

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

初中物理学习词典



前 言

为了配合我国的基础教育和九年制义务教育的推广普及工作，帮助中小小学生更好地学习和掌握教学大纲规定的教学内容，给学生平时学习、做作业、复习和考试提供一套高质量有特色、方便实用并相对稳定的工具书，以利于全面提高学生的素质，我们在广泛调查，并征询教委领导部门意见的基础上，编写了《九年制义务教育暨高中学生系列学习词典》。本书按科设卷，其中小学四卷：语文、数学、自然常识、思想品德；初中、高中各九卷：语文、英语、政治、历史、数学、物理、化学、生物、地理，全书共计 22 卷，二万多个词条，七百万字。作为专门为学生而编写的与教学大纲、教材相配套的多卷系列学习词典，这在我国基础教育史上还是首创。

本书是专为中小小学生而编，处处考虑学生的实际需要。因此框架编排、收词范围紧扣国家教委颁布的新教学大纲，参照使用面广的各种版本教材。小学、初中各卷的编写侧重知识技能，注意全面提高学生的素质。条目的筛选不仅覆盖了教学大纲规定的全部知识，而且根据大纲的新精神，增加一定量的学习方法、学习新思路，以及联系社会生活、生产实际方面的词条。高中各卷还兼顾了高考的需要，收录了总复习、高考指导等方面的内容；释文尽量做到科学性、启发性和实用性的统一。内容的纵深介绍针对小学、初中、高中学生的不同接受能力和学习特点，力求做到递次解析，深入浅出，重点知识还论及其发展过程，以利于学生的理解和运用；适度采用了部分有科学根据的新观点、新资料；文字表述力求简洁、鲜明、准确、生动；为便于学生按教学进度进行学习和查阅，目录按知识块分类设计，并比照大纲和教材的顺序，书后附有汉语拼音索引。

本书由全国人大常委、北京师范大学副校长许嘉璐任主编，各分卷主编大多为国家教委教材审查委员、专家学者。撰稿人都是学术上有造诣，对中学教学有研究的北京师范大学、北京教育学院、北京市教育局系统、北京海淀教师进修学校、北京市重点中小学以及其它部分省市的教授、副教授、高级教师、讲师、基础教育专家，共计 100 余人。几经运筹，勤奋笔耕，历一年半而成。

我们衷心希望全国的中小小学生以及老师和家长喜欢此工具书，诚恳希望读者在使用过程中给我们提出宝贵意见，以便通过不断修订再版，使之日臻完美，成为中小小学生的良师益友。

总编委会

1993 年 9 月于北京

编者的话

本词典由北京师范大学中学教学研究中心主任阎金铎教授为主编，以特级教师和高级教师王杏村、梁敬纯、周誉蔼、胡祖康为核心，并聘请一批有教学经验的专家、教师共同编写而成。

《初中物理学习词典》，是紧扣现行初中物理教学大纲规定的内容和要求编写的。共收词目 421 条，释文力求简明扼要，重点突出，以利于初中学生理解物理知识，掌握科学方法和技能，提高运用物理知识分析问题和解决问题的能力。

根据编者多年来的教学经验，对学生在学习容易出现的疑点及犯的错误，在相应的释文中都做有明确的解释。具体来说，对基本概念、基本规律和基本方法都专列词条进行详尽解释，并举例说明；能联系实际的条目都举了生产、生活中的实例，既巩固了基础知识，又拓宽了学生的眼界；本词典讲求实效，立足于帮助学生提高思维能力及解决实际问题的能力。

我们希望本辞典对初中学生学习物理有所帮助，并忠心地希望广大师生对本书提出修改建议，以期日臻完善。

编者

1993 年 9 月

一、力和常见的运动

机械运动 一个物体相对于别的物体的位置的改变。如：一列火车从北京出发开往上海，在不同的时刻依次通过天津、济南、南京，最后抵达上海，这列运动着的火车相对于地球上的位置是随着时间而变化的，这就可以说火车在做机械运动。鸟儿在飞翔，河水在流动，汽车在奔驰，轮船在航行，它们相对出发地点的位置都在随着时间而发生变化，它们都在做机械运动。机械运动是一种最简单、最基本的运动形式。

机械运动是各种各样的，有的物体沿直线运动，并且时快时慢，如百米赛跑中运动员的运动。有的物体沿曲线运动，如地球环绕太阳旋转的运动等，尽管它们的路线多种多样，但总可以把机械运动分为直线运动和曲线运动，而直线运动又可以分为匀速直线运动和变速直线运动。参照物研究任何物体是否运动和怎样运动的时候，总是先选定一个物体做标准，看被研究的物体对于这个被选定的标准物体的位置是否变化，来判断被研究的物体是否在运动，这个被选定的标准物体就叫参照物。

参照物 是可以任意选择的。为了研究问题方便，应选择最合适的参照物。若要研究地面上物体的运动时，最方便的是选择地面或地面上静止不动的物体做参照物，要研究正在行驶的船舱里的人的运动时，可以以舱内的物体为参照物，要研究地球和各行星对太阳的运动时，最好选择太阳作参照物。

事实上被选为参照物的物体也是运动的，因为地面上的所有物体都随着地球对太阳的公转和自转而一起运动，所以对太阳来说，地面上的所有物体都是运动的，太阳是环绕银河系中心以一定的速度运动着，而银河系本身也在太空中不断运动。所以，当研究机械运动时，被当做不动的物体即参照物实际上也都在运动着。

运动的相对性 当物体相对于参照物的位置随时间发生变化时，物体是运动的；位置没有变化时，物体是静止的。由于参照物是任意选取的，所以物体的运动和静止就具有相对性。例如，乘客静坐在行驶的车厢里，把车厢作为参照物，乘客是静止的，因为他和车厢的相对位置没有变化；若以地面上的树木、房屋为参照物，乘客就是运动的，因为他随着车厢相对树木、房屋的位置发生了变化。所以同一物体的运动状态从不同的参照物来观察，结果可以是不同的。卡车载着机器在公路上行驶，坐在卡车上的人看到机器是静止的，站在公路旁的人看到这机器正在驶近或离开他运动着，而对面开来的另一卡车的驾驶员就认为这机器是迎面飞驶而来的。这三种说法哪一种是正确的呢？应该说，它们都是正确的。因为他们以三个不同参照物来观察同一机器的运动，所以得出不同的结果。因此，所有物体的运动和静止都是相对的。只有在先选定一个参照物的情况下，物体的运动状态才能够确定。

路程和距离 在一段时间内，运动物体经过的路线的长度，叫做物体在这段时间内通过的路程。路程用长度的单位——米，来计量。物体沿一定的路线，从一地到达另一地，其路线可能有直有曲，物体在这段时间里经过的路程，就是它所经过的这些直的、曲的路线长度的总和。我们在地图上测京——广铁路线路程时，就是先用一条棉线，按照铁路的弯曲变化附着在地图的铁路线上，然后取下棉线拉直后，测出其长度，按比例尺放大后，就是实际京——广铁路线路程。

距离是两个位置间所连线段的长度。用长度的单位——米，来计量。如图假如你家住在图上 A 点，学校你家东北方向 600 米处的 B，从你家到学校可能有不同的几条路（ACB、ADB、AEB 等），如果只考虑 A、B 两位置间距离，则就是 AB 线段的长度。不论你走哪条路，只不过是通过了不同长度的路程，A、B 两位置之间的距离始终是 600 米。我们在测两地距离时，测的就是两地连线的直线长度。

路程和距离虽然都是长度，但两地间距离一定时，两地间的路程因走的路线不同而各异。路程一般不等于距离，只有物体在做直线运动（且没有往复）时，从一位置到另一位置的路程才等于距离。

匀速直线运动 物体在一条直线上运动，如果在相等的时间内通过的路程都相等，这种运动叫做匀速直线运动。匀速直线运动是物体做的各种运动中最简单、最基本的运动。

做匀速直线运动的物体，首先应当在一直线上运动。并且严格地说，在任何相等的时间间隔内，通过的路程都应该是相等的。例如，汽车在平直的公路上运动，如果它每隔 1 小时的时间间隔，通过的路程都是 60 千米，可是还不能断定它做的就是匀速直线运动。只有在任意选择的相等的时间间隔内，这些时间间隔可以任意长短，当其通过的路程都相等时，我们才能说汽车做的是匀速直线运动。

匀速直线运动的速度 在匀速直线运动中，速度的大小等于运动的物体在单位时间内通过的路程。用 s 表示路程，t 表示通过这段路程所用的时间，速度公式

$$v = \frac{s}{t}$$

速度的单位是米 / 秒，常用单位有千米 / 小时，换算关系为 1 千米 / 小时 = 0.28 米 / 秒。

物体做匀速直线运动时，在任意相等的时间间隔内通过相等的路程，物体运动所通过的路程随时间均匀增大。例如，一辆做匀速直线运动的汽车，每秒钟内通过的路程是 10 米，那么，它在 1、2、3……秒内的路程就是

10、20、30……米。路程和时间的比值 $\frac{10\text{米}}{1\text{秒}} = \frac{20\text{米}}{2\text{秒}} = \frac{30\text{米}}{3\text{秒}} = \dots = 10\text{米} / \text{秒}$ ，

这个比值正好反应了物体运动时，其快慢程度是均匀的。不同匀速直线运

动的物体，这个比值不同，这反应了不同物体运动的快慢程度不一样，比值的大小，表示了物体的运动快慢程度，所以，速度是表示物体运动快慢的物理量。做匀速直线运动的物体，如果知道了其通过的路程和所用的时间，就可以由速度公式求出其速度大小。

知道匀速直线运动物体的速度，就可以求出物体在给定时间里通过的路程 $s = vt$ ；或者可以求出通过某段路程所用的时间 $t = \frac{s}{v}$ 。例如，在测地——月距离时，从地球向月球发射一束激光（光速为 3.00×10^8 千米 / 秒），2.56 秒钟后收到反射回来的信号，地——月距离为：

$$3.00 \times 10^8 \text{ 千米 / 秒} \times \frac{1}{2} \times 2.56 \text{ 秒} \\ = 3.84 \times 10^8 \text{ 千米。}$$

变速直线运动 物体在一条直线上运动，如果在相等的时间内通过的路程并不相等，这种运动叫变速直线运动。

做直线运动的物体，大多数并不是匀速的，可能是先慢后快或先快后慢，也可能是时快时慢的运动。如，公共汽车在平直公路上运动，就时停时走，有时加速有时减速；弹簧下吊着的物体的上下振动，物体的运动则是往复的，不但速度的大小，而且速度的方向都在改变。变速运动是更普遍的运动。做变速直线运动的物体的速度是随时在变化的，或者说，在相等的时间间隔内通过的路程并不相等。

平均速度 反应物体在一段路程或一段时间内大体上运动快慢的物理量。由于做变速直线运动的物体速度的大小，一般是随时在变化的，所以为了粗略地描述其运动的快慢，把物体在这段时间里（或这段路程上）的运动看作为匀速直线运动，从而用求匀速直线运动速度的办法来求其速度。用 \bar{v} 表示做变速直线运动物体的平均速度，用 s 表示路程，用 t 表示通过这段路程所用的时间。物体在这段时间（或这段路程上）的平均速度

$$\bar{v} = \frac{s}{t}$$

做变速直线运动的物体，在不同时间内（或不同路程上）的平均速度一般是不同的。如：赛车从静止出发，第 1 秒内前进了 1 米，第 2 秒内走了 3 米，第 3 秒内走了 6 米。赛车在这 3 秒内的平均速度是 $\frac{(1+3+6)\text{米}}{3\text{秒}} = 3.3$

米 / 秒；赛车在前 2 秒内的平均速度是 $\frac{(1+3)\text{米}}{2\text{秒}} = 2$ 米 / 秒；而后 2 秒内的平均速度是 $\frac{(3+6)\text{米}}{2\text{秒}} = 4.5$ 米 / 秒。因此，要明确物体是在哪段时间内或哪段路程上的平均速度。

一辆汽车开始以 30 千米 / 小时的速度行驶了 30 千米，然后又以 60 千米 / 小时的速度匀速行驶了 30 千米，这辆汽车在这 60 千米路程中的平均速

$$\bar{v} = \frac{30\text{千米} + 30\text{千米}}{\frac{30\text{千米}}{30\text{千米/小时}} + \frac{30\text{千米}}{60\text{千米/小时}}} = 40\text{千米/小时}。 \text{如果把求平均速度}$$

写成 $v = \frac{1}{2} (30\text{千米/小时} + 60\text{千米/小时}) = 45\text{千米/小时}$ ，显然是错误的。

测量 利用仪器采用不同的方法获得各物理量量值的过程。物理量的测量可分成两类：直接测量与间接测量。凡是直接用测量仪器可以量出结果的，叫做直接测量。用刻度尺来量长度，用表来测量时间，用天平来称质量，用温度计来测温度，都是直接测量。但是大多数物理量的测定，需要先用仪器测出有关的物理量，然后再根据有关公式计算出结果来，这种测量叫做间接测量。如测出立方体的边长求体积，测出质量和体积求密度等等，都是间接测量。

测量所能达到的准确程度由测量仪器的最小刻度决定。测量需要达到的准确程度与测量的要求有关，如量体裁衣时，准确到厘米就够了，而发射卫星时，各种数据要相当精确，若由于各种因素的影响，致使最后一级火箭的速度差千分之二，卫星就会偏离预定轨道十千米，发射将不能成功。

误差 对任何一个物理量进行测量都不可能得出一个绝对准确的数值，即使用测量技术所能达到的最完善的方法，测出的数值也与真实值存在差异，这种测量值与真实值的差异称为误差。误差可分系统误差和偶然误差。系统误差是由于仪器本身不精确或实验原理不够完善而引起的误差。如天平的两臂应是等长的，然而它们不可能完全没有差别，天平配备的砝码质量应该是准确的，但也不可能一点不差。使用天平时，待称物体和砝码的体积一般不等，它们受到空气的浮力就不等，所以实际上天平平衡时，被测物体的质量不能绝对的等于砝码的总质量。但对一般测量，系统误差不大，都能满足实验精确的要求。偶然误差是由于实验中的各种偶然因素而产生的误差。如用刻度尺测量长度时，读出的数值总是有几位准确数字，后面还有一个估计数字，这个估计数就可能偏大或偏小，这就是偶然误差。

误差是不可避免的，但是可以尽可能的减小，系统误差可以通过完善实验原理或采取恰当的实验方法来减小。减小偶然误差最常用的方法是多次测量取平均值的方法。

长度的测量 测量长度的基本工具有刻度尺，钢卷尺，游标卡尺，螺旋测微器等，测量长度时，要先根据实际情况确定测量需要达到的准确程度，然后再根据要求选用适当的测量工具。

测量长度的读数方法如下页图。图(1)中的刻度尺只有厘米刻度，叫厘米刻度尺，用这种刻度尺测量出来的长度只精确到厘米，厘米下一位的毫米数是估计值，是不精确的。图(1)的测量值为 2.8 厘米。图(2)中刻度尺的最小刻度是毫米，称为毫米刻度尺。其测量值是 2.75 厘米，其中 2.7

厘米是精确值，0.05 厘米是估计值。刻度不同的刻度尺其精确程度不同。需要注意的是，在记录测量结果时，必须在数值后面写出所用的单位。

长度的特殊测量方法 对于不能直接用刻度尺测出的长度，如较短的曲线、微小的长度等，可根据具体情况采用一些特殊的方法达到测量的目的。在精确度要求不高的情况下，可采用以下方法：第一，把曲线变为直线，再用刻度尺测量。如要测量一圆筒的外径，可用一条弹性不大的细线绕圆筒外壁一周，在相重合点做出标记，然后将细线拉直，用刻度尺量出二标记之间的长度即为圆筒的周长 l ，再利用公式 $d = \frac{l}{\pi}$ 算出圆筒外径。

第二，利用几何学知识，测量圆锥体的高或球体的直径如下页图。

由图可知：球的直径 $D=2.80$ 厘米，圆锥体的高 $h=2.80$ 厘米。第三，对于微小长度测量时，可把 n 个相同的微小长度累积起来，用刻度尺测出总长度，用其测量值除以 n 即为所求。例如要测金属丝的直径，如图所示： $d = \frac{l}{n}$ ， l 是总长度， n 为所绕金属丝的圈数。

量筒和量杯 实验室里用来测液体体积的仪器，在使用之前，先要弄清量筒或量杯壁上的刻度，（甲）图量杯和（乙）图量筒的每小格刻度都是 2 厘米^3 ，（丙）图量筒每小格刻度为 5 厘米^3 。有的量筒或量杯上经常刻有“ml”，读作毫升， $1 \text{ 毫升}=1 \text{ 厘米}^3$ 。由于量杯上粗下细，量杯上的刻度是不均匀的，由下至上刻度越来越密。

用量杯测量液体体积时，由于不同液体的浸润情况不同，液面可能呈凹形或凸形。测量过程读数时，应以凹面的最凹处或凸面的最凸处所对的刻度读数。（丙）图、（丁）图量筒中液体体积分别为“ 65 cm^3 ”和“ 75 cm^3 ”。

用量筒和量杯还可以间接测量不溶于水的固体的体积。测量时，先在量杯或量筒中倒入一定量的水，记下水面所达到的刻度，然后把用细绳系好的被测物浸没水中，再观察水面达到的刻度，两次测量的差值就是被测物体的体积。

如果被测物在水中漂浮，可以采用系上重物助沉的方法测量它的体积，其过程应该是，先将系在被测物下边的助沉物浸没水中，记下水面刻度，然后将被测物也浸没水中，再记下水面刻度。两次测量的差值就是被测物的体积。

在使用量筒和量杯测量体积时，整个测量过程中量筒始终应放在水平桌面上，不要移动。被测物体要用细绳系住轻放水中，养成正确使用仪器的良好习惯。

时间的测量 为了测量时间，首先确定时间的单位，在国际单位制中，时间的主单位是秒。比秒大的单位有分、时、日、年，比秒小的单位

是毫秒，1 秒=1000 毫秒。

测量时间的工具有钟、表、秒表、节拍器、电磁打点计时器等。一般的钟表可以精确到秒。秒表可以精确到 0.1 秒。实验室中常用秒表测量时间。如图：秒表与普通表不同的是，普通表的时针、分针、秒针总是不停地转动，而秒表上的分针和秒针不用时都停在零刻度线上，按一下表上端的钮头，指针开始转动，再按一下指针就停止，继续按一下，两针又都回到零线。实验时，要开始计时就按下钮头，完毕时再按一下，这时读出分针、秒针的读数，就是所测量的时间。赛跑时也经常用秒表计时。

时间与时刻 量度两个时刻之间的间隔长短的物理量叫做时间，时间表征物质运动过程的持续性和顺序性。把过程短暂到几乎接近于零的时间叫时刻，也叫即时。时刻是衡量一切物质运动先后顺序所不可缺少的，时刻没有长短，只有先后。两个时刻之间的间隔长短，表示一段时间。时间是一个只有长短没有方向的物理量。所以应注意区别第几秒初、第几秒末等时刻的概念和第几秒内，前几秒内，后几秒内等时间的概念。例如，第 2 秒内的位移和第 2 秒末的速度是指，第二个 1 秒内即 1 秒的时间内物体通过的位移，第 2 秒末的速度是指第 2 秒末的时刻物体所具有的速度。前者对应着一段时间过程，后者对应着一个时刻物体所具有的运动状态。

质量 物体本身的一种属性，它不随物体的形状、温度、位置的改变而改变。把一块烧红的铁块轧成铁板，形状变了，质量不变，一杯水降温到零摄氏度以下，凝结成冰，物态变了，质量不变；把一张桌子移到月球上去，位置变了，质量仍不变。这就是说质量反映了物体自身的一种性质。一个物体惯性的大小与质量有关，质量大的物体惯性大，质量小的物体惯性小。

质量的测量 为了测量物体的质量，国际上要规定质量的单位。1 升纯水在 4 时的质量规定为 1 千克。根据这个规定，国际上用铂铱合金做成一个圆柱体，使它的质量与 4 时的 1 升纯水的质量相等，即为 1 千克，这个铂铱合金的圆柱体叫做国际标准千克，所以在国际单位制中，质量的主单位就是千克。

测量质量的仪器有天平、杆秤、托盘秤、磅秤等。物理实验室常用天平测量质量，因为天平的精确度较高。（天平的使用方法见物理天平）

测量质量除用天平直接测量外，还可以用其它仪器结合物理公式而间接测定。如：利用弹簧秤可测出物体的重量 G ，然后利用公式 $G=mg$ 变形得 $m=G/g$ 而确定 m 的大小（式中 g 为测量地的重力加速度）。如果知道被测物体的物质密度，想办法测出该物体的体积，利用 $m=\rho V$ 公式变形得 $m=\rho \cdot V$ 也可测定物体的质量。利用物理规律和现代科学技术手段，还可以测得大到天体小到分子、原子和电子的质量。

托盘天平 测量物体质量的仪器。其构造如图示。这种天平的称量一

一般是 200 克，感量为 0.1 克，它没有 1 克以下的微量砝码，但装有游码。小于 1 克的质量数可由游码读出。用托盘天平称量前，要将天平放在平整的桌面上，使游码指零，调节托盘下的两个螺母使横梁指针指在正中，然后开始称量质量，其称量方法和注意事项和物理天平相同。

物理天平 测量物质质量的较为精密的仪器。它是利用杠杆的平衡原理制造而成。

天平的构造如图。W 为底板，E 为止动旋钮，P 和 Q 为底板螺钉，K 为标尺，F 为支柱，H 为游码。J 为横梁。A、B、C 为横梁上三个刀口，D 为指针，a、b 为平衡螺母。

天平的使用可按以下步骤进行：首先要对天平进行调节，调节分两步：第一步是调节天平底板水平。实验室中的学生天平大部分是根据水准仪中气泡的位置调节底板螺钉。若气泡偏左，说明底板的左边高，应放低左螺钉或升高右螺钉直至气泡移到中央为止。第二步是调节横梁平衡。先将游码对准横梁标尺的零刻度线，然后调节横梁螺母 a、b，若指针偏右，即应调节 b 螺母使其向外侧移动，或调节 a 螺母使其向内侧移动，直至指针指在标尺的中央为止。其次天平称量时，先使横梁制动，将待测物体放在左盘，砝码放在右盘，再转动旋钮 E 使横梁升起，观察指针是否指在中间，如不在中间，则放下横梁增减砝码，再升起横梁，观察指针的摆动，直到平衡为止。这时所放砝码的总质量就是被称物体的质量。

使用天平称量时，应注意几点：第一，被称物体的质量绝对不能超过天平的测量范围。第二，放入和取走物体或砝码，应在天平横梁被制动的情况下进行。第三，不要用手直接拿取砝码，要用镊子夹持砝码。不要把化学药品、湿的物体以及过冷过热的物体直接放在盘上。

物质的密度 单位体积的某种物质的质量，用 m 代表物体的质量， V 代表体积，物体的密度

$$= \frac{m}{V}$$

密度的单位是千克 / 米³，常用单位有克 / 厘米³。换算关系：1 克 / 厘米³ = 1000 千克 / 米³。

不同物质的密度一般是不相同的，在通常条件下，每种物质都有确定的密度值，所以，密度是物质的一种特性。物质的密度一般不随其外部形状、体积和质量的大小、所处的环境等而改变。如：金属被锻压、拉伸等加工后；一桶水中取出的一杯水；一块物质被带到月球上去等，其物质的密度是不变的。但是，物质的密度与温度是密切相关的，由于一般物体都有热胀冷缩的性质，当温度升高或降低时，物体的体积要发生变化。由密度公式 $\rho = \frac{m}{V}$ ，当温度升高时，物体的质量不变，其体积变大，则其密度

相应减小。反之，温度降低时其密度要增大。教科书上所列的一般物质密度表，是在通常条件下温度约 20℃ 左右时，物质的密度值。

物体的平均密度 物体有的是由不同物质合成的，也有的是空心的，如果把由不同物质合成的，或空心的物体当作是由某种物质构成的均匀物体，常常需要求这个物体的平均密度，仍用公式 $\rho = \frac{m}{V}$ 。但是求得的密度值，一般不是构成物体的物质的密度。而是这个物体的平均密度值。

钢铁这种物质的密度值是 7.8×10^3 千克 / 米³，如果我们把 1 千克的铁块做成体积是 10 分米³ 的空心铁球，这个铁球的平均密度为 0.1×10^3 千克 / 米³，其意义是，这个空心铁球相当于由密度为 0.1×10^3 千克 / 米³ 的物质构成的均匀实心体。显然，这个空心铁球的平均密度小于水的密度，这也正是钢铁制造的轮船浮在水面上的原因。利用某种物质制成的空心物体的平均密度，一定小于这种物质的密度。

再如，体育课上用的铅球，质量是 4 千克，体积为 0.57 分米³，算出其平均密度为 7.0×10^3 千克 / 米³，而铅这种物质的密度为 11.3×10^3 千克 / 米³，显然，“铅球”并不是用铅做的，而实际上是空心的铁球。我们居住的地球的平均密度是 5.5×10^3 千克 / 米³，但是地球的密度并不是均匀的，由地壳到地核密度逐渐增大，太阳的密度只有 1.41×10^3 千克 / 米³。

密度的测量 根据密度公式 $\rho = \frac{m}{V}$ ，要测某种物质的密度，需测量由这种物质构成的物体的质量和体积，这个物体称做测量样品。测量物质密度的主要步骤如下：

1. 选择样品。
2. 测量样品的质量和体积。
3. 用密度公式计算物质的密度。

实验室里常用天平测物体的质量，用量筒或量杯测物体的体积。在实际测量物质密度时，还应注意如下具体的测量手段和方法。

(1) 形状规则的均匀物体，除用排液法用量筒或量杯测其体积外，还可用刻度尺测出有关的长度，例如，长方体测出长、宽、高；圆柱体测出底面直径和柱体的高，球体测出直径，代入有关公式可算出体积。

(2) 测液体体积时，为减少因从玻璃杯中倒出样品时不易倒净，而造成的误差，可直接用量筒代替玻璃杯。

(3) 如果样品在水中漂浮，可用助沉法测量其体积。如图，将助沉物系在样品下边，先将助沉物浸没水中，记下刻度 V_1 ，再将助沉物和样品都浸没水中，记下刻度 V_2 ，两次差值 $V_2 - V_1$ 就是样品的体积。

在测密度的实验里，所记录的数据应该是直接测量的原始数据，要注

意数据记录表格的设计，下表为测量食盐水密度的数据记录表格，供参考。

力和常见的运动

次数	盐水的体积 $v = (\text{厘米}^3)$	杯子质量 $m_1 (\text{克})$	盐水和杯子总质量 $m_2 (\text{克})$	盐水的 质量 $m = m_2 - m_1$	盐水的密度 $\rho = \frac{m}{v}$ (克/厘米 ³)
1					
2					
3					
平均值 $\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{3} = \quad \text{克/厘米}^3 = \quad \text{千克/米}^3$					

密度的应用 密度的应用有以下几方面：

鉴别物质。通过测量一定物质的质量和体积，根据密度公式 $\rho = \frac{m}{V}$ ，

求出其密度值，对照密度表就可以查出它是什么物质。

计算不便称量的物体的质量。如天安门广场上的纪念碑不能直接称量其质量，可以先测出它的体积，查表找出它所用石料的密度，由公式 $m = \rho v$ 计算质量。巨形油罐的储油量也是用此方法计算。

计算形状复杂，不便测量的物体体积。制做形状复杂的工件（如齿轮）所需物质的体积，可以根据公式 $V = \frac{m}{\rho}$ ，把体积的测量转化为质量的测量。最后算出物体体积的大小。

计算合金成分：例如，用金、铜两种金属制成的合金工艺品，质量为 0.2 千克，体积为 18 厘米³，其金、铜含量可以如下计算。

合金质量 $m = 0.2 \text{ 千克} = 200 \text{ 克}$ ，合金体积 $V = 18 \text{ 厘米}^3$ ，金的密度 $\rho_1 = 19.3 \text{ 克/厘米}^3$ ，铜的密度 $\rho_2 = 8.9 \text{ 克/厘米}^3$ 。

金、铜含量为 m_1 和 m_2 。设金、铜体积分别为 V_1 和 V_2 ，由题意：

$$V = V_1 + V_2$$

$$m = m_1 + m_2$$

$$m_1 = \rho_1 V_1 \quad m_2 = \rho_2 V_2$$

$$m = \rho_1 V_1 + \rho_2 V_2$$

由 $V_1 = V - V_2$ 代入 得：

$$m = \rho_1 (V - V_2) + \rho_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{\rho_1 V - m}{\rho_1 - \rho_2}$$

$$= \frac{19.3 \text{ 克/厘米}^3 \times 18 \text{ 厘米}^3 - 200 \text{ 克}}{19.3 \text{ 克/厘米}^3 - 8.9 \text{ 克/厘米}^3}$$

$$= 14.2 \text{ 厘米}^3$$

$$m_2 = \rho_2 V_2 = 8.9 \text{ 克/厘米}^3 \times 14.2 \text{ 厘米}^3 = 126.4 \text{ 克}$$

$$m_1 = m - m_2 = 200 \text{ 克} - 126.4 \text{ 克} = 73.6 \text{ 克}$$

应用密度，在工业选材方面，经常用密度较小的材料做为飞机的制作

材料，或建筑的装饰材料，以减轻整体质量；用密度较大的物质做机器的飞轮、底座等，来加大物体的质量。在农业上，应用饱满的种子密度大在水中下沉，干瘪的种子和其它杂草的种子密度小浮在水面来选种。密度还是天文学探索天体性质的重要依据。

力 力是物体对物体的作用。力产生于相互作用的物体之间，当一个物体受到力的作用时，一定有另一个物体对它施加这种作用。没有物体，就不会有力的作用。所以不论是直接接触的物体间的力作用，还是不直接接触物体间的力作用；不论是宏观物体间的力作用，还是微观物体间的力作用，都不能脱离物体而单独存在。

力的作用是相互的。人用手推车时，会感到手也受到车的作用力，即手给车一个推力的同时，车也给手一个推力，所以当一物体受到力的作用时，一定也对别的物体施加这种力的作用，即物体施力的同时也受力，受力的同时也施力。

力不仅有大小，还有方向，对物体施以不同方向的力，将产生不同的效果。既有大小又有方向的物理量叫矢量。力是矢量。

力的单位 在国际单位制中，力的主单位是牛，它是根据力使物体的运动状态发生改变的效果来规定的。当质量为 1 千克的物体，受一个力作用时，如果它的速度在 1 秒内改变了 1 米/秒，那么，规定该物体所受的这个力的大小为 1 牛。

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

少年时期的牛顿，便显示出了出众的才能。他所专心精制的许多小机械，如风车、风筝、滴漏时针、日圭仪等，引起了多人的注重和好评。牛顿的一生大部分时间从事科学实验、教学和理论研究。他在数学、物理学、天文学等多方面创造了惊人的奇迹。

在数学方面，牛顿是微积分的创始人之一，他在 23 岁时便发现了“二项式定理”和“流数法”及“流数法”反演，即微分法和积分法。为近代科学发展提供了最有效的工具，开辟了数学上的一个新纪元。

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。牛顿三定律构成了经典力学的理论基础。这些定律是在大量实验基础上总结出来的，在宏观、低速情况下可以很精确地反应机械运动的客观实际。是解决机械运动问题的基本理论依据。牛顿在力学方面另一个巨大贡献是

发现了万有引力定律：
$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r_2^2}$$
。该定律是自然界的普遍规律之一，

它适用于宏观和微观世界中任何物体之间。牛顿还在力学发展中，首先确定了一系列的基本概念，如质量、动量、惯性和力等。使力学形成了严密、完整、系统的科学体系。在热学方面，牛顿确立了冷却定律。在光学方面，他同样取得了巨大的成果。他利用三棱镜进行了著名的色散实验，发现白

光可以分解为多种颜色的光谱带。同时他还作出了多色光合成白色光的实验，精确分析了色散现象的本质。他是白光组成的最早发现者。

在天文学方面，牛顿可以称为近代伟大天文学家。他的杰出贡献是制作了反射式望远镜，这是天文学史上的一项重大革新。他在天文学上的另一重要贡献是对行星的运动规律进行了全面考察，他证实了开普勒的行星运行的椭圆形轨道以及彗星的抛物线轨道。

牛顿是科学发展史上举世闻名的巨人。他奠定了近代科学理论基础，是以正确的思维方法指导科学研究的代表。他是一位自强、勤奋的“天才”，为世界自然科学的发展做出了不可磨灭的贡献，成为近代科学的象征。

1927年3月20日逝世于肯辛顿村，终年85岁，终生未娶。因为他为他的国家作了巨大贡献，死后葬于威斯敏斯特教堂。

力的三要素 力的大小、方向和作用点。静止在光滑平面上的一辆车，用一较大力推车时，车就较快地运动起来，即车的运动状态改变较快，反之，改变较慢。如果力的作用方向向左，车就从静止开始向左运动。反之，向右运动。可见力的作用效果不但与力的大小有关，也与力的作用方向有关。除此之外，力作用在物体上的位置也可直接影响力的作用效果。如开门时，虽然向同一方向用等大的力，但是若握住把手推门就可以将门推开，而在门轴的边缘上推，门就很难被推开。力作用在物体上的位置叫力的作用点。可见，力的大小、方向和作用点直接影响到力的作用效果。因此，要准确地表示力就必须同时表示出力的大小、方向和作用点，即力的三要素。

力的图示 表示力的大小、方向和作用点的图示。用一根带箭头的线段来表示力，线段的长短表示力的大小，箭头的方向表示力的方向，箭尾表示力的作用点。

用力的图示法作图时，首先选定一个标度（又叫比例尺），然后从力的作用点起，沿作用力的方向按比例画出线段，最后在线段末端画出箭头方向。如图：物体重力30牛，拖车受到500牛的牵引力。

重力 由于地球的吸引而使物体受到的力。重力的方向是竖直向下的，力的单位是牛。

一个物体所受的重力跟这物体的质量成正比。即质量大的物体它所受的重力也大。严格地讲，一个物体所受的重力还跟它所处的地理位置有关。因为地球对物体的吸引作用的大小决定于物体离地心的远近。地球是一个椭圆形球体。如图，一个物体，如果把它放在赤道地带，距离地心远，吸引作用小，如果把它放在南极或北极地带，离地心近，吸引作用就大。所以说同一个物体所受的重力的大小随着该物体所在的地理位置的不同而改变。此外，地球的自转也对物体的重量产生微小的影响。

重心 重力的作用点。每一个物体都可以看成是由很多的微小部分所组成的。每一个微小部分都受到竖直向下的重力的作用，如图甲：因为重力的方向总是竖直向下的，所以这些微小部分所受的重力是彼此平行的。如果把这些力集中于 O 点，则这些力的总和就是物体所受的重力 G，O 点就是物体的重力作用点即重心。

确定重心的方法 质量均匀，形状有规则的物体的重心与它的几何中心重合。例如，棒的重心在其全长的 $\frac{1}{2}$ 处；薄圆板和圆环的重心在圆心处；正方形、长方形、平行四边形薄板的重心在它们的对角线的交点处；三角形薄板的重心在它的三根中线的交点处；球的重心在它球的心处。

如果物体的形状是不规则的，或者质量是不均匀的，若用计算法来确定它们的重心较为复杂。可以采用悬挂法来确定重心。例如，图是一块不规则形状的薄板，把线拴在薄板的任何一点如 A 点上，把它悬挂起来，因为薄板在两个力的作用下处于平衡状态，它受到的重力 G 与线的拉力 F 必在一条直线上，也就是说，它的重心一定在悬线 AF 的延长线上，然后再用另一个点 D 作为悬点，把薄板再悬挂起来，同理，重心一定在 DE 的延长线上，则 AB 和 DE 两根直线的交点 C 即为薄板的重心。

物体的重心可以在物体上面，也可以在物体外面。如图，C 点为该物体的重心。

弹力 物体与其它物体接触发生形变，当物体要恢复形变时，会对跟它接触的物体产生力的作用。这种力叫弹力。

用手压缩或拉伸弹簧，弹簧发生了形变，弹簧就对手有一个推或拉的力，人手受到的这个力就是弹簧的弹力。

吊绳吊起重物，拉紧的绳和重物同时发生微小形变，重物对绳产生向下的弹力，绳对重物产生向上的弹力(图 2)。放在水平桌面上的书(图 1)，桌面与书互相压紧，同时发生微小形变，桌面产生垂直桌面对书向上的弹力，书产生对桌面垂直的弹力。弹力在直接接触的物体发生形变时产生。常说的压力、拉力、支持力都是弹力。支持面的弹力方向总是与支持面垂直，轻绳的弹力总是沿绳绷紧的方向。

应当注意，接触物体间是否有弹力，取决于是否存在形变，由于形变很小时，不易判断，可以采用分析物体运动状态的方法来判断弹力是否存在。图 3 中物体 AB 相互接触，在水平面上以共同速度匀速运动，A、B 之间没有弹力，否则物体 A 或 B 的匀速运动状态就要改变。

胡克定律 弹簧在弹性限度内，弹力的大小 f 跟弹簧伸长(或缩短)的长度 x 成正比，即： $f=k \cdot x$ 。式中 k 为弹簧的倔强系数，单位为牛/米，

它表示弹簧的弹性程度，不同弹簧的倔强系数一般不相同。

如图：倔强系数为 k 的弹簧受到拉力 F_1 时，弹簧的弹力也是 F_1 ，弹簧伸长为 x_1 则 $F_1=k \cdot x_1$ ；弹簧受到拉力为 F_2 时，弹簧的弹力也是 F_2 ，弹簧的伸长为 x_2 ，则 $F_2=k \cdot x_2$ 。在弹性限度内，弹力分别为 F_1 、 F_2 、

F_3 ……时，弹簧的伸长为 x_1 、 x_2 、 x_3 ……则胡克定律为 $\frac{F_1}{x_1} = \frac{F_2}{x_2} = \frac{F_3}{x_3} \dots\dots = k$

弹簧秤 测量力的工具，是根据在弹性限度内弹簧的伸长（或压缩）量跟拉力（或压力）成正比的原理制成的。在制作弹簧秤刻度时，只要画出若干主要刻线，其它刻线可在主要刻线中间均匀分格得到。弹簧秤的刻度是均匀的，常见弹簧秤有图中几种。图(1)，弹簧秤的刻度标在外壳上，弹簧的下端附有指针，从指针位置读出力的大小。图(2)，弹簧秤的内部也是一根弹簧，弹簧下端连着一有刻度的圆柱，测量时，从柱上露出的刻度来读出力的大小。图(3)是压缩式弹簧秤，通过指针在刻度盘上的读数读出重物所受重力的大小。使用弹簧秤时应注意它的测量范围，调整零点（或估读零点）。还应注意弹簧秤的单位和正确读数。

静摩擦和静摩擦力 两个相互接触的物体，在外力作用下，物体间有相对运动趋势，但又保持静止状态时，产生的摩擦叫静摩擦。在接触面上产生阻碍相对运动趋势的力，就是静摩擦力。

静摩擦存在的条件是物体间有相对运动趋势。用力拉地面上物体，物体没有被拉动，放在斜面上的物体但没有下滑，物体和接触面之间都存在着静摩擦。图(1)中物体 A 放在小车上以共同的速度 v 匀速运动时，物体 A 与车之间不存在相对运动趋势，故不存在静摩擦。

物体受静摩擦力的方向，总是与物体间相对运动趋势方向相反，并且沿接触面。图(2)中，斜靠在墙壁上的木棒，接触点 A、B 受到的静摩擦力方向如图所示。

静摩擦力跟使物体产生相对运动趋势的外力是一对平衡力，静摩擦力的大小总是跟这个外力大小相等。外力大些，静摩擦力也大些，但是，静摩擦力随外力增大到一定数值时，物体就要产生滑动，这时的静摩擦力称为最大静摩擦力。在数值上，最大静摩擦力等于静止物体开始运动时所需要的最小外力。

静摩擦力总是阻碍物体间的相对运动趋势，但静摩擦力并不总是作为阻力，汽车之所以能够将车上的重物运走，就是因为物体受到车厢施与它的静摩擦力作用。

滑动摩擦和滑动摩擦力 两个接触的物体，当一个物体在另一个物

体表面上滑动时，产生的摩擦叫滑动摩擦。在接触面上，阻碍相对滑动的力，叫滑动摩擦力。

物体受滑动摩擦力的方向沿接触面，且总是跟物体相对运动的方向相反。滑动摩擦力对物体间相对运动起阻碍作用。滑动摩擦力的大小与接触面的粗糙程度有关，与正压力的大小有关。当压力一定时，接触面越粗糙，物体受的摩擦力越大；当物体在一定粗糙程度的接触面上滑动时，正压力越大，滑动摩擦力也越大。当物体间接触面粗糙程度和正压力都一定时，滑动摩擦力的大小还与接触面的干湿程度有关。如表面抹上润滑油，可以大大地减小滑动摩擦力。实验证明，滑动摩擦力的大小与接触面积的大小无关，与物体运动速度的大小（在低速时）几乎无关。

关于摩擦力产生的原因大概有两种主要说法，一是摩擦的凹凸啮合说，认为摩擦产生原因是由于物体表面的粗糙不平，两物体互相接触时，凹凸不平部分互相啮合，使物体运动受阻引起摩擦。二是分子粘合说，认为滑动摩擦是由紧压着的接触面上分子的引力，引起表面的吸附作用所致。

滑动摩擦力的测量 利用弹簧秤沿水平接触面的方向拉物体做匀速运动，物体在水平方向上受到的滑动摩擦力和弹簧秤对物体的拉力是一对平衡力，弹簧秤上的读数即等于滑动摩擦力的大小。

实验中，应保证底面水平，且拉力也是水平的。否则，拉力与摩擦力将不为平衡力关系，弹簧秤的示数也就不是摩擦力的大小了。利用此实验，当把砝码下断地加在物体上，或改变底面的粗糙程度，重复实验时，就可以考查滑动摩擦力与正压力大小、表面粗糙程度的关系。

滚动摩擦 一个物体在另一个物体表面上滚动时产生的摩擦。滚动摩擦是滚动着的物体所受到的对滚动的阻碍作用。

滚动摩擦形成的原因不同于滑动摩擦，当物体在平面上向前滚动时，支承面因受压而变形，接触前方的支承面隆起，滚动的物体在滚动的过程中，始终处于一种“爬坡”状态，使物体的滚动受阻，形成滚动摩擦。由于滚动摩擦形成的原因完全不同于滑动摩擦，滚动物体受到的滚动阻碍作用和摩擦力是两个完全不同的概念。滚动摩擦比滑动摩擦要小得多，滚动轴承的摩擦约是滑动轴承摩擦的 $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{30}$ 。

增大和减小摩擦的方法 我们可以通过改变正压力的大小、接触面的粗糙程度和干湿程度以及使用不同的摩擦方式——滑动或滚动摩擦方式，来改变摩擦的大小。在生产、生活中无处不存在摩擦，有时候摩擦给我们增加麻烦；有时摩擦又是我们不可缺少的助手。这两方面，需要增大的是有利摩擦，减小的是有害摩擦。

在一些情况下摩擦是不利的，如机器转动时的摩擦，造成机件的磨损，

摩擦生热又造成无益能耗而降低机械效率。锯片锯木头时，在锯片上抹些油；钥匙孔里撒些石墨粉，这些是用加润滑剂的方法来减小摩擦。机器或车辆的转轴部分使用滚动轴承，可以大大地减小摩擦。

很多情况下要增大摩擦，加大摩擦力的方法常用以下几种。一种是增大压力：握住一件东西要用力；骑自行车要迅速停下来，就要用力捏闸。都是用增大压力以使摩擦力增大。另一种方法是使接触面变得粗糙：工具把手、车轮上的花纹；冬天在北方冰雪封冻的路上行车，汽车轮上要带上防滑链，或路面上撒些渣土；体操运动员在器械上做动作，手上要抹些镁粉。都是使接触面粗糙，而使摩擦增大。还有一种常用的方法：就是用增大包角（实际上是增大压力）的方法来增大摩擦。利用皮带轮传递动力时，防止皮带在轮上打滑，就要增加包角；如轮船靠岸时，人们要把缆绳在缆桩上多绕几圈；有时提重物时，我们也经常把绳子在手上多绕上几圈。

合力 如果一个力单独作用在物体上产生的效果，与几个力共同作用在这个物体上产生的效果相同，这个力就叫做那几个力的合力。求这几个力的合力叫做力的合成。

几个力共同作用在物体上，可以用它们的合力来等效代替，是因为这一个力的作用效果和这几个力共同作用的效果是相同的。但是应该注意，这个物体实际受到的还是这几个力的作用，只不过物体受这几个力的作用其最后效果，无论是运动状态的改变，还是发生形变，可以用合力完全代替。

同一条直线上二个力的合成 当两个力沿同一条直线作用在同一个物体上时，这样的两个力的合成方法如下：如果两个力的方向相同，合力的大小等于这两个力的大小之和，合力的方向与这两个力的方向相同，见图(1)；如果这两个力的方向相反，合力的大小等于这两个力的大小之差，合力的方向与这两个力中数值大的那个力的方向相同。见图(2)。物体在这两个力 F_1 和 F_2 的共同作用下，与它们的合力 F 单独作用产生的效果一样。

互成角度的二个力的合成 求作用在同一物体上互成角度的两个力的合力，用力的平行四边形法则。用表示这两个力的线段为两个邻边作平行四边形，它的对角线就表示合力的大小和方向。如图。

求合力可用作图法，按比例和按两个力的夹角做出力的图示，然后按互成角度两个力合成的平行四边形法则，做出平行四边形，其对角线 F 就是合力。量出对角线的长度，按比例算出合力的大小。另外，也可以用计算法更精确的求出合力的大小和方向。

二力平衡 一个物体在两个力的作用下，如果保持静止状态，或匀速直线运动，这二力就是平衡的。作用在物体上的两个力的平衡条件是：作用在一个物体上的两个力，如果在同一直线上，大小相等，方向相反，这

两个力就平衡。

在两个力的作用下，物体处于静止状态或匀速直线运动状态。这两个力一定是一对平衡力，如果知道其中一个力的大小和方向，根据二力平衡条件，就可以确定另一个力的大小和方向。

一对平衡力的合力一定为零。

惯性 物体具有的保持其原来的运动状态不变的特性。一切物体不论在什么情况下都是有惯性的。

当物体不受力时，惯性表现为原来静止的物体仍然静止，原来运动的物体做匀速直线运动。当物体受外力作用时，惯性表现为物体不容易改变原来的运动状态。与惯性有关的物理现象，在日常生活中我们是经常遇到的。如，正在前进的汽车突然停下来，乘客要向前倾倒；赛跑的人跑到终点，要继续向前冲一段距离；静止的小车，在人的推力作用下，不能立即达到一定速度，等等，这些都是物体具有惯性的表现。

在外力作用下，质量不同的物体其运动状态改变的难易程度是不一样的。要推动一辆装满货物的重车比推动一辆空车费力，这是因为空车质量小，运动状态容易改变，重车质量大，运动状态不容易改变。反之，要使一辆重车停下来要比让一辆空车停下来难。所以，物体的惯性是有大小的，质量大的物体惯性也大，质量小的物体惯性就小。

惯性是物体本身的属性，力是物体运动状态发生改变的外因。有人说：“物体从静止到运动时才有惯性”、“物体从运动到静止时才有惯性”等，都是把力的概念和惯性的概念混淆不清的错误说法。

惯性定律（即牛顿第一运动定律） 一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态为止。这是英国物理学家牛顿概括了伽利略等人的研究成果，总结出来的规律。

惯性定律首先提出了惯性的概念，惯性是物体保持原有运动状态不变的属性。定律又描述了物体不受外力时，由于惯性而表现出来的运动规律，一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，正如伽利略所描述的，“任何速度一旦施加给一个运动的物体，只要除去加速或减速的原因，此速度就可保持下去”。可见，物体的运动并不需要力去维持，因而亚里士多德“力是物体运动原因”的观点，在这里受到了批判。定律还明确提出了力的概念，力是改变物体运动状态的原因。也就是说，物体机械运动状态的改变在于物体之间的相互作用力。可见，力是与物体运动状态的改变存着因果联系，这就给我们进一步研究物体运动和力的关系提供了基础和依据。

惯性定律是实际物体运动所遵循的规律性的抽象。总结。由于不受其它物体作用的孤立物体实际上并不存在，我们是不能简单地按字面意义用实验直接加以证明的。

牛顿第一运动定律 （见“惯性定律”）

惯性的应用 惯性是一切物体都具有的属性，惯性现象屡见不鲜。坐在汽车座位上的人，在汽车突然开动时，人要后仰；在汽车突然停止时，人要前倾。人从行驶的车上跳下来，由于惯性，人容易向车行驶的方向上摔倒。这些惯性现象中，运动或静止的物体，受到力的作用，使原来的运动状态发生改变时，物体的惯性就突出地表现出来。

生产和生活中，很多地方都应用到惯性。锤头与锤柄榫的接合松动了，工人把锤柄竖起来在地上磕几下就紧了。这是因为锤子整体向下运动，锤柄受力突然停止，锤头由于惯性继续向下运动。这样锤头就紧套在锤柄上。根据这个道理，我们采用图（乙）、图（丙）的方法，用另外的锤子去击松动的锤子的锤柄，同样可以使松动的锤子磕紧。

气功表演的演员把大又重的石板压在身上，另一演员抡起铁锤猛击石板，石板砸断而石板下的人却一点也没伤，这是因为石板质量很大，铁锤作用在石板上，力很大，但作用时间短，石板来不及运动，就被砸断。再加上石板与演员身体接触面积很大，压强很小，石板砸断，人身很安全。如果换用一小块薄石板，危险性是可想见的。建筑工人把整块砖砍成两半，用一只手托住砖，另一只手用瓦刀猛然向砖砍去，砖被砍为两半，而托砖的手却不会受伤，也是应用了上述道理。

实际生活中，衣服沾上了灰尘，用手拍拍衣服；用铁锹铲土；古代战争中使用的绊马索，等等，都是惯性的应用。

伽利略（1564—1642） 意大利物理学家、天文学家和数学家，科学革命的先驱，历史上他首先在科学实验的基础上融会贯通了数学、物理学和天文学三门知识，改变了人类对物质运动和宇宙的认识，为了传播N·哥白尼的日心说，受到了教会的迫害。并被终生监禁。

伽利略17岁时，遵父命进比萨大学学医，其间对欧几里德几何学和阿基米德力学产生浓厚兴趣，1853年在比萨教堂里注意到一盏吊灯的摆动，随后用线悬钢球做模拟实验，确证了微小摆动的等时性，由此创制出用脉搏计来测短时间间隔。此后，他主要精力转向数学和物理。他发明了测合金成分的秤，先后被聘为比萨大学教授，帕杜瓦大学数学教授，发明了空气温度计，从理论上论证了落体运动和抛体运动规律，发明了望远镜，还发明了比例仪等仪器。

望远镜发明之后，伽利略又致力研究天文学，在天文学上取得了惊人的成就。他的贡献是极其巨大的，伽利略通过天文观测发现月球表面有深谷和平原，发现了太阳黑子活动和太阳自转，观测到金星的盈亏和土星光环，还发现了木星的四颗卫星，认识到银河是由无数星宿组成的……。在可靠事实的基础上，伽利略认识到地球并非一切天体绕之运动的中心。1632年伽利略出版了《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》，从理论上支持了哥白尼日心说，尖锐地抨击了托勒密体系、亚里士多德学派的物理

学和经院哲学。因此，伽利略遭到了罗马宗教裁判所长达几个月的审讯和威胁后，被关进监狱。

伽利略通过对现象的观察，运用数学逻辑和实验事实的分析、推理，准确地寻求物质运动规律，从方法论上把力学研究引上了正确方向。为了证实落体定律，伽利略从一个理想实验，首先对亚里士多德重物比轻物下落快的传统经验说法提出置疑，利用小球沿斜面滚动的方法即小球滚动实验，证实了落体定律，进而又推出了惯性定律，后来被牛顿完善为牛顿第一定律。

伽利略一生贡献巨大，开创了近代物理的研究方法，奠定了牛顿力学的基础，这说明他是伟大的科学家和思想家。

运动和力的关系 力是改变物体运动状态的原因。或者说，力是使物体加速、减速或做曲线运动的原因。

惯性定律告诉我们，在没有力作用于物体时，物体保持静止或以恒定的速度永远持续地运动下去，物体的运动是永恒的，并不需要力去推动或去维持。我们平时见到的，运动物体停止用力它最终要停下来，是什么原因呢？我们通过行驶的自行车停止蹬踏会慢慢停下来进行分析，由于地面对行驶的自行车有与它运动方向相反的摩擦和空气阻力作用，停止蹬踏时，摩擦和空气阻力就是使自行车减速，以至最后停下来的原因。用力蹬车，就是要克服这些阻力对自行车的减速作用，如果没有摩擦和空气阻力的作用，也就根本不需要蹬力去维持其运动，也就是说，维持自行车的匀速运动，并非是缺乏蹬力。和自行车的运动相同，一切物体的运动并不需要力去维持。物体的运动和力之间没有因果关系，力只是和物体运动状态的改变相联系。

运动状态的改变 物体的运动状态，一般是指物体运动速度的大小及运动方向。当物体处于静止或匀速直线运动状态时，物体就处于稳定的运动状态。不论物体运动速度的大小发生改变，或运动方向发生改变，或运动的速度大小和方向同时改变，我们都说物体的运动状态发生了改变。

做变速直线运动的物体，速度大小随时在改变，运动状态也在改变。曲线运动物体，不管其运动速度大小是否改变，其运动速度的方向是随时改变的。例如，撑开淋湿的雨伞，转动手柄，我们见到雨滴沿伞边缘的切线方向飞出；用砂轮磨工具时，火星沿砂轮的切线方向飞出。可见做圆周运动物体的速度方向总是沿圆周的切线方向。大量的实验事实还可以说明物体在做任意的曲线运动时，物体在任何位置的速度方向总是沿曲线的切线方向。所以，曲线运动物体的速度方向总是不断改变的，因而其运动状态总是随时在改变。

物体在平衡力作用下的运动 物体在平衡力作用下，保持静止状态或匀速直线运动状态。

静止在水平桌面上的物体，受到重力和桌面的支持力互相平衡，物体仍保持静止。若用力 F 拖着这个物体沿水平桌面做匀速运动，除了在竖直方向上物体受到的一对平衡力外，在水平方向上，拉力 F 与摩擦力 f 也是一对平衡力。物体所以保持匀速直线运动状态，是由于平衡的几个力对物体运动状态的改变所起的作用互相抵消，物体表现出的运动规律与不受力情况相同，但区别是，“不受外力”是理想情况，实际中是没有的，受平衡力作用则在现实生活中和实际生产中是可见的。

至于物体在平衡力作用下是静止还是做匀速直线运动，取决于物体原来的运动状态。如果物体原来是静止的，受到平衡力作用后，仍旧保持静止状态；如果物体原来是运动的，受到平衡力作用后，将保持匀速直线运动状态。

物体的平衡状态 物体在平衡力的作用下，将保持匀速直线运动状态或静止状态。

物体的平衡状态有两类：(1)静平衡，静止的物体在平衡力的作用下保持静止状态。(2)动平衡，运动的物体在平衡力的作用下做匀速直线运动。需要注意的是，平衡状态指的是物体保持原有状态，不要认为处于平衡状态的物体一定是静止的。

二、压强和浮力

压力 垂直作用在物体表面上的力。互相接触的两个物体之间，如果发生相互挤压，两个物体都会发生形变，因而两个物体间就有压力作用。压力的方向总是与互相挤压的接触面垂直，并且指向受压物体。

如图，物体 A 在水平桌面上静止放置，A 与桌面之互相挤压，产生形变，桌面要恢复形变对 A 产生垂直桌面向上的压力（支持力）N；物体 A 要恢复形变对桌面产生垂直桌面的压力 N。它们是一对作用和反作用力，并且此时压力等于物体的重力。

如图，当物体放在斜面上时，物体与接触面之间的压力，也是大小相等的，但此时物体对斜面压力的大小与物体重力的大小并无等量关系，方向垂直于支持面，压力的大小只与物体由于挤压而产生的形变的大小有关。

压强 物体的单位面积上受到的压力。用 F 表示压力。S 表示受力面积，压强

$$p = \frac{F}{S}$$

压强的单位是牛/米²，专有名称叫帕斯卡。

$$1 \text{ 帕斯卡} = 1 \text{ 牛/米}^2$$

压强是表示压力作用效果的物理量，在压力相同时，压力的作用效果不一定相同。我们用两只手的食指分别去按压有一端被削尖的铅笔两端，按笔尖的手指感到强烈的刺痛时，而另一手指却毫无痛感。这是因为在互相按压时两手指受到笔的作用力是相同的。在尖端，全部力量集中在大约 0.05 毫米²的面积上，对手指发生作用，在末端，全部力量却集中在大约 100 毫米²的面积上，对另一手指发生作用。假如互相按压的作用力为 5 牛，则笔尖对手指的压强为 $\frac{5 \text{ 牛}}{0.05 \times 10^{-6} \text{ 米}^2} = 10^4 \text{ 帕斯卡}$ ；笔末端对另一

手指的压强为 $\frac{5 \text{ 牛}}{100 \times 10^{-6} \text{ 米}^2} = 5 \times 10^4 \text{ 帕斯卡}$ 。

两手指所受压强相差约 10000 倍。显见，在压力相同时，作用面积越小，则压强越大，作用效果也越明显。实际生产和生活中，采用把工具做得尖锐、锋利，减小受力面积增大压强；用增大受力面积减小压强。

我们在谈到压力的作用效果时，要同时注意压力的大小和压力作用面积的大小。如图，面积为 S 的水平桌面上叠放着重力为 G₁ 和 G₂ 底面积为 S₁ 和 S₂ 的两个长方体物体 A 和 B。

B 对 A 的压强 p_{B-A}：

因为 B 对 A 的压力的作用面积等于 B 的底面积 S_2 ,

$$p_{B-A} = \frac{G_2}{S_2}$$

A 对桌面的压强 $p_{A-桌}$:

因为 A 对桌面的压力大小等于 A 和 B 的重力之和 G_1+G_2 ,A 对桌面压力的作用面积等于 A 的底面积 S_1 ,

$$p_{A-桌} = \frac{G_1 + G_2}{S_1}$$

注意：在解此问题时，要把作用面积和物体的表面积加以区别。

压强的定义式 $p = \frac{F}{S}$, 对固体、液体、气体产生的压强均适用，液体内部

压强公式和气体产生的压强都是由这个基本定义式导出的。

帕斯卡 法国著名的物理学家、数学家，同时对哲学和天文学也极有造诣。1623 年 6 月 19 日出生于法国，1662 年 8 月 19 日逝世，终年 39 岁。

帕斯卡从小伶俐聪颖，善于思考。他的父亲对数学颇有研究，母亲也受过良好的教育，在这种环境中，帕斯卡从小就对数学产生了浓厚的兴趣，并在 16 岁时就参加了巴黎数学家和物理学家小组（巴黎科学院前身）。帕斯卡在物理学方面的主要成就在于对流体静力学和大气压强的研究，其最重要的成果，是在 1653 年首先提出了帕斯卡定律。即液体把它受到的压强向各个方向传递的规律。现代的一切应用着的液压机械，都是帕斯卡定律的具体应用。帕斯卡还为证实液体压强的规律做了“几杯水压裂木桶”的实验，曾轰动整个巴黎。验证了液体压强公式的正确性。1648 年，他设想通过实验验证大气压随高度增加而减小的规律。他还发明注射器，水压机，改进了托里拆利的气压计等。帕斯卡同他的合作者皮埃尔详细地测量了同一地点大气压变化情况，成为利用气压计进行天气预报的先驱。

帕斯卡在数学方面也有杰出的贡献，17 岁时就写出了有关锥线的论文，初显才华。随后设计出了加数器，此后在代数、三角学及概率论等方面又有所发现创新，取得了一个又一个的成果。压强的国际单位制单位是以帕斯卡的名字命名的，压强单位：1 帕斯卡=1 牛/米²。帕斯卡取得上述一系列的科学成就时，年仅 30 岁左右。但从 1653 年底开始，他的兴趣转向神学方面，从此，他在科学事业上不再有新的进展。

增大压强和减小压强的方法 由于物体的材料、形状、结构等的不同，物体表面能承受的最大压强是不同的，生产和生活中常常根据实际的需要，来改变对物体表面压强的大小。压强大小与压力和受力面积两个因素有关，改变压力大小和受力面积大小都能引起压强的变化。我们可以用增大压力和减小受力面积的方法来增大压强；用减小压力和增大受力面积的办法来减小压强。在实际应用中，压力的大小有时并不易改变，因此更多的是采用改变受力面积来改变压强。

挑东西的扁担，总是尽量做的宽一点；大型拖拉机和坦克要安装履带；火车的钢轨固定在枕木上，枕木又安装在石子路基上，等等，都是用增大受力面积来减小压强。像针、刀子、锥子、斧子等，做得尖锐、锋利，都是利用减小受力面积来增大压强的。有一种不带针头的注射器，外形像一支手枪，“枪口”细小，注射时，从“枪口”射出一束纤细而高速的药液流，对肌肤产生很大的压强，迅速注入体内，病人毫无痛苦。

帕斯卡原理 加在密闭液体上的压强，能够大小不变地被液体向各个方向传递。帕斯卡原理是流体力学中一条重要规律，在生产技术中有很广泛的应用，液压机及机械中的液压传动装置，都是根据这一原理制成的。由17世纪法国科学家帕斯卡通过实验的方法首先提出来的。

我们可以通过如图所示装置来验证此定律。在瓶中装多半瓶水，瓶口用橡胶塞子密封，塞子上插入四根玻璃管，其中三根插入水中不同深度，管口朝不同方向，此时瓶里的水面与三根玻璃管中水面相平。由打气球通过管A向瓶内水面加压，我们可以见到各管中水面上升的高度相同。这个现象表明，被压缩的空气对水面产生的压强，由液体大小不变地传递到液体不同深度、不同方向上去。

帕斯卡原理对所有的流体都是适用的。

液体内部的压强 液体具有流动性，因为受重力，当液体存放在容器中时，液体内部相邻各部分之间会发生相互挤压作用，因而液体内部存在着由于重力而产生的、向各方向的压强。液体内部压强可以用压强计来测量，还可以用公式来进行计算。如图中，设想在密度为 ρ 的液体内部 h 深处有一水平小液片，面积为 S ，其上面所承受的压力 F 的大小，就是以 S 为底， h 为高的液柱的重力 Shg ，根据压强公式，则 S 上所承受的压强

$$p = \frac{F}{S} = \frac{Shg}{S} = \rho gh \quad (g = 9.8 \text{ 牛/千克})$$

所以，液体内部的压强为 $p = \rho gh$ ，随液体的深度增加而增大，只与液体的深度和密度有关，而与容器中液体总量无直接关系。而且由于液体具有流动性，当液体处于平衡态时，在液体内部同一水平面上前、后、左、右各个方向上压强必然相等。

如图，甲、乙、丙三个形状各异的容器，但它们的高度和底面积相同，当把它们装满水，虽然各容器中水量不同，但容器底所受压力却都相同。甲容器侧壁向外倾斜，水对侧壁产生压力作用，同时，器壁对水也产生反作用的压力 A ， A 的作用产生两个效果， B 的作用效果支持斜壁上方的水，而 C 的作用效果只是产生水平方向的压力。所以，甲容器底受到的压力，等于容器底所对竖直上方水柱的重力。乙容器侧壁向内倾斜，器壁对水的压力 D 的两个效果，其中 E 向下，经过水传到容器底，使容器底受到的总压力，等于底面所对竖直上方水柱的重力。同样，丙容器“肩部”水平顶壁对水的压力 H ，也传到容器底。

总之，不同形状容器底面上所受液体的压力，等于以这个容器的底为底，与所装液体深度一样高的液柱的重力。

连通器 几个容器它们的上部与大气相通，而底部互相连通所构成的容器叫连通器（如图）。在连通器里如果只有一种液体，在液体不流动的情况下，各容器中的液面总保持相平。

U形管是一种连通器，假若底部A处装有阀门，两管中装有不同高度的、密度为 ρ 的同种液体，打开阀门后，两管中的液面将如何变化呢？设想在A处有一小液柱，则小液柱将受到左管中液体向右的压强 $p_1 = \rho gh_1 + p_0$ ，和右管中液体向左的压强 $p_2 = \rho gh_2 + p_0$ ， p_0 为大气压强，显然 $h_1 > h_2$ ，则 $p_1 > p_2$ ，液柱受到不平衡压强的作用将向右移动，所以液体将从左管向右管中流动。只有当 $h_1 = h_2$ 时，则 $p_1 = p_2$ ，这时U形管内的液体将静止不动，液面相平。

如果连通器各容器中，分别盛有密度不同且不相混合的液体，在液体静止时，各容器中液面不再相平。这是由于在连通器底部选取的小液柱受到各容器中液体的压强相同，但由于各容器中液体密度不同，产生相同的压强，其高度也不相同，所以各容器中液面不相平。

在实际生活中，茶炉、锅炉水位计，自来水装置，过路涵洞，船闸等都是利用了连通器原理。

喷泉 在如图所示的容器中，装满水后把中间管口的塞子拔掉，水就会从这里喷出来，中间管口与两边容器水面高度差越大，水也就喷得越高。根据连通器原理，底部相连通的各容器中水面应保持相平，而三个管中水面高度不同。当拔掉中间管口塞子后，水要向中间流动而从低管口喷出，就形成了喷泉。

自然界形成喷泉的地方，地势一般都较低，附近含水层的水位较高，当地势低处有缝隙时，就有水从缝隙处喷出，形成喷泉。

人造喷泉，则是利用水泵加压的办法使水喷出，不是根据连通器原理制成的。

压力喷雾器 农业生产中经常用来消灭病虫害的植保器械，它的工作过程利用了气体的压强和体积的关系。气体的体积在改变时，它的压强也随着改变。实验表明，在温度保持不变的情况下，一定量的气体，体积减小，压强就增大，体积增大，压强就减小。如图，是常用的背负式喷雾器构造。

当通过手柄提起唧筒内的活塞时，贮液筒内的药液就在大气压的作用下，推开唧筒下方的钢球进入唧筒内。压下活塞时，活塞下的药液把唧筒

下方的钢球压紧，药液不能回到贮液筒，液体推开空气室下方的钢球，进入空气室里。如此反复压动手柄，就可使空气室里的药液逐渐增多，空气室上方空气体积减小，压强增大。打开喷头的开关，药液在压缩空气压强作用下，就从喷头喷出来。

实际生产中，还可用汽油机带动的高压水泵代替手工操作的唧筒，可以使喷雾器排液量更大，射程更远，适合在果园、农田等地广泛使用。

自来水设备 城市里日常用水及工业给水都是自来水，自来水厂把水从河、湖、井中抽出来以后，通过管子引到过滤池，经过净化、消毒等程序，使其达到饮用标准，然后再用高压水泵送到水塔的水箱里，再通过总水管和分水管，把水送到家庭或用水单位。

自来水设备实质上就是应用了连通器原理而制成的，水塔和复杂的分支管构成大型连通器，水塔一般都要建得高于供水的建筑物，当用户打开水龙头时，由于水塔内的水面比水龙头处高，而产生压力差，水将从水龙头流出。水塔水面与水龙头处高度差越大，则水产生的压力也越大，出水就越急。

虹吸现象 由于大气的的作用，液体从液面较高的容器，通过曲管越过高处流入液面较低的容器的现象，曲管称为虹吸管。

在日常生产、生活中，虹吸现象应用广泛，如：给鱼缸换水；汽车司机用橡胶管从油桶中吸出汽油或柴油；我国黄河的中、下游的水面大都高出堤外的地面，在河南、山东一带就应用虹吸现象来引黄河水灌溉农田。

船闸 人们在修建水库和水利发电站时，往往要修建高高的大坝来提高水位，这样，就隔断了大坝上、下游船只的航行。为了解决这个问题，人们就利用连通器原理，在大坝旁修建了船闸。

船闸主要由和上、下游连通的闸门、输水阀门和闸室构成。当上游处的输水阀门打开时，上游和闸室就构成了一个连通器，当闸室水面上升到与上游水面相平时，打开上游的闸门，上游的船只就可进入闸室。关闭上游处的输水阀门和闸门，再打开下游处的输水阀门，闸室和下游就又构成了一个连通器，闸室中水顺输水阀门进入下游，当水面下降到与下游水面相平时，打开与下游连通的闸门，闸室中的船只就可以开到下游去了。同理，下游的船只也可以航行到上游去。

我国的葛洲坝船闸是世界上少有的巨型船闸之一。

马德堡半球实验 这个实验是在 1654 年 5 月 8 日，德国科学家奥托·格里克，在他做市长的马德堡地方做了一次公开的实验。他用的是直径约 37 厘米的两个铜制半球，两个半球能完全吻合，把皮圈压在两个半球之间；同时涂上蜡和松节油的混合物，防止漏气。在一个半球上装了一个活栓，可以抽掉里边的空气，并防止外面的空气钻进球里。两个半球上还安装了四个环，穿上绳子，绳子再缚在马的驾具上就可对拉。实验时，首

先抽出球里的空气，然后用 16 匹马，其中八匹拉向一面，另八匹拉向另一面，用尽全力也没能将合在一起的两个半球拉开。这个实验证实了大气压对物体表面压力之强大。可是只要把活塞转一下，使空气进入球内，两个半球就很容易被手拉开。那么，作用在两半球表面上的压力有多大呢？我们知道空气作用在每平方厘米表面积的压力大约为 9.8 牛，大气压作用在半球上的有效面积（这里指圆面积，而不是半球的表面积）约 1070 厘米²，即每平方厘米表面积上的压力在 9800 牛以上，所以，每一边都应用 9800 牛以上的拉力，才能将球拉开。

应该弄清的是，马沿水平方向的拉力是由马和地面的摩擦而产生的，估算一下，一匹健壮的马体重约 400 千克，而摩擦力大约是马体重的 30%，约 1176 牛。那么，要获得 9800 牛的拉力，每边至少要用 9 匹马对拉，才能将马德堡半球拉开。

覆杯实验 实验过程中，首先要选取杯口平滑的玻璃杯，杯中灌满水以溢出为准，然后选用类似明信片质地的硬纸片盖严杯口，一只手拿杯，另一只手按住纸片迅速倒置，缓慢松开按纸片的手。纸片连同杯中的水在大气压强的作用下而被支持住。这个典型的实验，证实了大气压的存在。

杯口纸片不会掉下来的原因，是由于空气对纸片的压强大于杯中水对纸片的压强。常用玻璃茶杯的杯口（直径 8 厘米）面积约 5.0×10^{-3} 米²，装水约 0.5 千克，倒置后，水由于重力对纸片产生的压强约 1.0×10^3 牛 / 米²，而大气压的值约 1.0×10^5 牛 / 米²，大气的压强远大于杯中水对纸片的压强，所以，纸片连同水在大气压强的作用下而被支持住（如图甲）。实验中，若杯中水不满，或倒置时漏水，则杯中由于还有空气实验不能成功。（如图乙）由于杯中水柱和杯中存有的大气对纸片的压强 $p_{\text{水}} + p_0$ ，大于外界大气对纸片的压强 p_0 的原因。

托里拆利实验 测定大气压数值的著名实验。把长约 1 米、一端封闭另一端开口的玻璃管装满水银，用手指堵住管口，倒置于水银槽中，放开手指，发现无论玻璃管长度如何，粗细和倾斜程度如何，管内水银柱的垂直高度是 76 厘米（如图甲）。这个实验由意大利物理学家托里拆利在 1642 年首先完成，后人称这一实验为“托里拆利实验”，完成这一实验用的玻璃管为“托里拆利管”。这个实验是如何测出大气压值的呢？

如图乙，在托里拆利实验水银槽内，有一 U 型管连通器，左接托里拆利管口，右接大气。在连通器底部选一小液柱，小液柱受到向右压强，由托里拆利管内 h 高水银柱和槽内 h_1 高水银柱产生（托里拆利管上端为真空），有 $p_1 = \rho gh + \rho gh_1$ ，向左的压强，由大气压强 p_0 和槽内 h_1 高水银柱产生，有 $p_2 = p_0 + \rho gh_1$ ，由于小液柱平衡， $p_1 = p_2$

则

$$\rho gh + \rho gh_1 = p_0 + \rho gh_1$$

$$\rho gh = p_0$$

空气的压强 p_0 与管内水银柱高度所产生的压强 gh 是相等的,使管内水银柱具有一确定的高度,利用水银柱的高度测得大气压强

$$\begin{aligned} &= gh \\ &= 13.6 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3 \times 9.8 \text{ 牛 / 千克} \times 0.76 \text{ 米} \\ &= 1.01 \times 10^5 \text{ 牛 / 米}^2 \\ &= 1.01 \times 10^5 \text{ 帕斯卡} \end{aligned}$$

由于液体压强只与液体高度和密度有关,在大气压保持不变时,换用粗细不同的玻璃管、或改变管子的倾斜程度,管内水银柱竖直高度总是不变的。

托里拆利 意大利物理学家、数学家。1608年托里拆利出生在意大利的一个贵族家庭,1628年去罗马学习数学,1641年在他的数学教师开斯脱里的建议下,去佛罗伦萨拜访了大名鼎鼎的伽利略,并成了伽利略的助手,帮助整理著作。不久,伽利略去世,托里拆利接替伽利略任佛罗伦萨学院物理学和数学教授,后被委任为宫廷数学家,直到1647年逝世,终年只有39岁。

托里拆利的科学研究主要是在1644年以后进行的,虽然只有短短的五六年时间,但所取得的成果却有重大的意义。他在物理学方面最有成效的工作,是对空气压强问题的研究,他做了著名的、后人称之为“托里拆利实验”的研究,并获得了“托里拆利真空”,这是世界上首次人工获得的真空状态,他从实验上解决了空气是否受重力作用和真空是否可能存在的两个重大课题。并根据自己的实验,提出了可以利用水银柱高度来测量大气压,于1644年与他人合作,制成了世界上第一个水银气压计。

托里拆利在数学方面也颇有造诣,他成功地结合力学问题来研究几何学,解决了很多十分复杂的几何难题。

标准大气压 大气压的值是通过在托里拆利实验中水银柱产生的压强 $P = gh$ 来测算的,而不同地区的大气压能支持的水银柱高为760毫米上下,通常把等于760毫米汞柱的大气压叫做标准大气压。而由于水银柱的密度与温度有关,温度高时,水银的密度小些,温度低时,水银的密度大些; g 值也与测量地点的纬度和海拔高度有关。所以,不同地区、不同气候条件下,大气压同样支持760毫米汞柱,还是不能准确地规定标准大气压的值。1954年第十届国际计量大会决议声明,标准大气压定义为:

$$1 \text{ 标准大气压} = 101325 \text{ 牛 / 米}^2$$

准确地说,只有在纬度 45° 的海平面上,温度是 0°C 的时候,760毫米汞柱的压强才相当于1个标准大气压。

大气压的变化 大气压不是固定不变的,不但在不同的地方大气压可能不同,即使在同一地方大气压也随气候等因素在变化。

大气压是由大气的重力产生的,离地面越高的地方,空气越稀薄,空气密度越小,那里的大气压也越小。实验表明,在海拔两千米以内,平均每升高12米,大气压约降低1毫米汞柱。利用大气压随高度变化的规律可

以估测高度的变化。如，测得一栋楼的最下层大气压为 755 毫米汞柱，最顶层大气压为 751 毫米汞柱，说明大气压降低了 4 毫米汞柱，这座楼房大约有 48 米高。一般在海拔较高的高原地区，大气压比海拔较低的平原或沿海地区要低，大气较稀薄，大气含氧量缺少，长期生活在平原地区的人，体内器官、血液、细胞等已完全适应了当地的大气环境，而在高原低压缺氧的环境下，人就会出现呼吸困难、心跳加剧、头晕、步履艰难等所谓“高原反应”的症状。

另外，同一地方的大气压还随着温度、湿度等因素而变化。一般情况下，冬天的气压比夏天高，晴天气压比阴雨天高。所以，大气压的变化也是天气预报的重要依据之一。

大气压的应用 地球被空气包围着，空气随处都在对人和物体施与压强的作用。我们的生活和生产实践过程也需要大气压的帮助。做实验时使用的滴管；护士用注射器吸取药液；抽水机抽水；用吸管喝汽水等等，都是借助大气压的作用完成的。

有一种吸盘式简易挂钩（如图甲），它是用圆盘状橡皮，上附有一挂物的钩，把橡皮圆盘用水浸湿后，压在门窗的玻璃上，因为橡皮与玻璃之间没有空气，外界大气的压力把它紧紧压在玻璃上，下边即可挂物体。工厂里还有一种“真空吊”也是利用这种原理工作的机器（如图乙），如果直径为 40 厘米的吸盘，大气在其上面约可产生 1.2 吨的压力。利用“真空吊”可以用来吊起玻璃板、钢板等表面光滑的物体，工作时，使吸盘与物体表面紧密接触，只要抽出吸盘中间的空气就可工作。

抽水机 也叫水泵，它是利用大气压工作的。主要有活塞式抽水机和离心式水泵。

活塞式抽水机，根据构造上的区别，有两种（如图甲、乙），一种活塞上有阀门，一种活塞上没有阀门。图甲中，当把握柄带动活塞下降时，活塞下边的水受压，入水阀门关闭，同时推开水阀门，使水达到活塞上部。当活塞再提起时，出水阀门关闭，在活塞下边的筒内形成低压，井水在大气压的作用下，冲开进水阀门进入筒内，活塞往复提起，水就被提升到高处。图乙中，活塞上没有出水阀门，出水阀门装在出水管底部，当把握柄带动活塞上升时，因筒内压强降低，水跟着升起，而活塞下降时，其压力使进水阀门关闭，同时推开水阀门，从水管流出。

离心式水泵则是利用叶轮的旋转，造成叶轮附近出现低压区，使水在大气压的作用下，推开底下进水阀门进入泵体。叶轮的旋转可以由电动机来带动（如图丙）。

各类抽水机以及注射器等，事实上都是要首先造成真空（或低压区），

以便使管外的大气压把液体压入管内。

水银气压计 测量大气压的仪器。其原理构造，就是将托里拆利管装在金属壳内，并在上边刻上刻度，全部构造如图，其下端有水银槽 E，在螺旋 A 的控制下可以改变槽内水银面的位置，水银面上方有一象牙针 B，气压计的上端有刻度尺 C，为同时测温度，还附有一个温度计 D。

使用时，先旋转下面的螺旋 A，使槽内水银面刚好与象牙针 B 接触，因为刻度尺上所有刻度是从象牙针的针尖算起的。然后从刻度尺处就可读出管中水银柱的高度，也就是当时、当地的大气压。

无液气压计 常用的无液气压计是金属盒气压计。它的主要构造是一个波纹状表面的金属盒，盒内的空气被抽出，为了不使金属盒被大气压压扁，用弹性钢片向外拉着它。当大气压增大时，盒盖就被压得凹进去一些，大气压减小时，弹性钢片就把盒盖拉出来一些。盒盖的变化通过传动装置传给指针，使指针偏转，指针下标有刻度，从刻度盘上读数，就可以知道当时的大气压值。

因为大气压随高度的变化有一定的规律，按照这个规律，在无液气压计刻度盘上刻上相应的高度，就变成了高度计，为航空、登山提供了方便。无液气压计结构简单，使用方便，但测量结果不如水银气压计准确。

阿基米德定律 浸在液体里的物体受到向上的浮力，浮力的大小等于物体排开的液体所受的重力。阿基米德定律是由古希腊学者阿基米德经过实验和严格的逻辑方法论证的。

若用 $F_{浮}$ 表示物体在液体里受到的浮力， $G_{排}$ 表示物体排开的液体所受的浮力， $\rho_{液}$ 表示液体的密度， $V_{排}$ 表示物体排开液体的体积，则有

$$F_{浮} = G_{排} = \rho_{液} V_{排} g \quad (g = 9.8 \text{ 牛 / 千克})$$

如图，在弹簧秤下挂一金属块，把金属块由水面逐渐浸入水中，弹簧秤的示数逐渐变小，因为金属块在浸入过程中， $V_{排}$ 增大，所以金属块所受的浮力逐渐增大。但当金属块全部浸没水中以后，无论金属块在哪个深度，弹簧秤的示数却不再改变。如果把同一金属块再浸没在酒精中，会见到弹簧秤的示数比把它浸没在水中时大，这是因为酒精的密度小于水的密度，虽然 $V_{排}$ 相同，金属块浸没在酒精中受到的浮力比浸没在水中受到的浮力小，弹簧秤的示数则大些。

物体所受浮力的大小只与 $G_{排}$ 有关，即只与 $\rho_{液}$ 、 $V_{排}$ 有关，与物体本身形状、质量等因素无关。阿基米德定律还适用于气体，浸在气体中的物体受到向上的浮力，浮力的大小等于物体排开气体所受的重力。

阿基米德 公元前 287 年至公元前 212 年，古希腊著名学者、数学家、物理学家和发明家。生于叙拉古国的一个数学家和天文学家的贵族家庭。11 岁时，曾在埃及的文化中心亚历山大里亚学习，是欧几里德的学生。他一生热爱科学，在物理、数学、机械和建筑等方面都作出了贡献。

阿基米德在力学方面的成就尤为突出，是公认的古代理学最伟大的力学家，著名的浮力定律就是他发现的。并设计制造了称为“尤里卡”的仪器，即实验室通常所用的溢水杯。他还定量地总结出杠杆定律，巧妙地利用和发明了滑轮和螺旋器。他是一位重视实验的发明家。曾创造了许多仪器和机械，特别是在军事上的发明甚多。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。在光学方面，他描述过光的直线传播和光的反射定律，并研究了凹镜把反射光会聚在一点的特性。

阿基米德在数学上也颇有建树，他证明了圆周率在 $3\frac{1}{7}$ 到 $3\frac{10}{71}$ 之间，研究了曲线长度，球和圆锥的表面积及体积的计算方法。在天文学方面，他曾制作一具行星仪，并制成了一架测算太阳对向地球角度的仪器。

正因为他的这些杰出贡献，因此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”，“是理论天才实践天才集中于一人的理想化身，与近代的伟大人物相匹配在一切领域都有巨大的独创和真正的发现。”公元前 212 年叙拉古国沦陷的时候，他悲惨地牺牲在一个罗马士兵的手下，当时他正在专心研究问题。

真假皇冠的识别 传说阿基米德是在洗澡时，头脑里突然闪现出解决希罗王的金冠内是否掺了银的正确方法，立即跳出浴缸，在回家的路上边跑边喊：“尤利卡！尤利卡！”（意思是：我找到答案了！）回到家后，他分别利用和王冠同重的一块金子和一块银子进行实验。一种说法是，他利用洗澡时，浴缸里水外溢找到的测体积的办法，分别测出王冠、金块和银块所排出来的水的体积，也就得出王冠，金块和银块的体积。据此算出王冠的比重：

$$\text{王冠比重} = \frac{\text{王冠的重力}}{\text{同体积水的重力}} \text{ 与金的比重进行比较，判断王冠中的金}$$

含量是否纯。一种说法是，先称出王冠的重力，再称出王冠在水中的重力，由此再测定它减少的重力，也就是水对王冠的浮力，算出王冠的比重：

$$\text{王冠比重} = \frac{\text{王冠在空气中重}}{\text{王冠在空气中重} - \text{王冠在水中重}}$$

从这些数据中找到了答案。也可能阿基米德解决这个问题时，应用了这两种方法。

我们现在试验浮力的仪器（如图），就叫“尤利卡”，是用玻璃制成的。阿基米德当时使用的“尤利卡”，并不是用玻璃做的。现在国际上有一种创造发明奖，是用“尤利卡”命名的。叫“尤利卡”发明奖。

科学的发展和发明是和人们的生产、生活实践分不开的，而且要经过反复地实验和周密的思考论证。至于阿基米德由洗澡而发现了“阿基米德定律”，就像牛顿见到苹果落地发现了有引力定律一样，只能是一种传说。但是阿基米德确实给我们提供了测不规则物体体积的方法。

浮力的计算 常用的计算浮力的方法有以下几种。

(1)根据浮力产生的原因

浸在液体中的物体所受的浮力等于物体上下表面受到的压力差： $F_{浮}=F_{向上}-F_{向下}$ 。用此方法可以用来计算形状规则的物体所受的浮力。

(2)利用弹簧秤测得的数据计算

这属于实验的方法。把物体挂在弹簧秤下端，测得物体在空气中的重力 G ，物体浸在液体中时，弹簧秤的示数 G' （又称做视重），则有： $F_{浮}=G-G'$ 。

(3)根据阿基米德定律

浸在液体里的物体受到的浮力 $F_{浮}=G_{排}= \rho_{液} V_{排} g$ ，若浸在液体里的物体不存在上、下表面的液体压力差，则不能使用此方法。

(4)根据物体的浮沉条件

漂浮在液面、悬浮在液体中的物体，受到的浮力与物体的重力平衡： $F_{浮}=G_{物}$ ，也可以求出物体所受的浮力。

在解决有关浮力问题时，采用哪种方法，要根据具体情况，分析清楚物体所处状态及物理过程，再选择恰当的方法，切不可乱套公式。

例如，直径为 0.8 分米的实心铁球，浸入一个高 4 厘米、底面积为 10×10 厘米² 装满水银的容器中，求铁球受到的浮力时，若根据铁球的漂浮条件： $F_{浮}=G_{铁球}= \rho_{铁} V_{球} g$ 计算就错了。仔细分析可知，铁球若漂浮，则应有大半以上的体积浸在水银中，由于水银容器的高度限制，铁球在其中并不处于漂浮状态，而与水银容器底部接触有相互作用，计算浮力应该用

$$\text{阿基米德定律：} F_{浮} = G_{排汞} = \rho_{汞} \cdot \frac{1}{2} V_{球}^* g \cdot \left(V_{球}^* = \frac{3}{4} R^3 \right)$$

浮力的应用 利用浮力可以帮助我们做很多事情。我国古代三国时期曹冲称象、孔明灯，宋朝怀丙捞铁牛等，就是利用水和大气浮力的例证。到了现代，人们已用轮船进行水上运输，用热气球、充氦飞艇作为重要的运输、空中摄影等的工具。利用水路运输可以大量节省能源。木材和竹材运输，就可以扎成木排、竹排放入水中靠水的浮力顺流而下，还可免去用船装运，大量节省运输费用。利用空气浮力，气象部门用探测气球来获取高空气象资料。现代战争中制成空飘雷封锁天空。

地质勘探队员，常带的一种轻便仪器——“浮力秤”，就是利用水的浮力测矿石密度的工具。如图所示，浮力秤是中空而上下两端呈圆锥状的圆筒，筒的下端挂有一金属筐，上端连接直棒，直棒中腰刻有一条“中腰线”，突出水面的一端有一盘，可放砝码。要测矿石密度时，首先（如图甲）把浮力秤放入水中，在顶盘里放入适量砝码，使它下沉到“中腰线”与水面平齐，记下盘中砝码总质量。然后（如图乙）拿去全部砝码，放上矿石后再放上适量砝码，使它再下沉到“中腰线”与水面平齐。与前次比较，减少的砝码质量就是矿石质量。最后（如图丙）把矿石再放入下边金属筐里，浮力秤会上浮一些，此时在盘中加些砝码再次使它下沉到“中腰

线”与水面平齐，根据阿基米德定律，所加入的砝码质量等于矿石排开水的质量，因此可以算出矿石的体积。

矿石的质量和体积被测出后，矿石的密度即可算出来。

物体的浮沉条件 浸入液体中的物体都受到浮力，木块在水中上浮，而铁块在水中却要下沉。如图，分析浸没在液体里的物体受力情况可知，物体受到浮力和重力的作用，重力方向竖直向下，浮力方向竖直向上。物体的浮沉，就决定于物体受到这两个力的大小关系。

如果 $F_{浮} > G_{物}$ ，物体就上浮，直到物体露出液面后，由于 $V_{排}$ 逐渐减小，物体受到液体的浮力也逐渐减小，当 $F_{浮}$ 减小到等于 $G_{物}$ 时，物体就漂浮在这个位置。

如果 $F_{浮} < G_{物}$ ，物体就下沉，直至物体沉到容器底。

如果 $F_{浮} = G_{物}$ ，物体受到的浮力和重力平衡，物体可以在液面下任何地方停留。

对于均匀的实心物体，浸没在液体中

$$F_{浮} = \rho_{液} V_{排} g \quad G_{物} = \rho_{物} V_{物} g$$

而 $V_{排} = V_{物}$ ，所以实心物体的浮沉，可以通过比较液体密度 $\rho_{液}$ 和物体密度 $\rho_{物}$ 的大小关系，来加以判断，

若 $\rho_{液} > \rho_{物}$ ，物体上浮

若 $\rho_{液} < \rho_{物}$ ，物体下沉

若 $\rho_{液} = \rho_{物}$ ，物体悬浮

一般木头的密度小于水的密度，浸在水中的木头上浮，而有的木头质地紧密，其密度大于水的密度，也是能沉入水中的；铁块的密度大于水的密度，铁块在水中下沉，而铁块密度比水银密度小，铁块在水银中上浮，最后将漂浮在水银表面。对于一般质量不均匀（可能空心）的物体，就要比较该物体的平均密度与液体密度的大小关系，来判断它在其中的浮沉情况。

物体的浮沉，无论是比较浮力与重力的关系，还是比较其密度关系，都是一致的。物体的浮沉条件也适用于气体。

船的排水量 轮船装满货物后排开的水重。也就是船在满载时，所受到的浮力，如果扣去船身自重，就可算出船的载货量。如，排水量为 22100 吨的船身重 8700 吨，它能装货 13400 吨。通常用排水量来表示轮船的大小，小型轮船的排水量约为几百吨，远洋巨轮的排水量可以达到几万至几十万吨。

在轮船的船舷上都有一条“吃水线”，“吃水线”上面漆成一种颜色，下面漆成另一种颜色，两种颜色的分界线就是“吃水线”。轮船装货越多，船身越往下沉，船也就“吃水”越深，当装货到“吃水线”与水面齐时，

就不能再装了，否则“吃水”过深，船在航行中遇到大风浪就有沉没的危险。

曹冲称象 相传 1700 多年前的三国时期，孙权送给曹操一头大象。曹操心血来潮，很想知道大象有多重，就问同来观看的人，谁有办法称出大象有多重？当大家无计可施时，曹操有个儿子，叫曹冲，年仅 7 岁。提出了一个妙法：只要把大象赶到一艘大船上，看船身下沉了多少，在齐水面的船舷上刻下标记，再把大象赶上岸，把一筐一筐的石头抬到船上，一直装到原来标记的吃水深度为止，把船上的石头逐筐过秤，加起来就是大象重。按曹冲的方法去做，果然称出了大象的重。

船上载的货物越重，船身就越往下沉，同一条船，前后两次载货重相等，船身没入水中的部分就相等。幼年的曹冲就是根据这些知识巧妙地解决了称大象这个难题。现在我们知道，浮在水面上的船的重力，与船受到的浮力是一对平衡力。由阿基米德定律知道，浮力又等于船排开水的重力。所以，船载货时，船重增加，船的排水量也就增加，船身也就越往下沉些，前后两次载货重相等，船身两次吃水深度也必然相等。如果把船载不同重力时的吃水深度刻上标记，船也就可以作为称重物的测量工具了。

浮沉子 用来观察物体浮沉现象的一种仪器，由法国科学家迪卡尔首先创造的。它的构造如图，在一端开口的小瓶中装些水，但不要装满，然后把它倒放在盛了水的玻璃筒里，使小瓶恰好刚可以浮在水面，并用橡皮膜把筒口蒙住扎紧。

当用手向下按橡皮膜时，筒内水面上的空气被压缩，对水面的压强增大，密封在筒中的水把这个压强向水中各个部分传递，水被压入小瓶中，把小瓶中的空气压缩，这时浮沉子的重力大于它受到的浮力而下沉，手脱离橡皮膜，筒内水面上的空气体积增大，压强减小，浮沉子里面的压缩空气把水压出来，它的重力小于它受的浮力，因此就上浮。利用浮沉子可以很方便地观察物体上浮、下沉、匀速运动、停留在液体任何深度的地方等，各种浮沉现象。

大气压的变化跟天气有密切的关系，晴天的气压比阴天的要高，适当调节橡皮膜的绷紧程度，使浮沉子在晴天气压时沉入水中，阴天气压时浮出水面，这样就可以用它来预报天气变化。

自制浮沉子，可利用一个大塑料饮料瓶，装上水，再找一个小玻璃瓶装一部分水，及一块气球膜，经过调节安装可制成浮沉子。

气球、飞艇 气球和飞艇都是利用空气的浮力升入高空的，它们的主要部分是气囊，气囊中充有密度比空气小的气体：氢气、氦气或热空气。气球、飞艇的升降是通过“充气”或“放气”来控制的。充气时，气囊体积增大，当空气浮力大于气球或飞艇自重时，就上升。放气时，气囊体积缩小，当空气浮力减小到小于气球或飞艇自重时，就下降。在充、放气过

程中，气球、飞艇的自重的变化，远小于其受到浮力的变化，所以，气球、飞艇都是靠调节浮力大小来控制升降的。

气球的发明可以追溯到古代，在我国公元前二世纪《淮南子》一书中，就记载有利用热空气升空的灯笼，相传是诸葛亮发明用来传递军事信号的，称为“孔明灯”。最早的载人热气球是 1783 年法国蒙特哥菲尔兄弟制成的，同年法国人夏勒耳制做了氢气球，后又改为氦气球，使之更加安全可靠。近代，气球广泛用于高空观测、空中运输及通讯转播等。飞艇的优点是，消耗能量少、载重量大、飞行平衡、没有污染、能垂直起落和悬浮在空中。法国“大力神号”飞艇一次就可以吊起上千吨的货物。飞艇在生产、生活中仍有相当广泛的应用。

潜水艇 在军事上，可作为进行侦察和作战的一种重要战争装备，在生产和生活中，还可以用做海底考察、游览及水下运输。

潜水艇的浮沉是靠改变自身的重力来实现的，它的两侧装有水舱，通过水舱的“喝水”或“吐水”的办法，就可改变自身重力。当潜水艇需要从水面下沉时，就向水舱里充水，于是潜水艇自重增加而潜入水中，充入适量的水，潜水艇就可以在水中任意深度停留。当潜水艇需要上浮时，就用压缩空气排出水舱中的水，于是潜水艇的自重减小而浮出水面。

潜水艇从水面下沉的过程中，在没有完全浸没水中时，其所受浮力是随着浸入体积的增大而逐渐增大的，而当潜水艇全部浸没在水中以后，浮力就不再改变。所以，潜水艇完全浸没水中，只有靠改变自身重，而不是靠改变浮力来控制其浮沉的。

因为潜水艇的艇身能承受的压强有一定的值，潜水艇下潜的深度有一定的限制，现代的潜水艇至多能承受住 25~30 个大气压，这就决定它们至多只能下沉到 250 米~300 米的深处。

三、简单机械功和能

杠杆 在力的作用下，能绕固定点（或轴）转动的硬棒。“转动”是杠杆的特点。“在力的作用下”中的力是指作用在杠杆上的动力和阻力。动力使杠杆绕固定点朝某一个方向转动；阻力则阻止杠杆绕固定点朝某一方向转动。“硬棒”是指受力后形变可以忽略不计的物体。这里说的棒是广义的，不仅仅是直棍，外形可以是多种多样的。例如：筷子是直的，剪刀是弯的，独轮车、自动卸货汽车的翻斗从外形上看根本不是“棒”，但是它们在力的作用下都能绕某一固定点（或轴）转动，所以它们都是杠杆。

构成杠杆一般有五个要素：支点、动力、阻力、动力臂、阻力臂。如图，是一支杆秤，O为支点，称锤F是动力，称钩上的重物G为阻力，BO是动力臂，AO是阻力臂。

支点 杠杆上的固定转动轴就是杠杆的支点，或者说，在外力的作用下杠杆可以绕杠杆上某一点的轴转动，这一点就是支点。

有的杠杆的支点直观、固定。例如，钳子的轴，门的轴等。

有些情况下，杠杆上没有直观的、固定的转轴，例如开启瓶盖的起子、钓鱼杆、筷子等。根据使用情况，可以判断支点的位置。

特殊情况下，杠杆上有明显的转轴，但这个轴不一定是杠杆的支点。当把独轮车整体看成是一个杠杆时，车轮可以绕车轴转动，但这不是整个独轮车的支点。车轮与地面的接触点才是独轮车整体的支点。如图2。

另一类特殊情况是支点可以移动。例如羊角锤在起钉子时，起初羊角锤的支点如图3（甲）所示：随着钉子的拔出，支点后移，如图3（乙）所示。

力臂 从支点到力的作用线的距离叫力臂。

“力的作用线”就是通过力的作用点，沿着力的方向所引的直线。

图中，过动力 F_1 的作用点B，引直线PQ，过阻力 F_2 的作用点A引直线MN。PQ、MN分别是力 F_1 、 F_2 的作用线。

从支点O到动力 F_1 作用线PQ的垂直距离OD，就是动力 F_1 的动力臂；从支点O到阻力 F_2 的作用线MN的垂直距离OC，就是阻力 F_2 的阻力臂。

画力臂的具体步骤为：明确支点所在位置；画出力的作用线；用几何的方法过支点向力的作用线引垂线；支点到垂线垂足的距离就是这个力的力臂。如下图。

力臂不是支点到力的作用点间的连线距离。图（甲）中，动力 F_1 的动力臂是 L_1 而不是OB，阻力 F_2 的阻力臂是 L_2 而不是OA。只有当如图（乙）

所示的特殊情况下， $F_1 \perp OB$ 、 $F_2 \perp OA$ 才有 $L_1=OB$ ， $L_2=OA$ 。

杠杆的平衡条件（杠杆原理） 当杠杆静止或匀速转动时，杠杆为平衡状态。要使杠杆平衡须使作用在杠杆上的动力和阻力的大小跟它们的力臂成反比：

$$\frac{\text{阻力}}{\text{动力}} = \frac{\text{动力臂}}{\text{阻力臂}}$$

用 F_1 表示动力， F_2 表示阻力， L_1 表示动力臂， L_2 表示阻力臂，上式可记作

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{L_1}{L_2}$$

也可以改写成：动力 \times 动力臂 = 阻力 \times 阻力臂

$$\text{即 } F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2$$

这就是杠杆平衡的条件，又叫做“阿基米德杠杆原理”，当杠杆受力满足杠杆平衡条件时，杠杆必处于平衡状态。

杠杆的应用 人类经过长期的探索，在生产、生活的实践中大量应用杠杆原理，使用了各式各样的杠杆。尽管杠杆的式样纷繁复杂，但从省力费力的原则可以大致分为：

1. 省力杠杆

根据杠杆平衡条件： $F_1 L_1 = F_2 L_2$ 可知，动力臂大于阻力臂，则动力小于阻力。在搬运重物时用撬棍，剪铁片的剪子，钳子等都属于这类省力杠杆。这类杠杆的动力作用点的移动距离大于阻力作用点的移动距离，省力不省功。

2. 费力杠杆

根据杠杆平衡条件 $F_1 L_1 = F_2 L_2$ 可知，动力臂小于阻力臂，则动力大于阻力。这类费力杠杆中比较典型的有：镊子、理发用剪子、钓鱼杆。这类杠杆的动力作用点的移动距离小于阻力作用点移动的距离，省距离也不省功。

3. 等臂杠杆

动力臂等于阻力臂的杠杆，如天平、定滑轮等。这类杠杆不省力也不省距离。

我国古代的杠杆 我国古代杠杆的使用可以追溯到远古原始人用棍棒与野兽搏斗。考古发现石器时代（距今 200 ~ 300 万年）人们所用的石刃、石斧等都以天然绳索将它们和木柄捆在一起或在石器上凿孔，装上木把。这表明古代的人们已经懂得杠杆的经验法则：延长力臂，节省动力。

杠杆在中国古代的典型应用是秤的发明及广泛使用。迄今为止，考古发现最早的秤是长沙左家公山上楚墓中的天平，它是公元前第四到第三世纪的物品，是个等臂杆秤。到了春秋时期（孔子的时代，距今 2 千多年）产生了不等臂杆秤。古代中国人民还发明有两个支点的秤，俗称铤（zhēn）秤。使用这种秤，变动支点，而不需要换秤杆就可以秤量较重的物体。这是中国人在衡器上的重大发明之一，同时表明中国人在实践中完全掌握了

西方人阿基米德发现的杠杆原理。

我国古代的劳动人民还发明了桔槔，用作从井中汲水的工具。人们在井旁树上或架子上挂一杠杆，一端系水桶，一端坠大石块，杠杆的一起一落，汲水可以省力。

杆秤 我国古代劳动人民发明的一种测量物体质量的工具。它的结构如图甲所示。杆秤由秤杆、秤钩（盘）、秤砣，提纽（支点）组成。杆秤以提纽 O 为支点（转动轴），支点 O 的左侧 B 点是杆秤的重力作用点即重心，将秤砣 P 左右移动找到一个合适的位置 A 使杆秤水平平衡。根据杠杆原理有

$$G \cdot \overline{OB} = P \cdot \overline{OA}$$

A 点叫杆秤的定盘星。如果用杆秤称物体 W，将秤砣移到 A 点，使杆秤再度平衡，如图（乙）所示。于是有杠杆平衡方程：

$$W \cdot \overline{OC} + G \cdot \overline{OB} = P \cdot (\overline{OA} + \overline{AA'})$$

整理、式可得

$$W = \frac{\overline{AA'}}{\overline{OC}} P = \overline{AA'} \frac{P}{\overline{OC}}$$

P 和 \overline{OC} 是定值，所以被称物体 W 的质量 m 正比于 $\overline{AA'}$ 的长度， $\overline{AA'}$ 的刻度就是 W 的相应的质量数。

定滑轮 一个可以绕中心轴转动，周围有槽的轮子。轻质绳子穿在有槽的轮子上，绳的两端分别挂重物或者用手（或机械）牵拉。定滑轮在使用过程中，滑动轮的中心轴固定不动。

定滑轮可以看成是一个杠杆，定滑轮的中心轴就是杠杆的支点，跨过滑动轮的绳子两端分别施加动力和阻力。动力、阻力的方向都与滑动轮的边缘相切，所以动力臂与阻力臂都是滑动轮的半径 R。因此，定滑轮实质上是等臂杠杆，如图所示。定滑轮不省力也不费力，它的作用是改变力的方向。

动滑轮 中心轴与重物可以一起移动的滑轮，如图甲所示。

动滑轮转动时，它以轮子的边缘 O 作为瞬时支点，而滑轮的中心轴是阻力的作用点。动力 F 作用在滑轮的另一侧边缘。由此可见，动滑轮是一个动力臂为滑轮的直径，阻力臂为滑轮的半径，支点在一侧的省力杠杆，如图乙。

$$GR = 2R \cdot F$$

$$F = \frac{1}{2} G$$

当动滑轮的质量及各部分之间摩擦忽略不计时，动滑轮省力一半。但

是提升绳子的距离是重物提升距离的 2 倍，动滑轮不省功。

动滑轮在使用中不能改变力的方向，为了使用方便，常与定滑轮组合成滑轮组使用，既省力又方便。

滑轮组 由于一个动滑轮可以省力一半，但不能改变力的方向；而定滑轮虽然不省力也不费力，却可以改变力的方向，所以把两个或两个以上的滑轮组合起来，一部分充当动滑轮，另一部分充当定滑轮，这就是滑轮组。图是由一个动滑轮和一个定滑轮组成的最简单的滑轮组。

在使用滑轮组时，只能省力，不能省功。省力就要多移动距离。

在给滑轮组绕线时，不同的绕线方法省力的多少不同，图甲中，承担重物的重力的有两段绳子，所以甲图所示的连线方式省力一半；图乙中，承担重物重力的有三段绳子，所以 $F = \frac{1}{3}G$ ，但是没有改变力的方向。

需要注意的是，上述分析中都没有考虑滑轮和绳子的质量，也没有考虑轮与轴之间的摩擦，在实际应用中需要的力要大一些。

判断滑轮组省力情况的方法是：将动滑轮组与定滑轮组“隔离”开，然后数一数与动滑轮相连的绳子有多少股。设股数为 n ，则拉动滑轮组绳的自由端所需的力为 $F = \frac{G}{n}$ 。

轮轴 轮轴由轮和轴组合而成，凡能绕共同轴线旋转的简单机械都叫做轮轴。

图为轮轴的示意图。其中半径较大的是轮，半径较小的是轴。当动力和阻力分别作用于轮和轴的边缘时，起着力臂作用的分别是它们的半径。所以轮轴的实质是可以连续转动的杠杆。

常见的轮轴有：农村中提水的辘轳、汽车的方向盘、自行车的车把，收音机的旋钮……

轮轴装置中，轮和轴不一定由整个轮子组成，例如发动机车用的摇把，就只是如图所示的一根金属棒。只要力臂由半径来代替并保持连续旋转，就叫轮轴。

轮轴的中轴线是它的支点 动力 F_1 和阻力 F_2 分别作用在轮和轴的边缘上。动力臂、阻力臂分别是轮半径 R 和轴半径 r 。在轮轴静止或匀速转动时，每时每刻都满足杠杆平衡条件：

$$F_1 R_1 = F_2 r \quad \text{或} \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{r}{R}$$

这表明轮半径 R 是轴半径的几倍，作用在轮上的动力就是作用在轴上的阻力 F_2 的几分之一。同时，动力作用点在轮边缘转过的弧长是阻力作用在轴上的作用点转过的弧长的几倍。

当阻力作用在轮上，动力作用在轴上时，轮轴费力而省弧长，例如自行车后轮上的飞轮与后轮所构成的轮轴就是费力轮轴。

组合机械 在实际生活、生产中，人们为了最大限度地利用各种简单机械的功能，常常根据需求和可能将滑轮、杠杆、轮轴以及斜面等简单机械组合起来，去完成某一特定的工作。这种简单机械的组合称作组合机械。

自行车就是一个很典型的组合机械。如图所示。

自行车的传动系统中使用了轮轴（脚蹬和轮盘大腿，飞轮和后轮），自行车的前轮的车把以及刹车系统多次利用杠杆传递刹车动作。如果你把自行车车铃盖打开，按动车铃，车铃内也多次利用杠杆传动。

生活中使用的机器，尽管很复杂，但是从原理上看，很多部分都是由简单机械组合而成。

起重机 起重机用途广泛，种类繁多，不同的起重机的结构、性能各异，但是从根本上说，它是一种组合机械，即由简单机械组合而成。

图为一塔台起重机的示意图。从图中可知，起重机至少要包括：滑轮组、杠杆和轮轴三种简单机械。

重物 G、起重臂 AO、拉索 AC 构成以 O 为轴的杠杆。BC 是一组滑轮组，在起重机的下端有一组由电动机带动的轮轴，它的工作使起重机的起重臂上下活动；使起重机吊钩上下移动。

功 物体在力 F 作用下，沿力的方向移动了一段距离 s，就是力 F 对物体做了功。功的大小 W 等于力和沿力的方向上移动的距离的乘积，记作

$$W = Fs$$

功的国际单位制单位是焦。1 焦 = 1 牛 · 1 米 = 1 牛 · 米。

做功有两个不可缺少的因素：一是有力作用在物体上；二是物体沿力的方向移动了距离。在判断一个力是否对物体做功时，这两个条件缺一不可。

人提着水桶沿水平方向运动了一段距离，人对桶的拉力的方向竖直向上，人提水桶运动的过程中，拉力对桶不做功；

用水平力 F 推（或拉）物体沿水平方向前进一段距离，力 F 对物体做了功；物体在粗糙的水平面上运动，滑动摩擦力作用在物体上，滑动摩擦力的方向与物体运动方向相反。我们就说物体克服滑动摩擦力做了功。

如果力的方向与物体移动方向不在一直线上，例如物体在与水平面成角的拉力作用下沿水平方向运动，这时，拉力对物体也做了功，但功的计算方法要到高中物理中再学习。

力对物体做功所产生的效果是改变物体的状态，使物体发生位置或速度的改变，如果力的方向与物体移动的方向相同或大致相同，即力与物体移动方向的夹角小于 90° ，力对物体做的功起着增加物体运动的作用。如

果力的方向与物体移动的方向相反或大致相反，即力与物体移动方向的夹角大于 90° ，力对物体做的功起着阻碍物体运动的作用，一般常说物体克服这个力做功。如果力的方向与物体移动的方向垂直，即力与物体移动方向的夹角为 90° 时，力对物体不做功。

功的原理 又称机械功的原理。动力对机械做的功等于机械克服阻力的功，任何机械都不省功。在使用机械时，凡是省力的机械动力都要多移动距离；凡是省距离的机械都要费力。既省力又少移动距离的机械是不存在的。

在理想情况下， $W_{\text{动力}} = W_{\text{有用}}$ 或者说输入功等于输出功。但是实际情况下，在动力对机械做功的同时总会有能量的损失，所以输入功应该等于输出功与损失功的和记作：

$$W_{\text{输入}} = W_{\text{输出}} + W_{\text{损失}}$$

或 $W_{\text{动力}} = W_{\text{有用}} + W_{\text{无用}}$

动力功等于有用功与无用功之和。

例如，一台电动机带动一个轮轴提升重物，电动机输出给轮轴的功对轮轴来讲叫输入功，轮轴在提升重物时要克服摩擦，在实际情况下绳子的重力也不能忽略，只有提升重物的功才是有用功，所以轮轴的功能原理的表达式可写作

$$W_{\text{输入}} = W_{\text{摩擦}} + W_{\text{绳}} + W_{\text{有用}}$$

斜面 一种简单机械，如图所示，它可以用来减少垂直提升重物带来的困难。

图中，设斜面光滑，长为 l ，高为 h 。用沿斜面方向向上的力 F 把重力为 G 的物体 A 沿斜面从底端 C 出发匀速地拉到顶端 B 。力 F 所做的功为 $W_1 = Fl$ 。竖直将重物 A 匀速地提高 h 到达顶端 B 点，需要克服重力做功 $W_2 = Gh$ 。

根据功的原理任何机械都不省功，

$$W_1 = W_2$$

$$Fl = Gh$$

$$F = G \frac{h}{l}$$

由几何知识可知 $\frac{h}{l} < 1$

所以 $F < G$

使用斜面省力，但不省功，将物体沿斜面拉上斜面，做功的距离增加，要想更省力，就应使 l 更长，也就是减小斜面的坡度。

詹天佑先生在京张铁路设计中采用人字型爬坡的方案就是减小斜面坡度，增大牵引距离的实例。

有用功 在使用机械做功时，对机械要施加动力，机械要克服阻力。

动力做的功称为总功、输入功、动力功。机械克服阻力做的功叫阻力功。阻力功在通常的情况下可分为两部分：一部分是克服有用的阻力做的功，叫做有用功，或者叫输出功，另一部分是克服无用阻力做的功叫额外功或叫无用功。所以功的原理可以写成

$$W_{\text{总功}} = W_{\text{有用}} + W_{\text{额外}}$$

例如，在利用不光滑的斜面提升重物时，沿斜面方向向上的拉力做的功是输入功，克服重力做的功是有用功，克服物体与斜面之间摩擦力所做的功是额外功。

总功 参看“有用功”。

机械效率 有用功与总功的比值叫做机械效率，用 η 表示机械效率，则

$$\eta = \frac{W_{\text{有}}}{W_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{W_{\text{有}}}{W_{\text{有}} + W_{\text{额}}} \times 100\% = \frac{P_{\text{有}}}{P_{\text{总}}} \times 100\%$$

当额外功等于零时，机械的机械效率为 100%，这是一种理想状况，实际情况中无用功都大于零，有用功都比总功小，所以机械的机械效率都小于 100%。机械效率是一个小于 1 的百分数，无单位。

机械效率表示有用功在总功中所占的百分比，要提高机械效率的办法是减少额外功在总功中的百分比。通常人们采用滚动摩擦代替滑动摩擦，加润滑油，改进机械的结构，减轻机械的自重等方法来减少额外功，提高机械效率。

不能认为单纯增加有用功或单纯地减少额外功就可以提高机械的机械效率。因为与此同时总功也会相应地增加或减少，机械效率可能不会改变。

功率 表示做功的快慢的物理量。它不但与力做功的多少有关，而且与做这些功时间的长短有关。做相同的功所用时间短的力做功快；在相同时间内做功多的力，做功快。

物理学中定义，每秒钟做功的多少叫做功率，用符号 P 表示功率， W 表示功， t 表示做功时间则

$$P = \frac{W}{t}$$

在国际单位制中功率的单位是瓦。1 瓦 = 1 焦 / 秒。常用的功率的单位有：马力、千瓦。1 马力 = 735 瓦，1 千瓦 = 1000 瓦。

若将 $W = F \cdot s$ 代入功率的定义式

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v$$

这就是说计算某一力的在某一时刻的瞬时功率可用这个力乘以物体在该时刻的速度。对比之下 $P = W/t$ 所求出的功率，是一段时间内的平均功率，当 F 为平均作用力、 v 为平均速度时， $P = F \cdot v$ 算出的也是平均功率。

额定功率 按照设计的要求，使机械在正常的工作条件下所能达到的最大功率叫做机械的额定率，也就是平常说的机械的功率。机械的额定功

率出厂前，将它刻在机器的铭牌上。

根据 $P = F \cdot v$ ， F 代表牵引力， v 代表机械的运行速度。在速度一定时，增大实际功率，可获得较大牵引力。在机械达到额定功率之后要想再增加机械的牵引力，就必须降低运行速度。汽车在上坡时，发动机的功率达到额定功率，速度很慢，牵引力却非常大。靠增大机械的功率、降低运行速度来取得强大的牵引力是有限度的，超过了机械的额定功率或机械所能发出的最大作用力会缩短机械的寿命，甚至损坏机械。

当汽车在平直公路上只需要较小的牵引力速度可以很大，但是汽车的牵引不能小于阻力，否则汽车就会减速。当牵引力等于阻力 f ，汽车获得最大速度 $v_m = p_{\text{额}} / f_{\text{阻}}$ 。

所以人们称 $P = F \cdot v$ 为“牛马公式”，意思是说牵引力大速度就小好似“老牛”，速度大了，牵引力就减小了，好似“快马”。

焦耳（1818—1889）英国物理学家。他是发现能量转换和守恒定律的代表人物之一。他的一系列精密的实验为能量守恒的原理提供了可靠的根据。

焦耳在 1840 测量了电流通过电阻丝的发热情况总结出焦耳定律 $Q = I^2 R t$ 。

焦耳用浆轮在水中旋转搅动的方法直接进行机械能转变为热能的实验，证实了热不是一种物质而是能量的一种形式，热传递是能量传递的一种形式。焦耳还相当精确地测定了产生单位热量所需功的量值。

为纪念焦耳的贡献，以他的名字命名了能量的单位。1 焦 = 1 牛·米 = 1 瓦·秒。

瓦特（1736—1819）英国发明家、工程师。他是世界公认的蒸汽机发明家，蒸汽机的使用导致了第一次工业革命的兴起，极大地推动了社会生产力的发展。

在瓦特之前蒸汽机就已经发明了，但是那种蒸汽机笨重、效率低、不实用。瓦特总结了前人的经验发明了冷凝器，发明了利用曲柄连杆机构把直线运动改变成转动的方法，发明了利用飞轮解决转动的稳定性问题。使得蒸汽机的效率大大提高，实用性大大加强，很快在工业生产中得到广泛的推广和应用。

瓦特为人虚心好学，刻苦钻研，十分重视理论的研究，并且将理论和实践相结合，这是他获得成功的根本原因。

为了纪念瓦特的贡献，以他的名字命名了功率的单位，规定 1 瓦 = 1 焦 / 秒。

动能 物体由于运动而具有的能量或者说物体由于具有速度而具有的能量。

运动着的物体能做功。流水可以推动河里的小船做功，流水具有动能；风可以吹动风车旋转，风具有动能。静止在枪膛里的子弹没有速度，不具

有杀伤能力，当开枪后，子弹以很大的速度从枪口飞出来，高速运动的子弹具有强大的杀伤能力，运动的子弹具有动能。

物体的动能大小由物体的质量 (m) 和物体运动的速度大小 v 来决定。质量越大，物体运动的速度越大，物体的动能就越大。

不能说运动的物体具有的能量叫做动能。因为运动的物体除具有动能之外还具有其它形式的能，例如势能、内能、原子核能等。

重力势能 物体由于被举高也具有能量，这种能叫重力势能，因为重物从高处落下时，重力能够做功。物体的重力势能的大小由物体的质量 (m)、和物体被举高的高度 (h) 等所决定。在地球上同一个高度上，质量大的物体重力势能大，同一物体重力势能大小与参考水平面的选取有关，因为选取不同的水平面物体相对各水平的高度是不同的。由于相对高度不一样，同一物体的重力势能是不同的，在处理重力势能问题务必要弄清楚，以那一个平面为参考水平面。

弹性势能 物体由于发生了弹性形变而具有的能叫做弹性势能。

因为物体在恢复弹性形变的时候能够做功。例如被拉长的橡皮筋被释放可以做功，被压缩的弹簧、张开的弓都具有做功的本领，它们具有弹性势能。

动能和势能的相互转化 自然界中物质的不同运动形式对应着不同的能量形式。运动着的物体具有动能，被举高的物体具有重力势能。

当物体的运动形式发生变化的时候，其能量的存在形式也就发生了变化。被举高的物体具有重力势能，当它自由落下时，就会在重力的作用下运动。随着高度越来越低，重力势能越来越小；速度越来越快，动能越来越大。在这个进程中重力势能转化为动能。一辆关闭发动机的汽车冲上斜坡时，随着高度的增加，重力势能越来越大，随着速度的不断减少，汽车的动能越来越小，在这个过程中，动能转化为势能。

机械能中的动能和势能之间是可以相互转化的。

机械能 是指物体在机械运动中所具有的能量。机械能包括动能和势能两种不同的形式。势能又分为重力势能和弹性势能等。在力学中动能、重力势能、弹性势能统称为机械能。

机械能的转化和守恒定律 机械能中动能可以转化为势能，势能也可以转化为动能。如果没有摩擦和周围物质的阻力，而且物体只发生动能和势能的相互转化，机械能的总量保持不变。如图用一细绳拎着一个球悬在一定点，当它在竖直平面摆动时，在摆动的过程中小球在到达弧线的顶点时具有重力势能，而动能为零。随着摆球的高度的下降，摆球的动能增加，势能减小，当摆球下降到最低点时，摆球的动能最大，重力势能的减少使得摆球的动能增加，重力势能的减少量等于摆球动能的增加量。摆球继续前进到达另一侧弧线的顶点，动能的减少又全部转化为重力势能的增加。弧线的两顶点在同一水平面上，也就是两点等高。根据机械能守恒

定律，如果没有阻力，如此往复过程将永远进行下去。这种装置的名称叫单摆。

滚摆 又称麦克斯韦摆。它是在学习机械能时，用来演示重力势能和动能之间相互转化的仪器。其装置如图所示。一个质量较大的，中心穿有一根轴的均匀摆轮用两根很轻的线悬于固定在同一水平面的两点上。

演示前，先调整悬绳，使摆轮处于水平最低位置。然后转动摆轮，使悬绳均匀地绕在摆轮的轴上，直至摆轮上升到悬绳的最上部，并且保持摆轮的轴与水平地面平行。此时摆轮相对于最低位置具有一定的重力势能，动能为零。当由静止释放摆轮，在重力和悬绳拉力的共同作用下，摆轮边旋转，边下降。随着摆轮的下降，摆轮的重力势能不断减少，转化成摆轮的动能，摆轮越转越快，而且摆轮向下运动的速度也越来越快，摆轮的动能越来越大。当悬绳全部伸开时，摆轮的重力势能不再减少，动能达到最大值。由于惯性，摆轮继续旋转，摆轮轴又开始把悬线绕在轴上，使得摆轮开始上升。在上升的过程中，随着重力势能的不断增加，摆轮越转越慢，摆轮的上升的速度也越来越慢。直到摆轮上升到出发位置时，摆轮停止转动，停止上升。接着又开始新一轮下降、上升……

实际上，摆轮每次下降后再上升都不会上升到原来的高度。这是摩擦力等作用的结果，使一部分机械能转化为热能。如果没有摩擦等阻力的作用，滚摆摆轮每次上升的高度都应与最初高度相同。即滚摆的动能和势能的相互转化过程中，能的总量保持不变。这样滚摆的运动不但说明了动能势能之间是可以相互转化的，而且还验证了机械能守恒定律。

张衡 生于公元 78 年，卒于公元 139 年，是我国东汉时代伟大的天文学家。

张衡青少年时期刻苦学习，十几岁的时候就已经读了很多书，文章写得很出色。为求新知，17 岁那年，他离开了家，先到了西京长安（现在西安），后来又到了东京洛阳。这阶段，他潜心日夜用功读书，跟一些学者和朋友研究学问。他花费了 10 年的功夫，在 29 岁时，完成了两篇著名的文学作品《东京赋》和《西京赋》。在这两篇文章中，描写了洛阳和长安的繁华，同时讽刺了那些过着荒淫无耻生活的官僚贵族。

34 岁时，张衡在京里做了郎中。此期间，他读了不少书，其中西汉末年学者杨雄写的《太玄经》中，文学和数学方面的问题，使张衡产生了浓厚的兴趣，他开始精心钻研天文学。他先后两次担任东汉王朝的太史令，主要职责是管辖天文学、地学和其它奇异自然现象的观测。经过长时期对日月星辰的观察，探索它们在天空里的运行规律，张衡提出了“浑天论”假说，认为天好像鸡蛋壳，包在地的外面，地好像鸡蛋黄在天的中央。张衡根据他的“浑天说”，创造了世界上第一架自动的天文仪器——漏水转动浑天仪，也叫天球仪，上面刻着恒星、南极北极、经度纬度、赤道黄道

等。人们在屋子里就可以知道哪颗星星在什么位置。现在北京建国门观象台上的天球仪，是清朝铸造的，与张衡所造的大体相仿。

张衡还巧妙地运用惯性原理，设计制造了“候风地动仪”。创造了世界上第一架观测气象的仪器“候风鸟”（又叫相风铜鸟），也就是风向仪。对我国天文学的发展做出了巨大贡献。他在数学和绘画等方面也有很深的造诣，是世界史中罕见的全面发展的人物。

声音的产生 各种振动着的物体，能使它周围的空气发生疏密的变化，形成疏密相间的波动向外传播，这种振动传入人耳，带动人的耳膜振动，人们就感觉到了声音。声音的产生有两个重要的条件：第一需要有声源，即振动的物体；第二需要有传播振动的媒质，如空气。

（正常的）人耳一般能感受到的声音频率范围是：20 赫兹至 2×10^4 赫兹。这个范围以外的声音不能引起人耳膜的共振，人是听不到的。

声音的传播、声速 声源的振动在媒质中传播的方式基本有两种，第一种是媒质的振动方向和声音的传播方向垂直；另一种是媒质的振动方向和声音的传播方向在一条直线上。例如，空气中声音的传播是第二种形式；而声音在钢铁中则两种传播形式都存在。

由于媒质不同，传播方式不同及温度不同，声音在不同媒质中传播的速度不一样。声音在 0 的空气中传播的速度是 332 米 / 秒，在 20 是 344 米 / 秒。声音在水中的速度是 1450 米 / 秒，在玻璃中的速度是 5500 米 / 秒。

声音的反射 如图，声音沿直线 AO 方向传播，在传播过程中，如果遇到障碍物 PQ，PQ 的表面就把声音反射回来。并且反射角 BON 等于入射角 AON。

反射回来的声音再传入人耳，人感觉到的就是回声，如果在几个障碍物之间喊一声，就可以听到多次反射回声。北京天坛公园的回音壁、三音石都是著名的产生回声的人造环境。

声音的绕射 声音在空气中传播，一般沿直线传播，遇到障碍物，如果障碍物的长度不太大，声音就要绕过障碍物的现象。

“闻其声不见其人”就是典型的的声音绕射现象。如果障碍物太大，如高大的楼房，声音的绕射现象就不明显，所以在高大的建筑物后面，一般听不到前边的声音。

乐音 好听、悦耳的声音。各种乐器发出的声音都是乐音，语言的元音也是乐音。乐音是做周期性振动的声源发出的。乐音的三个特征是：音调、响度和音品。音调决定着乐音的高低；响度决定个人对乐音强弱的感觉；音品的不同使我们能够区别不同乐器发出的声音。

音调 声音的高低。它是由发声物体振动频率的高低决定的，频率高，音调就高；频率低，音调就低。乐音的频率范围在 30 赫 ~ 5000 赫。C 调“1”的频率是 256 赫，“2”的频率是 288 赫，“3”的频率是 320 赫，……

“i”的频率是512赫。音调低，听起来深沉有力；音调高，听起来高亢激跃。

音品（音质） 同一音调用不同的乐器演奏，人的感觉不同，并能分辨出不同乐器的声音，这是由于乐器的音品不同。乐器发出的乐音并非单一频率的纯音，而是由不同纯音组成，它是由一个频率最低的基音和其它不同频率的泛音组成，音品是由泛音的多少、泛音的频率和泛音的强弱来决定的。同样奏出“1”这个音符，钢琴演奏时，泛音多，则听起来丰满。而用笛子演奏，泛音少，则听起来单调。

响度和声强 空间的某一点的声强由1秒钟通过垂直声音传播方向的单位面积的声能来确定。它是表示声音客观强度的物理量，单位是：“瓦/米²”。人对声音强弱的感觉客观上决定于声强。

所谓响度是人感觉到的声音的强弱，它在客观上决定于声强大小，同时还与声音的频率有关，因为人耳对不同频率的声音敏感程度不一样，人耳对3000赫兹的声音最敏感。

噪声及其防治 声源做无规则的非周期性的振动，或由不同频率和不同强度的声音无规律地组合在一起，这样的声音传入人耳，使人产生嘈杂、刺耳的感觉，人们常称这种声音为噪声。但是，一般噪声是指一切对人们生活和工作有妨碍的声音。例如，电锯锯木头，飞机起飞和降落等发出的声音。噪声对人们生活和身心健康都有影响。它可引起厌烦、影响休息，还可引起心血管系统和神经系统的疾病，强烈的噪声会使人头昏、头晕，极强的噪声甚至会直接危及人的生命安全。

噪声作为国际公害，防治方法有很多种，但从原理上看不外乎有两类，一类是减少或控制产生噪声的声源。如，飞机场建在远离城市的地方，改进机器及操作方法等。另一类是防止噪声的传播。如，公路旁种树，人戴上耳塞、耳罩等。

四、温度和热量

温度 表示物体冷热程度的物理量。温度的高低可以凭感觉来判断，但往往不可靠。准确、客观地判断和测量温度需要使用温度计。确切地说，温度是“温标”上的标度，具体体现在选定温标的温度计的刻度上。譬如，某一时刻的室温是 15 摄氏度，水在一个大气压下沸腾的温度是 100 摄氏度等等，这些温度值就表示说，用选定摄氏温标的温度计测量上述环境下的温度，当温度计与其周围环境达到热平衡时，从温度计的刻度上反映出的温度是 15 、 100 等等。从分子运动论的观点来看，物体温度的高低反映了组成物体的大量分子无规则运动——分子热运动的剧烈程度。因此，温度是组成物体的大量分子热运动的集体表现，温度高就表示大量分子的热运动剧烈，尽管这时有少数分子的热运动速率较小，但大量分子的平均动能大；相反，温度低，尽管这时有少数分子的热运动速率仍较大，但大量分子热运动的平均动能小。所以，对于单个分子来说，不论它运动的速率快慢如何，温度对它来说是没有意义的。

温标 温度的数值表示法——为了量度物体温度的高低而对温度的零点和分度方法所作的一种规定，也就是温度的单位制。历史上曾出现过摄氏温标和华氏温标等多种温标。现在许多国家采用的国际单位制（我国统一实行的法定计量单位也是以国际单位制单位为基础）中，作为基本温标是热力学温标（又称“开氏温标”、“绝对温标”）。为了建立温度数值的统一标准，国际间规定以热力学温度为标准统一确定了与其它温标的温度之间的量值关系。现在所用的摄氏温度、华氏温度都已在这个统一标准下重新做了规定。

摄氏温度 一种使用广泛的温度。最初它是按摄氏温标确定的温度。1742 年摄尔西乌斯提出的摄氏温标（又称“百分温标”）规定在一个大气压下水的冰点为零度，沸点为 100 度，中间分为 100 等份，每等份代表 1 摄氏度（规定温度的变化跟玻璃水银温度计中水银柱的高度变化成正比）。摄氏温度用 t 表示，例如 20 摄氏度记作“20℃”。在国际间规定以热力学温度建立温度数值的统一标准后，上述的“摄氏温标”已不再使用。考虑到人们长期以来的使用习惯，仍然保留“摄氏温度”这一名词，但它有了新的意义。摄氏温度 t (℃) 和热力学温度 T (K) 的关系是

$$t = T - 273.15,$$

一般可表示为： $t = T - 273$ 。作为温度差 1 摄氏度(℃) 等于 1 开尔文(K)。

华氏温度 历史上华氏温度是按华氏温标确定的温度。18 世纪初华伦海特提出的华氏温标规定在一个大气压下水的冰点为 32 度。沸点为 212 度，中间分为 180 等份，每等份代表 1 华氏度（规定温度数值根据玻璃水银温度计的水银柱的高度进行均分）。华氏温度用 F 表示，例如 68 华氏度记作“68F”。在国际间规定以热力学温度建立温度数值的统一标准后，

上述的“华氏温标”已不再使用。现在有些国家在某些情况下仍然继续使用华氏温度，它的含义是按与摄氏温度值 t 的下述关系确定的：

$$\text{华氏温度值 } t_F = \frac{9}{5}t + 32$$

作为温度差 1 华氏度 (F) 的大小等于 $\frac{5}{9}$ 摄氏度。零摄氏度相当于 32 华氏度，100 摄氏度相当于 212 华氏度，人的正常体温 37 摄氏度则相当于 98.6 华氏度。

热力学温度 由热力学温标所确定的温度。1848 年英国物理学家开尔文根据热力学有关规律提出了热力学温标（又称“开氏温标”或“绝对温标”）。1954 年和 1967 年两届国际计量大会先后规定了热力学温度单位的定义和单位名称，并于 1960 年国际计量大会决议规定将热力学温度单位作为国际单位制的七个基本单位之一。国际单位制中确定热力学温度的单位名称叫做开尔文（代号的中文符号为开，国际符号为 K）。按照规定，在一个大气压下水的冰点的热力学温度是 273.15K，水的沸点是 373.15K。作为温度差，1 开尔文 (K) 等于 1 摄氏度（ ）。热力学温度 T (K) 和摄氏温度 t () 的关系是

$$T = t + 273.15,$$

一般可表示为： $T = t + 273$ 。最低的热力学温度零开 (0K) 叫做绝对零度（相当于 -273.15 ），根据热力学规律，绝对零度不可能达到，人们只能设法尽量接近它。现在的超低温技术已经陆续获得毫开 (mK) 级甚至微开 (μ K) 级的超低温。

开尔文 英国卓越的物理学家。原名威廉·汤姆孙 (1824 ~ 1907)，1892 年被封为开尔文男爵，以后就改名为开尔文。他 22 岁起担任格拉斯哥大学自然哲学 (物理学) 教授达 53 年之久。开尔文的科学活动是多方面的。他对物理学的主要贡献在电磁学和热力学方面。是热力学的主要奠基者之一。1848 年创立并在 1854 年修改的绝对热力学温标是现在科学上的标准温标，在 100 年后的 1954 年由国际计量大会确定为基本的温标。他在电磁学的工程应用上也做出了重要的贡献，最出名的一项工作是装设大西洋海底电缆。开尔文终生不懈地致力于科学事业，他不怕失败，总是保持着乐观的战斗精神。关于如何对待困难，他说：“我们都感到，对困难必须正视，不能回避；应当把它放在心里，希望能够解决它。无论如何，每个困难一定有解决的办法，虽然我们可能一生没有能找到。”

温度计的工作原理 不论用哪种温度计对物体的温度进行定量的测量，总是选择一种物理量作为温度的标志，即作为测量温度的一种参照物，并确定相应的温度单位。这种物理量在一定的温度范围内，按一定的物理规律随温度变化。温度测量所依据的原理有许多种，譬如有利用膨胀测温法的玻璃液体温度计、双金属温度计；利用电学测温法的电阻温度计和半导体热敏电阻温度计等。

膨胀测温法 根据物体的热膨胀规律，采用体积、长度作为温度的标志。最常见的是利用液体的体积变化来指示温度的玻璃液体温度计。双金属温度计则是利用两种膨胀程度不同的金属组合在一起时，随温度的变化伸长率不同来指示温度的。

电学测温法 采用某些随温度变化的电学量（如金属导体的电阻、半导体器件的电阻等）作为温度的标志。

液体温度计的制作 以玻璃水银温度计的制作为例，一般有制管、吹泡、灌注水银、封口、定点和刻度等几道主要工序。首先要控制厚壁玻璃毛细管，要保证管的内、外径均匀（尤其是内径）；第二步是在高温下吹制薄壁测温泡；第三步是应用真空技术灌注水银；第四步是在高于预定最大刻度温度值的环境下，水银膨胀从上部溢出，同时烧熔上部封口，保证在一般温度条件下，水银柱上方没有空气；第五步是确定 0 和 100 两点位置，一般是在 1 个标准大气压下分别置于冰水混合物及沸水的蒸气中标定水的冰点和沸点位置；第六步是在已标定的两点间按温标规定均匀刻度（如等分 100 份，每两相邻刻线间为 1 摄氏度）并向上、下延续一定范围，若直接在外管壁上刻度，可先用熔化的石蜡涂一薄层，按要求刻划蜡层至玻璃，再用氟氢酸腐蚀刻线部分的玻璃，然后去蜡清洗、刻线上色；最后经检验合格，即可应用。

实验用液体温度计 这种温度计的主要组成部分有：一根内径很细而且均匀的玻璃毛细管，与管下端相连的薄壁玻璃测温泡，在管和泡中装有适量的测温液体，液面上方没有空气，管的上端封闭，指示温度的标度一般直接刻在厚壁毛细管的外壁上，常称为棒式温度计（还有标度封在玻璃套管中的内标式温度计和标度固定在玻璃毛细管之外的外标式温度计）。最常用的测温液体为水银、酒精、煤油和甲苯等，根据所用测温液体可称为水银温度计、酒精温度计……。这种温度计是利用物体的热膨胀规律，当温度变化时毛细管内液面高低变化直接指示出温度的。精密的实验温度计几乎都采用水银作测温液体。玻璃水银温度计的测量范围可以低到 - 30 ，高可达 600 。某些有机液体的测温下限可低达 - 150 。中学实验室中所用的温度计测温范围常为 - 25 ~ 105 ，最小刻度值有 0.5 、 1 、 2 几种。

寒暑表 用来测量气温的温度计。家庭用的寒暑表大多是玻璃煤油温度计，由测温泡、玻璃毛细管和标度尺组成。一般是标度尺固定在玻璃毛细管之外的外标式温度计。为了观察液面位置明显，常把煤油染成红色。寒暑表上的标度有的只标摄氏温度，有的同时标有摄氏温度和华氏温度，两者互相对应。标度范围因地区而异。以北京地区常用的寒暑表为例，它的标度范围是 - 15 ~ 50 （对应的是 5 ~ 122 ° F），最小刻度值为 1 （另一侧是 2 ° F）。而在我国最北部的黑龙江省漠河镇的最低气温达到过 - 52.3 ，测气温就要用低凝固点的酒精温度计了（纯酒精的凝固点为 -

117)。

医用温度计 也叫体温计，是用来测人体温度的玻璃水银温度计。由于人体的温度通常在 35 到 42 之间变化，所以体温计的标度范围也是 35 ~ 42 。由于体温计的测温泡的容积要比相连的玻璃毛细管的容积大得多，因此泡内水银受热后的微小膨胀就能使毛细管内水银柱的长度发生显著的增长。这样就使体温计的测量能精确到十分之一摄氏度，即最小刻度值为 0.1 。体温计跟一般的玻璃水银温度计比较还有一个结构上的特点，在它的测温泡与毛细管相连处有一段做得非常细的缩口。测体温时水银膨胀能从泡内通过缩口升到上面的毛细管里，读体温计示数时一般要使体温计离开人体，水银遇冷收缩，就在缩口处断开，使上面毛细管里的水银退不回来，所以体温计在离开人体后还能表示出人体的温度。测量后要使已经升上去的水银再回到测温泡里，可以拿着体温计用力向下甩（或用离心机代替人力）。但不是医用的普通温度计不能甩，因为它的测温泡的壁较体温计的薄容易破裂。近年来半导体热敏电阻温度计也加入了医用温度计的行列（参见“半导体热敏电阻温度计”）。

双金属温度计 把两种热膨胀程度不同的金属（譬如铜和铁）组合成双金属片，将双金属片卷成螺线形，一端固定，另一端用一金属丝绕过转轴拉在弹簧上，如图所示。转轴上装有一个指针，从指针的示数可以读出周围环境的温度。这就是双金属温度计。图示的双金属片外层是铁、内层是铜，当温度升高时，由于铜的伸长程度比铁的大，双金属片的活动端将发生移动，通过金属丝带动转轴，使指针沿顺时针方向转动。测温范围不同的双金属温度计可分别用来测量气温或监测工业生产流程的温度变化。工业用的这种温度计，测温范围可有 - 80 ~ 600 ，它适用于工业上精度要求不高时的温度测量。

电阻温度计 是根据导体电阻随温度的变化规律来测温的温度计。最常用的电阻温度计都采用金属丝绕在云母或陶瓷做的锯齿状十字形架上，而后装在玻璃管或石英管中制成的感温元件。使用时将感温元件插入待测物体中，根据电路有关原理测量金属丝的电阻，从而得出物体的温度。主要有铂电阻温度计和铜电阻温度计。低温下还使用铼铁、碳和锆电阻温度计。其中，精密铂电阻温度计目前是测量准确度最高的温度计，最高准确度可达万分之一摄氏度，往往用作温度测量的标准，可用于 - 260 ~ 630 范围内。

半导体热敏电阻温度计 利用半导体器件的电阻随温度变化的规律来测温的温度计。它的灵敏度很高，感温部分体积小，可用来测定人体或动、植物的局部温度。

用温度计测液体温度的方法 在使用温度计以前，应该 观察它的量程——能测量的温度范围，如果估计待测的温度超出它能测的最高温

度，就要换用一只量程合适的温度计，否则温度计里的液体可能将温度计胀破。认清它的最小刻度值，以使用它测量时可以迅速读出温度值（一般应估读到最小刻度的下一位）。

在用温度计测液体温度时，正确的方法是：温度计的测温泡全部浸入被测液体中，不要碰到容器底或容器壁。温度计测温泡浸入被测液体后要稍候一会儿，待温度计的示数稳定后再读数。读数时测温泡要继续留在被测液体中，视线与温度计中液柱的上表面相平。

各种动物的体温 鱼类、两栖类和爬行类动物都是变温动物，它们的体温随水温和气温的变化而变化。当环境温度降低时，体温随着降低，往往不食不动进入冬眠。哺乳类动物是恒温动物，一般地说它们的体温不因环境温度的变化而大幅度地变化，但低等和高等哺乳动物仍有所不同。体温调节，包括有生物能转化为热和向周围散热两个方面。高等哺乳动物的体温调节能力较强，当环境温度变化时，体温变化幅度小比较稳定，对环境变化的适应能力较强；相反，低等哺乳动物的体温调节能力较差，当环境温度变化时，体温变化幅度大，为了适应寒冷环境，就要降低体温，也有冬眠现象。而且低等哺乳动物的体温一般比高等的低。如在 15 的气温条件下，鸭嘴兽体温为 30 ，袋鼠和刺猬为 35 ，而猫和兔为 39 。

最低温度和最高温度 根据热力学规律，温度是有下限的，这个下限就是绝对零度——即最低的热力学温度零开（0K），相当于 - 273.15 。这个温度不可能达到，人们只能设法尽量接近它。现在的超低温技术已经陆续获得毫开（mK）级甚至微开（ μ K）级的超低温。在超低温技术中常用的液态氮，它在一个大气压下的沸点是 - 268.9 ，凝固点是 - 272.2 。

在某一温度范围内都有最高和最低温度值。例如地球上出现过的最低气温是 - 88.3 （南极大陆），最高气温是 63 （非洲的索马里）。就高温区域来说，发光的白炽灯丝约 2500 ，电弧可达 5000 ，太阳表面约 6000 ，太阳内部进行着激烈的热核反应可达 2.0×10^7 ，人类大规模地获得的最高温度是用氢弹爆炸，它的中心可达 5.0×10^7 （五千万摄氏度）。要实现受控热核反应需要数千万甚至上亿摄氏度才能持续进行。人类对超高温和超低温领域都在不断深入地进行探索。

扩散现象 不同的物质在互相接触时，彼此进入对方的现象。这是由于微粒（分子、原子等）的热运动而产生的物质迁移。主要是由于微粒的浓度不均匀而引起，一般从浓度较高的区域向较低的区域扩散，直到各部分的浓度达到均匀为止。例如氯气或二氧化氮在静止空气中的散播，墨水或硫酸铜溶液在静水中的混合，钢件表面的渗碳，压紧的铅和金之间的相互渗透等等。扩散速度以气体中最大，液体中其次，固体间最小。并且浓度差越大、微粒质量越小、温度越高，扩散也越快。扩散现象说明了一切物体里的分子都在永不停息地做无规则的运动，温度越高，分子的无规

则运动越激烈。通常把大量分子的这种无规则运动叫做热运动。

分子间的作用力 分子与分子相当接近时所显示的相互作用力。分子间同时存在着引力和斥力的作用，而引力和斥力的大小都是随分子间距离的增大而减小、随距离的减小而增大的，但斥力比引力随距离变化得快。在某一瞬时分子间究竟表现为相互排斥还是相互吸引，取决于它们之间的合力，这个合力就叫分子力。当分子引力和斥力相等，合力等于零时，分子间的距离称做平衡距离 r_0 ，不同物质的 r_0 值略有不同，一般都在 10^{-10} 米数量级。当分子间的距离 $< r_0$ 时，由于引力和斥力都增大，而斥力比引力增长得更大，斥力大于引力，分子间表现为排斥。当分子间的距离 $> r_0$ 时，由于引力和斥力都减小，而斥力比引力减弱得更小，斥力小于引力，分子间表现为吸引。但当分子间的距离大于分子直径的 10 倍以上 ($> 10^{-9}$ 米) 时，分子间的吸引作用已经减小到十分微弱，这时可以认为分子间没有作用力了。

分子运动论 人类在长期实践探索中形成并不断发展完善的对物质的微观结构的认识。它的基本内容是：物体是由大量分子组成的，分子永不停息地做无规则运动，分子之间存在着相互作用的引力和斥力。按照分子运动论，热现象是大量分子无规则运动的表现，温度表示分子无规则运动的激烈程度，物体的内能是大量做无规则运动的分子具有的能。用分子运动论可以说明很多热现象和物质的性质。首先详细地研究了气体，建立了气体分子运动论，说明了气体的宏观性质。随后又用分子运动论研究了液体和固体，也获得了很大的成果。

气体的分子结构 气体很容易被压缩，说明气体中分子间的距离比较大，在标准状态 (0 和 1 标准大气压) 下，气体分子间的距离大约是分子直径的 10 倍。由于气体分子间的距离比较大，分子间的相互作用力十分微弱，通常可以近似地认为，气体分子除了相互碰撞或跟器壁碰撞外不受力的作用。因此，气体分子可以在空间里做匀速直线运动，只是在跟器壁或者别的分子碰撞时才改变速度的大小和方向。虽然比起固体和液体来，气体中的分子分布比较稀疏，但在单位体积中的分子数还是相当大的 (在标准状态下，1 厘米³ 气体中仍含有 2.7×10^{19} 个分子)，因此分子间的相互碰撞十分频繁 (在标准状态下，一个空气分子在 1 秒内跟其它空气分子的碰撞竟达 65 亿次之多)。频繁的碰撞造成气体分子做杂乱无章的热运动。由于气体分子可以在空间里到处移动，因此气体能充满它所能达到的空间，既没有一定的形状也没有一定的体积。

固体的分子结构 固体中分子间的距离很小 (在 10^{-10} 米数量级)，它们间的作用力很大，在常温下，绝大多数的分子只能在各自的平衡位置

构成物质的单位是多种多样的，或是原子 (如金属) 或是离子 (如盐类) 或是分子 (如有机物)。为了简化，这里把构成物质的单位统称为分子。

附近做无规则的振动，很不容易脱离自己的位置。因此，固体能保持一定的形状和体积。根据固体中分子的排列情况，固体可分为晶体和非晶体两类。

液体的分子结构 液体变成气体时，体积增大一千倍左右，而变成固体时，体积变化不大。可见，介于气体和固体之间的液体的分子结构比较接近于固体。也就是说，液体中分子间的距离一般比固体略大些，分子间的作用力比固体的小，但分子也是密集在一起的，因而液体具有一定的体积，不易压缩。液体分子也像固体分子那样可以在平衡位置附近做无规则的振动，不过振动很短的时间后，就移动到另一个位置上去。正是由于液体分子运动的这个特点，使液体容易流动，没有一定的形状。

气体的热膨胀 一般来说，一定质量的某种气体（譬如空气或氧气、氮气、氢气等），当温度发生变化时，它的体积和压强都将发生变化。如果设法使气体的压强保持不变，那么温度升高，气体的体积将增大；温度降低，气体的体积将减小。19世纪初，法国化学家、物理学家盖·吕萨克精细地研究了在上述条件下气体升温膨胀、降温收缩的规律，1802年发表了以他的名字命名的盖·吕萨克定律：一定质量的气体，在气体压强不变的情况下，温度每升高（或降低）1℃，增加（或减小）的体积等于它在0℃时体积的 $\frac{1}{273}$ 。如果用热力学温度来表达，盖·吕萨克定律可以改写为：一定质量的气体，在气体压强不变的情况下，它的体积跟热力学温度成正比。

气体压强跟体积的关系 一般来说，一定质量的某种气体（譬如空气或氧气、氮气、氢气等），当气体的体积发生变化时，它的压强和温度都将发生变化。如果设法使气体的温度保持不变，那么减少气体的体积，它的压强将增大；增大气体的体积，它的压强将减小。17世纪的六七十年代英国科学家玻意耳和法国科学家马略特各自独立发现了在上述条件下气体压强跟体积关系的规律——玻意耳-马略特定律：一定质量的气体，在气体温度不变的情况下，它的压强跟体积成反比。抽气机、打气筒、空气压缩机等都是利用气体压强跟体积的关系制成的。

液体的热膨胀 由于温度的改变，液体发生体积变化的现象。一般来说，液体在温度升高的时候体积膨胀，在温度降低的时候体积收缩。液体体积随温度变化的膨胀程度用体积膨胀系数表示。体膨胀系数 β 为单位体积的某种液体温度升高1摄氏度时体积的增加量。在同样的外界压强条件下，液体的 β 值一般来说比气体的小、比固体的大。不同液体的 β 值不同，譬如在20℃时水为 $0.21 \times 10^{-3}/\text{℃}$ 、酒精为 $1.12 \times 10^{-3}/\text{℃}$ 、水银为 $0.18 \times 10^{-3}/\text{℃}$ 。液体的 β 值与压强近似无关，主要取决于温度。一些液体的 β 值可以在相当大的温度范围内取作定值，但也有反常情况，例如温度从0℃到4℃的水有反常膨胀情况。

水的反常膨胀 温度从0℃升到4℃的过程中，水的体积缩小，称为

水的反常膨胀。在 4℃ 以上，水又随温度上升而膨胀。质量 1 克的纯水，0℃ 时的体积为 1.0002 厘米³，4℃ 时的体积为 1.0000 厘米³，10℃ 时的体积则为 1.0003 厘米³。可见纯水的密度在 4℃ 时最大，为 1.0000 克 / 厘米³。这些情况说明，水的热膨胀有它的特殊性。水在 4℃ 以上，跟一般的物体一样，是热胀冷缩的，但是在 0℃ 到 4℃ 之间，却是热缩冷胀的。

固体的热膨胀 由于温度的改变，固体发生长度、面积或体积变化的现象。一般来说，固体在温度升高的时候膨胀，在温度降低的时候收缩。固体的热膨胀的程度可分别用线膨胀系数 α 、面膨胀系数 β 和体膨胀系数 γ 表示。例如固体的长度随温度变化的规律为 $l_t = l_0(1 + \alpha t)$ ，其中 l_0 为 0℃ 时的长度， l_t 为温度 t (℃) 时的长度。对于各向同性的固体， α 、 β 、 γ 之间的关系为 $\beta = 2\alpha$ 、 $\gamma = 3\alpha$ 。从微观看，固体的热膨胀是固体中相邻分子（原子）间的平均距离增大。温度越高，分子（原子）无规则振动的能量越大，它们的平均距离也就越大，结果使整块固体胀大。

双金属片 把长和宽都相同的两种不同金属片（例如铜片和铁片）紧紧地铆在一起，就做成双金属片。深入研究热膨胀现象发现，组成物体所用的材料不同，它们的热膨胀程度一般也不相同。譬如在环境温度 25℃ 时，铜的线膨胀系数为 $16.6 \times 10^{-6} / \text{℃}$ ，而铁的则为 $12.0 \times 10^{-6} / \text{℃}$ ，显然前者的值较大。当使双金属片的两种金属同样受热时，由于铜片膨胀得比铁片大，双金属片就将向铁片那边弯曲；反之，使双金属片同样降温时，由于铜片收缩得比铁片大，双金属片则将向铜片那边弯曲。利用双金属片的这种现象，可以用于自动控制电路（如恒温箱中的自动控温装置）、日光灯起辉器电路以及测量温度等。

利用双金属片控制的恒温箱 用双金属片制成开关，依据温度高低自动控制电路的恒温设备。以用电热元件供热的恒温箱为例，图示为简化的电路原理。其中双金属片的下侧金属较上侧的热体膨胀系数大。接通电路使电热元件供热，箱内温度逐渐升高。当温度到达设计要求温度变化范围的最高值时，双金属片将因受热膨胀向上弯曲离开触点 K 切断电路，电热元件停止工作。随着周围温度的降低，双金属片的形状将逐渐复原，在不低于设计要求温度变化范围的最低值时接通电路，使电热元件继续供热。由于双金属片开关的自动控制，可使箱内的温度只在较小变化范围起伏，达到恒温的效果。

热膨胀在技术上的意义 固体的热膨胀程度比液体的小，比气体的更小，但它在膨胀或收缩时，对周围约束它的物体会产生相当大的力。在技术上需充分注意或加以利用，或防止它的破坏作用。譬如火车轮上加套硬度大、耐磨损的轮箍，把滚珠轴承装到钢轴上，用铆钉铆接金属零件时，都需要将轮箍、轴承、铆钉预先加热使之膨胀，趁热套装或铆接，冷却后会紧固在相关机件上。铺设铁轨要预留缝隙，铁桥要有自由端，楼体建筑

间要有伸缩缝，油、气管道要有伸缩管等等都是为了防止热胀冷缩产生的破坏作用。由于不同材料的线膨胀系数不同，对于进行精密测量的量具如游标卡尺、千分尺、块规等都需要用殷钢（含 36%的镍和 64%的铁）等线膨胀系数很小的材料制造，必要时还需在保持适当温度的恒温环境下进行测量。双金属片也是对不同的材料的线膨胀系数不同加以利用的一例。

液体的热膨胀程度比固体显著，而且液体的体膨胀系数在相当大的温度范围内可取作定值，因此可以作为膨胀式温度计的工作物质，例如玻璃液体温度计，就是根据上述规律利用液体的体积变化来指示温度的。

气体的体积变化跟温度、压强有密切的关系。应用高温高压的燃气在气缸内急剧膨胀推动活塞做功，是内燃机工作的主要原理。在做功中燃气的内能转化为活塞、机轴运转的机械能。压缩空气在风镐、风钻中膨胀做功，压缩空气的内能转化为镐头、钻头工作的动能。存贮压缩气体的钢瓶（如氧气瓶、液化石油气瓶等）在储运使用中，对环境温度的变化范围有一定的要求。如果温度过高（如在日光下曝晒、高温加热等），将有气体压强过大超过钢瓶耐压界限膨胀爆炸的危险。

热传递 是改变物体内能的两种方式之一，另一种方式是做功。在没有做功而只有温度差的条件下，能量——热——从温度高的物体转移到温度低的物体，或者从物体的高温部分传到低温部分的过程叫做热传递。热传递过程一直持续到温度相同时为止。在热传递过程中，一般用热量来衡量物体内能改变的多少。由于种种原因，物体之间或同一物体的不同部分，温度常常是不同的。所以热传递是一种普遍存在的自然现象。热传递的方式有三种：对流、传导和辐射。

对流 靠液体或者气体的流动而实现的热传递过程，是液体或者气体中热传递的主要方式。它的特点是，在热量传递的同时，伴随着大量分子的定向运动。其中较热部分和较冷部分之间通过循环流动相互掺和，使温度趋于均匀。对流往往自然发生——自然对流，例如煮水时水的上下循环流动，大气因下层受热而产生的上下循环流动等。造成自然对流的原因是温度不均匀所引起的密度或压强的差别。一般来说，高温处的密度小于低温处的密度（水在 0~4 的反常膨胀等除外），如果最初高温且密度小的处于低处，则在重力作用下，密度小的高温部分上升，密度大的低温部分下降填补，不断循环，从而出现了热量由高温处传向低温处的情况，最终温度趋于一致。另外一种是被迫对流，依靠外来作用使液体或者气体做循环流动，从而发生热传递过程。例如在量热器的小筒里用搅动器搅动水，就可以使原来的冷水和投进的较热物体的温度很快变得相同。

热传导 靠大量分子、原子或电子等粒子之间的相互碰撞作用，使热量由高温物体传向低温物体，或由物体的高温部分传向低温部分的热传递过程。热传导在固体、液体和气体中都能够发生，是固体中热传递的主要方式，在液体和气体中热传导往往与对流同时发生。同一物体在确定的两

端之间，温度差越大，在单位时间内传递的热量越多。不同的物质，导热性能不同。善于传热的物质叫做热的良导体。各种金属虽都是热的良导体，但其导热性能也有差异，其中最善于传热的是银，其次按序是铜、金、铝等。不善于传热的物质叫做热的不良导体。羊毛、羽毛、毛皮、棉花、石棉、软木和一些松软物质都是很好的绝热材料。液体，除水银（是金属）外都不善于传热，气体比液体更不善于传热。

热辐射 借助电磁波传递能量的方式，物体经常以电磁辐射的形式放出热量，是热传递的方式之一。它和对流、热传导不同，它能把热量以光速（ 3.00×10^8 米/秒）穿过真空从一个物体传给另一个物体。任何物体均会因自身的温度而向外辐射热量，不问自身的冷热程度和周围情况。温度越高，辐射越强。而且辐射能量最强的波段也随温度而变，如温度较低时主要是不可见的红外辐射——红外线又叫热线，在 500 以至更高时则逐渐发射较强的可见光以至紫外辐射。辐射源表面发射能量的本领还跟表面的性质有关，表面越黑暗粗糙，发射本领就越强。反之作为接收辐射来的能量的物体，表面越黑暗粗糙，吸收辐射能的本领也越强。而表面白亮光滑的物体，发射和吸收辐射能的本领都较弱。

保温瓶（杜瓦瓶） 是尽可能减少热量传递保持一定温度的容器。由英国化学家和物理学家杜瓦设计，最初用于低温现象的研究（约在 1892 年）。它是一个有双层玻璃壁的瓶子，夹层里的空气已经抽得非常稀薄，接近真空。夹层内的玻璃壁上镀了银，光亮如镜。瓶口盖着软木塞。玻璃和软木都是热的不良导体；夹层里几乎没有空气，瓶口又盖着塞子，对流很难发生；镀银的光亮表面可以把从里面或外面辐射来的热量尽量反射回去。因此，保温瓶把热传递的三种方式都尽可能避免了，使它能具有一定的保温功能。它既可以保持较周围环境温度高的物体的温度，如作为热水瓶用；也可以保持比环境温度低的物体的温度，在超低温技术中用它来储存液化气体。由于保温瓶不能完全避免热传递，所以它的保温作用是相对的。

水暖设备是综合利用热传递的几种方式取暖的常用装置，如图所示。给左下方的锅炉 A 加热，热水就顺着竖直的管子上升到膨胀池 B 和各支管里，再从支管流到各个屋子的散热器 C，热水把热传给散热器以后，它的温度降低，就顺着管子流回锅炉里再受热。这样，通过水的对流，锅炉的热就传给了散热器。散热器是用金属制成的（或用铸铁铸造，或用钢管、钢板等组装，其中有多条管道，有的外部装有散热片），表面积相当大，并且通常表面很粗糙，所以热很容易传导和辐射出去。散热器通常安装在窗户下面，当有冷空气进来时，从散热器上升的热气流可将其托向上方，以避免冷空气直接冲进屋子下部。可见，水暖设备将热传递的三种方式都利用到了。

土暖气 即家用小型水暖设备。跟大型水暖设备比较，同样要有锅炉、膨胀箱、上行水管、散热器和下行水管等主要部分。只是根据取暖房间的面积、墙壁厚度、门窗大小以及周围环境等在家用规模范围内，选用合适的专用炉具和散热器等。其中专用炉具带有加热水箱和出、入水管口，还可兼做烧水，炊事两用。取暖使用原理可参见“水暖设备”。

散热器 又名“暖气片”，是供暖系统中的散热设备。都是具有多条管道的空心容器，有进、出两个管口。常用铸铁制成，或用钢管、钢板等组装，外表面一般比较粗糙。有的装有散热金属片以增大散热面积。内部通过热水（水暖）或蒸气（气暖），由器壁及连带的散热片向室内散发热量。可根据取暖面积改变散热器的片数或规格。参见“水暖设备”。

俗你“水箱”。是水冷式内燃机和空气压缩机上用来把冷却水的热量散发到空气中的设备。由上、下水室和与它们连通的许多薄壁金属管及管外的金属片组成。从发动机水套流来的热水由上而下通过金属管时，经传导把热传给金属管和金属片，管、片再把热向外辐射和用风扇强迫对流传给空气。冷却后的水由下方流回水套供循环使用。

热传递的利用和防止 热传递过程在自然界广泛存在。在生产、生活中无论是利用还是防止热传递，对它的三种方式——对流、传导和辐射，均应全面考虑，因为往往三者同时起作用。

在需要利用热传递散热时，往往采用热的良导体——例如某些金属做导热材料；设备的表面积尽可能大一些、粗糙些，以利于辐射散热；有时还要应用某些液体或气体的对流循环加快散热。譬如日常取暖用的水暖设备、汽车发动机的水冷却散热设备、大型变压器的油冷却散热措施、大型发电机的氢冷却或水内冷却等散热措施都要全面应用热传递的三种方式。

在需要防止热传递保温时，就要采用相反的措施：用热的不良导体——绝热材料包裹物体，尽可能减小物体表面积并使表面光亮些，还可避免对流的形成。譬如保温瓶的应用，北方农田冬春季塑料地膜覆盖的保温措施、东北地区居室双层玻璃窗的冬季保温措施、极地居民用冰块建房抵御严寒的功能也都要尽可能使热传递的三种方式减少到最低限度。

物体的内能 物体内部大量分子无规则运动的能量和分子间的相互作用能的总和。其中，分子无规则运动的能量（分子热运动的平均动能）同温度有关系，物体温度越高，表明分子无规则运动的能量越大，温度是物体分子热运动的平均动能的标志；分子间的相互作用能（分子势能）同物体的体积有关系。因此，物体内能的多少同物体的温度和体积都有关系。譬如对一般物体来说，吸收热量温度升高，同时体积膨胀，这表明物体的内能有所增加。

初中教科书中讲：“物体内部大量分子做无规则运动所具有的能的总和，叫做物体的内能”。这是由于初中知识准备不足，对内能的初步讲述，不要把它绝对化了。

在讨论热学问题中，所涉及的总是内能的变化。能够改变物体内能的物理过程有两种：做功和热传递。

通过一些相应的过程，物体的内能可以跟机械能、电能等其它形式能相互转化。

做功可以改变物体的内能 克服摩擦力做功、在某些碰撞中做功、将气体压缩时做功……都会使相关物体的温度升高，表明这些物体的内能增加。譬如，用锯条锯木头、用锤头砸铁钉、压缩打气筒中的气体都会导致有关物体的温度升高，内能增加。相反，有些做功过程，譬如内燃机气缸内高温高压的燃气膨胀时对活塞做功，燃气的温度降低，内能减少。这些都说明做功可以改变物体的内能。在做功过程中，有的是机械能转化为内能，如克服摩擦力做功生热；也有的是内能转化为机械能，如气体膨胀对外做功气体温度降低。

热传递可以改变物体的内能 在热传递过程中，高温物体放热，温度降低，表明它的内能减少；低温物体吸热，温度升高，表明它的内能增加。热传递实质上就是内能从高温物体转移到低温物体。跟做功使物体内能发生变化的情况比较，热传递只是内能的转移，而做功过程则是内能与其它形式能相互转化的过程。

从改变物体内能的效果看：对一杯水，可以用热传递的方式传给它一定的热量，使它升高一定的温度；也可以用做功的方式，比如用搅拌水的方法，可使它升高同样的温度。两种方式不同，得到的结果却相同。除非事先知道，我们将无法区别是哪种方式使这杯水的内能增加的。可见，做功和热传递对改变物体的内能是等效的。

热量 物体同外界或物体各部分之间存在温度差发生传热时所传递的能量。一般地说也就是，在热传递过程中，物体吸收或放出的热的多少。这里所说的“吸收或放出的热”实质上指的是在只有热传递没有做功的情况下，物体增加或减少的内能。因此，热量是在热传递过程中，量度物体内能变化的物理量。热传递的条件是物体同外界或物体各部分之间存在温度差。热量总是由高温物体（或高温部分）向低温物体（或低温部分）传递，直到温差消失，温度趋于一致。要认清：热量和内能不同。内能是由物体的状态决定的，一定质量物体的温度、体积一定，状态就确定，它的内能也就一定。要使物体内能发生变化，可以通过热传递和做功两种过程实现。而热量只是在热传递过程中衡量物体内能变化多少的量。因此不能说“物体含有多少热量”。热量和温度不同。温度是描述物体状态的一个物理量，它反映了物体中分子热运动的剧烈程度。虽然热传递的发生条件是温度差，但传递的是能量而不是温度。热传递不仅可以使物体温度变化，还可以使物体在温度不变的情况下发生物态变化。因此不能说“物体吸收热量多，温度变化一定大”。即使不发生物态变化，物体吸收或放出的热量，也不仅和物体前后温度变化量的大小有关，还跟物体的比热[容]

和质量有关。因此不能说，“不同的物体比较，只要温度变化大的，吸收或放出的热量一定多”。热量和功不同。它们都可以衡量物体内能变化的多少，热量和功还有确定的当量关系。它们的区别在于：通过做功过程改变物体内能，是机械能或其它形式能与内能之间发生转化的过程；而通过热传递过程改变物体内能，则是内能在温度不同的物体之间或一物体的两部分之间转移的过程。

热量的计算，在不发生物态变化时，物体吸收或放出的热量 $Q=cm(t_{高}-t_{低})$ 。其中 c 为物质的比热[容]， m 为物体的质量， $(t_{高}-t_{低})$ 是先后的温度差。有物态变化过程时还需计算相关的热量（熔化热、汽化热等）。

热量的单位在国际单位制中与功、能单位相同，都是焦（J）；非国际制单位是卡， $1卡 = 4.187焦 = 4.2焦$ 。燃料的燃烧值燃料在燃烧过程中，燃料的化学能通过化学变化转化为内能，也就是通常所说的释放出热量。1 千克某种燃料完全燃烧放出的热量，叫做这种燃料的燃烧值，燃烧值的国际制单位是焦 / 千克。

几种燃料的燃烧值（焦 / 千克）

干木柴（约） 1.2×10^7	柴油 3.3×10^7
烟煤（约） 2.9×10^7	煤油 4.6×10^7
无烟煤（约） 3.4×10^7	汽油 4.6×10^7
焦炭 3.0×10^7	氢 1.4×10^8
木炭 3.4×10^7	煤 气（焦/米 ³ ）（约） 3.9×10^7
酒精 3.0×10^7	天燃气（焦/米 ³ ） $7.1 \sim 8.8 \times 10^7$

比热[容] 单位质量的某种物质温度升高 1 吸收的热量。各种物质的比热[容]不同。同样的物质在同样环境中，单位质量的这种物质温度降低 1 放出的热量和它的比热[容]值相等。比热[容]的国际制单位是焦 /（千克·^oC）比热[容]是物质的一种特性，每种物质都有自己的比热[容]。但对气体来说，在体积恒定时和压强恒定时比热[容]不同，对于固体和液体则影响很小不作区分。由于物态变化，同一种物质在不同物态下比热[容]也不同。例如冰与水的比热[容]不同，见下表。

几种物质的比热[容][焦 /（千克·^oC）]

水 4.2×10^3	蓖麻油 1.8×10^3	铁、钢 0.46×10^3
酒精 2.4×10^3	砂 石 0.92×10^3	铜 0.39×10^3
煤油 2.1×10^3	铝 0.88×10^3	水 银 0.14×10^3
冰 2.1×10^3	干泥土 0.84×10^3	铅 0.13×10^3

在上表所列物质中，水的比热[容]最大。因此，对于同等质量的物质，

在吸收或放出同样热量的情况下，水的温度变化最小。沿海地区不像内陆地区的气温变化显著，就是这个道理。

热量的计算 参见“热量”和“比热[容]的测定”。

热平衡方程 温度不同的两个物体互相接触时，高温物体就要放出热量，低温物体就将吸收热量，发生热传递，一直继续到两个物体的温度相同时为止。如果在热传递过程中没有热量的散失（即在绝热的条件下，热传递只在所述两物体之间进行），则低温物体吸收的热量 $Q_{\text{吸}}$ 等于高温物体放出的热量 $Q_{\text{放}}$ ，即

$$Q_{\text{吸}} = Q_{\text{放}},$$

这就是所述过程的热平衡方程。实际上如果周围还有其它物体并存在着温差，在这种情况下，所述物体与周围还会有热传递发生。这时则需要更大范围内建立一个绝热的“系统”。在这个系统内仍可以建立起热平衡方程。应用热平衡方程可以进行热量以及与热量有关的各物理量的定量计算。参见“比热[容]的测定”。

比热[容]的测定 一般采用混合法测定物质的比热[容]，在量热器中进行。

量热器的主要部分是两个圆柱形金属筒 A 和 B，小筒 A 通常用铝或铜制作，大筒 B 也可以作成陶瓷的。小筒 A 放在大筒 B 内，中间用木支架 C 和空气将两筒隔开，如图所示。大筒 B 上有带两小孔的木盖。可分别插温度计和搅动器。量热器的构造使它能够尽量减少因热传递而出现的热量散失。

以测定铜的比热[容]为例。先分别测出所用铜块（或铜柱）的质量 m_1 、铝制小筒 A（包括铝搅动器）的质量 m_3 和筒中所放适量的冷水质量 m_2 ，然后将铜块加热（可放在沸水中进行）并测出其最高温度 t_1 ，同时测出小筒 A 及其中冷水的较低温度 t_2 。迅速将被测铜块投进小筒水中，盖好木盖，用搅动器搅动水，使水、铜块以及小筒（包括搅动器）的温度很快地趋于一致。从温度计读出它们混合后的共同温度 t 。假定量热器的绝热性能良好，则应有铜块降温所放出的热量 $Q_{\text{放}}$ 跟冷水升温所吸收的热量 $Q_{\text{吸}1}$ 与小筒 A 与搅动器升温所吸收的热量 $Q_{\text{吸}2}$ 之和相等的热平衡关系，即可建立热平衡方程

$$Q_{\text{放}} = Q_{\text{吸}1} + Q_{\text{吸}2}$$

代入已测定的各量数据，为：

$$c_{\text{Cu}}m_1(t_1 - t) = (c_{\text{H}_2\text{O}}m_2 + c_{\text{Al}}m_3)(t - t_2)$$

由此可计算出铜的比热[容]

$$c_{\text{Cu}} = \frac{c_{\text{H}_2\text{O}}m_2 + c_{\text{Al}}m_3}{m_1} \cdot (t - t_2)$$

其中水和铝的比热[容]可查表记取。

地热能 在地球内部，由于放射性元素在衰变时不断地放出大量热，

使地球成为一个大热库。它主要通过火山爆发、喷泉、温泉等途径，源源不断地把内部释放的能量带到地表上来，这就是地热能。据估计，每年从地球内部传到地表的热量大约相当于 1000 亿桶石油燃烧放出的热量。仅地表以下 10 千米范围的地热储量，就相当于现在世界能源年消耗量的 400 多万倍。在目前条件下，地热能可利用的主要是地热蒸气和地下热水，称为“地热资源”。我国地热资源十分丰富，已发现的天然温泉就有 2000 处以上，温度大多在 60℃ 以上，个别地方达 100~140℃（过热水）。在西藏、云南等省区还发现了地热湿蒸气田。

地热利用的形式很多，地热发电是重要的一种形式。地热发电，它同火力发电的原理是一样的，所不同的是，它不需要消耗燃料，它的能源来自地热。地热发电方式根据热源种类基本上可分为地热蒸气发电和地下热水发电。在西藏拉萨西北的羊八井地热田现已开发利用，建成了地热发电站。

能的转化和守恒定律 是自然界最普遍、最重要的基本定律之一。它的内容是：能量既不会消灭，也不会创生，它只会从一种形式转化为其它形式，或者从一个物体转移到另外的物体，而能的总量保持不变。这一规律是在 19 世纪中叶由德国医生、物理学家迈尔、英国物理学家焦耳等很多科学家分别独立发现和论证的，特别是迈尔的深入研究和焦耳的大量实验，为定律的确立作出了重要贡献。

下面以物体内能的改变为例，说明能的转化和守恒的规律。我们知道，改变物体的内能有两种过程，即做功和热传递。做功使物体内能发生变化时，其它形式的能和内能发生相互转化。譬如，在摩擦生热的现象中，机械能转化为内能。克服摩擦做了多少功，就有多少机械能转化为等量的内能。在气体膨胀做功的现象中，内能转化为机械能。气体膨胀做了多少功，就有多少内能转化为等量的机械能。热传递使物体内能发生变化时，只是内能在物体之间的转移，而没有能量形式的转化。一个物体从外界吸收了多少热量，就有多少内能从外界转移给这个物体。反之，一个物体向外界放出了多少热量，就有多少内能从这个物体转移给外界。总起来说，外界对物体做功和热传递提供给一个物体多少能量，物体的内能就增加多少；物体对外界做功和热传递转化和转移了多少能量，物体的内能就减少多少，能量在转化或转移中是守恒的。不但机械能，其它形式能也可以和内能相互转化。譬如，通电导线变热，电能转化为内能；燃料燃烧生热，化学能转化为内能；炽热的灯丝发光，内能转化为光能；……大量实验证明，在这些转化中能量也是守恒的。

从物理、化学到地质、生物，大到宇宙天体，小到原子核内部，只要有能的转化，就一定服从能量守恒的规律。从日常生活到科学研究、工程技术，这一规律都发挥着重要的作用。人类利用各种能源，如煤、石油等燃料以及水能、风能、地热能、原子能等，都是通过能的转化来实现的。

能的转化和守恒定律是人们认识自然和利用自然的有力武器。

热机 把内能转化为机械能——即利用内能来做功的机器。例如蒸汽机、内燃机、蒸汽轮机、燃气轮机、喷气发动机和火箭发动机等都是热机。所有热机都具有的共同点是：燃料燃烧化学能转化为内能释放出热量，使工作物质——水蒸气或燃气——的内能增加，工作物质膨胀做功，把一部分内能转化为机械能，同时工作物质的内能减少，温度降低。

内燃机 这种热机的基本特点是让燃料在机器的气缸内燃烧，生成高温高压的燃气，利用这种燃气作为工作物质去推动活塞做功。

内燃机有两种：一是汽油机，二是柴油机。它们分别以汽油和柴油作燃料。在结构和工作过程也各有它们的异、同点。

四冲程汽油机 每一个工作循环由四个冲程组成，以汽油作燃料的内燃机。是由德国工程师奥托发明、改进，并于 1876 年制成第一台四冲程循环内燃机。它的构造如图所示。主要部分有气缸、活塞、进气门、排气门、火花塞，活塞用连杆跟曲轴相连，轴上装有质量很大的飞轮。活塞在气缸中往复运动，从一端运动到另一端为一冲程。一个循环的四个冲程工作情况是：吸气冲程（见图）：进气门打开，排气门关闭，活塞被曲轴带动下行，气缸内气压降低，由汽化器形成的汽油与空气组成的燃料混合物从进气门被吸入气缸。压缩冲程（见图）：进、排气门都关闭，活塞继续被曲轴带动上行，燃料混合物被压缩到原来体积的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}$ ，压强达到 6 ~ 15 个大气压。温度升高到 250 ~ 300 左右。做功冲程（见图）：在压缩冲程末尾，火花塞高压放电产生电火花，使燃料猛烈燃烧，产生高温高压的燃气，温度高达 2000 ~ 2500，压强可达 30 ~ 50 个大气压。高温高压燃气推动活塞下行做功，通过连杆带动曲轴转动。排气冲程（见图）：进气门关闭，排气门打开，活塞被曲轴带动上行，把废气排出气缸。接着又周而复始进行下一个循环，使汽油机连续工作。四个冲程中只有做功冲程是燃气对活塞做功。其它三个冲程要靠飞轮的惯性运转通过机轴带动来完成，是为做功冲程做准备的工作过程。在开始运转时要靠外力（电动机起动或手摇起动等）先使曲轴转动带动活塞运行，直到汽油机正常运行。在四冲程内燃机中每一个工作循环的四个冲程中，机轴转动两周，燃气只在一个冲程中对外做功。在内燃机中，汽油机重量轻、转速高、起动方便、运转平稳。常用在汽车、飞机和小型农机设备上。

四冲程柴油机 每一个工作循环由四个冲程组成，以柴油作燃料的内燃机。是由德国工程师狄塞尔在 1892 ~ 96 年发明。柴油机的构造和汽油机相似（图），主要的不同是柴油机气缸顶部没有火花塞，而有一个喷油嘴。四冲程柴油机的工作过程在一个循环中也分为吸气、压缩、做功和排气四个冲程。跟汽油机不同的是：在吸气冲程中，吸进气缸的只是空气；

在压缩冲程中，活塞把空气的体积要压缩到原来的 $\frac{1}{15} \sim \frac{1}{18}$ （比汽油机压缩

得更小)，在压缩冲程之末，空气的压强可高达 35 ~ 45 个大气压，温度则升高到 500 ~ 700 ，这时从喷油嘴喷出的雾状柴油遇到高温空气立即燃烧，燃气温度可高达 1700 ~ 2000 ，压强则达 50 ~ 100 个大气压，大大高于汽油机中燃气的压强。一般来说柴油机的效率要比汽油机高出 8 ~ 10 %。柴油机与汽油机比较，用油便宜而且效率高，但较笨重。主要用在载重汽车、拖拉机、坦克、内燃机车、轮船上，还可用来带动发电机发电。

外燃机 高温热源和工作部分分别设置的热机。这是相对于将高温热源和工作部分合在一起的内燃机来说的。譬如蒸气机、蒸气轮机的高温热源是锅炉。工作物质——高压过热蒸气——从锅炉中吸收热量（是来自于燃料燃烧所释放出热量的一部分），在工作部分——即通常所说的“蒸气机”、“蒸气轮机”——膨胀降温对外做功，最后排放到低温的冷凝器中（最简单的冷凝器就是大气）。

热机效率 在热机里，用来做有用功的能量跟燃料完全燃烧放出的能量之比。它由燃烧效率、热效率和机械效率几部分组成。

燃烧效率是指工作物质从高温热源（即发热器）实得热量 Q_1 与燃料在发热器中完全燃烧放出的热量 Q 之比。即燃烧效率 $\eta_{燃} = \frac{Q_1}{Q} \times 100\%$ 。它反映了燃料完全燃烧放出的热量被工作物质吸收的程度。

热效率是指工作物质在热机的工作部分做功转化为机械能的热量（为工作物质从发热器所得热量 Q_1 与做功后工作物质传给冷凝器的热量即热损耗 Q_2 之差） $Q_1 - Q_2$ 与其从发热器所得热量 Q_1 之比。即热效率 $\eta_{热} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\%$ 。它反映了工作物质所获得的热量转化为机械能的程度。

机械效率是指热机对外所做有用功（为转化为机械能的热量 $Q_1 - Q_2$ 与机械损耗的热量 Q_3 之差） $Q_1 - Q_2 - Q_3$ 与转化为机械能的热量 $Q_1 - Q_2$ 之比。即机械效率 $\eta_{机} = \frac{Q_1 - Q_2 - Q_3}{Q_1 - Q_2} \times 100\%$ 。它反映了在机械传动中能量可利用的程度。

$$\text{热机效率} = \eta_{燃} \cdot \eta_{热} \cdot \eta_{机} = \frac{Q_1 - Q_2 - Q_3}{Q} \times 100\%。$$

提高热机效率的途径 使燃料充分燃烧减少燃烧不完全损失的能量，采取绝热措施减少散热损失的能量，以提高燃烧效率；提高热源（发热器）的温度、降低冷源（冷凝器）的温度，尽量减少废气带走的能量，以提高热效率；改进传动机构、减少机件磨损，降低因克服摩擦损失的能量，以提高机械效率。

热机与环境保护 热机的广泛应用，促进了社会生产的发展和人们生活水平的提高，但热机的大量应用，也造成环境污染，给人类带来危害。热机造成的环境污染有烟尘废气污染和噪声污染等。

煤、石油制品等燃料所含杂质在热机应用燃料燃烧过程中，会随之形

成二氧化硫、氮的氧化物、某些碳氢化合物等，燃料的不充分燃烧还会产生粉尘和一氧化碳，这些烟尘废气直接排放到大气中，就成为污染大气的重要原因。例如大量汽车排放的废气在日光作用下，会形成光化学烟雾，能导致眼睛红肿、流泪、喉痛、胸痛和呼吸衰弱等现象，严重的会造成死亡。大气污染不但直接有害人体健康，还会影响动、植物的正常生长，造成对金属材料的腐蚀、古迹建筑材料的侵蚀，甚至影响全球的气候。

热机运转形成的噪声对城市环境的污染也是一大公害，轻者使人厌烦、分散注意力影响工作休息，重者会引起耳聋、心血管系统和中枢神经系统的疾病，极强的噪声甚至直接造成死亡。

保护环境，控制和消除大气污染、噪声污染等公害，已成为现代化进程中需要解决的重要迫切课题。对于热机来说，应改进燃烧设备和技术，使燃料充分燃烧，尽力消除燃烧不充分的污染物；加装消烟除尘装置，减少烟尘的排放量。应改进热机运行中的消声技术措施，合理布局使应用大型热机设备的工厂远离人口密集区等等。

蒸汽机 是利用高压过热蒸气在气缸内膨胀，推动活塞做往复运动而做功的热机。1782年英国工人技师瓦特发明的往复式蒸汽机被广泛应用，图（ ）是往复式蒸汽机的构造示意图。由锅炉来的高压过热蒸气进入气缸右侧，推动活塞向左运动。活塞左侧的废气经左侧的气路从排气管排出。当活塞运行到左端时，滑动阀遮住右侧的气路，高压过热蒸气进入气缸的左侧，推动活塞向右运动，活塞右侧的废气经右侧气路从排气管排出（见图（2））。这样，蒸气使活塞不停地做往复运动。活塞的往复运动通过连杆、曲柄，使机轴的飞轮转动，同时带动滑动阀配合动作，适时开闭左、右气路，使蒸汽机正常运转。蒸汽机的发明对18世纪的工业发展起了巨大的作用。但它需要庞大的锅炉生产水蒸气，还需要曲柄连杆机构把往复运动变为转动，这就使蒸汽机十分笨重，而且效率很低，只有6~15%，现在，我国和世界上的许多国家，都不再生产蒸汽机。只有部分蒸汽机车还运行在一些铁路线上。

蒸汽轮机 是利有高压过热蒸气经过膨胀获得动能，直接高速冲击轮机的叶片以带动叶轮机轴转动的热机（见图（1））。于1884年由英国的查尔斯首先制造。

对于单级蒸汽轮机来说，离开叶轮以后的蒸气，还有很大的能量未被利用。为了充分利用蒸气的能量，机轴上装有多级叶轮，相邻叶轮之间装有固定的喷嘴（见图（2））。蒸气从第一级喷嘴喷出膨胀做功推动第一级叶轮后，进入第二级喷嘴，再从它喷出再膨胀做功推动第二级叶轮，然后再进入第三级喷嘴……，蒸气逐级膨胀做功，内能多次释放转化为由同一机轴高速转动所输出的机械能。这种多级蒸汽轮机的功率可达几十万千

瓦。转速可达 3000 周 / 分，热效率为 25 ~ 30%。主要用来带动大型发电机发电，是大型火电站、原子能电站等必用的动力机。

燃气轮机 是近几十年来，人们吸取内燃机和蒸汽轮机的特点，研制成的一种热机。它是让高温高压的燃气直接冲击叶轮的叶片而做功的。因此它的构造和工作原理都与蒸汽轮机类似。由于它没有笨重的锅炉设备(采用燃烧室)，也不用曲轴连杆等传动机构。所以燃气轮机的体积小、重量轻、效率高(可以达到 50 ~ 60%)。由于高温高压的燃气直接冲击叶片，这就要求使用高性能的耐热材料来制造叶片，而且还要有很好的冷却设备，以保证机器在工作中不致过热。燃气轮机首先应用在飞机上，现已逐步用于火车、高速舰船和火力发电站上。

喷气发动机 是利用发动机本身高速喷出的燃气的反作用力推动飞行器前进的航空发动机的总称。这种发动机推力大、重量轻、迎面尺寸小，适于高空高速飞行。喷气发动机可分为两大类：空气喷气发动机和火箭发动机。

空气喷气发动机的特点是：工作过程中须要从大气中吸入燃料燃烧所必须的助燃氧气，因此只能在大气中工作，不能到大气层以外的空间里去。这种发动机的种类很多，其中涡轮喷气发动机应用较广。

火箭发动机的特点是：它既带燃料，又带氧化剂，不需要空气中的氧气助燃。适用于超高空(包括真空)和超高速飞行器。它又分液体燃料火箭发动机和固体燃料火箭发动机两类。火箭发动机是发射导弹、人造卫星、宇宙飞船的动力，是人类飞向太空的有力工具。液氢、液氧是目前世界上最先进的火箭发动机的燃料和氧化剂。我国长征三号运载火箭的第三级就是采用液氢为燃料、液氧为氧化剂的；最新一代大推力的长征二号 E 捆绑式运载火箭有两级也装有液体燃料火箭发动机，并有四个捆绑助推器共同组成，有效载荷可达 7.7 吨。

空气喷气发动机 见“喷气发动机”。

火箭发动机 见“喷气发动机”。

五、物质的三态及其相互转换

物质的三态 物质在一定的温度、压强条件下所处的相对稳定的状态称为物态。在一般条件下，主要是固态、液态和气态这三种分子或原子集团的聚集状态。当分子或原子在相互作用的影响下，只能围绕各自的平衡位置做微小的无规则振动时，表现为固态；当分子或原子运动得比较剧烈，使它没有固定的平衡位置，但还不致分散远离时，就表现为液态；如果不但分子或原子的平衡位置没有了，也不能维持一定的距离，分子或原子之间的相互作用除了相互碰撞时以外几乎可以忽略，就表现为气态。因此，固体状态能够保持一定的体积和形状，液体状态虽能保持一定的体积但没有一定的形状，具有流动性，而气体则能充满它所能达到的空间，既没有一定的体积，也没有一定的形状。

有人认为除了上述三种状态外，还应增加等离子态和超固态两种物态。当气体中的分子或原子运动更加剧烈，就充分电离成离子与电子的混合集团，这种状态称为等离子态，这是宇宙中普遍存在的一种物质的聚集状态；当压强达到百万级大气压时，原子结构被破坏，原子外围的电子壳层被挤压到原子核范围，这种状态称为超固态。

晶体 是固体中的一大类，组成固体的粒子（原子、离子或分子）在空间有规则排列（呈空间周期性排列）的是晶体。有时晶体也可以从几何外形上来辨认。许多天然晶体如石英、方解石等，呈规则的多面体外形。但外形不一定是可靠的标志，往往由于生长条件的限制，规则的晶面未能充分显露。在物理性质上，晶体在不同方向上的性质（如力学性质，热学性质、电学性质、光学性质等）是不同的——各向异性。譬如云母晶体在不同方向上的导热性不同。晶体还具有确定的熔点。这些都是内在结构的周期性在宏观物理性质上的表现。

晶体又分为单晶体和多晶体。单晶体指整块物体是一个晶体。上述的晶体就是指单晶体。如果整块物体是由许多杂乱无章地排列着的小晶体（晶粒）组成，该物体就是多晶体。一般的金属材料即是，晶粒大小约有 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ 厘米，每个晶粒都是小的单晶体，具有各向异性，但整块多晶体除仍有确定的熔点外，既没有天然规则的几何形状，在物理性质上也不显示各向异性，而是各向同性的。

非晶体 是固体中的又一大类，组成固体的粒子在空间的分布是混乱的，在长距离上没有规则性（内部不具有周期性结构）的是非晶体。从外观上来看，它的天然状态没有规则的形状。在物理性质上，非晶体在不同方向上性质相同——各向同性。譬如非晶体玻璃在不同方向上的导热性相同。非晶体没有确定的熔点，温度升高，逐渐软化，流动性随之增加。这些都是内在结构不具有的周期性在宏观物理性质上的表现。

非晶体的内在微观结构跟液体非常类似，可以看作是粘滞性极大的液

体。所以严格说来只有晶体才能叫做真正的固体。

熔化现象 物质从固态变成液态的现象。晶体和非晶体由固态熔化为液态时的情况不同。在外界一定压强的条件下，晶体有一定的熔化温度——熔点。给晶体加热，当温度升高到熔点时，晶体开始熔化，在熔化吸热过程中，温度保持不变，直到全部熔化完以后，温度才继续上升。譬如，在一个大气压下，冰在它的熔点 0°C ，外界持续均匀供热，冰开始熔化为水，直到完全熔化成水以前一直是冰、水混合状态，温度保持 0°C 。非晶体没有一定的熔点。在加热过程中温度持续升高，非晶体先是由硬变软，再逐渐变成粘稠状液体，最终变成流动性好的液体。在整个熔化吸热过程中，温度不停地上升，没有固定的熔化温度。譬如石蜡、松香、沥青在吸热熔化的过程都有这种变化过程。

大多数物质在熔化时体积膨胀，也有少数物质正好相反，例如冰、灰铸铁、锑、铋等，它们在熔化时体积缩小。

凝固现象 物质从液态变成固态的现象。晶体和非晶体由液体凝固为固态时的情况不同。在外界一定压强的条件下，晶体有一定的凝固温度——凝固点。同一种物质的凝固点跟它的熔点相同。使液体散热，当温度降到凝固点时，液体开始凝固，在凝固放热过程中温度保持不变，直到全部凝固成晶体以后，温度才继续下降。譬如，在一个大气压下，水在它的凝固点 0°C ，持续向外均匀散热，水开始凝固成冰，直到完全凝固成冰以前一直是冰、水混合状态，温度保持 0°C ，非晶体没有一定的凝固点，它的液态在放热过程中温度不断降低，液体由稀变稠，由软变硬，最后成为固态。在整个凝固放热过程中，温度不断下降，没有固定的凝固温度。

大多数物质在凝固时体积收缩，也有少数物质正好相反，它们在凝固时体积胀大，用灰铸铁浇铸成的工件，表面纹理清晰；冬季水管和盛水容器常会在冻冰时被胀裂，都是这个道理，须分别加以利用或防止。

熔点 晶体物质熔化时的温度，也就是该物质的固态和液态可以平衡共存的温度，同一种物质的凝固点跟它的熔点在同样的外界压强下相同。

晶体物质的熔点跟压强有关系。熔化时体积膨胀的物质，外界压强增大，熔化将受阻，熔点将升高；熔化时体积缩小的物质则相反，外界压强增大，会促进熔化，所以熔点降低，冰的熔点就是随增压而降低的，但变化不大。如每增加 1 个大气压，冰的熔点仅降低 0.0075°C ，因而在 336 个大气压下，冰的熔点将降为 -2.5°C 。

一般来说，纯物质中掺进另一种物质，熔点要降低。例如海水比淡水的熔点低。冰和食盐的混合物，熔点可降到零下二十多摄氏度。若为冰和氯化钙的混合物，熔点可降到零下五十多摄氏度。某些合金的熔点较其中的纯金属的熔点要低。一些低熔点合金在生产技术中被广泛应用。如焊接电路用锡铅合金、保险丝用铅锑合金等。

几种晶体物质在 1 标准大气压下的熔点 ()

碳	3550	金	1064	萘	80	固态甲苯	-102
钨	3410	银	962	海波	48	固态酒精	-117
纯铁	1535	铝	660	冰	0	固态氮	-210
铸铁 ~	1200	铅	327	固态水银	-39	固态氢	-259
铜	1083	锡	232	固态氨	-77.7		

加盐改变冰的熔点 见“熔点”。

熔化热 单位质量的某种晶体物质在熔点熔化成同温度的液体时吸收的热量。单位是焦/千克。单位质量的某种晶体的液态物质在凝固点凝固成同温度的晶体时放出的热量等于该物质在同一温度的熔化热。物质的熔点跟压强有关系，同一种物质在不同的熔化温度下，它的熔化热也不同。

几种晶体物质在 1 标准大气压下的熔化热（焦/千克）

铝	3.96×10^5	铁	2.67×10^5	干冰(CO ₂)	1.81×10^5	锡	0.6×10^5
冰	3.35×10^5	铜	2.05×10^5	萘	1.51×10^5	铅	0.25×10^3
镍	299×10^5	钨	1.92×10^5	金	0.64×10^5	固态水银	0.11×10^5

熔化热常用字母 Q_0 表示。知道了熔化热，就可以算出质量为 m 的晶体在熔化时吸收的热量 Q ：

$$Q = Q_0 \cdot m。$$

熔化图象和凝固图象 用以表示物质的熔化和凝固过程的温度—时间关系图象。如图所示，在直角坐标系中横轴表示吸热或放热的时间，纵轴表示温度。在观察某种物质的吸热熔化的过程中，记录下相隔相等时间的各个时刻物质的温度值，将各组温度、时间数据标入坐标图中（每一坐标点与一组数据对应），然后用平滑曲线把这些点连接起来，就得到熔化图象和凝固图象。从图象中可以形象地观察熔化、凝固的全过程，对比晶体与非晶体在物态变化过程中的不同和各自的特点，不同晶体的熔点（凝固点）以及过程所需时间的数值。图甲表示海波熔化图象。结合实验中观察到的状态和温度变化，可知：图象中 AB 段表示固态海波的温度随加热时间的增长而逐渐升高；到达 48 开始熔化，BC 段表示熔化过程，在这个过程中虽然继续加热，但温度保持不变——熔点为 48，直到固态海波全部熔解为液态；CD 段则表示完全成为液态的海波吸热继续升温的过程。乙图为海波的凝固图象，可知液态海波放热降至 48 开始凝固，凝固放热过程中温度保持不变，它的凝固点与其熔点相同。丙图表示石蜡的熔化图象。在它由固态先变软，然后逐渐变稀，最后成为液态的吸热全过程中，温度不断上升，没有一定的熔化温度。丁图为石蜡的凝固图象，表明非晶体也没有一定的凝固点。

使水冷却的方法 冷却热水是加 0 的水还是加等质量的 0 的冰效

果明显？我们知道，1 千克水温度升高 1℃ 吸收 4.2×10^3 焦的热量，而 1 千克冰在 0℃ 熔化成同温度的水则能吸收 3.35×10^5 焦的热量，是前者的 80 倍。因此冷却热水如果加 0℃ 的冰比加等质量的 0℃ 的水效果明显。不仅降温时间短，而且加足够数量的 0℃ 冰可以使热水降温到 0℃，但加再多的 0℃ 的水，与热水的混合温度也一定高于 0℃，不可能降为 0℃。这是因为冰在熔化过程尽管吸收大量的热，但温度总保持 0℃ 不变，直到完全熔化为止。而 0℃ 的水只要吸热必定升温。

水在凝固时放热的应用 由于水在 0℃ 结冰时，每 1 千克水要放出 3.35×10^5 焦的热量，这是 1 千克水温度下降 1℃ 所放出热量 (4.2×10^3 焦) 的 80 倍。因此，北方冬天菜窖里放上几桶水，可以利用水凝固时放的热使窖内温度不致降低得很多，防止把菜冻坏。譬如在窖内放入 200 千克 10℃ 的水，当这些水降温到 0℃ 并结成 0℃ 的冰的过程中一共可放出的热量

$$Q = cm(t_{\text{高}} - t_{\text{低}}) + Q_{\text{放}}, \text{ 即}$$

$$Q = [4.2 \times 10^3 \times 200 \times (10 - 0) + 3.35 \times 10^5 \times 200] \text{ 焦} = 7.54 \times 10^7 \text{ 焦}.$$

如果是用燃烧干木柴 (燃烧值为 1.26×10^7 焦/千克) 获得这些热量，那

$$\text{么需要烧掉干柴的质量是 } \frac{7.54 \times 10^7 \text{ 焦}}{1.26 \times 10^7 \text{ 焦/千克}} = 6.0 \text{ 千克}.$$

与此相反，冰在熔化时要吸热，而且在 0℃ 千克冰熔化成水要从周围吸收 3.35×10^5 焦的热量。因此，天气谚语“下雪不冷化雪冷”，道理就在于雪熔化时尽管温度保持在 0℃，但需要从周围吸收大量的热的缘故。

“下雪不冷化雪冷” 见“水在凝固时放热的应用”。

汽化现象 物质从液态变成气态的现象。汽化有两种方式：蒸发和沸腾。无论哪种方式的汽化过程，物质都需要吸收热量，在任何温度下，液体表面都有蒸发现象，温度越高，蒸发越快。在外界一定的压强下，当温度升高到某一特定值——沸点——时，液体发生剧烈的汽化，这时的汽化过程不仅发生在液面，也发生于液体内部，不断出现饱含蒸气的气泡上升液面，这就是沸腾。

蒸发 是液体汽化的两种方式之一，是液体在任何温度下都能发生的、并且只从液体表面发生的汽化现象。

液体中分子的热运动总是有快有慢，它们的平均动能随温度的升降而增减。在任何温度下，总有一部分分子的动能大于平均动能。那些处在液体表面附近的、动能足够大的分子，能够挣脱周围分子的引力，飞出液面，形成蒸气，这就是蒸发的微观原因。在蒸发过程中，从液体中飞出的总是动能较大的分子。这些分子飞出液体后，留在液内的分子的平均动能势必有所减小，因此在蒸发过程液体的温度下降。这时它就要从周围的物体吸收热量。可见，液体蒸发有致冷作用。利用这个道理可以获得低温。电冰箱、空调器中，氟利昂作为制冷剂，当它在蒸发器中迅速蒸发时就会大量吸热获得相当低的温度。在超低温技术中，利用液氮的绝热蒸发，可获得

仅有 0.7K 左右的低温（约—272℃）。

影响蒸发快慢的因素 对同一种液体来说，影响蒸发快慢的因素有三个，即液体温度的高低、液体与气体间接触的表面积大小以及液面上气体流动的快慢。在同样条件下，不同液体蒸发的快慢不同。

液体温度越高，分子的平均动能就越大，其中具有足够大的动能且能飞出液面的分子也就越多。因而蒸发得越快。

液体与气体间接触的表面积越大，处在液面附近的分子数就越多，能够从液面飞出的分子也就越多。因而蒸发得越快。

飞出液面的分子如果停留在液面附近，由于分子的热运动，有的分子会撞到液面，被液体分子重新拉回到液体中去，这样蒸发将变慢。如果设法把液面上形成的蒸气吹散，使蒸气的密度减小，使蒸气分子回到液体中的数量比同时从液面跑出的分子数量少得多，蒸发就可以加快。

在同样条件下，比较不同液体的蒸发情况，容易蒸发的液体——挥发性大。这种差别跟分子间的作用力有关。分子间作用力小的液体容易蒸发。

坎儿井 是新疆维吾尔等族人民利用地下水通过地下渠道灌溉农田的水利设施。主要分布在吐鲁番、哈密一带干旱地区。从山地水源挖一地下暗渠（最长可达二三十千米），每隔二三十米有一通地面的竖井，还配合一些明渠使水流出地面，灌溉农田。由于是利用地下渠道暗渠引水，减少了输水过程中水的蒸发。坎儿井，早在西汉司马迁所著《史记》中就有记载，古称“井渠”。

蒸发致冷 在蒸发过程中，从液体中飞出的是动能较大的分子，这些分子飞出后，留在液体中的分子的平均动能必然减小，所以蒸发时液体的温度降低，这时它就要从周围的物体吸收热量，这就是液体的蒸发致冷作用。譬如水在 50℃ 的温度下，每蒸发 1 克需从周围吸收 2380 焦的热量，是 1 克水温度升高 1℃ 所吸收热量 4.18 焦的 570 倍。蒸发致冷作用在日常生活、科技生产的实际中有许多现象和应用。如穿湿衣服比穿干衣服感到冷，夏天扇扇子感到凉快，出汗后站在通风处容易着凉，都是日常生活中的例证。用火车运送容易腐烂变质的食品时，常用液态氨等的蒸发来降低车厢内的温度。在医疗中可用液氮迅速蒸发时的冷却作用使病灶处的细胞组织冷冻坏死。航天飞机或卫星回收舱在返回大气中高速飞行时，由于跟空气剧烈摩擦会达到极高温。为了保护机身或回收舱，常在它们的表面涂上防护层，防护层的物质受热熔化并蒸发时，要吸收大量的热量，从而降低了航天飞机、回收舱等表面的温度。（参见“蒸发”。）

沸腾 是液体汽化的两种方式之一，给液体加热，当液体升高到一定温度时，液体内部涌现出大量的气泡，升到液面破裂开，放出气。这时，不仅在液面，而且在液内，即整个液体发生剧烈的汽化现象叫做沸腾。液体在沸腾过程中要吸热，在外界确定的压强条件下，液体的沸腾在一定的温度下进行，这个温度叫做沸点。外部压强改变时，液体的沸点也随着改

变。当外部压强增大时，沸点升高；外部压强减小时，沸点降低。譬如，高压锅内的压强可以达到 2 标准大气压，其中水的沸点约为 120℃；而在珠穆朗玛峰顶的气压大约只有 $\frac{1}{3}$ 标准大气压，在那里水烧到约 72℃ 就沸腾了。在相同的压强下，各种物质的沸点不同。利用这一性质，可对液体混合物进行分馏。如对石油进行分馏，按照沸点由低到高，先后可得汽油、煤油、柴油等等不同的产品。

一些物质在 1 标准大气压下的沸点 ()

液态氨	-268.9	液态二氧化碳	-78.5	酒精	78	水银	357
液态氢	-253	液态氨	-33	水	100	液态铅	1740
液态氧	-196	乙醚	35	甲苯	110	液态铁	2750
液态氧	-183	溴	59	液态海波	218	液态钨	5900

水的沸腾过程 给盛水的容器底部加热，原来吸附在容器底和壁上的空气以及溶解在水里的空气就分离出来，形成小气泡。由于周围的水向气泡里蒸发，所以气泡里包含的是水蒸气和空气。容器底受热温度升高时，气泡膨胀，当体积大到一定程度时，气泡就脱离容器底浮起。在达到沸点前，气泡在上升过程中体积是逐渐缩小的。这些小气泡升到液面破裂时，放出的主要是空气。当容器内水的温度都升高到沸点，气泡内的蒸气压强等于外界压强时，气泡在上升过程中体积就不再缩小。并且由于在上升过程中周围的水还不断向泡内蒸发，所以体积还会继续增大，直到升到液面破裂开。这时从气泡里放出的主要是水蒸气。这样水就沸腾了。沸腾时，在液体表面和液体内部同时发生汽化。水沸腾过程要不断吸收热量，但温度——沸点保持不变。

沸腾图象 用以表示物质的液态沸腾过程的温度—时间关系图象。如图所示，在直角坐标系中横轴表示吸热的时间，纵轴表示温度。在观察某种物质的液态吸热沸腾的过程中，记录下相隔相等时间的各个时刻物质的温度值，将各组温度、时间数据标入坐标图中（每一坐标点与一组数据对应），然后用平滑曲线把这些点连接起来，就得到沸腾图象。从图象中可以形象地观察沸腾的全过程，不同物质液态的沸点以及过程所需时间的数值。以水在 1 标准大气压下的沸腾过程为例。结合观察到的状态和温度变化可知，图象中 AB 段表示水的温度随加热时间的增长而逐渐升高，并伴有蒸发现象；到达 100℃ 开始沸腾，BC 段表示沸腾过程，在这个过程中虽然继续加热，但温度保持不变——沸点 100℃，直到水全部沸腾汽化为水蒸气；CD 段则表示完全成为水蒸气后继续吸热导致温度升高的过程。

水浴 实验室的加热用器具中的一种。一般用铜等金属制成。大小容

器 A 和 B 套在一起，中间以水为传热物质，如图所示。将被加热的物质置于小容器 B 中，使大容器 A 底部受热。由于容器 B 及其中物质是间接受热（从水中吸热），而水的温度至多在 100（1 个大气压下）沸腾而保持温度恒定，因此适用于 100 及其以下温度加热之用。常用于化学实验室中。

有一种粘木料的胶，需要在 100 左右的温度下熬化后才能使用、温度再高就会熬焦，失去粘性，所以熬这种胶就要用一种特殊的双层锅，在两层锅之间盛水。实际上这就是一种“水浴”。

汽化热 一定压强下，单位质量的某种物质的液态，变为同温度的气态时吸收的热量。单位是焦/千克。一定压强下单位质量的某种物质的气态，变为同温度的液态时放出的热量等于该物质在同样压强、同一温度的汽化热。不同物质的汽化热不同，同一种物质在不同温度下的汽化热也不同。

1 标准大气压下水在不同温度下的汽化热（焦/千克）

0	2.50×10^5	200	1.94×10^6
50	2.38×10^6	300	1.40×10^6
100	2.26×10^6	370	0.44×10^6

汽化热常用字母 L 表示。知道了汽化热，就可以算出质量为 m 的液体在给定温度和压强条件下汽化时吸收的热量 Q：

$$Q = L \cdot m$$

沸点 见“沸腾”。

沸点与压强的关系 见“沸腾”。液体沸点与外部压强有关。当外部压强增大时，液体的沸点将随着升高；外部压强减小时，沸点则随着降低，下表所列为不同外部压强下水的沸点的数值。

0.023 标准大气压	20	1.959 标准大气压	120
0.073 标准大气压	40	3.567 标准大气压	140
0.197 标准大气压	60	6.100 标准大气压	160
0.467 标准大气压	80	9.895 标准大气压	180
1.000 标准大气压	100	15.34 标准大气压	200

高压锅 又称“压力锅”。可使锅内蒸气压强达到 2~2.3 标准大气压的高压炊事或消毒用具。通常用铝合金或不锈钢制造。锅盖与锅体用胶圈密封，盖上有控制锅内蒸气压强的限压阀和保障安全的易熔塞。装配好后当对锅内的水加热，水蒸气不断增加时，由于蒸气不容易泄出，致使锅内气压逐渐增大，在超过设计标准数值时，蒸气将把限压阀顶开喷出一些，使锅内压强略有减小，使锅内总处于或略小于设计压强值的工作状态。如果锅内蒸气压为 2 个大气压时，锅内的水沸点将提高到约 120；如果蒸

气压达到 2.3 个大气压时，锅内的最高温度可达 124 左右。使用高压锅，既可节省燃料、时间，做出的饭菜还有特殊风味。是被广泛使用的炊事用具。

液化 物质从气态变成液态的现象。液化过程物质放出热量。所有的气体，在温度降到足够低的时候都可以液化。气体的液化温度跟压强有关系。气体的压强越大，它的液化温度越高（如水蒸气在 1 标准大气压下，液化温度是 100 ；而在 3 标准大气压下，液化温度是 134 ）。有些气体在常温下用增大压强的方法就可以使它们液化。譬如乙醚蒸气和液化石油气等。而有些气体必须使它温度降到一定温度以下，再经压缩才能液化。例如氧必须低于—119 （~154K），氮必须低于—147 （~126K），氢必须低于—240 （~33K），再加大压强才能液化，这就促进了低温技术的发展，到 19 世纪末，这些气体都已被液化。最后一种被液化的气体是氦。这是由于氦必须低于—268 （即仅约 5K）才能加压液化，是在世纪初（1908 年）才实现的。

电冰箱致冷原理 液体汽化时有致冷作用，电冰箱等致冷设备就是根据这种作用（通常利用一种既容易汽化又容易液化的氟利昂作为工作物质）制成的。电冰箱主要由电动压缩机、冷凝器和蒸发器三部分组成。电动压缩机把氟利昂蒸气压入冰箱外面的冷凝器的管里，这时蒸气变成液态氟利昂。放出的热被周围的空气带走。冷凝器里的液态氟利昂，经过一段很细的毛细管缓慢地进入冰箱内冷冻室壁的蒸发器的管里，在这里迅速汽化、吸热，使冰箱内温度降低。生成的氟利昂蒸气又被压缩机抽走，压入冷凝器，液化，把从冰箱内带来的热放出。氟利昂这样循环流动，冰箱冷冻室里就可以保持相当低的温度。

空调器 液体汽化时吸热有致冷作用，蒸气液化时放热有“致热”作用。空调器就是根据这种作用（通常利用一种既容易汽化又容易液化的氟利昂作为工作物质）制成的调节室内温度的设备。工作原理跟电冰箱的原理相同。空调器主要由电动压缩机、冷凝器、蒸发器和风机四部分组成。以分体式空调器为例，室内机组有蒸发器和风机，室外机组有电动压缩机和冷凝器，用管道将室内、外两部分联系起来。从功能上看，空调器有单一致冷型和冷热两用型。对于致冷功能，可参见“电冰箱致冷原理”。它的工作原理示意图如图甲所示。可使室内温度低于室外（温差 5 较为合适）如果是冷热两用型，想获得暖风时，可通过变换压缩机进出口的导向阀（如图示中的 与 、 与 相接变换为 与 、 与 相接），使致冷系统反向工作，把原来室外的冷凝器变为蒸发器，让氟利昂在室外蒸发吸热；将原来室内的蒸发器变为冷凝器，氟利昂蒸气则在室内液化放热，经风机使室内得到暖风，它的工作原理如图乙所示。可使室内温度高于室外（温差也是 5 较为适宜）。

升华 物质从固态不经过液态而直接变成气态的现象。升华过程物质

要吸收热量。升华的实际现象有：冬天，晾在室外冰冻的湿衣服由于冰直接变成了水蒸气而使衣服变干；衣箱中的卫生球（萘制品）由于升华而体积渐小；对烧瓶中的少量固态碘微微加热，就会升华成为紫色的碘蒸气。在科研、生产中可利用升华吸热现象来取得低温。如常用固态二氧化碳（干冰）的升华吸热来获得低温。

凝华 物质从气态不经过液态而直接变成固态的现象。凝华过程物质要放出热量。凝华的实际现象有：冬夜，室内的水蒸气常在窗玻璃上凝华成冰晶，集聚成冰花；使已有碘蒸气的烧瓶降温散热，碘蒸气将直接凝华成固态碘；用久的电灯泡会显得黑，是因为钨丝受热升华形成的钨蒸气又在灯泡壁上凝华成极薄的一层固态钨。

干冰、萘的升华 见“升华”。

云 由高空水蒸气在空中冷却凝结成大量悬浮的小水滴或（和）凝华成的大量小冰晶组成的可见聚合体。

雾 由近地气层中水蒸气冷却凝结成大量悬浮的小水滴或（和）凝华成大量小冰晶组成的可见聚合体。雾的形成常以空气中的浮尘为水蒸气的凝结（或凝华）的核心。

雨 由云中大量悬浮的小水滴，经碰撞、合并，不断增大；或云中大量悬浮的小冰晶，经碰撞、合并，不断增大，直到上升气流支持不住时下降或在下降中融化而形成雨。

雪 在较低气温下，由高空水蒸气凝华成具有六角形的大量白色冰晶，从云中降落成雪。

露 在无风的夜间或清晨，地表或草木、石块等物的温度较低（一般在 0°C 以上），空气中的水蒸气在它们表面上凝结成的小水珠。

霜和霜冻 在无风的夜间或清晨，地表或草木、石块等物的温度很低（在 0°C 以下），空气中的水蒸气在它们表面上凝华成的冰晶叫做霜。有霜时，往往伴有霜冻。即在冷暖过渡季节因植物周围气温短时间降到 0°C 或 0°C 以下而遭受冻害的现象。但出现霜冻时不一定伴有霜。

六、电路和电流

摩擦起电 用摩擦方法使物体带电的现象。许多材料如：玻璃、塑料、硬橡胶、水晶、硫磺等，经过摩擦都能吸引轻小物体，我们说物体带了电。使物体带电叫做起电。

公元前五百多年，古希腊时代就发现用毛皮摩擦过的琥珀能吸引轻小物体。我国东汉时王充在《论衡》一书中，记载了琥珀的摩擦起电。摩擦起电是十分广泛的现象，在塑料、橡胶、化纤纺织、印刷、石油、食品、溶剂等生产中和交通运输中都广泛存在。我们日常生活里，黑暗中梳干燥的头发、脱毛衣会看见小火花、听见劈啪声，这都是摩擦起电后产生的现象。液体或气体在固体上流动也能起电。摩擦起电产生的火花能引起爆炸、火灾造成巨大损失。我们应注意防止。

富兰克林规定，用丝绸摩擦的玻璃棒所带的电叫正电荷，用毛皮摩擦的硬橡胶棒所带的电叫负电荷。

摩擦起电的原因：物体中本来就存在正电荷和负电荷，通常情况下正负电荷的数量相等，物体是中性的。当两个物体接触时，电子从束缚较弱的物体转移到另一物体。缺少电子的物体带正电，多余电子的物体带负电。两个物体带等量的正负电荷。摩擦起电是一个很复杂的现象，物体摩擦后带什么电，与物体表面杂质、温度、表面光滑程度等有关。同种材料的两个物体摩擦时也能起电。导体也能摩擦起电，因为人体能导电，导体带电后电荷通过人体与地球上的电荷中和，导体就未呈现带电。摩擦起电时都是带负电的电子的转移，而不是带正电的正离子或质子等的转移。

两种电荷 实验说明，自然界中只存在两种电荷：正电荷和负电荷。同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。通常情况下，用绸子摩擦的玻璃棒带正电，用毛皮摩擦的硬橡胶棒带负电。

原子由原子核和核外电子组成，原子核带正电，电子带负电。通常情况原子中正负电荷的数量相等，原子是中性的，原子组成的物体是中性的。中性的物体失去电子就带正电，得到电子就带负电。

两个带等量异种电荷的物体接触时，电子从带负电的物体转移到带正电的物体上，两个物体都不缺少电子，也不多余电子，物体恢复中性状态，这叫正负电荷的中和。

组成物质的粒子如：质子、中子、电子、介子、光子、夸克……，有的带正电，有的带负电，有的不带电。

根据电荷间的相互作用，我们能解释许多自然现象，能区分正、负电荷。如用丝绸摩擦两条塑料薄膜，两条塑料薄膜就带上同种电荷，两条塑料薄膜靠近时会互相排斥，丝绸和一条塑料薄膜靠近时，由于带异种电荷会互相吸引。

又如，四个同样的通草球 A、B、C、D，用丝线吊着。已知 A 吸引 B，B

排斥 C, C 吸引 D, 还知道 C 带负电。要求判定 A 和 D 靠近时是相互吸引还是相互排斥。

为作出正确判断, 我们首先应该弄清楚 A 和 D 是带同种电还是异种电。从带负电的 C 排斥 B 知 B 一定带负电。从 C 吸引 D 知 D 可能带正电, 也可能不带电。从 B 吸引 A 知 A 可能带正电, 也可能不带电。当 A 带正电, 如 D 带正电则 A、D 排斥, 如 D 不带电则 A、D 吸引。当 A 不带电时, 如 D 带正电则 A、D 吸引, 如 D 不带电则无电的相互作用。所以, A、D 靠近时, 可能出现互相排斥、吸引和无相互作用三种情况。

验电器 检验物体带不带电的仪器。最简单的一种是金箔验电器, 构造如图所示, 金属杆上端有一金属球, 下端有一对金属箔。金属杆与容器是绝缘的。验电器不带电时, 两片金属箔下垂。当带电体与金属球接触时, 两片金属箔带上同种电荷, 互相排斥而张开。金箔验电器能检验物体是否带电和带什么电。为了测量物体的带电量, 可把金属箔改为能转动的金属针, 如图所示叫静电计。静电计根据指针偏转的角度能测量电量。

验电器是电学中常用的一种仪器。

电量 电荷的数量, 符号是 Q , 单位是库 (C)。库是一个很大的单位, 较小的单位是微库 (μC), $1\text{ 库} = 10^6\text{ 微库}$ 。通常情况, 一个物体所带电荷不到 1 微库。

1 个电子所带负电荷的数量与 1 个质子所带正电荷的数量相等, 都是 1.60×10^{-19} 库。这是到现在为止, 我们在自然界中所发现的最小的电量。大到物体、小至粒子所带电量都是这最小电量的整数倍。我们还不能解释自然界为什么会有最小的电量。

物体的带电量可用静电计测量。电路中通过导体截面的电量 Q , 如已知电流 I 和通电时间 t , 则 $Q = It$ 。

库仑 法国工程师和物理学家 (1736 ~ 1806)。库仑在中学时就爱好数学和物理, 成年后先到军队任技术军官、工程师, 后来从事科学研究。库仑研究砖石结构、梁的断裂、物体的摩擦力等, 是 18 世纪欧洲伟大的工程师之一。库仑发明了精确测量微小力的扭秤, 库仑用扭秤做实验, 分析归纳得到了磁力和电力的公式。其中特别是关于电荷间相互作用力的库仑定律, 是电学中的基本定律。电量的单位“库仑”是为纪念库仑的伟大成就而命名的。

电现象的应用和防护 电荷间相互作用力比万有引力、重力大得多。我们可使微粒带电, 利用电荷间的作用力为我们服务。如: 静电除尘是利用使煤粉带负电被吸引到带正电的电极上工作的; 静电复印是使墨粉带负电被吸引到带正电的像上, 再印到纸上。其它应用如静电造纸、静电纺纱、静电植绒、静电喷漆等等。

物体由于摩擦起电会引起灾难。如: 1956 年, 日本一艘油轮在将煤油输送到陆地上过程中, 煤油与机器管道等摩擦起电, 放电火花引起爆炸,

死亡多人，损失几亿元；1985年驻欧美军用液压起重机取出潘兴式导弹时，导弹突然爆炸，3人死亡，16人受伤，后证实是静电作用造成。其它如印刷过程中的静电使纸张粘住不易分开，塑料和橡胶制造过程中的静电会导致火灾，食品工业中的制粉车间因静电放电产生粉尘爆炸等。生产中的静电作用还能引起故障，降低效率，降低产品质量等。为了克服静电的危害，我们可采取的措施有：应用消电器，在空气中生成离子，使带电体的电荷得到中和；应用抗静电剂，在纤维和塑料表面涂上抗静电剂（非导电材料）以降低表面电阻，可消除静电；应用导电材料，在橡胶中加入金属微粒、碳黑等导电材料可制成导电橡胶，在塑料中加入金属薄片、金属纤维或碳黑粉末等制成导电塑料；增加空气中的湿度，用喷雾法和调整湿度装置增加空气中的水气可消除静电；采用保护接地，油罐车上装一铁链与地接触使车上电荷通过铁链与地上电荷中和。

电路 由电源、用电器、控制设备（开关）、导线组成的通过电流的路径。电路由四部分组成：电源，如电池、发电机等，它的作用是把其它形式能转化为电能，供给用电器需要；用电器，如电灯、电视机、电冰箱等，是消耗电能的器件，把电能转化为其它形式能；控制设备，如电键、开关等，控制电能的输送；导线，把电能从电源传输到用电器。电源、用电器、控制设备等叫电路的元件。

电路中各个元件用统一规定的符号表示，表示电路各个元件连接情况的图叫电路图。一个简单的电路图如图所示。其中，表示灯泡，表示电池，表示电键。

根据电路中通过电流的种类，电路分为直流电路和交流电路等。

实用的电路一般用一个开关控制一个用电器，但有时需要用两个开关控制同一个用电器，这时应用两个单刀双掷开关，电路的连接如图所示。

通路和断路 由电源、用电器、控制设备、导线组成的一个完整电路，如果处处都是连通的叫通路，如果有一处或几处断开了叫断路。由一个或几个电路元件组成的一段电路，如果这段电路处处都是连通的，这段电路叫做通路，如果有一处或几处断开了，这段电路叫做断路。

电路元件和连接导线都良好时，我们用电键来控制一个完整电路的通路和断路。用电器是电灯的一个完整电路，电键闭合则整个电路都是连通的，电路中有电流，电灯亮。在日常生活中，我们把电键闭合叫“开灯”。电键断开则整个电路断路，电路中无电流，电灯不亮，我们把电键断开叫做“关灯”。

短路 某一段电路的两端用导线直接连接起来，使这段电路的电阻为零。如图所示，电阻 R_2 两端用导线直接连接，这一段电路的电阻为零，我们说电阻 R_2 的一段电路短路。这时电路中电流不通过电阻 R_2 ，而是直接从短路导线中通过。

在实际应用中要特别注意不要让电源短路。如果蓄电池短路会形成很大的电流，损坏电池。发电机短路也会损坏发电机。

串联电路 把电路元件一个接一个地联接起来，使电流只有一条通路。串联电路的最大特点是通过各个电路元件的电流相等。

串联电路应用广泛，如右图所示电路，通过灯 L_1 与 L_2 的是同一个电流，这是串联电路。

又如：右图中 A、B、C、D 是四个接线柱，要求把电铃和灯连接成串联电路。我们可把接线柱 B 与 C 连接在一起，则电流从电池正极出发，过灯与电铃回到负极，这是串联电路。

并联电路 把各个电路元件的一端联在一起，另一端也联在一起，使电流有多条通路（支路）。并联电路的最大特点是各支路两端的电压都相等。

并联电路应用广泛。如：街道上的路灯总是同时发光，同时熄灭。根据这个特点有人认为路灯是串联。这是错误的看法。路灯如果是串联，则一盏路灯损坏不亮，其它路灯也都不能亮。实际上，我们观察到某盏路灯坏了，其它路灯仍照常发光。路灯不是串联而是并联，它们共用一个开关控制，电路如图所示，这里应用了并联电路的特点：各支路的电压相等。

混联电路 由串联电路与并联电路组成的电路。如图（1）所示电路，灯 L_2 与 L_3 并联后再与灯 L_1 串联。图（2）所示电路是电铃与灯串联后再与电动机并联。这都是简单的混联电路。

混联电路的串联电路部分具有串联电路的特点，并联电路部分具有并联电路的特点。

混联电路应用广泛。如右图电路中有两只灯泡，一只电铃，一个电池组，导线若干根，三个电键。要求：（1）按下 K_1 、 K_2 时电路中有一盏灯亮，同时电铃响；（2）按下 K_2 、 K_3 时两盏灯都不亮；（3）按下 K_1 、 K_3 时另一盏灯亮。根据（2）知道电源放在 A 处，根据（1）知一盏灯和电铃接到 B、C 处构成串联电路，根据（3）知道 D、E 处接上一盏灯和一根导线。

导体 能够传导电荷的物体。金属、石墨、酸、碱、盐的水溶液等都是导体。导体能够导电的原因是，导体中存在大量能够自由移动的电荷。当导体两端存在电压时，这些自由电荷能够向一定方向运动形成电流。金属导体中的自由电荷是自由电子，金属导体中的电流是自由电子的定向运动形成的。酸、碱、盐的水溶液中的自由电荷是正离子和负离子，正、负离子的定向运动形成电流。电离气体中有自由移动的电子和正、负离子，也能够导电。

导体是重要的电工材料，用来传导电流的导线要求电阻值很小，不同

用途的电阻器有的要求电阻值大，有的要求电阻值小。

绝缘体 不能传导电荷的物体。电的绝缘体又叫电介质。玻璃、橡胶、塑料、陶瓷、丝绸、云母、琥珀、绝缘漆、矿物油、气体等都是绝缘体。真空是最理想的绝缘体。绝缘体之所以不导电是因为其中的自由电荷极少，导电性能极差。

绝缘体是重要的电工材料。电线的芯线是用来导电的，要用导体来做。电线外面包有塑料、橡胶、绝缘漆（漆包线）等绝缘体，这是为了防止漏电或触电。大功率断路器和变压器要浸在绝缘的矿物油中。电容器的两个极板要用非常薄的绝缘体隔开。

绝缘体不能导电不是绝对的。在加热、加高压等条件下，绝缘体可以转化成导体。平常的气体不导电，如果加的电压很高，气体也会变成导体，闪电就是导电空气中通过电流产生的。干燥的木棒是绝缘体，木棒潮湿后就变成了导体。

半导体 导电能力介于导体与绝缘体之间的物体。半导体一般是固体。如：锗、硅及某些化合物等。半导体的特点是：加入微量杂质或外界条件（温度、光照、压力等）变化时，半导体的电阻会发生显著的变化。

长期以来，人们认为半导体用途不大。二次大战后，由于科学技术的迅猛发展，我们能够控制半导体的导电性能，半导体获得重要的应用。用半导体做的半导体管、集成电路、热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻等，广泛用于半导体收音机、录音机、电视机、电子计算机及许多电子仪器中。工业上和科研中用的半导体大多是晶体。所以，半导体管又叫晶体管。

超导体 在温度低到一定程度时，某些电阻为零和具有排斥磁力线性质的物质。1911年，发现水银在温度低到 -269°C 时电阻为零，这是第一次发现的超导现象。现在，已知的超导体有几十种元素和几千种化合物。1986年，发现温度较高的超导氧化物。1987年，世界掀起了超导热，陆续发现了一些转变温度为 -170°C 左右的超导材料。超导研究进入了一个新阶段，我国的超导研究达到世界一流水平。

超导体有重要应用。现在已用来制造产生强磁场的超导电磁铁。用超导线输电可避免损失。超导电动机、超导计算机等都是超导体的重要应用领域。

人们正努力寻求转变温度达到室温（ 20°C ）的高温超导体。

电线 传输电能的导线。我们常见的电线有裸导线、绝缘电线、屏蔽电线等。裸导线没有绝缘层，只用铜、铝做成的导线。无轨电车的架空线、架空的输电线、工厂中的汇流排等用裸导线。我们日常用得最多的是绝缘电线，绝缘电线的芯线是单股或多股的铜线、铝线，芯线外面或涂上绝缘漆（漆包）、或绕上纱线（纱包）、或包上塑料、橡皮等绝缘材料。实验室常用塑料电线。

馈线 电视机天线与电视机信号输入端或天线与发射机之间的连线。馈线是传送高频信号的导线。我们平常用的馈线有平行馈线和同轴电缆两种。平行馈线叫扁馈线，构造如图，适用于工业干扰不大的地区接收1~12频道的电视台。同轴电缆的结构如图，同轴电缆的损耗小，能屏蔽外界干扰，所以适合于干扰大的地区接收高频道(12频道以上)的电视台。

电流[强度] 电荷的定向移动。金属导体中自由电子的定向移动形成电流，电解质溶液中正负离子的定向移动形成电流。我们规定正电荷定向移动的方向为电流的方向。负电荷移动的方向与电流的方向相反。应该注意，金属导体中电流的方向与自由电子定向移动的方向相反。

要在导体中得到持续的电流必须有电源产生的持续的电压。

电流的效应：电流通过导体会产生热效应，电流通过电解质会产生化学效应(电解)，电流通过气体在一定条件下会发声、发光(如闪电)。电流引起的各种效应中，磁效应是无论什么情况下都要产生的效应。所以，磁效应是电流产生的最重要的效应。电流在磁场里要受到磁场的作用力。

电流的大小用1秒钟内通过导体横截面的电量来量度。定义是 $I = \frac{Q}{t}$ ， I 表示电流。单位是安(A)， Q 表示通过的电量，单位是库， t 表示通电时间，单位是秒(s)。1安 = $\frac{1\text{库}}{1\text{秒}}$ 。常用的电流单位还有毫安(mA)，微安(μA)。1安=1000毫安，1安=10⁶微安。

普通家庭用的白炽灯、电视机的电流约为(1~3)×10⁻¹安，闪电的电流约几十万安。

电流可用电流表测量，也可用欧姆定律、电功率公式等计算。根据欧姆定律，通过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，与电阻的阻值成反比。

直流电流 电路中电流的方向不随时间变化。平时说的直流电流不仅指电流方向不变，还指电流的大小不变。这种大小、方向都不随时间变化的电流叫恒定电流。通过手电筒电路中的电流，在电池完好、时间不太长时可认为是恒定电流。我们在实验室所用的低压直流电源，电流大小没有变化，是直流电流。

直流电流应用很广，许多用电器如：直流电动机、玩具电动机、电解槽、收音机、录音机、电视机、计算机等都要用直流电流。

电池、蓄电池、直流发电机能产生直流电流。我们常通过一定的装置(叫整流器)把交流电流变化为直流电流，市场上卖的电子琴电源、录音机电源就是这种装置，电视机内部也有这种装置。

交流电流 电路中电流的大小、方向都随时间变化。交流电较直流电容易大规模产生、容易输送到远处、容易变换电压以适应不同用电器的需要，许多电气设备要用交流电流等，所以，交流电应用极为广泛。我们在学校、家庭、机关、工厂等处所用的电大都是交流电。电冰箱、洗衣机中

的电动机必须用交流电，白炽灯、日光灯中的电流也是交流电流。我国的交流电的频率是 50 赫。电流的方向 1 秒钟变化 100 次。

安培 法国物理学家（1775~1836）。安培少年时代就表现出卓越的数学才能和惊人的记忆力。安培没有进过正式的学校，他通过自学、博览群书获得了丰富的知识。安培兴趣广泛，学问渊博，担任大学各种教授和法兰西科学院院士。安培对数学和化学都有贡献。他的主要成就是对电磁现象的研究。1820 年 7 月 21 日，奥斯特宣布发现电流的磁效应。同年 9 月 4 日，阿喇戈在法国报告了奥斯特实验，立即引起安培的注意。安培紧接着进行实验和研究，两个星期后，从 1820 年 9 月 18 日开始发表他的研究结果：通电线圈与磁铁相似；两个电流之间有相互作用；分子电流假设等。安培所做的四个实验，构思新颖、结构奇巧，一直为后人称赞。由于安培对电学理论和实验的贡献，被麦克斯韦称赞为“电学中的牛顿”。

为纪念安培，国际上把电流的单位命名为安（A）。

电流表 测量电流大小和方向的电学仪器。实验室常用的电流表是根据磁场对电流的作用制成，是磁电式电流表。它的构造如图听示，永磁体磁极间产生强磁场，用很细的漆包线绕制的线圈（动圈）放在磁场中。当线圈中通进电流时，由于电流受磁场的作用线圈发生转动，带动指针偏转。根据指针偏角的大小能测量电流的大小，根据指针偏转的方向能判定电流的方向。

电流表线圈的导线很细，只能通过很小的电流。为了测量更大的电流，我们在线圈两端并联不同阻值的电阻，构成不同量程的电流表。

测量电路中电流时，应注意根据电流大小选择电流表的量程，电流表要串联接入电路。测量直流电流时，电流应该从电流表的正接线柱流入，负接线柱流出。

灵敏电流计 检测微弱电流的有无、大小和方向的电学仪器。中学用的灵敏电流计的构造与电流表基本相同。外形如图所示，指针在刻度盘正中间，示数为 0 处。

灵敏电流计不是用来测量微弱电流大小的准确值的仪器。它是用来检验有无微弱电流，如有则检测微弱电流的方向和大小的大致情况。在电磁感应现象中，我们用灵敏电流计检测感生电流的有无、方向、大小。

串并联电路中的电流 电路元件连接成串联电路时，通过电路各处、各元件的电流都相等，这是串联电路的最大特点。

电路元件连接成并联电路时，电流出现分支，各支路的电流一般不相等，干路中电流等于各支路电流之和。如图所示，干路电流 $I=I_1+I_2+I_3$ 。

例如：电灯和电铃连接成串联电路，如已知通过电灯的电流是 0.3 安，则通过电铃的电流也一定是 0.3 安。

又如：电灯和电铃连接成并联电路，如已知干路的电流为 0.5 安，电灯的电流为 0.3 安，则通过电铃的电流为 0.2 安。

电压 使自由电荷发生定向移动形成电流的原因。导体中自由电荷定向运动时会受到导体的阻碍，要维持导体中电流大小一定，就要在导体两端加一定的电压。用电器正常工作需要加一定的电压。

电压的单位是伏（V）。某段电路通过 1 库电量时，电流做的功是 1 焦，则该段电路两端的电压是 1 伏。比伏大的单位是千伏（kV），比伏小的单位是毫伏（mV）、微伏（ μV ）。1 千伏=10³ 伏，1 伏=10³ 毫伏，1 伏=10⁶ 微伏。

我们用电源来产生和维持一定的电压，如干电池两端的电压一般是 1.5 伏，其意义是：通过 1.5 库电量时电流做的功是 1.5 焦。当我们需要 6 伏电压时，可把 4 节干电池串联起来。

伏打 意大利物理学家（1745~1827）。伏打在青年时代就开始电学实验。30 岁时发明了起电盘（静电起电机），42 岁时发明了麦秸静电计。45 岁时伏打读了伽伐尼的文章，伽伐尼发现在解剖青蛙、用解剖刀接触蛙的神经时，蛙腿肌肉发生强烈的收缩，伽伐尼用“动物电”来解释这个现象，并认为动物电与普通电不同。伏打经过研究否定了动物电的存在，提出了电的接触学说，发明了伏打电堆。伏打电堆是由一片片潮湿的纸板隔开的一对锌板和铜板组成的，伏打电堆能产生持续的电流。伏打又发明了伏打电池。在盐水或稀酸中插入两种不同的金属片就组成伏打电池。阿喇戈赞扬伏打电堆、伏打电池是“人类发明的最神奇的仪器”。从此，人们利用伏打电堆、伏打电池产生的电流开拓了电学研究的新领域。伏打是伟大的电学实验家。伏打还发现了沼气。

为了纪念伏打，国际上把电压的单位命名为伏（V）。

高压和低压 一般把 1 千伏以上的电压叫高压，1 千伏以下的电压叫低压。发电站往外输电的电压为几百千伏，送到城市里的电压为 10 千伏，这都是高压。经过城市的低压变电所送到用户的电压是 220 伏、380 伏，这都是低压。所以，我们平时用的电大都是低压电。低压电比较安全，空气、电木、橡胶、塑料、干燥木材和纸等对低压电都是绝缘的。我们常用的用电器、开关、灯头、插座、电工工具等都是在低压下使用的。在高电压下，一些绝缘体的绝缘性能会受到破坏变成导体。因此，高电压是很危险的，高压下的电气设备都有特殊的要求。

一般工厂中把 36 伏以下的电压叫安全电压。家用电器中通常把 220 伏的电压叫高压（这是相对安全电压而言），把 36 伏以下的电压叫低压。

电压表 测量电压大小的电学仪器。电压表是在电流表的基础上，在动圈电路里串联电阻而改装制成的。电压表的外形如图所示。

用电压表测量某段电路两端的电压时，应注意选择好量程和把电压表并联在该段电路的两端。测量直流电压时，还应注意电压表的“+”接线柱要接到与电源的正极相连的一端。

串并联电路中的电压 电路元件连接成串联电路时，各元件的电压一般不相等，但串联电路两端电压 U 等于各元件上电压之和，如图所示 $U=U_1+U_2+U_3$ 。

电路元件连接成并联电路时，各支路两端的电压与并联电路两端的电压相等，这是并联电路最大的特点。

例如：一个电铃正常工作时的电压为 12 伏，电流为 0.6 安。要把电铃接到 36 伏电压上，我们应该串联多大阻值的一个电阻？

电铃和电阻串联，故通过电阻的电流为 0.6 安。电阻的电压为 36 伏—12 伏 = 24 伏。所以，电阻的阻值 $R = \frac{24}{0.6}$ 欧 = 40 欧。即应该串联一个阻值为 40 欧的电阻，电阻分担了 24 伏电压，电铃上的电压就是 12 伏。

常用用电器的电压 各个用电器都只有在一定的电压下才能正常工作。加在用电器上的电压过高或过低都会损坏用电器或使用电器不能正常工作。所以，我们应该特别注意用电器上注明的需要的电压值。送到家庭、学校等的电压大都是 220 伏，许多用电器也设计为 220 伏，如：家用电冰箱、洗衣机、电风扇、电熨斗、电吹风机等。但不是所有的用电器都需要 220 伏电压，有的电灯泡的电压是 36 伏或 12 伏，晶体管收音机的电压为 3~6 伏直流电压，电子石英钟用 1.5 伏直流电压，电子门铃用 3 伏的直流电压，电子点火器用 3 伏直流电压。

电阻 描述导体对电流阻碍作用的物理量，定义为 $R = \frac{U}{I}$ ， R 表示导体的电阻， U 是加在导体两端的电压， I 是通过导体的电流。导体的电阻值越大说明导体对电流的阻碍作用越强。

电阻的单位是欧（ Ω ）。 $1\text{欧} = \frac{1\text{伏}}{1\text{安}}$ ，即加在导体两端的电压为 1 伏，通过导体的电流为 1 安时，导体的电阻是 1 欧。常用的电阻单位还有千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ），1 千欧 = 10^3 欧，1 兆欧 = 10^6 欧。

电流通过电阻要发热，从能量转化角度看，电阻是把电能转化为内能的电路元件。

电阻可通过伏安法测量，即用电压表测量电阻两端的电压 U ，用电流表测量通过电阻的电流 I ，则电阻 $R = \frac{U}{I}$ 。应该注意，电阻值是由导体本身决定的，不能认为电阻与电压成正比、与电流成反比，因为电压大时电流也大，它们的比值对一个导体说是恒定的。

欧姆德国物理学家（1787～1854）。大学哲学博士、教授，曾担任过中学数学、物理教师。欧姆独立地进行科学研究，他最重要的贡献是发现了欧姆定律，这是电路的基本定律。1826年，欧姆采用温差电偶做电源，利用电流磁效应和库仑扭秤结合制成电流扭力秤以测量电流。欧姆用

不同材料的导体分别接入电路测量电流的关系，总结得到 $X = \frac{a}{b+x}$ 。后来他

又简化得到 $X = \frac{A}{L}$ ，X是电流，A是电压，L是电阻，这就是欧姆定律。1827

年欧姆发表《伽伐尼电路：数学研究》一书，从理论上论证了欧姆定律。欧姆的研究成果当时未受到重视，在德国欧姆受到冷遇，他还受到一些人的攻击，一个教授说：“欧姆的理论被称之为纯属空想的编造，永远不能发现一点点那怕是最肤浅的事实观测支持的样子。”七八年后欧姆的成就逐渐受到重视，1841年英国皇家学会授与欧姆科普利奖章，这是当时科学界的最高荣誉，欧姆的工作得到了普遍的承认。

为纪念欧姆，国际上把电阻的单位命名为欧。

决定电阻大小的因素 导体的电阻是导体本身的一种性质，它的大小决定于导体的横截面积、长度、材料、温度等因素。温度一定时，横截面积均匀的导体的电阻R与导体的长度L成正比，与导体的横截面积S成反比，即 $R \propto \frac{L}{S}$ 。写成等式是 $R = \frac{L}{S}$ ，反映导体材料的性质，对一定的

材料 有一定的值，不同材料 的值不同。 $R = \frac{L}{S}$ 就是电阻定律的公式。

导体的电阻还与导体的温度、光照、压力等因素有关。

例如：一根粗细均匀的导线电阻为R，如果把导线的长度拉长为原来的2倍，问导线的电阻变为多少？

导线拉长时体积不变，所以导线横截面积减小为原来的1/2。长度为原来的2倍，电阻就变为原来的2倍。横截面积为原来的1/2，电阻又变为原来的2倍。故导线的电阻变为原来的4倍，即为4R。用电阻定律公式

考虑是， $R' = \frac{L}{S} = \frac{2L}{S/2} = 4 \frac{L}{S} = 4R$ 。

电阻与温度的关系 导体的电阻与温度有关。纯金属的电阻随温度的升高电阻增大，温度升高1℃电阻值要增大千分之几。碳和绝缘体的电阻随温度的升高阻值减小。半导体电阻值与温度的关系很大，温度稍有增加电阻值减小很大。有的合金如康铜和锰铜的电阻与温度变化的关系不大。电阻随温度变化的这几种情况都很有用处。利用电阻与温度变化的关系可制造电阻温度计，铂电阻温度计能测量—263℃到1000℃的温度，半导体锗温度计可测量很低的温度。康铜和锰铜是制造标准电阻的好材料。

例如：电灯泡的灯丝用钨丝制造，灯丝正常发光时的电阻要比常温下的电阻大多少？

钨的电阻随温度升高而增大，温度升高1℃电阻约增大千分之五。灯

丝发光时温度约 2000 ，所以，电阻值约增大 10 倍。灯丝发光时的电阻比不发光时大得多，刚接通电路时灯丝电阻小电流很大，用电设备容易在这瞬间损坏。

定值电阻 电阻值一定的电阻。定值电阻用电阻值与温度变化的关系不大的材料制造。实验室用的电阻圈就是一种定值电阻。如图所示，电阻丝绕制成螺旋形嵌在底板中，电阻丝两端装有接线柱。这种定值电阻的特性用阻值和电流值表示，电流值告诉我们使用时电流不能超过多大。

电子技术中用的定值电阻有碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻等。

电阻箱 一种箱式电阻器。由若干个不同阻值的定值电阻，按一定的方式连接而成。电阻箱中的定值电阻一般用康铜和锰铜丝绕制，使电阻值基本不随温度变化。实验室用的电阻箱有插头式和开关式（又叫筒式）两种。

电阻箱是实验室进行电学测量的重要仪器，应用电阻箱可提高读数的精确度。使用电阻箱时要特别注意通过电阻的电流不能超过允许的数值。

滑动变阻器 一种线绕可变电阻器。构造如图所示，在瓷管上密绕绝缘的康铜丝或其它绝缘电阻丝，在线绕电阻上端装有金属滑杆，滑动块通过磷铜片与电阻丝紧密接触（接触部分的绝缘层被磨掉），滑动块可在滑杆上滑动。滑杆两端和线绕电阻两端各有一个接线柱。移动滑块可改变接入电路中的电阻丝长度从而改变电阻值。

滑动变阻器是电学实验中常用的仪器，应用时除了注意阻值外，还要注意允许通过的最大电流是多少。

滑动变阻器有多种用法。例如：把滑动变阻器的 B、D 接线柱用导线连接，然后将 A、B 接线柱接入电路中，则当滑动片向左移动时，我们实际用到的是 AP 间的电阻，故电阻要减小。因为 B、D 连接就是把 BP 一段电阻短路了。

七、欧姆定律和电功、电功率

欧姆定律 导体中的电流 I ，跟这段导体两端的电压 U 成正比，跟这段导体的电阻 R 成反比。用公式表示是 $I = \frac{U}{R}$ 。在国际单位制中 I 、 U 、 R 的单位分别是安 (A)、伏 (V)、欧 ()。欧姆定律对金属导体和电解质溶液适用。

欧姆定律是欧姆于 1826 ~ 1827 年间通过实验分析和理论研究总结归纳出来的。实验证明：导体中的电流 I 跟导体两端的电压 U 成正比， I

U 。即导体两端电压 U 与导体中电流 I 的比值为—恒量， $\frac{U}{I} = \text{恒量}$ 。实验发现，对不同导体恒量的值一般不同。恒量的值表示导体的电阻，即 $\frac{U}{I} = R$ ，所以得到公式 $I = \frac{U}{R}$ 。

欧姆定律是电路的基本定律之一。一般说，导体有电阻，根据欧姆定律导体两端有电压，导体中才能有电流。但是，如果导体无电阻（超导体或电阻不计的导线），导体两端没有电压也可以有电流。

应用欧姆定律解决问题的思路 欧姆定律说明电压 U 、电流 I 、电阻 R 之间的关系，任意知道其中两个量可求出第 3 个量。例如：已知电压

U 和电阻 R ，可求出电流 $I = \frac{U}{R}$ ；已知电阻 R 和电流 I ，可求出电压 $U = IR$ ；

已知电压 U 和电流 I ，可求出电阻 $R = \frac{U}{I}$ 。在串联、并联等复杂电路中应用欧姆定律时，要注意电压 U 、电流 I 、电阻 R 三个量都是对同一段电路的电阻说的，不要犯张冠李戴的错误。

例如：右图所示电路， $R_1=5$ ， $R_2=10$ 。已知通过 R_1 的电流 $I_1=0.5A$ ，要求通过 R_2 的电流 $I_2=?$

根据欧姆定律知道 $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$ 。由并联电路特点知 R_1 、 R_2 两端电压相

等。 R_1 两端电压 $U_1 = I_1 R_1$ ，所以， $I_2 = \frac{I_1 R_1}{R_2} = \frac{0.5 \times 5}{10} A = 0.25A$ 。

又如：我们要测量一个未知电阻的阻值 R_x ，能找到的仪器、材料是一个电压表、一组电池、一个已知阻值的电阻 R 和若干根导线。

根据电阻定义 $R_x = \frac{U_x}{I_x}$ ，电压表能测出 R_x 的电压 U_x 。为测量 I_x 我们可连接如图所示电路。用电压表分别测量 R_x 和 R 上电压 U_x 和 U_R 。由欧姆定律知通过 R 的电流 $I = \frac{U_R}{R}$ 。串联电路特点是各处电流相等， R_x 中电流也等于 $\frac{U_R}{R}$ 。所以， $R_x = \frac{U_x}{U_R / R} = \frac{U_x R}{U_R}$ 。

电阻的测量 根据定义电阻 $R = \frac{U}{I}$ ，测量电阻R两端的电压U和通过R的电流I可求出电阻R。这种测量电阻的方法叫伏安法测电阻，电路如图所示。当待测电阻值不太大时，用这电路测量电阻较好。

平常我们测量电阻还有一个更简便的方法，就是用万用表的欧姆挡。把万用表扳到欧姆挡，选择好量程，经过调零后用红黑表笔与电阻两端接触，指针的示数就直接读出电阻值。

伏安法和欧姆表测电阻都不够精确，准确测量电阻值的方法是用标准电阻，采取比较的方法测量，即用电桥法测量。

万用表 测量交直流电流、电压及电阻等多种用途的电学测量仪器。万用表由电流表（俗称“表头”）和电阻、电位器、晶体二极管、转换开关、电池等组成。万用表实际上是把电流表、电压表、欧姆表综合在一起，使用方便，应用广泛。

测量电流、电压时，先通过转换开关选择好电流挡、电压挡和量程。测电流时要把万用表串联入电路，测电压时把表笔分别连接在待测电路两端。如果是测量直流电流、电压，要注意红黑表笔的接法。测电流时电流应从红表笔流入，测电压时红表笔要接到与电源正极相连的一端。测量电阻时，除把转换开关扳到欧姆挡的适当量程外，还要注意调整欧姆挡的零点。

指针式万用表在实践中得到广泛应用，现在数字式万用表也逐渐应用得越来越多。

电阻的串联 若干个电阻连接成串联电路的特点是：通过各个电阻的电流相等；总电压等于各个电阻上电压之和，各个电阻上分得的电压与电阻值成正比，即 $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$ ， $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{U_3}{R_3} = \dots$ ；总电阻等于各个电阻之和，即 $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ ；总电功率等于各个电阻电功率之和，各电阻的电功率与电阻值成正比，即 $P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$ ， $\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \frac{P_3}{R_3} = \dots$ 。

例如：三个电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 串联后接在电源上。已知电源电压是 R_2 两端电压的2倍， R_2 两端电压是 R_3 两端电压的1.5倍， $R_1 = 20$ 欧。求 R_2 和 R_3 的阻值。

根据题意 $U = 2U_2$ ， $U_2 = 1.5U_3$ 。串联电路的 $U = U_1 + U_2 + U_3$ 。

$$U_1 = U - U_2 - U_3 = \frac{1}{3}U_2$$

串联电路中，电阻上的电压与电阻值成正比。故 $R_1 = \frac{1}{3}R_2$ ，即 R_2

$=3R_1=3 \times 20 \text{ 欧}=60 \text{ 欧}$ 。

又由 $U_2 = 1.5U_3$ 知 $R_3 = 1.5R_2$ ，故 $R_3 = \frac{R_2}{1.5} = \frac{60}{1.5} \text{ 欧} = 40 \text{ 欧}$ 。

又如：有若干个彩色小灯泡，每个灯泡的电阻均为 23 欧，正常发光时的电流强度为 0.28 安，应把多少只相同的小灯泡串联起来才能接到 220 伏的照明电路中去？

每个小灯泡的电压 $U_1=0.28 \times 23 \text{ 伏}=6.44 \text{ 伏}$ 。串联电路的总电压等于各灯泡电压之和，设灯泡有 n 个，则 $U = nU_1$ 。

$$n = \frac{U}{U_1} = \frac{220}{6.44} \quad 34.2$$

应该用 35 只灯泡串联。

电阻的并联 若干个电阻连接成并联电路的特点是：干路电流等于各支路电流之和，通过各支路电阻的电流与电阻值成反比，即

$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$ ， $I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = \dots$ ； 并联电路两端电压与各支路两

端电压相等； 并联电路总电阻的倒数等于各支路电阻倒数之和，即 $\frac{1}{R} =$

$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$ ； 总电功率等于各支路电阻电功率之和，各支路电

阻的电功率与电阻值成反比，即 $P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$ ，

$P_1 R_1 = P_2 R_2 = P_3 R_3 = \dots$ 。

并联电路的总电阻小于每一支路的电阻。两个电阻 R_1 、 R_2 并联后的总

电阻 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ ， R 小于 R_1 ，也小于 R_2 。

例如：电阻 $R_1=600 \text{ 欧}$ ，允许通过的最大电流为 $I_1=0.1 \text{ 安}$ ，要把 R_1 接在 $I=3 \text{ 安}$ 的电路中使用应该怎样办？

我们可在 R_1 两端并联电阻 R_2 ，使 R_2 上分得的电流 $I_2=I-I_1=3 \text{ 安}-0.1 \text{ 安}=2.9 \text{ 安}$ 。

并联电路中，支路电流与电阻值成反比，故 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ ，所以 $R_2 = \frac{I_1 R_1}{I_2} = \frac{0.1 \times 600}{2.9} \text{ 欧} = 20.7 \text{ 欧}$

又如：电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 并联，干路中电流是 R_1 中的 6 倍， R_2 中电流是 R_3 中的 3 倍， $R_1=30 \text{ 欧}$ 。求 R_2 、 R_3 的阻值。

根据题意 $I=6I_1$ ， $I_2=3I_3$ 。并联电路中 $I=I_1+I_2+I_3$ 。

$$I_1 = I - I_2 - I_3 = \frac{4}{15} I_2$$

$$R_2 = \frac{4}{15} R_1 = \frac{4}{15} \times 30 \text{ 欧} = 8 \text{ 欧}$$

由 $I_2=3I_3$ 得 $R_3=3R_2=3 \times 8 \text{ 欧}=24 \text{ 欧}$

电能 与电相联系的能量。能量有多种形式，电能是应用最广泛的一

种能量，这是因为电能具有一些突出的特点：容易由其它能量形式转化而产生，容易传输到远处，容易转化为其它能量形式，电压容易变换以适应不同的需要。如：火力、水力、风力、原子电站等，分别把内能、机械能、原子能转化为电能。电能通过电动机转化为机械能，通过电热器转化为内能，通过照明电器转化为光能等等。

电能与其它形式能的转化通过电流做功实现。电流做多少功就有多少电能与其它形式能发生转化。

电功 电流做的功。电流在某段电路上做的功 W ，等

于这段电路两端的电压 U 与电路中的电流 I 以及通电时间 t 的乘积，即 $W=IUt$ 。电压、电流、时间的单位为伏、安、秒，电功的单位是焦。电流做功的过程就是电能转化为其它形式能的过程，电流做了多少功就有多少电能转化为其它形式能。

例如：加在电动机上的电压为 380 伏，通过电动机的电流是 10 安，则电动机工作 1 小时电流做的功 $W=UIt=380 \times 10 \times 3600$ 焦 $=1.37 \times 10^7$ 焦。

又如：电阻 R_1 、 R_2 串联在电路中， $R_1=4R_2$ ，在相同时间 t 内，由于通过 R_1 、 R_2 的电流相等，所以，通过 R_1 、 R_2 的电量 q_1 、 q_2 也应相等。电流在 R_1 、 R_2 上做的功 W_1 、 W_2 不相等，由于 $U_1=4U_2$ ，所以， $W_1=4W_2$ 。

电能表（瓦时计） 计量电能的仪表，俗称“火表”。电能表的计量单位常用千瓦时（kWh），1 千瓦时通常叫做 1 度电。1 千瓦时 $=3.6 \times 10^6$ 焦 = 1 度。

家用电能表根据电路感应原理制成，用电度数由表盘上的计数器读出。电能表的主要性能指标是额定电流，它表示允许通过的电流大小。家用电能表的实际电流如果超过额定电流的 2 倍，就容易烧坏电能表。

电功率 单位时间内电流做的功。电功率 P 等于电压 U 与电流 I 的乘积，即 $P=UI$ 。电功率的单位是瓦（W）， $1\text{瓦} = \frac{1\text{焦}}{1\text{秒}} = 1\text{伏} \cdot 1\text{安}$ 。电功率的

单位还常用千瓦（kW），1 千瓦 = 1000 瓦。

从能量角度看，电功率表示电能转化为其它形式能量的快慢。电流在单位时间内做了多少功，就消耗了多少电能，也就有多少电能转化为其它形式能。

根据电功率 P 和时间 t 可求得电功 $W=Pt$ 。

例如：一次雷电平均电流大小约 2×10^4 安，电压约 1×10^9 伏，放电时间约 1×10^{-3} 秒。求平均电功率和电流做的功。

根据公式知平均电功率 $P=UI=1 \times 10^9 \times 2 \times 10^4$ 瓦 $=2 \times 10^{13}$ 瓦 $=2 \times 10^{10}$ 千瓦。

电流做的功 $W=Pt=2 \times 10^{13} \times 1 \times 10^{-3}$ 焦 $=2 \times 10^{10}$ 焦 $=5.56 \times 10^3$ 度。

如果用电器是一个电阻，则电功率 P 也等于 I^2R 和 U^2/R 。但要注意， $P=I^2R=U^2/R$ 仅对电阻适用。 $P=UI$ 对所有用电器都适用。例如：把标有“6V、

10W”和“6V、6W”的两个灯泡串联起来接到12V的电源电压上，

则由于“6V、10W”灯泡的电阻为 $R_1 = \frac{U^2}{P_1} = \frac{6^2}{10}$ 欧 = 3.6欧，“6V、6W”

的灯泡电阻 $R_2 = \frac{U^2}{P^2} = \frac{6^2}{6}$ 欧 = 6欧。结果 R_2 上的电压要大于6V， R_1 上电压小于6V，都不能正常发光。要让两灯正常发光需要 R_2 上并联电阻 R_3 ，

使 R_2 、 R_3 的并联电阻为3.6欧。根据并联电阻公式 $\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3.6}$ ，即

$\frac{1}{6} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3.6}$ ，我们求出 $R_3 = 9$ 欧。把9欧的电阻并联到 R_2 上，则 R_1 、 R_2

上的电压都是6伏，都能正常发光。

用电器的铭牌 说明用电器主要特性的标牌。用电器铭牌上通常要标明：额定电压、额定功率、额定电流等。普通白炽灯泡上标明“220V40W”，说明灯泡的额定电压是220伏，在额定电压下的电功率是40W。电动机铭牌上标明：“600伏60千瓦”。说明电动机的额定电压是600伏，在600伏电压下的电功率是60千瓦。小电珠上标明：“2.5V0.3A”，说明额定电压是2.5伏，额定电流是0.3安。电子元件电阻上标明：“2 1W”，说明这个电阻的阻值是2欧，额定功率是1瓦。用电器只有在额定电压下才能正常工作，因此，我们要特别注意铭牌上的额定电压。

电功率的测定 根据电功率公式 $P=UI$ 知道，我们用电压表测出用电器两端的电压 U ，用电流表测出通过用电器的电流 I ，就可计算出电功率 P 。测量电动机电功率的电路如图所示，串联入滑动变阻器是为了调整电动机上的电压为额定电压。

我们还可以用电能表来测定用电器的电功率。先了解电能表的一个特性： N 转/千瓦时。记录用电器工作时间 t 秒（其它用电器不工作），转盘转数为 n 。则用电器的功率 $P = \frac{n \times 3.6 \times 10^6}{Nt}$ 瓦。

生产和科学实验中可用功率表直接测量电功率。

焦耳定律 确定电流通过导体产生热量的定律。英国物理学家焦耳做了大量实验，于1840年提出：电流流过导体产生的热量，跟电流的平方成正比，跟导体的电阻成正比，跟通电的时间成正比。这就是焦耳定律，用公式表示是 $Q=I^2Rt$ 。电流、电阻、时间的单位是安、欧、秒，热量的单位是焦。

从能量转化上看，电流 I 通过电阻 R 在时间 t 内做的功 $W=UIt$ 。根据欧姆定律得 $U=IR$ ，故电流做的功 $W=I^2Rt$ 。电流通过电阻要产生热量，说明电阻具有把电能转化为内能的特性，电流做了多少功就有多少电能转化为内能。所以，热量 $Q=W=I^2Rt$ 。

例如：一台电阻是44欧的电烘箱，每分钟产生 6.6×10^4 焦的热量。

求电烘箱的电功率和通过电阻丝的电流。

$$\text{电功率 } P = \frac{W}{t} = \frac{Q}{t} = \frac{6.6 \times 10^4}{60} \text{ 瓦} = 1.1 \times 10^3 \text{ 瓦}$$

$$\text{由 } Q = I^2 R t \text{ 得 } I = \sqrt{\frac{Q}{R t}}$$

$$\text{所以 } I = \sqrt{\frac{6.6 \times 10^4}{44 \times 60}} \text{ 安} = 5 \text{ 安}$$

电热器的工作原理 利用电流的热效应制成的加热设备。电热器的主要部分是发热体。发热体有的用电阻大的合金丝绕在绝缘体上制成，有的用半导体材料做成。发热体的形状根据需要可做成线状、管状、片状等。常用的电热器有：电熨斗、电烙铁、电热杯、电烘箱、电饭锅、电热毯等。

电熨斗 熨烫衣服使之平整、挺括的电热器。电熨斗按结构和功能大致分为：普通型、自动调位型、喷气型、喷雾型四类。普通电熨斗的基本部件是：电热元件、底板、外壳、手柄等。在普通型上加调温器和控温指示灯就构成调温型，在调温型上加喷气装置就构成喷气型，加上喷雾装置就成为喷气喷雾型。

电热元件是电熨斗的核心部件。一种是在云母板上均匀绕上电热丝叫云母电热芯。另一种是在金属管内装入螺旋形电热丝，再填充氧化镁粉作为绝缘材料制成，又叫电热管。红外线电熨斗则是把电热丝嵌在碳化硅板的槽内，碳化硅辐射红外线。

熨烫衣服关键在于掌握好电熨斗底板的温度。

电烙铁用来焊接电子元件的电热器。构造如图所示。

发热体与电熨斗相似，有云母电热芯和电热管两种形式，为减少腐蚀铜焊头是用紫铜制造的。

电饭锅 利用电能的煮饭锅。电饭锅种类很多，常见的有：保温式自动电饭锅，定时启动保温式自动电饭锅，低压定时启动式自动电饭锅，电子电饭锅等。保温式电饭锅由电热元件、磁钢限温器、双金属片恒温器等组成。当电饭锅内温度达到 103℃ 时，磁钢限温器切断电路，停止加热。103℃ 是煮饭的最佳温度。电饭锅温度下降到 60℃ 左右，会自动转入保温过程，双金属片恒温器使锅内米饭温度保持在 60℃。电子式电饭锅是带有微电脑控制器的电饭锅，整个烧煮焖饭等过程按预定程序自动进行。

八、电磁现象

磁体 具有磁性的物体。也叫做“磁铁”。通常指能产生一定磁场的装置。可分为永磁体、电磁体和超导磁体。

永磁体是能长期保持磁性的物体，一般由铝镍钴合金和钕铁氧体等制成。永磁体常应用在电表、扬声器、耳机、拾音器、永磁发电机等设备中。

电磁体由线圈和软磁材料制成的铁芯组成。线圈通过电流，铁芯被磁化产生磁场。切断电流时磁场也随之消失。电磁体常应用于继电器、电铃、起重和选矿设备等。

超导磁体由超导材料绕制的线圈组成，线圈中无铁芯。当线圈中通过强电流时能产生很强的磁场。超导磁体应用于磁流体发电、磁悬浮、高能加速器、超导电机等。

天然永磁体 自然界存在的永磁体。天然磁铁矿石（ Fe_3O_4 ）就是一种天然永磁体，是人类最早发现的永磁体。中国古代把磁铁矿石叫“慈石”，后逐渐转叫“磁石”，俗名“吸铁石”。中国古代用天然永磁体制造司南勺、指南车、指南针等。

人造永磁体 人工制造的永磁体。制造永磁体的材料有：铝镍钴系合金、钕钴系合金、锰铝系合金、铁铬钴系合金以及钕铁氧体、钕铁氧体等。这些材料在磁场作用下发生磁化具有磁性，撤去磁场后仍长期保留磁性成为永磁体。人造永磁体的磁性比天然永磁体强得多，现在应用的永磁体基本上都是人造永磁体。

磁极 磁体磁性最强的部分。如条形磁铁两端的磁性最强，两端就是两个磁极。条形或针形磁铁悬挂起来，静止时，总是一个磁极指南，另一个磁极指北。指南的磁极叫S极（南极），指北的磁极叫N极（北极）。同名磁极互相排斥，异名磁极互相吸引。磁体的磁极是成对出现的。

指南针 利用条形磁铁指南北的性质制成。指南针是我国古代的四大发明之一。大约公元前3世纪，我国制成了世界上最早的指南工具“司南”。司南是用天然磁石琢磨而成的勺子，放在刻有方位的铜盘上。用手拨动一下勺子，勺子静止时，勺柄指北，勺头指南。公元11世纪我国人民把钢做成针状，用天然磁石使它磁化，制成了指南针。指南针的发明推动了航海事业的发展，促进了世界经济、文化的交流，对人类进步作出了贡献。现在的指南针（罗盘）是用人造磁铁制成的，如图所示。

磁化 使原来没有磁性的物体在磁场中获得磁性的过程。最容易磁化的物质是铁、钢等铁磁性物质。铁棒、钢棒靠近磁铁时，被磁化而具有磁性。如果拿走磁铁，铁棒磁性几乎消失，钢棒仍有磁性，所以，用钢来做永磁体。强电流能产生很强的磁场，我们常利用电流的强磁场使铁磁性物

质磁化。

去磁 使具有磁性的物体失去磁性的过程。去磁又叫“退磁”。加热和捶打磁体能使磁性减弱或去掉。我们要保持永磁体的磁性，就不要对永磁体加热或敲击。要使铁磁性物质失去磁性，应该把它们放在方向不断变化、不断减弱的磁场中，当磁场减弱到零时，磁性能完全消除。录音机磁头使用一段时间后就需退磁。

磁场 磁体和电流周围空间存在磁场。磁场的基本性质，就是对放入其中的磁体和电流产生磁力的作用。磁场有方向，某一点磁场的方向就是磁针 N 极在该点受力的方向。或者说，一个能自由转动的小磁针，在磁场中某点静止时，小磁针 N 极所指的方向就是该点磁场的方向。磁场中各点的磁场方向，可以用细铁屑显示出来。

磁感[应]线 在磁场中画出的一些有方向的曲线，任何一点的曲线方向都跟放在该点的磁针 N 极所指的方向一致。磁感线形象、方便、明确地表示了线上各点的磁场方向。条形磁铁和蹄形磁铁的磁感线如图所示。由图可知，磁铁周围的磁感线都是从磁铁 N 极出来，回到磁铁的 S 极。知道磁场中磁感线的方向，就可以知道磁极、电流在磁场中各点所受磁力的方向。N 极在某点所受的感磁力方向跟该点的磁线方向一致，S 极所受的感磁力方向跟该点的磁感线方向相反。

地磁场 地球的磁场。地球本身是一个巨大的磁体。地磁的北极在地理南极附近，地磁的南极在地理北极附近。因此，地球周围空间存在磁场，叫地磁场。磁针静止时指南北，就是受到地磁场的作用。地磁两极与地理两极的位置并不重合，据 1970 年测定，地磁北极在地理南极附近，南纬 66° 、东经 140° 。地磁南极在地理北极附近，北纬 76° 、西经 101° 。水平放置的磁针的指向，跟地理子午线不一致，磁针指向与子午线的交角叫磁偏角。我国宋代科学家沈括是世界上第一个清楚、准确地论述磁偏角的科学家。

地磁两极的位置并不固定，而是缓慢移动。几千年来地磁场的方向曾经改变了几次。

沈括（1031 ~ 1095）北宋科学家、政治家、军事家。沈括注重实践，细微观察事物，刻苦学习，知识广博。沈括所著《梦溪笔谈》，内容丰富、见解精到，无论在中国还是世界科学史上都享有很高的声誉。

沈括在数学、天文、气象、地质、地理、地图、医学、农学……都有研究，在许多方面取得重大成就。沈括对物理学的磁学、光学、声学几方面都有创见。

沈括最早记载了人工磁化的简便方法，即“以磁石磨针锋”，造指南针。他详细讨论了指南针的四种装置方法：水浮；放在指甲上；放在碗沿

上；悬吊。他指出，浮在水面容易摇动不定，放在指甲或碗沿上容易滑掉，用单根蚕丝悬挂最为方便。

沈括在历史上第一个指出了地磁场存在磁偏角，是世界上第一个清楚地、准确地论述磁偏角的科学家。他明确指出，磁针所指“常微偏东，不全南也”。这比哥伦布横渡大西洋时才观察到磁偏角现象早了 400 多年。

奥斯特实验 显示电流周围存在磁场的实验。1820 年，丹麦物理学家奥斯特发现：在静止的磁针上方拉一根与磁针平行的导线，给导线通电时，磁针立刻偏转一个角度，切断电流时，磁针又回到原来位置。奥斯特实验表明：电流产生磁场，磁场作用于磁针使磁针偏转。电流磁效应的发现引起很大反响。由此导致电与磁关系的一系列发现以及应用广泛的电磁铁的出现。

直线电流的安培定则 确定直线电流周围的磁感线方向跟电流方向之间关系的定则。直线电流周围的磁感线是一些以导线上各点为圆心的同心圆，这些同心圆都在跟导线垂直的平面上。直线电流的安培定则可判断电流方向与磁感线方向间的关系。用右手握住导线，让大拇指所指的方向跟电流的方向一致，那么弯曲的四指所指的方向就是磁感线的环绕方向。

通电螺线管的磁性 把导线绕成螺线管 通电以后螺线管周围的磁感线跟条形磁铁的磁感线相似。通电螺线管的一端跟 N 极相吸引，另一端跟 S 极相吸引。从通电螺线管外部看，两端的磁性最强。通电螺线管两端是两个异名磁极，即一对磁极。

螺线管电流的安培定则 确定通电螺线管两端磁极性质跟电流方向之间关系的定则。如图所示，用右手握住螺线管，让弯曲的四指所指的方向跟电流的方向一致，那么大拇指所指的那端就是通电螺线管的 N 极。

电磁铁 利用电流的磁效应使铁芯磁化产生磁力的装置。通常由线圈、铁芯、衔铁组成。当线圈通电时铁芯和衔铁都被磁化，线圈、铁芯产生的较强磁场把衔铁吸向铁芯。电磁铁常做成 U 形，使它的两个磁极同时吸引物体而增强磁力。有的电磁铁没有衔铁，这时被吸引的工作物起衔铁作用。电磁铁种类很多，但都是利用电流的磁效应来工作的。根据通过线圈中电流是直流电和交流电，可分为交流电磁铁和直流电磁铁，交流电磁铁的铁芯用硅钢片叠制而成，直流电磁铁的铁芯用整块钢制成。电磁铁的特点是：(1)能产生较强的磁场；(2)它的磁性的有无、强弱和 N、S 极位置可通过电流大小、方向的改变来控制。因此，电磁铁获得广泛应用。

现代用超导体制成的电磁铁能产生很强的磁场。超导电磁铁没有铁芯。超导体电磁铁的强磁场已用于高能加速器、核聚变研究等方面。

电磁起重机 利用电磁铁搬运钢材的装置。电磁起重机的电磁铁铁芯做成盘式，当线圈中通进直流电后，铁芯被磁化产生很强的磁场，一次能吸起几吨钢材。切断线圈电流就可放下钢材。被吸引的钢板、铁块、钢铁制品等起衔铁的作用。

电磁选矿机 利用电磁铁把矿石中的铁磁性物质与其它物质分开的装置。如图所示，电磁铁产生磁场，当矿石从漏斗落到滚筒上时，含有铁磁性物质被吸附在滚筒上，用刷子把它们刷落下来。其它矿石不会被滚筒吸附而落到另一个槽中。

一种新的磁选机可分离小而弱的磁性颗粒，可处理污水，很有发展前途。

电磁继电器 利用电磁铁控制工作电路的通断的装置。利用电磁继电器可以用低电压、弱电流控制高电压、强电流的工作电路，可以实现远距离操纵和自动控制。如图所示是利用电磁继电器控制电动机的电路。虚线框内是电磁继电器，由电磁铁、衔铁、弹簧、触点组成。电磁铁、低压电源、电键构成控制电路。电动机、高压电源、电磁继电器触点构成工作电路。闭合电键，电磁铁线圈中通过不强的控制电流，电磁铁吸引衔铁，使工作电路接通，电动机启动。断开电键，弹簧把衔铁拉起，切断工作电路，电动机停止工作。

防汛报警器原理如图所示，K 是触点开关，B 是一个漏斗形的竹片圆筒，里面有个浮子 A。当水位上涨超过警戒线时，浮子 A 上升，使控制电路接通，电磁铁吸下衔铁，报警器指示灯电路接通，指示灯亮报警。

水位自动报警器 原理如图所示，当水位没有达到金属块 B 时，继电器控制电路不导通，衔铁没有被吸下，绿灯电路闭合，绿灯亮，表示水位在正常范围内。水位达到金属块时，由于水导电，A、B 之间导通。继电器控制电路闭合，电磁铁吸下衔铁，使绿灯电路断开，接通红灯电路，红灯发光，自动报警。

温度自动报警器 原理如图所示，1 是电磁铁，2 是弹簧片，3 是触点，4 是水银温度计，在水银温度计的管里封入一段金属丝。当温度升高到一定值时，水银温度计中水银面上升到金属丝处，水银是导体，因此将电磁铁电路接通，电磁铁吸引弹簧片 2，使电铃电路闭合，电铃响，报警。当温度下降后，水银面离开金属丝，电磁铁电路断开，弹簧片 2 恢复原状，电铃电路断开，电铃不再发声。

电铃 利用电磁铁打铃的装置。构造如图所示，1 是电磁铁。2 是弹簧片，3 是螺钉，4 是衔铁，衔铁与螺钉的尖端紧靠着。当按下电键的时候，

电路接通，电磁铁把弹簧片上的衔铁吸过来，弹簧片下端的小锤就在铃上打一下。当衔铁被吸过来时，它和螺钉尖端放开，电路被切断，弹簧片弹了回去。衔铁一接触螺钉，电路又通了，又把衔铁吸过来，小锤又敲击铃，铃又响了一下。只要电键闭合着，电流就这样一断一通地循环下去，铃声也就响个不停。

有线电话 由话筒、听筒、电源和导线、交换机等组成的通话装置。话筒把声音变成相应的电流信号，电信号通过导线传入听筒中，听筒再把电信号变成声音。交换机起接通我们所需要的用户的电话的作用。有线电话的电信号是通过电线传输的。

听筒 把电信号还原为声音的装置。听筒的构造如图所示，M 是永磁铁，在磁铁的两极上套着螺线管 E，螺线管两头连到电路里。在磁极前面有一薄铁片 N 是振动膜。当忽强忽弱信号电流通过螺线管 E 时，磁铁对振动膜的吸力就发生忽大忽小的变化。振动膜在这种忽大忽小的吸力作用下振动起来。听筒振动膜的振动情况跟话振动膜的振动情况一样。所以我们听到跟话筒前讲话相同的声音。

听筒又叫受话器。

话筒 把声音变成电信号的装置。话筒的构造如图所示，A 是一个圆形的金属盒，盒上面有一个碳精薄片——振动膜 C。盒里面装一个碳精盘 B，在碳精盘和振动膜中间装满了碳粒。碳精盘跟一个露出盒外的金属柱 D 连着，金属柱 D 跟金属盒 A 是绝缘的。话筒里的碳粒接触不紧密，有较大电阻，如果被压紧，电阻将减小。我们对着振动膜说话时，声带的振动通过空气使振动膜做相应的振动。振动膜的振动使碳粒发生忽松忽紧的变化，它的电阻就发生忽大忽小的变化，这时电路中通过忽强忽弱的电流就是电信号。

话筒又叫送话器。

磁场力 磁场对通电导体的作用力。磁场力又叫安培力。磁场力方向和磁力线方向、电流方向之间的关系，可以用左手定则来判定：伸开左手，使大拇指跟其余四指垂直，并且都跟手掌在一个平面内。把左手放入磁场中，让磁力线垂直穿入手心，并使伸开的四指指向电流的方向，那么，拇指所指的方向，就是通电导体在磁场中的受力方向。

通电导体受磁场力作用而运动时，消耗电能，得到机械能。

直流电动机工作原理 用直流电源供电、把电能转化为机械能的机器叫直流电动机。它的构造和工作原理如图所示。线圈 abcd 和换向器 E、F 都装在转动轴上。换向器 E、F 是两个钢制的半环，它们彼此绝缘，并且都跟转动轴绝缘。A、B 是电刷，它们跟换向器接触，使电源和线圈组成闭

合电路。电流由直流电源经过电刷、换向器流入线圈。线圈在图甲位置时，线圈中电流从 E 流向 F，根据左手定则知道线圈沿顺时针方向转动。线圈转到图乙平衡位置时，电刷与两半环间的绝缘部分接触，线圈由于惯性还能转过一些，两半环接触的电刷调换了，线圈中电流变成从 F 流向 E，线圈继续沿顺时针方向转动。线圈就这样不停地转动下去。

电磁感应现象 闭合电路的一部分导体在磁场里做切割磁力线运动时，导体中产生电流的现象。如果导体不闭合，导体做切割磁力线运动不产生感生电流，而是在导体两端产生感生电压。

感生电流方向和导体运动方向、磁力线方向之间的关系，可以用右手定则来判定：伸开右手，使大拇指跟其余四个手指垂直，并且都跟手掌在一个平面内。把右手放入磁场中，让磁力线垂直穿入手心，大拇指指向导体运动方向，其余四指所指的方向就是感生电流的方向。

在电磁感应现象里，机械能转化成电能。

法拉第 (1791 ~ 1867) 伟大的英国物理学家、化学家。出身于贫苦的铁匠工人家庭，从小受教育很差。法拉第 13 岁进一家书店当学徒工，后来装订书籍。他通过自学读了许多书，激起了对科学的兴趣。他利用一切机会刻苦学习，22 岁时经戴维介绍进皇家研究所任实验室的助手，在戴维的指导下进行研究工作。法拉第从不满足现成的结论。不盲从，喜欢追根究底。法拉第具有广阔的视野，丰富的想象力，深刻的批判精神和高超的实验才能。在奥斯特发现电流的磁效应后，不少人认为：利用磁场能获得电流。有的人进行了研究，但没有取得成功。法拉第经过坚持不懈的努力，终于发现了电磁感应现象，并对这个现象进行了全面的、深刻的研究。电磁感应现象及其规律的发现有重要的科学意义和很大的实用价值。法拉第在电学和化学方面都有许多发现，是 19 世纪伟大的实验物理学家。法拉第在科学上最伟大的贡献是提出磁场和电场的概念，这是物理学自牛顿以来的一次最深刻和最富有成效的变革。

法拉第一生工作勤奋，热心科普工作。他追求科学真理，淡薄名利，拒绝优厚报酬，拒绝担任皇家学会主席，拒绝接受爵士称号。法拉第的高尚品德和伟大贡献已成为人类的共同财富。

交流电的产生 线圈在磁场中转动时能产生交流电。如图所示，矩形线圈 abcd 可以绕轴 OO' 转动，ab 边和 cd 边分别接到铜滑环 K、L 上，两个滑环又分别跟电刷 A、B 接触。电流表接到 A、B 组成闭合电路。当线圈逆时针方向从图甲经图乙转到图丙的半周内，根据右手定则，ab 边向下运动、感生电流方向由 b → a，cd 边向上运动、感生电流方向由 d → c。外部电路的电流由 A → B。当线圈由图丙经图丁转到图甲的半周内，ab 边向上运动、电流由 a → b，cd 边向下运动、电流由 c → d。外部电路的电流由 B → A。线圈继续转动，电流就这样周期性地改变方向，这就是交流电。

交流电的频率 交流电流、交流电压每秒重复的次数。频率的符号是 f ，单位是赫（Hz）。我们的照明用电和电力供电的频率是 50 赫，有的国家是 60 赫，这又叫做工频。我们用的交流电频率是 50 赫说明，交流电流、交流电压的变化 1 秒内重复 50 次，从电流方向的变化说 1 秒内变化 100 次。有的工业部门应用的交流电的频率有 200 赫、400 赫的。

交流电的电压 交流电的电压随时间做周期性变化，每时每刻交流电电压的大小、方向不同，我们平常说的交流电的电压是一个定值，它的含义是：交流电压加在某一电阻上产生的效果与这样大的直流电压加在同一电阻上产生的效果相同。例如，我们说照明电路的交流电压是 220 伏的意思是，220 伏的交流电压加在某一灯泡上与 220 伏的直流电压加在同一灯泡上发光的情况相同。实际上，220 伏的交流电压某一时刻的电压值最大可达 311 伏，最小可以是零。

交流电的电流 交流电的电流随时间周期性变化，我们平常说的交流电流是一个定值，它的含义是：交流电流通过某一电阻在一定时间内产生的热量与同样大小的直流电流通过同一电阻在同样长时间内产生的热量相等。例如，我们说交流电流是 0.5 安，意思是 0.5 安的交流电通过电阻在一定时间产生的热量，与 0.5 安的直流电通过同一电阻在同样长时间内产生的热量相等。即 0.5 安的交流电流与 0.5 安的直流电流对电阻产生的效果相同。实际上，0.5 安的交流电流某一时刻电流的最大值可达到 0.707 安，最小值可为零。

交流发电机 利用电磁感应现象产生交流电的发电机。交流发电机简单的工作原理见“交流电的产生”。实际的交流发电机结构复杂，主要由定子（不动部分）和转子（运转部分）两部分组成。大型交流发电机要发出很高的电压和很强的电流，要使巨大的线圈高速旋转有很大困难，因此采用线圈不动而磁场旋转的方式。大型交流发电机的定子是嵌在定子铁心槽里的线圈，转子是电磁铁（为了得到比永磁铁更强的磁场），由直流电源经电刷、滑环给电磁铁供电。

家庭电路 家庭用电的电路。家用电器主要是电灯、电视机、电冰箱、洗衣机、电扇等……。家用电器设计的电压是交流 220 伏，每个电器都要能够单独使用。所以家用电器间都是并联，每个电器都有个开关（电键）控制通电或断电。一个简单的家庭电路如下图所示，图中画了两盏电灯和一个插座，每盏电灯都有个开关，插座是给台灯、电视机、电冰箱、洗衣机等用电器供电的。有的家庭不止两盏灯。有的家庭用电器较多，需要多装几个插座应用起来才方便。

两根进户线间电压是交流 220 伏，电能表是为了测量用户用了多少电能。保险盒内装有保险丝是为了安全，当用电电流过大超过规定值或用电器短路产生很大的电流时，保险丝烧断，自动切断电路，可避免发生火灾、

损坏设备。闸刀开关是为了在检修电路、更换保险丝时，应该先切断电源、避免触电而设置的。闸刀开关应安装在用电器和保险盒前面。

火线和地线 家庭电路、照明电路的两根导线中有一根连着地，叫零线，俗称“地线”。在正常情况下，零线与地之间没有电压。另一根导线与零线之间有 220 伏电压，这根线叫相线，俗称“火线”。相线与地之间也有 220 伏电压。我们可用测电笔来辨别零线和火线，用手触笔尾的金属体，笔尖触电线，氖管发光时表明接触的是相线，氖管不发光时表明接触的是零线。

相线与地之间有 220 伏电压，站在地上的人触到相线会造成触电。正常情况下零线与地之间没有电压，但有时零线与地之间也存在电压，这时站在地上的人触到零线也可能出现危险。为了安全，检修电路时闸刀开关同时切断相线和零线。

接地 将电气设备的金属外壳与接地导线连接。接地是为了防止电气设备绝缘破坏使金属外壳带电时，站在地上的人接触金属外壳而触电，这叫接地保护，又常叫做保护接地。应该注意，接地导线不是零线。现在新建的住宅已经规范化、安全化，家庭供电线路的进户线，除了相线和零线外，还有保护地线。通常情况下保护地线与零线是分开的，进户线采用三芯电源线。三芯线中，绿、黄双色线是专门连结用电器金属外壳与保护地线用的。三芯插头、插座如图所示，插头中较长的插头接保护地线端，与电源插座的保护地线相连。当金属外壳带电时，电流经保护地线入地，人触摸用电器外壳也不会触电。

接零 将电气设备的金属外壳与零线连接。这是为了防止电气设备绝缘损坏使金属外壳带电，站在地上的人能摸到外壳时发生触电事故。有的地方没有专用的保护地线，只好采用接零保护，即把三芯插座的零线端与零线相接。采用接零保护时，一定要注意分辨清楚相线和零线。如果接错了，电气设备的金属外壳将带电，非常危险。

自制测电笔 测电笔是一种检验电路是否带电的工具，其构造和用法如下图所示。主要由氖管、电阻、笔尖、弹簧、两个笔杆等组成。构造简单可以自制。自制时需要一个长为 33 毫米的氖管，一个阻值不小于 2 兆欧的电阻。笔尖金属体插在绝缘笔杆中，笔尖、电阻、氖管、弹簧串在一起，放进另一绝缘笔杆中。测电笔的原理是利用氖管两端间电压达到一定数值时会产生辉光。电阻的作用是限制流过人体的电流，以免发生危险。自制测电笔的电阻不可小于 2 兆欧。笔杆的绝缘性能要好，整个测电笔的长度约十几厘米，能测量 100 ~ 500 伏内的电压。

测电笔的用途很多，可用来分辨相线和零线（见“火线和地线”）。可分辨直流电和交流电，如氖管两端都发光则为交流电，如一端发光则为

直流电，且发光的一端是负极。可分辨电气设备的外壳是否带电，用测电笔接触外壳，如氖管亮则外壳带电，如氖管不亮则说明不带电。

保险丝 串联在电路中保护供电用电设备、器件的金属丝或薄片。当电路中出现短路或其它故障造成电流超过允许值时，保险丝熔断，切断电路，起到保护作用。通常用的保险丝是用铅、锡、锑等制成合金丝或合金片，保险丝熔点低。

直径 (毫米)	额定电流 (安)
0.28	1
0.52	2
0.71	3
0.98	5
1.02	6
1.51	10
1.98	15
2.40	20

保险丝的规格常用它的额定电流表示。常用铅锑合金保险丝的直径和额定电流如表所示。选用保险丝时，应使它的额定电流等于或稍大于电路最大的正常工作电流。

保险丝通常装在保险盒里。常用的插入式保险盒如图所示，更换保险丝时将盒盖拔下，操作很安全。闸刀开关下方也装有保险丝，更换保险丝时必须拉开闸刀，切断电源，再进行操作。

安全用电 确保用电安全的常识和措施。在我们平时用电过程中，造成触电的原因都是由于人体直接或间接跟相线（火线）连通造成的。站在地上的人触到相线，或站在绝缘体上而同时触到两根电线，就有电流流过人体造成触电。

高压线路和高压设备引起的触电，有高压电弧触电和跨步电压触电。当人体靠近高压带电体一定距离时，发生放电现象，电流通过人体造成高压电弧触电。高压输电线落在地面上，当人体走近断头时，两脚之间存在电压，电流流过人体，造成跨步电压触电。

安全用电的原则是：不接触低压带电体，不靠近高压带电体。要特别警惕本来不应带电的物体带了电，本来应该绝缘的物体导了电。具体应该注意：(1)防止绝缘部分破损。(2)保持绝缘部分干燥。不要湿手扳开关，不要用湿布擦电灯泡等。(3)电气设备的金属外壳要接地。(4)避免电线跟其它金属物接触。(5)电线断头落地时不要靠近。(6)定期检查、及时修理。(7)发现有人触电要立即切断电源，或用干木棍、竹杆将电线挑开。

安全电压 人体与电接触时不致造成人体组织明显损害的电压。各国对安全电压的规定不完全相同，我国的规定是：(1)在无高度触电危险的建

筑物中为 65 伏；(2)在有高度触电危险的建筑物中为 36 伏；(3)在有特别触电危险的建筑物中为 12 伏。

人触电时有电流流过人体，电流的大小决定造成人体组织的伤害程度。电流不超过 10 毫安时，触电人自己可摆脱电源。0.1~0.2 安的电流对人体是最危险的。通过人体的电流由电压和人体电阻决定。人皮肤的电阻从湿皮肤的 1000 欧左右到干皮肤的 500000 欧左右。人体内的电阻小，约 100~500 欧。不同人电阻不同，接触相同电压的带电体时造成的伤害不同。经验证明，一般说不高于 36 伏的电压是安全的。人体大部浸于水中，安全电压为 2.5 伏以下，人体淋湿或人体一部分经常接触电气装置的金属外壳，安全电压为 25 伏以下。

电子保安器 用来防盗、保护财产和人身安全的电子系统。电子保安器又叫防盗报警器，它由三部分组成：传感检测器；控制器；报警器。传感检测器好像人的耳朵、眼睛、鼻子等，用来检测小偷等侵入的信息。有的利用门窗的振动、有的利用光束、有的利用超声波、微波、热辐射等。控制器相当人的大脑，它把检测器送来的信息及时通知报警器。报警器能发出清晰的警报声、铃声及显眼的灯光信号。

漏电保安器又叫漏电保安开关，它能防止人触电造成的生命危险和防止电气设备漏电引起的火灾。漏电保安器由漏电检测、信号放大、执行开关三部分组成。漏电检测部分检测出漏电信号送到晶体管电路组成的信号放大部分放大，执行开关一般是高灵敏继电器，执行开关动作时切断电路。漏电保安器的动作电流小于 30 毫安，动作时间小于 0.1 秒。

干电池 锌锰干电池是一种低压直流电源，是非充电电池。干电池的外壳是一个锌筒，锌筒是干电池的负极，也是干电池的容器，里面装有氯化铵溶液等化学药品。锌筒中央的碳棒是干电池的正极。按电池的大小分为一号、二号、五号等电池。干电池无论大小电压都是 1.5 伏，只是容量大小不同，放电电流不同。

干电池利用化学变化供电，把化学能转化为电能，是化学电池的一种。

干电池适合于断续放电，用久了电流减弱就要换新的。

充电电池 化学反应可逆的电池，又叫二次电池。常用的充电电池是铅蓄电池和镍镉电池。铅蓄电池是把许多块铅板放在稀硫酸里做成的。铅板分为两组，一组是正极，一组是负极，正负极间电压是 2 伏。镍镉电池的镍是正极，镉是负极，正负极间电压是 1.2 伏。

充电电池使用时需要先充电，把电池的正、负极分别接到另一电源的正、负极上，电流通过电池，使电池内部发生化学变化，电能转化为化学能，储蓄在电池里。电池向外供电叫放电，放电时储蓄的化学能转化为电能。

充电电池应用很广，交通工具的照明、收音机、照相机上都有应用。使用充电电池时绝不允许电池短路，用过一段时间后要及时充电。

太阳能电池 把太阳能直接转变为电能的器件。太阳能电池大多是用半导体材料制成，除硅太阳电池外，还有硫化镉太阳电池和砷化镓太阳电池。硅太阳电池用得最多。硅太阳电池的电压与太阳光照的强度有关，一般约 0.5 伏左右。太阳能电池在人造地球卫星、宇宙飞船、星际电站中作为电源得到重要的应用。太阳能电池性能稳定、寿命长、不污染环境，在地面上也得到越来越广泛的应用，如作为航标灯、铁路信号灯、黑光灯等的电源。太阳能电池的汽车正在实验中。

钮扣电池 钮扣式结构的电池。直径从几毫米到几十毫米，厚度随直径相应变化。钮扣电池的外壳为金属，通常与正极连接，中间是负极，电极之间充满电解液等。负极与外壳之间有塑料密封圈，起绝缘和防止电解液外流的作用。钮扣电池有的是一次电池，有的是充电电池（二次电池）。钮扣电池的体积一般很小，容量和放电电流也很小，多应用于电子手表、计算器等小型电器。

低压电源 中学应用的低压电源是提供物理实验用的低压交、直流和直流稳压电源。J1201 型低压电源输出交流电压的范围是 2~24 伏，分 12 挡。输出交流电流不大于 6 安，大于 6 安时过载指示灯亮。直流输出电压也是 2~24 伏，最大输出电流是 6 安，也有过载指示灯。直流稳压输出电压 6 伏、9 伏、12 伏，输出电流不大于 1 安，有过载保护装置。

变压器 用来改变交流电压和电流的电器设备。变压器由铁芯和线圈两部分组成。铁芯一般用硅钢片叠合做成，也可用铁氧体做铁芯。线圈有两个或多个绕组，接电源的叫初级线圈或原线圈，是变压器的输入端。其余的叫次级线圈或副线圈，是变压器的输出端。当在初级线圈加交流电压 U_1 时，次级线圈产生交流电压 U_2 。电压 U_1 与 U_2 与初次级线圈的匝数成正比，即 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 。当次级线圈匝数 n_2 小于初级线圈匝数 n_1 时，变压器输出电压降低， $U_2 < U_1$ 。若 $n_2 > n_1$ 则输出电压升高， $U_2 > U_1$ 。

白炽灯 靠电流通过灯丝使灯丝加热至白炽而发光的光源。常见的白炽灯是将熔点高的钨丝封入玻璃泡壳内，电流通过引线传到支架上的钨丝，使钨丝温度达 2000 以上而发光。为了防止钨在高温下氧化，小功率灯泡抽成真空。60 瓦以上灯泡充入氮、氩等气体，可阻碍钨丝在高温下的升华，灯丝温度能提高到 2400~2700，发光效率因而提高。如果在灯泡内充入微量卤族元素，灯丝温度还可再提高，这叫卤钨灯，发光效率更高。

常用的白炽灯有螺丝口和卡口两种。如上图所示，螺丝口灯泡灯丝两头通过金属丝分别焊在灯泡尾部中心的金属块和螺旋上，灯座的螺旋套只准接在零线上。卡口灯泡的灯丝两头通过金属丝都从灯泡尾部伸出分别锡

常用的白炽灯有螺丝口和卡口两种。如上图所示，螺丝口灯泡灯丝两头通过金属丝分别焊在灯泡尾部中心的金属块和螺旋上，灯座的螺旋套只准接在零线上。卡口灯泡的灯丝两头通过金属丝都从灯泡尾部伸出分别锡

焊位。

日光灯 又叫荧光灯，是利用荧光来照明的光源。日光灯是应用最广的放电光源，它是靠管内电子运动与水银原子碰撞，水银原子发射紫外线，紫外线照射到管壁的荧光粉上，荧光粉就发出可见光。荧光粉可根据需要选择发出不同色调的光。通常选择的荧光粉能发出近似日光颜色的光，所以常称日光灯。

日光灯发热少、效率高、寿命长、光线柔和，应用广泛。日光灯的缺点是需要镇流器、启动器等附件，电路较复杂。另外就是体积大，功率不能太大。新型的节能日光灯，用电子电路代替了镇流器、启动器，体积大大缩小，效率进一步提高。

电风扇 由电动机带动风叶旋转以加速空气流动和交换的电器。电扇的种类很多，有台扇、吊扇、箱式电扇等。我们常用的台扇由电动机、风叶、网罩、摇摆机构、调速机构、支承机构、底座等组成。有的台扇还有定时开关、照明灯等。吊扇主要由电动机、风叶、悬吊装置及独立安装的调速器组成。吊扇多用于礼堂、会场等需要送风范围广、风量大的场合。

电吹风 由电动机带动风叶旋转吹出加热空气的电器。电吹风主要用于头发吹干和定型，也用于实验室、生产等的干燥加热，还用于对收录机、电视机等仪器的干燥、驱潮、清除尘埃。电吹风主要由电动机、风叶、电热元件、选择开关、外壳、手柄等组成。电热元件一般为镍铬丝，近年来还用一种新型材料——铁电半导体陶瓷（PTC）。

洗衣机 洗涤衣服的电器。家用洗衣机的种类很多，有滚筒式（欧洲式）、波轮式（日本式）、搅拌式（美国式）、喷流式等。我国目前用得最多的是波轮式洗衣机，它是利用洗涤缸底部波轮的定时正反旋转，推动水流旋转，使脏衣服受到水流的冲刷，吸附于衣服内的洗涤液被排出，并带走一部分污垢，衣服之间、衣服与洗涤缸壁间相互摩擦等，最后经过漂洗把衣服洗干净。从洗衣机的性能看有单缸普通洗衣机、普通双缸洗衣机、全自动套缸洗衣机。

电子点火器 利用电子技术点火的电器。电子点火器按结构分有：压电式、磁电式、电磁式、电炉式。压电式电子点火器是利用压电陶瓷受到机械开关的冲击力后，产生电压使两电极间出现电火花，可点燃丙烷、丁烷、液化石油气和煤气等。这种点火器的电能来自机械能，结构简单，经济耐用，是目前燃气炉灶常用的一种点火器。电磁式电子点火器是由电池提供电能，利用电子电路在两电极间产生电火花来引燃气炉。电磁式电子点火器火花大且火花大小可调，使用方便可靠，用得很多。

电子钟表 以电池为能源采用电子技术的钟表。电子钟表走时准确，使用方便、价格合宜。电子钟表由两部分组成：电路和时间指示。电子钟表电路的核心是石英晶体讯号发生器。石英晶体产生的讯号（32768 赫）推动时间指示装置显示出时间。石英晶体产生的讯号非常稳定，保证了电

子钟表走时的准确，所以又叫石英钟表。机械钟表每天的误差一般以分计算，电子钟表一般则以秒计算。电子钟表的时间指示装置有的跟机械钟表类似，通过齿轮传动用指针指示时间，这叫指针式电子钟表。有的用数字显示，叫数字式电子钟表。

电子钟的电源一般用5号电池，通常可用1年左右。电子表用钮扣电池，可用1~2年。

电子钟表内有电池、电路，使用时要注意防潮。电池要及时更换以防漏液损坏钟表。石英晶体讯号发生器容易受温度变化影响，石英钟不要受太阳晒或接近太热、太冷的物体。电子表戴在手上能保证走时准确。

九、电磁波及其传播

电磁波 在空间中传播的变化电场、磁场。平静的水面如果某处发生振动，这个振动会沿着水面传播出去形成水波。空间中某处的电场、磁场发生变化，这个变化会在空间中传播开去形成电磁波。无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线等都是电磁波，只是它们的频率、波长不同，产生的方式不同。

电磁波的频率 电场、磁场每秒内重复变化的次数。电磁波在空间中传播时，空间中某处的电场、磁场随时间作周期性的变化，电磁波的频率就是说明电场、磁场变化的快慢的。频率高变化快，频率低变化慢。频率的单位是赫(Hz)，符号是f。常用的频率单位还有千赫(kHz)、兆赫(MHz)。1千赫 = 10^3 赫，1兆赫 = 10^6 赫。

无线电广播中波的频率为几百到几千千赫，短波的频率为几十兆赫，红外线的频率约 $10^{10} \sim 10^{14}$ 赫，可见光为 10^{14} 赫，紫外线为 $10^{14} \sim 10^{16}$ 赫，X射线为 $10^{16} \sim 10^{18}$ 赫。

电磁波的波长 电磁波前一个波峰和后一个波峰间的距离。在真空中和空气中，电磁波的波长与频率成反比，频率低的电磁波波长长，频率高的电磁波波长短。无线电广播的中波波长约几百~几千米，短波约几十米，微波约几毫米~几米，可见光为 10^{-6} 米。

电磁波的速度 电场、磁场变化传播的速度。在真空各种频率的电磁波传播速度都是 3×10^8 米/秒，光速也是 3×10^8 米/秒，用符号c表示，这是我们已知的自然界最快的速度。在媒质中电磁波的速度比真空中小。电磁波的频率、波长和传播速度间的关系是：速度 = 频率 × 波长。

无线话筒 利用无线电波把声音发射出去的器件。话筒是把声音变成相应的电信号的器件，无线话筒则是把电信号加在无线电波上发射出去，接收机接收到无线电波后取出电信号再还原为声音。无线话筒由话筒头和发射机组成。话筒头有驻极体式和电容式两种，电容式话筒头性能优越、体型小，已广泛应用。发射机话筒头传送来的电信号放大后加到高频电流上，通过天线发射的无线电波发射出去。无线话筒体积小、重量轻、使用方便，广泛用于舞台、教学、导游等场所。

无线电话 把声音信号加到无线电波上传播出去的电话。无线电话由发射机、接收机、送话器(话筒)、受话器(听筒)等组成。送话器把声音变成低频电信号，加到高频无线电波上由发射机发射出去。接收机接收到高频无线电波后取出低频电信号，经过放大后送到受话器中再还原为声音。各无线电话用户可用约定的频率通话(如对讲机)，也可通过中继站、基地台转发信号，还可通过转接装置接入市话系统接通市内电话。

程控电话台 用存储在计算机内的程序来控制电话交换机的电话台。这种电话交换机的全称是“存储程序控制自动电话交换机”。电话交

交换机是把各用户电话按用户要求接通的装置，程控电话交换机是用计算机程序控制的，控制程序是我们按一定要求事先编好并储存在计算机内的。用计算机来控制交换机有音量大、音质好、接续时间快等优点，除实现了控制自动化外，还实现了维护管理自动化，对装置的故障也能自动地判断出来，又能够开发出许多种新的业务（如长途电话、综合服务等等）。

BP 机 无线电寻呼机。BP 机由接收机和呼叫器等组成。接收机接收发射台发射出的无线电波，把无线电波上的信号显示出来，并且通过呼叫器发出声音，持有 BP 机的人就知道是谁在呼叫他。我们通过电话说明要呼叫的号码，电话局把这个电信号送到发射台，发射台就发射出无线电波。BP 机对需要各处活动的人说是很有效的工具。

大哥大 是无线移动电话机的俗称。无线移动电话是无线电话的一种。大哥大由无线电发射机、接收机和电话机组成。我们拿起话筒拨号和说话时，电信号通过发射机发射出无线电波，基地台收到无线电波后，经过放大等再发射出去。另一台无线电话机的接收机收到基地台发射的无线电波后，取下电信号、放大。由听筒还原为声音。无线移动电话摆脱了电话机固定在一个地方的束缚，在基地台有效控制的范围内，拿着无线移动电话机在任何地方都可通话。

无线电广播 无线电波传送的信息是语言和音乐。首先通过话筒把语言、音乐的声音变成低频电信号，再通过高频电磁波带着低频电信号发射出去，这就是无线电广播的过程。高频电磁波叫载波，低频电信号加到高频电磁波上改变了高频电磁波的振幅，这叫调幅。无线电台发射出去的电磁波是调幅无线电波。

收音机 接收无线电广播信号的电器。收音机由调谐电路、检波器、放大器、扬声器等组成。收音机的天线接收无线电广播电台发射出的无线电波，调谐电路选择出所要听的电台，检波器从高频调幅波中取出低频电信号，放大器把低频电信号放大，扬声器把放大的电信号还原成声音。

调频广播、接收 用低频电信号改变高频无线电波的频率的广播、接收。无线电广播一般用的是调幅波，调幅波容易受到干扰。调频广播用的是调频波，调频波抗干扰性能好，音质优美，应用将越来越广。调频广播频率是 88~108 兆赫，比无线电广播的频率高得多，调频波是直线传播，传播距离不大。调频接收机构造复杂。

立体声广播、接收 人的两只耳朵能分辨从不同方向来的声音，能辨别声源的位置，这种具有空间立体感的声音称为立体声。立体声广播是用一对相同性能的话筒接收左右方向的声音，变成电信号后送到发射机中，先进行立体声编码，再通过调频立体声广播出去。立体声接收机中有一个专门的电路即立体声解码电路，把左右声道的声音分开，通过左右两路相同性能的扬声器（相隔一定距离）重放两路声音。

电视发射 电视发射的信号有声音信号（伴音信号）和图象信号。伴

音信号用调频波发射出去，图象信号用调幅波发射出去。摄像机镜头将被摄物体的像成在摄像管中的屏上，电子枪发射出电子束打到屏上，对图象进行扫描，把图象各部分的明暗情况和色彩，逐点地变成相应的电流，把被摄物体反射的光变成电信号，这就是图象信号。

电视接收 先通过接收天线把伴音信号和图象信号接收下来，伴音信号由扬声器还原为声音，图象信号由显像管还原为图象。彩色显像管的彩色图象是利用三原色原理来显示的。三原色原理说明，各种颜色都可分解为红、绿、蓝三种颜色的不同组合，红、绿、蓝三种颜色的不同比例的混合可组成任何颜色。电视发射的图象信号中，有红、绿、蓝三种颜色的色度信号。彩色显像管把这三种色度信号组合成一幅彩色画面。

高清晰度电视 电视的清晰度决定于每幅画面扫描的行数，扫描行数越多画面越清晰。我国的电视制式，每帧画面扫描 625 行。电影画面相当于电视每帧扫描 2000 行，所以电影画面比电视清晰得多。高清晰高电视制式，把每帧画面的扫描行数增加 1 倍左右，如增加到 1125 行，这样就能提高电视的清晰度。高清晰度电视是下一代电视，现在虽已小批量生产，但成本太高，暂时无法普及。液晶电视用液晶屏显示电视图象的电视机。液晶电视有体积小，重量轻，省电，图象质量好，白天收看效果好等特点，是很有发展前途的新型电视机。

录音机 把各种声音录到磁带上，又能把磁带上的声音信息重放出来的电器。录音机由话筒、磁带、录放磁头、抹音磁头、收录音电路、电动机和机械传动部分及扬声器等组成。录音时，声音经话筒变成电信号，放大后送到录音磁头的线圈中，使磁头产生随信号变化的磁场，磁带紧贴磁头被磁化录下了信号。放音时，磁带通过磁头在磁头线圈中产生相应的电信号，信号放大后在扬声器中发出原来的声音。

录像机 把图象、伴音信号录到磁带上，又能将磁带上的图象伴音信息取出送到电视机中显示出图象声音的电器。通常由接收系统、记录系统和重放系统构成。接收系统接收图象信号和伴音信号，进行处理、放大后送到记录系统中。记录系统对信号进行特殊的处理和放大，通过磁头记录到磁带上。重放系统作用与记录系统相反，从磁带上读出信息，经过处理后送到电视机中。

雷达 利用无线电波测定物体位置的无线电设备。雷达是利用电磁波遇到障碍物要发生反射的特性制成的。雷达有一个特制的可转动的天线，天线向一定方向隔一定时间（约万分之一秒）发射一次无线电波，发射时间约百万分之一秒。无线电波遇到障碍物时反射回来被天线接收。无线电波的传播速度是 c ($=3 \times 10^8$ 米/秒)，测出无线电波从发射到接收的时间 t ，则障碍物与天线的距离 $s = \frac{1}{2}ct$ 。再根据无线电波的传播方向，可确定障碍物的位置。

雷达发射的无线电波是微波。利用雷达可探测飞机、舰艇、导弹等目

标，可为飞机、船只等导航。

电磁辐射与环境污染 各种用电设备工作时由于带电量、电流发生变化会向周围空间辐射电磁波。例如：家用电器的通电断电，电气设备的火花放电、弧光放电，荧光灯、电吹风中的变化电流等都要辐射电磁波。我们生存的环境中存在着不同频率、波长的电磁波，其中波长 1 毫米~1 米（频率 300 千兆赫~300 兆赫）的电磁波对人体健康影响很大，造成对环境的电磁污染。

1 毫米~1 米波长的电磁波是微波，微波对人体危害大，能引起失眠、健忘、易怒、心律减慢、影响遗传等疾病。微波炉的微波泄漏、无线电发射机、雷达等是造成微波污染的重要来源，我们应注意防护。

十、光学现象

光 通常指能引起人视觉的电磁波。广义上讲，光指全部电磁波。至今为止，人们知道的电磁波最短波长为 10^{-15} 米左右，最长为 10^7 米左右，整个波长范围称为电磁波谱。其中，能引起人视觉的部分，频率在 3.9×10^{14} 赫到 7.7×10^{14} 赫之间，称为可见光。其余不能直接引起人的视觉，只能借助仪器来进行观察或测试，如红外光（线），紫外光（线）等，叫不可见光。

从频率范围看，可见光只是整个电磁波中很小的一部分（如图）。

发光体 能够发光的物体。通常指发出可见光的物体，也称光源。在茫茫宇宙中，有无数星体在常年累月地发光，我们把这类发光体叫天然发光体。其中，对地球影响最大的是太阳，它每时每刻给地球带来光和热。太阳的总辐射能量约为 3.83×10^{23} 千瓦，其中为地球吸收的约为 1.74×10^{14} 千瓦。另一类发光体是人工发光体。最原始的人工发光体就是在人为控制下的燃烧物，如火把、油灯等。在人类发展史上，长时期使用燃烧物作为照明用。直到 19 世纪 70 年代末，T.A. 爱迪生发明了白炽灯，人工发光体才走过了漫长的路程，向前跨进了一大步。进入 20 世纪后，随着科学技术的发展，人工发光体越来越先进，使用也越来越广泛。（见“光源”）

光源 能发光（电磁波）的物体。通常指能发出可见光的物体。可见光一般用于照明，不可见光一般用于工农业、医疗、通讯和科技方面。光源分天然光源和人造光源两大类。人造光源的演变过程大致是：19 世纪以前，主要是燃烧的物体，如火把、油灯、蜡烛、煤气灯等。19 世纪有了电光源，20 世纪初制成气体放电光源，50 年代后，又制成放射性同位素光源和场致发光灯，60 年代出现激光光源。常见的人造光源主要有：热辐射光源。利用热能激发的光源。指原始的人工光源、弧光灯、白炽灯、碘钨灯等，主要用于室内、室外照明。气体放电光源。利用气体放电发光。如低压汞灯，高压汞灯、氙灯、钠灯等，主要用于室内、室外照明及各种摄影等。激光光源。由原子受激辐射产生，具有高单色性、高定向性、高亮度性、高相干性等优点。如固体、液体、气体激光器。主要用于工农业、科技、医疗、通讯等方面。另外还有发光二极管等。

在几何光学中，能成像的物也称为光源。它可以是自身发光的物体，也可以是其它光源照射而发光的物体，还可以是像。

太阳是一个巨大的光源 太阳是一颗硕大、炽热的星体，每时每刻都在辐射出巨大的光和热，其中约有 22 亿分之一为我们地球吸收，成为地球上光和热的主要源泉。太阳发出的惊人的光和热已经持续了几十亿年了，它使用的不是一般的可燃物，也不是一般的燃烧，而是太阳上极为丰富的氢元素。在太阳中心高温（一千五百万度）、高压下，这些氢元素的

原子核发生热核反应，结合成氦，发出大量的热。这种反应从太阳内部到太阳表面持续不断，使整个太阳成为一个巨大的火球。据推测，就是在太阳表面，温度也在 6000 以上。

光是一种电磁波，是由物质内部原子的辐射产生的。任何物质都有辐射现象，温度越高，辐射越强。我们日常所见的白炽灯，温度超过 1500 时就可辐射出白光。太阳表层的温度高达 6000 以上，在这样的高温下，太阳辐射十分激烈，产生耀眼的光芒。

太阳内部核反应所消耗的氢，在太阳上极为丰富，还可以供太阳持续使用几十亿年。即使太阳上的氢全部使用完毕，人类总可以找到替代的光源。因此，大可不必为之担忧。

红外线 在电磁波谱中，可见光红端与微波之间的电磁波。又称红外光。它的波长范围约在 $7.0 \times 10^{-7} \sim 1.0 \times 10^{-3}$ 米之间。由英国天文学家 W. 赫谢尔在 1800 年发现。

一切物体都在向外发射红外线。红外线不能引起视觉，但它有极强的热效应，较强的穿透能力和化学效应。红外线的这些特点被广泛应用于工业、农业、国防和科技。如在一般的摄像机上加一个红外探测器，黑暗中、水中或被雾遮挡的物体发射出的红外线被摄像机的探测器接收，通过光学系统和扫描系统就可得到物体的图象或照片。这种摄像机甚至可以对人或物刚离开时留下的痕迹摄像或照相，在人体疾病诊断、材料探伤、敌情侦察上都有很高的实用价值。

现代生活中的红外线烤箱就是利用红外线的热效应制成的。

紫外线 在电磁波谱中，可见光紫端与 X 光线之间的电磁波。又称紫外光。它的波长范围约在 $5.0 \times 10^{-9} \sim 4.0 \times 10^{-7}$ 米之间。紫外光不能引起人的视觉，它是 1801 年德国物理学家里特发现的。

紫外线能使照像底片感光，对多种物质有荧光作用，对生物有杀灭作用。利用它的荧光作用，能激发不同物质发出不同颜色的光。如常见的日光灯就是利用紫外线激发荧光物质发光的光源。在医疗、保洁上利用紫外线来消毒，杀灭细菌。如医院里将洗涤后的衣物、医疗器件等再用紫外线照射进行消毒。养殖场所、食品加工部门也往往对人或物体用紫外线进行短时照射，进行消毒。在工业、农业上紫外线的用途也很多。

一切高温物体都能发射紫外线。太阳是紫外线的主要发射源。过强的紫外线，对人体的皮肤和眼睛有害。因此不能用太强的紫外线照射人体。大气层中的氧和臭氧几乎全部吸收了太阳紫外线。所以保护臭氧层是人类保护环境的重要任务。

激光 原子核受激辐射时发出的光束。原子核在受激辐射时，产生的光子性能（频率、发射方向、初相位等）与入射光子相同。这样一个入射光子在受激辐射时，产生两个光子，如此反复，使光大大加强，形成强光束。

激光的发现较晚，其理论是1917年科学家爱因斯坦提出的，50年代末得以实现，取名莱塞。1960年世界上第一台红宝石激光器制成。此后相继出现各种类型的激光器。

激光有很多突出的优点：单色性高，即激光的波长一致。如红光的波长范围为 $6.0 \times 10^{-7} \sim 7.0 \times 10^{-7}$ 米，差别为 10^{-7} 米。一束激光的波长差别只有 10^{-17} 米；方向性强。激光发射时的发散角极小，把它射到月球上，仍然很集中；亮度高。由于激光波长单一，发射集中，它在极小的范围内可以得到极高的亮度，目前已使用的大型脉冲激光，其亮度在太阳亮度的 10^{14} 倍以上。另外，激光在偏振性、相干性等方面也都具有突出的优点。激光的上述优点，使其在各行各业都得到广泛的应用。

激光的应用 激光辐射具有高定向性、高单色性、高相干性、高亮度及可调谐等优点，突破了以往光辐射的种种局限性，因而在科学、技术各领域得到广泛应用。在工农业技术科学方面。利用激光的高功率密度进行非接触特种加工，如激光打孔、焊接、印刷及信息储存等。利用其高单色性及可调谐性，化学上进行光学合成、光学提纯、同位素分离等。利用其高定向性可进行准直测量、军事上进行制导。激光是非常高频率的相干电磁辐射，可用以作为载波进行激光通讯。与无线电通讯比，它具有信息容量大、通讯距离远、保密性高及抗干扰性强等优点。使用光导纤维则不受气候影响，直径1厘米的光纤可同时传送一万多个电话。激光雷达和精密测量已投入使用。激光全息术正在许多领域应用。在医学、生命科学方面。激光手术刀、激光针灸及辐照烧灼已普遍使用。利用激光与生物体相互作用的各种效应，可研究细胞的生长变化规律，了解新陈代谢、遗传、发育等生命过程。各种激光诊断仪器，如激光显微光谱分析仪，激光显微镜，激光血球计数仪等正在医学和生命科学发展中表现出特殊效用。激光治疗疑难病症（如癌症）也正在开展。在军事科学方面。现在激光辐射武器的研制引起了各国注目。利用输出能力很强的激光器，可摧毁敌方导弹、飞机、军事卫星等，还可用来干扰、破坏敌方侦察、监视设备中的光学元件，使之失灵。目前正在研制的X射线激光作战卫星，不需精确瞄准便可一次摧毁多个目标。此外，激光可产生超高温、超高压、超高速、超高场强等极端物理条件，便于人们去发现和研究新现象、新问题，及验证科学上已有的结论。因此，激光在基础科学研究方面已被广泛应用。

光的直线传播 光沿直线行进的过程。光在真空中沿直线传播，光在同一种介质中也是沿直线传播的。

人类最早记载光的直线传播是我国春秋战国时期，著名自然哲学家墨翟，他在其著作《墨经》中，对影、半影和小孔成像都作了完整的记载。一百年后，欧几里德也指出光是直线传播的。

光从一种介质进入另一种介质时，在其交界面要发生反射和折射。反射光线和折射光线也是沿直线传播的。

在几何光学中，我们用直线表示光线和光线沿直线传播的方向。

光速 光在真空中的传播速度，用字母 c 表示。它是物理学的基本常数之一。目前，国际上公认的光速值是 $c=299792458 \pm 0.1$ 米/秒。在一般的使用中，取 $c=3.0 \times 10^8$ 米/秒。

光在介质中传播时，其速度小于 c ，其大小与介质的性质即折射率有关。

光速被认为是宇宙间物质运动的极限。最早对光速进行测定是 17 世纪初，由于当时技术和测试手段的限制，测出的数值误差较大。到 1849 年，法国物理学家 A.H.L. 斐索用齿轮法首次在地面实验室中成功地测出光速数值为 3.12×10^8 米/秒。1850 年法国实验物理学家傅科改进实验方法，测得光速数值为 2.98×10^8 米/秒。1926 年美国物理学家 A.A. 迈克尔孙测得的数值为 2.99796×10^8 米/秒。

1927 年，美国的埃文森通过激光频率和在真空中的波长，根据 $c=f\lambda$ 得到光的速度值为 $c=299792458$ 米/秒 这个数值被推荐为目前光速的公认值。

随着科学技术的发展和测量方法的改进，光的速度 c 将越来越精确。

由于光就是电磁波，所以电磁波在真空中的传播速度也是 c 。广播、通讯用的无线电波是电磁波中的一种。我们经常讲，通过广播、电视、电话、传真能把某一个信息在瞬息之间传到世界上的任何一个地方，就是因为电磁波以 c 这个极限速度在空中行进的原因。

影 光源发出的光，照射到不透明物体时，在物体的后方形成的暗区。光源可以看作是由很多发光点组成的。每个发光点都在物体后面形成影区，所有发光点的共同影区叫本影（图中的 A 区）。本影区完全没有光线照射到。在本影区的外围，有部分发光点发出的光线照射到，部分发光点发出的光线照射不到，这部分区域叫半影区（图中的 B 区）。

影在生产、生活中有很多应用。在时钟未发明之前，人们就是利用影来记录时间和节气的变化。在一个有刻度的石盘中心处置一指针，利用太阳照射时，指针影子的指向，从刻度盘上得到时间或节气的读数。这种仪器叫日晷。晷就是太阳影子的意思，我国故宫中还保存有不少这种古代的计时仪器。

人们在日常生活中用以遮阳的伞、帽子就是影的应用。照像、外科手术的无影灯也是影的应用。

日食 太阳被月球遮蔽的现象。用光的直线传播可以解释这种现象。如图甲，月球在绕地球运行的过程中，三者处于同一直线或接近同一直线时，太阳上射来的光线，一部分被月球挡住，在地球上形成影（图甲中的 abcd，图乙中的 A 区和 B 区）。其中，bc 为本影区，ab、cd 为半影区（相对应的 A 区和 B 区）。这时处在地球上 bc 区域内的人看不见太阳射来的光线，太阳完全被月球挡住，叫日全食。处于 ab、cd 区域内的人，能看见太

阳的一部分，叫日偏食。显然越靠近 A 区，偏食的程度越大。

由于月球绕地球运动的道轨不是一个圆，它离地球的距离时近时远。在月球离地球较远时，产生如图所示的情况。这时，月球的本影未及地球，它的本影的延长部分在地球上形成一阴影。这个阴影天文学上叫伪本影。处于伪本影区的观察者，能看见太阳的周边部分，好像一个光环，这叫日环食。

日全食、日偏食、日环食统称为日食。可见，日食的产生，从现象上看，是直线传播的太阳光被月球遮挡而引起的。下表列出 1992 年后，将要发生的日食的情况。

表 1992 ~ 2010 年我国所能看到的日食

日期	食相	食甚时间 (北京 时间)	可见地区
1992.12.24	偏食	7 时到 7 时半左右	北京、哈尔滨、上海、武汉、广州等地区
1995.10.24	偏食	11 时半到 12 时半左右	除东北部地区外，各地都能看到
1997.3.9	偏食	8 时到 9 时左右	全国各地都能看到
1998.8.22	偏食	8 时半左右	上海、武汉、广州、昆明、拉萨等地区
1999.8.11	偏食	20 时左右	乌鲁木齐、拉萨等地区
2002.6.11	环食	6 时到 6 时半左右	北京、哈尔滨、兰州、上海、武汉、广州、昆明等地可以看到偏食
2003.5.31	环食	11 时半左右	乌鲁木齐地区可看到偏食
2004.10.14	偏食	10 时左右	哈尔滨地区
2005.10.3	环食	19 时半左右	拉萨地区可看到偏食
2006.3.29	全食	20 时左右	乌鲁木齐、拉萨地区可看到偏食
2007.3.19		9 时半到 11 时左右	北京、哈尔滨、兰州、乌鲁木齐、上海、武汉、广州、昆明、拉萨等地区
2008.8.1		19 时到 19 时半左右	全国都可看到偏食，我国北部和西北某些地区可看到全食
2009.7.22	全食	9 时到 10 时左右	全国各地都可看到偏食，全食带从我国东海之滨横贯到西部边界
2010.1.15	环食	16 时到 17 时左右	全国各地都可看到偏食，环食带穿越我国西南到山东半岛的广大地区

月食 月球进入地球的阴影，月面变暗的现象。用光的直线传播可似解释这一现象。如图当太阳光直射地球时，在地球的另一面形成一条影带。这条影带分为本影和半影，本影区内没有太阳射来的光，半影区内有太阳

射来的部分光。当月球沿轨道 MN 运行进入半影区时，叫半影月食。部分进入本影区，叫月偏食。全部进入本影区，叫月全食。

半影月食、月偏食、月全食统称为月食。下表列出 1992 年后，将要发生的月食的情况。

表 1992 ~ 2010 我国所能见到的月食

日期	食相	初亏到复圆的时间 (北京时间)
1992.12.10	全食	5:57 ~ 9:29
1993.6.4	全食	19:10 ~ 22:50
1995.4.15	偏食	19:38 ~ 20:56
1997.9.17	全食	1:02 ~ 4:32
1999.7.28	偏食	18:25 ~ 20:47
2000.7.16	全食	20:03 ~ 23:47
2001.1.10	全食	2:36 ~ 6:06
2001.7.5 ~ 6	偏食	21:41 ~ 0:15
2004.5.5	全食	2:43 ~ 6:17
2005.10.17	偏食	19:29 ~ 20:35
2007.3.4	全食	5:36 ~ 9:06
8.28	全食	16:45 ~ 20:25
2008.8.17	偏食	3:34 ~ 6:40
2010.1.1	偏食	2:52 ~ 3:58
6.26	偏食	18:18 ~ 20:54

光的反射定律 在光的反射现象中，确定反射光线方向的定律。是几何光学的基本定律之一。光入射到两种介质的分界面时，有部分返回原介质中，这种现象称为光的反射现象。反射定律的内容是：反射光线位于法线和入射光线所决定的平面内；反射光线和入射光线分别位于法线的两侧；反射角 r 等于入射角 i 。

若将光线沿反射线射入，这时的入射角为 r ，根据反射定律，反射角为 i ，反射光线必然沿原入射光线射出。可见，在反射现象中，光路是可逆的。

镜面反射 光线经光滑平面发生的有规则的反射现象。它遵循反射定律。如图，当一束平行光线入射到镜面 MN 时，由于各点的法线是平行的，所以反射光线也是平行的。镜面反射也叫镜反射或规则反射。

漫反射 光线射到物体粗糙的表面时，无规则地向各个方向反射的现象。如图，当一束平行光线射到粗糙表面 MN 时，每条光线都遵循反射定律，由于粗糙表面上各点的法线方向不同，光线反射后，沿不同的方向射出，

形成漫反射。大多数物体表面是粗糙的，由于漫反射的作用，我们能从各个方向看到它。

平面镜 反射面为平面的镜。根据光的反射定律，平行光线经平面镜反射后仍为平行光线，会聚光线经平面镜反射后仍为会聚光线，发射光线经平面镜反射后仍为发射光线（如图）。光点发出的发散光线经镜面反射后，反射光线的反向延长线相交于一点（如图(3)），这一点是发光点 S 的像。

物体（光源）通过平面镜所成的像是虚像，与物等大、正立，左右倒置，并与镜面距离相等。

平面镜成像可用作图法求得。如图。物体 ABC 置于平面镜 MN 前。从 A 点引出任一光线 AO 交平面镜于 O，根据反射定律。AO 的反射光线为 OP，OP 的反向延长线为 OQ。再从 A 向镜面作垂直光线 AR，由于垂直入射的光线它的反射线沿原路反射回来，其反向延长线交 OQ 于 A'，A' 点就是 A 点的像。根据像、物与镜面对称等距的特点，分别作 B 点、C 点的像 B'、C'，连接 A'、B'、C'，A'B'C' 就是物 ABC 的像。

当光线入射到镜面 MN 时，如果保持入射光线不变，将镜面转过 θ 角，反射光线将偏转 2θ 角。这是因为镜面转过 θ 角时，法线也转过 θ 角。设转过 θ 角后，反射光线与原反射光线的夹角为 x ，设镜面转动前后的入射角、反射角分别为 i 、 r ， i' 、 r' 。因： $x=r' - r = r + \theta - (i - \theta) = r - i + 2\theta$ ，由于 $r=i$ ，所以 $x=2\theta$ 。利用这个特点，可将微小变化放大，光学上称为光杠杆放大作用。

使两个以上的平面镜固定保持一定的夹角叫角镜。现代建筑在房屋装饰时，常用角镜。物体通过角镜可成多个像，改变镜的夹角，像的个数可随之改变，像个数 n 与镜角的关系为 $n=360^\circ / \theta - 1$ （ θ 为镜夹角）。如角镜的镜角 $\theta=90^\circ$ 时， $n=360^\circ / 90^\circ - 1=4-1=3$ ，即像的个数为 3。

平面镜成像 见“平面镜”。

虚像 反射光线或折射光线的反向延长线相交而成的像。物体发出的光线经光学系统（面镜、透镜、棱镜或它们的组合）反射或折射后，或会聚或发散。当光线发散时，其反向延长线会聚形成与物体相似的图景，这就是虚像。放大镜、望远镜、显微镜所成的像都是虚像。虚像不能显示在屏幕上，也不能使照像底片感光，只能用眼直接观察。

平面镜成像规律 见“平面镜”。

潜望镜 利用光的反射，改变光线的传播方向，以观察到人不能直接看到的物体虚像的仪器。最简单的潜望镜是用两块镀银面相对平行的平面

镜组成（如图）。用全反射棱镜（直角棱镜）代替平面镜，其效果更好。如果将望远镜与潜望镜组合起来，效果和用途就更大了。潜望镜主要用于军事中。如潜伏在坑道中的军事人员，将潜望镜的一个反射镜面伸出坑道，在坑道内，通过另一个反射镜面，就可以观察到远处的人或物。如果在伸出坑道的反射镜面前组合上望远镜，还可提高观察的效果和增大观察的范围。

球面镜 反射面为球面的反射镜。可用以成像或改变光的传播方向。我国古代对球面镜就有认识，其中，北宋科学家沈括对球面镜的曲率和成像的大小关系有过详细的论述。球面镜中，反射面为凹面的称为凹面镜，简称凹镜；反射面为凸面的称为凸面镜，简称凸镜。如图，过球面镜顶点O和球面中心C的连线为球面镜的主光轴，简称主轴。一束平行于主轴的光线射向凹镜时，根据反射定律，反射光线会聚于主轴上的一点F（图乙），F称为凹镜的焦点。由于F点是反射光线交会而成，称为实焦点。当平行于主轴的光线射向凸镜时，反射光线发散出去，但发散光线的反向延长线相交于主轴上的F点，F点是凸镜的焦点，由于是反向延长线交会而成，故称虚交点。实焦点和虚焦点统称球面镜的焦点，焦点到顶点O的距离称为焦距，通常用字母*f*表示，且 $f = \frac{1}{2}r$ （*r*为球面镜半径）。

球面镜的用途很广。利用凹镜对光线会聚的特点制成太阳灶。由于光路是可逆的，将光源置于凹镜的焦点处，光线经凹镜反射后，光线平行。手电筒、汽车头灯就是根据这一原理制成的。利用凸镜对光线的发散作用，将凸镜安置在汽车上或马路拐弯处，可以增大司机的后视面。

凹面镜 见“球面镜”。

凸面镜 见“球面镜”。

球面镜的焦点 见“球面镜”。

太阳灶 把太阳能作为能源的一种装置。由于凹面镜对光线有会聚，将凹镜直对太阳光时，经反射后的光线会聚于一点这一点将产生很高的温度。采用适当的装置，就可以利用这一点的高温。小的太阳灶用于家庭生活，如烧水、做饭。一个反射面积为2m²的太阳灶，在太阳辐射较强的时候，15分钟，可使3千克左右的水（常温水）沸腾。具估算，这样的太阳灶，如每年使用200天，5年内，可省煤1500千克。

探照灯 一种用于远距离照明用的装置。如图，它是由抛物面反射镜（面镜的一种）、放在它焦点处的强光源、壳体、转动机构和底座组成。从光源发出的光线，经抛物面反射后成为平行光线射向空中，其照明距离可达万米以上。探照灯主要用于航空、航海、军事中，小型探照灯在工矿、建筑等行业中也经常使用。

小孔成像 光源（物体）通过小孔所成的像。公元前 300 多年，我国《墨经》中就已经对这种现象作过描述。它是光沿直线传播的最好证明。小孔成像的原理如图所示。在光源（图中的蜡烛火焰）A 和屏幕 C 之间放置一挡板 B，B 上有一小孔。在光源 A 上，a、b、c 三点发出的光线经小孔后，射到屏幕上的 a、b、c 三点，得到与光源同样的像。从屏幕上可知，这个像是倒立的实像。

光源通过小孔能否到清晰的倒立实像，取决于孔的大小。孔太大只能到一个光斑，孔太小得到的不是像，而是其它图样。太阳光照射树木，有可在树下看见许多圆形亮斑，这是太阳通过树叶之间的小孔在地面上所成像。

墨翟 又称墨子，约公元前 468 年～前 367 年，春秋战国时期的思想家、治家，墨家学派的主要创始人。他及其弟子的代表著作甚多，在其重要著《墨经》中，阐述了若干极其重要的自然科学成果。如在物理学方面，他初步阐明了运动的相对性，力和运动变化的关系，杠杆原理等。墨翟对光学的主要贡献是光的直线传播、光与影的关系，小孔成像、平面镜成像规律，凹面镜成像现象、凸透镜成像规律等。墨翟在光学上的贡献是世界上最早对几何光学的系统论述，比欧洲人早数百年。

针孔照相机 利用小孔成像原理制成的简易相机。一般认为是照相术的先驱。其结构和原理如下图所示。直径相当的圆筒 a、b，使 a 能吻合地插入 b 中。a 的一端用黑色纸板（或塑料板）封闭，在其上打一个 1~3 毫米的小孔，另一端开口。b 的一端开口，另一端粘接一个能插进胶片的狭缝。

将 a 的开口端插进 b 的开口端，人眼通过 b 端的透明胶片观看景物通过 a 端小孔在胶片上所成的像。只要调节 a、b 的长度，可从 b 端胶片上观察到前方物体在胶片上所成的清晰的倒立实像。如果把透明胶片换成感光胶片，只要控制好曝光时间，胶片上就可留下物体的像。

针孔照相机没有实用价值，但它所体现的小孔成像的原理早在我国战国时期就被古人发现并加以说明，是我国古代对光学的一个重要贡献。

光的折射现象 光入射到两种介质的分界面时，部分光线从第一种介质进入第二种介质，行进方向发生偏折，这种现象叫光的折射现象。如图所示，折射现象遵循如下规律：(1)折射线位于入射线和法线决定的平面内；(2)折射线与入射线分别位于法线的两侧；(3)入射角 i 的正弦值与折射角 r 的正弦值之比为一常数，即 $\sin i / \sin r = n$ 。常数 n 的大小取决于两种介质的光学性质及光的波长。

光在折射现象中，光路是可逆的。当入射光线从真空（或空气）射入任何介质时，入射角 i 总大于折射角 r ，所以折射光线总是向法线偏折。根据光路的可逆性，当光线从介质射入真空（或空气）时，入射角则小于

折射角。

光的折射现象在几何光学中占有重要地位。

棱镜 用透明材料（如玻璃、石英）制成的多面体。是重要的光学元件。棱镜按形状可分为三棱镜、直角棱镜、五棱镜等；按性质和用途可分为折射棱镜和反射棱镜。图为棱镜中最简单的三棱镜。光线入射和出射的平面叫侧面，与侧面垂直的平面叫主截面，三棱镜的主截面是三角形。两个侧面的夹角叫顶角。

如图，当光线从空气中经 M 点射入棱镜时，根据光的折射规律， $i_1 > r_2$ ，光线 MN 向棱镜的底部偏折。从 N 点进入空气时， $r_3 < i_4$ ，光线再次向棱镜底部偏折。偏折程度取决于组成棱镜的物质和入射光的波长。同一棱镜，对不同波长的光偏折程度不同。因此，白光通过三棱镜后，分解成各种色光，在屏幕上形成一条彩色光带。

透镜 两个侧面为折射面的透明体。透镜是将光线折射成像的光学元件。如图，透镜的两个侧面或是球面，或一面是平面。中央部分比边缘部分厚的叫凸透镜，因为能会聚光线，又叫会聚透镜。凸透镜按其形状分为双凸、平凸和凹凸三种，常用如图(1)中 d 的符号表示。凹透镜按其形状分为双凹，平凹和凸凹三种，常用图(2)中 d 的符号表示。透镜中，连接两个侧面曲率中心的直线叫透镜的主光轴，简称主轴（图中的 C_1C_2 ）。两个侧面与主轴交点之间的距离叫透镜的厚度。厚度与两曲率半径相比可以忽略的叫薄透镜。常用的透镜中，绝大多数为薄透镜。当光线通过薄透镜的某一点时，方向不发生改变（如图中的 MN），这一点叫薄透镜的光心（图中的 O），对双凸或双凹透镜而言，光心位于它们的中心处。通过光心的光线，可以有无数条，它们称为副光轴，简称副轴（图中的 MN）。

透镜的用途很广，大凡光学仪器中，都要使用它。

凸透镜对平行光线的会聚作用 平行光线通过凸透镜后，发生的会聚现象。如图，凸透镜是中央厚、两头薄的透明体。它可以看作是由棱镜（两头是三棱镜）和中间部分的透明柱体组成。当平行光线射向凸透镜时，相当于光线分别射向棱镜和柱体，由于棱镜对光线有偏折作用，光线都要向底部偏折，射向柱体的光线，方向不改变。这样，光线经过凸透镜偏折以后，将发生会聚。如果凸透镜上下对称，偏折以后的光线，将会聚于一点。

凹透镜对平行光线的发散作用 平行光线通过凹透镜后，发生的发散现象。如图，凹透镜是中央薄两头厚的透明体，它可以看作是两头的棱镜和中央部分的透明柱体组成。当平行光线射向凹透镜时，相当于光线分别射向棱镜和柱体，由于棱镜对光线有偏折作用，光线都要向底部偏折，射向柱体的光线，方向不发生改变。这样，光线通过凹透镜折射后，将发

散出去。如果凹透镜上下对称，发散出去的光线也是对称的，它们的反向延长线，将会聚于一点。

透镜的焦点 平行光线经透镜折射后，折射光线（或反向延长线）的交点。折射光线的交点称为实焦点，折射光线的反向延长线的交点称为虚焦点。如图，由于凸透镜使平行光线会聚，所以凸透镜有实焦点，凹透镜使平行光线发散，所以凹透镜的焦点为虚焦点。设想平行光线从透镜的另一侧（与图相反的方向）射向透镜，折射后的光线（或反向延长线）仍会相交于一点，所以透镜有两个焦点。根据光路的可逆性，当光线自凸透镜焦点发出，经凸透镜折射后，折射光线平行。同样的道理，一束将会聚于凹透镜焦点的光线，经折射后，折射光线也是平行光线（如图）。

上面所说的平行光线，是平行于主轴的光线，经折射后，折射光线（或反向延长线）的交点都在主轴上，这样的焦点称为主焦点。如果入射光线不与主轴平行，而与副轴平行，折射后的光线（或反向延长线）仍会相交于一点，这一点不在主轴上，称为透镜的副焦点。（如图）。

透镜的焦距 在薄透镜中，光心与主焦点之间的距离。通常用字母 f 表示。 f 是反映透镜性能的一个重要数据，它由组成透镜材料的性能和透镜两个曲面的半径所决定。凸透镜的焦距为正值，凹透镜的焦距为负值。

透镜成像 物体（光源）发出的光线经透镜折射后，折射光线（或反向延长线）会聚所成的与物体（光源）相似的图样。透镜成像的大小、位置，由物体（光源）与透镜的相对位置、及透镜的光学性能（ f ）所决定。透镜成像可用公式计算，也可用作图法画出像的位置和大小。如图（1），透镜的焦距为 f 。在焦点 F 的左侧有一物体 AB （ AB 垂直于主轴）。作图时，可从 B 点引出三条特殊光线：平行于主轴的光线折射后通过焦点；通过光心 O 的光线，方向不变；通过焦点的光线折射后与主轴平行。根据凸透镜对光线的会聚作用，这三条光线折射后相交于一点 B' ， B' 点就是 B 的像点。对薄透镜而言，只需从 B' 向主轴作垂线，交主轴于 A' ， $A'B'$ 就是物体 AB 的像。

运用同样的作图方法，物体（光源）发出的光线经凹透镜折射后，也可得到像 $A'B'$ 。如图(2)。

图(1)中，物体 AB 所成的像是实像。如果将物体 AB 置于凸透镜的焦点以内，成像情况就不同了，如图(3)。

作图情况表明，透镜成像中，凹透镜成虚像，凸透镜可以成实像，也可以成虚像。

实像 反射光线或折射光线会聚而成的像。物体发出的光线经光学系统（面镜、透镜、棱镜或它们的组合）反射或折射后，或会聚或发散。当光线会聚时，形成与物体相似的图景，这就是实像。幻灯机、照相机、电影放影机所成的像都是实像。实像可以使照像底片感光，也可以用眼睛直接看到。

透镜成像规律透镜成像中，物体位置与像的位置、虚实、大小之间的变化规律。我们用作图法来说明透镜的成像规律。

图(1)为凸透镜成像规律示意图，从图中可见：物体在焦点处（图中“4”），不成像；物体在焦点以内（图中“5”），成正立放大像；物体在焦点以外二倍焦距之间（图中“3”），成放大倒立实像；物体在二倍焦距处（图中“2”），成等大倒立实像；物体在二倍焦距外（图中“1”），成缩小倒立实像。可见凸透镜焦点是凸透镜成像虚实分界。

图(2)为凹透镜成像规律示意图，从图中可见：无论物体置于何处，始终成正立缩小的虚像。

从图(1)、(2)还可看出，透镜成像中，与在镜的异侧；虚像与物在镜的同侧。

照相机 用感光胶片记录物体实像光学器。主要部件有物镜、快门、暗箱和感光底片等。物镜使前方物体在感光片上成倒立实像，是照相机中最主要的部件，一般由一片或多片透镜组成，多片透镜可以减少像差，使其具有较高的分辨能力，成像质量好。物镜的焦距决定所取景物的大小，普通照相机的焦距是固定的，较好的照相机有广角镜头、长焦距镜头或变焦距镜头。照相机镜头上附有直径可变的光圈，用来控制进光量的大小，以取得需要的曝光。光圈的大小用光圈数 f 来表示，其计算方法是物镜焦距除以光瞳直径，所以光圈数越大，进光量越小。现在相机上通用的光圈数为 1, 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6.....。照相机的快门是用来控制曝光时间的，常见的由若干张金属片组成，分别标有“1”、“2”、“50”、“100”等数字，数字“1”是1秒，“2”是1/2秒，“50”是1/50秒，余类推。照相机的暗箱可以防止无关的光进入。除此而外，较好的照相机还有取景器、测距器、定时器、闪光灯等附件。照相机的用途很广，因而种类很多，其性能也越来越广泛。

幻灯机 能在屏幕上映出画片、文字或物体放大实像的装置。主要组成部分有光源、聚光器、物体（幻灯片）夹、物镜和接收屏幕组成。如图，光源 S 提供充分的照明，经凹镜 M 和透镜组 L_1 和组成的聚光器后，使光尽可能多地集聚起来对物体 P 均匀照射，物体 P 是有画面或文字的透明胶片，光线透过胶片后，投射到物镜 L_2 上，由于物体 P 处在 L_2 的焦距和二倍焦距之间，物体的像得到放大，在屏幕上呈现放大后的倒立实像。调节物体 P

或 L_2 的位置，可以得到所需的像的大小。这种使用透明胶片的幻灯机叫透射式幻灯机。如果画面或文字书写在不透明的纸上，只需附加个平面镜，就可改制成反射式幻灯机。电影放影机与幻灯机的原理相同，只需把幻灯机中的物体 P 换成以每秒 25 张胶片，在屏幕上就可以看到动的画面。当然还需加上声音系统。

投影仪 把透明胶片上的图案或文字立即投影到屏幕上的一种装置。多用于教学活动。如图，S 为光源， M_1 为凹面镜， L_1 为螺纹透镜， L_2 为物镜， M_2 为反射平面镜、P 为透明胶片，AB 为屏幕。投影仪的光学原理与幻灯机相同，它的优点是使用时，可以在胶片 P 上，直接书写。

螺纹透镜 一种表面形似螺纹的大孔径聚光透镜。在不少光学仪器中都要使用到大孔径的透镜，如图，光线从一种介质入射到透镜的界面时，发生折射，折射后的光线在透镜内是沿直线传播的（光在同一种介质中沿直线传播）。可见图中透镜内划斜线的部分对光的折射不产生任何影响。把它去掉，不会改变透镜的焦距，这样既省了材料，也减轻了重量。如果把它去掉后剩下的部分平移到一个平面上，只要保持原保留部分的焦距不变，还可以减少空间占地，使用时就又更加方便了。这就是螺纹透镜。螺纹透镜的条带宽度（图中的 ab 宽度）小于 1 毫米。如果大于 1 毫米，光学上称为菲涅尔透镜。

放大镜 辅助人的眼睛观察细小物体的透镜或透镜组。最简单的放大镜由一个凸透镜组成。如图，将物体置放在凸透镜焦距以内时，凸透镜使物体 AB 成正立放大的虚像，再通过人眼在视网膜上成为实像，这时人眼见到的不再是细小物 AB，而是放大的 $A'B'$ 了。这就是放大镜的工作原理。最简单的放大镜在日常生活中经常用到，如修表工人用的目镜，集邮爱好者以及老年人用于阅读细小文字的放大镜等。放大镜的焦距一般小于 10 厘米，如果人眼的明视距离为 25 厘米，那么这类放大镜的放大倍数约为： $25/f$ 。f 为放大镜的焦距。如一个放大镜的焦距为 10 厘米。则它的放大倍数约为 $25/10 = 2.5$ 倍。这个放大倍数只是一个近似数。因为放大倍数还跟人眼睛到镜的距离有关。

显微镜 用来观察细微物体或物体的精细结构（如细菌、动植物组织、物体内部结构甚至原子、晶体结构等）的光学仪器。它主要由两组透镜组成，每组透镜都与一个凸透镜相当。如图，靠近物体的叫物镜，接近观察者眼睛的叫目镜。它的工作原理是：微小物体 AB 置于物镜 L_1 的焦点之外， L_1 是一个短焦距透镜，通过 L_1 得到放大的实像 A_1B_1 。 L_2 是一个长焦距透镜，它与 L_1 通过镜体组装在一起，使 L_1 所成的实像 A_1B_1 正好落在 L_2 的焦点以内，通过 L_2 成为放大的虚像 $A'B'$ ， $A'B'$ 距目镜的距离大约等于明视距离。利用显微镜可以得到很好的观察效果，现在一般的显

显微镜，其放大倍数可达数千倍。电子显微镜的放大倍数可达数百万倍。随着科技的发展，显微镜的种类越来越多，被广泛应用于生物学、医学、农业、地质及科学研究的各个领域。

门镜 安装在房门上用来供室内人观察来访者的一种家用光学仪器。它由一组透镜组装在一个长约 5 厘米左右的金属管或塑料管内。管中的透镜一般是三个。如图，物镜是由两个相同的平凹透镜贴合而成，它相当于一个凹透镜，安装时，对着门的外侧。目镜是一个平凸透镜，在门的里侧。安装门镜的目的是使室内人能在室内看清来访者，而来访者看不见室内的情况。当来访者站在门外时，通过物镜在远处成一虚像，使室内人通过门镜能看清来者的面貌。而室内人在贴近门镜时，只能通过目镜成一个缩得很小的虚像，且落在两镜之间，由于室外人眼离门镜太近，他无论如何也看不清这个虚像。因而起到单向观察的作用。门镜的视角一般设计较大，因此，不论来访者高矮，在室内都能看清来访者的像。门镜对制作材料的要求不高，用一般玻璃或透明塑料即可。

白光的色散 白光分解为单色光的现象。白光就是普通光源发出的光，它实际上是多种颜色的光复合而成，所以又称复色光。白光的色散现象最早是牛顿于 1672 年用三棱镜发现的。由于白光由多种颜色的光组成，各种颜色有各自不同的频率。当白光通过棱镜时，棱镜对不同频率的光的偏折程度（折射角）不一样，通过棱镜后，在白色屏幕上形成一条彩色光带（光谱）。白光的色散证明了白光是由色光组成的，同时说明光在介质中的速度随光的频率不同而不同。

白光的色散可以用三棱镜，也可用其它光学器件来实现。

透明物体的颜色 用光照射透明物体时，透明物体呈现的颜色。物体的颜色决定于照射它的光和对光的反射、吸收和透射情况。透明物体的颜色由照射光和它能吸收和透射的光决定的。当用白光照射时，如果它能透过所有频率的光，则它是无色的；如果它只能透射红光，它则是红色的……。

不透明物体的颜色由照射光和它反射和吸收的光决定。当白光照射时，物体若能反射所有频率的光，则物体呈白色；若只能反射红光，则呈红色。

一些物体呈黑色有多种可能，当照射光照射透明物体时，如果照射光是它所不能透射的色光，则它呈黑色；当照射光中各种频率的光都被物体吸收时，物体也呈黑色；或当照射光为物体所不能反射的色光时，物体也呈黑色。

物体的颜色还与照射光的成分有关。在不同光下观看同一物体，有时颜色往往不同。

不透明物体的颜色 见“透明物体的颜色”。

三原色 能混合成各种色光的三种基本颜色。又称三基色。这三种基

本颜色分别为红色、绿色和蓝色。实验表明，用这三种基本颜色，按不同的亮度比例相加混合后，可以得到任何一种颜色。彩色摄影和彩色电视中所呈现的各种颜色是三原色的叠加。

画家在给绘画着色时，把品红、黄色、青色作为三原色。通过调制，调出各种颜色。这种调配多凭经验，难免有不当之处。现在市售的各种绘画颜料，已事先由工厂按一定比例调制成成品了。

海市蜃楼 光线经过不同密度的空气层，发生折射（有时是全反射）时，把远处景物显现在空中或地面上的虚幻景象。又称蜃景。我国宋代科学家沈括在他的名著《梦溪笔谈》中，对这种自然现象就有所记载。蜃景分为上现蜃景、下现蜃景和侧现蜃景三种。

在夏季，气温较高，一般情况下是下层空气密度大，上层空气密度小。可是当海面温度降低（如冷水流的突然到来）时，本来密度就大的下层空气因受较低温度的影响，密度变得更大，使上下层空气密度的差异变得特别明显。这时，如果远方的海面上有一艘船或一小岛，本来不在人的视线范围，平时是看不见的。由于这时空气下密上稀的差异特别大，来自船上或岛上的光线先由密层空气逐渐折射入稀层空气，并在上层发生全反射，又折回下层密的气层中来，经过这样弯曲的光路，最后投入我们的眼中。由于人的视觉总是感到物像来自直线方向，所看到的景物（像）比实物高出很多，这种蜃景叫上蜃景。1988年6月17日在山东蓬莱海面上出现的蜃景就是上蜃景。

夏日灼热的柏油路面和沙漠上空，空气温度随着高度升高而降低，使空气的密度由下而上不断增加，即上层密度大，下层密度小。这时高处物体（如高大的树木，建筑物）发出的光线经气层折射和全反射进入人的视线范围。在低处的路面或沙漠上出现高处物体的像，这种现象叫下蜃景。

被太阳光灼热的墙壁也可出现蜃景叫侧蜃景。

蜃景的出现，只能是无风或微风的情况下，当风力大时，上下层空气密度差异不大，空气中折射和全反射的现象不明显，景象一般不可能发生。

十一、能源的利用和开发

原子 组成元素的最小微粒。它能单独存在，也能和相同的原子结合成单质，如氧气。同不同的原子结合成化合物分子而存在，如水。在化学反应中，原子的种类和数目不发生变化。原子能够被击穿，说明原子有复杂的内部结构和不断地运动。各种元素的原子具有不同的平均质量和原子结构。所有原子都由带正电的原子核和绕核旋转的、数目与核电荷相等的电子组成。原子的质量几乎全集中在原子核上。在一般的化学反应中，原子核不发生变化。

各种元素的原子都有一定的大小，可以用不同的方法求得，根据计算，原子的半径不完全相同，但数量级都是 10^{-10} 米。

原子的核外电子分布是有一定规律的，稳定时，处在一定的状态能级上。

原子核的组成 原子核的构成成分。目前一般认为原子核由质子和中子组成，质子和中子统称为核子。原子核的核子数用 A 表示，质子数用 Z 表示，中子数用 N 表示，所以有 $A = Z + N$ 。在物理学中，原子核用符号 ${}^A_Z X_N$ 表示， X 表示元素的名称。如 ${}^4_2\text{He}$ 表示氦核，表明氦核有两个中子，两个质子。

原子的质量几乎集中在原子核上。原子核的质量为原子质量减去全部电子的质量和电子的结合能。由于电子的质量和结合能很小，所以原子核质量可以用原子质量代替。

原子有大小，所以原子核也有大小。通过计算，原子核的半径的数量级大约是 $10^{-15} \sim 10^{-14}$ 米，可见比原子（半径为 10^{-10} 米）小得多，其体积大约是原子体积万亿分之一。

放射性 现象原子核自发地放射出各种射线的现象。原子核发射的射线主要有 α 射线、 β 射线、 γ 射线。放射现象是 1896 年法国科学家贝可勒尔发现的，此后一直成为物理学家研究的重要领域。大量的研究事实表明， α 射线是一种高速运动的氦核的粒子束，它的电离作用大，穿透本领小； β 射线是一种高速运动的电子束，电离作用较小，穿透本领比 α 射线大； γ 射线是波长很短的电磁波，它的电离作用最小，穿透本领最大。

放射性有天然放射性和人工放射性两种，一些元素的原子核，如铀、钍、镭等能自发地放射射线，这叫天然放射性。另一类通过人工方法使其发生核反应放出射线，叫人工放射性。

放射性现象放射的射线有许多共同的特性：它们能使照相底片感光，能使周围空气电离产生电荷，能使某些化合物产生荧光，具有特殊的生理性等。放射性射线的这些特点，使其在科学技术、工农业生产、医疗等方面得到广泛应用。

射线的应用 把放射性元素产生的射线用于工业、农业、医疗等方

面。

在工业中，利用 X 射线和 γ 射线的穿透性能，可以测量材料的厚度和探测材料内部有无裂痕等伤迹。

在农业上，利用射线能引起植物遗传结构的变异这一特点，培养出新的品种。利用射线对生物有致死效应的特点，使鱼类、谷物、蔬菜在较长时间内保鲜。射线还可以导致昆虫不育，恰当的使用可以消灭害虫。

在医疗方面，放射性诊断已在医疗上广泛应用。例如利用射线的性能，通过一定的仪器，可以使人体的脏器在胶片上显像。医生根据照片进行分析，以诊断人体器官是否患病。利用射线的杀灭功能，可以直接杀死人体内的病变组织和细菌。目前广泛使用的放射性治疗，多用钴 60 以杀死人体上的癌细胞。另外，射线还被广泛用于药物消毒、分析和活性上。

射线在军事、核技术以及在其它科技领域也有广泛的应用。

原子弹 利用快速的、不可控制的链式反应制成的杀伤力很强的核武器。原子弹的装置如图所示。a、b 为间隔封闭在弹壳内的两块裂变物质。一般是铀 235 或钚 239。其中 a 块固定。c 是普通炸药 TNT，d 为引爆装置。当引爆装置引起普通炸药爆炸时，产生的高温高压气体便把两块裂变物质迅速压在一起，使其成为一块，立即产生链式反应形成猛烈的爆炸。

原子弹是一种威力很大的杀伤武器，它的杀伤力表现在四个方面：
光辐射。原子弹爆炸时产生数百万度高温的光辐射，这种辐射以光速传播，足以使在爆炸点周围相当长远的范围内的人员灼伤死亡和引起可燃物形成大火。
冲击波。爆炸产生数百万个大气压力，形成强大的冲击波，足以摧毁地面上的建筑物和一切设施，造成间接杀伤。
放射辐射。爆炸时产生大量的 X 射线，直接造成人身伤害。
放射性污染。原子弹爆炸时，本身的碎片带有大量的放射性同位素，同时释放的中子与周围原子核发生核反应也会产生更多的放射性同位素。这些放射性同位素随同尘埃、空气漂流，落到地面形成放射性沾染。通过接触、呼吸、食物潜入人体，使人身丧失各种能力直到慢慢死亡。

世界上第一颗原子弹是 1945 年 7 月美国人制造的。我国于 1964 年 10 月 16 日爆炸了第一颗原子弹。

氢弹 利用在极高温下轻核聚变释放出大量能量制成的杀伤力极大的核武器。氢弹的构造示意图如下。在一个封闭的弹壳中，有两个主要部分：一个是聚变物质，一般主要用固态的氘化锂和氚化锂的混合物。它是氢弹的燃料，氢弹的巨大能量由这里释放出去；另一部分是引爆装置，它的作用是产生高温高压使聚变物质发生聚变，氢弹的引爆装置是一颗特制的原子弹，它所用的材料和原理与原子弹相同。原子弹引爆后产生高温高压使轻核聚变释放出更大的能量引起更为巨大的爆炸。所以，氢弹的爆炸力比原子弹大得多。

氢弹的杀伤机理与原子弹相同。

世界上第一颗氢弹爆炸是 1954 年实现的，时隔 13 年，我国于 1967 年成功地爆炸了第一颗氢弹。从而打破了超级大国对核武器的垄断和控制。

核能发电站 完成核能发电的全套装置。简称核电站。核电站和原子弹都是利用重核聚变时，释放出的巨大能量，原子弹的链式反应是不受控制，使其产生巨大的爆炸力。核电站则要控制链式反应产生的能量，使其带动发电机发电。所以核电站的关键设备是核反应堆，使受控的链式反应在这里进行。核能发电的示意如下图。全套装置可以分为三部分：第一部分是原子反应堆，其中实现可控制的链式反应，产生大量的能量；第二部分是热交换系统，它通过水泵向反应堆注入二三百个大气压的普通水，使其高速的从反应堆中通过，带走裂变时释放的热能；第三部分是发电系统，这一系统中的冷水从热交换系统中获取热量，变成高温高压蒸气，驱动蒸汽轮机、带动发电机发电。

核能发电跟火力发电相比具有很多优点： 燃料用料少，免去了繁重的运输任务和庞大的附属设备。一千克铀 235 完全裂变后产生的能量与 2500 吨煤相当，可见减轻多大的运输任务和附属设施。因此，核电站可以建在煤和石油等资源匮乏的山区和交通不便的地方； 成本低。核电站只需要充足的水源。高原地区也可以建立，这就大大降低了成本； 污染少。核电站没有滚滚的浓烟，因而可以建立在风光秀丽的河边和海滨； 核电站的废料中可以提取若干有用物质，如从废料中提取的钚 239，可用来制造原子弹和核电池。

核能发电的上述优点，使其在世界各国得到广泛的重视和利用。世界上第一座核电站于 1954 年建成。到目前为止，全世界有数十个国家和地区已建成核电站。我国自行设计制造的第一座核电站，已在浙江秦山并网发电。不久还将在广东、江苏、辽宁等地建成一批核电站。到本世纪末，核能发电将在人类能源中占据举足轻重的地位。

轻核聚变时，释放出的巨大能量，从理论上讲，也是可以控制的，但目前还有许多问题不能解决，相信在不久的将来，人类将会攻破这一难关，为能源的开发和利用创建更加美好的未来。

能源的开发和利用 拥有某种形式能量的物质叫能源。能源是人类赖以生存和发展的重要物质基础，进行能源研究，开发和利用好能源，使其更好地为人类造福。我们通常所说的能源是指人从自身和食物以外所获取的拥有能量的物质。

能源的种类很多，从不同角度，可以分成不同的类别。一次能源指自

自然界中以天然形式存在的能量资源。其中来自地球以外的能量如太阳能以及归根结底源于太阳能的化石燃料（煤、石油、天然气）、水能、风能、波浪能、海流能、海洋热能和生物质能；来自地球本身的能量如地热能、核燃料；来自天体相互作用的能量如潮汐能。二次能源由一次能源直接或间接转化而来的能源，如电能、氢能、汽油、酒精、火药等。

从历史上看，人类对能源的利用技术取得了四次重大的突破。即发现了火、发明蒸汽机、应用电能和开发原子核能。相应地，能源结构的变革也经历了柴草时期、煤炭时期和石油时期，现在正向以核能和太阳能为主体的综合能源体系的新过渡时期。以往几次过渡不是原有能源的枯竭，而是以完善的新技术作为前提的自然更替。目前经历的更替是人类面临能源短缺的危机。就世界范围来说，煤的储量较多，可供开采二三百年来，其余如石油、天然气、铀的储量最多使用到 2060 年，我国人口众多，平均资源更为短缺。因此，新能源的开发更加迫在眉睫。

尽管能源短缺已是现实，但也不至于出现能源枯竭，造成不可克服的危机。这一方面是自然界蕴藏着各种数量极为丰富的能源资源，另一方面，随着科学技术的发展，人类还将陆续开发更多的新能源，人类利用能源的前景始终是无限美好的。

