不能经营发电事业了。

现在任何一个街头上都可以看到变压器，发电厂发出的电先升高电压到几十万伏，输到城市后再把电压降下来，这样大大地提高了输电效率，降低了损耗。升高和降低电压都离不开变压器。

看不见的热

1946 年的一天，美国雷西恩公司的一位名叫珀西·斯潘塞的工程师正在全神贯注地做雷达起振的实验。忽然，他的同事看到他胸前的衣兜上渗出暗黑色的血迹，就慌忙地说：“你受伤了，上衣袋那儿渗出血了！”

珀西用手一摸，湿糊糊的，脸色立刻变得煞白。可是这时他突然明白了，上衣袋里的巧克力糖融化了，真是一场虚惊。

珀西换了一件干净的衬衣又继续工作，但是巧克力糖为什么会融化？

珀西正在研究 25 厘米雷达电波在空间分布的状况。此时雷达天线正在发射着强大的电波。

是不是雷达波的作用。忽然，脑子一亮，他想通了，一定是微波的作用。人们知道，世界上的物质都是由带电粒子组成的。电磁波是变化的电场和磁场组成的。电磁场的方向不断地变来变去，带电粒子跟着转来转去，产生热量，巧克力便融化了。

这件事情引起他的极大的兴趣，他想这种加热方式和传统的加热完全不同。当我们在锅里煮一个鸡蛋或一块肉的时候，热量是从外面慢慢传进去的。外面的蛋清已经煮熟了，里面的蛋黄还没有太热，为了把整个鸡蛋煮熟，就要延长加热时间而浪费许多热量。如果用雷达波加热食物，每一小部分都在电磁波的作用下同时热起来，并不需要热的传导，因此非常省时。想到这里，

珀西立即动手制作了一个用雷达波烤肉的灶具。第二年——1947年珀西所在的雷西恩公司就制造出一个微波灶。

微波灶加热食物快，而且只对富含水分的食物起作用，而盛食物的瓷盘子却不会被加热，当你从微波灶中取食物的时候，一点也不用担心被盘子烫着手。

美国哈维实验室正在研究一种拆除原子能反应堆混凝土建筑的方法，由于有放射性不允许扬起一点灰尘，科学家想到了用微波加热混凝土中含的水分，水在变成水蒸汽的过程中膨胀，就会使混凝土炸开，在此过程中不会产生任何灰尘，这些微波又变成科学家手中的工具。筑路时，工人常常为融化沥青而苦恼，沥青的浓烟造成污染，在运输过程中又要保温。所以筑路工人宁愿在炎热的夏季铺路，如果使用微波加热沥青就可省去这些麻烦。

微波还是战胜癌症的利器。有一次有一个癌症病人高烧不退，家里人已经为他准备后事了。但是，在高烧退去后，病人的癌肿竟完全消失了。这件怪事引起了医学界的重视，经过研究发现癌细胞比一般的正常细胞对热更敏感，高烧杀死了癌细胞。这就是高烧后在癌症病人身上发生的奇迹。

不过温度的控制是十分重要的，不然就会损坏正常的细胞。1975年德国科学家佩蒂克大胆地使用了一种全身麻醉加热的方法。他把麻醉后的病人放到50摄氏度的石蜡液体中，同时让他吸入高温气体，使体内达到41.5~41.8度，据说治愈了很多肿瘤病人。

有的癌肿要更高的温度才能杀死。例如：热死脑癌的温度阈值是43.5摄氏度。但是人体不能长期处在这样的高温下，应该有一种局部加热的办法才行。科学家又想到以微波灶的原理。也不能把整个人放在微波下烘烤，那是非常有害的。不过微波天线可以做得很细很小，然后把它送到有肿瘤的部位。现在制成了一种极细小的微波发生器可以从口腔中送到食道里，这种微波发生器可以把食道中的癌细胞杀死，使堵塞的食道畅通。不必实行大手术。对于前列腺肿大也可以用类似方法治疗。

还可以把极细的微波发生线圈送到血管里就可以烧去血管管壁的多余物质，使血管内壁变得光滑和富有弹性，目前在许多医院里已经可以进行这种手术了。

对于微波加热，过去人们认为，微波只能加热含水的东西，对于不溶于水的有机物质是无能为力的。但是加拿大的科学家发现，微波可以使一些有机物之间的化学反应速度提高1200多倍，这引起科学家极大的兴趣，并由此得到一系列的新成果。

微波的另一个妙用是用它来传递能量。

据说从前美国驻某国大使馆的工作人员经常感到身体不适，却又查不出什么病来，也许是水土不服吧！于是大使馆的工作人员轮流定期回国休养。后来由国内派来的电子专家进行使馆内的例行公事检查的时候，发现有一束微波每天定时照射这个大使馆，大使馆的工作人员由于受到过多的微波照射

才影响了健康。

但是，为什么总有一束微波来照射这个使馆呢？

电子专家发现，大厅的一个木雕雄鹰是微波照射的目标。这个雕像是美国的象征，是这个国家为了表示友好送给美国大使馆的，送来后就一直挂在这个会议大厅里。

拆开木雕才发现，里面有一个窃听器。这个窃听器没有电源，它的能量是由一束微波送来的。当微波束照射这个木雕像时，窃听器便开始工作，并把大厅中的声音由一束微波送回去。这种设计真是太妙了。

如果把这个思想用到空中飞行的飞机上，飞机就可以从地面射来的微波束中得到能量。1987年9月第一架无人驾驶的微波飞机在加拿大渥太华郊外的上空悠然自得地盘旋，它的能量来自飞机肚子下面的圆盘天线，一个像电话亭大小的发电机组把能量通过微波送上天空，飞机接收到微波后，再转化成电力驱动螺旋桨。因此这种飞机可以不用着陆不用空中加油持续不断地环球飞行。不过要每隔一二百千米设一个微波发送站。

人们最感兴趣的是，有朝一日用微波的能量把航天飞机送上太空。用火箭发射时，大量的能量浪费在火箭本身上，只是一个航天飞机没有多重，用微波发射可以节省20倍的经费。

预计在下个世纪人类将在月地之间建立一个大型太空城，太空城由于能充分利用太阳能来发电，所以向地球出口的贸易中电力占主要成分，向地球输送电能的最好方法是通过微波束，当然如果飞机或生物穿过微波束的时候会受到严重损害，不过地球上有许多荒无人烟的沙漠，在那些地方建立微波接收站就可以避免意外事故的发生。

科学家对于微波各个角度的思考，产生了非常不同的发明。这种思维范例值得我们学习。

燃料电池

有时一种新的技术思想是“一个尚未出现的问题的解决办法”，事情常常是在找到解决办法后不久问题就出现了。燃料电池就是这样。

有3种产生电或贮存电的基本方法：一种是靠发电机，一种是靠电池，一种是靠蓄电池。第4种方法是靠燃料电池。燃料电池的历史可追溯到戴维爵士。在上世纪初期，戴维在作电解实验后提出，当电流通过水时，它会把水分解成组成水的氧元素和氢元素。后来，在1842年，另一个叫格罗夫爵士的英国科学家，成功地逆转了这一过程，即是说，通过氢和氧这两种气体互相反应的方式产生了电。然而用这种方式产生的电却是微不足道的，“电解反应的逆反应”的想法由于这个原因被埋没了达90年之久。

但是到1932年，一个叫培根的英国剑桥的年轻化学家开始从新的角度来看这个问题。27年之后，他演示了自己的“燃料电池”。实际上它是由一个

电池组构成，每个电池都有两个电极，电极是用镍粉压制的多孔平板做成的；电池悬在 40% 的氢氧化钾溶液中，在每平方英寸数百磅的压力下和摄氏数百度的温度下输入氢气和氧气。结果获得 5 千瓦 24 伏的电流，可为一把圆锯或一个焊接装置提供足够的动力。这个结果是令人鼓舞的。可是培根希望燃料电池的效率最终能提高到 80%，即是说，一磅气体能产生一千瓦时以上的电力。

具有巨大研究能力的一些大公司在美国开始从事这项研究。通用电气公司为了便于汽车上使用而成功地精简了燃料电池的组装，而且有一辆用 1008 个燃料电池和一台电动机作动力的拖拉机已试验成功。它使用丙烷和氧，产生 15 千瓦的电，足以拖动一个犁。克莱斯勒公司制造了一辆燃料电池汽车，车上有 4 台电动机，每一个车轮上装一台，因此无需齿轮箱、传动装置、差动装置、主动轴或后轴。俄国人也在进行类似的研究。若要没有噪声、不排放污染物的汽车，从现在看来，解决这个问题显然是要使用燃料电池。

然而燃料电池的首次实际应用，则是用于美国的卫星，在卫星上为无线电发射机提供用电。要研制用燃料电池提供动力的经济电动小汽车或货车，还必须做大量的研究工作。甚至可以用燃料电池来建立小型发电站为工厂和局部地区提供用电。在遥远的将来，我们可能会有用燃料电池作动力的火车或轮船。

光学仪器设备

激光器

激光的出现是本世纪 60 年代最重大的科学技术成就之一。它以其高亮度、高方向性、高单色性、高相干性等突出特点，得到了广泛的应用，并在科学技术的许多重大领域开辟了新的生长点，引起了革命性的变化。

1916 年，爱因斯坦发表了《关于辐射的量子理论》一文，首次提出了受激辐射的概念。按照这个理论，处于高能态的物质粒子受到一个能量等于两个能级之间能量差的光子的作用，将转变到低能态，并产生第二个光子，同第一个光子同时发射出来，这就是受激辐射。这种辐射输出的光获得了放大，而且是相干光，即两个光子的方向、频率、位相、偏振都完全相同。

随着量子力学的建立和发展，人们对物质的微观结构及其运动规律有了更深入的了解，微观粒子的能级分布、跃迁和光子辐射等也得到了更有力的证明，这就在客观上更加完善了爱因斯坦的辐射理论，为激光的产生奠定了理论基础。40 年代末，出现了量子电子学，它主要研究电磁辐射与各种微观粒子系统的相互作用，并从而研制出相应的器件。这些理论和技术的进展，都为激光器的发明准备了条件。

1951 年，美国物理学家珀塞尔和庞德在核感应实验中，把加在工作物质

上的磁场突然反向，结果在核自旋体系中造成了粒子数反转，并获得了每秒 50 千赫的受激辐射，这是在激光史上有重大意义的实验。

1954 年，美国科学家汤斯和他的助手戈登、蔡格一起，制成了第一台氨分子束微波激射器。这台微波激射器产生了 1.25 厘米波长的微波，功率很小，但它成功地开创了利用分子或原子体系作为微波辐射相干放大器或振荡器的先例，因而具有重大意义。差不多与此同时，苏联的巴索夫和普罗霍洛夫以及美国马里兰大学的韦伯，也分别独立地提出了微波激射器的思想。

由于微波激射器的成功，使人们进一步想到，如果把微波激射器的原理推广到光频段，就有可能制成一种相干光辐射的振荡器或放大器。生产和科学技术发展的需要，也推动科学家们去探索新的发光机理，以产生新的性能优异的光源。

1958 年，肖洛与汤斯将微波激射器与光学、光谱学的知识结合起来，提出了采用开式谐振腔的关键建议，并预言了激光的相干性、方向性、线宽和噪音等性质。同一时期，巴索夫、普罗霍洛夫等人也提出了实现受激辐射光放大的原理性方案。

1960 年 7 月，美国青年科学家梅曼成功地制造并运转了世界第一台激光器。工作物质用人造红宝石，激励源是强的脉冲氙灯，它获得了波长 0.6943 微米的红色脉冲激光。

第一台激光器问世以后，激光发展很快，短短时间里就出现了许多不同类型的激光器。1961 年、1964 年，先后制成钕玻璃激光器和掺钛钕铝石榴石激光器，它们和红宝石激光器都是迄今仍被大量应用的固体激光器。

1960 年底，贝尔电话实验室的贾万等人制成了第一台气体激光器——氦氖激光器。1962 年，有 3 组科学家几乎同时发明了半导体结激光器。1966 年，又研制成了波长可在一段范围内连续调节的有机染料激光器。此外，还有输出能量大、功率高，而且不依赖电网的化学激光器等。

由于激光器的种种突出特点，因而很快被运用于工业、农业、精密测量和探测、通讯与信息处理、医疗、军事等各方面，并在许多领域引起了革命性的突破。比如，利用激光集中而极高的能量，可以对各种材料进行加工；激光作为一种在生物机体上引起刺激、变异、烧灼、汽化等效应的手段，已在医疗、农业上取得良好的效果；激光在军事上除用于通信、夜视、预警、测距等方面外，各种激光武器、激光制导武器已投入实用。今后，随着激光技术的进一步发展，激光器的性能和成本进一步降低，其应用范围还将继续扩大，并将发挥出越来越重大的作用。

纤维镜

能够拐着弯进行观察的显微镜，是研制成功比头发还细若干倍的玻璃纤维后出现的一种奇妙的仪器。

研制纤维镜碰到的第一个问题，是制造形状像鞋带一样的镜子，而且要有自己的光源。把有一定折射率的玻璃裹在一根折射率不同的玻璃棒上，就可能满足全反射定律，换句话说，光就会沿着它们来回传输而没有损耗。这样，不管距离多远，要拐多少弯，人们都能从外面看到“内部的情况”。

最大的困难是制造极细的玻璃纤维，细到能把一束玻璃纤维插进人体内的孔道中，插进用于皮下注射的针中，或者通过防漏密封观察一台正在工作的机械的内部情况例如观察一个核反应堆的内部情况。玻璃纤维有两种：一种传输“相干”光，在目镜处产生图像；另一种传输“非相干”光，传到内部以照亮目标。被照着的东西通过形成两种光束的形式，在目镜或摄影机上形成影像。

英国的原子能局，还有较晚近的兰克组织，已率先进行这方面的发展工作，到1965年已开始生产25微米（1微米等于0.001毫米）的玻璃纤维。若干美国公司，最著名的是宝雪龙公司，一直致力于研制更细的玻璃纤维，结果研制成功了15微米的玻璃纤维。宝雪龙公司的纤维镜最初是在工业上用来做检查工作（由于它发出的是冷光，所以适合于用来检查燃料箱的内部）。美国心脏收缩镜公司给玻璃纤维消毒获得成功，这就为医学上的应用开辟了广阔的前景。支气管镜（让患者吞下）和胃镜（用来检查胃）通常都是7微米粗的玻璃纤维束。但是，在未能用相机拍照之前，用于研究和发展的数百万美元是收不回来的。

光电池

1817年，瑞典化学家柏济力阿斯发现了一种新的、他叫做硒的元素。硒是一种非金属，在地球上分布很广。很久以后，人们才发现硒适合作电阻用，例如、爱尔兰沿海的巴伦西亚岛上的电缆站就曾用它作变阻器。在这里，一位名叫梅的工程师注意到一个奇怪的现象：电流通过太阳下的硒棒比通过夜晚的硒棒要自由得多。

梅氏虽然在1873年作出了上述发现，但同样未曾即时应用（尽管在1883年，早期的电视先驱者——德国工程师尼普科夫，在发明用来扫描电传图像的著名的“尼普科夫扫描盘”时，根据硒的这种性质研制出了图像传输系统。几年以后，第一位产生和接收电磁波的赫兹，对所谓的“光电”现象进行了一些研究。最后发现电子的汤姆孙提出了一种理论，说有的物质会由于有入射光而发射电子。再晚一些，爱因斯坦把量子理论应用于光电现象，说明了为什么只要光一投射在硒的灵敏的表面上，它就会开始发射电子，电子速度为什么取决于光的波长。

1902年，第一次开始了光电现象在技术上的应用，当时的德国物理学家阿瑟·科恩研制成功了一种有效的传真电报系统。大概就是他发明了作这种用途的一种重要的光电池：一个高真空的玻璃电池，除了可以进光的一

个狭小“窗口”外，内壁都涂上了某种碱金属。电池里面只有一个薄金属环；这只环和碱金属涂层保持负电位和正电位。当光照到涂层上时，它就根据光的强度放出电子，金属环则吸引电子。这样就产生一个容易放大的弱电流。在科恩的传真电报中，是用一个光电池逐点照亮和扫描准备传这的静止图像，然后将已调电流传送到接收装置，在那里用图像的光值调制一盏灯，灯逐点、逐行地使滚筒上转动的光敏纸或底片曝光。这一系统目前仍用于有线传送或无线电传送图像。

这种类型的光电池叫做光电发射管。目前还使用另外两种光电池：一种是光电导电池，仍采用硒，用于自动开关路灯最有效；另一种是光伏电池，它包含两种物质，例如铜和氧化亚铜，中间夹一个专门制备的边界层。当光落在边界层上时，就会产生伏打电流。

各种各样的光电池已经得到了广泛应用，例如用于照相曝光表、防盗警报器（在破门而入的人遮断一束看不见的紫外线时，警铃便会响起来）、工厂用的计数装置（记录在传送带上通过的每一件货物）、色敏元件（能对不同波长的光作出不同反应，因而可以检查出某些水果或蔬菜，例如豌豆是否色正，是否应在装罐前剔出）等。

当然，光电池的最重要的应用是在电视中的应用（摄像机就是一个大的光电池）以及在录音胶片的生产和显示中的应用；在这些应用中，光电池把录音磁带上的讲话，音乐和音响变成胶片上的光学声迹，再把这种声迹还原成声音。在工业和科研方面应用光电现象的另一种仪器，是探测弱光的光电倍增器或电子倍增器；它是一个由一系列类似继电器的电极构成的系统，能把由于光的入射而释放的电子数量放大到容易测量的程度。

