

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

初中生实用辞典物理



## 前 言

《初中生实用辞典·物理》是一部汇集整个初中阶段物理概念、定理、定律、实验以及教材中所涉及的科学家生平、现代物理研究成果的教学工具书。

本书在内容编写上，以《九年义务教育全日制初级中学物理教学大纲》要求为宗旨，以初中物理教材为依据，吸收了各类初中物理资料的精华以及多年初中物理教学研究的成果编写而成。编写者都是具有多年初中物理教学经验的高级及特级教师。全书分六章，共收入辞条 153 条，在辞条中又特别注重基本概念、基本定理、定律的撰写，每个辞条都是个专题性研究。书中不仅对每个知识点给出了明确的定义，而且就其理解及准确把握的各个方面作了全面的阐述，提出了注意事项，并通过大量用例剖析，展示了各知识点在整个初中阶段的运用，以达到知识与能力的和谐统一。为拓宽学生的视野，本书还增加了一些大纲中规定为选修的内容及部分较难的例题，并在这些辞条或例题前面打上“\*”号。

本书具有与一般的教学参考资料不同的特点。首先，在编排上，全书以辞条的形式出现，更便于读者查阅；其次，在内容撰写上，既注重素质教育的需要，又注重继续学习的需要；既注重同步教学的需要，又注重课外拓展视野的需要；既注重初中学生学习的需要，又注重初中物理教师、教学研究人员、初中生家长的需要。因此，《初中生实用辞典·物理》是一部集知识性、史料性、实用性于一体的最新初中物理读物。

由于编写时间仓促，书中疏漏之处难免，敬请广大读者指正。

编者

一九九七年三月

## 力学

**【长度的测量】**用一定的工具度量或测算各种物理量(如长度、时间、温度、速度等)叫测量。检查身体要量身高、称体重,赛跑、竞走要测时间,……我们在日常生活中经常要进行各种测量。工农业生产和科学研究更离不开精确的测量。

物理学是一门以实验为基础的科学,测量又是实验的基础,所以,我们学习物理是从学习测量开始的。初中物理首先要学习长度、质量、时间等基本物理量的测量。

测量一个物理量,就意味着要把它与另一个作为比较标准的同类量进行比较,一个公认的标准量就叫做测量单位。所以,要进行测量,就要先确定测量的单位。国际上规定了一套统一的单位,叫做国际单位制,简称SI制。

**长度的单位** 国际单位制中的长度单位是米。常用的倍数单位和分数单位还有千米、分米、厘米、毫米、微米等,它们的换算关系如下:

$$1 \text{ 千米} = 1000 \text{ 米},$$

$$1 \text{ 分米} = 0.1 \text{ 米},$$

$$1 \text{ 厘米} = 0.01 \text{ 米},$$

$$1 \text{ 毫米} = 0.001 \text{ 米},$$

$$1 \text{ 微米} = 0.001 \text{ 毫米} = 0.000001 \text{ 米}.$$

测量长度的基本工具是刻度尺,正确使用刻度尺进行测量的步骤是:

1.使刻度尺的零刻度线对准被测物体的一端,如果刻度尺的零刻度线位于尺端,已因磨损而不清晰,或者为了测量的方便,也可以用刻度尺中间的某一刻度作为起点;

2.使刻度尺的刻度线尽可能贴近被测物体;

3.读数时,视线要正对刻度线(即视线与刻度尺垂直),不可斜视;

4.记录数据时,应该先读出“准确值”(即读到最小刻度位的数值),再估计出“估计值”(比最小刻度低一位的值),最后别忘了写上正确的单位。

要注意,所谓“最小刻度”不是指刻度尺最左端的“0”刻度,而是刻度尺上相邻两条刻度线之间的距离。如图1-1所示的刻度尺的最小刻度就是1毫米。测量所能达到的准确程度是由刻度尺的最小刻度所决定的。

**用例一** 正确使用刻度尺,测量物体的长度。

**题1** 测量如图1-1所示的小木块的长度。

采用上述测量方法,测得的结果是4.05厘米(或40.5毫米)。由于每人的估计值是会有差异的,所以测量结果记为4.04厘米或4.06厘米,也是对的。

**题2** 甲、乙两同学用最小刻度为毫米的刻度尺,测量同一本教科书的长度。甲同学的记录是25.8厘米,乙同学的记录是25.80厘米。哪一位同学的测量记录是对的?

正确的测量记录应该是读到最小刻度位(为准确值),再多估一位(为估计值)。这两位同学使用的都是毫米刻度尺,把测量结果读到毫米,是258毫米,即25.8厘米,这是测量所得的准确值,乙同学按照正确的测量方法,又估计出0.1毫米那一位的值是0,所以乙同学的测量记录是对的。

而甲同学的测量结果缺少一位估计值，与物理实验所要求的记录格式不符合，是错误的。

**用例二** 根据正确的测量结果，判断测量时所使用的测量工具的准确程度。

正确记录的测量数据的最低位是估计值，它的前一位反映了测量工具的最小刻度，所以由此可推知测量时所选用的测量工具的准确程度。

**题 3** 甲、乙两同学，测量同一张桌子的长度，测量方法正确，测得的结果分别是 1.270 米和 1.2700 米。他们的测量有什么不同？

甲同学测量的结果只准确到厘米，测量时读出的准确值是 127 厘米（即 1.27 米），毫米位的“0”是估计出来的，所以他所用的是厘米刻度尺；同样，我们可以推得，乙同学所用的是毫米刻度尺。所以，乙同学比甲同学采用了更精密的测量工具，得出了准确程度较高的测量结果。

**用例三** 根据测量要求，选用合适的测量工具。

俗话说：“鞋不差分，衣不差寸。”意思是做鞋或买鞋的时候，测量的要求比较高，相比之下，对于衣服测量的要求就可以低一些。测量的要求是根据实际情况而定的，测量的要求明确了，才能选择合适的测量工具。中学物理实验室中常见的刻度尺，有厘米刻度尺和毫米刻度尺两种。为了达到准确程度更高的测量结果，还有更精密的测量工具，如游标卡尺测量的准确程度可以达到 0.1 毫米、0.05 毫米或 0.02 毫米，螺旋测微计测量的准确程度可以达到 0.01 毫米。工厂里常常使用这两种测量工具。

**题 4** 为了给窗子配玻璃，需要采用怎样的刻度尺来测量所需要的长度和宽度。为了计算教室的面积，又需要用怎样的刻度尺来测量教室的长和宽。

在测量的时候，要先根据实际情况确定测量所需要的准确程度，然后再根据要求选用适当的测量工具。为窗子配玻璃，要求测量结果能准确到毫米，所以必须选用毫米刻度尺；而测量教室的长和宽，能准确到厘米就够了，可以选用厘米刻度尺，为了测量的方便，还可以使用最小刻度为厘米的皮卷尺。

**用例四** 根据单位的换算率，用正确的方法，进行长度单位的换算。

学习物理要学会严密的思维，要学会讲道理。即使是单位换算这样简单的事情，也要步步搞懂原理。

**题 5** 75 厘米 = \_\_\_\_ 米。

$$\begin{aligned} 75 \text{ 厘米} & (= 75 \times 1 \text{ 厘米}) \\ & = 75 \times 0.01 \text{ 米} \\ & = 0.75 \text{ 米} \end{aligned}$$

以上计算过程的第一步，说明 75 厘米是 1 厘米的 75 倍，第二步是根据长度单位的换算率（换算率在国际上是由科学家会议作出决定，在国内是由国务院颁布命令执行），把 1 厘米换算为 0.01 米，第三步是计算的结果。通常第一步是省略不写的，所以这里加上了括号。把每一步的道理真正搞懂了，今后不管遇到什么单位换算题，解题格式就不会弄错了。

**【测量误差】** 测量值与真实值之间的差异，叫做测量误差。

两个同学都用正确的测量方法，认真、仔细地测量同一支铅笔的长度，其结果也可能不完全相同。但是，一个物体的真实长度总是一定的，我们把物体的真实长度叫做真实值，测量所得的值是物体长度的近似值，叫做

测量值，测量值与真实值的差就是测量误差。一般情况下，我们不能知道真实值到底是多少，所以也无法说出测量误差到底是多少，只能说出测量误差的范围。当刻度尺的长度大于被测物体的长度时，测量可以一次完成，如用厘米刻度尺一次测量一个小桌子的长，则测量误差的范围不会大于 $\pm 0.5$ 厘米；用毫米刻度尺一次测量一支铅笔的长，则测量误差的范围为 $\pm 0.5$ 毫米。当刻度尺的长度小于物体的长度时，需要不断移动刻度尺才能完成测量，则测量误差也将增大。

**测量误差的产生** 测量误差的产生有两个方面的原因：

1. 跟测量工具有关系。例如刻度尺的刻度不够准确，钢尺会热胀冷缩，木尺会潮湿，直尺会弯曲，塑料卷尺会收缩，经常使用又会拉长，这些因素都会使测量产生误差。测量工具越精密，测量误差就越小。

2. 跟测量的人有关系。用刻度尺测长度的时候，如果用的是毫米刻度尺，毫米的下一位数字就是估计出来的。既然是估计，有人的估计值偏大些，有人的估计值偏小些，这就产生了与人有关的测量误差。

**测量误差与测量错误** 测量误差是测量方法正确、操作态度认真时，所不可避免的测量值与真实值的差异，所得的测量结果是可被使用的。测量错误是由于测量方法不正确，操作不认真而得到了错误的测量结果，其测量值是不能被使用的，测量错误是应该而且可以避免的。

选用更精密的测量工具，改进测量的方法，认真细心地进行测量，采用多次测量求平均值的方法等，都可以减小测量误差。

**用例一** 了解测量误差的概念，能区别误差与错误。

**题 1** 关于误差的各种说法中正确的是： ( )

- A. 误差就是测量中产生的错误
- B. 多次测量求平均值可以避免误差
- C. 采用精密仪器，认真测量就可以避免误差
- D. 测量中的误差是无法避免的，但可以尽量减少

测量中产生的错误是测量错误，其测量值是无意义的，是没有使用价值的，而测量误差是不可避免的，所以选项 A 错误；选项 B 和 C 所说的只能是减少误差的办法，并不能避免误差，因而只有 D 是正确的。

**用例二** 正确使用多次测量求平均值的方法，减少测量误差。

求平均值，不应该有什么困难。但是同学们初次接触它，也会产生一些理解上的错误。如认为可以“少数服从多数”，把出现次数多的测量值作为平均值；还有遇到求平均值时除不尽，就增加测量值的数位，随意改变了测量的准确程度。这些错误都是应该避免的。

**题 2** 一个实验小组的几位同学测量同一支铅笔的长，记录的数据是：12.63 厘米、12.65 厘米、12.63 厘米、12.64 厘米。那么，这支铅笔的长度的真实值最接近 ( )

- A . 12.63 厘米
- B . 12.64 厘米
- C . 12.6375 厘米
- D . 12.638 厘米

选项 A 在四个测量值中出现过两次，但不是平均值。选项 C 和 D 虽然都是四个测量值求得的平均值，C 是一直除到余数为零的，D 是把小数点后的第四位做了四舍五入，但它们的数位都超过了原始数据，是不正确的。原始数据记到哪一位，平均值就只能算到那一位，求出下一位四舍五入后的近似值，所以选项 B 是正确的。

**【用毫米刻度尺测长度】** 实验目的测量作业本和物理课本的长和宽，间接测量物理课本中纸张的厚度，练习使用刻度尺。

**实验器材** 毫米刻度尺、练习本、物理课本。

**实验步骤** 1. 同一实验组的同学，依次用同一把刻度尺测同一本作业本上同一部位（如作业本的左侧）的长度，记下测量结果。测量结束以后，相互核对一下，结果是否一致，如果不一致，分析一下是什么原因。

作业本的长度\_\_\_\_\_。

2. 测出自己的物理课本的长和宽，测三次，算出平均值。

测量次数	1	2	3	平均值
课本长				
课本宽				

3. 测量物理课本中正文部分一张纸的平均厚度。

把物理课本的正文部分压紧，用刻度尺测量它的厚度，再根据正文部分的页数，算出纸张的张数，最后用厚度除以纸张的张数，算出一张纸的平均厚度。

**用例一** 通过测量，熟悉一些常见物体的长度。

物理试题中有一类题目是已知测量结果的数值部分，要求应试者答出相关的单位。如已知某同学的身高的数值部分是 1.60，所能填上的合适的单位只可能是“米”，设想一下，如果后面加上“千米”、“分米”、“厘米”、“毫米”这样的单位，将是怎样的情形。平地上耸立起一座 1.60 千米的高山是个什么样子，它将会是华东地区数一数二的高山；而 1.60 分米差不多只是一支铅笔的长度；1.60 厘米大约是手指某个部位的宽度；1.60 毫米就是一粒芝麻的长度了。一个人的身高，是不可能这么大的范围内大起大落的。也可以说，一个确定物体的长度是几米、几分米、几厘米、还是几毫米，属于哪个“数量级”，是不大可能混淆的。学习物理的时候，不仅对于长度，对于其他的物理量的大小，也应该通过观察和实验，确立正确的认识，做到心中有“数”。

**题 1** 人民币 1 分金属硬币的厚度接近于 ( )

- A. 1 微米
- B. 1 毫米
- C. 1 厘米
- D. 1 分米

1 微米是 1 毫米的一千分之一，教科书中一页纸的厚度大约是六七十微米，选项 A 显然不对。拿出你铅笔盒中的刻度尺，看一看 1 毫米、1 厘米、1 分米各是多长，不难找到正确答案是 B。

**题 2**  $3.2 \times 10^3$  毫米可能是 ( )

- A. 教室的高度
- B. 铅笔的长度
- C. 窗玻璃的厚度
- D. 自行车轮的直径

先进行单位换算： $3.2 \times 10^3$  毫米 = 3.2 米，它是一个普通教室的高，本题应选 A。

**用例二** 长度测量中的一些特殊方法。

测量物理课本正文中一张纸的厚度，就是一种积多求少的间接测量方法。长度测量中的特殊方法是很多的，可以根据不同的具体情况，自己进行设计。下面再举一些实例。

题3 用刻度尺和三角板测量乒乓球的直径。

按照图1-2所示的方法，利用三角板和刻度尺的配合，可以测量乒乓球的直径。实质是把隐藏在球中心部位的直径，平移到了乒乓球的外部，是一种化隐为显的方法。

题4 如何测量曲线（比如某张江苏省地图上沪宁铁路）的长度？

常用的方法有两种：（1）化曲为直法。用一条不易伸长的柔软细线，把它放在曲线上，并与曲线重合，在线上标出曲线的起点和终点，然后把线放直，量出线上两点的距离，就得到了曲线的长度。（2）滚圆法。在一枚硬币上先用铅笔做一个记号，表示滚动的起点，把这枚硬币沿曲线从一端滚到另一端，记下滚动的圈数，对于不满一圈的部分，要做一个终点记号。再把这枚硬币放在刻度尺上滚动，测出硬币的周长和不满一圈的那部分的长度，就可以算出曲线的总长度了。当然，测出了地图上表示铁路的曲线长度，再根据地图的比例尺，还可以计算出真实铁路的近似长度。

【力】 力是物体对物体的作用。在日常生活中，人们对物体的推、拉、提、压等作用都是力的作用。正是这些感觉经验，使人们形成了最初的力的概念。当人们把人与物体间的相互作用的概念，推广到物体与物体之间，就形成了物理学中的力的概念。

物体间力的作用是相互的，力不能离开物体而独立存在。我们把发生力的作用的一个物体中的一个叫施力物体，另一个就叫受力物体，一般以研究对象为受力物体。如某人踢一个静止的足球，足球飞出去了，我们研究足球的运动状态的变化时，以足球为研究对象，踢足球的脚是施力物体，足球是受力物体。足球受到脚施与的力，便改变了运动状态，由静止变为运动了。如果此人不小心的时候，使劲踢了一块大石头，把脚踢痛了，要问脚为什么会痛，必然以脚为研究对象。因为物体间力的作用是相互的，当他踢石头的时候，石头也撞了他的脚，对于研究对象——脚，石头就是施力物体，脚是受力物体，它受到石头的撞击，受了伤，痛起来了。

发生力的作用的一个物体可以是接触的，也可以并不直接接触，如人手推（或拉、或提、或压）一个物体，是直接接触的，而磁铁吸引铁钉，隔开一段距离也能发生作用，地球吸引它周围的物体，也不一定要直接接触，站在地面上的人被吸引，被楼板架空的人照样被吸引。

力的作用效果是使物体发生形变，或使物体的运动状态发生改变（详见“运动和力”辞条）。

用例 运用力的作用是相互的知识，分析生活中的一些实例。

题1 为什么用桨划船船能前进？为什么爆竹能升天？

我们知道，物体间力的作用是相互的。就是说，甲物体对乙物体施力时，甲物体同时也受到乙物体对它的力的作用，反之，甲物体受到乙物体对它的力的作用时，同时它也对乙物体施加力的作用。根据力的作用是相互的原理，人坐在船上划船时，用桨推水向后，同时水就推桨向前，由于桨、人、船是连在一起的，船就被推向前进了。同样道理，放爆竹时，爆竹内的火药燃烧以后，产生了大量高温高压的气体，被爆竹的四壁挤压得只能从它下部的小孔中喷出去，爆竹推气体向下，同时气体就推爆竹向上，爆竹就上升了。火箭也是根据同样的原理制成的。

【力的图示】 力的作用效果不仅限力的大小有关，还跟力的方向和

作用点有关。物理学中把力的大小、方向和作用点叫做力的三要素。物理学中，力常用一根带箭头的线段（简称有向线段）来表示。线段的起点表示力的作用点，线段的长度表示力的大小，箭头的指向表示力的方向。这种用一根有向线段把力的三要素都表示出来的方法，叫做力的图示法。我们在分析物体受力时，有时只要表明物体受力的大致情况，可沿物体受力方向画一根带箭头的线段，来表示物体受到的一个力，而对线段的起点和长度不作精确的表示，这样画出的简图叫做力的示意图。如图 1-3，用力的图示表示一盏电灯受到的重力，大小是 15 牛，方向竖直向下，作用点是电灯的重心；图 1-4 则是这盏电灯所受重力的示意图。

画力的图示，要注意：

1. 先要画出我们研究的受力物体——研究对象。一般物体可以用长方形表示，球形物体可以用圆表示。

2. 确定比例线段。根据题目的要求，要用力的图示画出一个物体所受的若干个力时，必须兼顾各个力的大小，找出一个合适的比例线段，作为画这若干个力的统一标准。如果题目只要求画出物体所受到的某一个力时，切忌把所要画的力的大小就作为比例线段，例如要用力的图示画出一个物体受到 29.4 牛顿的重力，就以 1 厘米长的线段表示 29.4 牛顿，以此作为比例线段是不妥当的。

3. 如果物体不转动，可以把物体受到的各个力的作用点都画在物体的重心（长方形对角线的交点或圆心）上；如果物体有转动，力的作用点应画在实际位置上，如滑轮受到绳的拉力而转动，绳的拉力的作用点就应标在绳与滑轮相切的那一点上。

4. 画力的大小时，表示力的有向线段的长度应从作用点量起，量到箭头的尖端为止，并将力的数值标在此有向线段附近。

用例一 画力的图示。

题 1 用力的图示法，在图 1-5 上表示出拉小车的力，这个拉力大小为 500 牛，方向为斜向右上方，与水平方向夹角为  $30^\circ$ ，这个力作用在小车的右上角（这里可以让我们看到，一个力的三要素，即大小、方向、作用点，要用语言叙述是多么麻烦）。

用例二 画力的示意图。

题 2 一个物体放在斜面上。画两个力的示意图：（1）画出物体对斜面的压力；（2）画出斜面给物体的支持力。

图 1-6 中的这两个图画出了物体与斜面的相互作用。第一个图画的是物体压斜面，斜面是受力物体，表示这个压力的有向线段的起点应画在斜面上；第二个图画的是斜面托物体，物体受力，力的作用点是物体上与斜面接触的那个部分，一般就把表示力的有向线段的起点向上移动，画在物体的重心上了。

用例三 对物体进行受力分析，画出它的受力示意图。

正确地对物体进行受力分析，是学习力学的基本功，必须掌握好。所谓受力分析就是把研究对象所受到的力，不遗漏，不重复地统统找出来，并画出它的受力示意图。

题 3 一本词典放在水平桌面上。对词典进行受力分析，并画出它所

受力的示意图。

放在桌面上的词典受到两个力的作用：词典的重力，方向竖直向下；桌面对词典的支持力，方向竖直向上，如图 1-7 所示。

题 4 一根绳子系着一个铝块，铝块浸没于水中，画出铝块的受力示意图。

首先，这铝块受到重力，方向竖直向下；其次，铝块受到绳子的拉力，方向竖直向上；还有，铝块受到周围的水给它的浮力，方向竖直向上，铝块一共受到三个力的作用，如图 1-8 所示。

题 5 静止在斜面上的物体受到哪些力的作用？

首先，静止在斜面上的物体受到竖直向下的重力的作用。其次，斜面阻止了它的下落，它必然受到斜面给它的支持力的作用，支持力的方向垂直于斜面向上。再次，如果斜面是绝对光滑的，这个物体就必然会下滑，物体能静止在斜面上，说明物体与斜面间是有摩擦力的，是这个摩擦力阻止了它的下滑，所以，摩擦力的方向是沿斜面向上的。我们可以作一个力的示意图来表示这个物体受到的三个力（见图 1-9）。

**【重力】 重力的产生** 地球附近的一切物体都要受到地球的吸引作用，这种吸引作用要把一切物体拉向地面。由于地球的吸引而使物体受到的力叫做重力。在地面上的人、畜、房屋、树木受到重力，跳跃在空中的人、飞翔中的鸟和飞机受到重力，在大气层外围绕地球旋转的人造卫星以及离地球 38 万千米以外的月亮也受到重力。重力的施力物体是地球。受到重力作用的物体与地球可以接触，也可以没有直接的接触。

有的同学会认为，把重力说成“由于地球的吸引而使物体受到的力”太拗口了，不如说成“重力就是地球的引力”，多简洁。其实，假如地球不转动，重力就是引力。由于地球的自转，除了南北两极以外，物体所受的引力中首先要分出一部分来（大约为引力的千分之五不到些），保证物体在随着地球旋转时不被甩出去，剩下的才是重力。所以，物体受到的地球引力和重力不完全是一回事（更精确的讨论，在学高中物理时就会知道了）。

**重力的大小** 物体受到的重力与物体所处的地理位置有关，也与海拔高度有关。质量 1 千克的物体在纬度  $45^\circ$  的海平面上所受到的重力是 9.8 牛。物体所受的重力是与质量成正比的，初中物理所研究的都是地面附近的物体，按每千克质量的物体受重力 9.8 牛进行计算，就足够精确了。物体所受的重力  $G$  与它的质量  $m$  有如下关系：

$$G = mg,$$

其中  $g = 9.8$  牛/千克。

**重力的方向** 物体受到重力的方向总是竖直向下的。生产和生活中常利用重垂线来确定竖直方向，因为竖直线与水平线是相互垂直的，所以人们也常用重垂线来确定水平方向。

**重力的作用点** 毫无疑问，一个物体的各部分都受到重力，把这些力都合起来，可以发现它有一个确定的作用点，这个重力的作用点便是物体的重心。一根均匀棒的重心位于棒的中点，一块均匀矩形板的重心位于对角线的交点，一块均匀圆板的重心位于圆心，平躺着或站着不动的人的重心，大约在肚脐后面身体的中心处。

**用例一** 对物体进行受力分析，首先要考虑到重力。

地球附近的不管什么物体，不论它处于怎样的运动状态，都无时无刻不在受到重力的作用。所以，对物体进行受力分析的时候，重力总是第一个要考虑的，忘记了考虑重力的受力分析，肯定是错误的。

**题 1** 被运动员踢出去的足球，正在空中飞行，空气阻力忽略不计，这个足球受到哪些力的作用？它的施力物体各是什么？

首先，飞行中的足球受到重力的作用，其次，处于足球周围的空气对足球的运动有阻碍作用，但题目的已知条件中，说明了空气阻力忽略不计，于是再也找不到其它物体可能对足球施加力的作用了。所以，这个足球只受重力的作用，它的施力物体是地球。

**题 2** 在宇宙空间围绕地球作圆周运动的人造卫星受到哪些力的作用？

首先，围绕地球旋转的人造卫星一定受到地球给它的重力的作用。又因为人造卫星所在的空间，空气已极其稀薄，其阻力可忽略不计。再也没有其它物体与人造卫星有力的联系了，所以，围绕地球旋转的人造卫星只受一个力的作用，这就是地球给它的重力。重力对于作圆周运动的人造地球卫星的作用，是在不断地改变它的运动方向，而没有改变它运动速度的大小。

**用例二** 已知物体的质量  $m$ ，根据  $G = mg$ ，求物体的重力。

**题 3** 某起重机的钢绳能拉起的物体的最大质量是 5 吨，求此钢绳所能承受的最大拉力。

钢绳所能承受的最大拉力，等于它所能拉起的最大质量物体的重力。

$$G = mg = 5000 \text{ 千克} \times 9.8 \text{ 牛/千克} \\ = 49000 \text{ 牛。}$$

**用例三** 已知物体的重力  $G$ ，根据  $m = \frac{G}{g}$ ，求此物体质量。

**题 4** 某同学的重力是 441 牛，他的质量是多少千克？

$$m = \frac{G}{g} = \frac{441 \text{ 牛}}{9.8 \text{ 牛/千克}} = 45 \text{ 千克。}$$

该同学的质量为 45 千克。

**【弹簧测力计】** 测量力的大小的工具是测力计。弹簧测力计是物理实验室中常用的测力计。实验室中常见的弹簧测力计如图 1-10 所示。

**构造** 弹簧测力计由弹簧、指针、刻度板以及外壳等部分组成。图 1-10 左面的那种弹簧测力计，弹簧的上端挂在一个圆环上，下端连着指针和挂钩，当挂钩上挂了物体或施了一个力时，弹簧伸长，指针也就随着移动，在刻度板上指示出相应的读数，测出力的大小。

**原理** 弹簧受到的拉力越大，弹簧的伸长就越大。精确的实验证明，在一定范围内，弹簧的伸长是跟受到的拉力成正比的。弹簧测力计是根据弹簧的伸长与拉力成正比的原理制成的，所以弹簧测力计的刻度是均匀的。

**使用** 使用弹簧测力计应按以下步骤进行：

1. 使用弹簧测力计测力前要先检查它的指针是否对准零刻度，如果有偏差，要请老师帮助校正，这项工作叫校零。

2.观察弹簧测力计的刻度板，了解弹簧测力计的测量范围和最小刻度。为了避免损坏仪器，测力时要注意，被测的力的大小应在测量范围之内。根据最小刻度确定测量所能达到的精确程度。

3.手持弹簧测力计的圆环，把待测的力施加在挂钩上，使弹簧测力计内弹簧的伸长方向跟待测力的方向在同一直线上。当指针静止时，正确地读出并记录测量结果（包括准确值、估计值、单位三部分）。

**【用弹簧测力计测力】** 实验目的测量力的大小，练习使用弹簧测力计。

**实验器材** 弹簧测力计、木块、长木板、钩码、长头发。

**实验步骤** 1.观察弹簧测力计，了解实验用弹簧测力计的量程和最小刻度。

2.一手持弹簧测力计圆环，一手拉挂钩，慢慢加大拉力，体会一下 1 牛、2 牛、5 牛……的拉力各有多大。

3.在水平放置的长木板上，用弹簧测力计拉木块匀速前进，读出拉力的大小。注意：必须让弹簧测力计中弹簧的伸长方向，与拉力方向在同一直线上。

4.在倾斜放置的长木板上，用弹簧测力计拉木块匀速前进，读出拉力的大小。注意点同上。

5.用弹簧测力计测出一个钩码的重力。

一个钩码的重力为\_\_\_。

6.把头发系在弹簧测力计的挂钩上，缓慢地增大拉力，直到头发被拉断，读出头发所能承受的最大拉力。

一根头发所能承受的最大拉力为\_\_\_。

与同组的同学比较一下，头发所能承受的最大拉力是否一样。

**【摩擦】** 互相接触的两个物体，有相对运动或相对运动的趋势时，在它们的接触面上发生的阻碍相对运动或相对运动趋势的现象，叫做摩擦。有摩擦的两个物体间，所产生的相互作用力，叫做摩擦力。

摩擦又分为静摩擦、滑动摩擦和滚动摩擦三类。

**静摩擦** 互相接触的两个物体，只有相对运动的趋势，而仍保持静止，这两个相对静止物体之间的摩擦叫做静摩擦。例如停留在斜面上的物体，它有下滑的趋势而没下滑，一定受到了斜面的阻碍，这种阻力就属于静摩擦。

**滑动摩擦** 一个物体在另一个物体表面上滑动时产生的摩擦，叫做滑动摩擦。这时在接触面上产生的阻碍相对运动的力叫做滑动摩擦力。

滑动摩擦力的大小跟物体的材料性质有关，在材料一定时，它与物体间接触表面的粗糙程度以及压力大小有关。表面越粗糙，摩擦力越大；压力越大，摩擦力越大。

**滚动摩擦** 一个物体在另一个物体上滚动时所产生的摩擦，叫做滚动摩擦。用滚动代替滑动，可以大大减小摩擦。

增大有益摩擦常用的方法是增加物体接触表面的粗糙程度，增大物体间的压力。

减小有害摩擦常用的方法是用滚动代替滑动，在有摩擦的部位加润滑剂。

**用例一** 鉴别摩擦的类型。

题 1 用铅笔写字时，笔尖与纸之间的摩擦是\_\_\_\_摩擦。用圆珠笔写字时，笔尖与纸之间的摩擦是\_\_\_\_摩擦。汽车急刹车时，车轮与地面之间的摩擦是\_\_\_\_摩擦。皮带传动中，皮带与轮子之间的摩擦是\_\_\_\_摩擦。

上面四种情况依次是滑动摩擦、滚动摩擦、滑动摩擦、静摩擦。

题 2 下列各现象中，属于滚动摩擦的是： ( )

- A. 滑雪运动员的滑板与雪地之间的摩擦
- B. 旋动瓶盖时，瓶盖与瓶口之间的摩擦
- C. 在自行车前进时，前车轮与地面之间的摩擦
- D. 当自行车刹车完全刹紧时，车轮与地面之间的摩擦

选项 A、B、D 所说的都是滑动摩擦，只有 C 的情况属于滚动摩擦。

用例二 鉴别有益的摩擦和有害的摩擦。

题 3 以下关于摩擦力利弊的说法中正确的是 ( )

- A. 皮带传动时，皮带与皮带轮之间的摩擦是有害摩擦
- B. 人走路时，脚与地面之间的摩擦是有害摩擦，摩擦越小，走路越轻快

- C. 骑自行车时，自行车轮胎与地面之间的摩擦是有害摩擦
- D. 火车起动时，车轮与钢轨之间的摩擦是有益摩擦

皮带传动为了避免皮带与皮带轮之间打滑，人走路、骑自行车为了避免在地面上打滑，都必须有摩擦。同样，机车起动时，为了避免车轮在钢轨上打滑，也需要摩擦，它们都是有益的摩擦。所以，应选 D。

用例三 根据需要增大或减小摩擦，提出相应的措施。

题 4 下列措施中，为了减小摩擦的是： ( )

- A. 皮带传动中，把皮带绷得紧些
- B. 下雪后往路上撒炉渣
- C. 鞋底花纹尽量做得粗些
- D. 在地上拖重物时，在重物下垫上圆木

选项 A 说的是，用增大压力的办法来增大摩擦；B 和 C 又是用增加接触表面的粗糙程度来增大摩擦的；选项 D 说的是把滑动摩擦改变为滚动摩擦，可以使摩擦大为减小。所以应选 D。

【二力平衡】 一个物体在两个力的作用下，如果保持静止状态，我们就说这两个力是平衡的，或说这两个力互相平衡或二力平衡。吊在电线上的电灯，受到的重力和电线的拉力，这两个力就是一对平衡力。

二力平衡的条件 作用在同一个物体上的两个力，满足下面三个条件，这两个力就平衡。1. 大小相等；2. 方向相反；3. 作用在同一条直线上。

要注意学会严格区分平衡力和物体间的相互作用力。我们知道，物体间力的作用是相互的，有甲物体对乙物体的作用力，同时就有乙物体对甲物体的作用力。例如，一个墨水瓶放在水平桌面上，墨水瓶压桌面，同时桌面托着墨水瓶，而且这两个力的大小是相等的，假如墨水瓶的重力是 2 牛顿，墨水瓶压水平桌面的力就是 2 牛顿，水平桌面托墨水瓶的力也是 2 牛顿。不仅如此，墨水瓶压水平桌面的力方向竖直向下，桌面托墨水瓶的力方向竖直向上，方向相反，力的作用线也在同一直线上。从表而上看，物体间的相互作用力也具有大小相等，方向相反，作用在同一直线上的特征。区分平衡力与物体间的相互作用力的关键在于：平衡力是作用在同一个物体上的两个力；物体间的相互作用力是作用在两个不同物体上的两个

力，它们是绝不可能平衡的。墨水瓶压桌面，是桌面受力；桌面托墨水瓶，是墨水瓶受力，这两个力作用在两个不同物体上，它们是不可能平衡的。

用例一 应用二力平衡条件，判断平衡力。

题 1 某同学站在水平地面上，该同学受到的一对平衡力是：

( )

- A. 地面对人的支持力与人对地面的压力
- B. 人的重力与人对地面的压力
- C. 人的重力与地面对人的支持力

选项 A 中，人压地面，是作用在地面上的力，与此同时，地面也托着人，是作用在人身上的力，这是物体间的相互作用；选项 B 中，人的重力，是人受到的地球的作用力，人对地面的压力是地面受力，既不是作用在同一物体上的力，且方向都是竖直向下的，完全不符合二力平衡条件；选项 C 中提及的人的重力和地面对人的支持力，是同一个物体——人受到的两个力，而且这个物体就在这两个力的作用下，保持了静止状态，所以这是一对平衡力。本题应选 C。

题 2 示意图 1-11 中，表示二力平衡的是 ( )

图 (1)、(2)、(3) 中的物体受到的两个力，或大小不相等，或不在同一直线上，显然不是一对平衡力；图 (4) 中的两个力分别作用在两个不同物体上，也不是平衡力；图 (5) 中的物体受到的两个力符合平衡力的条件，因此，它们是一对平衡力。

用例二 运用二力平衡的知识，深刻理解弹簧秤的工作原理。

题 3 如图 1-12，每个砝码的重力是 0.5 牛顿，弹簧测力计的重力忽略不计，那么弹簧秤的示数是 ( )

- A. 0.5 牛顿
- B. 1 牛顿
- C. 2 牛顿
- D. 0

解这道题的关键，是要搞清楚弹簧测力计的示数到底是指什么？如果以为仅是指作用在弹簧测力计挂钩上的力的大小，那就不全面了。要知道，弹簧测力计在测力时，只有一个作用在挂钩上的力是无法测力的，还必需另有一个力作用在弹簧测力计上部的吊环上，在弹簧测力计的重力可以忽略不计时，弹簧测力计就在这两个力的作用下保持静止，它们是一对平衡力，弹簧测力计的示数就是这一对平衡力的大小，更明确一点，是这一对平衡力中任意一个的大小。把这一点搞清楚了，上面的题也就迎刃而解了。水平放置的测力计左右两边各受 1 牛顿的拉力，而且这一对拉力满足大小相等、方向相反、作用在同一直线上的三个条件，是一对平衡力，弹簧测力计的示数应为这对平衡力的大小，即 1 牛顿。所以，应选答案 B。

【二力的合成】 当物体同时受到两个力的作用时，如果可以用单个力来代替它们，并且产生同样的效果，那么这单个力就叫那两个力的合力。求已知力的合力的方法叫做力的合成。

同一直线上二力的合成 1. 同一直线上的两个力  $F_1$ 、 $F_2$  的方向相同时，它们的合力  $F$  的大小等于这两个力之和，即  $F = F_1 + F_2$ ，合力的方向与  $F_1$ 、 $F_2$  相同。

2. 同一直线上的两个力  $F_1$ 、 $F_2$  的方向相反时，它们的合力  $F$  的大小等于这两个力的差，即  $F = F_1 - F_2$ ，合力的方向与  $F_1$ 、 $F_2$  中较大的那个力的方向相同。

\*互成角度的二力的合成 互成角度的两个力(也就是不在同一直线上的两个力)的合力,其大小比两力之和小,且比两力之差大,即

$$F_1 - F_2 < F < F_1 + F_2。$$

合力的大小还与  $F_1$ 、 $F_2$  的夹角有关,这两个已知力的夹角越小,合力越大;夹角越大,合力越小。

用例一 计算同一直线上两个力的合力的大小。

题 1 一辆小车陷在泥潭里,两个人用一根绳子拴住小车,沿同一方向拉小车,甲用力 250 牛顿,乙用力 300 牛顿,他们的合力是多大?

这是同方向的二力的合成,其合力的大小为两者之和,即:

$$F = F_1 + F_2 = 250 \text{ 牛} + 300 \text{ 牛} = 550 \text{ 牛}。$$

题 2 甲、乙两个队进行拔河比赛,经过一段时间的相持,甲队作用在绳上向东的力为 2400 牛顿,乙队作用在绳上向西的力为 2550 牛顿,这时拔河绳所受的合力是多大?

反向的两个力的合力,其大小为两个力之差:

$$F = F_2 - F_1 = 2550 \text{ 牛} - 2400 \text{ 牛} = 150 \text{ 牛}。$$

合力的方向向西(即较大力方向),在此合力的作用下,拔河绳将向西运动。

用例二 初步运用互成角度的二力的合成的规律。

题 3 有两个力同时作用在一个物体上,它们的大小分别是 10 牛顿和 6 牛顿,则它们的合力的大小不可能是 ( )

- A. 15 牛顿                      B. 10 牛顿  
C. 5 牛顿                        D. 3 牛顿

根据二力合成的规律,合力的大小,不小于两个力之差,且不大于两个力之和,即

$$F_1 - F_2 \leq F \leq F_1 + F_2。$$

所以,这两个力的合力随它们的夹角从  $0^\circ$  到  $180^\circ$  的变化,可以从 16 牛顿变为 4 牛顿。合力为 3 牛顿是不可能的,故正确答案为 D。

题 4 行李袋上有两个提手,两个人合提一个行李袋时,这两个人应该靠拢一些好,还是距离拉开些好?

当两力同向时,合力为两个力之和;两个力的夹角只要不为  $0^\circ$ ,合力就小于两个力之和了,夹角越大,合力越小。所以,两个人同提一个行李袋,只有当手臂都恰好在竖直位置时,才最省力。为了人体的平衡,两个人必然会向外倾斜一些,拉开一些距离,但是两人拉力的夹角越小,则越省力,所以两人间的距离不应过大。

【机械运动】 一个物体相对于另一个物体的位置改变叫做机械运动,简称运动。一个物体相对于另一个物体没有发生位置改变,就说这个物体相对于另一个物体是静止的。宇宙间的一切物体都在运动着,绝对静止的物体是没有的。

在研究机械运动的时候,事先假定为不动的物体叫做参照物。参照物的选择可以是任意的,但是为了研究问题的方便,又必须根据实际情况,选择合适的参照物。如果研究地面上物体的运动,通常选择地面作参照物,或选择固定在地面上的物体作参照物。

注意:选择研究对象本身作参照物是没有意义的,这样选择的结果是

物体永远静止。

在参照物选定以后，要考察物体的运动，可以假想自己就站在那个参照物上，这时你能观察到的物体的运动，就是关于物体运动的正确描述了。

**用例** 正确运用运动与静止的概念，解释一些自然现象。

**题 1** 两个同学一起乘火车外出旅游，甲同学到别的车厢去走了一趟，回到原车厢后，乙同学告诉他，这段时间他“坐着一动也没动”。甲同学说：“你说错了，其实在这段时间中，火车已经向前行驶了好多路，因而你不可能不动。”两人争了起来。那么，甲、乙两同学到底谁对呢？

要讨论物体的运动，首先要确定参照物，作为描述物体运动的依据。物体的静止或运动，都是相对于选定的参照物来说的。在这个问题中，如果以地面做参照物，那么，火车里的所有物体，都是随火车一起运动的，这就是甲同学的说法；如果以车厢作为参照物，那么，乙同学在这段时间内，没有离开过座位，就是静止的，这就是乙同学能坚持他的说法的理论根据。所以，这两位同学的说法都有正确的成分，之所以会引起争论，是因为没有在讨论物体的运动时，先定下一个统一的标准——选好一个参照物。

**题 2** 一首歌中有这样的歌词：“小小竹排江中游，巍巍青山两岸走。”这里既说竹排游，又说青山走，是怎么一回事？

说竹排在江中游，大家容易接受，因为人们习惯于把地面作参照物，竹排相对于参照物是运动的。而歌词的后半句，是以竹排作参照物的，相对于竹排，两岸的青山都在后退，所以歌词说青山在走动了。

**【匀速直线运动】** 物体在一条直线上运动，如果在任意相等时间内通过的路程都相等，这种运动就叫做匀速直线运动。通俗地说，就是快慢不变，经过路线是直线的运动。所谓“快慢不变”，用物理的语言作一个精确的表达，也就是“在任意相等时间内通过的路程都相等”。这是一个非常严格的条件，所以，匀速直线运动并不常见，只是为了简化具体问题的研究，有不少运动可以近似地看做匀速直线运动而已。

**用例** 深入理解匀速直线运动的含义，学会鉴别匀速直线运动。

**题 1** 某同学春游走上公路时，恰好遇到一段直道，对着路标，用秒表测定了他每通过 1 千米路程，所用的时间都是 12 分钟。这位同学在这一段路程上所作的运动是不是匀速直线运动？

一般来说，这位同学的运动不是匀速直线运动。如果他的运动是匀速直线运动，必须满足“在任意相等时间内通过的路程都相等”这个条件，也就是每 2.8 分钟、每 1 分钟、每 3.5 秒钟、每 1 秒钟（这些时间间隔都是任意选取的）通过的路程都必须相等，甚至能测定出每 0.1 秒钟、每 0.01 秒钟……通过的路程也是相等的才行。这样做几乎是不可能的，所以，作为一个物理概念的判断题，是不能把这样的运动判为匀速直线运动的。但是，在日常生活中，只要认为这位同学基本上做到行走时快慢不变，又有一定的检测能证明这一点，就近似地把它当做匀速直线运动了。

**【速度】** 在匀速直线运动中，速度等于运动物体在单位时间内通过的路程。其中单位时间可以是每小时、每分或每秒。速度是反映物体运动快慢的物理量。

**速度的公式** 用  $v$  表示速度， $s$  表示路程， $t$  表示时间，则：

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

**速度的单位** 根据速度的公式（确切地说，是速度的定义式，这个数学公式说明了速度这个物理概念的意义），速度的单位是由长度单位和时间单位复合而成的复合单位。距离单位用米，时间单位用秒，则速度单位就是米/秒，读作“米每秒”。速度的常用单位还有千米/时，它们之间的关系为：

$$1 \text{米/秒} = \frac{\frac{1}{10000} \text{千米}}{\frac{1}{3600} \text{时}} = 3.6 \text{千米/时},$$

$$\text{反过来就有：} 1 \text{千米/小时} = \frac{1}{3.6} \text{米/秒}。$$

注意，物理学中计算题的最终计算结果是不允许用分数表示的，更不允许在分母上出现小数。这里是为了精确地表示物理单位的换算率，才破例用了这样的形式。

由速度的定义式  $v = \frac{s}{t}$  可变形得：

$$s = vt \text{ 和 } t = \frac{s}{v}。$$

它们是计算匀速直线运动的运动路程和时间的公式。

使用  $v = \frac{s}{t}$ ， $s = vt$ ， $t = \frac{s}{v}$  这一组公式时，要注意：

1. 这是一组关于匀速直线运动的计算公式，只能用于匀速直线运动，不能随便用于变速运动。

2. 公式中的  $v$ 、 $s$ 、 $t$ ，必须是指同一个运动物体的速度、路程和时间，千万不能张冠李戴。一道题目如果涉及两个或两个以上运动物体，或者一个物体在不同时间的不同运动，可以加注下标，如： $v_1$ 、 $s_1$ 、 $t_1$ 、 $v_2$ 、 $s_2$ 、 $t_2$ ……，把不同的速度、路程、时间分别标示清楚。

3. 公式中的单位必须统一。如速度以米/秒为单位，则路程应以米为单位，时间以秒为单位；如速度以千米/时为单位，则路程与时间就应分别以千米和小时为单位。在初中物理中，运动问题的计算就只用以上两套单位。如果已知条件的单位不统一，应根据题意，先进行单位换算。

**用例一 速度单位的换算。**

首先要懂得速度单位的换算率的由来，做到随时随地都能自己推导出来。在做速度单位换算的时候，只要根据换算率进行计算就可以了。

题1 25米/秒 = \_\_\_\_千米/时。

因为 1米/秒 = 3.6千米/时，

所以 25米/秒 =  $25 \times 3.6$ 千米/时  
= 90千米/时。

题2 54千米/小时 = \_\_\_\_米/秒。

因为  $1\text{千米/小时} = \frac{1}{3.6}\text{米/秒}$ ,

所以  $54\text{千米/小时} = 54 \times \frac{1}{3.6}\text{米/秒} = 15\text{米/秒}$ 。

题3 在陆地上跑得最快的试验车辆可达到 1048 千米/小时的速度, 这个速度是否超过声速 (340 米/秒)?

比较两个速度的大小, 首先必须统一速度的单位。这里可以把车速的单位转换为米/秒, 也可以把声速的单位转换为千米/小时, 如果我们选第一种方法, 则:

$$v_1 = 1048\text{千米/小时} = 1048 \times \frac{1}{3.6}\text{米/秒}$$

$= 291\text{米/秒} < 340\text{米/秒}$ , 即这辆试验车的速度没有超过声速。

用例二 已知运动物体的运动路程和时间, 根据  $v = \frac{s}{t}$ , 计算运动物体的速度。

题4 一列长 300 米的火车, 驶过一座长 1500 米的桥梁, 用了 1 分 30 秒, 这列火车的速度是多少?

一列火车通过一座桥梁, 应指车头上桥到车尾离桥的整个过程, 在这段时间内火车头通过的路程是桥梁的长  $s_1$  与列车的长  $s_2$  之和, 所以该题目的解应该是:

$$t = 1\text{分}30\text{秒} = 90\text{秒},$$

$$s = s_1 + s_2 = 1500\text{米} + 300\text{米} = 1800\text{米},$$

$$v = \frac{s}{t} = \frac{1800\text{米}}{90\text{秒}} = 20\text{米/秒}。$$

用例三 已知运动物体运动的速度和时间, 根据  $s = vt$ , 计算运动物体通过的路程。

题5 科学家用激光测距仪, 已经能非常精确地测出地球到月球的距离。某天文台向月球表面的一个目标发射激光信号, 经历了 2.54 秒接收到反射光。求此时天文台与月球目标之间的距离 (光在真空中和空气中的传播速度都可以用  $3 \times 10^8$  米/秒来进行计算)。

据  $s = vt$  可得光在 2.54 秒内所走过的距离为

$$s = vt = 3 \times 10^8\text{米/秒} \times 2.54\text{秒} = 7.62 \times 10^8\text{米}。$$

这里需要特别注意的是, 光从地球射到月球, 再被反射回地球所通过的路程是月地距离的两倍, 所以, 该天文台与月球目标物之间的距离  $d$  应为

$$d = \frac{s}{2} = \frac{1}{2} \times 7.62 \times 10^8\text{米}$$

$$= 3.81 \times 10^8\text{米} = 3.81 \times 10^5\text{千米}。$$

这个题目的另一种解法是, 把激光从发射至接收到反射光所经历的时间除以 2, 求出激光从天文台到月球目标的单程时间, 再根据  $s = vt$  算出二者的距离。

题目中没有对答案的单位提出要求, 计算结果以米为单位就可以了。但是, 为了照顾到日常应用的习惯, 对于较大的距离还是应转换为用千米

作单位。

用例四 已知运动物体的速度和路程，根据  $t = \frac{s}{v}$ ，计算物体运动的时间。

题6 我国研制的 F-8 型超音速战斗机的飞行速度为 2332 千米/时，它用这样的速度从北京飞到广州（航线长 1970 千米），要用多少时间？

$$t = \frac{s}{v} = \frac{1970 \text{千米}}{2332 \text{千米/时}} = 0.845 \text{小时},$$

即用了 50 分 42 秒。

用例五 综合运用匀速运动的公式和比例运算，对两个匀速运动的物体进行比较。

题7 甲、乙两物体都作匀速直线运动，甲、乙两物体运动的速度之比是 3 : 2，通过的路程之比是 2 : 3，求甲乙两物体运动的时间之比。

这是物理中常见的一种题型，必须认真对待，真正学会。

$$\text{已知 } \frac{v_1}{v_2} = \frac{3}{2}, \quad \frac{s_1}{s_2} = \frac{2}{3}$$

$$\text{根据 } t = \frac{s}{v},$$

$$\text{得 } \frac{t_1}{t_2} = \frac{\frac{s_1}{v_1}}{\frac{s_2}{v_2}} = \frac{s_1}{v_1} \cdot \frac{v_2}{s_2} = \frac{s_1}{s_2} \cdot \frac{v_2}{v_1} = \frac{2}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{4}{9}.$$

甲乙两物体运动时间之比为 4 : 9。

**【平均速度】** 作变速直线运动的物体，在某一段时间（或某一段路程）内通过的路程与时间的比，叫做物体在这段时间内（或这段路程中）的平均速度。

平均速度只在确定的时间、路程范围内才有意义，它表示了物体运动快慢的大致情况。例如，某次列车从南京到上海（全程 305 千米），用了 5 小时，它的平均速度就是 61 千米/时。我们只是大体上知道这列火车的快慢程度，它在这段时间内（或这段路程中），一定有的时候快，有的时候慢，甚至有的时候还要停靠在中间站的站台上，这些细节是反映不出来的。不仅如此，这个平均速度 61 千米/时，也不可能反映列车在任意的两个中间站（比如无锡到苏州）之间的速度，更不可能反映这个范围以外（比如上海到杭州）列车的运行速度。

平均速度的公式 用  $\bar{v}$  表示平均速度，s 表示路程，t 表示时间，则

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

公式变形得  $s = \bar{v}t$ ,  $t = \frac{s}{\bar{v}}$ 。

运动的分类

机械运动  $\left\{ \begin{array}{l} \text{直线运动} \left\{ \begin{array}{l} \text{匀速直线运动} \\ \text{变速直线运动} \end{array} \right. \\ \text{曲线运动} \end{array} \right.$

用例一 根据平均速度的公式  $\bar{v} = \frac{s}{t}$ , 计算运动物体的平均速度, 这也是测量平均速度的基本方法。

题1 宁沪高速公路全程 274 千米, 一辆小客车用 2 小时 20 分跑完了全程, 这辆小客车的平均速度是多少?

已知:  $s = 274$  千米,  $t = 2$  小时 20 分  $= 2\frac{1}{3}$  小时。

求:  $\bar{v}$ 。

解:  $\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{274 \text{ 千米}}{2\frac{1}{3} \text{ 小时}} = 117.4 \text{ 千米 / 时}$ 。

答: 这辆小客车在宁沪高速公路上行驶时的平均速度是 117.4 千米/时。

注意: 1. 以上的书写格式是同学们做作业的标准格式。可以在列出已知条件的同时, 按照需要进行单位换算。

2. 解题中的每一道式子应包括三步: 第一步, 公式; 第二步, 把已知条件 (或中间结果) 代入后所得的算式; 第三步, 运算结果。

3. 算式中的物理量可写上单位, 也可以不写。如果算式中不写单位, 应在运算结束后注上单位, 并把它用括号括起来。

4. 为了计算的方便, 也为了保证计算结果的精确程度, 解题过程中可以保留分数, 但最终答案必须是小数, 如果题目没有特殊要求, 一般可取三位有效数字。

用例二 根据公式变形所得的  $s = \bar{v}t$  和  $t = \frac{s}{\bar{v}}$ , 计算物体运动的路程和时间。

题2 从常州到重庆的航线长 1320 千米, 一架客机在这条航线上飞行的平均速度是 750 千米/时, 它在航线上的飞行时间是多少小时?

$$t = \frac{s}{\bar{v}} = \frac{1320 \text{ 千米}}{750 \text{ 千米 / 时}} = 1.76 \text{ 小时},$$

即飞行时间为 1 小时 45 分 36 秒。

用例三 综合应用有关的数学、物理知识, 解决较复杂的应用题。

题3 某同学练习长跑, 在前一半路程上的平均速度是 6 米/秒, 后一半路程的平均速度是 4 米/秒, 求全程的平均速度。

要求全程的平均速度, 必须要知道全程的路程和通过全程的时间, 已

知条件中都没有直接告诉我们。如果我们假设全程长为  $s$  (米), 则一半路程是  $s/2$ , 通过前一半路程所用的时间

$$t_1 = \frac{s/2}{v_1} = \frac{s}{12},$$

同理, 通过后一半路程所用的时间

$$t_2 = \frac{s/2}{v_2} = \frac{s/2}{4} = \frac{s}{8}$$

所以, 该同学长跑时的平均速度是

$$\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{s}{t_1 + t_2} = \frac{s}{s/12 + s/8} = 4.8 \text{ (米/秒)}。$$

我们从这道题目的解可以看到, 正确地解答物理题目的关键, 是必须紧扣物理的基本概念。在这道例题中, 要求全程的平均速度, 就必须用全程的路程长度去除以通过全程的时间, 算出两者的比。如已知条件太少, 可以先用相关的符号来表示解题时所必需的物理量, 只要方法正确, 在运算过程中是可以消去这些参数的。做物理题时切忌想当然, 认为已知条件中只提到两个速度值, 要求平均速度, 加起来除以 2, 就可以了事。这里不能用简单平均的原因是, 这位同学慢速跑占用的时间比较长, 平均速度就比较接近较小的那个速度值。就像有 5 位同学, 其中 2 位同学各带有 10 元钱, 3 位同学各带有 5 元钱, 这 5 位同学所带的钱的平均值是 7 元, 而不是 7.5 元, 其道理是一样的。

**题 4** 一列火车以 20 米/秒的速度驶向峭壁下的一个隧道口, 鸣笛后 6 秒听到回声, 问此火车再过多少时间便可驶到隧道口 (声音在空气中的传播速度为 340 米/秒)?

解运动学的题目 (数学上叫做行程问题), 画个简图能帮助思考。我们根据题意作图 1-13 如下:

A 为火车鸣笛时的位置, B 为火车司机听到回声时的位置,  $v_2$  为声音传播的速度,  $v_1$  为火车的速度, ACB 表示火车鸣笛时发出的声音在  $t_0 = 6$  秒内通过的路程  $s_0 = v_2 t_0$ 。由图上可以看出, 声音在时间  $t_0$  内通过的路程  $s_0$  中, 减去火车在时间  $t_0$  内通过的路程 AB ( $s_1 = v_1 t_0$ ), 所得的差为 BC (即  $s$ ) 的两倍, 所以, 司机听到回声时, 火车到隧道口的距离

$$s = \frac{s_0 - s_1}{2} = \frac{v_2 t_0 - v_1 t_0}{2} = \frac{340 \times 6 - 20 \times 6}{2} = 960 \text{ (米)}。$$

司机在听到回声后, 火车开到隧道口还需要的时间是:

$$t = \frac{s}{v_1} = \frac{960}{20} = 48 \text{ (秒)}。$$

**【测变速直线运动的平均速度】** 实验目的用卷尺和秒表测人短跑时的平均速度; 练习使用秒表。

**实验器材** 卷尺、秒表 (或电子表) 2 只。

**实验步骤** 1. 在操场的直跑道上, 量出 50 米的一段, 在起点、中点 (25 米处)、终点分别划上灰线。

2. 在实验组内进行分工, 一名同学做发令员, 一名同学做运动员, 两名同学做记时员, 分别站在 25 米处和终点。

3. 按体育比赛的规则，测定运动员跑完前 25 米和全程的时间，将成绩记录在下面的表格中。

4. 调整分工，重复步骤 3 测定组内其他同学的短跑成绩。

5. 整理实验记录，完成实验报告。

姓名	前 25 米的时间	前 25 米的平均速度	后 25 米的时间	后 25 米的平均速度	全程的时间	全程的平均速度

**【牛顿第一运动定律】** 亦称惯性定律。牛顿第一运动定律的内容是：一切物体在没有受到外力作用的时候，总保持匀速直线运动状态或静止状态。

在两千多年以前，古希腊哲学家亚里士多德认为，必须有力作用在物体上，物体才能运动，没有力的作用，物体就要静止下来。他的说法在差不多两千年的时间里一直得到人们的公认。

在 17 世纪，意大利科学家伽利略通过大量的实验和深入的思考，纠正了亚里士多德的错误，得到了这样的结论：一切运动着的物体，在没有受到外力作用的时候，它的速度将保持不变，并永远运动下去。

英国科学家牛顿概括了伽利略等人的研究成果，总结出如上所述的牛顿第一运动定律。

牛顿第一运动定律在阐明了一个极其重要的物理规律的同时，也揭示了一切物体都具有的一个重要的属性——惯性。物体保持原来的匀速直线运动状态或静止状态的性质叫做惯性。

**用例一** 应用牛顿第一运动定律解释日常生活中的一些物理现象。

**题 1** 被脚踢飞出去的足球受到哪些力的作用？

首先应该考虑到的是，足球受到地球给它的重力，如果空气阻力可以忽略不计的话，那么，足球就受到这一个力的作用。有的同学总觉得不放心，认为足球还在前进，那就一定要有一个什么推力才行，错误地认为“运动需要力”。根据牛顿第一运动定律，被脚踢离地面的足球，如果不受外力的作用，将沿直线飞离，只是由于重力的作用，它才不断地改变运动的方向，做了曲线运动，落回了地面。

**用例二** 说明常见的惯性现象。

**题 2** 把锤柄的一端在水泥地上撞击几下，锤头就牢牢地套在锤柄上了，这是为什么？

当锤柄的一端撞向水泥地时，锤柄与锤头一起向下运动，锤柄因受到水泥地的阻挡，突然停止运动，锤头则由于惯性，要保持原来的运动状态而继续向下运动，不断地往锤柄上套，最终牢牢地套在锤柄上了。

**题 3** 晾晒棉被的时候，用力拍打棉被，可以拍掉棉被上的灰尘，这是为什么？

晾晒棉被时，棉被和棉被上的灰尘都是静止的，当棉被受到拍打时，

突然运动起来，棉被上的灰尘由于惯性，要保持原来的静止状态，就离开了棉被。

**用例三** 了解有关科学史的资料，深入理解牛顿第一运动定律。

**题 4** 牛顿第一运动定律好像就是伽利略的结论。为什么不把它叫做伽利略定律？

1642年，伽利略逝世，牛顿诞生。在科学上，牛顿也接过了伽利略的接力棒。伽利略研究了物体的运动后，得到了这样的结论：一切运动着的物体，在没有受到外力作用的时候，它的速度将保持不变，并永远运动下去。他还用这个结论来解释月亮的运动，说月亮是不受外力作用的物体，所以，它就保持速度不变地围绕地球作圆周运动了，甚至还提出了所谓“圆周惯性运动”的概念。牛顿发现，在宇宙空间运动的月亮，不是不受外力作用的物体，月亮是由于受到地球的吸引，才不断的改变运动的方向，围绕地球旋转的。假设如果有一天地球不再吸引月亮了，那么，月亮将沿着其轨道的切线（直线），永远地飞离地球。正是在这一点上，牛顿纠正了伽利略的错误，提出了牛顿第一运动定律。

**【运动和力】** 力和运动的关系是，力的作用是使物体的运动状态发生改变。或者说，力是改变物体运动状态的原因。

对于力与运动的关系的理解，要注意以下几点：

1. “运动状态的变化”，是指物体由静止到运动，或由运动到静止，或运动速度由慢到快，或运动速度由快到慢，或是运动方向发生了变化。

2. “力是改变物体运动状态的原因”包含三层意思：

首先，物体在没有受到外力作用的时候，总保持匀速直线运动状态或静止状态，这就是牛顿第一运动定律。

其次，因为物体不受外力的作用，只是一种理想状态，真正不受外力作用的物体是不存在的。我们所能看到的匀速直线运动或静止状态，都不是由于物体没有受到外力的作用，而是物体受到的外力的作用互相抵消的缘故。也就是物体在平衡力的作用下，保持匀速直线运动状态或静止状态。

最后，物体在非平衡力的作用下，它的运动状态就会发生变化：原来静止的物体，受到非平衡力的作用，就会运动起来；原来运动的物体，受到与运动方向一致的力的作用，就会加速；原来运动的物体，受到与运动方向相反的力的作用，速度就会减小，直至静止下来；如运动物体受到的力与运动方向既不一致，又不相反，而是夹了一个角度，物体的运动方向就会发生变化。

**用例一** 联系实际，深入理解力与运动的关系。

**题 1** 关于力和运动的关系，下列说法正确的是：（ ）

- A. 只要有力作用在物体上，物体就能运动
- B. 只要物体在运动，就一定有力作用在物体上
- C. 只要有力作用在物体上，物体的运动状态就一定发生变化
- D. 只要物体的运动状态发生了变化，就一定有力作用在物体上

如果作用在物体上的力是平衡力，那么原来静止的物体仍然保持静止，所以，选项 A 和 C 都是错误的。如果物体不受任何外力的作用，原来运动的物体将作匀速直线运动，并继续不断地运动下去，所以选项 B 也不对。力的作用是使物体的运动状态发生变化，当发现物体的运动状态发生了变化，一定是这个物体受到了非平衡力的作用，选项 D 是正确的。

题 2 在水平地面上滚动的足球，最终停了下来，这是因为 ( )

- A. 足球没有受到力的作用
- B. 足球受到的动力比阻力小
- C. 它的惯性在逐渐减小
- D. 摩擦力使它改变了运动状态

答案为 D。

题 3 起重机吊着一个重物静止时，钢绳上的拉力是  $F_1$ ；当重物被吊着以 5 米/秒的速度匀速上升时，钢绳上的拉力是  $F_2$ ；当重物以 5 米/秒的速度匀速下降时，钢绳上的拉力是  $F_3$ 。则：( )。

- A.  $F_2 < F_1$ ； $F_3 > F_1$
- B.  $F_2 > F_1$ ； $F_3 < F_1$
- C.  $F_1 = F_2 = F_3$
- D. 条件不足，无法判断

根据牛顿第一运动定律，物体处于静止状态或匀速直线运动状态时，其受力情况都是一样的，或者是物体不受力，或者是受平衡力的作用。我们把物体的静止状态和匀速直线运动状态叫做平衡状态。当重物静止时，钢绳上的拉力为  $F_1$ （平衡重物所受的重力  $G$ ），当重物不管以怎样的速度，向什么方向作匀速直线运动时，钢绳上所受的拉力也还是一样的（平衡重物的重力  $G$ ）。所以，本题应选 C。

用例二 学会分析在水平面上作匀速直线运动的物体的受力情况。

题 4 一个重 10 牛顿的木块放在水平的实验桌上，被一个水平拉力拉着作匀速直线运动，它与桌面之间的摩擦力是木块重力的 0.2 倍。则水平拉力是多大？并画出木块的受力示意图。

对木块进行受力分析：木块受到重力  $G=10$  牛顿，方向竖直向下，本块受到桌面的支持力  $N=10$  牛顿，方向竖直向上，这两个力是竖直方向上的一对平衡力；木块运动时，受到桌面的滑动摩擦力  $f=0.2G=0.2 \times 10$  牛  $=2$  牛，因为木块是作匀速运动的，它一定是受平衡力的作用，在水平方向上能平衡摩擦力的就是水平拉力了，所以水平拉力  $F=f=2$  牛（如图 1-14）。这个题目中遇到两对平衡力：物体的重力被桌面的支持力平衡；摩擦力被水平拉力平衡。同学们解题时最容易犯的错误的是，不认真地进行受力分析，不画力的图示，想当然地认为  $F=G+f=10$  牛  $+2$  牛  $=12$  牛。把不在一直线上的两个力的数值相加，这就会犯下严重的概念性错误（参见“互成角度的二力的合成”辞条）。

**【声音的产生】** 我们的听觉器官所能感觉到的物理现象，叫做声音。发声的物体叫声源。

声音是由于物体振动而产生的。用小槌击打音叉，使音叉发出声音，这时如果把叉端放进水里，水就飞溅起来；把发声的音叉靠近悬挂着的小球，小球就被音叉弹开来。这些都证明：当音叉发声的时候，叉股在那里振动。锣被敲而发出声音的时候，如果用手指摸锣面，就会感到锣面在振动；如果手掌用力按锣面，不让它振动，锣声就立刻停止了。当我们说话的时候，如果用手摸喉咙，也会感到喉咙发生的振动。提琴、钢琴、大鼓等乐器发出较低沉的声音时，肉眼也能看得出琴弦、钢丝或鼓膜的振动。一切观察和实验，都证明物体在发声的时候总是振动着的。

用例一 联系实际，深入理解声音的产生。

题1 与人告别时，挥动手臂，也是一种物体的振动，为什么听不到由此而发出的声音呢？

挥动的手臂，确是振动的物体，是声源。但是，人类的耳朵并不能听到自然界里所有的声音，手臂每秒钟摆动的次数太少了，发出的声音是人的耳朵所不能听到的次声（详见“乐音”中的“音调”）。

【声音的传播】 声源在空气中发声时，它的振动引起了附近空气的忽疏忽密的变化，这种变化在空气中扩散开来，并在空气中形成疏密相间的声波。声波进入人的耳朵，激起耳内鼓膜的振动，继而刺激了耳内的听觉神经，神经的冲动传递到大脑，引起了人的听觉。这样，人就听到了声音。

声音的传播需要介质。气体、液体、固体都能传播声音。

声音每秒钟传播的距离叫做声速（参见“介质”辞条）。15℃时，空气里的声速约为340米/秒，即在空气中，声音每秒钟传播的距离大约是340米。一般情况下，声速随温度的升高而增大，温度每升高1℃，声音每秒钟在空气中传播的距离增加约0.6米。水里的声速约为1450米/秒。固体中的声速更大，如在钢铁中的声速约为4500米/秒。

用例一 根据声音传播的有关知识，解释一些自然现象。

题1 耳朵贴在长铁管的一端，敲击一下铁管的另一端，为什么会听见两次敲击声？

长铁管的一端受到敲击而发声，这声音同时在钢铁中和空气中向另一端传播，声音在钢铁中传播得较快，首先传到人的耳朵，成为人所听到的第一次敲击声，声音在空气中传播得较慢，传到人耳，成为人所听到的第二次敲击声。

用例二 根据声速和声音传播的时间，计算距离。

题2 某人在看到闪电以后，隔了5秒钟才听到雷声，那么发生闪电的地方离人有多远？

由于光在空气中的传播速度约为300,000,000米/秒，光通过成千上万米的距离所需要的时间，短得使人无法感觉到，同时，与声音传播相同的距离所需的时间相比，也小到可以忽略不计。所以，这道题要求闪电发生地与人的距离，只要算出声音在5秒钟内通过的距离就可以了。

$$s=vt=340\text{米/秒}\times 5\text{秒}=1700\text{米}.$$

题3 军舰上的超声探测仪在发出信号5秒钟以后，接收到了海底的回声，求海底的深度。

需要注意的是，超声探测仪探测海底的深度时，发出的声音信号往返通过的距离是海底深度的两倍。所以，海底的深度应该这样计算：

$$d=s/2=vt/2=1450\text{米/秒}\times 5\text{秒}\div 2=3625\text{米}.$$

【乐音】 声源作有规律的周期性振动，它所发出的声音就是乐音。钢琴、小提琴等乐器发出的都是乐音，语言中的元音也是乐音。乐音有三要素——音调、响度、音色。

音调 声音的高低叫音调。音调是由声源的频率（就是声源每秒钟振动的次数，单位是赫兹）决定的。频率高，声音就尖厉，音调就高；频率低，声音就低沉，音调就低。乐谱中c调“1”的频率是262赫兹，“i”的频率是524赫兹。人的发声频率大约是85至1100赫兹左右。成年男子的声带厚而长，振动频率较低，说话时的频率约为100~300赫兹；成年女

子的声带薄而短,振动频率较高,说话时的频率约为 160~400 赫兹,所以,女子说话的音调比男子高。儿童的声带更薄更短,儿童的声音比成年人的音调高。弦乐器的振动频率与弦的振动部分的长短、弦的粗细和松紧程度有关。弦乐器的弦越长、越粗、越松,振动频率就越低,发出的声音音调就低。反之,音调就越高。管乐器的音调与发声部分的气体体积有关,体积越小,音调越高。

人并不能听到所有频率的声音,人只能听到频率为 20~20000 赫兹之间的声音。频率高于 20000 赫兹的声音叫超声,低于 20 赫兹的声音叫次声。人们在生产、科研、军事等领域,都在积极利用超声和次声。

**响度** 人耳感觉到的声音的强弱程度叫做响度(又叫音量或声量)。响度与声源振动的幅度有关,也与人耳跟声源的距离有关。声源振动的幅度越大、耳朵与声源的距离越近,声音的响度就越大。计量响度的单位是分贝,人耳所能听到的最微弱的声音为 0 分贝,正常说话的响度为 40~50 分贝,靠近汽车喇叭时听到的声音响度约为 90 分贝。超过 70 分贝的声音就会对人的生理、心理造成不良的影响。

**音色** 声音的品质叫音色,又叫音品。不同的乐器演奏同一首曲子,声音是不一样的;不同的歌唱家唱同一首歌,我们也很容易把他们区别开来。可见,乐音除了音调、响度两个要素以外,还有第三个要素——音色。原来,绝大多数声源发出的声音都不是单纯的只有一种频率的纯音,而是由多种频率的音组成的复合音。在复合音中,响度最大、频率最低的音叫基音,而伴随基音的其它频率的音,它们的频率都是基音频率的整数倍,这些音叫泛音。基音的频率决定了乐音的音调,泛音决定了乐音的音色。钢琴、小提琴在演奏 c 调“1”音时,基音频率都是 262 赫兹,但是它们各自的二倍频、三倍频、四倍频……的响度的比例是不一样的,也就是它们的泛音不同,音色就不一样了。

**用例一** 运用物理原理,解释弦乐器的琴弦配置。

**题1** 小提琴上有四根钢丝的弦,将每根弦定音以后,从右到左依次是 c 调的“ $\text{E}25$ ”四个音。问第一弦( $\text{E}$ )与第三弦相比,哪根弦较粗?

小提琴弦的发音部分的长度是固定的,要让小提琴能正常发音,弦的松紧程度的调节范围也不能太大。在弦的长短、松紧程度一定的条件下,弦越细,发音频率越高,音调越高。所以,第一弦定音最高,弦最细,第二、第三、第四弦定音一个比一个低,用的弦也一个比一个粗。

**\* 用例二** 已知两个声音的响度的分贝值,求声音强度的倍数关系。

**题2** 用仪器测得房间中正在播放的轻音乐的响度是 30 分贝,忽然打雷了,该仪器测得其响度为 110 分贝,雷声的响度是轻音乐的多少倍?

响度的单位是分贝,不仅可以用来计量乐音的强弱,也可以用来计量噪声。通常把人耳能听见的最弱的声音的响度定为 0 分贝,当声音的响度是 0 分贝的 10 倍时,它的响度就是 10 分贝,100 倍时是 20 分贝,1000 倍时是 30 分贝…… $10^N$  倍时是  $N \times 10$  分贝。雷声比轻音乐强了  $110-30=80$  分贝,所以,雷声是轻音乐响度的  $10^8$  倍,即一亿倍。

**【噪声】** 在物理学中,把声源作无规则的非周期性振动所产生的声音叫做噪声。敲击物体时所发出的声音一般都是噪声,各种机械工作时所产生的声音也都是噪声。噪声听起来有嘈杂、刺耳的感觉。但是从环境保

护的角度所说的噪声，不只是从声音的物理性质出发，还考虑到人的生理和心理状态，把一切对人们生活和工作有妨碍的声音都算作噪声。近年来，噪声已列为国际公害。

噪声的危害大致有以下几方面：1. 影响工作，妨碍休息。不太强的噪声，如人们大声说话，比较吵闹的街道上的杂音，使人感到厌烦，分散注意力，妨碍工作。2. 使消化系统功能紊乱。长期在高噪声环境中工作易产生食欲不振、消化不良等症状。3. 对心血管系统的不良影响。由于城市交通噪声的日益增强，已发现城市居民的高血压、冠心病的发病率逐年升高。4. 使听力损伤。在强噪声环境中工作，会引起听觉疲劳，造成听力下降。长期的听觉疲劳，将引起听觉器官器质性病变，造成噪声性耳聋。假如一个人突然置身于极强的噪声下，听觉器官会发生急性外伤，引起鼓膜破裂，双耳变聋，甚至语言紊乱，严重者会使整个机体受到严重损害，导致神智不清，出现休克或死亡。

根据声音的产生与传播的知识可知，噪声是由噪声源经中间传播途径而到达接受者的，所以，控制噪声可以从噪声源和传播途径两方面入手。

降低噪声源的噪声是控制噪声最根本的办法。具体方法有：1. 增强环保意识，遵守社会公德。2. 改换设备，改进工艺。3. 在机械设备上安装消声装置。如在空压机和机动车辆上安装消声器，可以有效地控制排气噪声。

对噪声传播途径的控制措施有：1. 合理布置强声源。如合理进行城市规划和建筑设计，可以控制噪声对人口密集区的干扰。2. 在噪声传播途径中采取消声和隔声措施。如搞好城市绿化，在房间内安装吸声材料等。3. 使用防护装置。在噪声特别强烈的场所，采用耳塞、耳罩、头盔等隔声物，防止强噪声进入内耳造成危害，保证强噪声环境下工作人员的健康。

**用例** 运用有关噪声的物理知识，指导生活实践。

**题 1** 在家中欣赏音乐的时候，为什么不能把音响装置的音量开得太大？

一般住宅房的隔音性能是不太好的，只要音量稍微大一点，一家放音乐，周围好几家都能听到。音响装置播放的音乐，从物理的角度看，是乐音，不是噪声。对于欣赏者而言，听音乐是一种享受，当然不会把音乐作为噪声。但是，并不是所有的邻居都喜欢听，只要某邻居不喜欢听。或者当时不想听，或听了后，产生急躁、烦恼的感觉，这音乐对于他就是噪声。所以，从防止噪声污染，搞好环境保护的角度来看，人人都应该遵守社会公德，别把音响装置的音量开得太大。

**题 2** 经常听“随身听”好不好？

“随身听”（指可以随身携带的小型收录机或单放机）是用耳机直接把声音送入人的耳内的，如果把音量开大的话，人所听到的声音可以很大，甚至可能达到 100 分贝左右，如果长时间地用很大的音量听音乐，会造成人的听力损害的，严重的，还可能造成永久性损害。青少年为了保护好自己的耳朵，不应该长时间地用大音量听“随身听”播放的音乐。

**【质量】** 物体中含有物质的多少叫做质量。质量的单位在国际单位制中是千克，为了使用方便，通常还用吨、克、毫克等作为质量的辅助单位，它们的关系是：

1 吨=1000 千克，

1 千克=1000 克，

1 克=1000 毫克。

质量是物体本身的一种属性，它不随物体的形状、温度、状态和地理位置的改变而改变。例如，将一铁片卷成圆筒或其他不同的形状，它所含铁的多少没有改变，所以它的质量也不会改变；将一杯水放在冰箱里结成了冰，虽然它的温度、状态发生了改变，但它的质量却保持不变；将一本书从亚洲带到美洲，或者让宇航员带到月球上去，它的地理位置虽然发生了变化，但书的质量仍是不会改变的。故在一般情况下，物体确定以后它的质量是不会改变的。

质量与我们的日常生活有着密切的联系。比如，我们经常要到商店里去买米、买油、买菜、买水果等，售货员都要称一下货物的质量，我们所关心的也就是这些货物所含物质的多少。

由于习惯上常常把买质量为多少千克的货物说成重多少千克，所以很容易把物体的质量和物重（物体受到的重力）这两个不同的物理量混淆起来，因此我们必须会区分它们。

第一，它们具有不同的物理意义。质量是物体所含物质的多少，而物重是由于地球的吸引使物体受到的力。

第二，它们的单位不同。质量的单位是千克，而物重的单位是牛顿。

第三，它们的测量工具不同。测量质量的工具是天平，测量物重的工具是弹簧秤。

第四，质量不随地理位置的改变而改变，但物重则随地理位置的不同而改变。例如把同一物体分别放在赤道或南、北极，它的质量不会改变，而物重则不相同，放在南、北极时的物重要大于放在赤道时的物重。又如质量为 1 千克的物体放在月球上，它的质量仍是 1 千克，但由于月球的引力只有地球引力的  $\frac{1}{6}$ ，所以这个物体在月球上的物重仅是在地球上的  $\frac{1}{6}$ 。

质量与物重虽是两个不同的物理量，但它们之间是密切相关的，即物体的物重跟它的质量成正比，它们的数学表达式为：

$$\frac{G}{m} = g, \text{ 或 } G = mg.$$

式中  $G$  表示物重，单位取牛； $m$  表示质量，单位取千克； $g$  表示比值，单位取牛/千克。一般情况下  $g$  为定值，其大小为： $g=9.8$  牛/千克，粗略计算时也可取作 10 牛/千克。运用这个式子进行计算时应注意单位不要取错。

质量在科学研究中占有很重要的位置，在今后的学习中，我们将对它有更深刻的了解。

用例一 根据物重与质量的关系式  $G=mg$ ，可由质量计算出物重，也可根据它的变换式  $m = \frac{G}{g}$ ，由物重计算出质量。

题 1 一块质量为 300 克的石头重多少牛？

将石头质量 300 克换算为 0.3 千克后，直接代公式  $G=mg$ ，即可求出石头的物重为 2.94 牛。

题 2 重 1470 牛的铁块，其质量为多少千克？

将1470牛直接代入 $G = mg$ 的变换式 $m = \frac{G}{g}$ ，就可求出铁块的质量为

150千克。

**用例二** 当物体的高度一定时，质量越大，它具有的重力势能也越大；当运动物体的速度一定时，质量越大，它具有的动能也越大。所以质量是决定物体具有机械能多少的重要的物理量之一。

**题 3** 某体育用品商店的货架上，并排放着一个篮球和一个排球，试比较它们所具有的重力势能的大小。

因为篮球和排球是并排放置在货架上的，它们距离地面的高度相同。由于篮球的质量比排球大，所以篮球的重力势能要比排球的重力势能大。

**题 4** 试比较同乘坐一辆汽车的大人和小孩，他们具有的动能大小。

由于大人与小孩同乘一辆车，则他们具有相同的运动速度，又由于大人的质量比小孩大，所以大人具有的动能也比小孩大。

**【天平】** 天平是药房、学校实验室和工厂化验室里用来测量物体质量的工具，常用的有托盘天平和物理天平。托盘天平使用比较简便，但准确程度比物理天平要差一些。

托盘天平和物理天平的构造如图 1-15、图 1-16 所示。

**天平的制造原理** 天平实质上是一个等臂杠杆，它的制造原理是杠杆平衡条件。

设物体的质量为  $m_{物}$ ，则物重为  $m_{物}g$ ，物体重力作用线到支点（横梁上的中点）的距离为  $l_1$ ，砝码的质量为  $m_{砝}$ ，则砝码重为  $m_{砝}g$ ，砝码重力作用线到支点的距离为  $l_2$ （如图 1-17 所示）。

当横梁平衡时，根据杠杆平衡条件，则有

$$m_{物}g \times l_1 = m_{砝}g \times l_2,$$

$$l_1 = l_2 \text{ (等臂杠杆),}$$

$$m_{物}g = m_{砝}g,$$

$$m_{物} = m_{砝}.$$

故我们读出的砝码质量数就是物体的质量数。

**天平的使用方法**

**托盘天平：**

1. 把天平放在水平台上，把游码放在标尺左端的零刻线处。
2. 调节右端的平衡螺母，使指针指在分度盘的中线处，这时横梁平衡。
3. 将被测物体放入左盘里，用镊子夹取砝码放在右盘里，并用加减砝码和调节游码在标尺上位置的方法，直至横梁恢复平衡。

4. 把右盘中砝码的总质量加上游码在标尺上所对应的质量数，就是被测物体的质量。

**物理天平：**

物理天平比托盘天平精密一些，它的使用方法基本上和托盘天平相同，只是在调节横梁平衡之前，先要调节底板水平，即调节底板上的螺钉，使重垂线上悬挂的小锤的尖端与底板上小锥体的尖端正对。若天平底板上是水准器，则应使水准器中的小气泡停在正中央，这时就表明天平底板水平了。以后的使用步骤与托盘天平相同。

使用天平时应注意以下几点：

1. 每架天平都有一个最大秤量，被称量物体的质量不能超过天平的最大秤量，否则会损坏天平。

2. 为了保护天平，用镊子往盘里加减砝码时要轻拿轻放，不能用手直接拿砝码。

3. 保持天平干燥、清洁，不要把潮湿的物体和化学药品直接放在天平盘里，不要把砝码弄湿弄脏，以免使天平盘和砝码锈蚀，损坏天平和影响称量结果的准确。

4. 如果在使用中移动了天平的位置，就需要重新调整横梁平衡（若使用物理天平，还要先调整底板平衡）。

5. 使用物理天平时还需注意，在调节天平、取放物体、加减砝码时，都要转动止动旋钮，使横梁升起并止动，以免损坏天平。

6. 实验完毕将天平、砝码整理好。

用例一 使用天平称量物体的质量时，能不能把物体放在右盘，砝码放在左盘？

对这个问题的回答是可以的。

如果所使用的天平没有游码，或在称量过程中没有移动过游码（游码始终在左端的零刻线处），不论被称量物体放在左盘还是右盘，只要称量步骤正确，横梁平衡，被称量物体的质量一定等于砝码的总质量。

如果所使用的天平带游码（零刻线在左端），且称量过程中移动了游码，当横梁平衡时，左盘内物体（或砝码）的质量应等于右盘内砝码（或物体）的质量加上游码所示的质量数之和，即：

$$m_{\text{左}} = m_{\text{右}} + m_{\text{游}} .$$

通常情况下，物体放在左盘，砝码放在右盘，则有

$$m_{\text{物}} = m_{\text{砝}} + m_{\text{游}} .$$

此时游码的示数是增加砝码的质量数。若物体放在右盘，砝码放在左盘，则有

$$m_{\text{砝}} = m_{\text{物}} + m_{\text{游}} ,$$

此时游码的示数是增加物体的质量数，物体的质量应为

$$m_{\text{物}} = m_{\text{砝}} - m_{\text{游}} .$$

也就是说，当物体放在右盘时，其质量数应等于砝码的质量数减去游码在标尺上所对应的质量数。

只要记住上述关系，不论物体放在左盘还是右盘，都可较准确称量出物体的质量。

用例二 天平不等臂时，怎样用来称量物体的质量？

我们可以分别把待称量物体放在左盘和右盘进行两次称量，根据两次杠杆平衡条件，分别列出方程求解，得出物体的质量。

设天平左臂长为  $l_1$ ，右臂长为  $l_2$ ，待称量物体的质量为  $m$ 。当物体放在左盘，砝码放在右盘时，称量出的质量数为  $m_1$ （如图 1-18 甲所示），根据杠杆平衡条件得：

$$mg l_1 = m_1 g l_2 ,$$

$$m l_1 = m_1 l_2 .$$

同理，当物体放在右盘，砝码放在左盘时，称量出的质量数为  $m_2$ （如图 1-18 乙所示），根据杠杆平衡条件得：

$$m_2 g l_1 = m g l_2 ,$$

$$m_2 l_1 = m l_2 .$$

$$/ \text{ 得: } \frac{m l_1}{m_2 l_1} = \frac{m_1 l_2}{m l_2} , m^2 = m_1 \cdot m_2 ,$$

$$m = \sqrt{m_1 \cdot m_2} .$$

将两次称量出的物体质量数代入上式，即可较准确地算出物体的准确质量。

**【用天平称固体和液体的质量】** 实验目的学习用天平称固体和液体的质量。

**实验器材** 天平、砝码、体积相同的长方形木块、铁块、铝块、玻璃杯、水、适量的邮票。

**实验步骤** 1. 用天平称固体的质量。

(1) 把天平放在水平台上，观察天平的最大称量以及游码标尺上的最小刻度值。

(2) 按天平使用方法调节天平。

(3) 估计被测物体的质量。将被测物体放入左盘，然后根据估计数以“先大后小”的方法，选择适当的砝码放入右盘里，加减砝码，调节游码位置，直至横梁平衡。

(4) 右盘砝码总质量加上游码所对应的标尺上的刻度值，即为被测物体的质量，读出数据。

(5) 用以上步骤分别称出木块、铁块、铝块的质量，并把它们的数据一一记录下来。

木块的质量：\_\_\_\_\_；

铁块的质量：\_\_\_\_\_；

铝块的质量：\_\_\_\_\_。

2. 用天平称液体（水）的质量。

其步骤基本与称固体质量相同。但由于天平不能直接用来称液体，必须借助于容器，所以在称量的过程中应先称出空玻璃杯的质量，再将水注入玻璃杯，称出玻璃杯和水的总质量，用玻璃杯和水的总质量减去空玻璃杯的质量，其结果就是这杯水的质量。

空玻璃杯的质量  $m_{\text{杯}}$ ：\_\_\_\_\_；

玻璃杯和水的总质量  $m_{\text{总}}$ ：\_\_\_\_\_；

杯中水的质量  $m_{\text{水}} = m_{\text{总}} - m_{\text{杯}}$ ：\_\_\_\_\_。

3. 用天平称轻小物体的质量。

由于轻小物体的质量常常小于天平的最小刻度值，无法用天平直接称出一个轻小物体的质量，我们就采用“聚少成多，测多算少”的方法进行称量，其步骤与称固体的质量相同。以邮票为例，不是称一张邮票的质量，而是一次称出 100 张邮票的总质量，再用这个总质量除以 100，即得每张邮票的质量。

100 张邮票的总质量  $m_{\text{总}}$ ：\_\_\_\_\_，

一张邮票的质量  $m = \frac{m_{\text{总}}}{100}$ ：\_\_\_\_\_。

这个方法也可反过来应用，已知一个轻小物体的质量，求出一堆轻小物体的个数。即用天平称出这一堆轻小物体的总质量，再用总质量除以一个轻小物体的质量，就得出这一堆轻小物体的个数，从而避免烦琐的数数。

**用例** 堆仪表上用的同一规格的小零件，每只重 55 毫克，估计有几万只，手边有一架天平，你能利用它很快知道这堆零件的确切数目吗？用具体数字说明你的方法。

调节好天平，将这堆零件的总质量用天平称出，设  $m_{\text{总}} = 1156.54$  克，

已知每个零件的质量为  $m = 55$  毫克 = 0.055 克(注意单位要统一)代入  $\frac{m_{\text{总}}}{m} = n$  (个数) 中，即可得出确切的零件数为 21028 个。

**【密度】** 单位体积某物质的质量，叫做这种物质的密度。密度的公式是  $\rho = \frac{m}{V}$ ，其中  $\rho$  表示密度、 $V$  表示体积、 $m$  表示质量。在公式中质量的单位用千克，体积的单位用米<sup>3</sup>，则密度的单位是“千克/米<sup>3</sup>”。如果质量的单位用克、体积单位用厘米<sup>3</sup>，则密度的单位是“克/厘米<sup>3</sup>”。这两种单位间的关系是：

1 克/厘米<sup>3</sup> = 1000 千克/米<sup>3</sup>。

密度是物质的一种特性，每种物质都有一定的密度。在通常情况下物质的密度只与该物质的种类有关，而与该物质组成的物体的质量、体积无关。

在运用密度公式时，须注意：

1. 不能把  $\rho = \frac{m}{V}$  理解为“某物质的密度与其质量成正比，与其体积成反比”。
2.  $\rho$ 、 $m$ 、 $V$  必须是同一物体的三个物理量，计算时一定要在同一单位制中选取它们的单位。
3. 要会进行单位换算。

**用例一** 根据密度公式  $\rho = \frac{m}{V}$ ，可以计算出各种物质的密度。

**题 1** 20 升煤油的质量为 16 千克，求煤油的密度。

题目中已告诉我们煤油的体积和质量，只要我们把煤油的体积 20 升换算为 0.02 米<sup>3</sup>，使它们的单位统一，就可以代入公式算出煤油的密度是  $0.8 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>。

根据这个道理，科学工作者将常用的物质密度计算出来，排成密度表供我们查用，大大方便了我们的学习和工作。

**用例二** 由密度公式变形可得  $m = \rho V$ ，用来计算不能直接测量的物体的质量。

**题 2** 天安门广场上人民英雄纪念碑是用花岗岩砌成的，碑高 14.7 米、宽 2.9 米、厚 1 米，查得花岗岩的密度是  $2.7 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>，则碑的质量是多少吨？

巨大的人民英雄纪念碑是无法直接称量出它的质量的，但可以对它的长、宽、厚进行长度测量，根据体积公式算出碑的体积为 42.63 米<sup>3</sup>。再将体积和密度的数值代入公式  $m = \rho V$  中，就可算出碑的质量为 115101 千

克，约合 115.1 吨。

用例三 由密度公式变形可得  $V = \frac{m}{\rho}$ ，用来计算不能直接测量的物体的体积。

题 3 一空瓶的质量为 100 克，装满水后，水与瓶的质量共为 250 克，求瓶的容积。

解答本题时，首先应明确：瓶子装满水后其中水的体积等于瓶的容积，求出水的体积，就得到瓶的容积。其次，本题中质量单位取“克”，则密度单位取“克/厘米<sup>3</sup>”，体积单位取“厘米<sup>3</sup>”，计算较为方便。

据题意，水的质量  $m_{\text{水}} = 250\text{克} - 100\text{克} = 150\text{克}$ ，水的密度为 1 克/厘米<sup>3</sup>（应熟记的），代入公式  $V_{\text{水}} = \frac{m_{\text{水}}}{\rho_{\text{水}}}$ ，得  $V_{\text{水}} = 150\text{厘米}^3$ 。所以，瓶的容积为 150 厘米<sup>3</sup>。

用例四 由于密度是物质的一种特性，根据这一特性可以鉴别物质。

要鉴别某物体是由什么物质做成的，只要测出某物体的质量和体积，代入密度公式计算出它的密度，再与密度表中各物质的密度相比较，就可知道这个物体可能是什么物质做成的了。科学家阿基米德在鉴别王冠是否是纯金制成的过程中，就应用了密度这个概念。

题 4 有一件金制的工艺品，测得其重是 0.931 牛，体积是 6 厘米<sup>3</sup>，问此工艺品是不是纯金的？

本题可根据  $G = mg$ ， $m = \frac{G}{g}$  求出工艺品的质量为  $9.5 \times 10^{-2}$  千克，将质

量和体积代入密度公式  $\rho = \frac{m}{V}$ ，求出工艺品的密度为  $15.8 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>

它小于纯金的密度  $19.3 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>（查表得），故这个工艺品不是纯金做成的。

也可假设此工艺品为纯金做成的，用纯金的密度计算出 6 厘米<sup>3</sup> 纯金工艺品的质量，应为  $11.58 \times 10^{-2}$  千克。它大于已知的工艺品质量  $9.5 \times 10^{-2}$  千克，故此工艺品不是纯金做成的。

或者，用纯金的密度计算出质量  $9.5 \times 10^{-2}$  千克纯金工艺品的体积，应为  $4.92 \times 10^{-6}$  米<sup>3</sup> = 4.92 厘米<sup>3</sup>。它小于已知的工艺品的体积 6 厘米<sup>3</sup>，故此工艺品不是纯金做成的。

用例五 根据物质的密度，可判断物体是空心还是实心的。

题 5 有一只铜球，体积是 60 厘米<sup>3</sup>，质量是 380 克，这个铜球是空心的还是实心的？

首先从密度表中查得铜的密度为 8.9 克/厘米<sup>3</sup>，然后运用与题 4 相同的比较法进行判断。

假设铜球是实心的，那么 60 厘米<sup>3</sup> 的铜球其质量是  $m_{\text{实}} = \rho_{\text{铜}} \times V_{\text{实}} = 8.9 \text{克/厘米}^3 \times 60 \text{厘米}^3 = 534 \text{克}$ ，它大于题中给出的铜球质量 380 克，故此铜球是空心球。

此外，还可以用质量不变，比较体积的方法或根据题目中给出的条件算出铜球现在密度与铜的密度相比较的方法来判断。

\*用例六 由密度概念可计算出两种金属所铸成的合金中，这两种金属的质量。

题6 有一个用铅和铁的合金铸成的实心球，球的质量是2700克，球的体积是300厘米<sup>3</sup>。问球含铅和铁各是多少克( 铅=11.3×10<sup>3</sup>千克/米<sup>3</sup>、铁=7.8×10<sup>3</sup>千克/米<sup>3</sup>)？

设球含铅的质量为 $m_{\text{铅}}$ ，其体积为 $V_{\text{铅}}$ ；含铁的质量为 $m_{\text{铁}}$ ，其体积为 $V_{\text{铁}}$ 。按照题意有：

$$m_{\text{球}} = m_{\text{铅}} + m_{\text{铁}},$$

$$V_{\text{球}} = V_{\text{铅}} + V_{\text{铁}};$$

因为 $V_{\text{铅}} = \frac{m_{\text{铅}}}{\rho_{\text{铅}}}$ ， $V_{\text{铁}} = \frac{m_{\text{铁}}}{\rho_{\text{铁}}}$ ，代入 式得

$$V_{\text{球}} = \frac{m_{\text{铅}}}{\rho_{\text{铅}}} + \frac{m_{\text{铁}}}{\rho_{\text{铁}}};$$

由 式得 $m_{\text{铁}} = m_{\text{球}} - m_{\text{铅}}$ ，代入 式得

$$V_{\text{球}} = \frac{m_{\text{铅}}}{\rho_{\text{铅}}} + \frac{m_{\text{球}} - m_{\text{铅}}}{\rho_{\text{铁}}}.$$

将 式中各已知物理量的单位统一起来，代进去，解方程即可得：合金球含铅1130克，含铁1560克。

用例七 从液体内部压强公式 $P = \rho gh$ 中看出密度是判断和计算液体内部压强的重要物理量之一。

题7 如图1-19所示，相同的容器A、B、C内分别装有盐水、水、酒精三种不同液体，液面高度相同。容器底受到的压强大小是

( )

A.  $P_A > P_B > P_C$

B.  $P_A = P_B = P_C$

C.  $P_A < P_B < P_C$

D.  $P_B > P_A > P_C$

根据液体内部压强公式 $P = \rho gh$ ，容器底受到的压强大小与液体的密度和深度有关( $g$ 为常量)。由题意可知，三种容器中的液体深度相同，则容器底受到的压强只与它们所盛液体密度有关，因为 盐水 > 水 > 酒精，所以， $P_A > P_B > P_C$ ，本题应选A。

题8 一根两端开口的玻璃管，在下端附一塑料薄片(质量不计)，竖直压入水下25厘米深处(如图1-20所示)，如果在管中缓慢地注入酒精，当塑料薄片恰好脱落时，酒精柱的高度是多少( 酒精=0.8×10<sup>3</sup>千克/米<sup>3</sup>)？

据题意，在未注入酒精前，塑料薄片因受水在25厘米深处向上的压强，而紧贴在玻璃管口上。当向管中注入酒精时，塑料薄片同时又受到酒精的向下的压强。当酒精达到某一高度，所产生的压强与水对薄片的压强相等时，薄片由于自身的重力脱落下来。由于

$$P_{\text{水}} = \rho_{\text{水}} gh_{\text{水}}, P_{\text{酒精}} = \rho_{\text{酒精}} gh_{\text{酒精}},$$

而  $P_{\text{水}} = P_{\text{酒精}}$  ,

$$\text{所以 } \rho_{\text{水}} g h_{\text{水}} = \rho_{\text{酒精}} g h_{\text{酒精}} , h_{\text{酒精}} = \frac{\rho_{\text{水}}}{\rho_{\text{酒精}}} h_{\text{水}} ,$$

代入数据得,  $h_{\text{酒精}} = 31.25$  厘米, 即酒精的高度为 31.25 厘米。

**用例八** 据阿基米德原理的数学表达式  $F_{\text{浮}} = \rho_{\text{液}} g V_{\text{排}}$  可知, 密度是判断和计算浮力大小的重要物理量之一。

**题 9** 把静止在纯水中的实心冰块移到海水中静止时 (在纯水或海水中均不熔化), 它浸在海水中的体积是增大还是减小了?

查密度表可知,  $\rho_{\text{冰}} < \rho_{\text{水}} < \rho_{\text{海水}}$ , 所以冰块在纯水或海水中均呈漂浮状态, 且在纯水或海水中受到的浮力均等于冰块的重力, 根据阿基米德原理  $F_{\text{浮}} = \rho_{\text{液}} g V_{\text{排}}$ , 不同密度的液体要对同一漂浮物体的浮力保持相等, 只有靠改变物体浸在液体中的体积大小来实现。  $\rho_{\text{液}} \text{大则 } V_{\text{排}} \text{小}$ , 所以冰块移到海水后, 浸在海水中的体积要减小。

**题 10** 把体积是  $0.3 \times 10^{-3} \text{米}^3$ 、密度是  $0.6 \times 10^3 \text{千克/米}^3$  的物体投入水中, 当它露出水面的体积是  $0.05 \times 10^{-3} \text{米}^3$  时, 它是处于上浮、下沉的过程还是漂浮在水面上不动?

要判断此时物体的运动状态, 必须求出它的重力及此时所受的水的浮力, 比较重力和浮力的大小, 就可以进行判断了。如果浮力大于重力, 物体处于上浮的过程; 如果浮力等于重力, 物体漂浮在水面上不动; 如果浮力小于重力, 物体处于下沉的过程。

据题意, 物体重

$$\begin{aligned} G_{\text{物}} &= \rho_{\text{物}} g V_{\text{物}} \\ &= 0.6 \times 10^3 \text{千克/米}^3 \times 9.8 \text{牛顿/千克} \times 0.3 \times 10^{-3} \text{米}^3 \\ &= 1.764 \text{牛顿} . \end{aligned}$$

物体有部分露出水面时所受到的浮力

$$\begin{aligned} F_{\text{浮}} &= \rho_{\text{水}} g V_{\text{排}} = \rho_{\text{水}} g (V_{\text{物}} - V_{\text{露}}) \\ &= 1.0 \times 10^3 \text{千克/米}^3 \times 9.8 \text{牛顿/千克} \\ &\quad \times (0.3 \times 10^{-3} - 0.05 \times 10^{-3}) \text{米}^3 \\ &= 2.45 \text{牛顿} . \end{aligned}$$

因为  $F_{\text{浮}} > G_{\text{物}}$ , 所以物体处于上浮过程。

**【密度表】** 将科学家们测出的各种物质的密度编制成的表格, 称之为密度表。

按物质的状态分类, 密度表一般可分为: 固体物质密度表、液体物质密度表和气体物质密度表。各表格中的物质密度又是按密度的大小, 由大到小或由小到大的顺序排列的。

下面所列的就是部分物质的密度表。

( 1 ) 部分固体物质的密度 ( 常温下 )

物质名称	密度 ( 千克/米 <sup>3</sup> )	物质名称	密度 ( 千克/米 <sup>3</sup> )
钨	$22.5 \times 10^3$	大理石	$( 2.5 \sim 2.8 ) \times 10^3$
铂	$21.4 \times 10^3$	石膏	$2.3 \times 10^3$
钨	$19.3 \times 10^3$	食盐	$( 2.1 \sim 2.2 ) \times 10^3$
金	$19.3 \times 10^3$	混凝土	$( 1.8 \sim 2.4 ) \times 10^3$
铅	$11.3 \times 10^3$	干砂	$1.5 \times 10^3$
银	$10.5 \times 10^3$	砖	$( 1.4 \sim 2.2 ) \times 10^3$
铜	$8.9 \times 10^3$	有机玻璃	$1.18 \times 10^3$
铁、钢	$7.8 \times 10^3$	萘	$1.17 \times 10^3$
锌	$7.1 \times 10^3$	沥青	$( 1.1 \sim 1.5 ) \times 10^3$
锆	$5.5 \times 10^3$	松香	$1.07 \times 10^3$
碘	$4.9 \times 10^3$	冰 ( 0 及以下 )	$( 0.88 \sim 0.9 ) \times 10^3$
金刚石	$3.5 \times 10^3$	石蜡	$0.9 \times 10^3$
铝	$2.7 \times 10^3$	干松木	$0.5 \times 10^3$
硼	$2.53 \times 10^3$	软木	$( 0.22 \sim 0.26 ) \times 10^3$

( 2 ) 部分液体物质的密度 ( 常温下 )

物质名称	密度 ( 千克/米 <sup>3</sup> )	物质名称	密度 ( 千克/米 <sup>3</sup> )
水银	$13.6 \times 10^3$	海水	$1.03 \times 10^3$
硫酸	$1.8 \times 10^3$	纯水 ( 4 )	$1.0 \times 10^3$
蜂蜜	$( 1.4 \sim 1.45 ) \times 10^3$	蓖麻油	$0.97 \times 10^3$
		橄榄油	$0.92 \times 10^3$
无水甘油	$1.26 \times 10^3$	苯	$0.88 \times 10^3$
牛奶	$1.03 \times 10^3$	柴油	$0.85 \times 10^3$
煤油	$0.8 \times 10^3$	乙醚	$0.71 \times 10^3$
酒精	$0.8 \times 10^3$	汽油	$0.7 \times 10^3$
丙酮	$0.79 \times 10^3$	植物油	$0.9 \times 10^3$
石油	$( 0.75 \sim 1 ) \times 10^3$		

( 3 ) 部分气体物质的密度表 ( 0 , 在标准大气压下 )

物质名称	密度 ( 千克/米 <sup>3</sup> )	物质名称	密度 ( 千克/米 <sup>3</sup> )
氢	9.73	空气	1.29
氯	3.21	氮气	1.25
臭氧	2.14	一氧化碳	1.25
二氧化碳	1.98	氖气	0.90
氧	1.43	氦气	0.18
乙烷	1.36	氢气	0.09

密度表反映出，每种物质都有一定的密度，不同物质的密度一般是不同的，密度是物质的一种特性。

密度表还反映出，每种物质都有一定的密度，而不是唯一的密度。如水和冰，它们的化学成分都为  $H_2O$ ，是化学成分相同的物质，即同种物质，但它们的密度是不相同的，这是因为它们所处的物理状态不同。又如同为液态的水，在  $0^\circ C$  时密度为  $0.99987 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>，在  $20^\circ C$  时密度为  $0.9982 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>；在  $100^\circ C$  时密度为  $0.9584 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>。这说明温度对物质的密度大小是有影响的。

某种物质组成的物体，它的质量是不随温度、状态的改变而变化的，但它的体积却因为“热胀冷缩”的原因，随温度、状态的变化而改变，据密度计算式  $\rho = \frac{m}{V}$  可知，体积改变就会引起物质密度的变化。这说明物质的密度不仅与物质的种类有关，还与该物质的温度、状态有关。课本上为了降低初学密度这一概念的难度，只讲了密度与物质的种类有关，没有讲还与什么有关。我们对“每种物质都有一定的密度”这句话，不能理解为“每种物质只有一种密度”。

物理学上建立的每个概念或得出的每一结论，都有一定的条件和适用范围，若不符合形成条件或超出适用范围，这个概念或结论就不再正确。上面密度表上注有“常温下”或“ $0^\circ C$ ，在标准大气压下”等条件就是这个缘故。

由于处于同一状态的物质的密度随温度变化而改变的大小不是很大，在要求不高的情况下，一般均取常温下的物质密度代表处于这个状态的物质密度。

**【用天平和量筒测物质的密度】** 根据密度定义的数学表达式

$\rho = \frac{m}{V}$ ，要测出物体的密度，一般需要测出物体的质量和体积。质量可以用天平测出，形状规则的物体，如长方体，可量出它的长、宽、高，算出它的体积；形状不规则的物体和液体的体积，则可用量筒或量杯来测量。

使用量筒或量杯时应注意：

1. 弄清量筒或量杯的最大刻度是多少，每一格代表多少厘米<sup>3</sup>（毫升）。
2. 读数时视线要与液面相平。
3. 若液面是凹形的，则以凹形底部为准；若液面是凸形的，则以凸形顶部为准（如图 1-21 所示）。

**实验目的** 用天平和量筒测物质的密度。

**实验器材** 天平和砝码，量筒或量杯，形状不规则的石块，玻璃杯，水，盐水，细线，蜡块，细针。

**实验步骤** 1. 用天平和量筒测石块的密度。

- (1) 用天平称出石块的质量  $m_{石}$ ；
- (2) 在量筒内放入适量水，并读出水的体积  $V_{水}$ ；
- (3) 把石块用细线拴好轻轻放入盛有水的量筒内，读出水 and 石块的总体积  $V_{总}$ ；
- (4) 根据  $V_{总} = V_{水} + V_{石}$ ， $V_{石} = V_{总} - V_{水}$ ，算出石块的体积  $V_{石}$ ；

(5) 根据  $\rho_{\text{石}} = \frac{m_{\text{石}}}{V_{\text{石}}}$  公式算出石块的密度。

以上步骤中测得的数据和计算结果，可按下列形式记录下来。

石块的质量  $m_{\text{石}}$ ：\_\_\_\_\_；

石块放入前水的体积  $V_{\text{水}}$ ：\_\_\_\_\_；

石块和水的总体积  $V_{\text{总}}$ ：\_\_\_\_\_；

石块的体积  $V_{\text{石}}$ ：\_\_\_\_\_；

石块的密度  $\rho_{\text{石}}$ ：\_\_\_\_\_。

也可用课本上列表的方式记录下来，再算出石块的密度。

2. 用天平和量筒测盐水的密度。

(1) 用天平称出盛有盐水的玻璃杯的总质量  $m_1$ ；

(2) 把玻璃杯中的盐水倒入量筒中一部分，并读出量筒中盐水的体积  $V$ ；

(3) 用天平称出玻璃杯和剩余盐水的质量  $m_2$ ；

(4) 根据  $m = m_1 - m_2$ ，算出量筒中盐水的质量  $m$ ；

(5) 根据  $\rho = \frac{m}{V}$ ，计算出盐水的密度。

以上步骤中测得的数据记录和计算结果的方法可参照测石块密度的形式自行设计。

3. 用天平和量筒测蜡块密度。

用天平和量筒测蜡块密度的方法和步骤基本上与测石块密度的方法步骤相同。所不同的是蜡块不沉入水中，无法用量筒直接测出体积，必须设法使它全部浸没水中，才能测出它的体积，常用的方法有两种：

(1) 针压法。

用一细针刺入蜡块，将它浸没水中，观察水面上升的刻度，测出蜡块的体积。由于细针体积很小可忽略不计。这种方法对坚硬的物体不适用，因为细针不能刺入坚硬的物体，用力时物体会在水中滑动而不易浸入水中。

(2) 重物法。

将蜡块与一重物用细线拴在一起，如图 1-22 所示。手提蜡块上端的线头，先将重物浸在量筒内的水中，记下水面上升到刻度数据，再把蜡块也放入水中，待重物将蜡块全部拉入水中后，记下水面上升到刻度数，用这时的刻度数减去上次的刻度数即为蜡块的体积。

除了用天平和量筒（量杯）测物体密度的方法外，还有许多测物体密度的方法，这些方法可以在“液体内部压强”、“大气压”、“阿基米德原理”等辞条的用例中找到。

**【压力】** 垂直作用在物体表面上的力叫做压力。相互接触的两个物体，当发生挤压作用时，在接触面之间存在着压力。

要注意压力和重力的区别。压力和重力是本质不同的两种力，压力是由于物体相互接触挤压而产生的，重力则是由于地球对物体的吸引作用而产生的。有时候压力的大小等于重力的大小。例如，放在水平面上的物体，物体对水平面的压力大小就等于该物体的重力大小，但压力的大小不是在

任何情况下都等于物体重力的大小的，例如，物体放在斜面上，物体对斜面的压力大小就不等于物体重力的大小而小于物体的重力大小。

【压强】 物体单位面积上受到的压力叫做压强。用字母 P 表示压强，用字母 F 表示压力，用字母 S 表示受力面积，则：

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

在国际单位制中，压强的主单位是帕斯卡，简称帕，1 帕斯卡=1 牛顿/米<sup>2</sup>。即当力 F 取牛顿为单位，面积 S 取米<sup>2</sup>为单位，压强单位即为帕斯卡。

压强概念的引入是为了说明压力作用的效果。上述公式说明，压力作用的效果除了与压力大小有关，还与受力面积大小有关，即压力作用的效果是由压强来决定的。

上述公式还说明，在需要增大压强的时候，可以采用减小受力面积或增大压力的方法，在需要减小压强的时候，可以采用增大受力面积或减小压力的方法。

用例一 注意压力和压强的区别。

题 1 一块砖平放、侧放、竖放在水平地面上（见图 1-23），对地面的压力与压强分别为  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ ； $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ ，则（ ）

A .  $F_1 > F_2 > F_3$  ,  $p_1 > p_2 > p_3$

B .  $F_1 < F_2 < F_3$  ,  $p_1 = p_2 = p_3$

C .  $F_1 = F_2 = F_3$  ,  $p_1 < p_2 < p_3$

D .  $F_1 = F_2 = F_3$  ,  $p_1 = p_2 = p_3$

因为三种情况下的压力大小都等于砖的重力的大小，所以  $F_1 = F_2 = F_3$ ，又因为平放时受力面积最大，竖放时受力面积最小，所以压强关系满足  $p_1 < p_2 < p_3$  故该题应选 C。

题 2 若上题中的砖块长 24 厘米，宽 11 厘米，高 5 厘米，重 22 牛顿，则侧放时，它对地面的压强是多少？若平放，在它上面再叠放一块相同的砖，这时砖块对地面的压强又是多少？

当砖侧放时，压力  $F_1 = G = 22$  牛，

$$\text{受力面积 } S_1 = 24 \text{ 厘米} \times 5 \text{ 厘米} = 120 \text{ 厘米}^2$$

$$= 0.012 \text{ 米}^2$$

$$\text{所以 } p_1 = F_1 / S_1 = 22 \text{ 牛} / 0.012 \text{ 米}^2$$

$$= 1833.3 \text{ 牛} / \text{米}^2$$

$$= 1.833 \times 10^3 \text{ 帕斯卡} .$$

当砖平放，并叠放另一块相同的砖时，压力

$$F_2 = 2G = 22 \text{ 牛} \times 2 = 44 \text{ 牛} ,$$

$$\text{受力面积 } S_2 = 24 \text{ 厘米} \times 11 \text{ 厘米} = 264 \text{ 厘米}^2$$

$$= 2.64 \times 10^{-2} \text{ 米}^2 ,$$

$$P_2 = F_2 / S_2 = 44 \text{ 牛} / 2.64 \times 10^{-2} \text{ 米}^2$$

$$= 1.667 \times 10^3 \text{ 帕斯卡} .$$

通过此题我们看出，当砖对地面的压力增大时，其对地面的压强却减小了，原因是受力面积增大了。

用例二 改变压强的方法。

题 3 有一正方形匀质铁块放在水平桌面上，若沿虚线 a 切掉右半部，如图 1-24 所示，其余部分不动，则铁块对桌面的压力和压强如何改变？

( )

- A. 压强减半，压力不变
- B. 压力减半，压强不变
- C. 压力、压强都减半
- D. 压力、压强都不变

在此情况下，压力的大小是等于重力的大小的。现去掉右半部，即重力减半，故压力亦减半，在压力减半的同时，受力面积亦减半，故压强不变，应选 B。

题 4 在上题中，若沿虚线 b 切掉上面的一半，则铁块对桌面的压力和压强如何变化？

此时压力仍然减半，然而因其受力面积不变，所以压强减半。

题 5 一堵砖墙对地面的压强为  $3.5 \times 10^4$  帕斯卡，在这堵墙的长度、宽度、高度三个量中，哪个量增大时，墙对地面的压强将增大？

根据压强公式  $p = \frac{F}{S}$ ，首先应考虑地面受到的压力。这堵墙的长、

宽、高三个量中任意一个量增大时，墙的体积、墙受到的重力和墙对地面的压力都将增大。其次考虑受力面积，如果墙的长度或宽度增大时，则墙与地面的接触面积也增大，只有高度增加时，墙与地面的接触面积不变。综合起来，当长度或宽度增大到原来的多少倍时，压力便增大到多少倍，面积也增大到多少倍，即  $\frac{F}{S} = \frac{F'}{S'}$ ，所以压强不变。只有当墙的高度增加

时，由于墙对地面的压力增加，而受力面积不变，所以墙对地面的压强将增大。所以此题的结论是：只有高度增大时，墙对地面的压强增大。

【液体内部的压强】 液体的压强是由于液体的重力产生的。其规律是：液体内部向各个方向都有压强；深度增加，压强也随着增大；在同一深度，液体向各个方向的压强相等。不同的液体的压强还与液体密度有关。计算液体压强的公式是：

$$p = \rho gh .$$

其中  $\rho$  为液体的密度，h 为液体的深度，p 为液体的压强， $g=9.8$  牛/千克。

使用这个公式时应该注意以下几点：

1. 式中的 h 是指从液体中的被测点到液面的竖直距离。
2. 公式中的各量一定要采用国际单位制中的单位，即 h—米， $\rho$ —千克/米<sup>3</sup>，P—帕斯卡。
3. 液体的压强只跟液体的密度和深度有关，而跟液体的重力和体积等无关。

用例一 液体的压强由深度和液体的密度决定。

题 1 两个相同的圆柱形容器中，装有同样多（即体积相同）的酒精和水银，问容器底受到的压强是否相同？说明理由。

因为容器相同，所以深度也相同，而  $p = \rho gh$ ，故对容器底部的压强就只取决于液体的密度，而水银的密度（ $13.6 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>）比酒精（ $0.8$

$\times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>) 大, 所以水银对容器底部的压强也大。

题 2 静止的液体内部的压强  $P=pgh$ , 如图 1-25 所示, 计算 A 点的压强时, 其深度  $h$  应该是 ( )

- A. 1 厘米
- B. 1.2 厘米
- C. 2 厘米
- D. 3 厘米

压强公式中的  $h$  是指液体中某点到液面的竖直高度所以本题中的  $h=1$  厘米, 故应选 A。

用例二 通过液体的压强计算压力。

题 3 如图 1-26 所示, 在边长为  $a=20$  厘米的箱子盖上, 开一个小孔, 插上一支竖直的管子, 管子高出箱盖  $h=50$  厘米, 现将箱子装满水直至管口, 求:

- (1) 箱盖所受的水的压强;
- (2) 箱底所受的水的压强;
- (3) 箱底所受的水的压力。

箱盖所受的压强为  $p_1=pgh=1 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>  $\times 9.8$  牛/千克  $\times 0.5$  米  $=4.9 \times 10^3$  帕斯卡;

箱底所受的压强  $p_2=pg(h+a)$

$$\begin{aligned} &=1 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} \\ &\quad \times (0.5+0.2) \text{ 米} \\ &=6.86 \times 10^3 \text{ 帕斯卡;} \end{aligned}$$

箱底所受的压力  $F=p_2S$

$$\begin{aligned} &=6.86 \times 10^3 \text{ 帕斯卡} \times (0.2 \text{ 米})^2 \\ &=2.74 \times 10^2 \text{ 牛。} \end{aligned}$$

题 4 如图 1-27 所示, 三个不同形状的容器 A、B 和 C, 底面积都等于  $S$ , 各装相同液体到相同高度  $h$ , 试比较它们的底部所受到液体的压强、压力和所装液体的重力。

首先, 因为三种情形下的深度相同, 即  $h_A=h_B=h_C=h$ , 因此  $p_A=p_B=p_C=p$ , 所以三种情形下容器底部的压强相同。

其次, A、B、C 三个容器的底面积相同, 即  $S_A=S_B=S_C=S$ , 因为  $F=pS$ , 所以底部所受的压力也相同。

最后, 从外形上可以看出, 容器的容积  $V_B > V_A > V_C$ , 即水的质量也  $m_B > m_A > m_C$ , 所以, 所盛液体的重力关系为:

$$G_B > G_A > G_C .$$

**【研究液体内部压强跟深度的关系】** 实验目的研究液体内部的压强跟深度的关系。

**实验器材** 天平, 平底玻璃管, 烧杯(内装适量的水), 细砂, 三角板, 刻度尺, 角匙。

**实验步骤** 1. 用刻度尺量出玻璃管的高度, 用刻度尺和三角板量出管的外径, 算出管底的面积。

2. 用角匙将少量的细砂装入玻璃管中, 设法使管竖直地浮在烧杯内的

水中。用刻度尺量出玻璃管顶部到水面的距离（如图 1-28 所示），用管的高度减去这个距离得到浸入水中的管的深度  $h$ 。

3. 从水中取出玻璃管，擦干后用天平称出玻璃管和沙的质量，算出它们的重力，根据二力平衡原理，水对管底的压力大小等于管和砂的重力。

4. 向玻璃管中再加一些砂，做第二次；再向管内加一些砂，做第三次。

5. 利用三次实验依次求得三个压力及管的底面积，算出水对管底的三个压强。

6. 对三次实验的结果进行比较，看一看液体的压强与深度是什么关系，结论应是液体的压强与深度成正比。

**【连通器】** 上端开口，底部相互连通的容器叫连通器。如果连通器里盛有同一种液体，在液体不流动的情况下，不管连通器的形状怎样，各液面总是相平的。如果装有两种液体，在液体不流动的情况下，连通器的液面不相平，密度小的液体液面高。

**用例一** 利用连通器的原理制造船闸。

为了利用河水灌溉或推动水力发电机发电，常常需要在河流上修建拦河坝来提高水位。但是，拦河坝的修建却隔断了河流，影响了船只的航运。为了保持航运的通畅，人们利用了连通器的原理，在拦河坝旁边修建了船闸。

船闸是从河中隔离出来的供船只通过的通道。船闸的构造和船只通过的过程如图 1-29（甲）所示。

当船到达上游阀门时，阀门 A 打开，水从上游流进闸室。直到闸室中水面与上游水面相平时，打开闸门 C，船驶入闸室。这时关闭阀门 A 和闸门 C，打开阀门 B，水从闸室流向下流，直到闸室水面与下游水面相平时，闸门 D 打开，船驶往下游。

船由下游驶往上游时，步骤与上述过程相反。

**用例二** 利用连通器的原理，制造锅炉水位计，修建过路涵洞。

锅炉里的水位要保持一定的高度，水位过低，锅炉有爆炸的危险。为了能随时了解锅炉内的水位，在锅炉上装有水位计。水位计与锅炉构成了一个连通器，如图 1-29（乙）左图所示。

当水渠流经公路时，为了不破坏公路、影响交通，常用的方法是修建过路涵洞，让水从公路下面流过再翻到面上来，如图 1-29（乙）右图所示。过路涵洞就是一个连通器。

连通器原理的应用是非常广泛的，除上述两例外，日常生活中的茶壶、喷水壶等也是利用了连通器的原理，此原理还可用来解释喷泉等现象。

**用例三** 根据连通器的原理，运用液体压强公式  $p = \rho gh$  计算出液体的密度。

**题 1** 在 U 型管中装入两种不相溶的液体水和油（ $\rho_{油} < \rho_{水}$ ），当它们静止时，如图 1-30 所示。已知左管中油柱高  $h_1 = 10$  厘米，右管中水面比左管中油面低 2 厘米，求油的密度。

要解决这个问题，首先要选择一个理想的水平面。本题通过油和水的交界面作一水平面 AB，根据连通器的道理，水平面 AB 以上部分中两管压强应相等。即

$$\rho_{油} g h_1 = \rho_{水} g h_2,$$

$$\text{所以 } \rho_{\text{油}} = \frac{h_2}{h_1} \cdot \rho_{\text{水}}$$

因为  $h_1=10$  厘米,  $h_2=h_1-2$  厘米 $=8$  厘米,

$$\text{所以 } \rho_{\text{油}} = \frac{8\text{厘米}}{10\text{厘米}} \times 1.0 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3 = 0.8 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3。$$

**【大气的压强】** 由于空气受到地球的重力作用,而且空气又是能流动的,因此空气也像液体那样,在空气内部向各方向都有压强,大气对浸在它里面的物体的压强叫做大气压强,又称大气压或气压。

1654年5月8日法国马德堡市市长奥托·格里克所做的著名的马德堡半球实验,有力地证明了大气压强的存在。

地面附近大气压的值,已于1644年意大利科学家托里拆利通过实验测得,它相当于760毫米高水银柱所产生的压强。根据液体内部压强公式  $p = \rho gh$ ,水银的密度为  $13.6$  克/厘米<sup>3</sup>,将有关数据代入公式计算,结果是  $p = 1.01 \times 10^5$  帕斯卡(牛顿/米<sup>2</sup>),即760毫米高水银柱所产生的压强为  $1.01 \times 10^5$  帕斯卡。由此可知表示大气压强值的单位有两种,一种是国际单位制“帕斯卡”(或牛顿/米<sup>2</sup>);第二种是常用单位“毫米高水银柱”。

大气压强在我们的生活、生产中得到了广泛的应用。

**用例一** 用大气压来解释日常生活中的现象。

**题1** 塑料挂衣钩为什么能紧紧地吸在光滑的墙上(如图1-31所示)?

塑料挂衣钩上有一个凸形的软塑料圆盘,又叫塑料吸盘。当塑料挂衣钩紧贴在光滑墙上的过程中,塑料吸盘和墙壁之间的空气被挤压出去大部分,因而使它们之间大气压强减小,大大小于外界的大气压强,从而使塑料圆盘受到较大的压力使它紧贴在墙上,由于塑料圆盘和墙之间的摩擦力的作用,塑料挂衣钩就被“吸”牢在墙上而不会掉下来。

如果挤压塑料圆盘的力越大,塑料圆盘和墙之间被挤出的空气越多,塑料圆盘受到的压强越大,从而塑料圆盘与墙之间的摩擦力就越大,挂钩上挂的重物就可以多一些,“吸”在墙上的时间就长一些。反之,挂的重物少一些,且容易掉下来。

如果墙壁不是光滑的,塑料圆盘与墙之间容易漏进空气,那么塑料挂衣钩就容易掉下来或无法使用。

**题2** 用玻璃管可以把瓶子中的水吸到嘴里(图1-32甲),这是为什么?如果把玻璃管通过塞得很紧的橡皮塞插入盛满水的瓶子里(图1-32乙),再用嘴吸玻璃管,还能把水吸上来吗?

图1-32甲中玻璃管外的水面与外界大气相通,当用嘴吸玻璃管时,吸走了玻璃管中的空气,管内空气压强减小,小于外界大气压强;因此瓶中的水就在管外大气压的作用下,通过玻璃管进入嘴里。

与图1-32甲相比,图1-32乙中瓶口用橡皮塞塞得很紧,瓶中玻璃管外的水面与外界大气是不相通的。当用嘴吸玻璃管时,瓶中管外的水不受外界大气压的作用,所以无论怎样用力吸,都不能把水吸上来。

**用例二** 虹吸现象的产生和利用。

**题3** 家庭中为金鱼缸换水时,常常是拿一根装满水的塑料软管,把它的一端放在金鱼缸A里,另一端放在低于金鱼缸的接水盆B里,这时金鱼缸里的水就源源不断地通过塑料软管流到接水盆里(如图1-33),这是

为什么？

这一现象物理学上叫做虹吸现象，这根管子叫做虹吸管。

虹吸现象是由于大气压的作用而产生的。

设在塑料软管最高处有一小液片 CD，则 CD 受到向左的压强为  $p_1$ ，受到向右的压强为  $p_2$ ，大气压强为  $p_0$ 。

$$\text{由于 } p_1 = p_0 - \rho g h_1$$

$$p_2 = p_0 - \rho g h_2$$

比较 和 式，因为  $h_1 > h_2$ ，所以  $p_2 > p_1$ 。故鱼缸内的水能通过塑料软管流到接水盆，形成虹吸现象。

产生虹吸现象是有条件的，第一，虹吸管内一定要灌满水，不能有空气，否则水吸不出来。第二，虹吸管的出水口一定要低于鱼缸内的水位，否则也吸不出水来。如果接水盆内有水，且接水盆内的水位高于鱼缸内的水位，则水将反过来从接水盆流到鱼缸内。

虹吸现象在工农业生产上有着非常广泛的应用。

图 1-34 所示为某些工业装置中，利用虹吸管自动吸水的示意图。当容器中水面达到 AA' 线时，水就被虹吸管自动放出。图 1-35 是农业上常用的利用虹吸管引水翻山的示意图，这种方法能较方便地解决农业灌溉的问题。

**用例三 利用大气压强和液体压强，可测量液体的密度。**

**题 4** 如图 1-36 所示是一种测液体密度的装置，B 管内为待测液体，A 管内为水。把中间的橡皮管的夹子放松，从 C 管口吸出适量空气，使两边液体沿着玻璃管上升，然后把夹子夹紧，这时 A 管中水上升的高度  $h_1 = 12$  厘米，B 管中某液体上升的高度  $h_2 = 15$  厘米。求这种液体的密度。

设大气压为  $p_0$ ，管内的气体压强为  $p$ ，因管中抽出部分气体，故有  $p < p_0$ 。当两液柱静止时，A 管内的压强为  $\rho_{\text{水}} g h_1 + p$ ，且等于大气压  $p_0$ ；B 管内的压强为  $\rho_{\text{液}} g h_2 + p$ ，也等于大气压  $p_0$ ，故有：

$$\rho_{\text{水}} g h_1 + p = \rho_{\text{液}} g h_2 + p,$$

$$\rho_{\text{水}} h_1 = \rho_{\text{液}} h_2,$$

$$\rho_{\text{液}} = \frac{h_1}{h_2} \rho_{\text{水}} = \frac{12 \text{厘米}}{15 \text{厘米}} \times 1 \text{克/厘米}^3$$

$$= 0.8 \text{克/厘米}^3.$$

**【托里拆利实验】** 托里拆利是意大利物理学家，他于 1644 年用实验测出了大气压的值，后人为了纪念他，以他的名字命名他所做的实验叫做托里拆利实验。

托里拆利实验过程：在一根一端封闭的长约 1 米的玻璃管内灌满水银，用食指堵住开口端，把管子倒立地插入水银槽里（如图 1-37 甲、乙），放开食指，玻璃管中的水银面就下降，降至某一高度时不再下降，测出此时水银柱高度约为 760 毫米，这个水银柱产生的压强就等于大气压（如图 1-37 丙）。

托里拆利实验的原理：设玻璃管内有一个小液片（如图 1-38），小液片的平面与管外水银面在同一个水平面上。当水银柱不下降时，小液片处于静止状态，这时小液片受到的向下的压强  $p_1$  应等于小液片受到的向上的

压强  $p_2$  . 由于玻璃管上端是真空, 向下的压强  $p_1$  是由水银柱产生的; 又由于小液片与管外的水银面在同一水平面上, 管外的水银对小液片不产生向上的压强, 向上的压强  $p_2$  只能是大气压强通过管外的水银传递给小液片的, 故水银柱产生的压强应等于大气压.

如果把玻璃管的封闭端打开, 管内水银面也受到大气压的作用, 则由于水银柱本身的重力, 管内水银将迅速下降, 直到管内外水银面相平为止.

实验中, 如果使玻璃管倾斜一些, 管内的水银柱变长了, 而管内外水银面的竖直高度差保持不变, 仍为 760 毫米 (如图 1-39). 由此可见, 水银柱产生的压强仅与水银柱的竖直高度有关.

如果换用不同粗细、不同形状的长玻璃管进行实验, 水银柱的竖直高度仍保持在 760 毫米, 这表明水银柱产生的压强与玻璃管的粗细和形状无关.

做托里拆利实验时应注意:

1. 在向玻璃管内灌水银时, 不要带入空气, 否则实验结果将不准确 (一般要小于大气压的真实值). 若已带入空气, 可将管口向上, 用细铁丝插入, 慢慢将气泡引出, 或请老师处理.

2. 测量水银柱高度时, 要测量管内水银面和管外水银面的竖直高度差, 而不是测量水银柱的长度.

3. 水银和水银蒸气均是有毒物质, 且价格昂贵, 实验时应注意安全, 不要泼出来, 手指破了不能用来堵管口, 实验要迅速、准确, 实验完毕立即将水银倒入盛水银的容器中并将盖子盖好.

用例一 用托里拆利实验的原理解决与实验有关的问题.

题 1 能否用水来代替水银做托里拆利实验?

若用水来做托里拆利实验, 根据  $p_{\text{大气}} = \rho_{\text{水柱}} g h$ , 可以算出

$$h = \frac{p_{\text{大气}}}{\rho_{\text{水}} g} = 10.3 \text{ 米}, \text{ 则玻璃管长度要大于 } 10.3 \text{ 米}, \text{ 由此可见, 从理论上}$$

说是可以用水来代替水银的, 但实际操作是极不方便的. 一般情况下, 不用水来做托里拆利实验.

题 2 某同学在做托里拆利实验时, 测得水银柱的长度为 95 厘米, 玻璃管与竖直方

向成  $37^\circ$  角 (如图 1-40), 此时的大气压的值应是多少毫米高水银柱 ( $\sin 37^\circ = 0.6$ ,  $\cos 37^\circ = 0.8$ )? ( )

- A. 950                      B. 760  
C. 570                      D. 475

根据托里拆利实验的原理, 只有在玻璃管竖直时, 玻璃管内水银柱产生的压强才等于大气压强. 因题中玻璃管不在竖直方向, 故 95 厘米长的水银柱不表示此时的大气压, 须将其竖直方向高度算出.  $h = 95 \text{ 厘米} \times \cos 37^\circ = 76 \text{ 厘米}$ , 换算为 760 毫米, 本题应选 B.

用例二 液体压强公式  $p = \rho g h$ , 不能直接用于气体.

题 3 已知空气的密度为  $1.29 \text{ 千克} / \text{米}^3$ , 大气压强为  $1.01 \times 10^5 \text{ 帕斯卡}$ , 能否用液体压强公式  $p = \rho g h$ , 来求出大气层的高度 (厚度)?

空气由于受地球的重力作用, 在空中空气的密度分布是不均匀的, 高度越高, 空气越稀薄, 空气密度就越小 (已知条件中空气的密度是地表附

近的空气密度)。而且空气没有一定的体积和形状,也就没有一个“自由面”来确定它的高度,所以不能用液体压强公式  $p = \rho gh$  来直接计算大气层的高度。

**【大气压的变化】** 大气压强是因为空气受到地球的重力作用而产生的,离地面越高空气越稀薄,空气的密度就越小,那里的大气压强也就越小。但大气压随高度的减小是不均匀的,高度越高它随高度的增加而减小的越慢。

在海拔 2000 米以内有一个近似的规律,即可近似的认为每升高 12 米,大气压降低 133 帕斯卡或降低 1 毫米高水银柱。根据这个近似规律,如果测出了某处的大气压值,就可计算出那个地点的大致高度;如果已知某地的海拔高度,也可估算出该地的大气压的值。

除了高度能使大气压变化外,大气压的变化与天气和气候也有着密切的关系。一般地说,晴天的大气压比阴天高,冬天的大气压比夏天的高,因此测量大气压值的变化也是天气预报的重要手段之一。

由于大气压的值不是固定不变的,即使在同一地点也常常是不同的,为了便于比较和应用,通常把等于 760 毫米高水银柱的大气压叫做标准大气压。1 标准大气压等于  $1.01325 \times 10^5$  帕。在一般计算中 1 标准大气压常取  $1.01 \times 10^5$  帕,在粗略计算中也可取作  $10^5$  帕。

用来测量大气压的仪器叫做气压计。常用的气压计有两种,一种是水银气压计;另一种叫无液气压计。

水银气压计是在托里拆利实验中的玻璃管旁边固定一个刻度尺制成的,它的优点是测量结果准确,缺点是携带不方便。

无液气压计顾名思义是不用液体来测量大气压,它外表形状如图 1-41 甲所示,它内部构造如图 1-41 乙所示。主要部分是一个表面为波纹状的金属盒,盒内空气已经抽出,为使金属盒不致被大气压压扁,金属盒盖用钢质弹簧片向外拉着。大气压变化时,金属盒的厚度和弹簧片的弯曲程度随着变化,固定在弹簧片末端的连杆就通过传动机构带动指针旋转,从指针指示的刻度,就可以读出大气压的值。

若无液气压计的刻度盘上标的不是大气压的值,而是高度值,那么这个无液气压计,就成了航空、登山用的高度计。无液气压计的优点是体积小,携带方便,但准确程度较差。

大气压的变化对我们的生活、生产有重要的影响。

**用例一** 根据大气压的变化情况估测高度。

**题 1** 海平面上的大气压大约是 760 毫米高水银柱,泰山顶上的大气压大约是 533 毫米高水银柱,那么泰山的高度约是多少?

从海平面到泰山顶,大气压变化了 760 毫米高水银柱 - 533 毫米高水银柱 = 127 毫米高水银柱。根据每升高 12 米,大气压降低 1 毫米高水银柱的规律,泰山的高约为  $12 \text{ 米} \times 127 = 1524 \text{ 米}$ 。

**用例二** 利用改变气压可控制液体沸点高低的原理,解决日常生活中的问题。

**题 2** 在高山上煮鸡蛋,常常是水烧开了,鸡蛋却煮不熟,为什么?怎样才能把鸡蛋煮熟?

高山上由于气压低,水的沸点也降低;海拔 1 千米处约为  $97^\circ\text{C}$ ,3 千米处约  $91^\circ\text{C}$ ,6 千米处约  $80^\circ\text{C}$ ,世界最高峰珠穆朗玛峰上水的沸点约为  $72^\circ\text{C}$ 。

，高山上煮鸡蛋，虽然水沸腾了，但它的温度低于  $100^{\circ}\text{C}$ ，所以鸡蛋煮不熟。最好的办法是用高压锅煮，高压锅密封性好，锅内的气压可高于 1 个标准大气压，水的沸点将高于  $100^{\circ}\text{C}$ ，所以能很快地将鸡蛋煮熟。

题 3 在制药业中，提取抗菌素时，要去掉溶液中的水分，但又不允许超过  $80^{\circ}\text{C}$ ，否则抗菌素就会变质，想想看，有什么办法？

降低蒸发锅内的压强，使溶液的沸点降至  $80^{\circ}\text{C}$  以下，这样做既能使水分蒸发掉，又不会使抗菌素变质。

**【活塞式抽水机】** 抽水机又叫水泵，它是利用大气压把水从低处压到高处的。活塞式抽水机又叫吸取式抽水机，它的构造如图 1-42 所示。进水管插在井水中，圆筒内装着一个跟筒壁配合得很紧密的活塞，活塞中间和圆筒口各有一个阀门，阀门只能向上开。

活塞式抽水机的工作过程：提起活塞时，阀门 A 关闭，在大气压的作用下井水推开阀门 B 进入圆筒。压下活塞时，活塞下面的水使阀门 B 关闭，同时推开阀门 A 进入活塞上面。再次提起活塞时，阀门 A 关闭，它上面的水经出水管流出，与此同时，在大气压的作用下井水推开阀门 B 进入圆筒。活塞不断地上下运动，就不断地把水抽上来了。

活塞式抽水机构造简单，价格便宜，操作方便，易于维修。但它的出水量小，提水的高度小，效率低。所以活塞式抽水机适用于井水不太深、供水量不太大的家庭生活用水。

**【离心式水泵】** 离心式水泵通常简称离心泵，它的构造如图 1-43 所示。它的主要部分是泵壳和装在泵壳里的叶轮，叶轮由电动机或柴油机带动旋转。水泵启动前必须先往泵壳里装满水，启动后叶轮高速旋转，泵壳里的水也跟着高速旋转，同时被叶轮甩入出水管流出。水被甩出后叶轮附近压强减小，比大气压小得多，井水在大气压的作用下，推开底阀经进水管进入泵壳，叶轮不停地高速旋转，水就源源不断地被抽到高处。

离心式水泵的出水量大，提水高度高，但价格贵，需与电动机或柴油机配套使用，维修复杂，要专人使用管理。它适用于工厂用水和农业灌溉。

提水工具除了已介绍的活塞式抽水机和离心泵外，还有许多种，如靠人力、畜力的水车，靠水力的水轮泵，靠电力或柴油机动力的轴流泵、混流泵等，它们各有优缺点，选用水泵时，应从实际需要出发，考虑到财力、能源和技术力量等因素，选用最适合的一种。

\* **【气体的压强跟体积的关系】** 在温度不变时，一定质量的气体，体积越小，压强越大；体积越大，压强越小。这就是通过大量实验而得到的气体压强跟体积的关系。

在理解这个关系时，必须注意两个条件：1 温度保持不变；2 一定量的气体，即在研究过程中气体质量不变。如不满足这两个条件，这个关系就不能成立。

我们每个人的呼吸过程正体现了这种关系，吸气时，胸腔扩大，每个肺泡也扩张，整个肺容量增大，肺内气体压强减小，在大气压强的作用下，空气被压入肺中，呼气时，胸腔收缩，肺容量减小，肺内气体压强增大，大于大气压强，肺内一部分气体被排出体外。

气体的压强跟体积的关系在生活、生产实际中用途很广泛。

用例一 打气筒。

打气筒的构造如图 1-44 所示，它主要有金属筒、带向下凹的橡皮盘的

活塞构成，活塞与筒壁之间有空隙。

打气筒的工作过程：当活塞向上拉时，活塞下方体积增大，压强减小，在大气压的作用下，活塞上方的空气沿活塞与筒壁之间的间隙进入活塞下方。当活塞向下压时，活塞下方体积减小，压强增大，使橡皮盘紧抵着筒壁而使空气无法回到活塞上方，当空气压强足以顶开自行车轮胎的气门芯时，被压缩的空气就进入了轮胎。

#### 用例二 抽气机。

图 1-45 是实验室所用的简单的抽气机示意图。

它的主要构造是一个带有抽气管的底盘与一个能与底盘密封的玻璃罩，抽气管内有一个可上下移动的与管壁配合紧密的活塞，底盘内有两个分列在抽气管两侧的阀门，阀门均开向出气口。

主要工作过程：当活塞上提时，活塞下方气体体积增大，压强减小，由于大气压的作用，使阀门 A 关闭，玻璃罩内的空气推开阀门 B 进入抽气管。当活塞下压时，活塞下方气体体积减小，压强增大，使阀门 B 关闭，压缩气体的压强大于大气压时，推开阀门 A 经出气口排出。这样，活塞不断地上下运动，就把玻璃罩内大部分空气抽出去了。

#### 用例三 喷雾器。

喷雾器常用来喷洒药物，消灭害虫。图 1-46 所示是常用的背负式喷雾器示意图。

它的主要构造：由贮液筒、唧筒、空气室和喷头等部分组成。它主要工作过程：当手柄把唧筒内的活塞向上提起时，贮液筒内的药液在大气压的作用下，推开唧筒下方的玻璃球（阀门），进入唧筒内，当下压活塞时，玻璃球被活塞下方药液压紧，药液推开空气室下方的玻璃球，进入空气室。当活塞再次提起时，贮液筒内的药液又进入了唧筒，同时空气室下方的玻璃球被压紧，空气室内的药液不能回到唧筒。这样，活塞不断地上下运动，空气室内药液不断增多，使空气室内空气体积不断减小，压强不断增大，打开喷杆上的开关，药液在压缩空气的压强作用下便从喷头喷出去。

#### 用例四 利用压缩空气制动。

现代的火车、电车和公共汽车的制动（刹车）系统大多数是利用压缩空气制动的。

火车制动的主要构造和工作过程如图 1-47 所示。

主要构造：贮气筒、制动筒、压缩空气主路、活塞（含闸瓦）、制动阀、阀门等部分。

主要工作过程：当制动阀闭合时，主气路与大气不相通，压缩空气充满贮气筒、主气路、制动筒，活塞两边气压相等，活塞在弹簧的作用下位于制动筒左端，闸瓦离开车轮，车轮可以自由转动。当制动阀打开时，主气路与大气相通，主气路及制动筒中活塞右侧的气压降低至大气压，贮气筒中的压缩空气使阀门关闭，同时推动活塞向右移动，使闸瓦紧紧地卡住车轮，使车轮不能转动。

压缩空气不仅能用于制动，还能使许多机械如风镐、风钻工作，挖土机、推土机、起重机等的臂膀运动。

#### 用例五 用气体的压强跟体积的关系解释一些现象。

题 1 如图 1-48 所示，瓶内装一些水，瓶盖上有个小孔，将瓶倒置后，水为什么不会源源不断地流出？

水之所以不会源源不断地流出，是因为当少量的水流出时，水上方的空气体积增大，因而压强减小，当水面上方空气的压强加水的压强等于外界大气压时，水就不会再流出。

**【浮力】** 浸在液体中的物体受到液体的向上的托力，这个托力就叫做浮力。不仅漂在液面上的物体受到浮力，浸没在液体中的物体也受到浮力。浮力是液体对物体的作用力，方向是竖直向上的。

浮力产生的原因：

设液体中浸没一个正方体，如图 1-49 所示。正方体的六个面都受到液体对它的压强，由于前后、左右四个侧面的对应部分在液体中深度相同，所受液体压强相等，作用在前后左右四个侧面的压力大小相等，方向相反，故彼此平衡。但是，上下两个面由于深度不同，上面的压强小，下面的压强大，所以下面受到向上的压力比上面受到向下的压力要大，这样，液体对浸在液体里的物体产生了向上的托力，即浮力。浮力的大小等于向上和向下的压力差，方向总是竖直向上的。

同样道理，物体在气体中也受到浮力。

测量浮力大小的方法：

1. 用弹簧秤称量。

先用弹簧秤称出物体的物重  $G$ ，再把物体浸在液体中读出弹簧秤的示数  $G'$ ，则前后两次的示数差就是物体受到的浮力，即  $F_{浮}=G-G'$ （如图 1-50）。

2. 通过上下表面压力差计算。

先由液体压强公式  $p=\rho gh$ ，求出上下表面所受到的压强  $p_{上}$  和  $p_{下}$ ，再由压强公式  $F=pS$ ，求出上下表面的压力  $F_{上}$  和  $F_{下}$ ，根据浮力产生的原因， $F_{浮}=F_{下}-F_{上}$ ，求出浮力。

3. 用阿基米德原理的数学式计算。

根据阿基米德原理，其数学式  $F_{浮}=\rho_{液}gV_{排}$ ，只要液体的密度及物体排开液体的体积确定，就能求出浮力。

研究浮力时，应注意一个问题：当物体跟盛液体的容器的底部紧密地接触时（如图 1-51 所示），物体将不受到液体对它的浮力作用。

由于物体与容器底部紧密接触，物体底部没有液体，此时就没有液体压强作用到物体底部，因而就受不到液体对它的向上的压力，根据浮力产生的原因，不符合产生浮力的条件，故物体不受到浮力的作用。

浮力在日常生活、工农业生产及科研中的用途是相当广泛的，如密度计、船、潜水艇、气球和气艇等，详细内容请见“阿基米德原理”及“物体的浮沉条件”。

**【阿基米德原理】** 浸入液体里的物体受到向上的浮力，浮力的大小等于它所排开的液体受到的重力。这就是著名的阿基米德原理。

阿基米德原理的数学表达式为：

$$F_{浮}=G_{排液}=\rho_{液}gV_{排}$$

式中  $\rho_{液}$  表示物体所浸入的液体的密度， $V_{排}$  表示被物体排开的液体的体积。当  $\rho_{液}$  的单位取千克/米<sup>3</sup>， $V_{排}$  的单位取米<sup>3</sup>， $g$  取 9.8 牛/千克时，浮力  $F_{浮}$  的单位就是牛顿。

在运用阿基米德原理时，应注意以下四点：

1. 浮力的大小与液体的密度<sub>液</sub>有关,而与物体本身的密度无关。

2. 浮力的大小与物体排开液体的体积 $V_{排}$ 有关。一般情况下 $V_{排}$ 的大小等于物体浸入液体的那部分体积,不一定等于物体的体积 $V_{物}$ 。只有当物体全部浸没在液体里时, $V_{排}$ 才等于 $V_{物}$ 。

3. 当物体全部浸没在液体里时,由于物体的体积是一定的,液体的密度也是一定的(液体密度不随深度变化),所以不论物体浸没在液体里的深处还是浅处,它所受到的浮力是相等的,即浮力的大小不随深度的改变而变化。

4. 阿基米德原理不仅适用于液体,同时也适用于气体,即:浸没在气体里的物体受到浮力的大小,等于它排开的气体所受到的重力。其数学表达式为: $F_{浮}=G_{排气}=\rho_{气}gV_{排}$ 。

阿基米德原理是从实验中得出的,我们就用实验来验证这一原理。实验的装置和实验过程如图 1-52 所示。

如图 1-52 甲所示,在弹簧下面挂一个金属筒,筒下吊一个石块,记下弹簧伸长后指针到达的位置。

如图 1-52 乙所示,把石块全部浸入装满水的溢水杯中,由于石块受到向上的浮力,弹簧缩短,同时被石块排开的水,从溢水杯上的溢水口流到小杯里。

如图 1-52 丙所示,把小杯里的水全部倒入金属筒内,弹簧又伸长到原来的位置,这说明,石块所受到的浮力,等于它所排开的水的重力。

阿基米德原理还可以根据浮力产生的原因推导出来。

如图 1-53 所示,一个边长为 $l$ 的正方体,浸没在密度为 $\rho_{液}$ 的液体中,正方体上表面距液面的深度为 $h_1$ ,下表面距液面的深度为 $h_2$ 则: $h_2=h_1+l$ 。

正方体上表面受到液体向下的压强为

$$p=\rho_{液}gh_1;$$

受到液体向下的压力为

$$F=pS=pl^2=\rho_{液}gh_1l^2.$$

正方体下表面受到液体向上的压强为

$$p'=\rho_{液}gh_2;$$

受到液体向上的压力为

$$F'=p'S=p'l^2=\rho_{液}gh_2l^2.$$

根据浮力产生的原因可得

$$\begin{aligned} F_{浮}&=F'-F=\rho_{液}gh_2l^2-\rho_{液}gh_1l^2 \\ &=\rho_{液}gl^2(h_2-h_1) \\ &=\rho_{液}gl^3. \end{aligned}$$

因为正方体的体积 $V=l^3$ ,当它浸没在液体中时,它排开液体的体积应等于正方体体积,即

$$V_{排}=V=l^3,$$

所以, $F_{浮}=\rho_{液}gV_{排}$ 。

用例一 用阿基米德原理可直接求出浸没在液体中的物体所受到的

浮力。

题 1 体积是 50 厘米<sup>3</sup>的玻璃塞子，浸没在煤油里，煤油对它的浮力有多大（煤油=0.8×10<sup>3</sup>千克/米<sup>3</sup>）？

据题意，玻璃塞子是浸没在煤油中的，所以它排开煤油的体积就是玻璃塞子的体积、把玻璃塞子的体积 50 厘米<sup>3</sup>换算为 5×10<sup>-5</sup>米<sup>3</sup>，使它们的单位统一起来，就可直接代入阿基米德原理公式，算出煤油对玻璃塞子的浮力为 0.39 牛顿。

题 2 有一个体积是 1500 米<sup>3</sup>的气球，把它放在地面附近时，空气对它的浮力是多大（空气=1.29 千克/米<sup>3</sup>）？

题目中之所以说明求地面附近的空气对气球的浮力，是因为空气受重力作用，离地面越高，空气越稀薄，空气的密度是变化的，指出求哪一个位置的空气对气球的浮力是非常重要的。同时也告诉了我们，题中给出的空气密度，就是地面附近的空气密度。

弄清上面的问题，就可将已知数据直接代入阿基米德公式，算出地面附近空气对气球的浮力为 18963 牛顿。

用例二 用阿基米德原理可求出浸入液体中的物体的密度和体积。

题 3 一个金属球在空气中称时，弹簧秤的读数为 14.7 牛顿；浸没在水中时，弹簧秤的读数为 4.9 牛顿。求：（1）金属球浸没在水中时受到水的浮力是多大。（2）金属球的体积是多大。（3）金属球的密度是多少。

首先根据弹簧秤两次示数相减的方法计算出金属球浸没在水中时，所受到水的浮力，即：

$$F_{\text{浮}} = G_{\text{空}} - G_{\text{水}} = 14.7 \text{ 牛顿} - 4.9 \text{ 牛顿} = 9.8 \text{ 牛顿} .$$

然后根据阿基米德原理，求出金属球排开水的体积，即： $F_{\text{浮}} = \rho_{\text{水}} g V_{\text{排}}$ ，

$$V_{\text{排}} = \frac{F_{\text{浮}}}{\rho_{\text{水}} g} = \frac{9.8 \text{ 牛}}{1.0 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克}} = 1 \times 10^{-3} \text{ 米}^3 .$$

最后再根据密度公式求出金属球的密度。

$$\begin{aligned} &= \frac{m}{V} , m = \frac{G_{\text{空}}}{g} , \\ &= \frac{G_{\text{空}}}{gV} = \frac{14.7 \text{ 牛}}{9.8 \text{ 牛/千克} \times 1 \times 10^{-3} \text{ 米}^3} \\ &= 1.5 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 . \end{aligned}$$

题 4 有一个方木块，当它浮在水面时，露出水面的部分是它总体积的五分之二，这个方木块的密度是多大？

根据题意，当方木块浮在水面时，说明它受到的竖直向下的重力和竖直向上的浮力大小是相等的，即  $G_{\text{木}} = F_{\text{浮}}$ 。

设方木块的总体积为  $V_{\text{木}}$ ，由于露出水面部分为总体积的 2/5，则浸入水面以下的体积为总体积的 3/5，即方木块排开水的体积也为总体积的 3/5。

$$G_{\text{木}} = \rho_{\text{木}} g V_{\text{木}}, F_{\text{浮}} = \rho_{\text{水}} g V_{\text{排}}, V_{\text{排}} = \frac{3}{5} V_{\text{木}}, G_{\text{木}} = F_{\text{浮}},$$

$$\rho_{\text{木}} g V_{\text{木}} = \rho_{\text{水}} g \frac{3}{5} V_{\text{木}},$$

$$\rho_{\text{木}} = \frac{3}{5} \rho_{\text{水}} = 0.6 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3.$$

题 5 如图 1-54 所示，一容器中装有水银和油，油在水银上面。有一个体积  $V=10 \text{ 厘米}^3$  的实心铜球浮在这两种液体的分界面上。问铜球浸入油和水银中的体积各是多少（油的密度  $\rho_1=0.9 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3$ ，水银的密度  $\rho_2=13.6 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3$ ，铜的密度  $\rho_3=8.9 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3$ ）？

根据题意，铜球浮在这两种液体的界面上，处于平衡状态，则铜球的重力等于油和水银对铜球的浮力之和，即  $G_{\text{铜}} = F_{\text{浮}1} + F_{\text{浮}2}$ 。

设铜球浸没在油中的体积为  $V_1$ ，浸没在水银中的体积为  $V_2$ ，则  $V_{\text{铜}} = V - V_2$ 。

根据阿基米德原理： $F_{\text{浮}1} = \rho_1 g V_1 = \rho_1 g (V - V_2)$ ，

$$F_{\text{浮}2} = \rho_2 g V_2,$$

$$G_{\text{铜}} = F_{\text{浮}1} + F_{\text{浮}2}, G_{\text{铜}} = \rho_3 g V,$$

$$\rho_3 g V = \rho_1 g (V - V_2) + \rho_2 g V_2, \text{ 代入数据计算得：}$$

$$V_2 = 6.3 \times 10^{-6} \text{ 米}^3, V_1 = (V - V_2) = 3.7 \times 10^{-6} \text{ 米}^3.$$

用例三 用阿基米德原理可求出液体的密度。

题 6 在粗细均匀的玻璃管内盛适量砂粒，制成一只简易密度计，玻璃管总长为 24 厘米。若把它竖直放在水中时，量得露出水面部分长为 5 厘米；若把它竖直放在盐水里，量得露出盐水面部分长为 6 厘米，求盐水的密度。

根据题意，密度计浸入水中的长度：

$$h = 24 \text{ 厘米} - 5 \text{ 厘米} = 19 \text{ 厘米};$$

浸没在盐水中的长度：

$$h' = 24 \text{ 厘米} - 6 \text{ 厘米} = 18 \text{ 厘米}.$$

设密度计玻璃管的横截面积为  $S$ ，

则密度计在水中受到的浮力：

$$F_{\text{浮}} = \rho_{\text{水}} g V_{\text{排}} = \rho_{\text{水}} g h S;$$

在盐水中所受到的浮力：

$$F'_{\text{浮}} = \rho_{\text{盐水}} g V'_{\text{排}} = \rho_{\text{盐水}} g h' S.$$

因为密度计在水或盐水中都处于漂浮状态，它不论在水中还是盐水中，受到的浮力都等于它的重力，即

$$G = F_{\text{浮}} = F'_{\text{浮}},$$

$$\text{所以 } \rho_{\text{水}} g h S = \rho_{\text{盐水}} g h' S,$$

$$= \frac{h}{h'} \rho_{\text{水}},$$

$$\text{代入数据得 } \rho_{\text{盐水}} = 1.06 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3.$$

用例四 利用阿基米德原理和密度公式  $\rho = \frac{m}{V}$ ，可以判断出金属球是实心的还是空心的。

题7 铁球在空气中重19.6牛，若将它浸没在水中称量，弹簧秤的示数为14.7牛，问铁球是空心的还是实心的（铁的密度为  $7.8 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>）？

铁球浸没在水中所受到的浮力为：

$$F_{\text{浮}} = G_{\text{空}} - C_{\text{水}} = 4.9 \text{ 牛}.$$

根据阿基米德原理： $F_{\text{浮}} = \rho_{\text{水}} g V_{\text{排}}$ ，

$$\begin{aligned} V_{\text{排}} &= \frac{F_{\text{浮}}}{\rho_{\text{水}} g} = \frac{4.9 \text{ 牛}}{10 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克}} \\ &= 0.5 \times 10^{-3} \text{ 米}^3 \end{aligned}$$

因为铁球全部浸没在水中，则

$$V_{\text{球}} = V_{\text{排}} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ 米}^3.$$

根据密度公式： $\rho = \frac{m}{V}$ ， $m = \rho V$ ，

铁球的质量

$$\begin{aligned} m_{\text{球}} &= \rho_{\text{铁}} V_{\text{球}} \\ &= 7.8 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 0.5 \times 10^{-3} \text{ 米}^3 \\ &= 3.9 \text{ 千克}, \end{aligned}$$

$$G_{\text{球}} = m_{\text{球}} g = 3.9 \text{ 千克} \times 9.8 \text{ 牛/千克} = 38.22 \text{ 牛}$$

显然  $38.22 \text{ 牛} > 19.6 \text{ 牛}$ ，铁球是空心的。

上述解法是用相同体积的情况下比较重力的方法来原因判断的，还可用相同重力的情况下比较体积或密度的方法来原因判断，请读者自己练习。

用例五 运用阿基米德原理和液体压强公式  $P = \rho gh$ ，可计算出，在液体中放入一个浮体时所引起的液体任位置的压强变化。

题8 如图1-55所示，高30厘米，截面积是10厘米<sup>2</sup>的玻璃容器中，盛有10厘米深的水。问：（1）距容器底6厘米处水的压强是多大？（2）如果在容器中放入一个重0.294牛的木块，木块漂浮在水面上，这时距容器底6厘米处水的压强又是多大？

首先应搞清楚距容器底部6厘米处的一点，距水面的深度是多少。

$$h = 10 \text{ 厘米} - 6 \text{ 厘米} = 4 \text{ 厘米} = 4 \times 10^{-2} \text{ 米}, \text{ 代入液体压强公式得:}$$

$$\begin{aligned} p &= \rho_{\text{水}} gh \\ &= 1.0 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 4 \times 10^{-2} \text{ 米} = 392 \text{ 帕}。 \end{aligned}$$

当容器内放入木块后，容器内水面要升高，其升高的高度可通过阿基米德原理和体积公式算出。

木块漂浮在水面上，它受到的浮力等于木块重力，即

$$F_{\text{浮}} = G_{\text{木}} = 0.294 \text{ 牛}。 \text{ 根据阿基米德原理:}$$

$$F_{\text{浮}} = \rho_{\text{水}} g V_{\text{排}}, V_{\text{排}} = \frac{F_{\text{浮}}}{\rho_{\text{水}} g} = 3 \times 10^{-5} \text{米}^3。$$

根据体积公式  $V = lS$ ,

$$l = \frac{V}{S} = \frac{3 \times 10^{-5} \text{米}^3}{1 \times 10^{-3} \text{米}^2} = 3 \times 10^{-2} \text{米},$$

即水面升高 3 厘米, 距容器底部为 13 厘米。

这时距容器底部 6 厘米处的水深

$$h' = 13 \text{厘米} - 6 \text{厘米} = 7 \text{厘米} = 7 \times 10^{-2} \text{米}。$$

代入液体压强公式求出水的压强

$$\begin{aligned} p' &= \rho_{\text{水}} g h \\ &= 1.0 \times 10^3 \text{千克/米}^3 \times 9.8 \text{牛/千克} \times 7 \times 10^{-2} \text{米} \\ &= 686 \text{帕}。 \end{aligned}$$

**【物体的浮沉条件】** 浸在液体里的物体受到两个力的作用, 一个是竖直向下的重力, 另一个是竖直向上的浮力, 这两个力的合力情况就决定着物体的浮沉。设物体完全浸没于液体中,

当  $F_{\text{浮}} > G$  时,  $F_{\text{合}}$  方向向上, 物体上浮;

当  $F_{\text{浮}} < G$  时,  $F_{\text{合}}$  方向向下, 物体下沉;

当  $F_{\text{浮}} = G$  时,  $F_{\text{合}} = 0$ , 物体可悬浮在液体里任何地方。

因为  $F_{\text{浮}} = \rho_{\text{液}} g V_{\text{排}}$ ,  $G = \rho_{\text{物}} g V_{\text{物}}$ , 当物体全部浸没在液体里时, 则有  $V_{\text{排}} = V_{\text{物}}$ 。将此三式代入上面各情况, 可得物体和液体的密度关系对物体浮沉的影响:

当  $\rho_{\text{液}} > \rho_{\text{物}}$  时, 物体上浮;

当  $\rho_{\text{液}} < \rho_{\text{物}}$  时, 物体下沉;

当  $\rho_{\text{液}} = \rho_{\text{物}}$  时, 物体可悬浮在液体里任何地方。漂浮在液面上的物体, 它的重力也等于它受到的浮力, 即  $F_{\text{浮}} = G$ 。这时, 物体有一部分露出在水面上,  $V_{\text{排}} < V_{\text{物}}$ 。物体与液体的密度关系是,  $\rho_{\text{物}} < \rho_{\text{液}}$ , 这属于从液体内部上浮的物体运动静止后的特例。

正确理解上述物体的浮沉条件, 还需注意下列几个问题:

1. 上浮和下沉表示了物体在浮力和重力的合力作用下的运动过程, 物体的运动方向与合力方向是一致的。而漂浮和悬浮表示了物体在浮力和重力相等时, 合力为零的情况下所处的状态, 即静止(平衡)状态。

2. 漂浮和悬浮的条件都是  $F_{\text{浮}} = G$ , 但它们是有区别的。漂浮时, 物体的部分体积浸在液体里,  $V_{\text{排}} < V_{\text{物}}$ , 且  $\rho_{\text{物}} < \rho_{\text{液}}$ ; 而悬浮时, 物体必定全部浸没在液体里,  $V_{\text{排}} = V_{\text{物}}$ , 且  $\rho_{\text{物}} = \rho_{\text{液}}$ 。

3. 物体的浮沉条件主要是指重力和浮力作用在物体上的三种情况, 而物体和液体的密度关系, 是从这三种情况推导出来的, 它使我们能方便地判断物体的浮沉, 但必须注意: 此密度关系仅适用于实心物体, 对空心物体不适用。

4. 物体的浮沉条件对于浸在气体中的物体同样适用。如气球内充入密度小于空气的气体, 如氢气、热空气、氦气等, 气球的总重力小于空气对它的浮力 ( $F_{\text{浮}} > G$ ), 它就上升; 若放掉部分气体, 气球体积缩小, 气球

受到空气的浮力小于它的总重力 ( $F_{\text{浮}} < G$ )，它就降落。

用例一 由物体的浮沉条件判断放入液体中的物体是上浮、下沉还是悬浮。

题 1 有一质量为 5 千克，体积为 1 分米<sup>3</sup>的实心球，将其放入水中后，该球将\_\_\_\_；将其放入水银中后，该球将\_\_\_\_（填写：上浮、下沉或悬浮）。

实心球的质量为 5 千克，其重力

$$G = mg = 5 \text{ 千克} \times 9.8 \text{ 牛/千克} = 49 \text{ 牛}.$$

其体积  $V_{\text{球}} = 1 \text{ 分米}^3 = 0.001 \text{ 米}^3$ 。

将其浸没于水中，因  $V_{\text{水排}} = V_{\text{球}}$ ，它所受到水的浮力

$$\begin{aligned} F_{\text{水浮}} &= \rho_{\text{水}} g V_{\text{排}} \\ &= 1.0 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 0.001 \text{ 米}^3 \\ &= 9.8 \text{ 牛}. \end{aligned}$$

因为  $F_{\text{水浮}} < G$ ，所以实心球在水中将下沉；将其浸没于水银中，因  $V_{\text{汞浮}} = V_{\text{球}}$ ，它所受到水银的浮力

$$\begin{aligned} F_{\text{汞浮}} &= \rho_{\text{水银}} g V_{\text{排}} \\ &= 13.6 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 0.001 \text{ 米}^3 \\ &= 133.28 \text{ 牛}. \end{aligned}$$

因为  $F_{\text{汞浮}} > G$ ，所以实心球在水银中将上浮。

本题也可先算出实心球的密度，再通过它与水或水银的密度关系得出结论。

题 2 现有壁薄内空的金属球。当球内充满氢气时能上升，如果把球抽成真空（假定球壳不变形），则该球还能上升吗？

壁薄内空的金属球，充满氢气后能上升，是因为它受到空气的浮力大于它的总重力，即  $F_{\text{气浮}} > G_{\text{总}}$ ，而  $G_{\text{总}} = G_{\text{球}} + G_{\text{氢}}$ 。现在把这个金属球抽成真空，则它的总重力变小了， $G'_{\text{总}} = G_{\text{总}} - G_{\text{氢}} = G_{\text{球}}$ ，由于金属球体积不变，它所受到空气的浮力未变，根据物体的浮沉条件  $F_{\text{气浮}} > G'_{\text{总}}$ ，应能上升。

题 3 如图 1-56 所示，小气球 A 下挂一小金属块，在水中某一深度悬浮，它能否在水中任意深度保持悬浮状态？为什么？

应注意，不能因为挂有小金属块的气球可以在某一深度悬浮，就不加思索的认为它可以在任一深度悬浮。由于气球不是体积不变的实心物体，它的体积将随外界的压强不同而变化，外界压强变大，它的体积将变小；外界压强变小，它的体积将变大。

当气球在水中的深度变化时，受到的压强变化将引起气球体积变化，从而导致气球受到的浮力发生变化，使原来的浮力与重力的平衡状态遭到了破坏，故气球不能在其它任意深度处悬浮。

用例二 利用物体的浮沉条件和阿基米德原理制造出密度计，可直接测出液体的密度。

如图 1-57 所示，密度计是一根密闭的玻璃管，上部粗细均匀，内壁贴有刻度纸，下部较粗，最下端装有铅粒，能使玻璃管竖直浮在水面上。

由于密度计的重力是一定的，它漂浮在液面时受到的浮力也是一定的（ $\rho_{\text{液}} g V_{\text{排}} = G$ ， $V_{\text{排}} = G / \rho_{\text{液}} g$ ），所以把它放在密度较大的液体中，它排开的液体就少一些，玻璃管浸没在液体里的深度就小一些。反之，玻璃管

浸没在液体里的深度就大一些。根据玻璃管浸没在液体里的深度就可读出液体的密度。图 1-57 中的读数为 1.30，表示这种液体的密度是水密度的 1.3 倍。

题 4 在一根表面涂蜡的细木棍的一端绕着适量的铁丝，把它放到三种密度不同的液体里，木棍浸入液体里的情况如图 1-58 所示。这三种液体的密度哪一种最大？哪一种最小？

木棍的总重力一定，根据物体的浮沉条件，它在三种液体里受到的浮力也一定。由于在乙液体中浸入的体积最小，排开液体体积也最少，所以乙液体的密度最大，反之，甲液体的密度最小。

题 5 有一柱形浮标浮于水面，露出全长的  $\frac{1}{2}$ ；若浮于酒精时，则露出全长的  $\frac{1}{3}$ ，求酒精密度。

设浮标的长度为  $h$ ，横截面积为  $S$ 。

$$\text{在水中则有：} F_{\text{水浮}} = \rho_{\text{水}} g \cdot \frac{1}{2} hS,$$

$$\text{在酒精中则有：} F_{\text{酒精浮}} = \rho_{\text{酒精}} g \cdot \frac{2}{3} hS,$$

因为浮标重力一定，在水中和在酒精中所受的浮力也相同， $F_{\text{水浮}} = F_{\text{酒精浮}}$ ，故有

$$\rho_{\text{水}} g \cdot \frac{1}{2} hS = \rho_{\text{酒精}} g \cdot \frac{2}{3} hS。$$

$$\begin{aligned} \text{解得 } \rho_{\text{酒精}} &= \frac{3}{4} \rho_{\text{水}} = \frac{3}{4} \times 1.0 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3 \\ &= 0.75 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3。 \end{aligned}$$

用例三 根据物体浮沉条件，把密度大于水的材料，制成空心物体，使它能排开更多的水，达到漂浮的目的，因而可用钢铁制造船舶。

题 6 有一只空心铝球，空心部分的体积是总体积的 0.7 倍，若将此球轻轻放入水中，它将上浮还是下沉（ $\rho_{\text{铝}} = 2.7 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3$ ）？

设空心铝球的总体积为  $V$ ，

则球壳的体积为  $V_{\text{球壳}} = (1 - 0.7) V = 0.3V$ ，

空心铝球的重力

$$\begin{aligned} G_{\text{空}} &= \rho_{\text{铝}} g V_{\text{球壳}} \\ &= 2.7 \times 10^3 \times 9.8 \times 0.3V \\ &= 7.9 \times 10^3 \times V \text{ (牛)}。 \end{aligned}$$

把空心铝球放入水中，它受到的浮力为

$$\begin{aligned} F_{\text{浮}} &= \rho_{\text{水}} g V \\ &= 1.0 \times 10^3 \times 9.8 \times V \\ &= 9.8 \times 10^3 \times V \text{ (牛)}， \end{aligned}$$

显然  $F_{\text{浮}} > G_{\text{空}}$ ，空心铝球在水中将上浮。

题 7 一艘装满货物的轮船总质量为 1 万吨，它从长江驶入大海。设江水和海水中的密度分别为  $1.0 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3$  和  $1.03 \times 10^3 \text{ 千克 / 米}^3$

<sup>3</sup>，则轮船的排水体积将减少多少米<sup>3</sup>？

轮船是漂浮在江面和海面的，船的总重力不变，它在江水和海水中所受到的浮力也不变，且都等于船的总重力，由于江水和海水的密度不同，因此轮船浸入江水和海水中的体积也不同。

$$\begin{aligned} \text{轮船的总质量为 } 10000 \text{ 吨，因为 } G=mg, \\ G_{\text{总}} &= 10000 \times 1000 \text{ 千克} \times 9.8 \text{ 牛/千克} \\ &= 9.8 \times 10^7 \text{ 牛。} \end{aligned}$$

在江水中， $G_{\text{总}} = F_{\text{江浮}}$ ， $F_{\text{江浮}} = \rho_{\text{江}} g V_{\text{江排}}$ ，

$$V_{\text{江浮}} = \frac{F_{\text{江浮}}}{\rho_{\text{江}} g} = \frac{9.8 \times 10^7 \text{ 牛}}{1.0 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克}} = 10000 \text{ 米}^3。$$

在海水中， $G_{\text{总}} = F_{\text{海浮}}$ ， $F_{\text{海浮}} = \rho_{\text{海}} g V_{\text{海排}}$ ，

$$\begin{aligned} V_{\text{海排}} &= \frac{F_{\text{海排}}}{\rho_{\text{海}} g} = \frac{9.8 \times 10^7 \text{ 牛}}{1.03 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克}} \\ &= 9708.74 \text{ 米}^3。 \end{aligned}$$

轮船在海水中减少的体积：

$$V_{\text{江排}} - V_{\text{海排}} = 10000 \text{ 米}^3 - 9708.74 \text{ 米}^3 = 291.26 \text{ 米}^3。$$

**用例四** 根据物体的浮沉条件，用改变自重的方法，达到下潜和上浮的目的，潜水艇就是根据这一原理制造的。

潜水艇的横向剖面图如图 1-59 所示。潜水艇两侧有两个水舱，用向水舱里充水、排水的方法改变自身的重力，使潜水艇下潜、上浮或悬浮在水中。

**题 8** 潜水艇在海中潜水时排水量为 800 吨，在海面上航行时排水量为 650 吨，潜水艇在海面航行时水上部分的体积多大？要充入多少海水才能潜入海水中（ $\rho_{\text{海}} = 1.03 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3$ ）？

排水量 800 吨或 650 吨均为被排开海水的质量，可由密度公式分别求出各自排开海水的体积。

$$V_{\text{潜}} = \frac{m_{\text{潜}}}{\rho_{\text{海}}} = \frac{800 \times 1000 \text{ 千克}}{1.03 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3} = 776.7 \text{ 米}^3$$

$$V_{\text{水下}} = \frac{m_{\text{水下}}}{\rho_{\text{海}}} = \frac{650 \times 1000 \text{ 千克}}{1.03 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3} = 631.1 \text{ 米}^3$$

在海面航行时，水上部分的体积为：

$$V_{\text{水上}} = V_{\text{潜}} - V_{\text{水下}} = 776.7 \text{ 米}^3 - 631.1 \text{ 米}^3 = 145.6 \text{ 米}^3$$

充入 145.6 米<sup>3</sup>的海水，潜水艇就可潜入海中。

本题解法甚多，可自行练习。

**题 9** 一只空心球，其截面如图 1-60 所示。球的体积为  $V$ ，球腔容积为  $\frac{V}{2}$ ，当它漂浮在水面时有一半露出水面。如果在球腔内注满水，则

( )

- A. 球仍漂浮在水面，但露出水面部分小于一半
- B. 球仍漂浮在水面，露出水面部分仍为一半
- C. 球可以停留在水中任何深度的地方

D. 球将下沉

在球腔内注满水后，改变了自重，破坏了原来的平衡。必须再用浮沉条件或密度关系进行重新判定，本题用密度关系判定较为方便。

$$\text{漂浮时, } G_{\text{球}} = F_{\text{浮}} = \rho_{\text{水}} g \frac{V}{2},$$

$$\text{球腔内注满水后, } G_{\text{水}} = \rho_{\text{水}} g \frac{V}{2},$$

球和水的平均密度

$$= \frac{m_{\text{总}}}{V} = \frac{G_{\text{球}} + G_{\text{水}}}{Vg} = \frac{\rho_{\text{水}} g \frac{V}{2} + \rho_{\text{水}} g \frac{V}{2}}{Vg} = \rho_{\text{水}}$$

根据密度关系  $= \rho_{\text{水}}$ ，可以停留在水中任意深度的地方，应选 C。此题亦有另外解法，请同学们自己练习。

题 10 有一粗细均匀的蜡烛长 20 厘米，在蜡烛底端插入一根铁钉，使蜡烛能直立地浮于水中，上端露出水面长 1 厘米（如图 1-61 所示）。现将蜡烛点燃，问蜡烛燃烧到还剩下多长时，蜡烛的顶面与水面相平，烛焰被水淹没（假定蜡烛燃烧时，蜡烛油全部被燃烧而不流下来，铁钉体积不计， $\rho_{\text{蜡}} = 0.9 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3$ ）？

蜡烛燃烧时，自重不断减小，总长度不断缩短，浸入水中的部分不断上浮，蜡烛始终处于漂浮状态，当蜡烛顶面与水面相平时烛焰熄灭，此时蜡烛的剩余部分淹没在水中，呈悬浮状态。虽然蜡烛的燃烧是一个复杂过程，各物理量都在不断地变化着，但我们可以抓住点燃前和淹没后这两个始末状态，根据漂浮、悬浮的特征及阿基米德原理进行列式求解。

点燃前：蜡烛处于漂浮状态，设蜡烛的横截面积为  $S$ ，此时的重力为  $G_1$ ，受到的浮力为  $F_1$ ，铁钉重为  $G'$ 。

$$\text{因 } F_1 = G_1 + G', \text{ 而 } G_1 = \rho_{\text{蜡}} g \times 0.2S,$$

$$\text{而 } F_1 = \rho_{\text{水}} g \times (0.2 - 0.01)S, \text{ 所以}$$

$$\rho_{\text{水}} g \times (0.2 - 0.01)S = \rho_{\text{蜡}} g \times 0.2S + G',$$

$$\text{整理得 } \rho_{\text{水}} g \times 0.19S = \rho_{\text{蜡}} g \times 0.2S + G'.$$

烛焰淹没后：剩余的蜡烛处于悬浮状态，设蜡烛剩余部分的长度为  $l$ ，重力为  $G_2$ ，受到的浮力为  $F_2$ 。

$$\text{因 } F_2 = G_2 + G', \text{ 而 } G_2 = \rho_{\text{蜡}} g l S$$

$$\text{而 } F_2 = \rho_{\text{水}} g l S, \text{ 所以 } \rho_{\text{水}} g l S = \rho_{\text{蜡}} g l S + G'.$$

式减 式消去  $G'$ ，得：

$$0.19g \rho_{\text{水}} S - \rho_{\text{水}} g l S = 0.2 \rho_{\text{蜡}} g S - \rho_{\text{蜡}} g l S$$

$$\text{整理得 } l = \frac{0.19\rho_{\text{水}} - 0.2\rho_{\text{蜡}}}{\rho_{\text{水}} - \rho_{\text{蜡}}}$$

$$= \frac{0.01}{0.1} = 0.1 \text{ (米)}$$

蜡烛燃烧到剩下 0.1 米时，烛焰被水淹没。

用例五 根据物体的浮沉条件，可以比较、判断浸入液体中的物体的

密度、体积、质量等。

题 11 一个体积为  $0.03 \text{ 米}^3$  的救生圈浸入水中时，恰能使质量为 70 千克的人（设人的密度为  $\rho_{人} = 1.1 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3$ ）的  $1/5$  身体浮在水面上，问救生圈的密度为多少？

设救生圈的体积为  $V$ ，因人与救生圈漂浮在水面上，则有  $F_{浮} = G_{总}$ 。

$$G_{总} = G_{人} + G_{圈} = m_{人}g + \rho_{圈}gV,$$

$$F_{浮} = \rho_{水}gV + \left(\frac{4}{5} \cdot \frac{m_{人}}{\rho_{人}}\right) \rho_{水}g,$$

$$m_{人}g + \rho_{圈}gV = \rho_{水}gV + \left(\frac{4}{5} \cdot \frac{m_{人}}{\rho_{人}}\right) \rho_{水}g$$

$$\begin{aligned} \text{整理得：} \quad \rho_{圈} &= \rho_{水} + \frac{4}{5} \cdot \frac{m_{人}\rho_{水}}{\rho_{人}V} - \frac{m_{人}}{V} \\ &= 1.0 \times 10^3 + \frac{0.8 \times 70 \times 1.0 \times 10^3}{1.1 \times 10^3 \times 0.03} - \frac{70}{0.03} \\ &= 364 \text{ 千克/米}^3. \end{aligned}$$

救生圈的密度为  $364 \text{ 千克/米}^3$ 。

题 12 如图 1-62 所示，用一根细绳将一个体积为  $0.4 \text{ 分米}^3$  的铁球（ $\rho_{铁} = 7.8 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3$ ）与一块木块连结在一起放入容器内。木块的密度为  $\rho_{木} = 0.2 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3$ ，体积为  $5 \text{ 分米}^3$ 。若向容器内不断注入水，问：（1）当水浸没木块的体积为  $3 \text{ 分米}^3$  时，绳的拉力是多少？（2）继续向容器内注水，木块浸入水中的体积至少为多大时，铁球对容器底没有压力？

（1）设木块的重力为  $G_{木}$ ，绳子的拉力为  $T_1$ ，此时的浮力为  $F_{浮}$ 。因木块处于平衡态，则有：

$$F_{浮} = G_{木} + T_1, T_1 = F_{浮} - G_{木} = \rho_{水}gV_{排} - \rho_{木}gV_{木},$$

$$\begin{aligned} T_1 &= 1.0 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 0.003 \text{ 米}^3 - 0.2 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \\ &\quad \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 0.005 \text{ 米}^3 \\ &= 29.4 \text{ 牛} - 9.8 \text{ 牛} \\ &= 19.6 \text{ 牛}. \end{aligned}$$

（2）设此时木块所受的浮力  $F_{木浮}$ ，铁球所受的浮力为  $F_{铁浮}$ ，铁球的重力为  $G_{铁}$ ，欲使铁球对容器底无压力，则应有： $F_{木浮} + F_{铁浮} = G_{木} + G_{铁}$ ，

$$\rho_{水}gV_{木排} + \rho_{水}gV_{铁} = \rho_{木}gV_{木} + \rho_{铁}gV_{铁},$$

$$V_{木排} = \frac{\rho_{木}gV_{木} + \rho_{铁}gV_{铁} - \rho_{水}gV_{铁}}{\rho_{水}g},$$

$$\begin{aligned} \text{代入数据 } V_{木排} &= 0.00372 \text{ 米}^3 \\ &= 3.72 \times 10^{-3} \text{ 米}^3. \end{aligned}$$

木块浸入水中  $3.72 \times 10^{-3} \text{ 米}^3$  时，铁球对容器底无压力。

【杠杆】 一根在力的作用下绕某一固定点转动的硬棒，在物理学中叫做杠杆。

图 1-63 (a) 中撬石头的撬棒，简易吊车的撑杆，抽水机的曲柄，都

是杠杆。杠杆不一定是直的，也有曲臂杠杆。为了研究杠杆，需画出杠杆的示意图，通过示意图反映杠杆的结构特点和受力情况，图 1-63 (b) 便是与图 1-63 (a) 对应的杠杆示意图。

有关杠杆的几个概念：

支点 杠杆绕着转动的点，图 1-63 (b) 中的 O 点。

动力 使杠杆转动的力，图 1-63 (b) 中的  $F_1$ 。

阻力 阻碍杠杆转动的力，图 1-63 (b) 中的  $F_2$ 。

动力臂 从支点到动力作用线的距离，图 1-63 (b) 中的  $l_1$ 。

阻力臂 从支点到阻力作用线的距离，图 1-63 (b) 中的  $l_2$ 。

在研究杠杆问题时，正确理解力臂的概念是个关键。力臂是支点到力的作用线的垂直距离，并不是支点到力的作用点的距离；力的作用线是通过力的作用点且与力的方向重合的直线；力臂不一定在杠杆上。

用例一 简易杠杆问题示意图的画法。

画杠杆示意图是研究杠杆问题的基础，画出正确完整的杠杆示意图应注意：

1. 根据支点的定义，确定支点的位置，根据动力、阻力的含义，确定动力和阻力。力的作用点必须画在杠杆上。

2. 用带箭头的有向线段表示力，其方向必须跟力的方向一致，并能反映各力的大小，要区别开作用力的方向和作用点的运动方向，这两者有时一致，有时不在同一直线上。

3. 在示意图上，要用字母分别标出支点、力和力臂。

题 1 画出用一支撑架悬挂重力为  $G$  的重物 (图 1-64a) 的杠杆示意图。其杠杆示意图如图 1-64b 所示，动力  $F_A$  的力臂为  $l_A = OA \times \sin 30^\circ$ ，阻力  $F_B = G$ ，阻力臂  $l_B = OB$ 。

用例二 日常生活中的隐形杠杆模型的表示。

在日常生活的许多问题中，并没有明显的硬棒，但能找出一个固定的转动点，可以抽象出杠杆模型，用杠杆示意图将其形象地表示出来。

题 2 图 1-65 (a) 是起瓶盖的起子。当起子起瓶盖时，A 点受到向上动力的作用，B 点受到瓶盖阻力的作用，在两力作用下起子绕支点 O 转动，其示意图如图 1-65 (b) 所示。

题 3 图 1-66 (a) 是手的前臂举起铅球的实物示意图。当手臂用力，肌肉收缩带动前臂绕肘部转动时，肘部关节 O 为支点，肌肉收缩为对前臂产生的拉力，铅球对手的作用力为阻力，图 1-66 (b) 即为其杠杆示意图。

题 4 图 1-67 (a) 表示一位小朋友用力  $F$  推球使球开始越过障碍物 H 的情景。在这里球也是变形的杠杆，在翻越的某个位置上，球与障碍物 H 接触点 O 为支点，小朋友推球的力为动力，球的重力为阻力，其杠杆示意图如图 1-67 (b)。

用例三 杠杆问题中有关力和力臂的动态分析。

在生产和生活中，杠杆的运用常显示出动态变化，如题 4 中球刚离开地面时阻力臂较大，快越过障碍物时，尽管阻力不变，阻力臂却变小了，类似这种非静止的、有变化过程的定性分析或定量计算，需要较高的综合分析能力。

题 5 用道钉撬来撬铁路枕木上的道钉，如图 1-68 所示。当作用在 A

点的作用力方向竖直向下时，图中哪条线是动力臂？若要使动力臂能取最大值，动力方向应怎样，此时动力臂多长？

当动力方向竖直向下时，OB 即为动力臂。当动力方向垂直于 OA，沿着 AC 方向时，动力臂为 OA，且为最大值。

从该问题中看出，当杠杆所受动力方向变化时，力臂也有相应变化。

题 6 图 1-69(a)中，从图示位置开始提起杠杆右端向上运动过程中，阻力臂的大小是否变化？如有，则如何变化？

对这个问题需借助于图 1-69(b)(c)(d)来分析。图(b)为开始位置，阻力臂  $l_B < OB$ ，图(c)为杠杆转到水平位置，此时阻力臂  $l'_B = OB$ ，继续向上转动到图(d)位置时，阻力  $l''_B < OB$ 。所以，拉住 A 端向上运动时，阻力臂先变大后变小。

**【杠杆的平衡条件】** 一般说来，杠杆平衡是指杠杆处于静止状态或作缓慢的匀速转运状态，当杠杆平衡时，动力、动力臂、阻力、阻力臂四个物理量满足关系：

$$\text{动力} \times \text{动力臂} = \text{阻力} \times \text{阻力臂}。$$

这个关系式为杠杆的平衡条件，也叫做杠杆原理，其数学表达式为：

$$F_1 l_1 = F_2 l_2。$$

**【研究杠杆平衡的条件】** 实验目的研究杠杆的平衡条件。

**实验器材** 杠杆和支架，钩码，刻度尺，线。

**实验步骤** 1. 将杠杆的中点支在支架上，调节杠杆两端的螺母，使杠杆在水平位置平衡。

2. 在杠杆两边挂上不同数量的钩码，调节钩码悬挂的位置，使杠杆能在水平位置平衡，如图 1-70 所示。把支点右方的钩码重当作动力  $F_1$ ，支点左方的钩码重当作阻力  $F_2$ ；用刻度尺量出动力臂  $l_1$  和阻力臂  $l_2$ ；把  $F_1$ 、 $l_1$ 、 $F_2$ 、 $l_2$  的数值填入下表。

3. 改变动力和阻力的大小，仿照上述方法再做两次，将结果填入表中。

实验次数	动力 $F_1$ (牛)	动力臂 $l_1$ (厘米)	阻力 $F_2$ (牛)	阻力臂 $l_2$ (厘米)
1				
2				
3				

4. 分析表中各次实验数据中四个物理量的关系，得到：

$$\text{动力} \times \text{动力臂} = \text{阻力} \times \text{阻力臂}。$$

理解上述实验要注意以下几点：

1. 该实验中动力和阻力的确定是相互的，可以互换的。实际生活中杠杆的动力和阻力有时是难以区别的，例如两个小朋友玩翘翘板，就难以区别哪是动力哪是阻力。

2. 实验中取水平位置为平衡状态，是为了测量力臂方便，因为只有水平位置时钩码重力方向即钩码拉力方向与杠杆垂直， $l_1$ 、 $l_2$  便为从支点到动力、阻力的垂直距离，即为动力臂和阻力臂。

3. 杠杆两端螺母的作用是调节杠杆在水平位置平衡，使杠杆的重心在

支点上，消除了杠杆自身重力对实验的影响。若发现杠杆左端向下倾斜，为使杠杆在水平位置平衡，应将该端螺母调节向右，反之，将螺母调节向左。杠杆调好后，在实验操作过程中不能再作调节。

用例一 利用杠杆平衡条件来纠正实验中的错误。

题 1 某同学如图 1-71 那样做实验，调节左边钩码的个数和悬挂位置，使杠杆平衡，读出弹簧秤的示数  $F_1$ ，钩码重  $F_2$ ，量出由支点到这两个力的作用点的距离  $OA$ 、 $OB$ ，他将所得数据直接代入杠杆的平衡条件数学式中，发现  $F_1 \cdot OA$  和  $F_2 \cdot OB$  两者并不相等，为什么？

因为弹簧秤的拉力  $F_1$  的力臂不是  $OA$ ，应该是从支点  $O$  到拉力  $F_1$  的垂直距离，该距离小于  $OA$ ，所以

$$F_1 \cdot OA > F_2 \cdot OB。$$

正确操作可以改为：(1) 保持  $F_1$  方向不变，正确量出  $F_1$  的力臂；(2) 或者为了测量力臂的方便，可将弹簧秤拉力方向改为竖直向下。

题 2 某同学按照题 1 中后一种修改方法重做实验，如图 1-72 所示，将弹簧秤竖直放置使用，力的读数准确，力臂测量也正确，实验结果仍不理想，原因何在？

原因在于弹簧秤的使用不当。图示使用方法中弹簧秤的读数  $F_1$  表示人手拉力的大小， $F_1$  小于弹簧秤对杠杆的拉力，所以有  $F_1 \cdot OA < F_2 \cdot OB$ 。在这里正确使用弹簧秤的方法应该将图示弹簧秤上下倒过来，把承挂重物的挂钩挂在杠杆右侧作用点  $A$  上，便可改正错误。因为如图示方法使用弹簧秤，弹簧秤对杠杆的拉力  $F'$  还应考虑弹簧秤自身的重力  $G$ ，其关系有  $F' = F_1 + G$ ，杠杆平衡的条件应满足  $(F_1 + G) \cdot OA = F_2 \cdot OB$ 。

用例二 用杠杆平衡条件定量解决一些杠杆问题。

题 3 用道钉撬来撬铁路枕木上的道钉，如图 1-73 所示，当加在道钉撬上竖直向下的力为 200 牛时，道钉刚好被撬动，求道钉对道钉撬的阻力。

题中所讲“道钉刚好被撬起”是指阻力、动力作用在道钉撬上刚好使道钉撬处于如图所示的平衡状态，可用杠杆平衡公式求解。数据代入公式前应先将单位统一。

从图示看出，动力臂  $l_1 = 1.2$  米，阻力臂  $l_2 = 6$  厘米 = 0.06 米，根据杠杆平衡条件  $F_1 l_1 = F_2 l_2$  得道钉对撬的阻力为

$$F_2 = \frac{l_1}{l_2} F_1 = \frac{1.2 \text{米}}{0.06 \text{米}} \times 200 \text{牛} = 4000 \text{牛}。$$

若道钉对撬的阻力达 4500 牛，仍用 200 牛的动力作用在撬的同一点上，能否将道钉撬起？

阻力增大，而动力的作用点不变，可采用增加动力臂的长度的办法。当动力方向垂直于撬向下作用时，即取动力臂

$$l_1 = 1.2 \text{米} / \cos 30^\circ = 1.4 \text{米}，$$

此时能克服的最大阻力

$$F_2 = \frac{l_1}{l_2} F_1 = \frac{1.4 \text{米}}{0.06} \times 200 \text{牛} = 4666.7 \text{牛}，$$

该值大于 4500 牛，所以能将道钉撬起。

题 4 有一轮子直径  $D$  为 60 厘米，重 100 牛，停在高  $h$  为 12 厘米的

台阶前，如图 1-74，要使轮子越过台阶，对轮子中心轴至少要加多大的拉力？

轮子在拉力作用下克服重力作用滚上台阶，可将轮看成以轮与台阶接触点 P 为支点的变形杠杆，O 既是动力作用点，也是阻力作用点。只有当动力的方向与 OP 垂直时，动力的力臂才最大，根据杠杆平衡条件，此时动力值为最小。

取拉力 F 垂直于 OP 时，动力臂

$$l_1 = OP = R = \frac{D}{2} = \frac{1}{2} \times 60 = 30 \text{ (厘米)}。$$

过 P 点作到重力作用线的垂直线段，该距离即为阻力臂

$$l_2 = \sqrt{R^2 - (R - h)^2} = \sqrt{30^2 - (30 - 12)^2} = 24 \text{ (厘米)}。$$

根据杠杆平衡条件公式得

$$F = \frac{l_2}{l_1} G = \frac{24}{30} \times 100 = 80 \text{ (牛)}。$$

题 5 某同学用一根均匀的小木棒和两个小秤盘制作了一架土天平，把待测的物体放到天平左盘，右盘放一个质量为  $m_1$  的砝码，使天平水平平衡；然后把待测物体放到天平右盘，左盘放一质量为  $m_2$  的砝码 ( $m_1 > m_2$ )，天平又重新平衡。待测物体的实际质量是多少？

物体分别放在左右两盘时，使天平平衡的砝码不一样，表明土天平为不等臂天平，设待测物体的质量为  $m$ ，支点到左边挂盘悬挂点的距离为  $l_1$ ，到右边悬挂点的距离为  $l_2$ ，当待测物体放在左盘时，根据杠杆平衡条件有：

$$\frac{mg}{m_1 g} = \frac{l_2}{l_1}$$

当待测物体放在右盘时，有

$$\frac{m_2 g}{mg} = \frac{l_2}{l_1}$$

由 两式得： $m = \sqrt{m_1 m_2}$

用例三 杠杆平衡问题的动态分析及计算。

题 6 如图 1-75 所示，杠杆 AB 可绕 O 转动，弧形导轨 MN 以 A 为圆心，绳 AD 的 D 端系一滑环可在 MN 上自由滑动，在滑环从 N 向 M 滑动过程中，杠杆保持平衡，问绳 AD 对杠杆的拉力如何变化？

设杠杆左端重物对 B 点的拉力为阻力，则阻力  $\times$  阻力臂为一恒量，根据杠杆平衡条件，动力  $\times$  动力臂也必为一恒量。当 AD 的 D 端由 N 滑向 M 的过程中，绳子拉力的力臂先由小逐渐变大，到达导轨 P 点 (P 在 A 的竖直向下方向上) 时，力臂最大，然后力臂又逐渐变小，根据杠杆平衡条件，D 由 N 滑到 M 的过程中，绳子的拉力先变小，在 P 点时为最小，然后又变大。

题 7 杠杆总长为 1.2 米，与墙壁夹角为  $30^\circ$ ，如图 1-76 所示，在 B 点挂一重为 240 牛的物体，OB 为 0.8 米。在动力 F 的作用下，杠杆在竖直平面内缓慢向上转动至水平位置。已知动力方向始终与杠杆垂直，求这个过程中动力大小的变化。

因为杠杆缓慢转动，是个动态问题。但起始状态及最终水平时可以看

作是平衡态。杠杆向上转动过程中，由于动力始终与杠杆垂直，所以动力臂  $l_1 = OA = 1.2$  米，是个不变的值；阻力  $F_2 = 240$  牛，也保持不变，阻力臂在开始时

$$l_2 = OB \cdot \sin 30^\circ = 0.4 \text{ 米},$$

转至水平位置时，阻力臂

$$l'_2 = OB = 0.8 \text{ 米}。$$

该问题由于前、后状况有异，定量计算也应分别立式后求解。

杠杆在图示位置时，设动力为  $F$ ，根据杠杆平衡条件有：

$$Fl_1 = F_2 l_2,$$

$$\text{动力 } F = \frac{l_2}{l_1} F_2 = 80 \text{ 牛}。$$

杠杆转至水平位置时，设动力为  $F'$ ，则：

$$F' l_1 = F_2 l'_2,$$

$$\text{动力 } F' = \frac{l'_2}{l_1} F_2 = 160 \text{ 牛}。$$

整个过程中，动力从 80 牛，增大至 160 牛，原因是阻力臂在不断地增大。

题 8 如图 1-77，AOB 为一弯曲杠杆， $AO = BO = 1$  米，在 A 点挂一质量是 5 千克，密度为  $2.5 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup> 的矿石，并使矿石浸没在水中，这时在 B 点加多大竖直向下的力可以使杠杆平衡？若取走水盆，保持这个动力的大小不变，能否用改变动力方向的办法维持杠杆平衡？

此时的阻力  $F_2 = G - F_{\text{浮}}$ ，

$$\text{而据 } V_{\text{物}} = \frac{m_{\text{物}}}{\rho_{\text{物}}}, F_{\text{浮}} = \rho_{\text{水}} g V_{\text{物}},$$

代入数据得：

$$V_{\text{物}} = \frac{m_{\text{物}}}{\rho_{\text{物}}} = \frac{5}{2.5 \times 10^3} = 2 \times 10^{-3} \text{ (米}^3\text{)},$$

$$F_{\text{浮}} = \rho_{\text{水}} g V_{\text{物}} = 1 \times 10^3 \times 9.8 \times 2 \times 10^{-3} = 19.6 \text{ (牛)}。$$

悬挂矿石绳子的拉力  $F_2 = G - F_{\text{浮}}$

$$= 5 \times 9.8 - 19.6$$

$$= 29.4 \text{ (牛)}。$$

根据杠杆平衡条件  $F_1 l_1 = F_2 l_2$ ，

其中  $l_2 = OA$ ， $l_1 = OB \cdot \cos 60^\circ$ ，代入数据得：

$$F_1 = \frac{l_2}{l_1} F_2 = \frac{OA}{OB \cdot \cos 60^\circ} F_2 = 58.8 \text{ (牛)}。$$

取走水盆时： $F_2 = G = mg = 5 \times 9.8 = 49$  (牛)，

对于杠杆左侧有：

阻力  $\times$  阻力臂 =  $49 \text{ 牛} \times 1 \text{ 米} = 49 \text{ 牛} \cdot \text{米}$ ，

若保持动力大小和方向均不变，则杠杆右侧有：

动力  $\times$  动力臂 =  $58.8 \text{ 牛} \times 0.5 \text{ 米} = 29.4 \text{ 牛} \cdot \text{米}$ ，

显然杠杆不能平衡，左侧向下倾。若保持动力大小不变，而改变动力

方向，使动力作用线垂直于 OB，此时的动力臂为最大值，则动力 × 动力臂的乘积可取得最大值：

$$58.8 \text{ 牛} \times 1 \text{ 米} = 58.8 \text{ (牛} \cdot \text{米)} > 49 \text{ (牛} \cdot \text{米)}。$$

显然，只要适当改变动力的方向，使动力 × 动力臂的积等于 49 牛 · 米，即可重新满足杠杆平衡条件，维持杠杆平衡。

**【三种杠杆】** 1. 省力杠杆：特点是  $l_1 > l_2, F_1 < F_2$ 。使用这种杠杆能省力，但要多移动距离，常见的有撬棒、铡刀、汽水扳子、动滑轮等。

2. 费力杠杆：特点是  $l_1 < l_2, F_1 > F_2$ 。使用这种杠杆费力，但可以少移动距离，常见的有理发剪刀、钓鱼杆、缝纫机脚踏板等。

3. 等臂杠杆：特点是  $l_1 = l_2, F_1 = F_2$ 。使用这种杠杆既不省力也不费力，既不省距离也不费距离，常见的有天平、定滑轮等。

**用例** 利用三种杠杆的特点，可以判别常见杠杆的省力情况。

**题 1** 比较图示 1-78 中普通剪刀、铁匠剪刀和理发剪刀的动力臂、阻力臂的长短，试说明各自的省力情况。

普通剪刀的动力臂与阻力臂基本相等，既不省力又不费力，适合家用。铁匠剪刀的动力臂远大于阻力臂，省力，能剪断铁皮等材料。理发剪刀的动力臂明显小于阻力臂，属费力杠杆，虽费力，但操作方便，剪发较快，较整齐。

**题 2** 在利用铡刀铡草时，常将草往刀口前部移动，如图 1-79 所示；工人师傅用扳手拧生锈的螺母时，常在扳手柄上加套一节管子，如图 1-80 所示。试分析这样做的好处。

铡草时把草往前移，可以缩短阻力臂，在阻力、动力臂不变的情况下可以减小动力，达到省力目的。拧螺母时，在手柄上加套管子是为了增大动力臂，在阻力、阻力臂一定时，动力 ( $F_1 = \frac{l_2}{l_1} F_2$ ) 由于  $l_1$  增大而减小，而减小，更容易拧下螺母。

\* **【轮轴】** 由轮和轴组成能绕共同轴转动的简单机械叫做轮轴，如图 1-81 (a) 所示。从图 1-81 (b) 可以看出轮轴实质是可以连续旋转的杠杆。轮和轴的中心 O 是支点，作用在轮上的力  $F_1$  是动力，作用在轴上的力  $F_2$  是阻力，动力臂是轮半径 R，阻力臂是轴半径 r，由杠杆的平衡条件可知：

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{R}{r}。$$

轮半径是轴半径的几倍，作用在轮上的力就是轴上阻力的几分之一。

**用例一** 轮轴在生产、生活中的广泛应用。

**题 1** 图 1-82 的辘轳，图 1-83 的汽车方向盘，图 1-84 的自行车把手，图 1-85 的自来水开关，图 1-86 的电风扇调速开关等都是轮轴在日常生活中的应用。

**用例二** 利用轮轴进行有关计算。

**题 2** 辘轳轴的直径是 20 厘米，从手摇臂的把手到轴线的垂直距离是 50 厘米，从井里提起重量为 120 牛的一桶水，在把手上要加多大的力？

此题中的动力臂为把手到轴线的距离，阻力臂为轴的半径，即：

$$l_{\text{阻}} = \frac{1}{2} \times 20 = 10 \text{ (厘米)}, l_{\text{动}} = 50 \text{ (厘米)}, F_{\text{阻}} = 120 \text{ 牛}, \text{代入公}$$

式  $F_1 R = F_2 r$ , 可得  $F_1 = 24 \text{ (牛)}$ 。

**【滑轮】** 周边有槽, 能绕轴心转动的圆轮叫做滑轮, 滑轮是一种简单机械, 在生产、生活中有广泛应用。滑轮本质是一种变形杠杆, 如图 1-87 (a), 将等臂杠杆中间部分加宽, 使之变成一个绕中心轴转动的圆轮, 再把圆轮的外缘加工成槽状, 如图 1-87 (b), 这便是滑轮。

根据滑轮在使用时, 轴的位置是否移动, 可将滑轮分为定滑轮和动滑轮两种。

**定滑轮** 滑轮在使用时, 轴的位置不移动的叫定滑轮。如图 1-87 (b) 便是定滑轮, 它实际上是一个等臂杠杆。在摩擦力不计的前提下, 使用定滑轮既不省力也不费力, 但是能改变力的方向。在不少情况下, 改变力的方向会给工作带来方便。

**用例** 定滑轮应用举例。

**题 1** 人站在地面上升国旗, 如图 1-88, 建筑工人站在地面上将建筑材料向上提, 如图 1-89, 这些情况尽管不省力, 但是却方便多了。

**题 2** 如图 1-90 所示, 沿不同方向用弹簧秤拉住钩码, 弹簧秤的示数是否相同?

三种情况中弹簧秤的示数完全相同。因为这三种情况中, 砝码重力和阻力臂完全相同, 支点 O (轮的轴心) 到动力作用线的垂直距离都等于轮的半径, 因此三种情况下拉力都等于砝码的重力。

**动滑轮** 滑轮在使用时, 轴的位置随着被拉物体一起移动的叫动滑轮。如图 1-91 所示, 动滑轮的实质是动力臂为阻力臂两倍的变形杠杆, 使用动滑轮能省一半力, 但力的方向不能变。

动滑轮省力原因还可以用图 1-92 来说明, 因为使用动滑轮时, 重物由两段绳子吊着, 每段绳子承担物重的一半。

**用例** 关于使用动滑轮能省一半力的具体讨论。

**题 1** 用自身重为 10 牛的动滑轮提起 500 牛的重物, 拉力 F 是多大?

由于动滑轮有自身的重力, 所以两段绳子要承受重物和动滑轮的总重力, 有

$$F_{\text{拉}} = \frac{1}{2} (G_{\text{物}} + G_{\text{轮}}) = \frac{1}{2} (500 + 10) = 255 \text{ (牛)}。$$

该题计算的拉力要比物重的二分之一略大些, 是因为考虑了动滑轮自重的缘故。所以使用动滑轮省一半力有如下条件:

1. 滑轮重和摩擦力必须忽略不计;
2. 动滑轮两边的绳子必须平行。

第 2 个条件需学习高中物理知识证明, 初中可以用实验验证。

**滑轮组** 由动滑轮和定滑轮组合在一起成滑轮组。因为动滑轮省力, 定滑轮可改变用力方向, 组合成滑轮组使用可达到即省力, 又方便的目的。

使用滑轮组时, 若动滑轮重和摩擦不计, 动滑轮被几段绳子吊起, 提起物体所用的力就是物重的几分之一。

关于滑轮组要注意下面两个问题:

1. 在滑轮组中, 承担物重的是吊着动滑轮的那几段绳子, 这包括拴在动滑轮框上的和最后从动滑轮引出去的拉绳。而跨过定滑轮的绳子, 包括

最后从定滑轮引出的拉绳，只起改变作用力方向的作用，如图 1-93 (a)、(b) 所示的两组滑轮组，尽管都是两个定滑轮和两个动滑轮，但是由于绳子的绕法不一样，承担物重的绳子的段数  $n$  就不一样，(a) 图中  $n=4$ ，(b) 图中  $n=5$ 。

2. 使用动滑轮、滑轮组虽然能省力，但是不省距离，如图 1-93 (a) 滑轮组中将重物提高  $h$ ，人手拉绳的距离是  $s = nh = 4h$ 。

用例一 一般的滑轮组的省力情况分析主要是看有几段绳子与动滑轮连接。

有关滑轮组的一般性问题中是用一根绳子连接动滑轮和定滑轮，在这种情况下认为同一根绳子在滑轮组的不同部位其拉力大小是相等的，如图 1-94 (a) 所示，用一根绳子从定滑轮下面的挂勾打结后通过几个轮子最后从上面的定滑轮拉出。由于同一根绳子中的拉力大小相等，分析时可以用虚线把定滑轮部分和动滑轮部分截开，如图 1-94 (b)，吊起动滑轮绳

子的段数  $n=4$ ，如不计动滑轮重，则拉力  $F = \frac{1}{n} G_{物}$ ；如考虑动滑轮重

力，则拉力  $F = \frac{1}{n} (G_{物} + G_{动})$ 。

题 1 如图 1-95，用滑轮组提起重物，动滑轮重 100 牛，所用的拉力是 2100 牛，货物多重？

拉力  $F = 2100$  牛， $G_{动} = 100$  牛，由于  $F = \frac{1}{n} (G_{物} + G_{动})$ ，绳子段数  $n = 3$ ， $G_{物} = nF - G_{动}$ 。将拉力及动滑轮重代入，得  $G_{物} = 6200$  牛。

题 2 如图 1-96 所示，物体 A 重为 40 牛，密度为  $2 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>，如果滑轮组、弹簧秤和绳的重力及摩擦力不计，求当物体 A 的一半浸入水中时，各弹簧秤的读数是多少。

当物体 A 一半浸在水中时，浮力  $F_{浮} = \rho_{水} g V_{排} = \frac{1}{2} \rho_{水} g V_{物}$ ，而  $V_{物} = \frac{m_{物}}{\rho_{物}} = \frac{G_{物}}{\rho_{物} g}$ ， $G_{物} = 40$  牛， $\rho_{物} = 2 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>，代入上式，算出  $F_{浮} = 10$  牛。

拉动绳子提起重物所需拉力

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} (G_{物} - F_{浮}) \\ &= \frac{1}{2} \times (40 - 10) = 15 \text{ (牛)}. \end{aligned}$$

由于连接动滑轮和定滑轮的是同一根绳子，所以，三个弹簧秤的读数相等，都是 15 牛。

日常生活中，也有用滑轮组来拉水平地面上物体的，如图 1-97 所示， $n = 3$ ，则拉力  $F = \frac{1}{n} f$  ( $f$  为物体匀速运动时与地面之间的摩擦力)。

题 3 在水平地面上放一个重 1000 牛的物体，物体与地面的摩擦力为 200 牛，用如图 1-98 所示的滑轮组匀速拉动物体，拉力  $F$  是多大？

这种情况的处理方法完全类似于用滑轮组克服重力提起重物的思路，

这里用滑轮组的作用是克服物体的摩擦力将物体向前匀速拉动，所以  $F$

$$= \frac{1}{2}f = \frac{1}{2} \times 200 = 100 \text{ (牛)}。$$

**用例二** 对个别特殊连接的滑轮组要具体情况具体分析。

**题 4** 用如图 1-99 所示方法连接的滑轮组匀速提起重  $G = 100$  牛的物体，下面的滑轮重  $G_1 = 20$  牛，上面的滑轮重  $G_2 = 30$  牛，拉力  $F$  需多大？

该题中两个滑轮都是动滑轮，没有定滑轮，分析时，一般从连接重物的滑轮开始逐个分析，即先分析图中的  $F_1$ ，后分析  $F$ 。

$$F_1 = \frac{1}{2} (G + G_1) ,$$

$$F = \frac{1}{2} (F_1 + G_2) = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} (G + G_1) + G_2 \right] ,$$

将数据代入上式中，得  $F = 45$  牛。

**题 5** 如图 1-100 所示，放在水平台面上的  $m_1$  重 100 牛，通过滑轮挂有重为 30 牛的物体  $m_2$ ，刚好使  $m_1$  在台面上作匀速运动，求物体  $m_1$  与台面间的摩擦力。

从图中可以看出上面的滑轮 A 是定滑轮，下面的滑轮 B 是动滑轮，先分析滑轮 B 的情况，该滑轮受到向下的两段绳子的拉力，每段绳子的拉力均为 30 牛，则通过滑轮 A 连接物体  $m_1$  和滑轮 B 轴的绳子中的拉力应为  $F_{\text{拉}} = 2G = 60$  牛，所以物体  $m_1$  与台面间的摩擦力为  $f = F_{\text{拉}} = 60$  牛。

**【功】** 作用在物体上的力，使物体在力的方向上通过了一段距离，我们就说这个力对物体做了功。

做功的两个必要因素：一是作用在物体上的力，二是物体在力的方向上通过的距离。判断力对物体是否做功，一定要依据这两个必要因素，只有当两个因素同时满足时，力才对物体做功。

**功的计算** 力对物体做的功等于力与物体在力的方向上通过的距离的乘积，即  $W = Fs$ ，式中  $F$  表示作用在物体上的力， $s$  表示物体在力的方向上通过的距离， $W$  表示功。

**功的单位** 在国际单位制中，力  $F$  的单位为牛，距离  $s$  的单位为米，功  $W$  的单位为焦耳，简称焦，符号为 J。

$$1 \text{ 焦} = 1 \text{ 牛} \cdot \text{米}。$$

计算功的问题，常按下列程序进行：

1. 对物体进行受力分析，画出力的示意图；2. 标出物体运动方向；3. 观察哪些力与物体运动方向相同；4. 根据做功的力和物体在这个力的方向上通过的距离，代入公式  $W = Fs$  算出功的大小。

在计算人通过机械对物体做功的问题时，人对机械所做的功等于人的动力乘以动力作用点通过的距离，而机械克服阻力所做的功等于机械对物体的力跟物体在这个力的方向上通过的距离的乘积。

**用例一** 判断力对物体是否做功。

**题 1** 判断下列各种情况，力对物体是否做功。

(1) 人用 100 牛的力推车，车没有推动；(2) 重 1000 牛的物体沿光滑水平面匀速前进了 5 米；(3) 起重机用 1000 牛的拉力把吊起的货物平移了 5 米；(4) 小孩用 4 牛的水平拉力使重为 10 牛的木块沿水平地面匀

速前进了 1.2 米。

对物体进行受力分析，画出有关力的示意图，标出运动方向，如图 1-101。

(1) 中，虽有力作用在物体上，但物体在力的方向上没有移动距离， $s=0$ ，所以  $W=0$ ，力对物体没有做功；(2) 中，物体沿光滑水平面匀速前进了 5 米是由于惯性，它在水平方向并没有受到力的作用，因为  $F=0$ ，所以  $W=0$ ，没有力对物体做功；(3) 中，虽有力，也有距离，但不是力的方向上通过的距离，拉力仍然没有做功；(4) 中，显然符合物理学中做功的条件， $F=4$  牛， $s=1.2$  米， $W=Fs=4$  牛  $\times$  1.2 米 = 4.8 焦，拉力对物体做了功。

用例二 用公式  $W=Fs$  计算功的大小。

题 2 一个物体重 200 牛，求在下列各种情况下力对物体所做的功。

(1) 人把重物匀速提高 1.5 米；(2) 人用 250 牛的力把物体由静止很快地举高 1.5 米；(3) 物体在粗糙水平地面上，在拉力的作用下匀速前进 1.5 米，已知物体受到摩擦阻力，大小为 30 牛。

(1) 因为匀速，所以拉力  $F=G=200$  牛， $s=1.5$  米，

则  $W=Fs=200$  牛  $\times$  1.5 米 = 300 焦。

这种情况即常称的克服重力做功，计算时也常直接用公式  $W=Gh$ ， $G$  为物重， $h$  为提升高度。

(2) 因物体由静止开始运动，故不是匀速提升，人举物体用的力不等于物重。根据功的定义，应取  $F=250$  牛，人对物体做的功为  $W=Fs=250$  牛  $\times$  1.5 米 = 375 焦。

(3) 由于物体匀速前进，人的拉力  $F=f=30$  牛，所以， $W=Fs=30$  牛  $\times$  1.5 米 = 45 焦。

这种情况也常称为克服摩擦做功，可直接用公式  $W=fs$  计算。

题 3 用图 1-102 所示滑轮组匀速提升重  $G=480$  牛的物体，所用拉力  $F=300$  牛，绳子的自由端被拉下了 2 米，求拉力所做的功和滑轮组提升重物所做的功。

题中拉力所做的功为：

$W=Fs=300$  牛  $\times$  2 米 = 600 焦。

因为是匀速，滑轮组对物体的拉力即等于物重，即  $F=G=480$  牛，绳的自由端被拉下 2 米，由图可知重物上升的距离为 1 米，所以滑轮组提升重物所做的功：

$W=Gh=480$  牛  $\times$  1 米 = 480 焦。

题 4 图 1-103 中，物重  $G=100$  牛，人拉绳子自由端的手距离定滑轮的竖直高度为 3 米，人拉绳子沿水平方向向右前进 4 米，并保持重物匀速上升，求人拉绳子所做的功（摩擦不计）。

由于人拉绳子的力的方向不断改变，且动力作用点移动的方向跟拉力的方向不在同一条直线上，所以不能用公式  $W=Fs$  计算人拉绳子所做的功，但考虑到不计摩擦的情况下，人拉绳子所做的功就是定滑轮提升重物  $G$  所做的功，所以只要求出定滑轮提升重物做的功，就得到了人拉绳子所做的功。

拉力  $F=G=100$  牛，重物上升的高度

$$h = \sqrt{(3\text{米})^2 + (4\text{米})^2} - 3\text{米} = 2\text{米},$$

$$\text{即 } W = Gh = 100 \times 2\text{米} = 200\text{焦}.$$

题5 图 1-104 所示的装置中，重 30 牛的物体 A 在力  $F = 2$  牛的作用下，以 10 厘米 / 秒的速度在水平平面上作匀速直线运动。问弹簧秤的示数为多大？A 物体与水平平面之间的滑动摩擦力  $f$  多大？在 2 秒钟内拉力  $F$  所做的功为多大？

弹簧秤示数就是拉力  $F$ ，大小为 2 牛，物体 A 与水平面之间的摩擦力  $f = 2F = 4$  牛，要求拉力  $F$  在 2 秒钟内所做的功，还必须求出绳子自由端在 2 秒钟内移动的距离  $s$ ：

$$s = 2s_A = 2v_A t = 2 \times 0.1\text{米/秒} \times 2\text{秒} = 0.4\text{米},$$

$$\text{所以拉力做功 } W = Fs = 2\text{牛} \times 0.4\text{米} = 0.8\text{焦}.$$

题6 一人体重  $G = 600$  牛，每层楼的高度是 3 米，问这个人匀速登上 3 楼克服重力做了多少功？

错误方法： $h = 3\text{米} \times 3 = 9\text{米}$ ，

$$W = Gh = 600\text{牛} \times 9\text{米} = 5400\text{焦}.$$

错误原因：人从地面登上 3 楼，实际只需要爬两层楼的高度。

正确方法： $h = 3\text{米} \times 2 = 6\text{米}$ ，

$$W = Gh = 600\text{牛} \times 6\text{米} = 3600\text{焦}.$$

题7 质量为 60 千克的人牵着质量为 100 千克的马上山，若登高 30 米，问人做的功为多少？马做了多少功？若人骑在马上登上同样高度，则人和马做的功各为多少？

人牵马上山，人和马都要克服重力做功。

人做功： $W_{人} = G_{人} h$

$$= 60\text{千克} \times 9.8\text{牛/千克} \times 30\text{米}$$

$$= 1.764 \times 10^4\text{焦},$$

马做功： $W_{马} = G_{马} h$

$$= 100\text{千克} \times 9.8\text{牛/千克} \times 30\text{米}$$

$$= 2.94 \times 10^4\text{焦}.$$

人骑马上山，人做的功为零，马则要克服人和自身的重力做功。

$$W_{马} = (G_{人} + G_{马}) h$$

$$= (100\text{千克} + 60\text{千克}) \times 9.8\text{牛/千克} \times 30\text{米}$$

$$= 4.704 \times 10^4\text{焦}.$$

用例三 比较功的大小。

题8 图示 1-105 中，A、B、C 三个物体的质量分别为  $m_A$ 、 $m_B$ 、 $m_C$ ，且  $m_A > m_B > m_C$  它们在同样大的力  $F$  的作用下都沿着力的方向移过距离  $s$ ，比较力  $F$  对三个物体做功的多少，结论是 ( )

A. 一样多

B. 对 A 做的功最多

C. 对 B 做的功最多

D. 对 C 做的功最多

根据  $W = Fs$ ，A、B、C 三个物体受到的拉力  $F$  和它们在力的方向上通过的距离  $s$  均相同，因此所做功相等，答案应选 A。

题9 在相同的水平推力  $F$  的作用下，A、B 两物体分别以  $v_A$  和  $v_B$  的速度在水平平面上运动，且  $v_A > v_B$ ，如推力使两物体移动相同的距离  $s$ ，

推力所做的功分别为  $W_A$  和  $W_B$ ，则 ( )

- A.  $W_A > W_B$                       B.  $W_A < W_B$   
C.  $W_A = W_B$                       D. 无法确定

题 9 与题 8 一样， $F$  和  $s$  均相同，做的功相等，故答案为 C。

从这两道题的解答可以看出，功的大小只与  $F$  和  $s$  的大小有关，与物体的质量、重力、速度大小等因素没有直接关系。

【功率】 单位时间里完成的功叫功率，它是表示做功快慢的物理量。

功率的计算  $1. P = \frac{W}{t}$ ，式中  $W$  表示功， $t$  表示完成功所用时间， $P$

为功率； $2. P = Fv$ ， $F$  为作用在物体上的力， $v$  为物体移动的速度。

功率的单位 功率的国际单位是瓦特 (W)，简称瓦。

1 瓦 = 1 焦/秒。

实用单位有千瓦 (kW) 和马力 (HP)，换算关系：

1 千瓦 =  $10^3$  瓦，

1 马力 = 0.735 千瓦 = 735 瓦。

用例一 比较功率大小。

题 1 比较下列各种情况中功率的大小：

(1) 甲、乙两人同在 2 分钟内分别把 50 牛的重物搬到 9 米和 12 米的楼层；(2) 甲、乙两人都将 50 牛的重物搬到 9 米高处的楼上，甲用了 2 分钟，乙用了 3 分钟；(3) 甲起重机在 1 分钟内把 40 吨重物举高 10 米，乙起重机在 2 分钟内把 50 吨重物举高 20 米；(4) 甲、乙两人体重之比为 3 : 2，登上相同的楼层所用时间之比为 4 : 3。

(1) 时间 2 分钟相同，甲乙做的功分别为：

$$W_{甲} = Gh_{甲} = 50 \text{ 牛} \times 9 \text{ 米} = 450 \text{ 焦}；$$

$$W_{乙} = Gh_{乙} = 50 \text{ 牛} \times 12 \text{ 米} = 600 \text{ 焦}。$$

因为  $W_{甲} < W_{乙}$ ，所以  $P_{甲} < P_{乙}$ 。

(2) 甲、乙两人都把 50 牛的重物搬到 9 米高处，

$$W_{甲} = W_{乙} = Gh = 50 \text{ 牛} \times 9 \text{ 米} = 450 \text{ 焦}。$$

由于  $t_{甲} < t_{乙}$ ，所以  $P_{甲} > P_{乙}$ 。

(3) 甲起重机做的功为：

$$\begin{aligned} W_{甲} &= G_{甲} h_{甲} = 4 \times 10^4 \text{ 千克} \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 10 \text{ 米} \\ &= 3.92 \times 10^6 \text{ 焦}， \end{aligned}$$

$$\text{其功率：} P_{甲} = \frac{W_{甲}}{t_{甲}} = \frac{3.92 \times 10^6 \text{ 焦}}{60 \text{ 秒}} = 6.5 \times 10^4 \text{ 瓦}；$$

乙起重机做功为：

$$\begin{aligned} W_{乙} &= G_{乙} h_{乙} = 5 \times 10^4 \text{ 千克} \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 20 \text{ 米} \\ &= 9.8 \times 10^6 \text{ 焦}， \end{aligned}$$

$$\text{其功率：} P_{乙} = \frac{W_{乙}}{t_{乙}} = \frac{9.8 \times 10^6 \text{ 焦}}{2 \times 60 \text{ 秒}} = 8.2 \times 10^4 \text{ 瓦}。$$

显然  $P_{甲} < P_{乙}$ 。

(4) 由  $P = \frac{W}{t} = \frac{Gh}{t}$  得

$$\frac{P_{甲}}{P_{乙}} = \frac{G_{甲}}{G_{乙}} \cdot \frac{h_{甲}}{h_{乙}} \cdot \frac{t_{乙}}{t_{甲}} = \frac{3}{2} \times \frac{1}{1} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{8}$$

即  $P_{甲} > P_{乙}$ 。

用例二 用公式计算功率大小。

题2 在平直公路上有一辆重 1500 牛的车，某人以 1.2 米/秒的速度沿水平方向拉车作匀速直线运动，已知车受到的摩擦阻力为 100 牛，问 2 分钟内工人做了多少功？功率多大？

因为匀速，所以  $F = f = 100$  牛， $s = vt = 1.2$  米/秒  $\times$  120 秒 = 144 米，  
 $W = Fs = 100$  牛  $\times$  144 米 =  $1.44 \times 10^4$  焦，

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1.44 \times 10^4 \text{ 焦}}{120 \text{ 秒}} = 1.2 \times 10^2 \text{ 瓦。}$$

或  $P = Fv = 100$  牛  $\times$  1.2 米/秒 =  $1.2 \times 10^2$  瓦。

题3 在 5 米深的矿井底，每分钟有 3 米<sup>3</sup>的地下水冒出来，为了不使矿井积水，至少要选用多大功率的水泵来抽水？

据题意，必须每分钟内将冒出的水泵至 5 米高处，所以，水泵每分钟将积水抽出矿井所做的功：

$$\begin{aligned} W &= Gh = \rho_{水} g V_{水} h \\ &= 1 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 3 \text{ 米}^3 \times 5 \text{ 米} \\ &= 1.47 \times 10^5 \text{ 焦，} \end{aligned}$$

$$\text{水泵的功率 } P = \frac{W}{t} = \frac{1.47 \times 10^5 \text{ 焦}}{60 \text{ 秒}} = 2.45 \times 10^3 \text{ 瓦。}$$

题4 图示 1-106 装置中，滑轮的摩擦不计，水平面上的物体 A 重 100 牛，当物体 B 重 10 牛时，A 物作匀速运动。问 (1) A 受到多大的摩擦力？

(2) 当对 A 物施加一个水平向左的拉力时，可使 B 物以 0.5 米/秒的速度匀速上升，求此拉力 5 秒钟所做的功和功率。

(1) 如图 1-107 所示，A 物水平方向受到向右的拉力和向左的摩擦力，因为匀速，所以  $f = F = 2G_B = 2 \times 10$  牛 = 20 牛。

(2) 如图 1-108 所示，对 A 物施加水平向左的拉力  $F'$  时，A 物在水平方向上受到三个力的作用： $F'$  水平向左；B 物对 A 的拉力  $F = 2G_B = 20$  牛，方向水平向右；摩擦力  $f$ ，由于正压力及接触表面的粗糙程度都不变，所以仍然等于 20 牛，方向与这时 A 物的运动方向相反，即水平向右。因为匀速，A 物在水平方向上受力平衡，所以拉力

$$F' = F + f = 20 \text{ 牛} + 20 \text{ 牛} = 40 \text{ 牛。}$$

$$\text{由于 } v_A = \frac{1}{2} v_B = \frac{1}{2} \times 0.5 \text{ 米/秒} = 0.25 \text{ 米/秒，}$$

所以 A 物在 5 秒钟内沿拉力方向通过的距离

$$s_A = v_A t = 0.25 \text{ 米/秒} \times 5 \text{ 秒} = 1.25 \text{ 米，}$$

所以，拉力所做的功  $W = F's = 40$  牛  $\times$  1.25 米 = 50 焦，

$$\text{拉力的功率 } P = \frac{W}{t} = \frac{50 \text{ 焦}}{5 \text{ 秒}} = 10 \text{ 瓦，}$$

或  $P=F \cdot v_A=40 \text{ 牛} \times 0.25 \text{ 米/秒}=10 \text{ 瓦}$ 。

题5 图示 1-109 装置中，在拉力  $F$  的作用下，重 30 牛的物体 A 以 5 厘米/秒的速度在水平面上作匀速运动，此时 A 物受到绳子的拉力为 2 牛，求 4 秒钟内拉力  $F$  所做的功和功率。

要求  $F$  所做的功，必须求出  $F$  的大小和 4 秒钟内动滑轮移动的距离。

如图 1-110， $F=2F_{\text{拉}}=2 \times 2 \text{ 牛}=4 \text{ 牛}$ ，动滑轮移动速度

$$v_{\text{动}} = \frac{1}{2} v_A = \frac{1}{2} \times 5 \text{ 厘米/秒} = 2.5 \text{ 厘米/秒}。$$

4 秒钟内动滑轮移动的距离

$$s=v_{\text{动}} t=2.5 \times 10^{-2} \text{ 米/秒} \times 4 \text{ 秒}=10 \text{ 厘米}=0.1 \text{ 米}，所以，拉力 F 做的$$

功

$$W=Fs=4 \text{ 牛} \times 0.1 \text{ 米}=0.4 \text{ 焦}，$$

$$\text{拉力的功率 } P = \frac{W}{t} = \frac{0.4 \text{ 焦}}{4 \text{ 秒}} = 0.1 \text{ 瓦}。$$

题6 图 1-111 中粗细均匀的水管的横截面积  $S=10 \text{ 厘米}^2$ ，管的 AB 部分长 2 米，管内装满水，在推力  $F$  的作用下，活塞在 5 秒钟内匀速推进了 0.5 米，求推力所做的功和功率。

一种方法，先求出水的压强，从而求出推力  $F$  的大小，再求功和功率。

$$\text{水的深度 } h = 2 \text{ 米} \times \sin 30^\circ = 2 \text{ 米} \times \frac{1}{2} = 1 \text{ 米}，$$

水对活塞的压强

$$p = \rho_{\text{水}} g h = 1.0 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 1 \text{ 米}$$

$$= 9.8 \times 10^3 \text{ 帕}，$$

水对活塞的压力

$$F' = PS = 9.8 \times 10^3 \text{ 帕} \times 10^{-3} \text{ 米}^2 = 9.8 \text{ 牛}，$$

推力  $F = F' = 9.8 \text{ 牛}$ ，

所以推力所做的功  $W = F's = 9.8 \text{ 牛} \times 0.5 \text{ 米} = 4.9 \text{ 焦}$ ，

$$\text{推力的功率 } P = \frac{W}{t} = \frac{4.9 \text{ 焦}}{5 \text{ 秒}} = 0.98 \text{ 瓦}。$$

另一种方法，因为活塞推进 0.5 米，相当于把从管口排出的水，从水平提高到 A 点。而从管口排出的水重

$$G_{\text{水}} = \rho_{\text{水}} g V = 1.0 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 9.8 \text{ 牛/千克} \times 0.5 \text{ 米} \times 10^{-3} \text{ 米}^2$$

$$= 4.9 \text{ 牛}。$$

因为活塞推进 0.5 米把水提高的高度：

$$h = 2 \text{ 米} \times \sin 30^\circ = 1 \text{ 米}，$$

所以推力  $F$  做的功  $W = Gh = 4.9 \text{ 牛} \times 1 \text{ 米} = 4.9 \text{ 焦}$ ，

$$\text{推力的功率 } P = \frac{W}{t} = \frac{4.9 \text{ 焦}}{5 \text{ 秒}} = 0.98 \text{ 瓦}$$

题7 用图 1-112 所示的滑轮组把 500 牛的重物 A 匀速提高 2 米，拉力所做的功为  $1.2 \times 10^3 \text{ 焦}$ 。如用该滑轮组把重为 1100 牛的重物 B 在 20 秒钟内匀速提升 3 米，则拉力的功率为多大（摩擦不计）？

为了要求提升重物 B 时拉力的功率，首先要求出动滑轮的重，再考虑

拉力  $F$  的大小，最后方可求出功率。

$$\text{因为 } W = Fs = \frac{G_A + G_B}{n} \times nh = (G_A + G_{\text{动}}) h,$$

所以动滑轮重

$$\begin{aligned} G_{\text{动}} &= \frac{W}{h} - GA \\ &= \frac{1.2 \times 10^3 \text{焦}}{2 \text{米}} - 500 \text{牛} \\ &= 100 \text{牛}。 \end{aligned}$$

提升重物B时的拉力

$$\begin{aligned} F &= \frac{G_B + G_{\text{动}}}{n} \\ &= \frac{1100 \text{牛} + 100 \text{牛}}{3} = 400 \text{牛}。 \end{aligned}$$

B 物上升了 3 米，绳子自由端移动的距离

$$s' = nh' = 3 \times 3 \text{米} = 9 \text{米}，$$

所以拉力所做的功

$$\begin{aligned} W' &= F's \\ &= 400 \text{牛} \times 9 \text{米} = 3.6 \times 10^3 \text{焦}， \end{aligned}$$

拉力的功率

$$\begin{aligned} P &= \frac{W'}{t} \\ &= \frac{3.6 \times 10^3 \text{焦}}{20 \text{秒}} = 180 \text{瓦}。 \end{aligned}$$

注意：同一滑轮组提升不同重力的物体时，滑轮组的机械效率不同，所以在求拉力  $F$  时，不能根据机械效率相等来解答。

用例三 利用  $P = Fv$  求牵引力和速度。

题 8 解放牌汽车的功率是 90 马力，若牵引力为 6750 牛，求汽车的速度是多大？3 分钟通过的距离为多少米？做的功为多少焦？

因为  $P = 90 \text{ 马力} = 735 \text{ 瓦} \times 90 = 66150 \text{ 瓦}$ ， $t = 180 \text{ 秒}$ ，又因  $P = Fv$ ，得汽车的速度

$$v = \frac{P}{F} = \frac{66150 \text{瓦}}{6750 \text{牛}} = 9.8 \text{米/秒}。$$

所以 3 分钟通过的距离

$$s = vt = 9.8 \text{米/秒} \times 180 \text{秒} = 1764 \text{米}。$$

$$\text{做的功 } W = Fs = 6750 \text{牛} \times 1764 \text{米} = 1.1907 \times 10^7 \text{焦}。$$

$$\text{或 } W = Pt = 66150 \text{瓦} \times 180 \text{秒} = 1.1907 \times 10^7 \text{焦}。$$

题 9 为什么汽车起动和上坡时，司机常挂低速挡，而起动后，在平整路面特别是空载时可以挂高速挡？

机动运输工具（汽车、火车、拖拉机等）工作时，其发动机功率是一定的，根据  $P = Fv$  得到  $v = \frac{P}{F}$ ，即速度与牵引力成反比。起动时受到较大的静摩擦力作用；上坡时除了克服摩擦阻力外，还要克服重力做功；满载

时比空载时对路面的压力大，因而受到的摩擦阻力也大。这几种情况都必须有较大的牵引力，所以只能挂低速挡，以较小的速度行驶。起动后，在平整路面行驶时，汽车受到的摩擦阻力减小，特别是空载的情况下，由于对路面的压力减小，受到的摩擦阻力较满载时小，需要的牵引力也较小，可以挂高速挡，以较大的速度行驶。

**【功的原理】** 使用任何机械时，人们所做的功，都等于不用机械而直接用手所做的功。也就是使用任何机械都不能省功，这个结论叫做功的原理。

功的原理是人们经过长期的实验和研究得到的规律，是任何机械（不论是简单机械还是复杂的机器）都遵循的原理，它表明使用任何机械，能省力或省距离或改变力的方向，但都不能省功。

功的原理中“使用任何机械时，人们所做的功”，是指作用在机械上的动力对机械所做的功，“不用机械直接用手所做的功”，就是直接用手提升重物、推拉物体等所做的功，也就是手克服阻力所做的功。

利用功的原理解题时，常按下列程序进行：

1. 写出利用机械时动力所做的功  $W_1=FS$ ；
2. 写出机械克服阻力所做的功  $W_2$ ；
3. 利用  $W_1=W_2$  求解。

**\*斜面** 与水平面成一定角度的面叫做斜面。如图 1-113 (a) 所示，为了把重物搬到汽车上去，搭一块木板，沿着木板把重物推上去，这样的木板就是斜面。使用斜面的目的是为了省力。

如果用  $F$  表示拉力， $G$  表示物重， $L$  表示斜面长， $h$  表示斜面高，如图 1-113 (b) 所示。根据功的原理可得斜面公式：

$$FL=Gh,$$

或写成：

$$\frac{F}{G} = \frac{h}{L}。$$

公式表示，斜面长是斜面高的几倍，所用推力（或拉力）就是物重的几分之一。物体升高相同的高度，斜面越长越省力。

使用上述公式解有关斜面问题时，必须注意以下两点：1. 重物在移动过程中不考虑摩擦和其它阻力作用。2. 物体在拉力（或推力）作用下作匀速运动。

**用例一** 运用斜面公式  $FL=Gh$  解决生产、生活中实际问题。

**题 1** 在煤矿里有一条坑道长 120 米，坑道两端的高度差是 20 米，沿着这条坑道拉一辆重  $1.2 \times 10^4$  牛的矿车，至少要用多大的拉力（摩擦力忽略不计）。

$L=120$  米， $h=20$  米， $G=1.2 \times 10^4$  牛，代入斜面公式  $FL=Gh$ ，

$$\text{得 } F = \frac{Gh}{L} = \frac{1.2 \times 10^4 \times 20}{120} = 2 \times 10^3 \text{ (牛)}。$$

**题 2** 图 1-114 所示为向汽车上搬运油桶的示意图，车高 1.2 米，搭在车尾部的木板长 3 米，一根质量不计的绳子一端固定在木板的上端，另一端绕过油桶，用与斜面平行的力  $F$  向上拉桶。桶重 2000 牛，摩擦力忽略不计，问至少要用多大拉力才能将油桶拉上汽车？

图中油桶即是重物，本身的圆柱形又相当于动滑轮的作用，因此，可以把整个搬运装置看成是动滑轮和斜面组成的简单机械组合装置。

要求油桶沿着斜面匀速滚上汽车，所用拉力应分两步思考：1. 若不用绳子而直接用拉力  $F'$  将油桶沿斜面拉上汽车，根据斜面公式  $FL=Gh$ ，得

$$F' = \frac{Gh}{L} = \frac{2000 \times 1.2}{3} = 800 \text{ (牛)}。$$

2. 将油桶看作动滑轮，绳子上的拉力

$$F = \frac{1}{2} F' = \frac{1}{2} \times 800 = 400 \text{ (牛)}。$$

用例二 利用功的原理推导机械的省力规律。

题3 如图 1-115 所示， $h$  为斜面高， $L$  为斜面长，沿斜面拉重为  $G$  的重物时，所用拉力为  $F$ 。请分析使用斜面的好处。

利用斜面把物体拉上去，动力所做的功  $W_1=FL$ ，不用斜面直接用手提升重物所做的功  $W_2 = Gh$ ，因为  $W_1 = W_2$ ，即  $FL = Gh$ ，所以  $F = \frac{h}{L} G$ ，

由于  $h$  总小于  $L$ ，所以  $F < G$ ，即使用斜面可以省力，且使物体升高相同的高度时，斜面越长越省力，生活中的盘旋楼梯和盘山公路都是根据这个原理设计的。

\*题4 图 1-116 中，利用“劈”匀速提升重为  $G$  的物体，劈的边长分别为  $a$ 、 $b$ 、 $c$ ，不计摩擦和支架自重，则水平推力  $F$  的大小为：

( )

A.  $F = \frac{a}{c} G$                       B.  $F = \frac{a}{b} G$

C.  $F = \frac{b}{c} G$                       D.  $F = \frac{b}{a} G$

人用力  $F$  将劈推过距离  $b$  时所做的功  $W_1=Fb$ ，劈将重物  $G$  举高  $a$  而做的功  $W_2 = Ga$ ，因  $W_1 = W_2$ ，即  $Fb = Ga$ ，所以  $F = \frac{a}{b} G$ ，本题答案应选 B。

从公式  $F = \frac{a}{b} G$  可以看出，当  $a < b$  时， $F < G$ 。即使用劈可以省力，常见的劈  $a \ll b$ ，只要加较小的力即能产生很大的举力或压力。

题5 如图 1-117 所示的螺旋千斤顶是一种常见的起重装置。用手柄转动螺杆时，螺杆顶端的重物就随着螺杆一起上升，已知螺距为  $h$ ，手柄末端到转轴的距离为  $L$ ，问要举起重物为  $G$  的物体时，至少要给手柄末端加多大的力？

手柄转动一周时，手柄末端即动力作用点通过的距离  $s=2\pi L$ ，作用在手柄上的动力  $F$  所做的功

$$W_1=Fs=F \times 2\pi L，$$

而手柄转动一周时，重物  $G$  升高一个螺距  $h$ ，千斤顶将重物举高  $h$  所做的功  $W_2 = Gh$ ，根据功的原理  $W_1 = W_2$ ，即  $2\pi LF = Gh$ ，得  $F = \frac{h}{2\pi L} G$ 。

即至少要给手柄末端加一个  $F = \frac{h}{2\pi L} G$  的力。

显然,  $h < 2L$ , 所以  $F < G$ , 即使用螺旋千斤顶只要在手柄末端加较小的力就可以顶起很重的物体。

\*题 6 图 1-118 所示起重装置俗称“神仙葫芦”, 实际上是一种差动滑轮, 其中定滑轮 A、B 是两个直径相差不多的圆轮, 它们固定在同一转轴上, 动滑轮 C 通过一根绳子(或铁链)与定滑轮联结起来, 当用力  $F$  作用在绕过 A 的绳子上时, 重物  $G$  被提升, 试分析使用它有什么好处。

设大轮 A 的半径为  $R$ , 小轮 B 的半径为  $r$ , 当动力  $F$  通过绳子使 A、B 轮转动一周时, 动力作用点移动的距离等于大轮 A 卷起的绳子长  $s=2\pi R$ , 此过程中小轮 B 放下的绳子长  $s'=2\pi r$ , 动滑轮 C 和重物  $G$  上升的距离:

$$h = \frac{s - s'}{2} = \frac{2\pi(R - r)}{2},$$

动力  $F$  所做的功:

$$W_1 = Fs = F \times 2\pi R,$$

机械克服阻力所做的功:

$$W_2 = Gh = \frac{2\pi(R - r)}{2}G。因为  $W_1 = W_2$ ,$$

$$即  $F \times 2\pi R = \frac{2\pi(R - r)}{2}G$ , 所以,  $F = \frac{R - r}{2R}G。$$$

由于  $R$  和  $r$  的大小差不多, 即  $R - r$  远小于  $2R$ , 所以  $F$  远小于  $G$ , 使用这种起重装置可以省许多力。

题 7 试用功的原理证明: 使用动滑轮能省一半力。

设重物上升的距离为  $h$ , 由于动滑轮上面的两段绳子都要缩短  $h$ , 所以绳子自由端要移动  $s=2h$  的距离。即:

$$人利用动滑轮所做的功  $W_1 = Fs = F \cdot 2h$ ,$$

$$动滑轮提升重物所做的功  $W_2 = Gh$ ,$$

$$因为  $W_1 = W_2$ , 即  $2Fh = Gh$ ,  $F = \frac{1}{2}G$ , 所以使用动滑轮能省一半力。$$

用例三 利用功的原理计算动力  $F$ 、物重  $G$  等物理量。

题 8 用动滑轮提起重 50 牛的重物, 人拉绳子做的功是 100 焦, 求动滑轮把物体提升的高度。

设物体被提升的高度为  $h$ , 人拉绳子所做的功  $W_1=100$  焦, 动滑轮提升重物所做的功  $W_2=Gh$ , 因为  $W_1=W_2$ , 即  $Gh=100$  焦, 所以

$$h = \frac{100\text{焦}}{50\text{牛}} = 2\text{米}。$$

题 9 用图 1-120 所示的滑轮组提升重 1500 牛的物体 A, 用功的原理求在绳子末端需要加多大的拉力(动滑轮重和摩擦不计)?

设重物被提升的高度为  $h$ , 则绳子自由端移动的距离为  $s=5h$ , 则拉力  $F$  所做的功为  $W_1=Fs=F \times 5h$ , 滑轮组提升重物所做功  $W_2=Gh$ , 因为

$$W_1=W_2, 即  $F \times 5h=Gh$ , 所以$$

$$F = \frac{G}{5} = \frac{1500\text{牛}}{5} = 300\text{牛}。$$

题 10 图 1-121 中, 作用在水压机小活塞上的压力为 200 牛, 当小活塞被压下 25 厘米时, 大活塞上升了 5 毫米, 用功的原理来求物重  $G$  为多大

(活塞重不计,水不会被压缩)。

当重物  $G$  被提升  $h=5$  毫米时,动力  $F$  压小活塞所做的功  $W_1=Fs$ ,大活塞提升重物  $G$  所做的功  $W_2=Gh$ 。因为  $W_1=W_2$ ,即  $Fs=Gh$ ,所以物重

$$G = \frac{Fs}{h} = \frac{200\text{牛} \times 0.25\text{米}}{0.005\text{米}} = 10000\text{牛}。$$

**【机械效率】** 利用机械工作时,对人们有用的功叫有用功,对人们没有用但又不得不额外做的功叫额外功,有用功与额外功之和称为总功,有用功与总功的比值叫做机械的机械效率。如果用  $W_{\text{总}}$  表示总功, $W_{\text{有用}}$  表示有用功,  $\eta$  表示机械效率,则

$$\eta = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}}。$$

因为有用功总小于总功,所以机械效率总小于 1,通常用百分比表示,

即  $\eta = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} \times 100\%$ 。如起重机的机械效率是 40% ~ 50%,滑轮组的机

械效率是 50% ~ 70%,抽水机的机械效率是 60% ~ 80%。

机械效率的高低只反映机械做功时有用功占总功的比例大小,机械效率高只表示有用功占总功的百分比大,而与机械做功多少,做功快慢,省力与否,移动距离长短等均无关。

有用功是机械克服有用阻力所做的功,常见的有两种情况:

1.利用机械匀速提升重物时,物重为  $G$ ,被提升的高度为  $h$ ,则  $W_{\text{有用}}=Gh$ 。

2.当利用机械匀速拉动物体沿水平平面移动时,克服摩擦所做的功即有用功,如物体受到的摩擦阻力为  $f$ ,物体沿水平平面移动的距离为  $s$ ,则  $W_{\text{有用}}=fs$ 。

机械效率公式中的  $W_{\text{总}}$  是机械克服有用阻力和无用阻力所做的功,等于作用在机械上的动力  $F_{\text{实}}$  与动力作用点沿力的方向移动距离  $s_{\text{实}}$  的乘积,即  $W_{\text{总}}=F_{\text{实}}s_{\text{实}}$ 。

额外功包括两部分:一部分是克服自身部件(例如滑轮组中的动滑轮)的重力所做的功;另一部分是克服机械本身摩擦等阻力所做的功。

**用例一 利用公式求机械效率。**

**题 1** 用一个动滑轮把重为 400 牛的货物提高 2 米,所用的实际拉力为 250 牛,求有用功、总功和这个动滑轮的机械效率。

当重物被提升  $h=2$  米时,绳子自由端移动的距离

$$s=2h=2 \times 2\text{米}=4\text{米},$$

$$W_{\text{有用}}=Gh=400\text{牛} \times 2\text{米}=800\text{焦},$$

$$W_{\text{总}}=Fs=250\text{牛} \times 4\text{米}=1000\text{焦},$$

$$\eta = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{800\text{焦}}{1000\text{焦}} \times 100\% = 80\%。$$

**题 2** 用图 1-122 所示的滑轮组提重物,第一次用 250 牛的拉力将  $G=600$  牛的重物匀速提高 2 米,求滑轮组的机械效率,第二次在 10 秒钟内将  $G'=900$  牛的重物匀速提高 1 米,求拉力的功率和这时滑轮组的机械效率

(摩擦力不计)。

提升 600 牛重物时：

$$W_{\text{有用}} = Gh = 600 \text{ 牛} \times 2 \text{ 米} = 1200 \text{ 焦},$$

$$W_{\text{总}} = FS = 250 \text{ 牛} \times 3 \times 2 \text{ 米} = 1500 \text{ 焦},$$

$$\begin{aligned} \text{所以} \quad &= \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} \times 100\% \\ &= \frac{1200 \text{ 焦}}{1500 \text{ 焦}} \times 100\% = 80\%。 \end{aligned}$$

要想求出匀速提升 900 牛重物时拉力的功率和机械效率，必须先求出实际拉力  $F'$  的大小，而  $F'$  又与动滑轮重  $G_{\text{动}}$  有关，所以，得利用第一次提

重物的数据，先求出  $G_{\text{动}}$ 。因不计摩擦， $F = \frac{G + G_{\text{动}}}{n}$ ，得

$$G_{\text{动}} = nF - G = 3 \times 250 \text{ 牛} - 600 \text{ 牛} = 150 \text{ 牛}。$$

$$\begin{aligned} \text{或 } W_{\text{额外}} &= W_{\text{总}} - W_{\text{有用}} \\ &= 1500 \text{ 焦} - 1200 \text{ 焦} \\ &= 300 \text{ 焦}, \end{aligned}$$

$$G_{\text{动}} = \frac{W_{\text{额外}}}{h} = \frac{300 \text{ 焦}}{2 \text{ 米}} = 150 \text{ 牛}。$$

求出  $G_{\text{动}}$  后即可求出提升 900 牛重物时实际拉力

$$F' = \frac{G' + G_{\text{动}}}{n} = \frac{900 \text{ 牛} + 150 \text{ 牛}}{3} = 350 \text{ 牛}。$$

而物体被提升 1 米时，动力作用点移动的距离  $s' = 3h' = 3 \times 1 \text{ 米} = 3 \text{ 米}$ 。所以，此时拉力的功率

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F's'}{t} = \frac{350 \text{ 牛} \times 3 \text{ 米}}{10 \text{ 秒}} = 105 \text{ 瓦},$$

$$\text{或 } P = Fv = 350 \text{ 牛} \times \frac{3 \text{ 米}}{10 \text{ 秒}} = 105 \text{ 瓦}。$$

机械效率

$$\begin{aligned} &= \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} = \frac{G'h'}{F' \times 3h'} \times 100\% \\ &= \frac{900 \text{ 牛} \times 1 \text{ 米}}{350 \text{ 牛} \times 3 \text{ 米}} \times 100\% = 86\%。 \end{aligned}$$

显然由于增加了物重，滑轮组的机械效率较原来高。

题 3 如图 1-123，用力  $F$  拉着重 2000 牛的物体 A 在水平平面上作匀速直线运动，重物移动的速度为 0.2 米/秒， $F=40$  牛，求：(1) 物体与地面之间的摩擦力（动滑轮重和滑轮转动时的摩擦不计）。(2) 拉力的功率多大？(3) 若实际拉绳子的力为 80 牛，则滑轮组的机械效率为多大？

(1) 因为匀速，所以  $f=2F=2 \times 40 \text{ 牛}=80 \text{ 牛}$ ，

(2) 人拉绳子的速度

$$v=2v_{\text{物}}=2 \times 0.2 \text{ 米/秒}=0.4 \text{ 米/秒},$$

所以功率  $P=Fv=80 \text{ 牛} \times 0.4 \text{ 米/秒}=32 \text{ 瓦}$ 。

(3) 设物体移动的距离为  $s_A$ ，则绳子自由端移动的距离  $s_{\text{实}}=2s_A$ ，所以  $W_{\text{有用}}=fs_A$ ， $W_{\text{总}}=F_{\text{实}}s_{\text{实}}=F \cdot 2s_A$ ，即

$$\begin{aligned} &= \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{fs_A}{F_{\text{实}} 2s_A} \times 100\% , \\ &= \frac{f}{2F_{\text{实}}} \times 100\% = \frac{80\text{牛}}{2 \times 80\text{牛}} \times 100\% = 50\% . \end{aligned}$$

题 4 工人把一块木板搁在高 1 米的汽车厢边上形成一斜面，木板长 4 米，如不计摩擦，要把一个重 900 牛的货物箱沿斜面方向匀速拉到车上，拉力要多大？若实际拉力是 250 牛，那么工人做的有用功、总功各为多大？这个斜面的机械效率、货箱与斜面之间的摩擦力各为多少？

$$\text{不计摩擦时, } F = \frac{h}{L} G = \frac{1\text{米}}{4\text{米}} \times 900\text{牛} = 225\text{牛};$$

沿斜面把物体拉上顶端所做的有用功：

$$W_{\text{有用}}=Gh=900\text{牛} \times 1\text{米}=900\text{焦};$$

$$\text{总功 } W_{\text{总}}=F_{\text{实}}L=250\text{牛} \times 4\text{米}=1000\text{焦};$$

$$\text{斜面的机械效率} = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{900\text{焦}}{1000\text{焦}} \times 100\% = 90\% .$$

由于人沿斜面拉物时对物体的实际拉力等于不计摩擦时的拉力与摩擦力之和，所以货箱与斜面之间的摩擦力

$$f=F_{\text{实}}-F=250\text{牛}-225\text{牛}=25\text{牛} .$$

求摩擦力的另一种方法是根据总功和有用功求出

$$\begin{aligned} W_{\text{额外}} &= W_{\text{总}} - W_{\text{有用}} \\ &= 1000\text{焦} - 900\text{焦} \\ &= 100\text{焦}, \end{aligned}$$

因为利用斜面工作时，额外功就是克服摩擦所做的功，即  $W_{\text{额外}}=fL$ ，所以，

$$f = \frac{W_{\text{额外}}}{L} = \frac{1000\text{焦}}{4\text{米}} = 25\text{牛} .$$

题 5 图 1-124 (a) 中，利用滑轮组匀速提升重物，已知物重  $G=90$  牛，定滑轮、动滑轮重相同，弹簧秤示数为 120 牛，不计摩擦，求拉力  $F$  的大小和滑轮组的机械效率各为多少？

设实际拉力为  $F$ ，定滑轮、动滑轮重为  $G_{\text{轮}}$ ，定滑轮受力情况如图 1-124 (b) 所示。

$$\begin{cases} T = 2F + G_{\text{轮}} \\ F = \frac{G + G_{\text{轮}}}{n} \end{cases} \quad \text{即} \quad \begin{cases} 120 = 2F + G_{\text{轮}} \\ F = \frac{90 + G_{\text{轮}}}{3} \end{cases}$$

由此二元一次方程解得  $F=42$  牛，设重物上升距离为  $h$ ，则：

$$W_{\text{有用}}=Gh, W_{\text{总}}=Fs=3Fh$$

$$\begin{aligned} \text{所以} \quad &= \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} \times 100\% = \frac{Gh}{3Fh} \times 100\% \\ &= \frac{90h}{126h} \times 100\% = 71\%。 \end{aligned}$$

题6 图示 1-125 中，斜面长 5 米，高 2 米，通过一个动滑轮将一个重 450 牛的物体沿斜面从底端匀速拉到顶端。如斜面的机械效率为 60%，滑轮的机械效率为 80%，求拉力 F 的大小和整个装置的机械效率。

先考虑斜面作用，

$$\eta_1 = \frac{Gh}{F_1 L}, F_1 = \frac{Gh}{\eta_1 L} = \frac{450\text{牛} \times 2}{0.6 \times 5\text{米}} = 300\text{牛},$$

这个力就是滑轮沿斜面对物体的拉力，也等于物体作用在滑轮上的有用阻力 F'，F'=F<sub>1</sub>。

再考虑滑轮作用，

$$\eta_2 = \frac{F'L}{F_2 L}, \text{即} F_2 = \frac{F'L}{\eta_2 \cdot 2L} = \frac{F'}{2 \eta_2} = \frac{450\text{牛} \times 2\text{米}}{0.6 \times 5\text{米}} = 187.5\text{牛},$$

这个力就是作用在绳子自由端的实际拉力。

整个装置的机械效率

$$= \frac{Gh}{F_2 \cdot 2L} = \frac{450\text{牛} \times 2\text{米}}{187.5\text{牛} \times 2 \times 5\text{米}} = 48\%。$$

实际上， $\eta = \frac{Gh}{2LF}$ ，而如前所述，

$$F = \frac{F'}{2\eta_2}, F' = F_1 = \frac{Gh}{\eta_1 L}, \text{代入前式，得：} \eta = \eta_1 \eta_2, \text{即组合机}$$

械的机械效率等于单个机械的机械效率的乘积。

用例二 比较机械效率的高低。

题7 图 1-126 中，每个滑轮重都相等，绳重及摩擦不计。在力 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub> 的作用下，物体被匀速提升，它们的机械效率分别为 η<sub>1</sub>、η<sub>2</sub>、η<sub>3</sub>，则 ( )

- A. η<sub>1</sub> > η<sub>2</sub> > η<sub>3</sub>                      B. η<sub>1</sub> < η<sub>2</sub> < η<sub>3</sub>  
C. η<sub>2</sub> > η<sub>1</sub> > η<sub>3</sub>                      D. η<sub>3</sub> > η<sub>1</sub> > η<sub>2</sub>

本题要比较三个滑轮组的机械效率，在不计绳重、摩擦，每个滑轮重相等的情况下，影响机械效率高低的因素是自身结构（动滑轮个数）和物重的大小，设动滑轮总重为 G<sub>动</sub>，在拉力作用下物体被提升的高度为 h，则：

$$= \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} = \frac{G_{\text{物}} h}{G_{\text{物}} h + G_{\text{动}} h} = \frac{G_{\text{物}}}{G_{\text{物}} + G_{\text{动}}} = \frac{1}{1 + \frac{G_{\text{动}}}{G_{\text{物}}}},$$

由此可知，(1) 在物重 G<sub>物</sub> 相同的情况下，G<sub>动</sub> 越大，G<sub>动</sub>/G<sub>物</sub> 的比值越大，机械效率越低；(2) 在机械结构相同的情况下（即动滑轮个数相同，G<sub>动</sub> 相等），增加物重，G<sub>动</sub>/G<sub>物</sub> 比值减小，机械效率将提高。

在这道题中，甲、乙滑轮组，物重相同，均为 G，但由于乙滑轮组有

两个动滑轮， $G_{动}$ 较大，效率较低，所以  $\eta_1 > \eta_2$ 。而丙滑轮组与甲相同，但物重为  $2G$ ，因而效率较甲高，所以  $\eta_3 > \eta_1$ ，故  $\eta_3 > \eta_1 > \eta_2$ ，所以答案应选 D。

从本题的解答还可以推想：利用同一滑轮组匀速提升浸在水中的物体时，只要物体脱离水面，其机械效率即变高。而用同一滑轮组在密度较大的海水中提升同一重物时，其效率一定比在淡水中时低。

题 8 如图 1-127 所示，利用两个滑轮组匀速提升重物，甲中拉力和物重为  $F_1$ 、 $G_1$ ，乙中拉力和物重为  $F_2$ 、 $G_2$ ，已知  $F_1 : F_2 = 3 : 4$ ， $G_1 : G_2 = 2 : 3$ ，问哪个滑轮组的机械效率高？如甲滑轮组的机械效率  $\eta_{甲} = 80\%$ ，则乙滑轮组的机械效率为多大？

要比较它们机械效率的高低，可设法求出其比值。设  $G_1$ 、 $G_2$  被提升的高度均为  $h$ ，则甲滑轮组绳子自由端移动的距离  $s_1 = 2h$ ，乙滑轮组绳子自由端移动的距离  $s_2 = 3h$ 。

$$\begin{aligned} \text{由 } \eta &= \frac{Gh}{Fs} \text{ 得} \\ \frac{\eta_{甲}}{\eta_{乙}} &= \frac{G_1}{G_2} \times \frac{h}{h} \times \frac{F_2}{F_1} \times \frac{s_2}{s_1} \\ &= \frac{2}{3} \times \frac{1}{1} \times \frac{4}{3} \times \frac{3}{2} \\ &= \frac{4}{3} \end{aligned}$$

即  $\eta_{甲} > \eta_{乙}$ ，当  $\eta_{甲} = 80\%$  时，

$$\eta_{乙} = \eta_{甲} \times \frac{3}{4} = 60\%。$$

题 9 用图 1-128 所示的甲、乙两个滑轮组提升重物，已知物重  $G_1$  与  $G_2$  之比为  $2 : 1$ ，甲滑轮组中的一个动滑轮重  $G_A$  与物重  $G_1$  之比为  $1 : 5$ 。而乙滑轮组中两个动滑轮的总重  $G_B$  与物重  $G_2$  之比为  $3 : 5$ 。不计绳重和摩擦，求甲、乙两滑轮组的机械效率之比有多大？动力  $F_1$  与  $F_2$  之比是多少？

$$\text{对于甲滑轮组，} \frac{G_A}{G_1} = \frac{1}{5} \text{ 即 } G_1 = 5G_A，$$

$$F_1 = \frac{G_1 + G_A}{3} = 2G_A，$$

当重物  $G_1$  上升  $h$  时，绳子自由端移动  $s_1 = 3h$ ，所以甲组的机械效率

$$\eta_{甲} = \frac{W_{有用}}{W_{总}} = \frac{G_1 h}{F_1 s_1} = \frac{5G_A h}{2G_A \times 3h} = \frac{5}{6}。$$

$$\text{对于乙滑轮组，} \frac{G_B}{G_2} = \frac{3}{5}，\text{ 即 } G_B = 0.6G_2，$$

$$F_2 = \frac{G_2 + G_B}{4} = 0.4G_2，$$

当重物  $G_2$  上升  $h$  时，绳子自由端移动  $s_2 = 4h$ ，所以乙组的机械效率

$$\eta_{乙} = \frac{W_{有用}}{W_{总}} = \frac{G_2 h}{F_2 s_2} = \frac{G_2 h}{0.4 G_2 \times 4h} = \frac{1}{1.6}。$$

$$\text{故 } \frac{\eta_{甲}}{\eta_{乙}} = \frac{5}{6} \times 1.6 = \frac{4}{3}；$$

$$\text{由于 } \frac{G_1}{G_2} = \frac{2}{1}，\text{则 } G_2 = 0.5 G_1 = 2.5 G_A，$$

$$\text{故 } \frac{F_1}{F_2} = \frac{2 G_A}{0.4 G_2} = \frac{2 G_A}{G_A} = \frac{2}{1}。$$

用例三 利用公式  $\eta = \frac{W_{有用}}{W_{总}}$  求解有关物理量。

题 10 一工人利用图 1-129 所示滑轮组把重物匀速提高了 2 米，物重为 600 牛，已知该滑轮组机械效率为 75%，在拉动绳子的过程中，克服摩擦做了 250 焦的功，求人的实际拉力和动滑轮自重。

由  $\eta = \frac{Gh}{Fs}$ ，得实际拉力

$$F = \frac{Gh}{\eta s} = \frac{600 \text{牛} \times 2 \text{米}}{0.75 \times 4 \times 2 \text{米}} = 200 \text{牛}。$$

$$W_{总} = Fs = 200 \text{牛} \times 4 \times 2 \text{米} = 1600 \text{焦}，$$

$$W_{有用} = Gh = 600 \text{牛} \times 2 \text{米} = 1200 \text{焦}，$$

$$\text{所以 } W_{额外} = W_{总} - W_{有用} \\ = 1600 \text{焦} - 1200 \text{焦} = 400 \text{焦}。$$

$$\text{或 } W_{额外} = (1 - \eta) W_{总} = (1 - 75\%) \times 1600 \text{焦} = 400 \text{焦}。$$

由于额外功等于克服摩擦所做的功  $W_f$  与提升动滑轮所做的功  $W_G$  之和，所以提升动滑轮所做的功

$$W_G = W_{额外} - W_f = 400 \text{焦} - 250 \text{焦} = 150 \text{焦}，$$

$$\text{所以动滑轮重 } G_{动} = \frac{W_G}{h} = \frac{150 \text{焦}}{2 \text{米}} = 75 \text{牛}。$$

题 11 用滑轮组匀速提升重为 400 牛的物体，作用在绳子自由端的拉力为 125 牛，拉力的功率为 50 瓦，滑轮组的机械效率为 80%，不计摩擦和绳重，求重物上升的速度。

要求重物上升的速度，应先通过拉力的功率和拉力求出绳子自由端移动的速度，然后再除以绳子的股数，而绳子的股数则可以利用机械效率公式求出。

由  $P = Fv$  求出绳子自由端移动的速度：

$$v = \frac{P}{F} = \frac{50 \text{瓦}}{125 \text{牛}} = 0.4 \text{米/秒}，$$

$$\text{根据 } \eta = \frac{Gh}{Fs} = \frac{Gh}{Fn h} \text{ 得 } n = \frac{G}{\eta F} = \frac{400 \text{牛}}{0.8 \times 125 \text{牛}} = 4 \text{股}，\text{则重物}$$

$$\text{上升速度 } v' = \frac{v}{n} = \frac{0.4 \text{米/秒}}{4} = 0.1 \text{米/秒}。$$

题 12 图 1-130 所示的滑轮组在空气中提升重物时的机械效率  $\eta = 50$

%，用力  $F_1=60$  牛可使物体匀速上升。当物体浸没在水中时，只要加  $F_2=50$  牛即可以使同一物体匀速上升，不计摩擦。求物重  $G$ 、物体受到的浮力和物体的密度。

这是一道机械效率与浮力、密度的综合题，解答时要进行综合分析，先求出物重，然后再求浮力和密度。

$$\text{由 } \eta = \frac{Gh}{F_1 s} \text{ 得}$$

$$G = \frac{\eta F_1 s}{h} = \frac{0.5 \times 60 \text{ 牛} \times 3h}{h} = 90 \text{ 牛。因不计摩擦，}$$

$$\text{所以 } F_1 = \frac{G + G_{\text{动}}}{n}, \text{ 则：}$$

$$G_{\text{动}} = nF_1 - G = 3 \times 60 \text{ 牛} - 90 \text{ 牛} = 90 \text{ 牛。}$$

$$\text{浸没在水中时，拉力 } F_2 = \frac{G + G_{\text{动}} - F_{\text{浮}}}{n},$$

$$F_{\text{浮}} = G - nF_2 + G_{\text{动}} = 90 \text{ 牛} - 3 \times 50 \text{ 牛} + 90 \text{ 牛} = 30 \text{ 牛。}$$

$$\text{而 } F_{\text{浮}} = \rho_{\text{水}} g V_{\text{排}} = \rho_{\text{水}} g V = \rho_{\text{水}} g \frac{G}{\rho_{\text{物}} g} = \rho_{\text{水}} \frac{G}{\rho_{\text{物}}},$$

$$\text{所以 } \rho_{\text{物}} = \frac{\rho_{\text{水}} G}{F_{\text{浮}}} = \frac{1 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3 \times 90 \text{ 牛}}{30 \text{ 牛}} \\ = 3 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3。$$

这时如关注一下物体浸没在水中时滑轮组的机械效率  $\eta' = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}}$

$$= \frac{(G - F_{\text{浮}}) h}{F_2 s} = \frac{(90 \text{ 牛} - 30 \text{ 牛})}{50 \text{ 牛} \times 3h} = 40\% < \eta, \text{ 原因当然是由于浸没在水}$$

中时相当于减小了物重，因而使效率降低。

题 13 如图 1-131 所示，将同一物体举高相同高度，使用滑轮组时的机械效率与使用斜面时的机械效率之比为 8 : 7，求使用这两种机械时的实际拉力  $F_1$  和  $F_2$  之比。

对于滑轮组，设重物上升  $h$ ，则绳子自由端移动的距离为  $s = 3h$ ，

$$\eta = \frac{Gh}{F_1 s} = \frac{Gh}{F_1 \times 3h} = \frac{G}{3F_1}, \text{ 则 } F_1 = \frac{G}{3\eta_1};$$

对于斜面，设斜面长为  $L$ ，高为  $h$ ，则  $h = L \sin 30^\circ$ ，

$$\eta_2 = \frac{Gh}{F_2 L} = \frac{GL \sin 30^\circ}{F_2 L} = \frac{\frac{1}{2} G}{F_2},$$

$$\text{则 } F_2 = \frac{\frac{1}{2} G}{\eta_2};$$

$$\text{所以 } \frac{F_1}{F_2} = \frac{G}{3\eta_1} \times \frac{\eta_2}{\frac{1}{2} G} = \frac{2\eta_2}{3\eta_1} = \frac{2}{3} \times \frac{7}{8} = \frac{7}{12}。$$

**【测滑轮组的机械效率】** 实验目的 1. 测滑轮组的机械效率；2. 比较滑轮组在不同情况下的机械效率。

$$\text{实验原理} \quad = \frac{W_{\text{有用}}}{W_{\text{总}}} \times 100\%。$$

**实验器材** 滑轮组两套，钩码若干，铁架台，弹簧秤，刻度尺，长约 2 米的细线。

**实验步骤** 1. 检查弹簧秤指针是否指在零刻度处。

2. 用弹簧秤称出每个钩码重  $G$ 。

3. 按图 1-132 甲所示，用细线将一个定滑轮和一个动滑轮连成一个滑轮组，挂在铁架台上，将细线的一端拴在弹簧秤上，在滑轮组下悬挂钩码（第一次挂 2 个，第二次挂 4 个），记下钩码和弹簧秤的位置。

4. 竖直向上拉弹簧秤，使钩码匀速上升一段距离。在拉动弹簧秤的过程中读出弹簧秤示数，即实际拉力  $F$ 。测出钩码和弹簧秤移过的距离  $h$  和  $s$ 。

5. 算出总功、有用功和机械效率。

6. 按图 1-132 乙所示装配滑轮组，重复上述步骤，算出这时的机械效率。

**实验中的注意事项：**

弹簧秤的拉力应该在工作过程中测量，弹簧秤应竖直匀速向上拉。这是因为如果不竖直向上（见图 1-133），拉力的动力臂将小于动滑轮的直径，拉力就要较竖直向上时的拉力大，使总功偏大，测出的机械效率将偏小；而如果不匀速向上拉，在加速拉时，其实际拉力将大于匀速时的拉力，拉力所做的总功将大于匀速拉时拉力所做的功。减速拉时，其实际拉力将小于匀速拉时的拉力，拉力所做的功就小于匀速拉时拉力所做的功，测出的机械效率都将不准确，因此拉弹簧秤时必须竖直、匀速地向上拉。

测量钩码上升的距离  $h$  和弹簧秤移动的距离  $s$  时，刻度尺要竖直放置。为了便于测量和计算，钩码和弹簧秤上升前后的位置最好选在刻度尺的整刻度处，实验开始时记下钩码下端和弹簧秤挂钩初始位置在刻度尺上的相应刻度  $h_0$ 、 $s_0$ ，拉动后再记下它们各自的最后位置的刻度  $h_1$ 、 $s_1$ ，两次读数差即它们移动的距离： $h=h_1-h_0$ ， $s=s_1-s_0$ 。

其实对于一个结构确定的滑轮组， $s$  与  $h$  的关系已经确定，即  $s=nh$ ，式中的  $n$  是滑轮组绳子的股数，因此在没有刻度尺无法测量钩码和弹簧秤移动距离的情况下，仍能测出其机械效率，其数值为

$$= \frac{Gh}{Fs} = \frac{Gh}{Fn h} = \frac{G}{Fn}。$$

在机械的转动部分，如用滚动代替滑动或给机械加润滑油可以减小摩擦，从而减小克服摩擦所做的额外功；改善机械结构，减小自身部件的重力，可以减小克服自身部件的重力所做的额外功，从而提高机械效率。

**用例一 测常用机械的机械效率。**

**题 1** 某同学在做“测滑轮组机械效率”的实验时，已有器材：铁架台，钩码，天平，定滑轮和动滑轮各若干，长约 2 米的细线。

以上器材中，属多余的器材是\_\_\_\_\_；所缺少的两种主要器材是和\_\_\_\_\_。

该同学测得下列一组数据：

组别	滑轮个数	钩码重 (牛)	钩码上升 距离(米)	拉力(牛)	弹簧秤移动 距离(米)
甲组	一个定滑轮 一个动滑轮	4.9	0.1	2.94	0.3
乙组	两个定滑轮 两个动滑轮	4.9	0.1	1.47	0.5

(1) 根据测得的实验数据在图 1-134 上画出两个滑轮组中绳子的绕法。

(2) 分别算出甲、乙两个滑轮组的机械效率。题中多余器材是天平，缺少的器材主要是弹簧秤和刻度尺。画滑轮组绳子绕法的关键是根据表格中记录的钩码上升距离  $h$  和弹簧秤移过距离  $s$  算出绳子股数。

$$n_{\text{甲}} = \frac{s_{\text{甲}}}{h_{\text{甲}}} = \frac{0.3\text{米}}{0.1\text{米}} = 3,$$

$$n_{\text{乙}} = \frac{s_{\text{乙}}}{h_{\text{乙}}} = \frac{0.5\text{米}}{0.1\text{米}} = 5。$$

因为绳子股数都是奇数，所以绳子起点均应在动滑轮上面的挂钩上。

$$\eta_{\text{甲}} = \frac{G_{\text{甲}} h_{\text{甲}}}{F_{\text{甲}} s_{\text{甲}}} = \frac{4.9\text{牛} \times 0.1\text{米}}{1.96\text{牛} \times 0.3\text{米}} = 83.3\%,$$

$$\eta_{\text{乙}} = \frac{G_{\text{乙}} h_{\text{乙}}}{F_{\text{乙}} s_{\text{乙}}} = \frac{4.9\text{牛} \times 0.1\text{米}}{1.47\text{牛} \times 0.5\text{米}} = 66.7%。$$

题 2 测量斜面的机械效率实验中：(1) 应选用的器材有\_\_\_\_；(2) 需要测量的物理量是\_\_\_\_；(3) 计算公式为\_\_\_\_。

(1) 器材应有：斜面，木块，刻度尺，弹簧秤。(2) 应测的物理量是：木块重  $G$ 、拉力  $F$ 、斜面高  $h$ 、斜面长  $L$ 。(3) 计算公式：
$$\eta = \frac{Gh}{FL} \times 100\%。$$

**【机械能动能和势能的相互转化】** 在物理学中，把物体做功的本领叫做能。物体由于运动而具有的能叫动能，物体的速度越大，质量越大，它具有的动能就越多。物体由于被举高而具有的能叫重力势能，物体被举得越高，质量越大，它的重力势能就越多。物体由于发生弹性形变而具有的能叫弹性势能，物体的弹性越强，弹性形变越大，它的弹性势能就越多。动能和势能统称为机械能。

物体的势能和动能是可以互相转化的，如果没有摩擦等阻力，那么在势能和动能的相互转化中，机械能的总量保持不变。

因为一个物体能够做的功越多，表示这个物体的能量越大，因此，能量的大小可以用做功的多少来衡量。动能、势能或机械能的单位跟功的单位一样，也是焦耳。

关于能的概念，应明确只要物体能做功，即具有做功的本领，物体就具有能，跟物体是否正在做功无关。在判断比较物体具有能的多少时，要把影响能的大小的几个因素同时考虑，不能单凭其中一个因素判断大小。

在研究物体动能、势能的转化时，应抓住物体离地面高度、弹性形变大小与速度大小的变化。

用例一 根据动能势能的定义，判断物体具有什么能。

题1 说明下列各物体具有哪种机械能。

(1) 钟表里卷紧的发条；(2) 正在爬坡的汽车；(3) 被拉长的橡皮条；(4) 被堤坝挡住因而升高了水位的水；(5) 正在下落的降落伞；(6) 正在水平公路上行驶的自行车；(7) 在空中飞行的子弹。

根据动能、重力势能、弹性势能的定义，只要物体在运动就具有动能，而物体发生了弹性形变便有了弹性势能，同样，只要物体被举高就具有重力势能。题中卷紧的发条、拉长的橡皮条都发生了弹性形变，都具有弹性势能；被堤坝挡住的水，水位升高具有重力势能；在水平公路上行驶的自行车，由于运动而具有动能；正在爬坡的汽车、正在降落的降落伞、在空中飞行的子弹既有相对高度，又有速度，所以既具有重力势能又具有动能。

用例二 比较物体机械能的多少。

题2 甲、乙两物体处在同一水平面上，甲的动能比乙的动能大，下列说法正确的是： ( )

- A. 甲物体的质量一定比乙物体大
- B. 甲物体的速度一定比乙物体大
- C. 甲物体做功的本领一定比乙物体大

由于动能的大小与物体的质量和速度都有关，甲物体的动能大并不表示它的速度或质量一定比乙物体大。由于能反映的是物体做功本领大小，所以甲物体的动能大即表示其做功的本领一定比乙物体大，故答案应选C。

题3 体积相等的钢球和铝球各一，钢球静止在水平桌面上，铝球从这个桌边上由静止开始下落的过程中，下列说法中正确的是： ( )

- A. 两球在桌面时，势能相等
- B. 钢球势能始终大于铝球的势能
- C. 两球的机械能始终相等
- D. 铝球的机械能始终小于钢球

钢球和铝球都在桌面时，虽然它们离地面的高度相同，但由于钢的密度比铝的密度大，体积相等的钢球质量大于铝球质量，所以钢球的势能大于铝球的势能。当铝球从桌边上下落时，它离地面的高度减小，势能进一步减小，因此，无论在桌面还是在铝球下落过程中，钢球的势能始终大于铝球的势能。又因为两球静止在桌面时，它们的动能均为零，钢球的势能大于铝球的势能，即它的机械能大于铝球的机械能，当铝球下落时，虽然其动能增加，但是这部分动能是由原来的势能转化来的，机械能并没有增加，所以无论铝球静止在桌面上还是下落过程中，其机械能始终小于钢球。故答案B、D正确。

用例三 判断动能、势能的相互转化及机械能的变化。

题4 试说明下列过程中能的转化情况：

(1) 自行车沿斜坡而下；(2) 用弹弓把弹丸打出去；(3) 在斜面上向上滚的小球；(4) 钟表里卷紧的发条带动指针走动。

自行车沿斜坡向下，离坡底的高度不断减小，重力势能逐渐减小，速度越来越大，动能增加，属重力势能转化为动能；弹弓把弹丸打出去是弹

弓的弹性势能转化为弹丸的动能和重力势能；小球沿斜面向上时，高度增加，速度减小，是动能转化为重力势能；钟表里的发条逐渐放松，形变减小，发条的弹性势能转化为指针的动能。

题 5 如图 1-135 所示，A、B、C、D、E 为弧形轨道，其中 B、D 在同一水平线上，有一小球从 A 点自由滚下后沿轨道运动到 E。如不计空气和轨道阻力，则下列说法中错误的是：（ ）

- A. 小球在 B 点的速度大于 D 点的速度
- B. 小球在 C 点的速度大于 D 点的速度
- C. 小球在 C 点、E 点的机械能相等
- D. 小球在 A 点的势能大于在 E 点的势能

由于不计空气和轨道阻力，小球在运动过程中机械能总量不变，在 A、B、C、D、E 各点机械能均相等。因小球在 A 点的高度大于 E 点的高度，所以小球在 A 点的势能大于 E 点的势能。C 点的高度小于 D 点的高度，小球在 C 点时的势能小于 D 点时的势能，但在 C 点时的动能大于 D 点时的动能，速度大于 D 点时的速度，故答案 B、C、D 均正确。B、D 在同一水平线上，高度、势能相等，动能和速度均相等，故 A 也错。

题 6 试分析汽车匀速上坡、匀速下坡时，其动能、势能、机械能怎样变化？

汽车匀速上坡时，速度不变，动能不变，但随着高度增加，重力势能增加，机械能也随着增加，原因是上坡过程中，汽车的牵引力做功，机械能增加。匀速下坡时，汽车的动能不变，重力势能随着高度降低而减少，机械能减少，原因是汽车下坡过程中克服摩擦等阻力做功，消耗了机械能。

题 7 骑自行车上坡前，往往要用力蹬几下，请从能的转化角度说明这样做的好处。

骑自行车上坡前用力蹬几下，可提高车速，使车上坡前有足够大的动能。上坡时这部分动能转化为势能，车子比较容易爬上坡顶。

题 8 试分析撑杆跳高中的能量转化。

快速助跑使运动员获得足够多的动能，运动员一离开地面，原来的动能便逐渐转化为运动员的重力势能和撑杆弯曲形变的弹性势能。当运动员上升到一定高度时，原来的动能全部转化为重力势能和撑杆的弹性势能。之后，在撑杆恢复原状的过程中，撑杆的弹性势能逐渐转化为运动员的重力势能，当撑杆的弹性势能全部转化为运动员的重力势能时，运动员的重力势能最大，升到最大高度，越过横杆，放掉撑杆下落，这时重力势能减小，逐渐转化为动能。

**【水能和风能的利用】** 要想利用水流做功，需要有较大的流量和流速，但一般的河床都较平缓，流速不大，水的动能不多。修筑拦河坝可以提高上游的水位，增加水的势能，上游水位提得越高，上游水的势能就越多，水从上游流下来的时候，由势能转化成的动能就越多，所以大型水电站的拦河坝要修得很高。

风是空气流动所形成的，与任何运动的物体都有动能一样，风也具有动能，简称风能。

风能和水能一样，都属于自然能源。它有利用起来比较方便，且不会污染环境等优点，但也有不稳定，不便于贮存的缺点。因此，风能特别适于在风力资源丰富的沿海岛屿和草原牧区，用来做一些允许间断的工作。

我国是利用风能较早的国家，早在两千多年前就开始利用风来驱动帆船航行了；至少在 1700 多年前，已开始利用风来推动风车做工了。

目前我国东南沿海和内蒙古草原，已有许多小型风力发动机，用来提水灌溉、碾磨谷物、加工饲料，以及带动发电机为通讯、照明供电等。

## 热学

**【热传递】** 热从温度高的物体传到温度低的物体，或者从物体的高温部分传到低温部分，这种现象叫做热传递。

热传递是自然界普遍存在的一种自然现象。只要物体之间或同一物体的不同部分之间存在温度差，就会有热传递现象发生，并且将一直继续到温度相同的时候为止。

发生热传递的唯一条件是存在温度差，与物体的状态，物体间是否接触都无关。热传递的结果是温差消失，即发生热传递的物体间或物体的不同部分达到相同的温度。

在热传递过程中，物质并未发生迁移，只是高温物体放出热量，温度降低，内能减少（确切地说是物体里的分子做无规则运动的平均动能减小），低温物体吸收热量，温度升高，内能增加。因此，热传递的实质就是内能从高温物体向低温物体转移的过程，这是能量转移的一种方式。

热传递有三种方式：传导、对流和辐射。

**传导** 热从物体温度较高的部分沿着物体传到温度较低的部分，叫做传导。

热传导是固体中热传递的主要方式。在气体或液体中，热传导过程往往和对流同时发生。各种物质都能够传导热，但是不同物质的传热本领不同。善于传热的物质叫做热的良导体，不善于传热的物质叫做热的不良导体。各种金属都是热的良导体，其中最善于传热的是银，其次是铜和铝。瓷、纸、木头、玻璃、皮革都是热的不良导体。最不善于传热的是羊毛、羽毛、毛皮、棉花、石棉、软木和其他松软的物质。液体中，除了水银以外，都不善于传热，气体比液体更不善于传热。

**对流** 靠液体或气体的流动来传热的方式叫做对流。

对流是液体和气体中热传递的主要方式，气体的对流现象比液体更明显。

利用对流加热或降温时，必须同时满足两个条件：一是物质可以流动，二是加热方式必须能促使物质流动。

**辐射** 热由物体沿直线向外射出，叫做辐射。

用辐射方式传递热，不需要任何介质，因此，辐射可以在真空中进行。地球上得到太阳的热，就是太阳通过辐射的方式传来的。

一般情况下，热传递的三种方式往往是同时进行的。

**用例一** 根据热传递三种方式的特点，分析有关热传递问题。

**题 1** 下列事例中，热传递的主要方式是哪种？

- (1) 炉子上烧水使整壶水都变热。
- (2) 夏天喝饮料，把冰块放入饮料中降温。
- (3) 冬天在炉子旁取暖。
- (4) 把金属勺放在热汤中，勺把会烫手。

**题 (1)** 中炉子烧水使整壶水都变热，主要是对流方式起作用。

**题 (2)** 中冰块放入饮料中，饮料通过传导的方式把热传给冰，冰吸热熔化，接着整杯饮料通过对流达到相同温度。

**题 (3)** 中在炉子旁取暖，主要是辐射传热。

**题 (4)** 中金属是热的良导体，汤将热传给勺后，通过传导的方式使勺

把变热。

题 2 冬天落在田里的雪，能保护越冬作物不致冻坏，这是由于雪和雪下方不流动的空气都是热的\_\_\_\_，防止了\_\_\_\_，覆盖着的雪使它上下方的空气不能发生\_\_\_\_，同时银白色的雪又能防止热的\_\_\_\_。

雪和空气都是热的不良导体，它们可以防止热传导；雪又阻止其下方的空气和上方的空气间发生对流；银白色的雪又能防止土壤中热向外辐射。

用例二 根据热传递的特点，防止或利用热传递。

题 3 冬天为保暖穿棉衣、羽绒衣。夏天为防止冰棒熔化，用棉被把冰棒裹起来。试分析其中的道理。

棉花、羽绒都是热的不良导体，棉花及羽绒中间的空隙里有不流动的空气，空气也是热的不良导体。冬天，穿上棉衣可以防止身上的热通过传导的方式散发出去，同时也防止了热的对流。夏天，用棉被包裹棒冰，是防止空气中的热通过传导和对流传给冰棒，避免冰棒的熔化。

用例三 根据热传递的特点，设计合适的利用热传递的方法。

题 4 房间里的暖气片应装置在房间的上部还是下部，为什么？

暖气片应装置在房间里的下部。装置暖气片的目的是为了整个房间里的空气都热起来，要使空气热，必须通过对流的方式才能达到目的。为形成空气对流的条件，必须使暖气片从房间的下部加热空气，空气变热后密度变小，这样热空气上升，冷空气下沉，形成对流，使整个房间里都热起来。

【温度】 温度是用来表示物体冷热程度的物理量。

由分子运动论可知，组成物质的大量分子总是永不停息地作无规则运动。物体的温度跟大量分子热运动的剧烈程度有关，分子运动越剧烈，物体的温度越高。运动着的分子具有动能，每个分子运动的速率不同，它们的动能也不相等。在研究热现象时，有意义的是物体所有分子的动能平均值，称为分子的平均动能。因此，从分子运动论的观点看，温度是物体内部大量分子平均动能的标志，温度越高，说明物体内部大量分子的平均动能越大。

物体的温度是可以改变的，这个过程与热传递或做功相联系。若物体的温度升高，可能是物体吸收了热量或外界对物体做了功；若物体的温度降低，可能是物体放出了热量或物体对外界做了功。

物体温度的变化又与物体内能的变化相关。物体的温度升高，标志着物体内分子的平均动能增大，即物体的内能增加；物体的温度降低，则标志着物体内分子的平均动能减小，即物体的内能减少。

物体的温度确定后，它的冷热程度也就确定了，不会因人的主观感觉而有所改变。如冬天放在室外的木头和金属物品，它们的温度是相等的，因此冷热程度是相同的。

热现象都是与温度有关的，因此有关温度表示的意义及温度的测量，是热学中最基础的知识 and 最基本的技能。

用例一 根据温度的意义，解释有关热现象。

题 1 “冬天，用手摸户外的东西时，会觉得金属的比木头的冷，这是由于金属的温度比木头低。”这个说法正确吗？

放置在同一环境下的物体，通过与周围物体的热传递，最后温度趋于

一致。因此，放在户外的木头与金属的温度是相等的，它们的冷热程度是相同的。冬天，户外的温度比手的温度低，手摸金属和木头时热从手传向金属和木头，但金属是热的良导体，很快将热传导并散发出去，从而使手的接触部分温度降低较快；木头是热的不良导体，不容易将手上的热传出去，因此，手与木头的接触部分温度降低较慢。所以，人会觉得手摸在金属上比摸在木头上冷。

题 2 某同学说：“要冷却物体，用 0 的冰比用等质量 0 的水效果好，这是由于冰比水更冷。”这个说法正确吗？

温度相等的物体，冷热程度是相同的。但用 0 的水进行冷却时，通过热传递过程，水吸热而升温；而用 0 的冰进行冷却时，冰吸热发生熔化后再升温，冰在熔化过程中吸收大量的热，因而冷却效果比 0 的水好，然而这并不是因为 0 的冰比 0 的水更冷。

用例二 分析物体温度变化的原因。

题 3 用洗衣机洗衣服，工作一段时间后，发现机内的水温比刚注入时高，这是什么原因？

洗衣机工作时，机内电动机转动，带动叶轮转动，搅动洗衣机缸内的水及衣物，这一过程中外界对水做功，从而使水温升高；同时，电动机工作时发热，其中有一部分热传给水，也会使水温升高。

温标 测量温度的标准叫做温标。

常用的温标有摄氏温标和热力学温标。

摄氏温标是由瑞典科学家摄尔修斯首先制定的。它以 1 个标准大气压下纯净的冰、水混合物的温度作为零度，记作 0 ；以纯水在 1 个标准大气压下沸腾时的温度作为一百度，记作 100 ；0 与 100 之间分成 100 等份，每 1 等份为 1 摄氏度（1 ）。通常测量温度都用摄氏温标。

热力学温标是英国科学家开尔文创立的，它以温度的下限——绝对零度，即—273 （精确值是-273.15 ）为零点。国际单位制中，温度的单位规定为热力学温标，它的单位名称叫开尔文，简称为开，符号为 K。热力学温度 T 和摄氏温度 t 的数量关系是：

$$T=t+273。$$

温度计标上温标后，就可以直接读出温度的数值。如人的体温是 37 ，读作“ 37 摄氏度”。气温是-3 ，读作“零下 3 摄氏度”。

用例一 根据摄氏温标与热力学温标间的换算关系，进行温度换算。

题 1 柴油机气缸中的温度是 500 ，相当于热力学温度多少？

根据  $T=t+273$ ，当  $t=500$  时， $T=773K$ 。

用例二 根据温标的规定，判断有关问题。

题 3 判断以下说法是否正确。

- (1) 把一块冰投入一杯水中，用温度计测量，示数肯定是 0 。
- (2) 不管用什么方法，在什么地方烧水，水沸腾时的温度总是 100 。
- (3) 科学家通过改进设备性能，获得了-274 的低温。

根据摄氏温标的规定，1 标准大气压下纯净的冰、水混合物的温度是 0 ，这是指冰与水共存状况下的温度。题中所说的冰投入水中后，有可能发生物态变化，致使它们达到热平衡后的温度并不等于 0 。若水温比较高、水的质量比较大，投入小块冰后，冰可能全部熔化成水，且共同温度高于 0 ；若水温较低，质量较小，投入大块温度很低的冰后，有可能

使水全部凝固成冰，且温度低于 0 。只有在冰投入水中后，过一段时间，冰与水共存，即形成冰水混合物，那么，它们的共同温度才是 0 。所以（1）中的说法是不正确的。

根据摄氏温标的规定，纯水在 1 标准大气压下沸腾时的温度为 100 。若液面上的气压不等于 1 标准大气压，或水中有杂质，那么，水沸腾时的温度就不等于 100 。所以，本题（2）中的说法也是不正确的。

根据热力学温标的规定，-273 为热力学温标的零点，即 0K，是温度的下限，从理论上可以证明 0K 这个温度是不可能达到的，只能接近它，-274 低于 0K，当然更不可能达到了。所以，本题（3）中的说法也是错误的。

**用例三** 根据温标的规定，推断实际测量的温度。

**题 4** 一支刻度模糊的温度计，在 1 标准大气压下，插在冰水混合物中时，水银柱长度是 5 厘米；插入正在沸腾的水中时，水银柱长度是 30 厘米；若用这支温度计去测量某种液体的温度，水银柱长度是 15 厘米。问这种液体的温度是多少？

根据摄氏温标的规定可知，温度计水银柱长度为 5 厘米处刻度应是 0 ，水银柱长度为 30 厘米处的刻度应是 100 ，由于 0 到 100 之间是等分的，把这两个刻度间的距离 25 厘米 100 等份，每 1 占 0.25 厘米。那么，水银柱长度为 15 厘米处的温度应为

$$t = \frac{(15-5)}{0.25} \times 1 = 40 ,$$

所以，被测液体的温度是 40 。

**【温度计】** 温度计是测量温度的仪表。

常用的温度计是液体温度计，它的构造是：一根内径很细、粗细均匀的玻璃管，下端有一个薄壁玻璃泡，在玻璃泡和玻璃管内盛有适量液体（如水银、酒精和煤油等），玻璃管内抽成真空并将上端封闭，玻璃管外壁标有刻度。

液体温度计是利用液体的热胀冷缩的性质制成的。一般物体都是在温度升高时体积膨胀，温度降低时体积收缩，但在相同条件下，液体的热胀冷缩比固体大。

当温度计的玻璃泡接触被测物体时，玻璃泡与它内部的液体都发生热胀冷缩现象，但玻璃泡的体积变化与泡内液体的体积变化相比却小得多，几乎可以忽略不计，液体的体积变化就明显表现出来。通过温度计的细玻璃管，可以显示液体的体积变化，从而显示温度的变化。由于细玻璃管的内径是均匀的，并且液体体积的变化与温度的变化成正比，所以温度计的刻度是均匀的。

反映温度计性能的是温度计的测温范围和精确度。测温范围由温度计内的液体性质决定。如酒精的凝固点是 -114 、沸点是 78 ，所以酒精温度计的测温范围高于 -114 、低于 78 。同样道理，水银温度计的测温范围高于 -39 、低于 357 。温度计的精确度是由它的最小刻度决定的，温度计玻璃管内径越细，玻璃泡体积越大，在温度发生改变时，管内液柱长度的改变越显著，温度计的精确度越高。

医用温度计——体温表是一种水银温度计（如图 2-1），它用于测量人体的温度，它的测量范围较小，体温计上的刻度范围通常是 35 ~ 42

，但测量的精确度较高，最小刻度为  $0.1$  ，且准确程度也较高。体温表装水银的玻璃泡与玻璃管连接处的管径特别细并且略有弯曲，测体温时，水银受热膨胀，经细弯管升入直管中。体温表离开人体后，水银突然变冷收缩，从弯曲处断开，直管中的水银退不回来。所以体温表可以离开人体后读数。使用后，拿住体温表尾部向下甩几下，升入直管中的水银就会回到玻璃泡里。

利用物质的某种性质跟温度变化之间的关系，可以制成各种温度计，进行高温测量或精确测量。如气体温度计、辐射温度计、光测温度计、电阻温度计、热电偶温度计等。

根据温度计用途的不同，有许多不同的制作方式。如用于印相片暗室中的温度计，其液柱染成蓝色而不是常用的红色；体温计的横截面做成特殊的形状，可以利用玻璃柱体的放大作用，以便于观察。

**用例一** 根据物质的某种性质跟温度的关系，理解温度计的工作原理。

**题 1** 伽利略制成的世界上第一个温度计，如图 2-2 所示。先给球形容器加热，使里面的空气跑出一部分；停止加热后，带色的液体就顺着玻璃管升上去。请你分析：（1）它的测温原理；（2）它的刻度特点；（3）测温时的主要缺点。

这个温度计，是根据气体的热胀冷缩性质制成的，是一种气体温度计。当温度升高时，上部容器中的气体膨胀，使管内液面下降；温度降低时，上部容器中气体收缩，管内液面上升。通过管内液面位置的不同，可反映温度的高低。玻璃管上如果刻上温度示数，那么应是由上而下逐渐变大。因相同条件下，气体的热胀冷缩最大，所以较小的温度变化可以引起气体体积的明显变化，使液面位置有显著改变。但是，玻璃管内液柱的升降，还受到外界气压变化的直接影响，因此，它的温度示数的误差较大。

**用例二** 正确读出并记录温度计的示数。

**题 2** 正确读出并记录图 2-3 所示温度计的示数。

读数时，要看清图中温度计的最小刻度及示数，然后再记录。图中  $t_1=32.0$  ，  $t_2=36.80$  。

**用例三** 根据温度计的刻度原理，推断温度计所示的实际温度。

**题 3** 有一支温度计，刻度均匀但不准确，在进行校正时，将温度计的玻璃泡放在冰水混合物中，示数是  $0$  ；放在沸腾的纯水中（1 标准大气压下）示数是  $104$  ；若放在室内空气中，示数是  $26$  ，则室内的实际温度是多少？

根据摄氏温标的规定可知，题中所给温度计的  $0$  刻度是准确的，温度计上的  $104$  对应的实际温度是  $100$  。温度计上  $0$  与  $104$  两刻度间应进行 100 等份，该温度计所示的每 1 度对应的实际温度是  $\frac{100}{104}$  。所以，

该温度计示数是  $26$  时， $26 \times \frac{100}{104} = 25$  ，室内实际温度应是  $25$  。

**温度计的使用** 用温度计测量温度是最基本的测量之一，要掌握正确的方法，减小测量误差。

**测温原理：**让温度计的玻璃泡与被测物体充分接触，通过热传递，使两者的温度趋于一致，这时温度计显示出它与被测物体的共同温度。由于

温度计在温度变化过程中吸收或放出的热量很少，可以认为，温度计的插入不会使被测物体的温度发生改变，温度计所显示的温度就是被测物体的温度。

使用温度计测量温度之前，先要根据被测物体的估计温度及测量要求的精确程度，选择合适的温度计。

使用温度计要做到：1. 温度计的玻璃泡要与被测物体充分接触；2. 待温度计中的液柱稳定后再读数；3. 读数时，视线要与温度计内液柱的表面平齐。

使用温度计要注意：1. 一般温度计不能在与被测物体脱离接触后读数。医用温度计因其构造上的特点，可以脱离人体后读数。2. 不能把温度计当做搅棒使用，尤其注意不要碰坏其下端的玻璃泡。

用例一 根据温度计的使用要求，判断有关问题。

题 1 要测量容器内液体的温度，图 2-4 中，哪幅图所示的操作是正确的？

根据温度计的使用要求，温度计的玻璃泡要与被测物体充分接触，因而温度计的玻璃泡必须浸没在被测液体中，故 C 图不符合要求。在 D 图中，温度计的玻璃泡与容器底相接触，若液体温度与周围环境温度不相等，这样温度计的示数便不能正确表示液体温度，故 D 图也不符合要求。根据读数时，视线要与温度计内液面平齐的要求，可知 A 图不符合要求，只有 B 图的操作是正确的。

题 2 体温计要用酒精消毒，而不能放在沸水中消毒，这是为什么？

体温计的测温范围是  $35 \sim 42$ ，沸水的温度则在  $100$  左右，远远超过体温计所能测的最高温度，所以，不能用沸水消毒。否则，体温计接触沸水，表内水银的剧烈膨胀受到阻碍，将会损坏体温计。

题 3 某同学把一块放在沸水中经较长时间加热的铁块放到一杯冷水中，用温度计测铁块和水的共同温度。该同学在观察插入水中的温度计的示数时，会看到什么样的情况？他应怎样记录读数？

由于铁块的温度比水温高，所以铁块不断放热降温，通过热传递，水不断吸热升温，所以该同学会看到温度计的示数不断上升，当水温与铁块温度相等时，温度计的示数最大，然后由于热量不断向周围散发，水温又会下降，所以，温度计示数变化过程中，最高示数就是水与铁块混合后的共同温度，这才是应该记录的温度。

用例二 根据温度计使用的知识，掌握测量温度的正确步骤。

题 4 使用温度计测一杯水的温度，有如下步骤，请按正确顺序排列：\_\_\_\_\_。

- A. 选取适当的测量范围和最小刻度值的温度计；
- B. 用手摸水杯壁，估测热水的温度，记录水温的估测值；
- C. 读出温度计的示数，并记录；
- D. 观察温度计的液柱示数是否处于稳定状态；
- E. 把温度计插入热水中，并使玻璃泡全部浸没在水中，但不与杯壁接触；
- F. 整理仪器。

用手摸估测水温是选择温度计的依据之一，故是测量的第一步。当温度计内液柱的示数稳定时，即表示温度计与被测物温度已经相等，然后可

记录数据，故步骤 D 在 C 之前，依据一般实验常规可排出正确顺序。本题答案为：BAEDCF。

**【物态变化】** 物质状态的转化过程，叫物态变化。固体、液体、气体是自然界中一般物质存在的三种状态，在同一温度下，不同的物质可以处于不同的状态。如通常温度下，铁是固体，水银是液体，空气是气体。但在一定条件下，同一物质的这三种状态，可以互相转化。

物态变化包括六种过程，如下图所示：

在发生物态变化时，物质的化学成分并未变化，但是组成物质的分子间结构却发生了变化，即分子之间的距离会改变，分子间相互作用力的强弱会改变，分子无规则运动情况也会改变，因而物质所处的状态就不同，它们的物理性质也不同。如水的化学成分是  $H_2O$ ，无论是水蒸气、水或是冰，它们的化学成分是相同的，但是分子间结构不同，因而分子的无规则运动情况不同，表现出不同的形态和不同的物理性质。

用例 根据物态变化的概念，确定物态变化的名称。

题 1 确定下列现象中发生的物态变化的名称。

- (1) 冰化成水，是\_\_\_\_现象。
- (2) 冬天，水结成冰，是\_\_\_\_现象。
- (3) 湿衣服变干，是\_\_\_\_现象。
- (4) 煮饭时，锅盖上有水滴下来，是\_\_\_\_现象。
- (5) 冬天，冰冻的衣服会变干，是\_\_\_\_现象。
- (6) 冬天出现霜，是\_\_\_\_现象。

判断物态变化过程，要分析变化前的物态和变化后的物态，然后确定物态变化的种类。(1)中是物质由固态变成液态，为熔化现象。(2)中是物质由液态变成固态，是凝固现象。(3)是衣服上的水变成水蒸气，物质由液态变成气态，为汽化现象。(4)中锅盖上的水是由水蒸气变成的，是物质由气态变成了液态，这是液化现象。(5)中冰冻的衣服变干，是衣服上的冰直接变成了水蒸气，这是物质由固态直接变成了气态，是升华现象。(6)霜是空气中的水蒸气直接变成冰，是物质由气态直接变成固态，是凝华现象。

**【熔化和凝固】** 物质由固态变为液态的过程，叫做熔化。物质由液态变为固态的过程，叫做凝固。

固体可分为晶体和非晶体两类。冰、石英和大多数金属是晶体。松香、玻璃、沥青等是非晶体。晶体与非晶体的不同在于：1. 晶体有规则的几何形状，晶体在各个不同方向上的物理性质不同，称为各向异性。如在各个不同方向上力学的、电学的、光学的性质是不同的。非晶体没有以上特性。2. 晶体在熔化时，有一定的温度，而非晶体在熔化时的温度是变化的，随着温度的升高，非晶体逐渐变软，从固态到液态之间没有明显的界限。

晶体在熔化时的温度叫做熔点，不同晶体的熔点是不同的。如冰的熔点是  $0^{\circ}C$ ，铁的熔点是  $1528^{\circ}C$ ，钨的熔点是  $3357^{\circ}C$ 。同一物质的熔点在不同的外界压强下也不相同，如 1 标准大气压下，冰的熔点是  $0^{\circ}C$ ，但外界压强增大时，冰的熔点就降低。

晶体在熔化过程中要吸收热量。单位质量的某种固态物质在熔点时熔化成同温度的液态物质所需要的热量，叫做这种物质的熔解热。如冰的熔解热为  $3.3 \times 10^5$  焦 / 千克，即 1 千克  $0^{\circ}C$  的冰变成  $0^{\circ}C$  的水需吸收热量 3.3

$\times 10^5$  焦。

晶体在熔化过程中要吸收热量，但温度并不升高。从能的转化角度看似乎能量不守恒了。其实，在熔化过程中，分子克服分子间引力做功，改变了分子排列，增大了分子间距离，使物质由固态转变为液态，吸收的热量转变成分子的势能，但分子的平均动能不变，所以温度保持不变。

凝固是熔化的逆过程。同一晶体的凝固点与熔点相同，如冰的熔点为  $0^\circ\text{C}$ ，水的凝固点也为  $0^\circ\text{C}$ 。凝固过程中，晶体物质要放出热量且温度保持不变，在这过程中物质放出的热量跟它在熔化过程中吸收的热量相等。

用例一 根据熔化和凝固的概念，确定物态变化的名称。

题 1 下列过程各属于哪种物态变化？

- (1) 铁被烧成铁水，这是\_\_\_\_\_。
- (2) 冬天水结成冰，这是\_\_\_\_\_。
- (3) 冰块从冰箱中取出后化成水，这是\_\_\_\_\_。
- (4) 把一块冰投入一大盆热水后，冰不见了，这是\_\_\_\_\_。
- (5) 下雪后，在化雪时，屋檐下出现冰柱，这是\_\_\_\_\_。

熔化是物质由固态变为液态的过程，由此可知，(1)、(3)、(4)是熔化过程。(2)阐述的是水由液态变为固态，是凝固。(5)阐述的是屋面的雪化成水后沿屋面淌下时在屋檐下结成冰，这是雪先熔化后凝固的结果。

用例二 根据熔点和凝固点的含意，确定特定温度下物质的状态。

题 2 水银的凝固点是  $-39^\circ\text{C}$ ，可知在温度为  $-40^\circ\text{C}$  时，水银是\_\_\_\_\_态；在  $-38^\circ\text{C}$  时，水银是\_\_\_\_\_态；在  $-39^\circ\text{C}$  时，水银\_\_\_\_\_态。

凝固点是物质由液态变为固态时的温度，在温度高于凝固点时是液态，低于凝固点时是固态，等于凝固点时固、液态共存。 $-40^\circ\text{C}$  低于  $-39^\circ\text{C}$ ，故这时水银是固态， $-38^\circ\text{C}$  时，水银是液态， $-39^\circ\text{C}$  时，水银可能是固态也可能是液态。

用例三 根据熔点和凝固点的含意，由物质的状态确定温度。

题 3 摄氏温标规定：1 标准大气压下，冰水混合物的温度为  $0^\circ\text{C}$ 。为什么冰水混合物的温度一定是  $0^\circ\text{C}$ ？

1 标准大气压下，冰的熔点是  $0^\circ\text{C}$ ，水的凝固点也是  $0^\circ\text{C}$ ，只有在  $0^\circ\text{C}$  时，冰、水可以共存。冰水混合物就是冰与水共存的状态，所以它的温度一定是  $0^\circ\text{C}$ 。当然气压改变时，它的温度会有所改变。

用例四 根据熔化的条件，判断物态变化过程能否进行。

题 4 把一块  $-10^\circ\text{C}$  的冰，放到温度是  $0^\circ\text{C}$  的一大盆水中，那么

( )。

- A. 这块冰会熔化，全部变成水
- B. 这块冰有部分熔化，盆中水增加
- C. 冰块会变大，盆中水减少
- D. 冰不会变大，盆中水量不变

物质在熔化时，必须具备两个条件：一是温度要达到熔点，二是要吸收一定的热量。本题所述冰块温度为  $-10^\circ\text{C}$ ，低于熔点，因此不会立即熔化。由于冰与水之间有温度差，冰块要从水中吸收热量，水要放热，结果使一部分水凝固成冰，水的量减少，冰块会变大，冰块的温度会有所升高。答案应选 C。

题5 把一盆0 的水,放到室温是0 的房间里,水中会出现冰块吗?  
当水的温度等于凝固点时,若放出热量,那么水会凝固成冰。题中所述,0 的水放在0 的房间里,水与周围环境没有温度差,即没有热传递,因此不会发生物态变化过程,0 的水盆中不会有冰出现。

用例五 利用不同物质的熔点的不同,在生产、生活中选用不同的材料制作各种用品。

题6 白炽灯泡中的灯丝采用钨丝是因为钨的\_\_\_\_\_。照明电路中的保险丝用铅锑合金制成,是因为\_\_\_\_\_。

灯泡正常工作时,灯丝温度很高,因此要选择熔点高的钨制作。保险丝要在电流过大时熔断,切断电路,因此要选用熔点低的材料制作,铅锑合金的熔点较低,易于熔断。

题7 在很冷的地区,测气温用酒精温度计而不用水银温度计。为什么?

因为水银的凝固点是-39 ,酒精的凝固点是-117 ,酒精温度计能测量的最低温度比水银温度计能测的最低温度低,所以寒冷地区测气温宜用酒精温度计。

题8 可以把锡块放在铁锅里熔化,但不能把铁块放在锡锅里熔化。为什么?

锡的熔点是232 ,铁的熔点是1535 ,对锡、铁加热时,当温度达到232 时,锡会熔化而铁并不会熔化,因此可用铁锅熔化锡,但不能用锡锅熔化石。

用例六 根据晶体和非晶体在物态变化中的不同性质,判断有关问题。

题9 玻璃在熔化时,温度\_\_\_\_,可见它没有一定的\_\_\_\_,这类物质叫\_\_\_\_\_。

玻璃是非晶体,它没有一定的熔化温度,在熔化过程中不断吸收热量,温度不断升高。

题10 关于物质的熔化和凝固,下列说法中正确的是: ( )

- A. 各种固体都有一定的熔点
- B. 各种液体都有一定的凝固点
- C. 各种晶体都在同一温度下熔化
- D. 各种晶体都有一定的熔点

因为只有晶体有一定的熔点,非晶体熔化过程中不断吸收热量,温度不断升高,但不同的晶体,各自的熔点并不一样,所以A、B、C均不对。本题答案应选D。

用例七 认识熔化和凝固图象的物理意义。

题11 根据研究萘熔化实验中所记录的数据作出如图2-5所示图线,根据图线可以知道些什么?

根据图线可知:

(1) 萘的温度变化情况:在0~5分钟内萘的温度由50 升高至80 ,在5~10分钟内萘的温度保持不变,在10分钟以后萘的温度继续升高。

(2) 萘的熔点:在5~10分钟内萘不断吸收热量但温度不变,这是萘的熔化过程,这时萘的温度保持80 不变,这个温度即为萘的熔点。

(3) 萘在不同时间段的物态:在0~5分钟内,萘是固态,在5~10

分钟内，固态和液态萘同时存在，在 10 分钟以后，萘是液态。

(4) 萘在加热熔解过程中的吸热情况：在 0~5 分钟内，萘吸收的热量跟萘的质量、比热及温度变化有关；在 5 分钟~10 分钟内，萘吸收的热量跟萘的质量及熔解热有关；在 10 分钟以后，萘吸收的热量跟萘的质量、液态萘的比热及温度变化有关。

**用例八** 根据晶体的熔点随压强而改变的原理，解释有关现象。

**题 12** 为什么冬天在雪地上行走要使用雪橇，但滑冰运动员在冰上滑行却穿上鞋底有冰刀的滑冰鞋。

雪质地松软，为防止人走动时陷入雪中，就需要用雪橇，以增大受力面积，减小人对雪地的压强，使人不致陷下去。滑冰运动员穿冰鞋在冰面运动时，鞋底下的冰刀与冰面接触，由于冰刀与冰面间的接触面积很小，人对冰面的压强很大，而冰的熔点随压强的增大而降低，在冰刀下方的冰熔化成水，这些水恰好起了润滑作用，减小运动员在滑冰时的阻力。在冰刀下方熔化的水，当冰刀离开时便不受压，又因压强减小，熔点升高，而再次凝固成冰。

**用例九** 根据物质在熔化和凝固过程中吸放热的情况，解释有关现象。

**题 13** 物体放热时： ( )

- A. 温度一定降低                      B. 温度一定不变  
C. 温度可能不变也可能降低      D. 温度可能升高

物体放热与温度之间的关系有两种可能：一是物体向外界放出热量，自身温度降低；二是当物体凝固或液化时，放出一部分热量而自身温度保持不变。因此，A，B 选项错在“一定”上。而 D 选项显然是不可能的，故本题应选 C。

**【汽化】** 物质由液态变成气态的过程，叫做汽化，汽化有两种方式：蒸发和沸腾。

**蒸发** 是在任何温度下都能进行的汽化现象，但它只发生在液体表面。蒸发时需要吸收热量，若在蒸发时，液体不能及时从外界吸收到所需的热量，那么液体本身的温度就会降低，这就是蒸发的致冷作用。液体蒸发的快慢与如下因素有关：液体的温度越高，蒸发越快；液体的表面积越大，蒸发越快；液面上方气体流动速度越大，蒸发越快。

**沸腾** 是在一定温度下，在液体的表面和内部同时进行的剧烈的汽化现象。液体沸腾时的温度叫做这种液体的沸点。不同液体的沸点不同，同种液体的沸点与外界条件有关，沸点随液面上气压的增大而升高。如水在 1 标准大气压下的沸点为 100℃，若气压为 525.76 毫米高水银柱时沸点为 90℃，若气压为 906.07 毫米高水银柱时沸点为 105℃。液体沸腾时，需要吸收热量，否则，即使温度达到沸点，沸腾也不能进行。液体沸腾时，外界提供的热量越多，汽化过程进行得越快，此过程中液体温度不变。

从分子运动论角度看，液体汽化过程其实质是液体分子克服分子间的相互作用，从液面逸出，成为气态分子的过程；而液体分子逸出过程，即为克服分子间相互作用力做功的过程。液体汽化时，体积会膨胀到 1000 倍以上，分子间距离会增加到 10 倍以上，体积膨胀过程中必须对外做功，所以此过程要吸收大量的热量，如外界不能供给热量，留在液体中的分子的平均动能就必然减小，即液体温度降低。单位质量的某种物质，在沸点

从液体变成同温度的气体时所吸收的热量即为该物质的汽化热。如 1 千克温度为 100 的水在汽化成 100 的水蒸气时，要吸收 539 千卡热量。

用例一 根据影响蒸发快慢的因素，采取加速蒸发的办法。

题 1 下列说法中不正确的是： ( )

- A. 刚打下的粮食要摊开晒才容易干
- B. 湿衣服用绳子或竹竿穿起来挂在通风处容易干
- C. 种蔬菜的塑料大棚里的土壤容易干
- D. 洗过头发，用电吹风吹容易干

影响蒸发快慢的三个因素是液体温度的高低、液体表面积的大小、液面上方气流速度的大小。据此，可判断 A、B、D 都是正确的。C 中所述塑料大棚中，因空气流动受限制，土壤中的水份不容易蒸发，故土壤不容易干。此题答案为 C。

用例二 根据蒸发的致冷作用，解释有关现象。

题 2 下列各例中，主要不是利用蒸发致冷的是： ( )

- A. 在开水杯中加入一些冷开水，使水温降低
- B. 电冰箱的致冷
- C. 病人体温过高，用湿毛巾擦身
- D. 夏天，在房间地面上洒一些水，会使人感到凉快些

答案是 A。因为热水与冷水混合时，冷水吸收了热水放出的热量，结果冷水升温而热水降温，直至达到相等的温度，这并不是因为蒸发而制冷。其它三种情况，都是利用液体蒸发达到致冷的效果。

题 3 有一种干湿泡温度计，它由两支温度计组成，它的干泡温度计就是常用的液体温度计，浸泡温度计则是在常用的温度计的玻璃泡外包上棉纱，且使棉纱始终保持潮湿。在观察时，可发现湿泡温度计的示数比干泡温度计低，为什么？

由于湿泡温度计玻璃泡外有湿棉纱裹着，其中水分在蒸发时要吸收热量，致使湿泡温度计的示数比干泡温度计的示数低。两支温度计的示数差与气温、空气的干湿程度及周围空气流动速度有关。气温越高，空气越干燥，周围空气流动速度越大，两支温度计的示数差就越大。这种干湿泡温度计上常贴有一张表格，根据干泡温度计的示数及两支温度计的示数差，可以在表上查知空气的干湿程度。

用例三 根据沸点的定义，判断物质在一定条件下的状态。

题 4 在 1 标准大气压下，水的沸点是\_\_\_\_。在 3 标准大气压下，水的沸点是 134。可知，在 1 标准大气压下，水在 100 以上是以\_\_\_\_态存在，在 100 以下可以\_\_\_\_态和\_\_\_\_态存在。在 3 标准大气压下，水在温度 100 ~ 134 之间是以\_\_\_\_态存在，在温度为 134 以上是以\_\_\_\_态存在。

1 标准大气压下，水的沸点是 100，在 100 以上，水以气态存在，在 100 以下可以气态、液态和固态存在。在 3 标准大气压下，水在沸点 (134) 以上以气态存在，在沸点以下以气态和液态存在。

用例四 根据沸腾的条件，分析沸腾现象能否发生。

题 5 如图 2 - 6，在一只敞口烧杯中盛有水，把一只装水的试管插入水中，对烧杯加热，烧杯中的水会沸腾吗？试管中的水会沸腾吗？

当外界大气压为 1 标准大气压时，对烧杯加热，烧杯中的水温不断上

升，直到达  $100^{\circ}\text{C}$ ，如继续加热，烧杯中的水会沸腾。在对烧杯加热的过程中，通过烧杯中的水与试管的热传递，试管及其中的水温不断升高直至  $100^{\circ}\text{C}$ 。但由于烧杯中的水在沸腾过程中温度保持不变，试管与烧杯中水之间已不存在温度差，试管中的水不能再从管外水中吸收到热量。而液体沸腾时，除温度达到沸点外还要吸收热量，所以试管中的水温度能达到  $100^{\circ}\text{C}$ ，但不会沸腾。在本题所述情况下，对烧杯不断加热的结果，是烧杯中的水沸腾而试管中的水不沸腾。

题 6 若要使题 5 中试管内的水也能沸腾，可以采取什么措施？

根据上题的分析可知，若在试管中的水温达到  $100^{\circ}\text{C}$  时，外界能继续供给热量，那么其中的水可以沸腾。若能把烧杯换成加盖的容器，插入试管后容器密封并使试管口露出盖外，如图 2 - 7 所示，就可使试管中的水沸腾。因为当对烧杯加热时，杯中水面上的气压可以超过 1 标准大气压，容器中水的沸点便会超过  $100^{\circ}\text{C}$ 。当试管中的水温达到  $100^{\circ}\text{C}$  时，仍能从管外水中吸收热量，而试管是开口的，其液面上气压仍为 1 标准大气压，故试管中的水也会沸腾。

若题 5 中，试管内装的是酒精不是水，那么当烧杯中的水沸腾时，试管中的酒精也会沸腾，因为酒精的沸点是  $80^{\circ}\text{C}$ 。

用例五 应用液体沸腾时温度不变原理解释有关现象。

题 7 有一种胶，需要在  $100^{\circ}\text{C}$  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。所以熬这种胶最好用图 2 - 8 所示的两层锅，两层锅之间装着水，这样就不会把胶熬焦了，为什么？

因为在 1 标准大气压下，水的沸点是  $100^{\circ}\text{C}$ ，水沸腾时虽然不断吸热，但温度始终保持不变，只要两层锅之间有水，内层锅中的温度就不会超过  $100^{\circ}\text{C}$ ，这样便不会把胶熬焦。

题 8 一张纸放在火上会被烧掉，但是用纸盒可以烧开水，为什么？

把纸放在火上，由于温度超过纸的着火点，纸会燃烧。但用纸盒烧水时，虽不断加热，但水的温度不会超过  $100^{\circ}\text{C}$ ，这个温度低于纸的着火点，因此纸盒不会被烧坏。

用例六 根据液体的沸点与气压的关系，提高或降低液体沸腾时的温度。

题 9 制糖工业中，要用沸腾的办法除去糖汁中的水分，为了使糖在沸腾时不致变质，沸腾的温度要低于  $100^{\circ}\text{C}$ ，怎样做到这一点？

由于液体的沸点随液面上气压的减小而降低，当气压低于 1 标准大气压时，水的沸点就低于  $100^{\circ}\text{C}$ 。所以，可以利用减小糖汁液面上的气压的办法，使糖汁在低于  $100^{\circ}\text{C}$  的温度下沸腾。

题 10 使用高压锅，可以更快地煮熟饭菜，为什么？

由于液体的沸点随液面上的气压的增大而升高，当液面上气压大于 1 标准大气压时，液体的沸点就超过  $100^{\circ}\text{C}$ 。使用高压锅，因锅的密封性能好，可以使锅内液面上气压大于锅外大气压，提高液体的沸点，更快地煮熟饭菜。在高山上，由于气压较低，用普通锅烧水，水温总是低于  $100^{\circ}\text{C}$ ，用高压锅就可以提高水的沸点，煮熟饭菜。

题 11 如图 2 - 9 所示，烧瓶中盛有水，瓶口塞紧，有管子穿过瓶口橡皮塞至瓶外，把烧瓶放在酒精灯上加热至水沸腾。（1）若通过管子对瓶内打气，可以看到什么现象？（2）若停止加热，瓶中水停止沸腾时，通过

管子对瓶内抽气，又可以看到什么现象？

当对瓶内打气时，由于液面上方气体压强增大，使瓶内水的沸点升高，可看到本来沸腾着的水停止沸腾，待继续加热到高压下的沸点时再沸腾。

停止加热，瓶内水便停止沸腾，若对瓶内抽气，水面上的气压就减小，水的沸点就降低，抽气到一定时候，瓶内水会在低压下重又沸腾，因外界没有热量提供，沸腾很快又停止了。

**用例七 应用液体汽化时吸热原理，解释有关现象。**

**题 12** 火箭在大气中飞行时，它的头部与空气摩擦而产生大量的热，会因温度过高而烧坏。因此火箭头部常被涂上一层特殊材料，这种材料能在高温下熔化并汽化，可起到保护火箭头部的作用。为什么？

由于物质在熔化和汽化时，都要吸收大量的热。火箭头部所涂的材料在熔化和汽化时能吸收大量的热量，使火箭头部的温度不致升得过高，从而起到保护火箭头部的作用。

**用例八 利用不同物质的沸点不同，将混合物分离。**

**题 13** 空气是含有多种气体的混合物，可以利用液态空气分离并提取各种气体。已知 1 标准大气压下，液态氧的沸点是 $-183$ ，液态氮的沸点是 $-196$ ，液态氦的沸点是 $-268.9$ ，利用液态空气提取这些气体，随温度升高而分离出来的次序是：（ ）

- A. 氧、氮、氦                      B. 氧、氮、氦  
C. 氦、氧、氮                      D. 氦、氮、氧

随沸点由低而高排列的次序是氦、氮、氧。当液态空气的温度逐渐升高时，应是沸点最低的物质最先沸腾，由液态变成气态而分离出来。故本题应选 D。石油的分馏也是利用这个原理。

**【观察水的沸腾】** 实验目的观察水的沸腾现象，知道水沸腾时温度不变，知道沸腾过程要吸热。

**实验器材** 烧杯一只，酒精灯一盏，温度计（ $0 \sim 100$ ）一支，铁架台一套，石棉网一块，温水（ $60$  左右，可装在热水瓶内）适量，纸板一块。

**实验步骤** 1. 把温水倒在烧杯里，把烧杯放在铁架台石棉网上，杯口盖上纸板，把温度计穿过纸板中央的孔插入水中。

2. 用酒精灯给盛水烧杯加热。注意观察温度计示数变化及水的汽化现象，即水中气泡的变化情况，并填入表（2）中。

3. 当水温升到  $70$  时，每隔 1 分钟记录 1 次水温，直到沸腾，把记录的数据填入表（1）中，并注意观察水沸腾时，水中气泡的变化情况，填入表（2）中。

4. 水沸腾后，继续加热一段时间（约 1 分钟），观察温度计示数和水中气泡的变化情况，分别填入表（1）和表（2）中。

5. 停止加热，观察半分钟内温度计示数及水中气泡变化情况，分别填入表（1）和表（2）中。

**实验记录**

表(1)

观察时间(分)	起点	1	2	3	4	.....
温度( )						

表(2)

观察阶段 观察要求	温度变化情况	水中气泡变化情况
水温在 70 以下		
水温在 70 ~ 90 之间		
水温在 90 ~ 100 之间		
水在沸腾时		
停止加热后		

**实验结论** 沸腾是在液体的内部和表面同时进行的剧烈的汽化现象。沸腾时继续加热，水的温度不变。

实验中测得的水的沸点是 100 。

根据实验的观察可知，液体沸腾的条件是液体温度达到沸点并持续加热。

根据表(1)中的数据，在如下平面坐标内作出水的温度-时间图线，分析一下沸腾前后的图线有什么不同？并与熔化图线作比较。

**【液化】** 物质从气态变成液态的现象，叫做液化。液化是汽化的相反过程。

所有气体在温度降到足够低的时候都可以液化，但不同物质的液化温度是不同的。气体的液化温度还跟压强有关，气体的压强越大，它的液化温度越高。用压缩体积的方法增大压强，可使气体在较高温度下液化。因此，使气体液化的常用方法是降低温度和压缩体积。

气体在液化时要放出热量。单位质量的某种物质，在沸点从气体变成同温度的液体时放出的热量，等于它在这一温度时的汽化热。不同物质的汽化热不同。如水在 100 时的汽化热是  $2.26 \times 10^5$  焦/千克，也就是 1 千克 100 的水蒸气液化成 100 的水时要放出  $2.26 \times 10^5$  焦的热量。

**用例一** 根据液化的概念，判断物态变化过程。

**题 1** 下列现象，各属于哪种物态变化。

(1) 秋天早晨出现雾。这是\_\_\_\_\_。

(2) 冬天，戴眼镜的人从室外进入暖和的室内时，眼镜片上会模糊。这是\_\_\_\_\_。

(3) 在比较潮湿的天气里，打开冰箱门，会看到冰箱里有白色的雾。这是\_\_\_\_\_。

以上现象的出现，都是液化的结果，都是空气中的水蒸气遇冷液化成小水珠而形成雾。若这些水珠凝聚在眼镜片上，则会使镜片模糊，但稍过一段时间，即使不擦镜片，镜片又会变清楚，因为雾状小水珠又汽化成水蒸气了。

**用例二** 根据物态变化知识，分析有关物理过程。

**题 2** 分析下列过程中“白气”是如何出现的。

(1) 烧开水时，会出现大量“白气”。

(2) 夏天, 棒冰的周围冒“白气”。

(3) 冬天, 人呼出“白气”。

烧开水至沸腾时, 水剧烈汽化, 产生大量水蒸气, 水蒸气的温度与沸水温度相同, 而周围气温远低于水蒸气温度, 所以水蒸气遇冷就液化成小水珠, 形成我们看见的“白气”。

夏天, 气温较高, 空气中含有大量水蒸气, 水蒸气不能被我们看见, 但棒冰温度远低于气温, 棒冰周围空气温度也较低, 使棒冰周围空气中的水蒸气液化成小水珠, 形成看得见的“白气”。

人呼出的气中含有二氧化碳及大量的水蒸气, 它们的温度都跟人的体温相等。冬天, 气温低, 人呼出的水蒸气遇冷就液化成小水珠, 形成“白气”。

**用例三** 根据气体液化时要放热的原理, 解释有关现象。

**题 3** 被 100 的水蒸气烫伤比被 100 的水烫伤要严重, 为什么?

当人体接触到 100 的水时, 由于水与人体间的温度差, 水迅速降温同时把热量传给人体, 使人被烫伤。当人体接触到 100 的水蒸气时, 水蒸气先液化成同温度的水, 然后再降温。水蒸气在液化及降温过程中放出的热量比水在降温过程中放出的热量多得多, 这些热量对人体的伤害也就厉害得多。

**题 4** 在图 2 - 10 所示装置中, 会发生哪些物态变化, 容器 B 中的水温怎样改变?

在对 A 容器加热的过程中, 其中水温不断升高, 产生的水蒸气不断增多, 直至 A 中的水沸腾, 产生大量水蒸气, 这些水蒸气通过管子通入 B 容器的水中, 水蒸气遇冷液化成同温度的水, 同时放出热量, 然后水温再下降, 直至与 B 容器中水的温度相等。B 容器中, 由于不断有水蒸气液化, 使容器中的水量不断增多, 同时由于水蒸气液化时不断放热, 使水的温度不断升高, 直至沸点。

这种输送热量的方法, 被广泛用于生产和生活中。实际情况中, A 相当于锅炉, 产生高温水蒸气, B 相当于用户, 吸收水蒸气液化和降温时放出的热量, 用于生产或生活。

**用例四** 根据气体液化时温度与压强的关系, 解释有关现象。

**题 5** 液化石油气是在常温下用\_\_\_\_的方法, 使它成为液体储存在钢罐里的。使用石油液化气时, 是用\_\_\_\_方法使它汽化的。

石油气的沸点较低, 它在常温下都是以气态存在, 而液化后体积将大大缩小, 为便于运输、使用, 需要使石油气液化。由于气体的液化温度随压强的增大而升高, 所以可以用加压的方法使石油气在常温下液化, 储存在钢罐里, 使用时用减压方法使它汽化。

氧气也可在常温下用加压的方法, 使它成为液态氧储存在钢瓶里, 供生产上、医院里、宇航中使用。

**【升华和凝华】** 物质由固态直接变成气态的过程叫做升华; 从气态直接变成固态的过程叫做凝华。

物质在升华过程中要吸收热量, 在凝华过程中要放出热量。

**用例一** 判断升华或凝华过程。

**题 1** 下列物质中, 属于由水蒸气凝华的产物是: ( )

- A. 露      B. 霜      C. 雾      D. 冰

判断过程可分三步进行：(1)分析变化前的物态；(2)分析变化后的物态；(3)确定物态变化的种类。

凝华是物质由气态直接变成固态的过程。选项中，露和雾都是液体，故不符合题意，霜和冰都是固态，但冰是由液态的水凝固而成的，只有霜才是空气中的水蒸气凝华而成的。本题答案应为 B。

用例二 运用升华和凝华知识，解释有关物理现象。

题 2 冬天，房间窗玻璃上会出现一层冰花，试解释它们是怎样形成的。

房间内空气中含有水蒸气，水蒸气是无色的气态物质，肉眼看不见。冬天，因为室外寒冷，窗玻璃的温度也很低，室内的水蒸气接触到窗玻璃时，温度急剧下降，就直接凝华成固态的冰，在玻璃上出现一层冰花。

题 3 在一只烧杯中放入少量碘，盖上玻璃，在酒精灯上微微加热，可以看到烧杯中呈现紫色。停止加热后，烧杯内的紫色渐渐消失，在烧杯壁上可看到一些小颗粒。请解释这一现象。

当放有碘的烧杯在火上微微加热时，杯中的碘颗粒受热升华，变成碘蒸气。我们看到的紫色就是碘蒸气所呈现的颜色。在停止加热后，碘蒸气又立即凝华成固态碘，成为小颗粒附着在烧杯的壁上。

题 4 白炽灯泡用久了，灯泡壁会发黑，这是什么原因？

白炽灯工作时，灯丝由于通电而发热发光，由于灯丝温度很高，制成灯丝的钨发生了升华现象，形成了钨蒸气，待温度降低时，钨的气体会凝华成固态的钨附着在灯泡壁上，使灯泡壁发黑。

【分子运动论】 分子运动论是描述分子运动的最基本的理论。分子运动论的基本内容是：物质是由分子组成的；分子永不停息地做无规则运动；分子之间有相互作用的引力和斥力。

分子是保持物质化学性质的最小微粒。如果把分子看作球体，它的直径的数量级为  $10^{-10}$  米。

人们在研究中发现，不同物质在互相接触时，会彼此进入对方，这种现象叫做扩散。气态、液态和固态物质都可以发生扩散现象。扩散现象可以证实一切物体里的分子都在不停地做无规则的运动，且温度越高，分子运动越剧烈。

分子间的相互作用是：当分子处于平衡位置（分子间距为  $r_0$ ）时，分子间的引力和斥力相平衡。

当分子间距  $r < r_0$  时，斥力  $>$  引力，分子间的作用表现为斥力。

当分子间距  $r > r_0$  时，引力  $>$  斥力，分子间的作用表现为引力。

分子间的作用随着分子间的距离的增大而减小，当分子间距  $r \gg r_0$  时，分子间的相互作用可忽略。

各种物质的由于分子间结构不同，就表现出气、液、固三种不同形态，因而具有不同的性质。

气体分子间距离比较大，可认为气体分子除了相互碰撞或跟容器壁碰撞外是不受力的作用的；气体分子在没有跟别的分子或容器壁碰撞时做匀速直线运动。

固体分子间距离很小，相互间的作用力很大，绝大多数分子只能在各自的平衡位置附近做无规则的振动。

液体分子间结构介于气体和固体之间，但比较接近固体。液体分子间的作用力比固体小，分子排列没有规则，分子既可在平衡位置附近做无规则振动也可移动。

运用分子运动论的有关知识，可以从微观角度理解和解释一些宏观现象。

用例一 根据有关数据，估算物体中所含分子的多少。

题 1 水分子的质量是  $29.92 \times 10^{-27}$  千克，请估算 1 厘米<sup>3</sup> 水中的分子个数。

1 厘米<sup>3</sup> 的水的质量是 1 克，即  $1 \times 10^{-3}$  千克，可算得其中分子数：

$$n = \frac{1 \times 10^{-3} \text{ 千克}}{29.92 \times 10^{-27} \text{ 千克}} = 3.3 \times 10^{22} \text{ (个)}。$$

题 2 在标准状况下(1 标准大气压、0 ) 22.4 升的气体里含有  $6.023 \times 10^{23}$  个气体分子，那么 1 厘米<sup>3</sup> 的气体里含有\_\_\_\_\_个气体分子。

因为 22.4 升气体里含有  $6.023 \times 10^{23}$  个分子。

22.4 升 =  $22.4 \times 10^3$  厘米<sup>3</sup>，故 1 厘米<sup>3</sup> 气体中所含分子数

$$n = \frac{6.023 \times 10^{23}}{22.4 \times 10^3} = 2.69 \times 10^{19} \text{ (个)}。$$

用例二 判断有关现象是否是扩散现象。

题 3 下列现象中，不属于扩散现象的是： ( )

- A. 室内扫地时，在阳光下看见灰尘在空中飞舞
- B. 把一匙糖倒入开水中，过些时候整杯水都甜了
- C. 樟脑丸放在箱子里，过一段时间箱子里充满了樟脑味
- D. 医院里充满酒精味

上述四种情况，只有 A 不属于扩散现象，因为分子是肉眼看不见的，灰尘是小的固体颗粒而不是分子，所以灰尘的飞舞不是扩散现象。

用例三 用分子运动论解释有关现象。

题 4 一滴红墨水滴在清水中，会使整杯水变红，这是由于 ( )

- A. 水有流动性
- B. 分子永不停息地做无规则运动的结果
- C. 分子间有相互作用的引力
- D. 分子间有相互作用的斥力

本题所述现象是由于分子无规则运动的结果，故答案应选 B。

题 5 上题中，若红墨水滴入一杯热水中，则杯中水变红的过程较快，这是由于\_\_\_\_\_。

分子的无规则运动也叫分子热运动，温度越高，分子运动越剧烈，扩散现象也越明显。

题 6 液体蒸发的实质是 ( )

- A. 液体分子在液体间移动
- B. 液体分子中速度较大的分子克服液面其它分子的吸引而跑到液面外的空间
- C. 液体分子间的斥力将一些分子推斥到液体外面去
- D. 液体分子被液面上的气体分子吸引出液面

本题答案应为 B。因为液体蒸发的过程，实质是分子从液体中逸出液

面。

面。

面成为气体分子的过程。分子在逸出过程中要克服其他液体分子对它的引力做功，因此只有动能较大的分子才能克服液面其它分子的吸引而跑到液面外的空间。

题 7 以下实验现象及其分析中，错误的是： ( )

- A. 在墙角堆煤后，发现墙面沾上煤屑，这证明了分子的无规则运动
- B. 把酒精和水混合后，总体积减小，说明分子间有空隙
- C. 两块表面干净平滑的铅块压紧后，下面的一块能吊起一个重物，说明分子间有引力
- D. 固体和液体很难压缩，说明它们的分子间存在着斥力

本题答案为 A。因题中说煤屑是在墙面上的，并未进入墙面内，这不是扩散现象，因而不能证明分子的无规则运动。

【物体的内能】 物体内部大量分子做无规则运动，因此分子具有动能；分子间又有相互作用力，因此分子具有势能。物体内部所有分子做无规则运动的动能和分子势能的总和，叫做物体的内能。

在国际单位制中，内能的单位是焦耳。

正如机械能与物体的机械运动情况有关一样，内能与物体内部分子的热运动和分子间相互作用情况有关。内能是不同于机械能的另一种形式的能，一个物体的机械能可以为零，一切物体的内能都不可能为零。

一个物体的内能跟温度有关，温度越高，分子无规则运动越剧烈，物体的内能就越大。一个物体的温度升高时，它的内能就增加；温度降低时，它的内能便减少。在对物体内能的研究中，有意义的是物体内能的改变而不是物体内能的绝对值。

用例 根据内能的概念，判断物体内能的变化情况。

题 1 以下过程中，物体的内能是增加还是减少？

- (1) 烧红的铁块在冷却过程中，内能\_\_\_\_\_。
- (2) 一壶水放在炉子上烧，这一过程中，水的内能\_\_\_\_\_。
- (3) 锯条锯木头，在这一过程中锯条的内能\_\_\_\_\_。
- (4) 反复弯折一根铁丝，铁丝的内能\_\_\_\_\_。

一切物体都具有内能，温度升高时，物体的内能就增大，温度降低时，物体的内能就减小。本题所述的各过程中除(1)中物体温度降低外，其余过程中物体温度都升高，所以(1)中应填“减少”，其余的填“增大”。

题 2 下列各例中，物体的内能发生改变的是： ( )

- A. 小铁球沿光滑斜面滚下
- B. 冰块在冰冻的湖面上滑动
- C. 书放在桌面上不动
- D. 在砂石上磨刀

因为物体的内能跟温度有关，所以可以判断 D 中物体的内能发生了改变，因为磨刀过程中刀要发热升温，其余 3 种情况，可认为物体的温度都没有改变，因而内能也没有改变。

题 3 下列说法中，正确的是： ( )

- A. 温度高的物体的内能一定比温度低的物体的内能大
- B. 体积大的物体的内能一定比体积小的物体的内能大
- C. 质量相等的物体的内能一定相等
- D. 一个物体在温度升高时，内能一定增大

物体的内能的大小与物体的质量、温度及物体的体积等因素有关，因此在 A、B、C 三种说法中，只根据其中一个因素来判断内能的大小是不对的，因此本题中只有 D 是正确的。

改变物体内能的两种方式一切物体都具有内能，一个物体所具有的内能是可以改变的。当物体的温度升高时，它内部大量分子无规则运动加剧，分子的平均动能增大，物体的内能增大。若分子由于相互作用而具有的势能增大时，物体的内能也会增大。

通过做功和热传递两种方法可以改变物体的内能。

外界对物体做功，物体的内能就增大；物体对外界做功，它的内能就减少。如压缩气体时，外界对气体做功，气体的内能增大，温度升高。气体膨胀时，气体对外界做功，气体的内能减少，温度降低。若无热传递过程，通过做功的多少可以度量物体内能的改变。

在热传递过程中物体吸收热量，内能增大，温度升高；物体放出热量，内能减少，温度降低。若无做功过程，通过物体吸收或放出热量的多少可以度量物体内能的改变。

从能的转化角度看，通过做功改变物体的内能的实质是其它形式的能与内能的转化；通过热传递改变物体的内能实质是能量从高温物体向低温物体转移。

改变物体的内能的两种方法，也为我们提供了利用内能的两种途径：利用内能的转移来加热物体和利用内能的改变来做功，如热机。

用例一 根据内能的概念，判断有关问题。

题 1 一个物体的温度升高了，这个物体 ( )

- A. 一定是吸收了热量
- B. 体积一定增大
- C. 内部分子的平均动能增加
- D. 内能可能不变

由于物体的温度越高，它内部分子的无规则运动越剧烈，分子的平均动能越大，物体的内能也越大。因此本题答案应选 C。

题 2 关于物体的内能，下列说法中不正确的是： ( )

- A. 一切物体都具有内能
- B. 物体间的内能可以发生转移
- C. 0 的物体的内能为零
- D. 其它形式的能可以转化为内能

物体的内能是物体内部分子无规则运动的动能和相互作用的势能的总和，分子的无规则运动的剧烈程度跟温度有关，但分子的无规则运动是永不停息的，即使温度达到 0，分子的动能并不为零，物体的内能也不为零，所以选项 C 的说法不正确。

用例二 根据改变物体内能的方法，分析有关现象。

题 3 下列现象中，属于通过热传递改变物体内能的是： ( )

- A. 用钢锯锯铁棒，铁棒和锯条都变热
- B. 在烈日照射下，湖水变热
- C. 用气筒打气，气筒壁变热
- D. 使用中的用电器功率越大，保险丝越容易发热

答案 A 中锯条和铁棒变热是由于在锯铁棒过程中克服摩擦力做功而增

加内能的结果。B 中湖水变热是太阳热辐射的结果，是热传递改变物体的内能。C 是由于外界对气体做功，转变成气体内能。D 中保险丝发热是由于电流通过保险丝时电流做功，是电能转化成内能的结果。本题答案应为 B。

题 4 把打气筒的排气口封闭，推动活塞压缩气筒内的空气时，下列判断正确的是：（ ）

- A. 气体的质量变小
- B. 气体的热量减少
- C. 气体的压强变小
- D. 气体的内能增大

据题意，打气筒的排气口封闭，活塞把一定质量的空气封闭在气筒内，当推动活塞压缩空气时，筒内气体的质量不变，气体的体积缩小，压缩气体的过程中外界对气体做功，气体的内能增大，因此 D 是正确的。这个过程中，因空气质量不变，温度升高，因此热量增多，所以 B 也不正确。

题 5 不断搅拌冰水混合物，则（ ）

- A. 冰水混合物的温度升高
- B. 冰的温度会升高
- C. 水的温度会下降
- D. 冰会熔化，但冰水混合物的温度不变

在搅拌冰水混合物的过程中，外界对冰水混合物做功，使混合物的内能增加。因冰水混合物的温度恰是冰的熔点，因此，这时冰会熔化成同温度的水，所以冰水混合物的温度不变，直至冰全部熔化。本题应选 D。

题 6 把一个薄壁金属管固定在支座上，管里装一些乙醚，然后用塞子塞紧。用一根绳子绕在管子上并迅速来回拉动绳子，过一会儿塞子被冲开。试分析整个过程中，内能变化情况。

在来回拉动绳子的过程中，外力克服摩擦做功，金属管内能增加、温度升高。由于热传递，金属管放热、管内乙醚吸热，乙醚温度升高。由于乙醚的沸点较低，管内乙醚沸腾，并产生大量蒸气。当蒸气压强增大到一定程度时，就把塞子冲开，乙醚蒸气对塞子做功后，内能减少。

题 7 在一只大口厚壁玻璃瓶中，加一些水，并将塞子塞紧。通过穿过瓶塞的管子对瓶内打气，到一定时候可以看到瓶塞跳起，瓶内出现白色的雾，并很快消失。试分析这一现象发生过程中内能变化情况。

对瓶内打气时，外界对气体做功，使气体的内能增加，气体温度升高，瓶内气体压强增大。当瓶内气体压强增大到一定程度时，气体把瓶塞冲开，气体对瓶塞做功，气体内能减小，温度很快降低。瓶内的水蒸发形成的水蒸气遇冷而液化成小水珠，出现白色的雾。由于小水珠液化放热，使瓶内气体温度回升，雾状小水珠又汽化成水蒸气，故瓶内白色的雾很快又消失了。

**【热量】** 在热传递过程中，物体吸收或放出能量的多少叫热量，用符号 Q 表示。

高温物体放出热量，温度降低，放出的热量越多，内能减少得越多；低温物体吸收热量，它的内能就增加，吸收的热量越多，内能增加得越多。因此，传递热量的多少，可以表示物体内能改变的多少。

热量的单位跟能量的单位相同，在国际单位制中，热量单位是焦，实用单位为卡或千卡。1 克水温度升高或降低 1 吸收或放出的热量是 1 卡，因卡是一个很小的热量单位，所以常用的单位是千卡，它们之间的关系是：

$$1 \text{ 千卡} = 1000 \text{ 卡}, 1 \text{ 卡} = 4.2 \text{ 焦}.$$

各种情况下的热量计算：

1. 在物体温度改变时，吸收或放出热量  $Q$  满足如下关系：

$$Q = cm \Delta t.$$

$c$  表示物质的比热，单位是焦/(千克· $^{\circ}\text{C}$ )， $m$  表示物体的质量，单位是千克，热量  $Q$  的单位为焦耳， $\Delta t$  表示物体温度的改变，单位是度。

若用  $t_0$  表示物体的初温， $t$  表示物体的末温。在升温时， $\Delta t = t - t_0$ ，在降温时， $\Delta t = t_0 - t$ 。

2. 在燃料燃烧时，放出的热量的计算：

$$Q = qm.$$

$q$  为燃料的燃烧值，单位是焦/千克， $m$  为燃料的质量，单位是千克，热量  $Q$  的单位是焦。

从能量转化的角度看，燃料燃烧放热是燃料的化学能转化成内能。

3. 在物态变化过程中，吸收或放出的热量的计算：

在熔化时，物体由固态变成同温度的液体时吸收的热量：

$$Q = m \lambda.$$

为这种物质的熔化热，单位为焦/千克， $m$  为熔化的物体的质量，单位为千克，热量  $Q$  的单位为焦。

物体在凝固过程中放出的热量跟它在熔化过程中吸收的热量相等。

物体在熔化过程中，温度不变，分子平均动能不变，但分子势能增加，因而内能增加。凝固时放热，内能减少。从能量转化的角度看，熔化和凝固过程，是内能在物体间转移的过程。

液体在汽化成同温度的气体时，吸收的热量：

$$Q = Lm$$

$L$  为汽化热，单位为焦/千克， $m$  为汽化的物体的质量，单位为千克，热量  $Q$  的单位为焦。

气体液化成同温度的液体时放出的热量等于它在汽化时吸收的热量。

液体在汽化时吸热，内能增加，同时气体膨胀，对外界做功。液化过程相反。

用例一 根据热量概念，辨析有关问题。

题 1 关于温度和热量，下列说法中正确的是： ( )

- A. 物体的温度越高，含有的热量越多
- B. 吸收热量多的物体的温度一定比吸热少的物体的温度高
- C. 温度为  $0^{\circ}\text{C}$  的物体所含的热量为零
- D. 温度只表示物体的冷热程度，与热量的多少无关

根据热量的概念可知，热量是在热传递过程中，吸收或放出的能量的多少，它与做功、温度变化或物态变化相联系。而温度是表示物体的冷热程度，是与物体某一状态相联系的，与物体含有的热量的多少无关。故 A、C 是错的。物体吸热后的温度的高低，不仅跟吸热多少有关，还跟物体质量、物体的初温及组成物体的物质的比热有关，故 B 也不正确。本题答案应为 D。

题 2 下列说法中的“热”，各表示什么意义？

(1)今天真热。(2)冰吸热熔化的。(3)摩擦生热。

“热”是在日常生活中经常用到的字，辨析它所表示的意义，有利于加深理解有关的物理概念。

(1) “今天真热”中的热，是说今天的气温高，仅指物体的冷热程度。  
(2) “冰吸热熔化”是指冰在熔化过程中要吸收热量，这里的热是指热量。

(3) “摩擦生热”是说克服摩擦做功可使物体的内能增加，这里的热是指物体的内能。

温度、热量和内能都与分子热运动有关，它们之间有一定的联系，但含义却不同。

用例二 根据公式  $Q=cm \Delta t$ ，计算物体在温度变化过程中吸收或放出的热量。

题3 铁的比热是  $4.6 \times 10^2$  焦/(千克· $^{\circ}\text{C}$ )，把质量为2千克的铁块从  $20^{\circ}\text{C}$  加热到  $120^{\circ}\text{C}$ ，需要吸收多少热量？

根据热量计算公式  $Q=cm \Delta t$ ，把题中各量代入，可算得铁块共需吸收热量  $9.2 \times 10^4$  焦。

用例三 根据公式  $Q=qm$ ，计算燃料燃烧时放出的热量。

题4 完全燃烧5千克汽油，可以放出多少热量？

查燃烧值表，可知汽油的燃烧值为  $4.6 \times 10^7$  焦/千克，代入公式  $Q=qm$ ，可算出汽油燃烧放出的热量是  $2.3 \times 10^8$  焦。

用例四 根据需要的热量，计算燃料的质量。

题5 加热一箱水需要热量  $1.0 \times 10^7$  焦，若用煤燃烧来提供(设煤的燃烧值是  $3.2 \times 10^7$  焦/千克)，需要完全燃烧多少煤？

根据公式  $Q=qm$ ，得  $m = \frac{Q}{q}$ 。

代入数据可得  $m=0.31$  千克。

实际情况需要完全燃烧煤的质量比计算结果多，原因是煤未完全燃烧和放出的热量未全部被水吸收。

用例五 根据已知的热量、物质的比热、温度的变化计算物体质量。

题6 使20克冰的温度从  $-10^{\circ}\text{C}$  升高到  $0^{\circ}\text{C}$ ，但未熔化成水，需要多少热量？如果这些热量由温度从  $5^{\circ}\text{C}$  降低到  $0^{\circ}\text{C}$  的水来供给，需要多少  $5^{\circ}\text{C}$  的水？

根据公式  $Q=cm \Delta t$ ，代入各已知量，注意冰的比热为  $2.1 \times 10^3$  焦/(千克· $^{\circ}\text{C}$ )，可算得需要热量  $Q=4.2 \times 10^2$  焦。

再根据热量计算公式变型得  $m = \frac{Q}{c\Delta t}$ ，可算得所需  $5^{\circ}\text{C}$  的水的质量  $m = 0.02$  千克 = 20克。

即将20克  $5^{\circ}\text{C}$  的水与20克  $-10^{\circ}\text{C}$  的冰混合在一起，它们最后的温度恰为  $0^{\circ}\text{C}$ ，且冰也未熔化，水也没有凝固，冰水混合物中的冰的质量仍为20克。

用例六 计算两个以上物体同时升温时，吸收的热量。

题7 质量为500克的铁锅中放有3千克水，把它们从  $15^{\circ}\text{C}$  加热到  $90^{\circ}\text{C}$  需要多少热量？

因为铁锅与水同时升温，所需热量  $Q$  为：

$$Q = c_1 m_1 \Delta t + c_2 m_2 \Delta t = (c_1 m_1 + c_2 m_2) \Delta t,$$

统一各量单位后，代入数据，可得： $Q=9.6 \times 10^5$  焦。

本题计算也可根据热量计算式  $Q=cm \ t$ ，分别算出：

铁锅吸收的热量， $Q_1=1.725 \times 10^4$  焦，

水吸收的热量， $Q_2=9.45 \times 10^5$  焦，

再求出它们吸收的总热量， $Q=Q_1 + Q_2=9.6 \times 10^5$  焦。

用例七 根据热量计算式及热传递条件，解决有关问题。

题 8 质量和初温相同的铜块和铁块，吸收相等的热量后，将它们互相接触，那么， ( )

- A. 铜块与铁块间不发生热传递
- B. 铜块放热，铁块吸热
- C. 铜块吸热，铁块放热
- D. 不能确定热传递情况

根据题意，铜块和铁块虽然质量相等，初温相同，但比热不等，铜的比热小于铁的比热，它们吸收相等的热量后，温度变化并不等，由  $t=\frac{Q}{cm}$  可知铜升高的温度比铁的大，即吸热后铜的末温高于铁的末温。根据热传递的条件，当两物体间存在温度差时，高温物体放热、低温物体吸热，因此，本题中铜块与铁块相接触时，铜块放热，铁块吸热，答案为 B。

【比热】 单位质量的某种物质温度升高（或降低）1 所吸收（或放出）的热量叫做这种物质的比热容，简称比热。国际单位制中，比热的单位是焦/（千克· ）。。

比热是物质的一种特性。每种物质都有自己的比热，它不随物体质量、温度及吸、放热等的不同而改变。

水的比热是  $4.2 \times 10^3$  焦/（千克· ），其物理意义是：质量为 1 千克的水温度升高（或降低）1 所吸收（或放出）的热量为  $4.2 \times 10^3$  焦。与其它常见的物质相比，水的比热最大，因此常用水作冷却剂或用水来调节温度。

根据物质的比热，我们可以计算由该物质组成的物体在温度升高时所吸收的热量：

$$Q_{\text{吸}}=cm(t-t_0)。$$

在温度降低时放出的热量：

$$Q_{\text{放}}=cm(t_0-t)。$$

上两式中， $c$  为物质的比热， $m$  为物体的质量， $t_0$  表示物体的初温， $t$  表示物体的末温。若把以上两种情况下的温度变化用  $\Delta t$  表示，那么物体在温度变化时，吸收或放出的热量可表示为  $Q=cm \ \Delta t$ 。

应用以上三个计算式计算时，各量都应采用国际单位制单位，尤其注意比热单位的写法要正确。

物质的比热可以通过实验来测定，常用的方法为混合法。如要测定某种固体的比热，可先测出待测物体的质量及初温，水的质量及初温，再把待测物与水混合，让它们之间发生热传递，最后达到热平衡状态（即两个物体的温度相等）。测出它们混合后的共同温度，根据高温物体放出的热量等于低温物体吸收的热量，建立热平衡方程，可计算出物质的比热。测定过程中，应尽量减少热量的损失，以减小比热测定的误差。

用例一 根据比热的定义，理解比热的物理意义。

题1 查表知铁的比热是  $4.6 \times 10^2$  焦/(千克· )，它表示的意义是\_\_\_\_\_。若把一块铁放入同质量同温度的水中一起加热至某一温度，在这个过程中吸热较多的是\_\_\_\_\_。

铁的比热是  $4.6 \times 10^2$  焦/(千克· )，表示质量是1千克的铁温度升高1 时吸收的热量是  $4.6 \times 10^2$  焦。比较铁与水的比热，可知水的比热较大，题中铁与水的质量相等、温度变化也相同，那么比热越大，它吸收的热量越多。因此，水吸收的热量比铁多。

题2 质量相等的水与铁块，吸收相等的热量后，温度变化较大的是\_\_\_\_\_。

根据比热的定义可知，质量相等的不同物质，温度升高1 所吸收的热量是不相等的，比热越大，所需热量越多。反之，比热不同的物质，吸收相等热量后，温度变化是不相等的，比热越大，温度变化越小。因此本题的答案是铁的温度变化较大，因为铁的比热比水小。

用例二 有关物质比热的计算。

题3 质量为100克的金属块，温度由20 升高到100 ，共吸收了  $3.12 \times 10^3$  焦的热量，这种金属的比热是多少？

根据热量的计算式  $Q_{吸} = cm(t - t_0)$ ，

$$\text{变形得 } c = \frac{Q}{m(t - t_0)}$$

代入数据，得  $c = 3.9 \times 10^2$  焦/(千克· )。

题4 质量为50千克的水，温度由10 升高到70 ，需吸收多少热量？

根据公式  $Q_{吸} = Cm(t - t_0)$ ，

其中： $c = 4.2 \times 10^3$  焦/(千克· )， $m = 50$  千克， $t = 70$  ，  
 $t_0 = 10$  ，

将数据代入公式得： $Q = 1.26 \times 10^7$  焦。

\*题5 把质量是100克的铁球放入火炉里烧一定时间，然后取出立即投入温度为15 的水中，混合后的共同温度是59 ，水的质量是200克，铁的比热为  $4.6 \times 10^2$  焦/(千克· )，那么火炉里的温度是多少？

当铁球烧一定时间后，铁球的温度即为火炉里的温度。把烧热的铁球投入水中后，最终达到热平衡状态，根据热平衡方程： $Q_{吸} = Q_{放}$ ，得：

$$c_1 m_1 (t - t_{01}) = c_2 m_2 (t_{02} - t)$$

代入数据得：

$4.2 \times 10^3$  焦/(千克· )  $\times 0.2$  千克  $\times (59 - 15) = 4.6 \times 10^2$  焦/(千克· )  $\times 0.1$  千克  $\times (t - 59)$  。

解得  $t = 859$  。

本题应用混合法测定物体的温度，是一种间接测温法。应用该法可以测定用温度计无法直接测量的温度，这种方法在生产实践中具有广泛的应用。

用例三 用混合法测定物质的比热。

\*题6 把质量为100克的铜块放在沸水里加热到100 ，然后把它投进质量为88克、温度为15 的水中，测出它们的混合后的温度是23 ，求铜的比热。

用混合法测比热是比热测定的最常见的方法。在铜块投入水中后，铜块放热降温，水吸热升温，直至铜块与水的温度相等。在热传递过程中，铜块放出的热量与水吸收的热量相等，据此可以列式：

水吸收的热量  $Q_{\text{吸}} = c_1 m_1 (t - t_{01})$  代入数据可算出

$$Q_{\text{吸}} = 2956.8 \text{ 焦。}$$

铜块放出的热量  $Q_{\text{放}} = c_2 m_2 (t_{02} - t)$ ，

$$\text{变形为 } c_2 = \frac{Q_{\text{放}}}{m_2 (t_{02} - t)}, \text{ 根据 } Q_{\text{放}} = Q_{\text{吸}},$$

代入数据可得  $c_2 = 3.8 \times 10^2 \text{ 焦 / (千克} \cdot \text{ )}$ 。

本题还可以根据热平衡方程直接求解，即：在两种物质混合过程中，当温度相等时，水吸收的热量等于铜块放出的热量，即： $Q_{\text{吸}} = Q_{\text{放}}$ ，

$$c_1 m_1 (t - t_{01}) = c_2 m_2 (t_{02} - t),$$

$$c_2 = \frac{c_1 m_1 (t - t_{01})}{m_2 (t_{02} - t)}。$$

将数据代入上式可求得铜的比热  $c_2$ 。

在用实验测定比热时，为减少误差，应尽可能避免热量的散失，为此目的设计的量热器可较好地达到上述目的。

\*题 7 取 100 克煤油，测得它的温度是 20 。把 80 克的铁块加热到 100 后投进此煤油里，测出混合后的温度是 31.5 ，铁的比热是  $4.6 \times 10^2 \text{ 焦 / (千克} \cdot \text{ )}$ ，求煤油的比热。

本题与题 6 不同的是，题 6 是利用已知比热的水（液体）来测定固体的比热，本题则是利用已知比热的固体来测液体的比热，但所用的方法是相同的。本题中铁块放出的热量等于煤油吸收的热量，据此可列出热平衡方程，代入数据求出煤油的比热。

用例四 根据物质比热的大小的不同，在实际应用中，选择合适的物质。

题 8 汽车、拖拉机的发动机，常用水作冷却剂，以保证发动机长时间正常工作。为什么要选水作冷却剂？

水是最常见的一种液体，在地球上储量丰富、获取容易，同时，水的比热最大，用水作冷却剂，它在升高相同温度时，比同质量的其它物质吸收的热量多，因而冷却效果好。

我国自行设计制造的双水内冷汽轮发电机组和双氢内冷汽轮发电机组，分别采用了水和氢作冷却剂，并设法让水和氢进入发电机的线圈内，带走发电机工作时产生的大量热量，保证发电机在大功率下正常工作。水和氢都是比热较大的物质，它们作冷却剂，较其它物质冷却效果好。

【比热表】 比热是反应物质热学性质的一个重要物理量。

科学家们通过实验，测定了各种物质的比热，分固体、液体和气体三类，按比热值的大小，顺序排列组成的表叫比热表。

### 一、常见固体的比热

物质	比热焦/(千克· )	物质	比热焦/(千克· )
铅	$1.3 \times 10^2$	铁、钢	$4.6 \times 10^2$
金	$1.3 \times 10^2$	金刚石	$5.0 \times 10^2$
钨	$1.4 \times 10^2$	玻璃	$6.3 \times 10^2 \sim$
银	$2.3 \times 10^2$		$8.4 \times 10^3$
锡	$2.4 \times 10^2$	水泥	$8.0 \times 10^2$
锌	$3.9 \times 10^2$	砖	$8.0 \times 10^2 \sim$
钢	$3.9 \times 10^2$		$1.0 \times 10^3$

续上表

物质	比热焦/(千克· )	物质	比热焦/(千克· )
干泥土	$8.4 \times 10^2$	硬橡胶	$1.43 \times 10^3$
铝	$8.8 \times 10^2$	冰	$2.1 \times 10^3$
食盐	$8.8 \times 10^2$	木头	$2.4 \times 10^3$
砂	$9.7 \times 10^2$	石蜡	$3.2 \times 10^3$

### 二、常见液体的比热

物质	比热焦/(千克· )	物质	比热焦/(千克· )
水银	$1.4 \times 10^2$	煤油	$2.1 \times 10^3$
硫酸	$1.4 \times 10^2$	乙醚	$2.4 \times 10^3$
松节油	$1.8 \times 10^3$	酒精	$2.4 \times 10^3$
苯	$1.8 \times 10^3$	甘油	$2.4 \times 10^3$
蓖麻油	$1.8 \times 10^3$	水	$4.2 \times 10^3$

注：以上所列数值是温度在 0 ~ 100 之间测得的。

由比热表可知，每种物质都有一定的比热。但是一种物质的比热可随温度的不同而不同。如铁在 18 时，比热是  $4.6 \times 10^2$  焦/(千克· )，当温度是 100 时，比热是  $5.0 \times 10^2$  焦/(千克· )；水在 0 时比热是  $4.239 \times 10^3$  焦/(千克· )，当温度是 100 时，比热是  $4.224 \times 10^3$  焦/(千克· )。同一种物质的比热还可随状态的不同而不同。如水和冰的化学成分是相同的，但水是液态，水的比热是  $4.2 \times 10^3$  焦/(千克· )，冰是固态，冰的比热是  $2.1 \times 10^3$  焦/(千克· )。

从比热表中还可知，在常见的各类物质中，水的比热最大，为  $4.2 \times 10^3$  焦/(千克· )。

气体的比热跟它在温度变化时的体积变化和压强变化情况有关，在各种气体中，氢的比热比其它气体的比热要大得多。

**【燃烧值】** 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。燃烧值的公式是： $q = \frac{Q}{m}$ ，其中 q 为燃料的燃烧值，m 为这种燃料的质量，Q 为这种燃料完全燃烧时放出的热量。当热量的单位用焦耳，质量的单位用千克时，燃烧值的单位为“焦/千克”。常用的几种燃料的燃烧值可从下表中查到。

常用燃料的燃烧值表（焦 / 千克）

干木柴	$1.2 \times 10^7$	煤油	$4.6 \times 10^7$
焦炭	$3.0 \times 10^7$	汽油	$4.6 \times 10^7$
木炭	$3.4 \times 10^7$	酒精	$3.0 \times 10^7$
无烟煤	$3.4 \times 10^7$	硝化甘油	$0.6 \times 10^7$
烟煤	$2.9 \times 10^7$	天然气	$(7.1 \sim 8.8) \times 10^7$
柴油	$3.3 \times 10^7$	煤气	$(3.9 \sim 4.2) \times 10^7$
石油	$4.4 \times 10^7$	氢气	$1.4 \times 10^8$

实际上，燃料很难做到完全燃烧，因此燃料燃烧时放出的热量往往少于根据燃烧值计算出来的热量。

用例一 通过燃料的燃烧值可计算一定质量的某种燃料完全燃烧时放出的热量。

题1 质量为 0.5 千克的汽油完全燃烧时，能放出多少热量？

根据燃烧值公式  $q = \frac{Q}{m}$ ，得  $Q = mq$ 。从燃烧值表中查出汽油的燃烧值为  $4.6 \times 10^7$  焦/千克。将已知条件代入公式即可得热量  $Q = 2.3 \times 10^7$  焦。

用例二 根据实际需要的热量，可通过燃烧值公式计算出燃料的质量。

题2 把 2 千克水从 20 加热到沸腾，需要完全燃烧多少克酒精（不考虑热量损失）？

题目中明确的告诉我们两个条件，其一：酒精是完全燃烧的；其二：没有热量损失，即酒精放出的热量全部被水吸收，

$$Q_{\text{吸}} = Q_{\text{放}}$$

$$Q_{\text{吸}} = c_{\text{水}} m_{\text{水}} (t - t_0)$$

$$= 4.2 \times 10^3 \text{焦} / (\text{千克} \cdot \text{ } ) \times 2 \text{千克} \times 100 - 20 \text{ } )$$

$$= 6.72 \times 10^5 \text{焦}.$$

从燃烧值表中查出  $q_{\text{酒精}} = 3.0 \times 10^7$  焦/千克，因为

$$q = \frac{Q}{m}, \text{ 则 } m = \frac{Q}{q}, \text{ 即 } m_{\text{酒精}} = \frac{Q_{\text{放}}}{q_{\text{酒精}}} = \frac{Q_{\text{吸}}}{q_{\text{酒精}}},$$

将有关数据代入，得  $m_{\text{酒精}} = 0.0224$  千克 = 22.4 克。

**【热机】** 热机是利用燃料燃烧放出的内能转化为机械能的机器。现代热机种类繁多，有蒸汽机、汽油机、柴油机、蒸汽轮机、燃气轮机、燃气喷气发动机和火箭喷气发动机等。它们的构造和工作原理各有不同，但它们都有一个共同的特点，就是将燃料燃烧时放出的内能转化为机械能。

**汽油机** 汽油机常被用在汽车、飞机、摩托车和小型农业机械上。

它的基本构造包括：气缸、活塞、连杆和曲轴、进气门、排气门、火花塞等。

汽油机是在气缸内燃烧汽油，生成高温高压的燃气，使燃气推动活塞而做功的。它的工作过程分为四个冲程。

1. 吸气冲程：进气门打开，排气门关闭；活塞由上止点向下止点运动，将汽油和空气的混合物吸入气缸。

2. 压缩冲程：进气门和排气门关闭；活塞由下止点向上止点运动，压缩气缸内的混合物，压强增大，温度升高。此时气缸内压强可达  $6 \times 10^5 \sim 1.5 \times 10^6$  帕，温度可达  $250 \sim 300$  左右。

3. 做功冲程：火花塞产生电火花，使燃料猛烈燃烧，产生高温、高压燃气；此时温度可达  $2000 \sim 2500$  ，压强可达  $3 \times 10^6 \sim 5 \times 10^6$  帕，燃气推动活塞向下止点运动，对外做功。

4. 排气冲程：进气门关闭，排气门打开，活塞向上止点运动，排出废气。

汽油机开始运转时，要靠外力先使装有飞轮的曲轴转动起来，带动活塞运动，完成吸气、压缩冲程后，才能工作。在四个冲程中，只有做功冲程是燃气对外做功，内能转化成机械能，其余三个冲程，主要是依靠飞轮的惯性来带动曲轴完成的。

在汽油机的一个工作循环中，活塞共来回运动两次，曲轴转动两周。

**柴油机** 柴油机比汽油机经济，但较笨重，主要用在拖拉机、坦克、轮船、内燃机车、载重汽车上。

柴油机的基本构造跟汽油机相似，但是没有火花塞，而有喷油嘴。

柴油机的工作过程与汽油机一样，也由吸气、压缩、做功、排气四个冲程完成。但柴油机与汽油机工作不同之处是：1. 在吸气冲程中，柴油机吸入气缸里的是空气。2. 在压缩冲程中，柴油机压缩的是空气，压缩冲程结束时压强达  $3.5 \times 10^6 \sim 4.5 \times 10^6$  帕，温度升高到  $500 \sim 700$  。3. 柴油机在压缩冲程末，由喷油嘴向气缸内喷雾状柴油，雾状柴油遇到远远超过它燃点的热空气立即燃烧，燃气温度可达  $1700 \sim 2000$  ，压强可达  $5 \times 10^6 \sim 1 \times 10^7$  帕。

在汽油机、柴油机工作时，由于排出的废气温度还很高，要带走一部分能量；热机的一些部件（如活塞、曲轴等）在运动时要克服摩擦做功；热机温度升高，也要向周围散失一些热量。因此热机的效率不高，汽油机的效率一般是  $20\% \sim 30\%$ ，柴油机的效率一般是  $28\% \sim 40\%$ 。

**火箭喷气发动机** 现代火箭的速度快、功率大，按照所用燃料的不同，可分为固体燃料火箭和液体燃料火箭，它们的发动机也不相同，其中液体燃料火箭是由氧化剂箱、燃料箱、输送燃料装置、燃烧室和尾部喷管组成。

输送燃料装置按时按量地把燃料和氧化剂喷入燃烧室，用电火花点燃后产生高温高压燃气（温度可达  $3700$  ），随后继续进入燃烧室的燃料无需点燃，一进入燃烧室即可自行燃烧。燃烧产生的高温高压气体以很高的速度从喷管喷出，使火箭前进。

火箭喷气发动机由于自带燃料和氧化剂，因此不需要从外界空气中吸取氧气，所以火箭可以在真空中飞行。

目前，火箭已成为发射卫星和进行宇宙航行的工具，我国设计制造的长征系列运载火箭，不仅为我国，还为外国发射人造卫星。

**用例一** 关于热机冲程的理解。

**题 1** 图 2-11 为四冲程内燃机工作过程中阀门与活塞的位置关系图，如图中箭头指向表示活塞运动方向，则下列答案中，符合四个冲程内燃机的工作循环顺序的是 ( )

A. 甲、乙、丙、丁

B. 乙、甲、丁、丙

C.乙、丁、甲、丙                      D.丙、甲、丁、乙

内燃机四个冲程顺序为：吸气、压缩、做功、排气。其中吸气冲程的特点是：活塞向下运动，进气门打开，如图 2-11 中乙所示；压缩冲程特点为：活塞向上运动，进气门、排气门均关闭，如图 2-11 中丁所示；做功冲程特点为：活塞向下运动，如图 2-11 中甲所示；排气冲程特点是：进气门关闭，排气门打开，活塞向上运动，如图 2-11 中丙所示。故本题应选 C。

题 2 汽油机工作的四个冲程中，把内能转变为机械能的是 ( )

- A. 吸气冲程                      B. 压缩冲程  
C. 做功冲程                      D. 排气冲程

汽油机工作的四个冲程中只有做功冲程是由内能转化为机械能，其余三个冲程都是由做功冲程释放的能量来维持工作的，故本题应选 C。

题 3 柴油机每分转速 2400 转，由此可知柴油机每秒做功 ( )

- A. 40 次      B. 30 次      C. 20 次      D. 10 次

柴油机飞轮每旋转 2 周完成一个工作循环，而每一个工作循环做功 1 次。柴油机每秒转数为：

$$n = \frac{2400 \text{ 转}}{60 \text{ 秒}} = 40 \text{ 转 / 秒。}$$

每秒做功次数  $N = \frac{n}{2} = \frac{40}{2} = 20$  (次)，故本题应选 C。

用例二 关于热机效率的理解。

题 4 如果甲热机的效率比乙热机的效率高，则可以说： ( )

- A. 甲热机的功率比乙热机的大  
B. 在单位时间内甲热机耗用的燃料比乙热机的少  
C. 甲热机的转速比乙热机的大  
D. 甲热机燃气产生的内能转变为机械能的百分比比乙热机的大

热机是将燃料燃烧产生的内能转变成机械能的一种机械。热机的效率是指这种机械将燃气（即燃料）燃烧产生的内能转化成机械能的百分比。它与热机功率大小、耗用的燃料多少、转速高低无关，因而本题应选 D。

用例三 有关热机的计算。

题 5 现有一台单缸四冲程柴油机，其曲轴转速为 360 转/分，活塞直径为 30 厘米，活塞行程 L 为 400 毫米，做功冲程中燃气的平均压强 p 为  $5 \times 10^5$  帕。该柴油机的功率是多少瓦？

柴油机是靠燃气燃烧产生较大的压强推动活塞做功的，由压强的概念可知，作用在活塞上的作用力：

$$F = pS = 5 \times 10^5 \times \left( \frac{0.3}{2} \right)^2 = 35325 \text{ (牛)}。$$

柴油机每次做功 W 满足：

$$W = FL = 35325 \times 0.4 = 14130 \text{ (焦)}。$$

柴油机转速为 360 转/分，则每秒转 6 转，即每秒做功 3 次，由此可计算出柴油机的功率：

$$P = 14130 \times 3 = 42390 \text{ (瓦)}。$$

题 6 下表为东风—195 型柴油机的部分技术规格一览表。

缸 (数)	缸径 (毫米)	行程 (毫米)	功率 (马力)	转速 (转/分)	燃油消耗率 (克/马力·小时)	平均压强 (帕)
1	95	115	12	2000	不大于 195	$6.5 \times 10^4$

试计算这种柴油机的机械效率，并验证燃气平均压强值（燃油燃烧值为 42840 焦/克）。

由燃油消耗率可知，每小时这种柴油机消耗燃油质量最多为：

$$m = 195 \times 12 = 2340 \text{ (克)} ;$$

这些燃油燃烧产生的热量为：

$$Q = qm = 42840 \text{ 焦/克} \times 2340 \text{ 克} = 10.02 \times 10^7 \text{ 焦}。$$

将马力换算为瓦，则柴油机一小时做功  $W$  满足：

$$W = Pt = 735 \times 12 \times 3600 = 3.18 \times 10^7 \text{ (焦)}。$$

柴油机效率 为：

$$= \frac{W}{Q} = \frac{3.18 \times 10^7}{10.02 \times 10^7} \quad 31.7\%。$$

柴油机每冲程做功  $W_1$  可由表中平均压强  $p$  计算可得：

$$W_1 = pSL$$

$$= 6.5 \times 10^4 \times 3.14 \times \left( \frac{95}{2} \times 10^{-3} \right)^2 \times 115 \times 10^{-3}$$

$$= 53 \text{ (焦)}。$$

柴油机曲轴转速 2000 转/分，即每分钟做 1000 次功，则柴油机每分钟做功为  $53 \text{ 焦} \times 1000 = 5.3 \times 10^4 \text{ 焦}。$

由表中数据可知，12 马力柴油机一分钟做功： $735 \times 12 \times 60 \text{ 焦} = 5.3 \times 10^4 \text{ (焦)}。$

由此可见表中提供的燃气平均压强数值经验证完全正确。

## 光学

**【介质】** 亦称媒质。一般地说，它是物理系统在其间存在或物理过程（如力和能量的传递，光和声的传播等）在其间进行的物质。

介质的含义较为广泛，不仅局限于我们传统的“实物”范围，如空气和水等“实物”是传播声和光的良好介质，而不存在“实物”的真空虽不能传播声音，但它却能最有效地传播光、无线电波、热辐射等，是传播它们的最佳介质。

物体振动而发出的声音通过介质以波的形式传入人耳，引起鼓膜振动，刺激听神经而产生听觉。声音在某种介质中的传播速度，称为声速或音速，其数值大小同该介质的性质和所处状态（如温度） $w$  有关。如在 15℃ 时，声音在空气中的传播速度约为 340 米/秒，随着温度的升高，每升高 1℃，声速值约增加 0.6 米/秒。不同介质中的声速值亦不同。下表列出了一些物质中的声速。

**一些物质中的声速（单位：米/秒）**

物质	声速	物质	声速
空气	340 ( 15 )	铜	3810
	346 ( 25 )	铝	5000
蒸馏水	1497 ( 25 )	铁、钢	5200
海水	1531 ( 25 )	大理石	3810
煤油	1324 ( 25 )	枫木(顺纤维)	4110
软木	500		

光源发出的光在介质中传播的速度称为光速，常用小写字母  $c$  表示。光在真空中的传播速度最大，实验测得的“最佳”值为：

$$c = 2.997925 \times 10^8 \text{ 米/秒}, \text{ 简记为 } 3 \times 10^8 \text{ 米/秒}.$$

不同介质中的光速是不一样的，但均较在真空中的为小，下表列出在真空中和在一些物质中光速的比值。

**真空中光速和一些物质中光速的比值**

物质	真空中光速和该物质中光速的比	物质	真空中光速和该物质中光速的比
空气(1 大气压, 20 )	1.0003	玻璃	1.520
水	1.333	金刚石	2.417
酒精	1.362	石英	1.544
甘油	1.473	岩盐	1.544
冰	1.309	萤石	1.434

由表看出，空气中的光速十分接近真空中的光速，故在应用时可将它们视做同为  $3 \times 10^8$  米/秒。

知道了两种介质中光速的相对大小，就可以判断当光线以不为零的入

射角射至这两种介质的界面上时，入射角（或反射角）与折射角间的大小关系（详见“光的折射”辞条）。

**【光的直线传播】** 光在均匀介质中是沿直线传播的。

所谓均匀介质，即介质内任意方向上（至少在光的传播方向上）的光学性质相同。

若光通过的介质不均匀，达到或越过两种介质的界面时（如太阳光穿过地球周围的大气层或被镜面反射等），则其传播路线可能改变或是弯曲。这要视介质在光的传播方向上的性质而定。

初中阶段学习中遇到的介质，除特别说明外，都认为是均匀的，故可认为光在其内部是沿直线传播的且光速不变，因而也就可用作有向直线的作图法表示出光的传播路径、方向及可达的区域范围等，有向直线上的箭头就指出了光的传播方向，这样的有向直线称做光线。用作光线图的方法来研究光学问题十分简便、明了、快捷。

**用例一** 利用光的直线传播的特点来解释日常现象。

**题 1** 夜晚行走在旷野中，我们是如何确定亮着灯光的远处小村庄的方向的？

我们之所以能看到灯光，是因为从灯发出的光传播至我们眼中所致；从远处小村庄传播过来的灯光恰似一条光线射来，如图 3-1 所示。可以根据光线射来的方向确定小村庄相对我们的方向。当然，若是用望远镜观察，镜筒所指的方向即是小村庄的方向。

**题 2** 试解释小孔成像现象，并说明小孔成像为何为倒立的像。

图 3-2 为一观察小孔成像的简易装置。T 为一小铁罐，在其底上钻一小孔 O，开口的一端蒙一层半透明薄膜 F，如图示那样将罐底的小孔对准点燃的蜡烛，则可在薄膜上看到烛焰的倒立的像。

因烛焰上每一点发出的光最终均沿直线穿过小孔到达膜上形成相应的光点，无数的光点构成烛焰的像。如图 3-2 所示，烛焰上 A 点发出的光抵达膜上 A' 点，B 点抵达 B' 点，其余各点依次类推，故在膜上成的是烛焰倒立的像，亦即小孔成像成的是倒立的像。

**用例二** 解释影子的形成和应用。

**题 3** 每天上午，随着太阳的升高，地面上旗杆的影子长度将如何变化？

地面上因光被旗杆挡住而达不到的区域较光能达到的区域暗而形成影子。由于光是沿直线传播的，旗杆影子随太阳的升高而变化的情况可由图 3-3 来说明。随着太阳的升高，太阳光由 S 处射来变为从 S' 处射来，由图知，影长由 OA 变为 OA'，故随着太阳的升高，旗杆影子越来越短。同理，下午随着太阳的落下，旗杆的影子将越来越长。

**题 4** 在白色墙壁的不远处立一张幻灯片，用灯光照射幻灯片，可见墙上映出与幻灯片上相同的明暗有致的画面，这是什么原因？

沿直线传播的光遇到不能透光或透光能力差的物体的遮拦，便不能达到障碍物后的一定区域，就使得这区域较光完全可达的区域暗（即影子），故可形成与障碍物轮廓相同的暗像。若有目的地在透明的玻璃或胶片上制作一些透光性能不一的图形，就可用光照射而在墙上形成明暗有致的像。又若幻灯片上有只能透过某种色光的部分，则所形成的画面就是彩色的了。这也是电影和幻灯的基本原理。

题 5 太阳、月球和地球位置的相对变化使地球上的人能看到日全食、日环食或日偏食景象。试说明地球处于什么位置时可分别看到这些景象。

所谓“日食”，就是月球对太阳光的遮挡作用使我们处于其影区以致看到的太阳出现亏缺的现象。由于光是沿直线传播的，故可画出如图 3-4 所示的影区分布图。图中 S 为太阳，M 为月球，所画的光线将月球后面划分成太阳光线完全不达区、部分可达区和完全可达区。完全不达区即为太阳上任一处发出的光均达不到的区域，由图可知为 A 区，在此区域内，地球上的人看不到太阳上射来的任何光，即看到日全食。地球在太阳光部分可达区，即图中的 B 和 C，可看到太阳局部区域射来的光。在 B 处可见太阳边缘射来的光，中间来的光被月球挡住，即看到日环食。同理，在 C 区域可看到日偏食。在 D 区域可看到整个太阳，即看不到日食现象。

用例三 确定最大观察范围。

题 6 战士去爆破敌人碉堡时，为有效地保护自己，常利用敌人看不到的死角。试解释这死角的形成。

碉堡壁做得越厚、枪眼（兼做观察孔）越小，则越能有效地防护自己，但这样也将使自己的视野范围受到了限制。如图 3-5 所示，眼睛 E 从碉堡的枪眼中所能看到的最大视野，是沿直线传播的光线 S 和 S' 所围的区域，炸碉堡的战士只要避开这个区域，碉堡里的人便看不到。又因为子弹也几乎是沿直线飞行的，故子弹也打不到。

用例四 介质不均匀造成光传播路径的弯曲。

题 7 夜晚天空中的星星准确地在我们观察的方向上吗？

若光沿直线传播，则星星在我们观察的方向上（或望远镜所指的方向上）。但随高度渐大而渐稀薄的大气层和大气层外的真空，使得传播光的介质不均匀，这造成光传播路径的偏折。故我们观测到的星星的方向可能和其实际方向有偏差。

【光的反射】 光照射至物体表面或两种介质的界面上被反射的现象，称为光的反射。

平时我们之所以能看到周围诸如书、笔、黑板等自身不发光的物体，是因为这些物体反射出的光进入我们眼睛所致。

当一束平行光射至一光滑平整的物体表面上时，其反射光仍是平行的，这种反射被称做镜面反射。如太阳光射至平面镜上，我们只有在一定的方向上才能看到耀眼炫目的光。

若将平行光射至粗糙不平的物体表面上（如毛玻璃、帆布等），其反射光将杂乱无章地向空间不同的方向反射，这种反射被称做漫反射，漫反射使从各个方向看物体的明亮程度几乎相同。

当光在物体表面（或两种介质界面）上被反射时，遵从光的反射定律。光的反射定律可用图 3-6 来说明。

图中光线 AO 表示了入射至镜面 CD 上光的路径和方向 称为入射光线。光线 OB 表示了经镜面 CD 反射产生的光的路径和方向 称为反射光线。过入射点 O 的镜面垂线 ON 叫做法线。

入射光线 AO 与法线 ON 的夹角  $i$  称为入射角。

反射光线 OB 与法线 ON 的夹角  $r$  称为反射角。

光的反射定律的具体内容为：

1. 反射光线与入射光线、法线在同一平面内；
2. 反射光线与入射光线分居法线两侧；
3. 反射角等于入射角（即图中  $r = i$ ）。

光的反射定律是一条实验定律，是光学的基本定律之一。

除了光以外，声音、无线电波等被反射时，亦遵从与光的反射定律形式与内容均相同的反射定律。

在应用光的反射定律时，应注意以下几点：

1. 光的反射定律适用于任何介质的介面，与介质的物质成分无关；
2. 入射光线、法线、反射光线在任何情况下均处于同一平面内，故它们中的任两条即可确定这平面；
3. 不存在入射光线和其反射光线在法线同一侧的情况；
4. 入射角不可误作  $\angle AOC$ ，反射角亦不可误作  $\angle BOD$ ，虽有  $\angle BOD = \angle AOC$ ，但它们代表不同的物理意义；
5. 光线在反射过程中的光路是可逆的，即若将图 3-6 中反射光线  $OB$  逆转入射光线  $BO$ （箭头指向相反），则其反射光线必为  $OA$ （箭头指向亦相反）。光的反射定律的其他内容亦不变；
6. 光的反射定律在任何情况下均成立。如光在发生漫反射现象时，虽然各反射光线的方向杂乱无章，但每条光线的反射规律仍遵从光的反射定律。
7. 光线垂直于界面入射时，反射角等于入射角，同为零度，即入射光线、反射光线、法线重合。

用例一 利用光的反射定律判断光线（入射光线或反射光线）、法线、反射面的相对方位。

题 1 图 3-7 中一束光由光源  $S$  射至平面镜  $M$  上一点  $O$ ，试在图中确定并画出反射光线。

根据题图画出的入射光线  $SO$ ，平面镜  $M$ 、法线  $ON$  及入射角（ $50^\circ$ ）。由光的反射定律知，反射光线应和入射光线、法线在同一平面内，且和入射光线分居法线两侧，反射角等于入射角（均为  $50^\circ$ ）。根据上述几点，我们即可用几何作图法在图中作出反射光线  $OR$ （如图 3-8 所示）。作图时要注意反射光线的箭头指向应为从  $O$  指向  $R$ 。

根据同样道理，我们亦可用给出的（或先行求出的）法线和反射光线确定并作出入射光线，或由入射光线和反射光线确定法线或反射面的方位。

用例二 解释一些日常光现象。

题 2 白天在室内窗口处照镜子，若窗户朝南开，为了能更清晰地看到自己的面容，镜子的反射面应（ ）

- A. 朝南    B. 朝北    C. 朝西    D. 朝东

因人体本身不发光，我们能看到人脸是因为人脸将外来光反射至我们眼中所致。从镜中看到自己面容的清晰程度如何，取决于自己面部反射出光的程度（经镜面反射进入眼睛）。我们只有将面部对着窗口，此时反射光最强，才能使面部最亮，从而经镜子反射的光也最强，即像最清晰，此时镜子应和面部相对，故应朝北。本题应选 B。

题 3 试解释为什么电影银幕要用粗糙的白帆布而不用平滑的白玻璃制成。

电影银幕用帆布做成，就是要利用帆布粗糙的表面对放映机投射来的光进行漫反射，使在银幕前的任何位置上都能看到柔和的电影画面。若银幕用平滑的玻璃制成，则它将放映机投射来的光进行镜面反射，会使得部分座位上的观众看到炫目的强光，部分座位上的观众看到灰暗的画面甚至看不到画面。所以电影银幕要用粗糙不平的帆布来做而不能用平滑的玻璃材料。

要注意的是，电视荧光屏用玻璃制成，一是因为技术上需要（显像管内要抽成真空），二是电视画面的光线是透射过来的，不在观众一侧造成反射。

题 4 汽车驾驶室旁的观后镜一般使用凸面镜来增大驾驶员的观后视野。经它反射的光线遵从光的反射定律吗？

图 3-9 示意地画出了汽车观后镜原理图。驾驶员在 E 处通过观后镜可看到车侧后方较大的范围。但每一条光线在被反射的过程中，仍遵从光的反射定律。只是因镜面是弯曲的，镜面上各点处的法线取向不同，故人眼可能在较小的视角内看到较大的范围。

用例三 解决因反射面转动而引起的反射情况的变化问题。

题 5 一束光线以与一平面镜成  $\theta$  角入射到镜面上。若保持入射光线不变，而将镜面绕过入射点且垂直于法线和入射光线所在平面的轴转动  $10^\circ$ ，则反射光线的角度改变了 ( )

- A.  $10^\circ$
- B.  $+10^\circ$
- C.  $20^\circ$
- D.  $2 + 20^\circ$

镜面转动  $10^\circ$ ，则法线也转动了  $10^\circ$ ，入射角也改变了  $10^\circ$ ，由光的反射定律，反射角将同样改变  $10^\circ$ ；又由于法线的转动，反射光线还随其转动  $10^\circ$ ，故反射光线的角度改变了  $20^\circ$ ，即答案应为 C。

用例四 改变光的传播路径。

题 6 图 3-10 为一简易潜望镜示意图。试确定平面镜  $M_1$  和  $M_2$  与镜筒所成的角  $\alpha$ 。

要使光的传播路径按图中要求，现取  $M_2$  为研究对象 ( $M_1$  同理)，作出图 3-11。由图分析知反射角为  $90^\circ - \alpha$ 。因反射角等于入射角且两角和为  $90^\circ$ ，故有  $2(90^\circ - \alpha) = 90^\circ$ ，所以  $\alpha = 45^\circ$ 。

分析  $M_1$  可得相同结果。

由此得潜望镜中平面镜  $M_1$  和  $M_2$  与镜筒所成的角  $\alpha$  均为  $45^\circ$ 。

题 7 观察自行车尾灯可发现，其上有很多互成直角的反射面（剖面如图 3-12 所示），夜晚后面的汽车从任何方向来的灯光射到这尾灯上后，都将沿反方向被反射回去，以警示汽车里的驾驶员。试分析说明其原理。

取题图中两个相邻的反射面为研究对象，作成图 3-13。设后方车灯射来的光以任一入射角  $\theta$  射至反射面  $M_1$  上 ( $M_2$  同理)，以反射角  $\theta$  反射至  $M_2$  上，成为以入射角  $90^\circ - \theta$  的入射光线，再以  $90^\circ - \theta$  的反射角被  $M_2$  所反射。由几何知识知，入射至  $M_1$  上的光线和被  $M_2$  所反射的光线恰为平行，但方向相反。故这“角反射器”可将任意方向射来的光按原方向反射回去。自行车尾灯上的多个小“角反射器”可起到一个大“角反射器”的作用，达到题中所说效果。

现代飞机、舰船要想不被雷达发现而“隐身”，则要消除一切直角金

属构件，因为由雷达发出的无线电波也遵从与光的反射定律相同的反射规律。我们有时又用装有“角反射器”的假目标来迷惑敌人雷达，使其做出错误的判断。

题 8 如图 3-14 所示， $M_1M_2$  为两相交平面，一束平行于镜面  $M_1$  的入射光线，经两平面镜反射后平行于平面镜  $M_2$  射出。则这两镜面  $M_1$  和  $M_2$  间的夹角为\_\_\_\_\_。

由图知，因入射光线平行于  $M_1$ ，所以，其与镜面  $M_1$  的夹角  $\angle 1 = \angle 2$ 。

又因反射角等于入射角，故它们的余角也应相等，即  $\angle 1 = \angle 2$ ，

因而有  $\angle 2 = \angle 3$ ，

同理可得  $\angle 4 = \angle 5$ ， $\angle 4 = \angle 3$ ，

故有  $\angle 3 = \angle 4$ 。

亦即  $\angle 2 = \angle 3 = \angle 4$ ，故两镜面和  $M_2$  的反射光线构成等边三角形，所以  $\angle 2 = 60^\circ$ 。题中空处应填  $60^\circ$ 。

【平面镜成像】 反射面为平面的镜称为平面镜，利用平面镜对光的反射而成的像称平面镜成像。

物体发出（或反射出）的光经平面镜反射后，人逆着反射光线可看到这物体，并感觉到物体在镜后的反射光线延长线上，即看到了物体的像。这就是平面镜成像的原理。

图 3-15 表示发光点 S 在平面镜 M 中形成像 S' 的示意图。若物体很大，则物体上每一点都如图那样在镜中成对应的像点，由这些像点构成物体完整的像。

平面镜成的像，不是由实际光线交汇形成，而是由实际光线的反向延长线交汇形成，这样的像叫做虚像。

由上面的分析和图 3-15 可推知平面镜成像的规律为：

1. 平面镜所成的像与物体分居镜面两侧；
2. 物体和像上的对应点在镜面（或其延长线）的同一条垂线上且到镜面（或其延长线）的距离相等，即物和像关于镜面对称；
3. 像与物体等大、正立。

在解平面镜成像问题时，应注意以下几点：

1. 平面镜所成像的前后、左右与物体的前后、左右相反，恰如印章上的文字与所印出的字那样；
2. 不能简单地认为物和像的中心关于镜面对称，而是各对应点均对称；
3. 人至平面镜中自己像的距离，应为人至镜面距离的两倍。

用例一 确定平面镜中像的位置。

题 1 一下落的小水滴在经过一竖直放置的平面镜近旁时，其像的位置如何确定？

物体运动的每一瞬时仍遵从平面镜成像规律。如图 3-16 示，水滴 W 与其在平面镜 M 另一侧所成虚像 W' 关于镜面对称，水滴与其像下落速度相同，水滴落至何处，像也同时成在相应位置。

题 2 图 3-17 所示为人眼 E 通过平面镜 M 看到物体 P，试确定物体 P 在镜中像的位置。

人眼 E 逆光线 OE 看到物体 P，故物体所成虚像应在 OE 的反向延长线

上，且与物在同一条镜面（或其延长线）的垂线上，两线的交点就是物体的像 P' 的位置（如图 3-18 所示）。注意切不可将图中 P'' 误为像的位置。虽然它和物分居镜面两侧且至镜面等距，但它和物体 P 关于镜面不对称。

用例二 判断像的性质。

题 3 从潜望镜中看到的物体的像是 ( )

- A. 放大的正立虚像
- B. 等大的正立虚像
- C. 等大的正立实像
- D. 缩小的正立虚像

潜望镜是两次利用平面镜来改变光线路径的仪器，看到的是平面镜成的像，多次使用也不改变像的性质，即仍为等大、正立的虚像。所以本题应选答案 B。

题 4 图 3-19 是一 L 形物体在平面镜 M 中成像的示意图，其中作图正确的是 ( )

由于平面镜成像，物和像应关于镜 M 对称，由对称性可知，当将纸沿图中 M 对折时，只有 D 图中的物和像重合，即物和像上各对应点均满足平面镜成像规律。A 图中物与像不对称，而 B 和 C 图中物和像的中心关于 M 对称，其余各对应点均不对称，故不正确。所以正确的选项为 D。

题 5 图 3-20 为从一竖直挂置的平面镜中看到的钟面，这钟的实际示数是 ( )

- A. 6 55
- B. 7 05
- C. 5 05
- D. 11 35

因钟面与其像相对，我们看到的像恰似从一透明钟面的背后看这钟面，是左右置换、指针逆时针走向的，1 点在 12 点左一格，并沿逆时针方向递增点数。这样读出钟的示数为 5 05，故答案选 C。

用例三 判断观察者及景物在平面镜中像的距离。

题 6 检查视力时，受检眼与视力表应相距 5 米。若检查室的长度仅 3 米，则如何借助一平面镜来达到能在此室内正常检查视力的场地要求？

可借助于平面镜成像规律。将视力表贴在室内一面墙上，镜子挂在距此 3 米远的另一面墙上，则视力表距其在镜中像的距离即达 6 米。故受检者只要站在镜前 2 米处（站的位置要能看到视力表的像，不要被自己挡住），观察镜中的视力表即可。

用例四 判断物与像间的相对运动情况。

题 7 一人站在一平面镜前 4 米处。若他在 0.5 秒内向镜子走近了 2 米，则他与镜中自己的像的相对速度为 ( )

- A. 2 米/秒
- B. 4 米/秒
- C. 6 米/秒
- D. 8 米/秒

人向镜前进了 2 米，则其像也向镜靠近了 2 米，且运动是同时的。因人与像在 0.5 秒内靠近了 4 米，故人与其像的相对速度为

$$v = \frac{s}{t} = \frac{4\text{米}}{0.5\text{秒}} = 8\text{米/秒}，\text{正确选项为 D。}$$

题 8 水平桌面上有一个乒乓球，桌边有一块平面镜。当乒乓球离平面镜而去时，它的像沿竖直方向向上运动。则这平面镜与桌面间的夹角为\_\_\_\_\_。

运动情况如图 3-21 所示。球与其像的运动方向按题意应为相互垂直的。由平面镜成像的性质，知球与其像关于镜面对称，故镜面应为它们运

动方向夹角的角平分线，即与桌面（或竖直方向）的夹角为  $45^\circ$ 。所以本题应填  $45^\circ$ 。

题 9 如图 3-22 所示，一光源 S 置于平面镜 M 前。若平面镜以速度  $v$  沿图中 OS 方向向光源移动，运动中保持镜面与 OS 夹角为  $30^\circ$ 。则光源在平面镜中的像将怎样移动？

如图 3-23 所示，平面镜 M 向光源 S 移动速度为  $v$ ，则光源 S 垂直接近镜面 M 的速度为  $v\sin 30^\circ = \frac{1}{2}v$ 。由平面镜成像性质知，S 的像 S' 应与 S 关于镜面对称，故和 S 沿同一条镜面的垂线向镜面接近，接近镜面的速度与 S 相同。故 S 的像 S' 以速度  $\frac{1}{2}v + \frac{1}{2}v = v$  接近 S，方向沿过 S 的镜面的垂线。

\*【球面镜】 反射面是球面的一部分的镜子称为球面镜，球面镜可以成像。

反射面为凹面（即球的内表面）的球面镜称为凹面镜；反射面为凸面（即球的外表面）的球面镜称为凸面镜（如图 3-24 所示）。

连接球面镜顶点和球心 O 的直线称为主轴；与主轴相近且平行于主轴的光被球面镜反射后，反射光线或其反向延长线在主轴上交于一点 F，称为焦点，其位于球心和顶点之间。球面镜上任一点的法线即为连接该点和球心的直线。

由图 3-24 看出，凹面镜有使入射光会聚的作用，亦称会聚镜；凸面镜有使入射光发散的作用，亦称发散镜。

应用球面镜知识时应注意：

1. 投射到球面镜上的光束，不论其反射光是会聚或是发散，每条光线均遵从光的反射定律；
2. 光路是可逆的。如凹面镜可将一束平行光会聚于焦点，亦可将置于焦点处点状光源发出的光以平行光束的形式反射出去；
3. 我们看到的凸面镜成的像总是缩小的。

用例一 球面镜会聚和发散性质的利用。

题 1 关于使用球面镜的下列说法中错误的是：（ ）

- A. 医生利用凹面镜聚光检查耳道有无疾病
- B. 反射式天文望远镜的反射面起会聚光线的作用
- C. 从汽车观后镜中看不到放大的像
- D. 凸面镜可用来制成太阳灶的反射面

医生用凹面镜聚光使耳道更亮便于检查；天文学家利用凹面镜性质制成的天文望远镜可将遥远的微弱星光会聚成较亮的光，便于研究；汽车观后镜是凸面镜，故用它看不到放大的像；太阳灶应用凹面镜将阳光的能量会聚至一点。由此知 D 项的说法错误，故本题应选 D。

题 2 在交通拥挤的马路或山间公路的急转弯处，常会置一面凸面镜来保障交通安全，为什么不用平面镜，试说明其中道理。

这是利用了凸面镜对光的发散作用，使行人或车辆驾驶员能看到比用同样尺寸的平面镜所能看到的更大范围的弯路另一边的交通情况。其原理如下：

图 3-25 为一用平面镜 M 做拐弯处观察镜的示意图。人眼 E 通过平面镜

M 可看到弯路那边的范围为 L 和 R 限定的区域。若将平面镜换成尺寸较小的凸面镜 V (如图 3-26 所示), 则人眼 E 通过它可看到范围大得多的由 L' 和 R' 限定的区域。故使用凸面镜只要很小的尺寸就可起到尺寸大得难于制造、安装和维护的平面镜的作用。

用例二 焦点性质的利用。

题 3 点燃 1990 年北京亚运会主会场火炬的火种, 取自对着太阳的凹面镜。试说明凹面镜取火的原理。

太阳射至地球上的光线可认为是平行的。凹面镜在接收到这平行光后, 将其反射会聚至焦点上, 亦即将阳光的能量会聚至焦点而在此处产生高温引燃火种。其与太阳灶原理相同。

题 4 使用手电筒时, 常先旋转其头部或尾部, 以求得最佳的照明效果。旋转的作用是: ( )

- A. 使灯泡处于焦点位置上
- B. 改变反射球面镜的半径
- C. 改变凹面镜的焦距
- D. 使灯泡不在焦点位置上

手电筒只有射出平行光时, 光亮才能集中在一个方向上且均匀, 具有最佳的照明效果; 而只有灯泡处于焦点上发光时, 经凹面镜反射出的光才是平行的, 用时先旋转一下是为了将灯泡准确调至反射面的焦点位置上。故应选 A。

用例三 光路可逆性质的应用。

题 5 如图 3-27 所示, 射入仪器箱 A 的光线均指向箱后一点 P, 箱内因此反射出平行光线, 试判断箱内光学仪器的类型。

因入射光线不平行而反射光线平行, 则箱内必不是平面镜。而当一束平行光线射至凸面镜上时, 其反射光线的反向延长线交于一点(焦点)。由光路可逆性判断, 箱内为一凸面镜, 各入射光线指向的点 P 即为其焦点。

题 6 试确定由一凹面镜外一点状光源 S 射来的通过焦点和球心的光线被该凹面镜反射后, 其反射光线的指向。

平行于凹面镜主轴入射的光线被凹面镜反射后, 其反射光线交于焦点。由光路可逆性质知, 由焦点射向凹面镜的光线, 其反射光线必沿与主轴平行的路径射出; 光线通过球心射向凹面镜的光线, 是沿球面法线入射的(入射角为零), 则其反射光线仍沿法线返回射向球心(反射角亦为零)。反射过程示于图 3-28。

【光的折射】 光从一种介质进入另一种介质而使其传播方向发生变化的现象称为光的折射。

图 3-29 为光由空气进入水(界面为 CD) 中时发生折射的示意图。

AO 和  $i$  分别为入射光线和入射角;

OB 为折射光线, OB 与法线 ON 的夹角  $r$  为折射角。

光从一种介质进入另一种介质产生折射时:

1. 折射光线与法线、入射光线在同一平面内;
2. 折射光线与入射光线分居在法线两侧;

3. 入射角不为零时, 光由传播光速大的介质进入传播光速小的介质, 折射角小于入射角; 而光由传播光速小的介质进入传播光速大的介质, 折射角大于入射角。

在光的折射现象中，折射角与入射角间有着严格的定量关系，在初中阶段不作要求。

应用光的折射知识解决问题时，应注意：

1. 折射光线和入射光线分居介质界面两侧，即分别存在于不同介质中；

2. 当光线沿法线入射时，其折射光线亦沿法线方向即传播方向不改变且有  $i = r = 0^\circ$ ；

3. 光路是可逆的。若沿原折射光线逆向入射光线，则其折射光线必逆向沿原入射光线路径。

用例一 判断折射光线及其方向。

题 1 在图 3-30 各图中，正确地表示了光由玻璃射入空气时发生的光的折射现象的可能是 ( )

玻璃中的光速比空气中的小，故折射角应大于入射角；又折射光线和入射光线既应分居法线两侧，又要分居界面两侧。由此可排除掉 A、B、D。只有 C 满足光的折射的所有条件，有可能（角度没定量确定）正确地表示了原题要求。故本题应选 C。

题 2 我们透过厚玻璃看到的物体准确地在我们的视线上吗？

图 3-31 表示眼睛 E 透过厚玻璃看到物体的光路示意图。由物体 S 射来的光线在玻璃表面处发生折射而偏折，再由玻璃射入空气产生第二次折射。因第二次折射恰如第一次的逆过程，可证明第二次折射的折射角等于第一次折射的入射角，故光线的方向不变。但沿视线 ES' 看到的物体和物体的实际位置稍有平行“错位”。若沿垂直于玻璃（法线）的方向观察，则看到的物体和实际物体在一条直线上。

题 3 试由光的折射现象解释用光纤传输光的原理。

用光来传输信息，最重要的就是要防止光的散失。这除了要提高材料透明度以减少光被吸收外，就是要防止光因折射而进入空气。光导纤维是用一种高度透明的特殊材料制成的，当光信号射至光纤维与空气的界面上时，折射角大于  $90^\circ$ ，使空气中无折射光线，而只在介面上发生光的反射，如图 3-32 所示，使光信号在不断被反射的过程中无折射损耗地传输至远方。这种折射角大于  $90^\circ$ ，使入射光线在介质界面上只有反射光线的现象称为“全反射”。

用例二 折射现象引起视角的改变。

题 4 工人在干枯的水库底检修设备时，看不到坝上的设备。而当水库有水，他潜水去检修时却能看到。试解释这现象。

工人在水库无水时看不到设备，是因为坝的边沿挡住了人的视线，即挡住了坝上设备沿直线传播来的光线。水库有水后，利用水的折射使人观察空气中物体的视角增大，如图 3-33 所示，虚线为无水时人所能看到坝上物体的极限。由图亦看出因水的折射而使人的视角增大，能看到无水时看不到的区域。

同理，由光路的可逆性可知，只有在有水时，坝上设备旁的人才能看到正在水下修理设备的人。

用例三 通过光的折射看到的物体与实际物体的差异。

题 5 从盛满水的量筒上方通过水观察量筒刻度，发现看到的刻度间

距比实际的短。这是为什么？

这是因光的折射现象引起的视觉差异，如图 3-34 所示，观察者在 E 处透过水看量筒上的刻度 R。由于长期受光的直线传播的影响，他将认为看到的 R 在 R' 处，使得原来从筒口 O 至 R 内的若干有刻度及无刻度部分，被均匀地压缩在 O 至 R' 范围内，故觉得刻度间距变短了。

本例亦可说明为何岸上的人看河水时，总觉得河水比实际的浅。

题 6 在一游泳池边有一根竖立的标杆，水下潜泳者看到的标杆比实际的高还是矮？

本题是题 5 解的逆运用。如图 3-35 所示，从标杆顶部 B 点射来的光由空气进入水中时，在水面处发生折射，由于光线由空气进入水中，所以折射角小于入射角。因是折射光线进入人的眼睛，同上题分析，人逆着折射光线望去，觉得光线好像是从折射光线的反向延长线上的 B' 发出的，B' 是 B 的虚像。

由上分析可知，潜泳者看到的标杆的像比实际的要高。

题 7 人从一碗水的上方观察一根斜插入水中筷子的水下部分，则人 ( )

- A. 看到的筷子和无水时一样
- B. 看到的像较真实的筷子长
- C. 看到的筷子向上折了
- D. 看到的筷子向下折了

如图 3-36 所示，由 A 点发出的光线在水面处发生折射，因光线是由水进入空气，故折射角大于入射角。我们习惯于认为看到的景物是光沿直线传播入眼的，故觉得由 A 发出的光是从 A' 射来的。各点依此类推，这样我们就觉得筷子是向上折了。由此分析知，我们不会看到筷子呈原样、变长，更不会看到筷子向下折的情形，故正确选项为 C。

题 8 渔民在用鱼叉捕鱼时，能否把鱼叉对准他所看到的鱼的方向投去？看到像的性质如何？

渔民所看到的鱼，实际上是因光的折射而产生的像，鱼的实际位置并不在此处，如图 3-37 所示。故渔民若向他看到的鱼处投掷鱼叉，投的越准，则越不能击中鱼。渔民看到的鱼的像和鱼的实际位置不重合，它不是真实光线射出处，仅是在真实光线的反向延长线上，故像为虚像。

用例四 比较光的折射现象和光的反射现象。

题 9 图 3-38 表示一束光照在空气与玻璃界面上时所发生的情况。三条实线各为光线路径。试由此图确定玻璃和空气的界面及哪一侧是玻璃。

一束光线射到空气和玻璃的界面上时，要发生反射和折射现象。反射光线的方向取决于光的反射定律。故有反射角等于入射角，图中只有 AO 和 CO 可能是入射光线（与可能的反射光线和折射光线分居法线两侧），但 CO 作为入射光线，其入射角（ $45^\circ$ ）和其反射光线 OB 的反射角（ $30^\circ$ ）不等，所以只有 AO 作为入射线能满足反射定律和折射规律的各种要求。可据此画出图 3-39，并由图可判定 HE 的右侧为玻璃（因为折射角小于入射角）。

题 10 在下列现象中，由光的折射引起的是： ( )

- A. 在池塘边看到水底的石头
- B. 在水盆中看到自己的像

C. 站在阳光下看到自己的影子

D. 在河边看到对岸树木在水中的倒影

本题中，只有 A 选项满足光的折射应是光从一种介质进入另一种介质的条件。其它三个选项都是光在同一种介质中的现象（最多接触到另一种介质的表面），其中 B 和 D 选项为光的反射现象，C 选项为光沿直线传播所造成的现象。故本题正确选项应为 A。

题 11 一辆汽车行驶在海边的盘山公路上，一游客在路的拐弯处通过凸面镜看到了它，另一潜水员在水下也看到了它。则（ ）

A. 游客看到的是虚像，潜水员看到的是实像

B. 游客看到的是实像，潜水员看到的是虚像

C. 游客和潜水员看到的均是实像

D. 游客和潜水员看到的均是虚像

游客是利用凸面镜的反射看到汽车的，潜水员则是通过光的折射看到的。他们看到的都是汽车的像，而这像并无真实光线射出达到游客和潜水员的眼中，仅是他们借助光的反射和折射造成的错觉，故他们看到的均为虚像。因此本题正确选项为 D。

\*用例五 不均匀的同种物质构成的介质也会造成光的折射。

题 12 地球的大气是同种物质，为何阳光在不垂直地穿越它时不沿直线传播而产生偏折？

光在均匀介质中是沿直线传播的。所谓均匀介质，是指介质各处的物理性质，如密度、传播光的性质等，在各方向是相同的。而地球的大气层因受地球吸引力的影响，离地球越近的地方，气体的密度越大，高空处则气体稀薄。故地球周围的大气在不同高度处的光学性质不同，因此不能视其为均匀介质。

我们把地球周围的大气按高度分为许多光学性质近似相同的薄层，即划分成多层均匀介质，如图 3-40 所示，因同种气体密度大的光速较小，故光斜射入地球大气后，恰似一层接一层地进入更加“光密”的介质（通常视传播光速小的介质为光密介质），光的折射情况如图 3-40 所示。另外各层只有非常薄，才能使层内光学性质趋于一致，故光线在大气层内是圆滑弯曲的（即无明显“折线”）。

【透镜】 透镜是将板状透明材料（玻璃、水晶等）的至少一个侧面磨成球面，利用光的折射成像的一种重要光学元件。

图 3-41 给出一些不同类型透镜的剖面图。根据透镜中央与边缘厚度的比较来划分有：

中央较边缘厚的称凸透镜（如图中 1、2、3），因其具有会聚光线的性质，故又称会聚透镜；

中央较边缘薄的称凹透镜（如图中 4、5、6），因其具有发散光线的性质，故又称发散透镜。

一般情况下，如果透镜的厚度远小于透镜球面的半径，则把此种透镜称为薄透镜，薄透镜可忽略透镜厚度对光线的偏移作用。此时光经过透镜中心，可认为其传播路线不变，即入射光线与其经透镜折射后的光线在一条直线上，故透镜中心亦称光心。

通过透镜球面的球心与光心的直线叫做主光轴。

平行光与主光轴平行地射向凸透镜，经凸透镜折射后将会聚于主光轴

上一点，该点称为凸透镜的焦点，因它是实际光线的交汇点，故为实焦点，焦点常用字母 F 表示。

平行光与主光轴平行地射向凹透镜，经凹透镜折射后发散开来，但其反向延长线交于主光轴上一点，该点称为凹透镜的焦点，因它不是实际光线的交汇点，故为虚焦点。

透镜的会聚或发散性可如图 3-42 那样将透镜截面分成许多近似于梯形的小块，由光通过这些小块时发生两次折射分析得出。

透镜光心与其焦点间的距离称为焦距，焦距常用字母  $f$  表示，透镜球面半径越小则焦距越校

在应用透镜性质时应注意：

1. 光路是可逆的。如一置于凸透镜焦点上的小灯泡发出的光，经过凸透镜后则是平行光线；

2. 光通过透镜后是否会聚或发散，要视光通过透镜前后会聚(或发散)的程度比较而定。

用例一 判断透镜是会聚的还是发散的。

题 1 图 3-43 中的 A、B、C、D 四个框中各有一个透镜。试由图中通过透镜前后光线的情况判断它们各为何种透镜。

光线通过 A 前后均为发散的，但光线通过 A 后发散程度较前为小，即 A 起了会聚光线的作用，则 A 是会聚透镜，即凸透镜。

同理，B 使通过其的光线会聚程度变小，起发散作用，B 是发散透镜，即凹透镜。

C 使会聚的光线发散，故是凹透镜。

D 使会聚程度增大，故是凸透镜。

用例二 透镜和面镜的比较。

题 2 具有实焦点的光学元件有： ( )

- A. 凹面镜和凹透镜      B. 凸面镜和凸透镜  
C. 凹面镜和凸透镜      D. 凸面镜和凹透镜

由球面镜和透镜知识可知，凹面镜和凸透镜的焦点即为沿主光轴入射的平行光被反射或折射后会聚于主光轴上的交汇点，是实际光线的交汇点，故为实焦点；而凸面镜和凹透镜的焦点分别是沿主光轴入射的平行光线的反射光线或折射光线的反向延长线的交汇点，不是由实际光线交汇而来，故为虚焦点。本题应选 C。

题 4 图 3-44 的各框中均有一个光学元件。光线通过它们的光路如图所示，光线经过元件折射而会聚于焦点的是 ( )

图中 B 为利用球面镜反射会聚光线，不合题意，首先排除；A 虽经折射会聚，但因入射光不是平行光，故两光线交汇点不是焦点；D 框中为发散透镜，不合题意；只有 C 满足题给条件和焦点定义。所以本题正确选项为 C。

题 5 图 3-45 中各框内各有一光学元件。试根据光线情况判断框内元件类型，并填到适当位置上，完成光路图。

图中甲为不平行光线入射后由同侧射出平行光线，故其为球面镜反射，且由图知为发散的，所以框内为凸面镜；乙为平行光线入射后在异侧会聚，故可知乙内为会聚透镜，即凸透镜；丙不改变光线的平行性，但“左”

“右”互换，这恰为平面镜反射的性质，故丙内为平面镜。框内填入元件并完成光路如图 3-46 所示。

**\*用例三 透镜厚度对传播光线的影响。**

**题 6** 若考虑透镜的厚度，则通过透镜光心的光线在通过透镜前后是在一条直线上吗？

在考虑透镜厚度的情况下，经过光心的光线的情况如图 3-47、3-48 所示。由于经过两次折射，第一次折射的入射光线和第二次的折射光线路径有平行“错位”，但由于透镜关于光心  $O$  对称，故其传播方向一致。随着入射角的减小，“错位”也随之变小，当光线沿主光轴入射时（入射角为零），错位消失，即此时在一条直线上。因此，初中阶段只研究厚度相对球面半径很小的薄透镜，对通过光心的光线折射后的平行“错位”现象忽略，可认为在同一直线上。

**【凸透镜成像】** 从物体发出的光经过凸透镜折射后形成与原物体相似的像的过程称做凸透镜成像。

像由物体上各点发出的光经凸透镜折射形成的相应像点构成。

若像上各点是由实际光线交汇而成，则像为实像，可显映在屏上，也可被人眼看见。

若像上各点是由实际光线的反向延长线（亦称虚光线）交汇而成，则像为虚像，不能显映到屏上，但可被人眼看见。

若所成的像与原物体上下颠倒，则称之为倒立的或倒像，反之称为正立的或正像。

影响凸透镜所成像的性质（大小、虚实、正倒等）的重要因素有物体至凸透镜的距离（简称物距）相对焦距的大小。若用  $u$  表示物距， $f$  表示焦距， $v$  表示像与凸透镜间的距离（简称像距），则有以下表：

物距	成像特点	像距
$u < f$	正立、放大、虚像	$ v  > u$
$f < u < 2f$	倒立、放大、实像	$v > 2f$
$u = f$	倒立、等大、实像	$v = 2f$
$u > 2f$	倒立、缩小、实像	$f < v < 2f$

在研究凸透镜成像时应注意：

1. 物距、像距和焦距的严格定义是物体、像和焦点至凸透镜光心的距离，只有将透镜视做薄透镜时，才可看成是至凸透镜的距离；
2. 单个凸透镜所成物体的实像是倒立的，虚像为放大正立的；
3. 凸透镜成像的光路是可逆的。如将与像的大小相同的物体放在凸透镜所成原实像的位置上，则其所成的像在原物处，且大小、正倒与原物一致。

**用例一** 由物距和焦距的关系判断凸透镜成像的性质。

**题 1** 用一个凸透镜观察物体，看到了物体的正立放大的像，则这物体在这透镜的（ ）

- A. 焦距之内
- B. 1 倍焦距之外，2 倍焦距之内
- C. 2 倍焦距处

## D.2 倍焦距之外

由一个凸透镜成像的性质知，只有成虚像，才能是放大正立的；而物体要成虚像，则要将物体放在距透镜 1 倍焦距之内，故正确选项应为 A。

题 2 离凸透镜相当远处的物体通过这凸透镜成的像具有什么样的性质？

题中的“相当远”即意为远大于 2 倍焦距，故所成的像为倒立缩小的实像。由观察凸透镜成像的实验知，随着物体向“相当远”处离去，所成的实像渐渐缩小，且从距透镜 1 倍焦距之外、2 倍焦距内向焦点处靠近。故题中物体所成的像是非常小的、靠近焦点的、倒立缩小的实像，如太阳光线经凸透镜后几乎会聚成一点，这就是太阳的像。太阳光线可视为平行光线，则会聚点即近似为该凸透镜的焦点。故这也可做为近似确定凸透镜焦点的方法。

题 3 把物体由远处沿主轴移向凸透镜的过程中，物体经过\_\_\_\_处后，像将由缩小实像变为放大的实像；物体经过焦点以后，将由\_\_\_\_像变成\_\_\_\_像；物体处在\_\_\_\_处时，像与物大小相等。

由凸透镜成像性质知：当物体距凸透镜距离大于 2 倍焦距时成缩小实像，大于焦距小于 2 倍焦距时成放大实像，等于 2 倍焦距时成等大实像，小于焦距时成放大虚像。由此知，各空应依次填：2 倍焦距、实、虚、2 倍焦距。

题 4 一凸透镜前 20 厘米处的物体沿主轴远离透镜时，其倒立缩小的像将 ( )

- A. 由实像变成虚像
- B. 仍为倒立缩小实像
- C. 由虚像变成实像
- D. 变为倒立放大实像

因物体在远离前已成倒立缩小的像，亦即实像，故已在 2 倍焦距之外了。当物体远离后，仍在 2 倍焦距之外，所以仍成倒立缩小实像，只是像的尺寸愈来愈小由此可知本题正确选项为 B。

题 5 一物体距凸透镜 10 厘米处，通过此透镜成一倒立的像，像距透镜 12 厘米。则这凸透镜的焦距  $f$  的取值范围可能在\_\_\_\_\_。

由题知，成的像是倒立的，故所成的像是与物体居于透镜异侧的实像。因物距小于像距，故成的是放大的像，且像在距透镜 2 倍焦距之外，故有  $2f < 12$  厘米；又物体此时应居于距透镜 1 倍焦距和 2 倍焦距之间，即  $2f > 10$  厘米。综合上述分析得  $10 \text{ 厘米} < 2f < 12 \text{ 厘米}$ ，即  $5 \text{ 厘米} < f < 6 \text{ 厘米}$ 。故空内应填： $5 \text{ 厘米} < f < 6 \text{ 厘米}$ 。

用例二 能否成像的判断。

题 6 室光下将一支没点燃的蜡烛放在一凸透镜前，在凸透镜的另一侧放一光屏，无论怎样移动光屏，从屏上都看不到蜡烛的像；若将蜡烛点燃，则屏上可出现清晰的蜡烛的像。其原因是： ( )

- A. 点燃的蜡烛成实像，没点燃的蜡烛成虚像
- B. 自身不发光的物体不能成像
- C. 蜡烛离透镜太近，在焦距之内了
- D. 没点燃的蜡烛在屏上成像的光线太弱，被外界光线湮没了

凸透镜成像的性质和物体自身发光与否无关，物体利用反射光线也可成像。若蜡烛距透镜在焦距之内，则不论蜡烛是否点燃均不能在屏上成像（虚像），故选项 A、B、C 均不正确。点燃的蜡烛能成像于屏上，没点燃

时应也能，只不过由于利用室光反射，经过透镜后光线更弱，成像的明亮程度不如室光大，被室光湮没了。故正确选项应为 D。

题 7 一发光物体通过凸透镜在一光屏上成一倒立实像，若用一纸板将透镜上半部分遮住，则所成的像 ( )

- A. 没有了对应物体的上半部分
- B. 没有了对应物体的下半部分
- C. 根本就不能成像
- D. 仍是完整的，只是明亮程度有所降低

物体通过凸透镜成像时，其上每一点均通过透镜上各点的折射而会聚成像上的相应点，并不是仅由一两条特殊光线交汇而成，特殊光线是被用来确定像点的位置（相交的两直线可确定一个点），图 3-49 表示了物体上任一点通过凸透镜成像的光路。由图知，部分挡住透镜的任一区域，均不影响该点成像；但由于被遮住一部分，故通过凸透镜的光少了，故像的明亮程度有所降低，通过上述分析知，正确选项为 D。

**【观察凸透镜成像】** 实验目的观察物体通过凸透镜所成的放大实像、等大实像、缩小实像及虚像，总结归纳出所成各种性质像的条件。

**实验器材** 凸透镜，蜡烛，光屏，带刻度的光具座，火柴，粉笔。若无光具座，可用平整桌面和刻度尺代替。

**实验步骤** 1. 用粉笔在光具座上标出凸透镜的位置 O，焦点处 F，2 倍焦距处 P。

2. 按图 3-50 所示将凸透镜、蜡烛、光屏依次放在光具座上。

3. 点燃蜡烛，调整凸透镜和光屏的高度，使蜡烛的焰心，凸透镜的中心和光屏的中心大致在同一高度上。

4. 把蜡烛放在离凸透镜远大于 2 倍焦距（可取 6~8 倍焦距）的地方。再沿光具座（或桌上的直线）移动光屏，直至屏上出现明亮清晰的烛焰的像。观察测量并记录下像的性质（正立还是倒立、放大还是缩小等）、物距  $u$ （蜡烛至透镜的距离）和像距  $v$ （光屏至透镜的距离）。

5. 将蜡烛逐步向 2 倍焦距 P 点处移动（保持在 2 倍焦距之外），每移一步都调整光屏的位置使其成明亮清晰的像。观察、测量并记录下像的性质、物距  $u$  和像距  $v$ 。

6. 把蜡烛移至 2 倍焦距 P 点处，再移动光屏使其上成明亮清晰的像，观察、测量并记录下像的性质、物距  $u$  和像距  $v$ 。

将上述实验作如下调整后再做：

1. 安置调整仪器同上。

2. 将蜡烛放于距透镜稍小于 2 倍焦距处，再调整光屏位置使屏上出现明亮清晰的像。观察、测量并记录下像的性质、物距  $u$  和像距  $v$ 。

3. 使蜡烛逐步向凸透镜移动，但仍保持它们的间距大于焦距，移动光屏使屏上成明亮清晰的像。观察、测量并记录下像的性质及像距  $v$  随物距  $u$  的变化规律。

4. 将蜡烛移至焦点 F 之内（即物距  $u$  小于焦距  $f$ ）某点，移动光屏，看能否在屏上成像。

5. 从光屏这一侧透过凸透镜观察烛焰，观察并记录观察结果。

将上述各次实验过程中观察测量的记录综合整理，填入下表。

物 距	像的正倒	像较物的大小及变化	像距及变化	像的虚实
6 ~ 8 倍焦距				
从 6 ~ 8 倍焦距处 向 2 倍焦距处移动				
2 倍焦距				
从 2 倍焦距处向焦 点处移动				
小于焦距				

由实验可得如下结论：

1. 物体到凸透镜的距离大于 2 倍焦距时，成倒立缩小的实像，像与物分居透镜两侧，像至凸透镜的距离在焦距和 2 倍焦距之间，随着物体向 2 倍焦距处靠近，像的尺寸渐大（仍小于物），并向 2 倍焦距处靠近。

2. 物体到凸透镜的距离等于 2 倍焦距时，成倒立、与物等大的实像，像至凸透镜的距离同为 2 倍焦距。

3. 物体到凸透镜的距离在 2 倍焦距与焦点之间时，成倒立放大的实像，像至凸透镜的距离大于 2 倍焦距。随着物体向焦点靠近，像的尺寸渐大，像渐渐远离凸透镜。

4. 物体到凸透镜的距离小于焦距时，成正立放大虚像，像与物在透镜同一侧。

实验中应注意以下操作规范：

1. 在使用蜡烛的实验中，应尽量使用焦距大的凸透镜（即凸的程度小），并在实验中尽可能地使烛焰远离透镜，以免灼坏凸透镜。

2. 放置仪器时，凸透镜的位置要适中，以免出现实验中透镜某一侧光具座不够长而要重新安置、调整仪器。

3. 实验一停止，应立即熄灭蜡烛。

用例 根据实验步骤和实验结果进行判断。

题 1 在做凸透镜成像的实验中，首先要调整烛焰、凸透镜和光屏的高度，使它们\_\_\_\_\_。

根据实验步骤知，要将它们三者的中心调在大致同一高度上，使成像清晰，并且在实验中不会因仪器位置的调整而使像成在光屏之外。故应填：中心大致在同一高度上。

题 2 在上述实验中，当光屏上出现一个清晰倒立缩小的烛焰的像后，将蜡烛和凸透镜间的距离改为原来的一半，并适当移动光屏，那么光屏上（ ）

- A. 肯定能成放大的像
- B. 肯定能成缩小的像
- C. 能成放大和缩小都可能的像
- D. 不能成像，因像是虚像

由实验知，屏上成倒立缩小的像必为实像，且蜡烛和凸透镜间的距离必大于 2 倍焦距。故当蜡烛和凸透镜间的距离缩小一半后，将仍大于焦距，并有可能仍大于 2 倍焦距，所以在屏上能成放大和缩小都可能的（倒立实）像。正确选项应为 C。

题 3 在上述实验中，蜡烛因燃烧时间长了，烛焰向凸透镜主轴下方偏离，则其成在光屏上的像将\_\_\_\_\_。

实验中稍加留心就可看出，随着烛焰的下移，其在屏上的像将上移。这是因为成在屏上的是倒立实像，故烛焰的下方即为其像的上方，烛焰向下移动，则其像向上移动。故应填：向主轴上方偏离。

题 4 某同学在做凸透镜成像的实验中发现，当他把点燃的蜡烛、凸透镜和光屏依次安置调整后，无论怎样移动光屏，屏上均不会成清晰的像，其原因可能为： ( )

- A. 蜡烛在凸透镜焦距以内
- B. 蜡烛在凸透镜的焦距之外但在 2 倍焦距之内
- C. 蜡烛距凸透镜恰等于 2 倍焦距
- D. 蜡烛在凸透镜 2 倍焦距之外

只有成虚像才不能被屏所显映。而要成虚像，则要将物体置于凸透镜焦距之内。选项 B、C、D 均成实像且蜡烛均在焦距之外，只有选项 A 满足题中条件。正确选项为 A。

题 5 上题中，若凸透镜和光屏不动，而无论怎样移动蜡烛，光屏上也不能成清晰的像。其原因可能是\_\_\_\_\_。

由实验结果和光路可逆原理知，本题是上题的逆运用。要使蜡烛的像成于屏上，则屏至凸透镜的距离至少要大于焦距，才能成实像而被屏显映。故空内应填：光屏处于凸透镜的焦距之内了。

题 6 一个发光物体沿着一个凸透镜的主轴自焦点稍外一点以不变的速度离凸透镜而去，则其所成的像的运动速度和大小将如何变化？

当这物体开始运动时，它的像自很远处以非常大的速度向透镜运动，但速度越来越慢，物体达 2 倍焦距处时，像与其速度相同。以后像以慢于物体的速度，且越来越慢地向焦点处趋近。这可由实验中蜡烛移动一定距离，同时其像也移动相应的距离看出。像的大小也由原来远大于物体随着物体的离透镜而去和本身向透镜靠近而减小，物和像同时达 2 倍焦距时等大，像在接近焦点时，已缩成几近一个光点。

**【凸透镜的应用】** 凸透镜被广泛地应用于各种光学仪器上。照相机、幻灯机、放大镜等就是利用凸透镜成像的性质制成的。

照相机的镜头由一组各异的凸透镜组成，用以消除各种因素造成的像的“失真”（像差），但其共同的作用相当于一个凸透镜。它在照相底片上成的缩小的实像使其上的光敏感物质感光（虚像则不能），将周围的事物的像记录在小小的胶片上。

幻灯机的镜头也相当于一个凸透镜，它利用凸透镜成放大的实像并用屏幕显映，使观众能看到放大的画面。教学中常见到的投影器（也称投影仪）原理和幻灯机相同，由于使用了和凸透镜作用一样的螺纹透镜，因而透镜直径可以做得很大，幻灯片的尺寸也可以相应增大。可直接将透明标本或绘制的胶片用来投影，并可在投影过程中直接增删，制作和使用都很方便。电影放映机实际上就是胶片不断更新，并在换片时利用人眼的视觉暂留作用定时快速地把胶片遮住的“幻灯机”。由于胶片更换速度很快（每秒 24 张），使我们看到的电影画面就像连续的一样。

用来看到物体放大像的最简单装置是放大镜，它实际上是一个焦距较短的凸透镜。若将物体置于凸透镜焦距之内，我们就可以看到一个放大的

虚像，又由于看到的像是正立的，故给我们的观察带来了方便。由单个凸透镜构成的放大镜其放大倍数是有限的（几倍至二十几倍），要想看到放大倍数更大的像，则要借助于显微镜，它是凸透镜的组合物，第一个凸透镜（物镜）所成被观察物体的放大实像位于第二个凸透镜（目镜）的焦距之内，人眼通过目镜就看到经过再次放大的虚像。故显微镜的放大倍数为物镜和目镜各自放大倍数之积。望远镜也是利用了相似的原理制成的。

用例一 判断凸透镜所成像的性质和大致方位。

题 1 设计制造照相机时，应使照相感光胶片的位置处于

( )

- A. 镜头的 1 倍焦距之内
- B. 镜头的焦点上
- C. 镜头的 1 倍焦距和 2 倍焦距之间
- D. 镜头的 2 倍焦距之外

由于照相机的镜头相当于一个凸透镜，且照相机是把外界景物通过镜头成缩小的实像显映在感光胶片上使其感光的。凸透镜成缩小实像的条件是物体在凸透镜的 2 倍焦距之外而所成的像在焦距和 2 倍焦距之间。故本题应选 C。

题 2 放映幻灯片时，银幕上得到的像相对于幻灯片来讲应是

( )

- A. 倒立的实像
- B. 正立的实像
- C. 倒立的虚像
- D. 正立的虚像

题 3 放映幻灯时，幻灯片要\_\_\_\_\_立插入幻灯机，且距镜头\_\_\_\_\_。

放映幻灯片时，银幕上显映的是放大倒立的实像，所谓“倒立”，是相对于幻灯片上的画面而言，而虚像是不能显映在银幕上的。

由凸透镜成像知识可知，幻灯片应倒置于幻灯机中才能使银幕上呈现“正立”的画面。幻灯片距离镜头应在镜头的焦距和 2 倍焦距之间才能在银幕上成放大实像（恰似题 1 中照相机的光路逆转）。

故题 2 应选 A，题 3 的两个空分别填入：倒；1 倍焦距和 2 倍焦距之间。

题 4 用放大镜可以放大角度吗？

不能。如图 3-51 所示的三角形，若角被放大，则角也将被放大，使三角形内角之和大于  $180^\circ$ ，这是不可能的。放大镜看到的是物体各方向被放大程度相同的像，即三角形三边放大的倍数相同，故角度不能被放大。

用例二 光的强弱对成像的影响。

题 5 若不用强光照射幻灯片，则不能在银幕上显映出清晰的画面，而照相机则可将较暗处的景物拍下来，试说明原因。

不使用强光照射时，幻灯片和银幕处于同样明亮程度的背景下，透过幻灯片的光通过透镜成在银幕上的像就被银幕反射出来的光湮没了，这还没考虑到光经过透镜和长距离在空气中传播所损失的部分。故要用强光照射幻灯片，才能使其透过的光补偿掉所损失的部分外，还能以强于背景的光在银幕上成像并被我们看到。而照相机本身则类似于一个“暗箱”，外界物体反射的光、甚至很微弱的光，都比暗箱里“亮”，能在胶片上成光强于背景的像并使其感光。当然，在光线较弱的地方拍照，也要借助于闪光灯等强光源。

题 6 利用小孔亦可成像，为何照相机不借助小孔成像而要用昂贵的镜头？

利用小孔成像，孔愈小则像愈逼真。但孔小了，通过的光就少，使得像不明亮清晰。使用透镜做成的镜头，由于透光面积增大，通过的光多，因而可成明亮清晰的像，且还可通过调整透镜通光面积（即调“光圈”）来调整所成像的光的强弱。故照相机都使用透镜构成的镜头。

用例三 调整镜头位置或焦距对成像的影响。

题 7 某同学为了在照相底片上留下一建筑物较大的像，则他必须：  
( )

- A. 持照相机远离建筑物，同时伸出镜头
- B. 持照相机靠近建筑物，同时伸出镜头
- C. 持照相机远离建筑物，同时缩短镜头
- D. 持照相机靠近建筑物，同时缩短镜头

由凸透镜成像性质知，当物体向凸透镜的焦点移动时，其实像渐大，并渐渐远离焦点。故要使底片上的像变大且清晰，则要使照相机向建筑物靠近，并使镜头的焦点远离底片，即伸出镜头。所以本题应选 B。

题 8 放大镜为什么要用焦距短的凸透镜来制成？

因用放大镜来观察物体，要将物体放于其焦距之内。故放大镜焦距短，被观察物体则要被放在贴近凸透镜处，这样物体反射来的光通过凸透镜的就多，且物体离焦点很近，故透过的光线近乎平行，观察起来既清晰又不易疲劳。同时，焦距短的凸透镜放大倍数大。

题 9 现代高级照相机及摄像机、摄影机所用的镜头都是可变焦距的。当物体和镜头间的距离改变时，可保持像和镜头的距离不变而得到清晰的像。若用它来连续拍摄离港而去的轮船，则镜头焦距应 ( )

- A. 变小
- B. 变大
- C. 先变小后变大
- D. 不变

由照相机原理知，轮船远在镜头的 2 倍焦距之外。故当轮船远离时，所成的倒立缩小实像将向焦点靠近，若要保持像的位置不变，则焦距应变大，而焦距变大的长度与轮船和镜头间距离相比是微不足道的，且轮船移动很大的距离，只使其像的位置稍有变化。所以本题应选 B。

\*【物体的颜色】 我们平时所见的白光是由七种不同的色光混合而成。使白光通过棱镜便会产生色散而分解成七种色光，故白光不是单色光，是由多种不同色光混合而成的，白光也称复色光。

物体呈现的颜色和构成物体的物质的光学性质有关。光照到不透明的物体上时，部分色光被吸收掉，部分色光被反射出来，被反射出的色光即为我们看到物体的颜色。透明物体的颜色，则是在光通过该物体时，这种色光没被吸收（或没被完全吸收）而透过物体，而其他各种色光则几乎被吸收掉了所致。物体呈白色表明物体几乎不吸收任何色光，黑色物体则吸收掉几乎所有色光。窗玻璃使几乎所有色光通过而呈无色透明。

不同的色光在同一介质中的传播速度也不同，故在介质界面上产生折射的程度也不同，白光通过棱镜产生色散就是这个原因。

若有目的的将不同的色光进行混合，则可“调制”出我们需要的各种色光。用红、绿、蓝三种色光即可混合成所有色光，故红、绿、蓝被称做色光的三原色（也称为光的“三基色”）。

将红、黄、蓝三种颜色的颜料按一定的比例混合，可以调出我们所需的任何一种颜色的颜料，故颜料的三原色是红、黄、蓝，而不像光的三原色是红、绿、蓝。这种差异是因为每种颜色的颜料除了主要反射这种色的光外，还反射或吸收一些较弱的色光，而这些较弱的色光也参与了色光的混合，颜料混合后，呈现的颜色是它们共同反射的色光成分。颜料的颜色还与照射的色光有关，平时我们说它呈何种颜色，那是指白光照射下的结果。

用例一 解释自然界中和日常生活中丰富多彩的颜色现象。

题 1 电影银幕为什么用白色帆布制成而不用其他颜色的材料制成？

电影银幕用白色，是因为白色物体能把放映机射来的所有色光几乎都反射出来，使我们能看到色彩齐全的画面。若用别种颜色，如红色制成，则其只反射放映机射来的红光，使我们看到的画面只有红色部分。

题 2 黑板已是黑色的了，为什么还要做成“毛玻璃”状以防反光？

黑色物体吸收所有色光，理应不会有光被反射。但涂在黑板上的黑颜料并不能将射来的光全部吸收掉，还会有部分被反射（如同每种颜色的颜料也反射微弱的其他色光一样）。故为了防止镜面反射造成炫目，把黑板做成“毛玻璃”状以使其产生漫反射效果。

题 3 为何夏日雨后及瀑布边易见到彩虹？

夏日雨后和瀑布边易形成水雾，阳光（白光）在穿越水雾时产生光的折射，而不同色光的折射程度不同，使白光发生色散而分解成为七色光，被我们看到的恰为一条七色光带，即彩虹。

题 4 用质量不高的放大镜或望远镜观察物体，当所看到的像稍偏离透镜中心时，则所看到的像的边缘有一模糊的彩色轮廓，这是为什么？

因为除中心之外，透镜就像是由一系列梯形环构成，和棱镜一样，光在通过时，因各种色光的折射程度不同而产生色散现象，这彩色的模糊边缘，即为色散造成的，这便是像和物体间的差别，即像差，而透过光心附近的光，色散现象不明显。故使用质量不高的透镜时，物体要尽量靠近主轴，利用近轴光线成像以减小像差。很多仪器使用复杂的透镜或透镜组的目的之一就是用来消除像差的。

题 5 为什么太阳能热水器的吸热面要用黑色的而不用白色的？

阳光照到黑色物体上，几乎所有的光均被吸收，光能转化为内能对水加热，白色物体反射几乎所有的光，光就无法在被照物体上转化成内能，故吸热面要用黑色的。正如夏日里，人们常穿白衬衣而不穿黑衬衣的道理一样。

用例二 判断不同色光或颜料混合后的颜色。

题 6 在无其他光源的情况下，舞台追光灯发出的绿光照在穿白上衣，红裙子的演员身上，观众看到她（ ）

- A. 全身呈绿色
- B. 上衣呈绿色，裙子不变色
- C. 上衣呈绿色，裙子呈紫色
- D. 上衣呈绿色，裙子呈黑色

因任何色光照到白色物体上，物体就呈这色光的颜色，故上衣呈绿色。因绿光可认为是白光照到黄和蓝两种颜料的混合物上反射出来的（黄颜料能反射白光中的红、橙、黄、绿四种色光，蓝颜料则吸收其中的红、橙、黄三种色光，故它们的混合物呈绿色），故用绿光照射红颜料，相当于用

白光照射红、黄、蓝三种颜料的混合物，所以呈黑色。故本题正确选项应为 D。

题 7 投影电视为何只有三种颜色的光射到银幕上？

这三种光是红、绿、蓝，用这三种光即可混合成所有其它颜色的色光，而不必用七个镜头投射七种光，以降低设备的生产技术要求 and 成本。彩色电视机屏上的每个像点，亦均可发出三原色光，根据要求，三原色的各色光或明或暗，可混合出各种不同的色光。

\*【光路图的作法】 在光学作图中，常用带有箭头的直线来表示光的传播路径，箭头所指的方向即为光的传播方向，这样的直线叫做光线。光学仪器（或称光具）也常用符号来表示，图 3-52 即为部分光具的符号。由光线和光具符号构成的表示光的传播情况的图称光路图。光路图形象而清楚地表示了光沿直线传播情况及光具等外界因素对光的传播方向的影响。由它可定性地对光的传播过程进行分析，甚至直接由图上定量测出结果（如确定像的位置、大小、正倒等）。

要准确无误地作出光路图，应注意以下几点：

1. 图中每一条光线都遵守光的传播规律。如光的直线传播、光的反射定律、折射规律等。

2. 作图中除了利用物理规律外，应尽可能多地利用数学中几何作图的方法和技巧，如画平行线、垂线的方法等。

3. 作图时，特别是要利用图定量求问题的解时，所画的线条要尽量的细而准确，不要因所画线条太粗引起误差，且要保持图清晰美观。

4. 对已知条件的定位，如焦点的位置、物距、入射角等要力求准确，它直接关系到作图求解的准确性。

5. 光线穿过介质界面或改变方向前后的线段均要分别标上箭头。

6. 要注意区别两条易混淆的光线，如通过光具后交叉的光线等。

7. 虚像要用虚线画出，构成虚像的实光线的反向延长线（虚光线）也要用虚线画出且不标箭头。

用例一 描述光的传播方向。

题 1 试作出一细光束由空气射至水面上（如图 3-53 示），其光传播方向变化的光路图。

这束光射至水面上时，将同时发生光的反射和折射现象（如图 3-54 示）。由光的反射定律，可作出反射光线 OB。又因光是由空气射入水中，由介质的性质知，折射角应小于入射角，可定性作出折射光线 OC。

题 2 图 3-55 所示为光线射至球面镜上的情况，试作图求出它们的反射光线。

本题的难点在于如何确定入射角和反射角，亦即如何确定法线的取向。球面的法线应为过以入射点为切点的切线的垂线，故可先作过入射点的切线，再过切点（入射点）作该切线的垂线，即法线 N。由反射定律即可作出反射光线如图 3-56。先作切线的方法易引起误差，特别是球面半径很大的时候尤其如此，因而可先用几何作图法找出球（圆）心的位置 O，连接球心和入射点的直线即为法线。

题 3 一发光点 S 置于一凸透镜前如图 3-57 所示。作出发光点发出的平行于透镜主轴、通过焦点、通过光心三条光线经过透镜后的光路图。

这是经过凸透镜的三条特殊光线，由凸透镜知识，可作出这三条光线

如图 3-58 所示。应注意到这三条光线交于一点  $S'$ ，实际上这就是  $S$  的像。

**用例二 确定平面镜成像的位置、大小、正倒、虚实和能看到像的范围。**

**题 4** 试由作图法确定图 3-59 中物体  $A$  在平面镜  $M$  中所成像的位置和性质。

因为两条不平行直线可以确定一个点，所以从物体上任一点（这里取有代表性的物体两端）反射出来的光，作任意两条光线射至镜面上，然后由光的反射定律作出它们的反射光线。很明显，从一点射来的两条光线经平面镜反射后是发散开的，但它们的反向延长线交于镜后一点，这就是物体  $A$  上对应点的像，由此可确定整个像  $A'$ （如图 3-60 示）。从图中可直接量出像的大小、至镜的距离及看出正倒等，因所成像是实际光线的反向延长线所致，故是虚像。由此可验证平面镜所成像的性质。

为简便计，有的点，如图中箭头尖端点，可作垂直于镜面的入射光线，反射光线当然沿这条线，但方向相反，故可省去作图量角等的麻烦，如图 3-61 所示。

**题 5** 试在图 3-59 中作出用平面镜  $M$  看到物体  $A$  下端点的范围。

这范围受镜面  $M$  的尺寸限制，过  $A$  的下端点向镜的上下端分别作光线，它们的反射光线即为该范围边界，如图 3-62 所示。

用此法也可以确定看到整个像的范围。亦可由此验证要通过平面镜看到自己的全身，则平面镜长度至少要有身高的一半。

**用例三 由所成的像判断光线的路径。**

**题 6** 如图 3-63 所示，一人从一罩上的小孔  $H$  中通过平面镜  $M$  看到一物点  $O$ 。试作出这过程的光路图。

本题的难点在于不易找到物  $O$  的光线在镜  $M$  上的反射点。人由小孔通过平面镜看到物点  $O$ ，就是看到了物体的像，即人目和这像应在一条直线上。故先在镜  $M$  中作出物  $O$  的像  $O'$ ，连接  $HO'$ ，连线与镜面的交点即为光线的入射点，也即为反射点。再将  $O$  与该点相连，即为入射光线，标上箭头，如图 3-64 所示。

**题 7** 如图 3-65 所示，一人在  $E$  点无法直接看到物点  $S$ ，但他可通过五成角度的两平面镜  $M_1$  和  $M_2$  看到。试作出他看到  $S$  的光路图。

本题的难点也在于如何找到两个入射点。人通过镜  $M_1$  看到  $S$  在  $M_2$  中的像，故先在镜  $M_2$  中作出  $S$  的像  $S'$ 。人看到像  $S'$ ，则人的像应也能“看到  $S'$ ”，且人的像  $E'$  应是“直接看到” $S'$ ，即它们在一条直线上（如图 3-66 示）。作出人的像  $E'$ ，连接  $E'S'$ ，其与镜  $M_1$  和  $M_2$  的交点即为反射点。仿上题，可作出从  $E$  点看到  $S$  的完整光路图。

**用例四 作图解释光学现象。**

**题 8** 在点燃的蜡烛近旁放一剪纸，则可在不远处的墙上看到剪纸的影子，但影子的边缘处明暗不清晰，试作图解释之。

这是因为烛焰有一定的大小，且烛焰上不同处发出的光均沿直线传播。如图 3-67 所示，剪纸的影子有的是光线完全达不到的区域，有的是部分光线达不到的区域。光线部分达不到的区域就形成了影子的模糊边缘。光学上，将光线完全达不到而形成的影子称为本影，光线部分达不到的区域（即模糊的边缘）称为半影。

题 9 人在一蓄水池边可看到水下的出水孔盖（如图 3-68 示），而水用完后却看不到了，试作图说明之。

如图 3-69，有水时，人眼 E 通过水的折射看到出水孔盖 H。而无水时，由光的直线传播可知，只能看到池底 B 点，故看不到孔盖了。

用例五 由光线判断所用光具类型。

题 10 由一点状光源 S 发出的光经一装有一个光学仪器的匣子 B 后出射光线如图 3-70 所示，试作图确定匣中光具类型。

作图将进入匣的光线和射出匣的光线连起来，如图 3-71 示。由图可看出，虽射出光线是发散的，但较入射光线其发散程度已减轻了，故知这光具对光线有会聚作用；又知光线是透过光具的，所以可认为这光具是凸透镜，可在光线的弯折处画上凸透镜或其符号。

题 11 图 3-72 所示是光线 A、B 经透镜折射以后传播的情况，虚线处放的透镜是：（ ）

- A. 凸透镜
- B. 凹透镜
- C. 凸、凹透镜都可以
- D. 无法判断

因为 A、B 两光线不是平行光，而是会聚光线，经过折射后会聚到 A 点，无明显的可判别的特征。可设 A、B 没有经过透镜，画出其自然相交点 A'（虚线所示）；而经过透镜后其相交于 A 点。因为  $OA > OA'$ ，说明经透镜后，A、B 光线向外偏离了，此透镜使光线发散了。故本题应选 B。图 3-72

## 电磁学

**【摩擦起电】** 用摩擦的方法使物体带电，叫做摩擦起电。摩擦过的塑料棒、玻璃棒等能够吸引轻小物体，就是因为它们通过摩擦而带了电的缘故。

原子的中心是由带正电的质子和不带电的中子组成的原子核，核的周围是绕核高速运转的带负电的电子。在通常情况下，原子核带的正电荷数跟核外电子带的总的负电荷数相等，整个原子呈电中性，即不显示电性。物体有多余电子就带负电，缺少了电子就带正电。由于不同的原子核束缚电子的本领不同，当两个物体相互摩擦的时候，哪个物体的原子核束缚电子的本领较弱，它的一些电子就会转移到另一个物体上。失去电子的物体因缺少电子而带正电，得到电子的物体因有了多余的电子而带等量负电。所以，摩擦起电，只是电子从一个物体转移到另一个物体上。

**【两种电荷】** 自然界中的电荷只有两种，即正电荷和负电荷。由丝绸摩擦的玻璃棒所带的电荷叫做正电荷，由毛皮摩擦的橡胶棒所带的电荷叫负电荷。

电荷的最基本的性质是：同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

用例 根据摩擦起电的原理和电荷的基本性质讨论一些具体问题。

题 1 有两个轻小物体，彼此靠近时相互吸引，那么这两个物体是否一定都带电？它们都带何种电荷？为什么？

有人认为，根据电荷的基本性质——异种电荷相互吸引，就能作出“它们带的肯定是异种电荷”的结论。这个结论是错误的，因为带电体有吸引轻小物体的性质。

实际上，两个轻小物体相互靠近而吸引，有两种可能，一种是两个轻小物体都带电，且带的是异种电荷，所以它们相互吸引；另一种是根据带电体能吸引轻小物体的性质，两个轻小物体中只要一个带电（正电或负电都行），它们之间也能互相吸引。

题 2 有两个轻小物体，彼此靠近时相互排斥，那么这两个物体是否一定都带电？它们都带何种电荷？为什么？

此题与上题情况正好相反。在此题中，这两个物体肯定都带电，且带的是同种电荷（都为正电荷或都为负电荷）。因为如果不是这样，那么无论如何也不会出现“相互排斥”的情况的。

**【验电器】** 检验物体是不是带电的仪器叫做验电器，如图 4-1 所示，当带电体接触不带电的验电器金属球时，就有一部分电荷转移到验电器的金属箔上，这两片金属箔由于带同种电荷相互排斥而张开，带电体所带的电荷越多，验电器金属箔张开的角度就越大。

用例一 关于验电器问题的讨论。

题 1 把用毛皮摩擦过的硬橡胶棒接触验电器金属球，再将另一个带电体接触验电器的金属球，发现验电器金属箔片张角变大。则该带电体带的是 ( )

- A. 正电荷
- B. 负电荷
- C. 正电荷或负电荷
- D. 无法确定

因为用毛皮摩擦过的硬橡胶棒上带负电荷，所以验电器本来是带负电荷而使金属箔张开的。现另一带电体接触验电器金属球后，金属箔的张角

更大，说明验电器带的负电荷增多了，这增多的负电荷是由“另一带电体”提供的，所以“另一带电体”带负电，本题应选 B。

题 2 有个验电器，它的箔片是张开的，但不知它带的是何种电荷。现用丝绸摩擦过的玻璃棒，与该验电器的金属球充分接触后，发现验电器先逐渐闭合，又逐渐张开一定角度，试分析说明验电器原来带什么电荷？它与玻璃棒接触后，又带的是何种电荷？

对此题必须分两个过程进行分析：1. 验电器箔片闭合过程；2. 闭合后逐渐张开过程。

对第一过程，本来验电器金属箔是张开的，说明它带有电荷，用丝绸摩擦过的玻璃棒与其金属球接触后，张角变小直至闭合，说明玻璃棒带电的性质与验电器原来带电的性质相反，发生了“中和现象”，而用丝绸摩擦过的玻璃棒上带的是正电荷，所以验电器上本来带的是负电荷。

对第二过程，金属箔片由闭合又张开则说明，玻璃棒上又有一些正电荷“转移”到了金属箔片上去了，这说明玻璃棒上带的正电荷比验电器上带的负电荷多，玻璃棒所带的正电荷将验电器上所带的负电荷完全中和掉后还有多余的正电荷，或者说玻璃棒上缺少电子，这时验电器上的电子将继续往玻璃棒上转移，所以验电器箔片又张开了，此时验电器由于缺少电子而带正电。

**【导体和绝缘体】** 容易导电的物体叫做导体。如金属、大地、人体及各种酸、碱、盐的水溶液，都是导体。不容易导电的物体叫做绝缘体，如橡胶、玻璃、塑料、陶瓷、油等都是绝缘体。

导体容易导电，是由于导体内部存在着大量的可以自由移动的电荷（简称自由电荷），因此在导体里，电荷能从一个地方移动到别的地方；绝缘体不容易导电，是因为绝缘体中的电荷几乎都被束缚在原子或分子的范围内，不能自由移动，因此在绝缘体里电荷几乎不能从一个地方移动到别的地方。

导体和绝缘体之间没有绝对的界限，在通常情况下是很好的绝缘体，当条件改变时也可能变成导体。

图 4-2 是常温下各种物体的导电和绝缘能力的顺序排列。从上到下，绝缘能力越来越强；从下到上，导电能力越来越强。

**【电源】** 把其它形式的能转化为电能的装置叫做电源，如干电池、蓄电池、发电机等。

把机械能以外的其它形式的能直接转化为电源的装置都叫做电池。干电池、蓄电池等化学电池是把化学能转化为电能的电源，化学电池是由两种不同的金属导体浸在酸、碱、盐的水溶液里构成的。

电源的作用是能够给闭合的回路提供持续的电流。电源有两个极——正极和负极，电源工作时，电流是从其正极流出，经过导线、用电器等后又回到其负极。

**【电路和电路图】** 由电源、用电器、导线、开关等元件组成的电流的路径叫电路。一般地说，电路有通路、断路、短路三种情形。要使电路中有电流，电路必须是处处连通的，这叫通路；电路中没有电流，电路没有闭合，这叫断路；电流没有经过用电器而直接构成回路，叫短路，发生短路时，电路中的电流很大。

用统一规定的符号来代表电路中的各种元件，用图形来表示电路连接

情况的图叫做电路图。

**【串联电路】** 串联电路是一种最基本的电路。如图 4-3 所示，把电路元件逐个依次连接起来的方法叫串联。其特点是，只要一个用电器损坏，则其余的用电器便不能工作。电流从电源的正极流出后不分支路，依次通过各个用电器后，直接流回电源的负极。

**【并联电路】** 并联电路同串联电路一样，也是一种最基本的电路连接方法。所谓并联，就是把电路元件并列连接在电路两端的连接方法，如图 4-4 所示。该种电路的特点是，切断一个支路，其余各支路照常可以工作。电流从电源的正极流出后，分成几条支路又汇合在一起流回电源的负极。

**【混联电路】** 在一个电路中，如果有的元件之间是串联的关系，有的元件之间是并联关系，那么这个电路就叫做混联电路。

如图 4-5 甲、乙所示均为混联电路。在甲图中， $L_1$  和  $L_2$  是串联关系，但  $L_1$ 、 $L_2$  一起与  $L_3$  之间是并联关系；在乙图中， $L_1$  和  $L_2$  是并联的关系，但  $L_1$ 、 $L_2$  一起与  $L_3$  之间是串联的关系。

综上所述，混联电路是由两种最基本的电路——串联电路和并联电路混合组成的电路。

**用例一 判断元件之间的串、并联关系。**

**题 1** 在图 4-6 所示的电路中，电灯  $L_1$  和  $L_2$  是怎样联接的？

判断元件之间是怎样一种连接方式，可根据串、并联电路的连接特点进行判断，当断开任意一个元件，整个电路都被切断时即为串联，当断开任意一个元件而其它元件照常工作时即为并联。由此法可以很简单地判断出图 4-6 中  $L_1$ 、 $L_2$  之间是并联关系。

**题 2** 学校中的所有照明电灯是串联的关系，还是并联的关系？

回答是并联关系。因为如果是串联的关系，那么如果有一盏灯坏了，所有的灯就都会熄灭，而实际情况不是这样的，一盏灯熄灭，其余的灯仍然亮着。

**题 3** 如图 4-7 所示，这是甲同学连接的串联电路图，也是乙同学连接的并联电路图。试指出他们的错误，并改正过来。

如图 4-7 所示，当开关 S 闭合后，电流将从电源的正极流出，经过 abcdef 回到电源的负极，电流并没有通过任何一个用电器，所以谈不上是串联还是并联，而是一种短路现象。若要将其变成串联电路，应使  $L_1$  和  $L_2$  依次连接在电路里，这里只要拆除 de 这段导线就能满足要求；若要将其变成并联电路，应将  $L_1$ 、 $L_2$  并列接在电路里。这里，只要将导线 ef 的 e 端拆下接到 g 处就能满足要求。

**用例二 设计串、并联电路。**

**题 4** 现有 A、B 两个相距较远的办公室，为了传呼方便，两个办公室各装一个电铃，每个电铃配备一个开关，要使两个办公室的任何一方按开关，都能使对方的电铃发声，且电池组要装在 B 办公室，试设计一个符合上述要求的电路图。

设计的电路图如图 4-8。这里关键是要想到：这两个电铃必须是并联关系。

**题 5** 如图 4-9 所示，试分别连接甲、乙两个电路，使两种情形下的

$L_1$ 、 $L_2$  都是并联关系，并且开关  $S$  能够同时控制两盏电灯（电路各元件的位置不能移动）。

对本题，要考虑两个因素，一是  $L_1$ 、 $L_2$  必须并联，二是开关  $S$  必须在总路而不是支路中才能同时控制  $L_1$ 、 $L_2$ ，满足这两点即行。其连接图见图 4 - 10。

题 6 图 4 - 11 给出了电灯  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ ，开关  $S_1$  和  $S$  以及电池。要求：使  $L_1$  和  $L_2$  并联，它们再与  $L_3$  串联； $S_1$  控制  $L_1$ ， $S$  作为总开关。试画出此电路图（电路元件的位置不许移动）。

其电路图如图 4-12 所示。

### 【连接简单的串联电路和并联电路】

**实验目的** 练习连接最简单的一种串联电路和一种并

联电路，学习和掌握串联、并联这两种最基本的电路连接方法。

**实验器材** 灯泡两只（带灯座及接线柱），开关两只，电源及若干根导线。

**实验步骤** 连接串联电路时，从电源的某极（正极或负极）开始（图 4 - 13 甲），按要求连接电灯及开关，最后与电源的另一极连接，连接过程中，开关始终是断开的。连接并联电路时，先连接并联部分，再连接干路导线。电路连接好以后，要根据电路图（图 4 - 13 乙）认真审查，防止短路。实验完毕，要先断开开关，拆线时应先拆除与电源连接的导线。

**【电量】** 不同的带电体所带的电荷数是不相同的，电荷的多少叫做电量，用字母  $Q$  来表示。在国际单位制中，电量的单位是库仑，简称库，用符号  $C$  表示。

电量的天然最小单位是一个电子所带的电量。1 库电量相当于  $6.25 \times 10^{18}$  个电子所带的电量，所以，每一个电子所带的电量是  $\frac{1\text{库}}{6.25 \times 10^{18}} = 1.6 \times 10^{-19}$  库。而每一个物体所带的电量均为一个电子所带电量的整数倍。

计算电量的常用公式有：

$$Q = It \text{ (根据 } I = \frac{Q}{t} \text{ 变换) ;}$$

$$Q = \frac{W}{U} \text{ (根据电功 } W = IUt = QU \text{ 变换) .}$$

**用例一** 根据电流定义式的变换式  $Q=It$ ，计算通过导体的电量和电子数。

**题 1** 一个家用电熨斗工作时的电流是 1.5 安，求每秒钟通过电熨斗的电量。

计算通过电熨斗的电量  $Q$  可以根据  $I = \frac{Q}{t}$  的变换式  $Q = It$  求出，时间  $t = 1$  秒， $I = 1.5$  安。

$$Q = It = 1.5 \text{ 安} \times 1 \text{ 秒} = 1.5 \text{ 库} .$$

**题 2** 有一个电子计算器工作时电流为 20 微安，求工作 5 秒时通过电子计算器的电子个数。

要知道通过电子计算器的电子个数，必须先计算电量，虽不能直接测

量电量,但可根据电流、通电时间与电量的关系计算电量,1库相当于  $6.25 \times 10^{18}$  个电子所带的电量,由此便可计算出通过计算器的电子个数.计算中电流  $I$ 、电量  $Q$ 、时间  $t$  的单位分别为安、库、秒.

电流  $I=20$  微安  $=20 \times 10^{-6}$  安  $=2.0 \times 10^{-5}$  安,

时间  $t=5$  秒,

根据  $I = \frac{Q}{t}$ , 得:

$Q=It=2.0 \times 10^{-5}$  安  $\times 5$  秒  $=1.0 \times 10^{-4}$  库.

因为1库相当于  $6.25 \times 10^{18}$  个电子所带的电量,所以电子数

$n=6.25 \times 10^{18}$  个/库  $\times 1.0 \times 10^{-4}$  库  $=6.25 \times 10^{14}$  个.

用例二 根据  $W = IUt = QU$  的变换式  $Q = \frac{W}{U}$  计算通过导体的电量.

题3 某电路两端的电压为3伏,4秒钟内电流做了15焦的功,求通过该电路的电量和这段电路的电阻.

根据电流在某段电路上所做的功  $W = IUt$  和电流的定义式  $I = \frac{Q}{t}$ , 可得

$W = QU$ ,  $Q = \frac{W}{U}$ , 所以, 通过该电路的电量:

$Q = \frac{W}{U} = 5$  库.

通过电阻的电流  $I = \frac{Q}{t} = \frac{5 \text{库}}{4 \text{秒}} = 1.25$  安,

根据  $I = \frac{U}{R}$ , 得  $R = \frac{U}{I}$ , 这段电路的电阻:

$R = \frac{U}{I} = \frac{3 \text{伏}}{1.25 \text{安}} = 2.4$  欧.

---

**【电流】** 1秒钟内通过导体横截面的电量叫做电流强度,简称电流.电流强度是表示电流强弱的物理量(为叙述方便,以下均用 $I$ 代替电流强度),用字母  $I$  表示电流,用字母  $Q$  表示电量,用  $t$  表示时间,那么  $I = \frac{Q}{t}$ .

电流的国际单位是安培,简称安.安培的符号是  $A$ ,  $1 \text{安} = 1 \text{库/秒}$ , 它的物理意义是:在1秒钟内通过导体横截面的电量为1库时的电流为1安.比安小的单位有毫安( $\text{mA}$ )和微安( $\mu\text{A}$ ),它们的换算关系如下:

$1 \text{安} = 1000 \text{毫安}$ ,  $1 \text{毫安} = 1000 \text{微安}$ .

测量电路中的电流的仪表叫电流表,实验中使用的电流表通常以安为单位(有关电流表的知识见辞条“电流表”).

在物理学上,把正电荷定向移动的方向规定为电流的方向.由于电路中的电流不一定只是由正电荷的定向移动而形成,所以应注意区分以下两种情况:

1. 如果导体中的电流是由正电荷定向移动形成的,那么电流的方向就和正电荷定向移动的方向相同;

2. 如果导体中的电流是由负电荷定向移动形成的,那么电流的方向就

和负电荷定向移动的方向相反。

例如，金属导体中的电流是由带负电的自由电子定向移动形成的，所以金属导体中的电流方向跟自由电子的实际定向移动方向相反。

要理解电流，必须弄清下列问题：

1. 电量大，电流不一定大。

2. 对于  $I = \frac{Q}{t}$ ，不能简单地把电流  $I$  和电量  $Q$  的关系说成  $I$  和  $Q$  成正比，

应该说，当通电时间  $t$  一定时， $I$  和  $Q$  成正比，即相等的时间内，通过导体的电量越大，电流也越大。

3. 电流的大小与定义中所说的导体横截面的大小无关。定义中的导体横截面，是测量时作为统计通过的电量而设想的“界面”，只要导体内电流稳定，不论横截面取在什么地方，也不论横截面有多大，在相等时间内通过导体横截面的电量总是相等的。

用例一 根据电流的定义式  $I = \frac{Q}{t}$ ，计算导体中的电流。

题1 将甲、乙两个导体接在同一电路中，20秒钟内通过甲导体的电量为40库，0.2秒钟内通过乙导体的电量为2库，求通过甲、乙导体的电流，并判断甲、乙导体的连接方式。

题目中已告诉我们通过导体横截面的电量和通电时间，电流的大小可根据电流的定义式解出。

根据电流的定义式  $I = \frac{Q}{t}$ ，有：

$$I_{\text{甲}} = \frac{Q_{\text{甲}}}{t_{\text{甲}}} = \frac{40\text{库}}{20\text{秒}} = 2\text{安},$$

$$I_{\text{乙}} = \frac{Q_{\text{乙}}}{t_{\text{乙}}} = \frac{2\text{库}}{0.2\text{秒}} = 10\text{安}$$

由于  $I_{\text{甲}} < I_{\text{乙}}$ ，所以甲、乙导体的连接方式是并联。

由此题应了解到：电量大，电流不一定大。电量是指电荷的多少，而电流是指1秒钟内通过导体横截面的电荷的多少，所以研究电量，只要考虑电荷的多少就可以了，而研究电流的大小，只考虑通过导体横截面的电荷的多少是不够的，必须同时考虑通电时间这一因素。如果通过导体的电量很大，但通电时间也很长，那么通过导体的电流并不一定很大，如本题中通过甲的电量虽然比乙大，由于通电时间长，电流反而比乙小。

用例二 根据电流定义式的变换式  $Q = It$ ，计算通过导体的电量和电子数。

题2 测得一个灯泡中通过的电流是100毫安，那么在3分钟内通过灯丝的电子数是多少？

要求通过灯丝的电子数，必须先求出通过灯丝的电量  $Q$ 。电量  $Q$  可根据  $I = \frac{Q}{t}$  的变换式  $Q = It$  求出，注意各物理量用国际单位。电流  $I = 100$  毫

安 = 0.1安，时间  $t = 3$  分钟 = 180秒。

根据  $I = \frac{Q}{t}$ ，得：

$Q=It=0.1 \text{ 安} \times 180 \text{ 秒}=18 \text{ 库}$ ,

1 库电量相当于  $6.25 \times 10^{18}$  个电子所带的电量, 则通过灯丝的电子数  $n=6.25 \times 10^{18} \text{ 个/库} \times 18 \text{ 库}=1.125 \times 10^{20}$  个。

用例三 根据电流的定义, 判断导体中的电流的大小。

题 3 有一粗细不均匀的导线, 已知粗段与细段横截面的半径比  $r_1$   
 $r_2=2:1$ , 那么当电流通过这一导体时, 粗段电流  $I_1$  和细段电流  $I_2$  的关系是: ( )

- A.  $I_1=2I_2$                       B.  $2I_1=I_2$   
C.  $4I_1=I_2$                       D.  $I_1=I_2$

由于电流的大小与同一导体的横截面的大小无关, 故同一导线中各处电流总是相等的, 即  $I_1=I_2$ , 本题应选 D.

解答本题还有一种思考方法, 把原导体看作由粗段与细段两部分组成, 两者组成串联电路, 根据串联电路中各导体中的电流相等, 应选 D.

用例四 根据电流的定义式和电功  $W=IUt$ , 计算电量和电功。

题 4 将一节新的干电池作电路的电源, 当通过导体的电量为 2 库时, 电流做多少焦的功? 如改用三只蓄电池串联组成的电源, 电流做了 45 焦的功, 通过导体的电量是多少库?

首先, 应注意到题目中的隐含条件, 一节新的干电池的电压为 1.5 伏, 三只蓄电池串联组成的电源电压为 6 伏; 其次, 当题目中同时出现通过导体的电量和电流做功等条件时, 应考虑把公式  $I = \frac{Q}{t}$  和  $W = IUt$  结合起来

解题。

根据  $I = \frac{Q}{t}$ , 得  $Q = It$ , 代入  $W = IUt$  中, 得  $W = QU$ 。

当用一节新的干电池作电源时,  
 $U_1=1.5 \text{ 伏}$ ,  $Q_1=2 \text{ 库}$ ; 所以电流做的功:

$W_1=U_1Q_1=1.5 \text{ 伏} \times 2 \text{ 库}=3 \text{ 焦}$ 。

当用三只蓄电池作电源时,  
 $U_2=6 \text{ 伏}$ ,  $W_2=45 \text{ 焦}$ ;

因为  $W=QU$ , 所以通过导体的电量:

$$Q_2 = \frac{W_2}{U_2} = \frac{45 \text{ 焦}}{6 \text{ 伏}} = 7.5 \text{ 库}。$$

【电流表】 测量电路中的电流的仪表叫电流表。实验中使用的电流表通常以安培为单位。

图 4 - 14 是电流表示意图, 一只电流表应有以下几个部分:

1. 标记。表盘上有大写英文字母 A。
2. 刻度。如图中所示, 表盘上刻度分两行, 每行有 3 个大格共 30 个小格; 上行刻度的量程是 0~3 安, 下行刻度的量程是 0~0.6 安。
3. 接线柱。如图中所示, 三个接线柱分别标有“+”、“0.6”和“3”标记, 有的电流表标“-”、“0.6”和“3”。其中“+”接线柱是公共端, 电流从该接线柱流入, “0.6”和“3”是相应量程的“-”接线柱。有的电流表是“-”接线柱为公共端, “0.6”和“3”是相应量程的“+”接线柱。

4. 读数。电流表的“0”点通常在左端，当被测电路中电流为零时，指针指在“0”点；当被测电路中有电流时，指针偏转，指针稳定后所指刻度就是被测电路中的电流值。若量程为0~3安，表盘刻度每大格表示1安，每小格表示0.1安；若量程为0~0.6安，每大格表示0.2安，每小格表示0.02安。电流表的示数为每格表示值与格数的乘积。

正确使用电流表的方法：

1. 电流表要串联在被测电路中。
2. 将电流表接入电路时，必须使电流从“+”接线柱流进电流表，从“-”接线柱流出来。因此，在将电流表接入电路前应先判断电路中电流方向。
3. 被测电流不得超过电流表的量程，以免损坏电流表。在不能预先估算电流大小的情况下，应先拿电路的一个线头快速试触最大量程的接线柱，如果指针示数在较小量程范围内，再使用较小量程。
4. 绝对不允许把电流表的两个接线柱直接连接到电源的两极上，以免烧坏电流表。

用例一 正确读出电流表的指针示数。

题1 图4-15是连入电路的电流表的示意图。根据指针所指的位置，电流表的示数应为 ( )

- A. 1.2安                      B. 0.22安  
C. 0.24安                      D. 1.4安

读电表（电流表、电压表）的示数，一般要做到：

1. 判断电表是电流表还是电压表，表盘上有符号A的是电流表，有符号V的是电压表；
2. 看清电表使用的是哪个量程，切忌只看指针不看量程而盲目读数；
3. 弄清刻度盘上每一大格和每一小格各表示多少安培或伏特，然后开始读数。该题中是电流表，用的是“+”和“0.6”两个接线柱，即量程为0~0.6安，应读刻度盘上下面的那一排字，此时每大格表示0.2安，每小格表示0.02安，该题指针指在1大格2小格处，所以电流表的示数应为0.2安×1+0.02安×2=0.24安。该题答案应选C。

若此题中的电流表用的是“+”和“3”两个接线柱，指针位置不动，这时电流表的示数应为1安×1+0.1安×2=1.2安。

用例二 根据电流表、电压表的使用规则在电路图中正确填图。

题2 在图4-16所示的电路中，电源电压为6伏，灯泡电阻为12欧，要测量通过灯泡L的电流和它两端电压。请在图中圆圈内标明哪一个是电流表，哪一个是电压表，标明电表的“+”、“-”接线柱，并指出各用什么量程。

根据电流表应串联在电路中的要求，a圆圈应为电流表，上为“+”接线柱，下为“-”接线柱。根据电压表应与要测量的那部分电路并联的要求，b圆圈应为电压表，上为“-”接线柱，下为“+”接线柱，根据欧姆定律，

$$\text{电路中电流 } I = \frac{U}{R} = \frac{6\text{伏}}{12\text{欧}} = 0.5\text{安}, \text{ 所以电流表的量程用 } 0 \sim 0.6\text{安}, \text{ 电压}$$

表的量程用0~1.5伏。

这里要特别注意：若在b圆圈内填上“A”，a圆圈两端用导线连接，就是将电流表两接线柱直接连接在电源上，这是绝对不能允许的；若在b圆圈内填上“A”，a圆圈内填上“V”，则此时电压表的示数接近电源的

电压值，电流表的示数几乎为零（原因是电压表本身电阻很大，电流表本身电阻很小）。

**【用电流表测电流】** 实验目的学会用电流表测电路中的电流；研究串联电路和并联电路中的电流关系。

**实验器材** 干电池两节，电流表一只，小灯泡两只，开关一个，导线若干根。

**实验步骤** 1.测串联电路中的电流，并研究串联电路中的电流关系。

(1)按图 4 - 17 所示的电路图连接好电路。

(2)按电流表使用规则把电流表串接在电路中的 a 处，经检查电路连接无误后，合上开关 S，测出 a 处的电流值  $I_a$ ，并填入表一中。

(3)再把电流表先后接在电路中的 b 处和 c 处，合上开关 S 后，分别测出这两处的电流值  $I_b$ 、 $I_c$ ，并填入表一中。

表一

测量处	a	b	c
电流(安)			
结论			

(4)比较测得的数据  $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$  的大小，得出实验结论，并填入表一结论栏中。

2.测并联电路中的电流，并研究并联电路中的电流关系。

(1)按图 4 - 18 所示的电路图连接好电路。

(2)按电流表使用规则把电流表串接在电路中的 d 处，经检查电路连接无误后，合上开关 S，测出 d 处的电流值  $I_d$ ，并填入表二中。

(3)再把电流表分别接在电路中的 e 处和 f 处，测出两个支路中的电流值  $I_e$  和  $I_f$ ，并填入表二中。

表二

测量处	d	e	f
电流(安)			
结论			

(4)将  $I_d$  与  $I_e$ 、 $I_f$  的大小进行比较，再将  $I_d$  与  $I_e + I_f$  进行比较，得出实验结论，并填入表二的结论栏中。

**【电流的效应】** 导体中有电流的时候，会发生一些特有的现象，根据这些现象就可以判定电流的存在，我们把这些现象叫做电流的效应。

电流的效应有：电流的热效应、电流的化学效应和电流的磁效应。

**电流的热效应** 电流通过导体的时候，导体发热的现象叫做电流的热效应。电炉、电烙铁、生活中用来烧水的“热得快”等都是利用电流的热效应来工作的。

**电流的化学效应** 导电溶液里有电流通过的时候，其中会发生某种化学变化，这种现象叫做电流的化学效应。工业上常利用电流的化学效应来进行电解、电镀，如提炼铝和铜等。

**电流的磁效应** 当导体中有电流的时候，在通电导线周围存在着磁

场，这种现象叫做电流的磁效应。电磁铁就是利用电流的磁效应来工作的。

用例一 判断日常生产、生活中的现象是利用电流的哪种效应工作的。

题 1 电炉、电烙铁是利用电流的\_\_\_\_来工作的；电镀是利用电流的\_\_\_\_来工作的；电磁铁是利用电流的\_\_\_\_来工作的。

当电炉、电烙铁中有电流通过的时候，都要发热，说明电炉、电烙铁是利用电流的热效应工作的；在电镀的过程中，溶液里要发生化学变化，说明电镀是利用电流的化学效应工作的；当电磁铁中有电流通过时，电磁铁产生跟磁铁相同的作用，说明电磁铁是利用电流的磁效应工作的。所以，该题的答案是：热效应；化学效应；磁效应。

题 2 下列说法中，错误的是： ( )

- A. 电铃是利用电流的磁效应工作的
- B. 炼铜是利用电流的热效应工作的
- C. 电解是利用电流的化学效应工作的
- D. 炼铝是利用电流的化学效应工作的

电铃是利用电磁铁来工作的，即利用电流的磁效应工作的；在电解过程中，溶液里要发生化学变化，炼铜、炼铝的过程，也要发生化学变化，所以炼铜、炼铝都是利用电流的化学效应工作的。该题要求找出错误的说法，所以答案应选 B。

【电压】 电压是使自由电荷发生定向移动形成电流的原因，电压用字母 U 来表示。

在国际单位制中，电压的单位是伏特，简称伏。在某段电路上每通过 1 库电量时，电流所做的功如果是 1 焦，这段电路两端的电压就是 1 伏，伏特的符号是 V。比伏特大的单位有千伏(kV)和兆伏(MV)，比伏特小的单位有毫伏(mV)和微伏( $\mu$ V)。它们的换算关系是：

1 兆伏=1000 千伏，1 千伏=1000 伏，  
1 伏=1000 毫伏，1 毫伏=1000 微伏。

测量电压的仪表叫电压表，实验中使用的电压表通常以伏特为单位(有关电压表知识见“电压表”辞条)。

电源是提供电压的装置，正常情况下，一节干电池的电压是 1.5 伏，一只铅蓄电池的电压是 2 伏，我国照明电路的电压是 220 伏，动力电路电压为 380 伏。

只有不高于 36 伏的电压对人体才是安全的。

有电流通过的电路两端必定有电压存在，反过来，电路中有电压存在，却不一定有电流。例如在图 4 - 19 中，当开关 S 闭合时，电路中有电流通过，灯泡 L 两端有电压；当开关 S 断开时，开关 S 两接线柱 a、b 间存在电压，但它们之间并没有电流，所以电压是形成电流的原因，但不是有了电压就一定能形成电流的，电路中要得到持续的电流，除电路中必须有电源(即存在电压)外，整个电路还必须是闭合的，否则，电路中即使有电压存在，也不会形成电流。

用例一 应用电压的基本知识，解决有关电压的简单问题。

题 1 电压是\_\_\_\_的原因，电压的符号是\_\_\_\_；电压的单位是\_\_\_\_，用符号\_\_\_\_表示。

电压是形成电流的原因，电压的符号 U 和电压的单位伏特的符号 V 是

不同的，不能混淆。

**【电压表】** 测量电压的仪表叫电压表。实验中使用的电压表通常以伏特为单位。

图 4—20 是电压表示意图。一只电压表应有以下几个部分：

1. 标记。表盘上有大写英文字母 V。  
2. 刻度。如图中所示，表盘上刻度分两行，每行有 3 个大格共 30 个小格，上行刻度的量程是 0~15 伏，下行刻度的量程是 0~3 伏。

3. 接线柱。三个接线柱分别标有“+”、“3”和“15”标记（有的电压表标“-”、“3”和“15”），其中“+”接线柱是公共端，该接线柱接在跟电源正极相连的那端，“3”和“15”是相应量程的“-”接线柱（有的电压表是“-”接线柱为公共端，“3”和“15”是相应量程的“+”接线柱）。

4. 读数。电压表的“0”点通常在左端，当被测电路两端电压为零时，指针指在“0”点；当电压表的指针偏转并稳定在某一位置时，指针所指的刻度就是被测电路的电压值。若量程为 0~3 伏，表盘刻度每大格为 1 伏，每小格为 0.1 伏；若量程为 0~15 伏，表盘刻度每大格为 5 伏，每小格为 0.5 伏。电压表的示数为每格表示值与格数的乘积。

正确使用电压表的方法：

1. 必须把电压表并联在被测电路的两端。  
2. 必须把电压表的“+”接线柱跟电源正极的那端相连（或者说，使电流从电压表的“+”接线柱流进，“-”接线柱流出）。  
3. 所测电压不得超过电压表的量程，以免损坏电压表。

用例一 正确读出电压表指针的示数。

题 1 图 4—21 是一只电压表的刻度盘，电路的两个线头接在“+”和“15”两个接线柱上，根据图中指针的位置，电压表测得的电压是多大？

读电表数的正确方法是：

1. 先判断电表是电流表还是电压表。  
2. 看清电表使用的是哪一个量程。  
3. 弄清刻度盘上每一大格、每一小格各表示多少伏（或安），然后再读数。

该题中的电表是电压表，用的是“+”和“15”两个接线柱，即量程为 0~15 伏，应看刻度盘上上面那一排数字，每一大格为 5 伏，每一小格为 0.5 伏，该指针指在 8 小格处，所以电压表的示数为 5 伏 + 0.5 伏 × 8 = 4 伏。

若该题用“+”和“3”两个接线柱，则每一大格为 1 伏，每一小格为 0.1 伏，若指针仍在 8 小格处，电压表的示数就为 1 伏 + 0.1 伏 × 8 = 0.8 伏。可见，对电表读数时，一定要先看清电表接的是哪一个量程。

用例二 根据电压表、电流表的使用规则和串、并联电路的特点，在电路中正确填图。

题 2 如图 4 - 22 所示，已知两灯泡  $L_1$  和  $L_2$  并联，则三个小圆圈内应填入何种电表的符号，并标出电表的“+”、“-”接线柱。若要将灯  $L_1$  和  $L_2$  改成串联电路，则三个小圆圈内又应填入何种电表的符号，并标出相应的“+”、“-”接线柱。

在初中阶段，绝大多数情况都把电表当作理想电表处理，即不考虑电表本身的电阻对电路的影响，只提把电流表串联在被测电路中，把电压表并联在被测电路的两端。其实电流表和电压表本身都有一定的电阻，电流表是电阻很小的电表，电压表是电阻很大的电表。我们可以利用电流表、电压表的这一特点，在具体处理有关问题时，作一简单的替换，其方法是：由于电流表的电阻很小，把电流表串接在电路中如同在电流表处换接一根导线；由于电压表的电阻很大，把电压表接在电路中，对电压表处可视为开路。

要使  $L_1$  和  $L_2$  并联，必须在 b 圆圈处如同开路，a、c 圆圈处如同接一根导线，所以 b 处应为电压表，a、c 处应为电流表。电压表的接线柱为上“+”下“-”，两电流表的接线柱均为左“-”右“+”。

要使  $L_1$  和  $L_2$  串联，a、c 圆圈处如同开路，b 圆圈处如同接一根导线，所以 a、c 处应为电压表，b 处应为电流表。两电压表的接线柱为左“-”右“+”，电流表的接线柱为下“+”上“-”。

用例三 根据电压表、电流表的使用规则，正确连接实物示意图。

题 3 图 4 - 23 是测小灯泡两端电压和通过小灯泡电流的电路图（图甲）和实物示意图（图乙），请按电路图连接实物示意图。

连接实物示意图，有以下两种方法。

方法一：将电压表先暂不接入电路，按电源、开关、滑动变阻器、电灯、电流表次序依次连接，连接中要正确连接电流表的正、负接线柱和正确连接变阻器，然后把电压表并联接在电灯的两端，并注意不要把电压表正、负接线柱接错。

方法二：先把电压表和电灯并接，然后按电源、开关、变阻器、电灯和电压表、电流表顺次连接，这种连接方法同样要注意电压表、电流表的正、负接线柱不能接错和变阻器的连接不能接错。

在两种接法中，有时还要根据题意正确选择电流表和电压表的量程。连接好的实物示意图如图 4 - 24 所示。

【用电压表测电压】 实验目的学会用电压表测电压，研究串联电路和并联电路中的电压关系。

实验器材 电压表一只，干电池三节，灯泡两只，开关一个，导线若干根。

实验步骤 1. 用电压表测干电池的电压。

(1) 在图 4 - 25 中标出电压表的“+”、“-”接线柱。

(2) 按图 4 - 25(a) 电路，将电压表的正接线柱通过开关与干电池的正极相连，负接线柱与干电池的负极相连，合上开关，这时电压表的示数即为干电池的电压，分别测出每一节干电池的电压  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 。

(3) 取三节干电池，按图 4 - 25(b) 电路将它们串联组成电池组，用电压表测出串联电池组的电压  $U_{串}$ 。

(4) 取两节干电池，按图 4 - 25(c) 电路，将它们并联组成电池组，用电压表测出这个并联电池组的电压  $U_{并}$ 。

(5) 将测量结果记入下表。

$U_1$ (伏)	$U_2$ (伏)	$U_3$ (伏)	$U_{串}$ (伏)	$U_{并}$ (伏)

根据实验数据分析串联电池组的电压  $U_{串}$  跟每节干电池的电压的关系，并联电池组的电压  $U_{并}$  跟每节干电池的电压的关系，发现：

串联电池组的电压等于串联的各电池的电压之和，并联电池组(相同电池)的电压等于各电池的电压。

2. 用电压表测串联电路中各处的电压。

(1) 在图 4-26 所示的电路图上标出电压表的“+”、“-”接线柱并按图上实线连接电路。

(2) 合上开关 S，测出灯泡  $L_1$  两端的电压  $U_1$ 。

(3) 将电压表按虚线 b 连接，测出灯泡  $L_2$  两端的电压  $U_2$ 。

(4) 将电压表按虚线 c 连接，测出灯泡  $L_1$  和  $L_2$  串联后的两端电压  $U$ 。

(5) 将测量结果记入下表。

$U_1$ (伏)	$U_2$ (伏)	$U$ (伏)

分析实验数据，可得到结论：串联电路两端的总电压等于各部分电路两端的电压之和。

3. 用电压表测并联电路的电压。

(1) 在图 4-27 所示的电路图上标出电压表的“+”、“-”接线柱，并按图上实线连接电路。

(2) 测出灯泡  $L_1$  两端的电压  $U_1$ 。

(3) 把电压表按虚线 b 连接，测出灯泡  $L_2$  两端的电压  $U_2$ 。

(4) 把电压表按虚线 c 连接，测出灯泡  $L_1$  和  $L_2$  并联后两端的电压  $U$ 。

(5) 将测量结果记入下表。

$U_1$ (伏)	$U_2$ (伏)	$U$ (伏)

分析实验数据可得到结论：并联电路各支路两端电压相等。

**【电阻】** 导体对电流阻碍作用的大小称为电阻，用字母 R 来表示。在国际单位制中，电阻的单位是欧姆，简称欧，用符号  $\Omega$  表示。温度为 0 时，长 106.3 厘米、横截面积为 1 毫米<sup>2</sup> 的水银柱的电阻是 1 欧。

如果导体两端的电压是 1 伏，通过它的电流是 1 安，那么这个导体的电阻就是 1 欧，这就是 1 欧的物理意义。

常用电阻单位中，比欧( ) 大的单位有千欧(k ) 和兆欧(M ) ，它们的换算关系是：

1 千欧=1000 欧，

1 兆欧=1000 千欧= $1 \times 10^6$  欧。

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长度、横截面积和材料。当导体的材料、横截面积都相同时，导体越长，电阻越大；

当导体的材料、长度都相同时，导体的横截面积越小，电阻越大；当导体的长度、横截面积都相同时，导体的电阻大小跟导体的材料有关。

对于同一导体，电阻的大小不随外加电压和通过的电流的改变而变化；对于不同的导体，它们的电阻大小一般是不相同的。

另外，导体的电阻还与温度有关系，导体的电阻随温度的改变而变化，对大多数金属导体来说，其电阻随温度的升高而增大。一只正常发光的灯泡，其灯丝的电阻比不发光时的电阻要大得多，但在初中阶段，一般不考虑这个因素，只要导体确定以后，如无特殊说明就把它的电阻值看作不变。

用例一 根据决定电阻大小的因素，判断电阻的大小。

题1 为了改变导体的电阻，下列说法中错误的是： ( )

- A. 改变导体的粗细
- B. 改变导体的长短
- C. 改变导体的组成材料
- D. 改变通过导体的电流

题2 下列说法中，正确的是： ( )

- A. 当导体两端电压增大时，导体的电阻将增大
- B. 当导体两端电压减小时，导体的电阻将增大
- C. 导体的电阻与电压的大小无关
- D. 在不加电压时导体的电阻为零

由于电阻的大小与导体的长度、横截面积和导体的材料有关，与加在其两端的电压和通过的电流无关，题1中又要求选出错误的说法，应选D，题2应选C。

题3 下列说法中正确的是（不考虑温度变化的影响）： ( )

- A. 导线越长，电阻越大
- B. 同种材料的导线越长，电阻越大
- C. 导线越粗，电阻越小
- D. 同种材料、长度相同的导线越粗，电阻越小

由于导体电阻的大小与长度、横截面积、材料和温度等多个因素有关，因此研究电阻大小和其中一个因素的相互关系时，必须要有其它因素不变这个大前提。题中已告诉我们不考虑温度变化的影响，前三个选项中均只考虑一个因素或两个因素的影响，没有对其它因素作限制说明，不能判断出电阻的大小，而最后一个选项中已有导体的材料和长度相同的大前提，只改变导体的横截面积，且导线越粗，电阻越小的说法也对，故本题应选D。

用例二 根据决定电阻大小的因素，可判断串、并联电路中电流、电压的大小。

题4 两根铜导线，长短相同，粗细不同，不考虑温度影响时，则电阻值  $R_{粗}$   $\underline{\hspace{1cm}}$   $R_{细}$ ；把它们串联在同一电路中，则电流  $I_{粗}$   $\underline{\hspace{1cm}}$   $I_{细}$ ，电压  $U_{粗}$   $\underline{\hspace{1cm}}$   $U_{细}$ ；把它们并联在电路中，则电压  $U'_{粗}$   $\underline{\hspace{1cm}}$   $U'_{细}$ ，电流  $I'_{粗}$   $\underline{\hspace{1cm}}$   $I'_{细}$ （均选填  $>$ 、 $=$ 或 $<$ ）。

当导体材料、长短相同时，导线越粗，电阻越小，所以电阻  $R_{粗} < R_{细}$ 。串联时，根据串联电路的性质，电流  $I_{粗} = I_{细}$ ，由于电压  $U = IR$ ，所以  $U_{粗} < U_{细}$ 。并联时，根据并联电路的性质， $U'_{粗} = U'_{细}$ ，由于  $I = U/R$ ，所以  $I'_{粗} > I'_{细}$ 。

细·

**【变阻器】** 导体的电阻跟导体的材料、长度、横截面积和温度有关，只要改变其中任何一个因素，就可以达到改变电阻的目的。变阻器是通过改变电路中电阻线的长度来改变电阻的仪器。

实验室中常用的变阻器有滑动变阻器和电阻箱。

图 4 - 28 为滑动变阻器及其结构示意图、符号。C、D 为金属棒两端的接线柱，金属棒的电阻可看作为零。A、B 为电阻线圈两端点的接线柱，A、B 间的电阻是不变的，其阻值为滑动变阻器的电阻最大值。滑片 P 在已刮去绝缘漆的线圈上移动，改变 A 与 C、D 或 B 与 C、D 间的电阻。

把滑动变阻器接入电路的方法是：把金属棒的一端和线圈的一端的接线柱接入电路。具体地说，有四种接法，接 A、C 或 A、D 接线柱时，电阻线 AP 部分和金属棒 PC 或 PD 部分接入电路；接 B、C 或 B、D 接线柱时，电阻线 BP 部分和金属棒 PC 或 PD 部分接入电路。

图 4 - 29 为电阻箱及其结构示意图。电阻箱盖上的铜块间有插孔，孔里可插铜塞，插孔下面有合金线做成的电阻。

插上铜塞，将相邻的两个铜块连接，电流由铜块上通过，该插孔下的电阻被短路；拔出铜塞，电流从插孔下面的电阻通过，该电阻连入电路。可见，拔出的铜塞越多，连入电路的合金线就越长，即连入电路的电阻就越大。

变阻箱的示数读法：读出所有未插铜塞的插孔旁的电阻值，将它们相加，即连入电路的电阻值。图 4 - 29 中连入电路的电阻为 1 欧+2 欧=3 欧。

实验室中还有一种旋盘式电阻箱，如图 4 - 30 所示。调节面板上的四个旋盘就能得到 0 ~ 9999 欧之间的任意整数电阻值，各旋盘对应的指示点（图中的小三角）的示数乘以面板上标记的倍数，然后加在一起，就是接入电路的阻值。图 4 - 30 所示的电阻箱的示数为 427 欧。

滑动变阻器和电阻箱均可改变电路中的电阻，但两者有区别：滑动变阻器可连续地改变连入电路的电阻，但不能准确表示出连入电路的电阻值；电阻箱能较准确地读出电阻值，但电阻的改变是跳跃式的。

使用滑动变阻器时应注意以下几点：

1. 应弄清滑动变阻器的最大允许电流，估计所做实验中可能出现的最大电流，应使滑动变阻器的最大允许电流值大于实验中最大电流，以免烧坏变阻器。

2. 要改变电路中的电阻，接滑动变阻器时应采用“一上一下”的接法，即把上边金属棒的一个接线柱和下边电阻线的一个接线柱连入电路。采用“一上一下”接法一般不会将滑动变阻器接错。若将金属棒两个端点接入电路，变阻器接入电路的电阻为零；若将电阻线两个端点接入电路，相当于在电路中接了一个定值电阻。这两种接法均未起变阻作用。

3. 将滑动变阻器接入电路，闭合开关前，应移动滑片，使电路中电阻最大，防止电路接通时，万一电流过大而烧坏仪器。

4. 滑片 P 滑到滑动变阻器中点时，表示接入电路的电阻为变阻器最大电阻 R 的一半，即  $R/2$ 。

用例一 了解滑动变阻器的结构，掌握滑动变阻器的接线方法。

题 1 图 4 - 31 为滑动变阻器接入电路的示意图，电流从 C 或 D 流入。请叙述四种情况中电流经过的路径，并说明滑片自左向右移动时，连

入电路中的电阻和电路中的电流各怎样变化？

滑动变阻器的滑片左右滑动时，会改变接入电路的电阻线的长度而使电阻改变，从而引起电路中电流的变化。具体判断顺序如下：

1. 确定滑动变阻器的接法。
2. 根据电流通过变阻器的情况，判断滑动变阻器的哪段电阻线连入电路。
3. 根据滑片移动情况，判断有电流通过的电阻线的长度变化。
4. 由电阻线的长度变化，判断滑动变阻器接入电路的电阻大小的变化。

由于金属棒的电阻可看作为零，图(a)和图(d)都是电阻线 AP 部分连入电路，图(b)和图(c)都是电阻线 BP 部分连入电路，从电阻、电流变化情况看，图(a)和图(d)相同，图(b)和图(c)相同。设电流从 C 或 D 流入，图(a)、(d)中电流路径从 C 或 D P A，图(b)、(c)中电流路径从 C 或 D P B，当滑片 P 向右移动时，图(a)、(d)中 AP 的长度变大，接入电路的电阻变大，电流变小；而图(b)、(c)中 BP 的长度变小，接入电路的电阻变小，电流变大。

题 2 要使图 4 - 32 中变阻器的滑片 P 向右移动时电流表的示数减小，M、N 应与变阻器上哪两个接线柱连接？有几种连接方法？

要使滑片 P 向右移动时电流表的示数减小，而灯 L 和变阻器为串联，根据欧姆定律和串联电路的特点，应使变阻器连入电路的电阻变大，即把电阻线 AP 部分连入电路。连接方法有：当 M 分别与 C 或 D 连接，N 应与 A 连接；当 N 分别与 C 或 D 连接，M 应与 A 连接。所以共有四种连接方法。

用例二 连接实验电路，找出电路中接线错误。

题 3 图 4 - 33 是一同学做“用滑动变阻器改变电流”实验时连接的实物示意图。请指出其中的错误，并画出正确的电路图。

接线错误：电流表没有和电灯串联；电流表“+”、“-”接线柱接错；若滑片 P 移至 A 端时合上开关后，电流表便直接接在电源两端；滑片 P 没有置于连入电路部分的电阻最大位置处。

改正方法：去掉导线 HF，把电流表和变阻器间的导线从 A 处断开，并移接到电源正极 H 处，把滑片 P 滑至 A 端或在接线柱 B 处把导线断开并移接到 A 处。

本题还有其它改正方法，请同学们自己想一想。

该实验的电路图应如图 4 - 34 所示。

用例三 接入电路的滑动变阻器起变阻作用与不起变阻作用的电路的识别。

题 4 如图 4 - 35 所示，当滑动变阻器的滑片 P 向右滑动时，图(a)和图(b)中电流表和电压表的示数如何变化？

首先应对图(a)和图(b)电路进行比较，两电路图中的元件完全一样，但接法不同。接法不同的主要区别是滑动变阻器接法不同，图(a)中变阻器的部分电阻线接入电路；由于电压表的电阻很大，电路中有电压表处如同开路，因而图(b)中变阻器的全部电阻线被接入电路。

图(a)中变阻器 BP 部分被短路，AP 部分接入电路，滑片 P 移动时，AP 间的电阻线长度改变，电路中电阻变化。当 P 向右移动时， $R_{AP}$  变大，总电阻  $R_{总}=R_L+R_{AP}$  变大，根据欧姆定律，电流将变小，根据串联电路的特点，

$U_P = U - IR_L$ ，电压表的示数将变大。

图(b)中电阻线 AB 全部接入电路，滑片 P 移动时，电路中电阻不改变，图(b)中滑动变阻器不起改变电路中电阻的作用。当 P 向右移动时，电路总电阻不变，由于电源电压不变，所以电流表的示数不变。由于电压表测的是 BP 间的电压， $U_{BP} = IR_{BP}$ ，由于  $R_{BP}$  变小，所以  $U_{BP}$  即电压表的示数变小。

**用例四** 用电阻箱改变电路中的电阻。

**题 5** 如图 4 - 36 所示，电源电压为 6 伏，电阻  $R_1 = 6$  欧，电阻箱中铜塞 a、d 插入插孔，合上开关 S 后，电流表的示数为多少？

电阻  $R_1$  和电阻箱组成串联电路，电阻箱中拔出的铜塞下面的电阻是连入电路的电阻，电路中的总电阻

$$R_{\text{总}} = R_1 + R_b + R_c = 6 \text{ 欧} + 2 \text{ 欧} + 2 \text{ 欧} = 10 \text{ 欧}。$$

$$\text{电路中的电流 } I = \frac{U}{R_{\text{总}}} = \frac{6 \text{ 伏}}{10 \text{ 欧}} = 0.6 \text{ 安}，\text{ 电流表的示数为 } 0.6 \text{ 安}。$$

进一步分析可知，当铜塞全部插入时，电流表的示数最大；当铜塞全部拔出时，电流表的示数最小。

**【用滑动变阻器改变电流】** 实验目的 进一步了解滑动变阻器的结构，初步掌握它的使用方法。

**实验器材** 电池组、滑动变阻器、电流表、灯泡、开关各一个，导线若干根。

**实验步骤** 1. 观察滑动变阻器的构造，弄清铭牌上标出的最大电阻值、允许通过的最大电流值的含义。

2. 按图 4 - 37(a) 电路图连接电路，图 4 - 37(b) 为实物示意图。把线头 N 与接线柱 A 连接，线头 M 与接线柱 C 连接。

3. 闭合开关 S，将滑片自左向右移动，观察电流表示数的变化及灯泡亮度的变化，把观察结果填入下面的表格中。

4. 把线头 N 仍与接线柱 A 连接，线头 M 与 D 连接，重复步骤 3。

5. 把线头 N 与接线柱 B 连接，线头 M 先后与接线柱 C、D 连接，重复步骤 3。

6. 把线头 M、N 分别与接线柱 A、B 连接，重复步骤 3。

7. 总结滑动变阻器的作用和连接方法。

滑动变阻器接入 电路的接线柱	滑片 P 自左向右移动时	
	电路中的电阻变化	电流变化
A、C		
A、D		
B、C		
B、D		
A、B		

**【欧姆定律】** 欧姆定律是十分重要的电学定律，是研究电流、电压、电阻三个物理量之间关系的重要定律。其内容为：导体中的电流，跟这段导体两端的电压成正比，跟这段导体的电阻成反比。这个结论是德国物理学家欧姆首先从实验得出的，通常叫欧姆定律，其数学表达式为：

$$I = \frac{U}{R}$$

式中  $U$  表示导体两端的电压  $R$  表示导体的电阻,  $I$  表示导体中的电流,  $I$ 、 $U$ 、 $R$  的单位分别为安、伏、欧。

使用欧姆定律, 应注意以下几点:

1. 欧姆定律的文字叙述中两次提到“这段导体”, 即定律中的  $I$ 、 $U$ 、 $R$  必须是同一段电路中的同一时刻的电流、电压和电阻, 切不可把不同导体、不同时刻的  $I$ 、 $U$ 、 $R$  用于欧姆定律表达式中。

2. 公式  $I = \frac{U}{R}$  的变换式  $R = \frac{U}{I}$ , 表示导体的电阻等于该导体两端电压

与通过导体的电流的比值。对同一导体来说, 这个比值是个定值, 与导体两端的电压及通过导体的电流无关, 不能理解为导体的电阻与它两端的电压成正比, 与通过导体的电流成反比。事实上, 导体两端的电压增加几倍, 通过它的电流也同样地增加几倍, 它们的比值不变, 即导体的电阻并没有

变化。但可把  $R = \frac{U}{I}$  作为电阻的量度式, 可以通过测量导体两端的电压

和通过导体的电流, 间接地把导体的电阻测量出来, 这也就是伏安法测电阻的原理。

用欧姆定律解题的一般步骤:

1. 仔细审题, 根据题意画出电路图 (对有多个用电器的题目更为重要)。在图中标明已知量和未知量的符号, 对有多个用电器的题目还要注意标明脚码, 如  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $U_1$ 、 $U_2$  等。

2. 写出欧姆定律公式和它的变换式。

3. 代入已知条件, 求出未知量。在代入已知量时要注意是同一段电路上、同一时刻的  $I$ 、 $U$ 、 $R$ , 并注意统一它们的单位分别为安、伏、欧。

4. 求出答案, 并检验结果是否正确。

用例一 根据欧姆定律  $I = \frac{U}{R}$ , 可以算出通过导体的电流。

题 1 把 30 欧的电阻直接连接在一节干电池的两端, 通过该电阻的电流为多少安?

题目中已告诉我们导体的电阻, 另外我们知道一节干电池的电压为 1.5 伏, 代入公式可算出通过导体的电流为 0.05 安。

在收音机、电视机等家用电器的维修中, 常用电压表测出某个电阻值已知的电阻元件两端的电压, 算出通过该电阻的电流, 提供维修的依据。

用例二 由欧姆定律公式变换可得  $U = IR$ , 用来计算用电器两端的电压。

题 2 在电阻值为 5 欧的导体中, 1.5 分钟内所通过的电量是 45 库, 求导体两端的电压。

题目已告诉我们导体的电阻值, 要计算它两端的电压, 则必须先求出通过它的电流, 根据题意, 可用  $I = \frac{Q}{t}$  来计算电流, 先将时间 1.5 分钟换

算为 90 秒, 然后进行计算。

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{45 \text{库}}{90 \text{秒}} = 0.5 \text{安},$$

$$U=IR=0.5 \text{ 安} \times 5 \text{ 欧}=2.5 \text{ 伏} .$$

用例三 由欧姆定律公式变换可得  $R=\frac{U}{I}$  , 提供了间接测量电阻的方法——伏安法测电阻 .

题3 在某电阻两端加 6 伏的电压时, 通过电阻的电流为 250 毫安, 求该电阻的阻值. 若加在此电阻两端的电压减小到原来的  $\frac{1}{2}$ , 该电阻的阻值为多大?

题目已告诉我们电阻两端的电压和通过电阻的电流, 只要我们把电流 250 毫安换算为 0.25 安, 使它们的单位统一, 就可以代入  $R=\frac{U}{I}$  中算出电阻的阻值为 24 欧. 由于对某一导体来说, 它的电阻不随电压或电流改变而变化, 因此电阻两端电压减小到原来的  $\frac{1}{2}$  时, 其电阻的阻值仍为 24 欧.

根据这个道理, 提供了一种测量电阻的方法——伏安法测电阻. 我们只要知道导体两端的电压和通过该导体的电流, 就可以算出导体的电阻. 同时我们也应该知道, 电阻是导体本身的一种性质, 是由导体本身的因素(如材料、长度、粗细)决定的(另外还与温度有关系), 不会因通电情况的不同而改变, 当导体两端电压为零时, 导体中电流也等于零, 但这个导体的电阻值是不变的.

用例四 根据电阻是导体本身的一种性质, 可以计算导体两端的电压和通过的电流, 正确选用电表的量程.

题4 当某段导体两端电压由 3 伏变为 12 伏时, 导体内的电流由  $I_1$  变为  $I_2$ , 求  $I_1$ 、 $I_2$  的比值.

$$\text{由于电阻的阻值不随电压的变化而变化, 可知: } R = \frac{U_1}{I_1}, R = \frac{U_2}{I_2},$$

$$\text{即 } \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2}, \quad I_1 : I_2 = \frac{U_1}{U_2} = \frac{3 \text{ 伏}}{12 \text{ 伏}} = 1 : 4 .$$

解答该题时应注意: 3 伏和 12 伏是同一导体上在不同时刻的电压值, 在用欧姆定律及其变换式解题时, 电流  $I_1$  应与 3 伏对应, 电流  $I_2$  应与 12 伏对应, 千万不能混淆.

题5 某导体两端的电压是 3 伏时, 通过它的电流是 0.5 安; 若导体两端的电压是 6 伏时, 能否用量程是 0~0.6 安的电流表来测量通过这导体的电流?

解法一: 根据题意画出电路图(如图 4-38)。能否用量程是 0~0.6 安的电流表, 就要看在 6 伏的电压下, 通过导体的电流是否超过 0.6 安. 导体的电阻为

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3 \text{ 伏}}{0.5 \text{ 安}} = 6 \text{ 欧},$$

电压为 6 伏时, 电阻仍为 6 欧, 通过导体的电流为  $I_2 = \frac{U}{R} = \frac{6 \text{ 伏}}{6 \text{ 欧}} = 1 \text{ 安}$  > 0.6 安, 故此时不能用量程为 0~0.6 安的电流表来测量通过该导体的电流。

解法二: 在 6 伏电压下, 电流表中电流为 0.6 安时, 线路中导体的电

阻不能小于 $R'$ ， $R' = \frac{U_2}{I_2} = \frac{6\text{伏}}{0.6\text{安}} = 10\text{欧}$ ， $R' > R$ ，所以不能用量程为 $0 \sim$

$0.6$  安的电流表来测量通过导体的电流。

**用例五** 用欧姆定律和串、并联电路的特点解决串、并联电路的计算问题。

**题 6** 如图 4 - 39 所示，电阻  $R_1=9$  欧，电阻  $R_1$  和  $R_2$  串联后接在 12 伏的电源上，电压表的示数为 9 伏，求  $R_2$  的阻值。

根据串联电路中各处电流相等，总电压等于各部分电路两端电压之和的特点，电阻  $R_2$  中的电流等于  $R_1$  中电流， $R_2$  两端电压等于总电压减去  $R_1$  两端的电压。即：

$$U_2 = U - U_1 = 12\text{伏} - 9\text{伏} = 3\text{伏}，$$

$$I = I_1 = I_2。$$

$$\text{根据欧姆定律，} I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{9\text{伏}}{9\text{欧}} = 1\text{安}，\quad I_2 = I_1 = 1\text{安}。$$

$$\text{由} I = \frac{U}{R}，\text{得} R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{3\text{伏}}{1\text{安}} = 3\text{欧}。$$

**题 7** 将电阻  $R_1$  和  $R_2$  并联后接入电路，已知电阻  $R_1=12$  欧，通过电阻  $R_2$  中电流为 1 安，干路中电流为 1.5 安。求  $R_2$  的阻值。

根据题意，画出图 4 - 40，并在图中标出相应的电流、电压和电阻的符号。

**解法一：**根据并联电路的特点：

$$I_1 = I - I_2$$

$$= 1.5\text{安} - 1\text{安} = 0.5\text{安}，$$

$$U = U_1 = U_2。$$

根据欧姆定律  $I = \frac{U}{R}$ ，得

$$U_1 = I_1 R_1 = 0.5\text{安} \times 12\text{欧} = 6\text{伏}，\quad U_2 = U_1 = 6\text{伏}，$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{6\text{伏}}{1\text{安}} = 6\text{欧}。$$

**解法二：**根据并联电路的特点：

$$I_1 = I - I_2 = 1.5\text{安} - 1\text{安} = 0.5\text{安}，$$

$$U = U_1 = U_2。$$

根据欧姆定律公式的变换式， $U_1 = I_1 R_1$ ， $U_2 = I_2 R_2$ 。

$$I_1 R_1 = I_2 R_2，\text{即} \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}，$$

$$\text{得} R_2 = \frac{I_1}{I_2} \cdot R_1 = \frac{0.5\text{安}}{1\text{安}} \times 12\text{欧} = 6\text{欧}。$$

**用例六** 在电功、电功率的计算中，常常利用欧姆定律进行计算。

**题 8** 规格为“10V10W”的小灯泡，想把它接在电压为 16 伏的电源上，应如何连接才能使小灯泡正常发光？

为了使“10V10W”的小灯泡正常发光，加在它上面的电压只能为 10

伏，但电源电压为 16 伏，必须将电压分去 6 伏，只要用一只适当规格的电阻与小灯泡串联，就可分去 6 伏的电压（如图 4-41）。要确定此电阻的大小，可以通过欧姆定律的变换式  $R = \frac{U}{I}$  求出。根据题意，电阻 R 上的电压为 6 伏，因此，只要能确定 R 上的电流，就可计算出电阻的大小。由串联电路的特点可知，通过电阻 R 的电流与通过小灯泡的电流相等。因此，只要求得小灯泡的电流即可。

$$P_L = U_L I_L, \quad \text{小灯泡上电流 } I_L = \frac{P_L}{U_L} = \frac{10\text{瓦}}{10\text{伏}} = 1\text{安}, \quad \text{即 } I_R = I_L = 1$$

安，

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U - U_L}{I_R} = \frac{16\text{伏} - 10\text{伏}}{1\text{安}} = 6\text{欧}, \quad \text{且电阻 R 消耗的功率为 } P_R = I_R U_R = 1\text{安} \times 6\text{伏} = 6\text{瓦}.$$

故应选择一阻值为 6 欧且允许消耗的功率大于 6 瓦的电阻。

**【用电压表、电流表测电阻】** 实验目的 学习用伏安法测电阻器的阻值。

实验原理  $R = \frac{U}{I}$ 。

**实验器材** 电压表、电流表、滑动变阻器、开关、待测电阻各一个，电池组一个，导线若干根。

**实验步骤** 1. 根据实验原理，设计并画出测量电路图（如图 4-42），在图中标出电压表、电流表的正负接线柱。对照电路图连接好电路，并使滑动变阻器的滑片放在阻值最大的位置。

2. 检查电路连接无误后，合上开关，移动滑动变阻器的滑片，改变被测电阻两端的电压，分别记下三组对应的电压值和电流值，填入下面表格中。

3. 根据每组数据，算出对应的电阻值，最后算出电阻的平均值，即待测电阻的阻值。

实验次数	U	I	$R_x$	$\overline{R_x}$
1				
2				
3				

利用欧姆定律及串、并联电路的特点，还有其它的测未知电阻的方法。

**用例一** 通过测电压来测未知电阻。

**实验器材** 电压表两只，电池组一个，滑动变阻器一个，定值电阻  $R_0$  一个，未知电阻一个，开关一个，导线若干根。

实验原理 在串联电路中， $I_x = I_0 = \frac{U_0}{R_0}$ ，则  $R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_x}{I_0} = \frac{U_x R_0}{U_0}$ 。

**实验步骤** 1. 按实验原理设计并画出实验电路图（如图 4-43），在电路图中标出“+”、“-”接线柱，对照电路图连接好电路。

2. 检查电路连接无误后，合上开关，移动滑片，改变电路中的电压，用电压表分别测出已知电阻  $R_0$  和未知电阻  $R_x$  两端电压  $U_0$  和  $U_x$ ，分三次测量并记下每次对应的电压值  $U_0$ 、 $U_x$ ，填入表格。

3. 根据测量的数据，用  $R_x = \frac{U_x}{U_0} R_0$  计算对应的  $R_x$ ，最后算出未知电阻的平均值  $\overline{R_x}$ 。

实验次数	$U_0$	$U_x$	$R_x$	$\overline{R_x}$
1				
2				
3				

用此方法测未知电阻要注意：

1. 选用已知电阻  $R_0$  时， $R_0$  和  $R_x$  应属于同一数量级。

2. 定值电阻的阻值应远小于电压表的电阻。

用例二 通过测电流来测未知电阻。

实验器材 电流表两只，滑动变阻器、定值电阻  $R_0$ 、未知电阻  $R_x$ 、电池组、开关各一个，导线若干根。

实验原理 在并联电路中， $U_0 = U_x = I_0 R_0$ ，则  $R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_0}{I_x} = \frac{I_0}{I_x} R_0$ 。

实验步骤 1. 根据实验原理，设计并画实验电路图（如图 4-44），在图中标出电流表的“+”、“-”接线柱，对照电路图，连接好电路。

(2) 检查电路连接无误后，合上开关，移动滑片 P，改变电路中的电流，用电流表分别测出通过已知电阻  $R_0$  和未知电阻  $R_x$  的电流  $I_0$ 、 $I_x$ ，分三次测量并记下每次对应的电流值  $I_0$ 、 $I_x$ ，填入下面的表格。

(3) 根据测出的每组数据，用  $R_x = \frac{I_0}{I_x} R_0$  计算对应的  $R_x$ ，最后算出未知电阻的平均值  $\overline{R_x}$ 。

实验次数	$I_0$	$I_x$	$R_x$	$\overline{R_x}$
1				
2				
3				

用此方法测未知电阻时应注意：

1. 选用已知电阻  $R_0$  时， $R_0$  和  $R_x$  应属于同一数量级。

2. 定值电阻的阻值  $R_0$  应远大于电流表的电阻。

【串联电路的特点】 把用电器逐个顺次连接起来的电路，叫做串联电路。

串联电路的特点：

1. 串联电路中各处电流相等。

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

2. 串联电路两端的总电压等于各部分电路两端的电压之和。

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

3. 串联电路的总电阻，等于各串联导体的电阻之和。

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

若  $n$  个相同的电阻  $R_0$  串联，则总电阻  $R = nR_0$ 。

有关串联电路的特点，应注意以下几点：

1. 要正确理解串联电路的特点中出现的“总”字。

几个导体串联的电路可以用一个导体的电路来代替，两个电路的效果要是一样，这一个导体的电路就是原来几个导体串联电路的等效电路，这个导体的电阻就是原来几个导体串联的总电阻，也叫等效电阻。

2. 串联电路中的总电阻一定大于其中任何一个导体的电阻。

导体串联后，相当于增加了导体的长度，总电阻增大，串联的电阻越多，总电阻就越大。

3. 串联导体两端电压之比等于它们的电阻之比。

在两个导体串联的电路中，由于  $I_1 = I_2$  根据欧姆定律，有  $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$ ，

即  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$ 。该式表明，在串联电路中，电压的分配跟电阻成正比。

**用例一** 应用串联电路的特点和欧姆定律，计算串联电路中导体两端的电压和通过的电流。

**题 1** 把电阻  $R_1 = 6$  欧和  $R_2 = 4$  欧的两个导体串联后接在 6 伏的电池组上，求每个导体两端的电压。

首先，根据题意画出电路图，如图 4-45 所示。

解法一：根据串联电路的特点，总电阻  $R = R_1 + R_2 = 6$  欧 + 4 欧 = 10 欧，

根据欧姆定律，得  $I = \frac{U}{R} = \frac{6\text{伏}}{10\text{欧}} = 0.6$  安，

又因  $I = I_1 = I_2$  则

$$U_1 = I_1 R_1 = 0.6 \text{ 安} \times 6 \text{ 欧} = 3.6 \text{ 伏，}$$

$$U_2 = I_2 R_2 = 0.6 \text{ 安} \times 4 \text{ 欧} = 2.4 \text{ 伏。}$$

解法二：根据串联电路的特点和欧姆定律，

$$I_1 = I_2, \text{ 即: } \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2},$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{6\text{欧}}{4\text{欧}} = \frac{3}{2}, U_1 = \frac{3}{2} U_2,$$

$$U_1 + U_2 = U, \frac{3}{2} U_2 + U_2 = 6 \text{ 伏，}$$

解得： $U_2 = 2.4$  伏， $U_1 = 3.6$  伏。

**题 2** 如图 4-46 所示，电阻  $R_2 = 2$  欧，开关 S 断开时，电流表的示数为 1 安，电压表的示数为 4 伏，当开关 S 闭合后，电流表和电压表的示数

各是多少？

当开关 S 断开时，电阻  $R_1$  和  $R_2$  组成串联电路，电压表测出的是  $R_1$  两端的电压  $U_1$ ；当开关 S 闭合后，电阻  $R_2$  被短路，电压表测出的电压既是另一时刻  $R_1$  两端的电压  $U'_1$ ，也是电源的电压  $U$ 。

当开关 S 断开时， $R_1$  和  $R_2$  串联，有

$$I_1 = I_2 = I = 1 \text{ 安，}$$

根据欧姆定律

$$I = \frac{U}{R} \text{，有：}$$

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{4 \text{ 伏}}{1 \text{ 安}} = 4 \text{ 欧，}$$

$$R_{\text{总}} = R_1 + R_2 = 4 \text{ 欧} + 2 \text{ 欧} = 6 \text{ 欧。}$$

电源电压  $U = IR_{\text{总}} = 1 \text{ 安} \times 6 \text{ 欧} = 6 \text{ 伏}$ 。

当开关 S 闭合后， $R_1$  接电源两端，电压表的示数为电源电压 6 伏，电

$$\text{流表的示数 } I' = \frac{U}{R_1} = \frac{6 \text{ 伏}}{4 \text{ 欧}} = 1.5 \text{ 安。}$$

**用例二** 应用串联电路的特点和欧姆定律，计算串联电路中的电阻。

**题 3** 有一电铃，它的电阻  $R_1 = 10$  欧，在正常工作时它的两端电压是 6 伏，但是手边只有电源电压为 9 伏的电源，要把电铃接在这个电源上，需要给它串联一个多大的电阻？

根据题意，画出如图 4-47 所示的电路图，已知电源电压为 9 伏，工作电压为 6 伏的电铃不能直接接在该电源上，应在电路中串联一个电阻  $R_2$ ，用它分去一部分电压，使电铃上的电压为规定值  $U_1 = 6$  伏。

根据串联电路的特点，

$$U = U_1 + U_2, \quad U_2 = U - U_1 = 9 \text{ 伏} - 6 \text{ 伏} = 3 \text{ 伏。}$$

$$\text{电路中的电流 } I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{6 \text{ 伏}}{10 \text{ 欧}} = 0.6 \text{ 安，}$$

又因  $I_1 = I_2 = I = 0.6$  安，

$$\text{根据欧姆定律，得 } R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{3 \text{ 伏}}{0.6 \text{ 安}} = 5 \text{ 欧。}$$

**题 4** 两只灯  $L_1$  和  $L_2$  串联后接在 8 伏的电源上，灯  $L_1$  两端的电压是 2 伏。如果接在 12 伏的电源上，通过灯  $L_1$  的电流为 0.1 安。求这两只灯的电阻。

根据题意画出相应的电路图，如图 4-48。在这里不能直接用电压 2 伏和电流 0.1 安计算灯  $L_1$  的电阻。虽然 2 伏和 0.1 安都是灯  $L_1$  两端的电压和通过灯  $L_1$  的电流，但这两个物理量不是同一时刻的。只有找出灯  $L_1$  中电流为  $I'_1$  (0.1 安) 时灯  $L_1$  两端电压  $U'_1$  或灯  $L_1$  两端电压为  $U_1$  (2 伏) 时通过灯  $L_1$  的电流  $I_1$ ，才能用欧姆定律求出灯  $L_1$  的电阻。根据串联电路

的电压分配规律，在电源电压为 $U$ 时，有 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$ ；电源电压为 $U'$ 时，

有 $\frac{U'_1}{U'_2} = \frac{R_1}{R_2}$ 。解出 $U'_1$ ，便可计算 $R_1$ 的电阻。

设电源电压为8伏时，灯 $L_1$ 和 $L_2$ 两端的电压分别为 $U_1$ 和 $U_2$ ，在电源电压为12伏时，灯 $L_1$ 和 $L_2$ 两端电压分别为 $U'_1$ 和 $U'_2$ 。

根据串联电路的特点， $U_2=U-U_1$ ， $U'_2=U'-U'_1$ ，

$$\text{且 } \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}, \quad \frac{U'_1}{U'_2} = \frac{R_1}{R_2},$$

$$\text{则 } \frac{U_1}{U_2} = \frac{U'_1}{U'_2}, \quad \text{即 } \frac{U_1}{U-U_1} = \frac{U'_1}{U'-U'_1}$$

$$\text{代入数据得：} \frac{2\text{伏}}{8\text{伏}-2\text{伏}} = \frac{U'_1}{12\text{伏}-U'_1}, \quad \text{得 } U'_1 = 3\text{伏}。$$

$$\text{根据欧姆定律的变换式，} R_1 = \frac{U'_1}{I'_1} = \frac{3\text{伏}}{0.1\text{安}} = 30\text{欧}。$$

由于 $I'_1 = I'_2 = I' = 0.1\text{安}$ ，

$$R_2 = \frac{U'_2}{I'_2} = \frac{U'-U'_1}{I'_2} = \frac{12\text{伏}-3\text{伏}}{0.1\text{安}} = 90\text{欧}。$$

题5 有三个电阻 $R_1$ 、 $R_2$ 和 $R_3$ ，当把 $R_1$ 与 $R_2$ 串联接在电源上时，测得电流为0.5安，而 $R_1$ 两端的电压为2.5伏；当把 $R_2$ 与 $R_3$ 串联接在同一电源上时，测得电流为0.3安， $R_3$ 两端的电压为4.5伏，求 $R_2$ 的阻值。

根据题意画出电路图，如图4-49。由于 $I=0.5\text{安}$ ， $U_1=2.5\text{伏}$ ， $I'=0.3\text{安}$ ， $U_3=4.5\text{伏}$ 。经分析，对每一种情况都不能直接用欧姆定律和串联电路的特点求出 $R_2$ 的阻值，必须把两种情况综合起来考虑，注意到这两种情况接在同一电源上，即电源电压 $U$ 不变，要利用这一隐含条件。

根据题意， $R_1$ 和 $R_2$ 串联，有

$$U=U_1+U_2=U_1+IR_2, \quad \text{同理，} R_2 \text{ 和 } R_3 \text{ 串联，有}$$

$$U=U'_2+U_3=I'R_2+U_3。$$

因 $U$ 不变，则

$$U_1+IR_2=I'R_2+U_3, \quad \text{即 } (I-I')R_2=U_3-U_1,$$

电阻 $R_2$ 的阻值：

$$R_2 = \frac{U_3 - U_1}{I - I'} = \frac{4.5\text{伏} - 2.5\text{伏}}{0.5\text{安} - 0.3\text{安}} = 10\text{欧}。$$

题6 如图4-50所示，电阻 $R_1=30\text{欧}$ ，滑动变阻器的滑片 $P$ 在 $B$ 端时，电压表的示数为4.5伏，滑片 $P$ 移动到变阻器中点时，电压表的示数为3伏。求：(1)电源的电压；(2)变阻器的最大电阻；(3)两次电流表的示数之差。

该电路为电阻 $R_1$ 和变阻器接入电路部分的电阻组成的串联电路，因为 $R_2$ 是未知电阻，所以不能直接用欧姆定律求出电流和变阻器的最大电阻。

滑片 P 在两个位置时，电源电压不变，即串联电路的总电压不变。P 在 B 端时，变阻器接入电路部分的电阻为变阻器的最大电阻，设为  $R_2$ ；P 在中点时，变阻器接入电路部分的电阻为  $\frac{R_2}{2}$ 。应用串联电路的电压特点和欧姆定律可分别列出两次位置时的两个方程，通过解方程组求解。

(1) 设电源电压为  $U$ ，P 在 B 点时电流为  $I$ ，电压表的示数为  $U_2$ ，据题意，有：

$$U = U_1 + U_2 = IR_1 + U_2,$$

式中  $U_2 = 4.5$  伏。

P 在变阻器中点时电流为  $I'$ ，电压表的示数为  $U'_2$ ，则：

$$U = U'_1 + U'_2 = I'R_1 + U'_2,$$

式中  $U'_2 = 3$  伏。

由、两式，得：

$$IR_1 + U_2 = I'R_1 + U'_2,$$

$$\text{则 } I - I' = \frac{U_2 - U'_2}{R_1} = \frac{4.5 \text{ 伏} - 3 \text{ 伏}}{30 \text{ 欧}} = 0.05 \text{ 安},$$

$$\text{因为 } I = \frac{U_2}{R_2},$$

$$I' = \frac{U'_2}{R_2 / 2} = \frac{2U'_2}{R_2},$$

$$\text{所以 } \frac{I}{I'} = \frac{U_2}{R_2} \times \frac{R_2}{2U'_2} = \frac{4.5 \text{ 伏}}{2 \times 3 \text{ 伏}} = \frac{3}{4},$$

$$\text{则 } I = \frac{3}{4}I', \text{ 代入 式，得：}$$

$$I - \frac{3}{4}I' = 0.05 \text{ 安},$$

$$I' = 0.2 \text{ 安}, I = 0.15 \text{ 安}.$$

$$\text{电源电压 } U = I'R_1 + U'_2$$

$$= 0.2 \text{ 安} \times 30 \text{ 欧} + 3 \text{ 伏}$$

$$= 9 \text{ 伏}.$$

(2) 因为  $I = \frac{U_2}{R_2}$ ，所以滑动变阻器的最大电阻

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{4.5 \text{ 伏}}{0.15 \text{ 安}} = 30 \text{ 欧}.$$

(3) 由 式知，两次电流表示数之差为 0.05 安。

通过解题 5 和题 6 可总结出，凡对每一种情况都不能直接用串联电路的特点和欧姆定律解出结果时，必须把两种或两种以上情况综合起来考虑，即列出方程组解题，这是解物理问题的一种方法。

**用例三** 应用串联电路的特点和欧姆定律，分析有滑动变阻器的串联电路中电表示数变化问题。

题 7 如图 4 - 51(a)、(b)所示，闭合开关 S，当滑动变阻器的滑片 P

向右滑动的过程中，电流表和电压表的示数如何变化？

图 4-51(a)、(b)是串联电路中有滑动变阻器的两个典型电路，它们的区别在于电压表接在不同的导体的两端。图(a)中电压表接在定值电阻的两端，电压表的示数  $U_1=IR_1$ ；图(b)中电压表接在可变电阻的两端，电压表的示数  $U_2=IR_2$ 。

电阻  $R_1$  和滑动变阻器接入电路部分的电阻  $R_2$  串联， $R_{总}=R_1+R_2$ ，当滑片 P 向右滑动时， $R_2$  变大， $R_{总}$  也变大，根据欧姆定律，电流表的示数为

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2}, I \text{ 将变小, 两种情况是相同的。再看电压表的示数变化, 图}$$

(a) 中电压表的示数  $U_1=IR_1$ ，电阻不变，当滑片 P 向右滑动时，电流变小，所以  $U_1$  也变小；图(b)中电压表的示数  $U_2=IR_2$ ，由于电阻  $R_2$  变大，而通过它的电流变小，很难由  $IR_2$  来确定  $U_2$  如何变化，可以转换角度来分析，利用串联电路的电压特点

$$U_2=U-U_1=U-IR_1 \text{ 来分析,}$$

$R_1$  不变， $U$  不变， $I$  变小， $U_1$  变小， $U_2$  变大。

在各种初中教学参考书中，有些电路的实质和图 4-51(b)的电路是一样的，如图 4-52 和图 4-53。

**用例四** 应用串、并联电路的特点和欧姆定律，解答含有分开关及滑动变阻器的电路计算问题。

**题 8** 如图 4-54 所示，电阻  $R_1=20$  欧，当开关  $S_1$  闭合、 $S_2$  断开，滑片 P 移至 b 端时，电压表  $V_1$  的示数为 12 伏， $R_1$  上消耗的电功率为 3.2 瓦。求：(1)滑动变阻器  $R_3$  的最大阻值。(2)当开关  $S_1$ 、 $S_2$  均闭合，滑片移至 a 端时，电流表 A 的示数为 0.9 安，计算  $R_2$  的阻值和电压表  $V_2$  的示数。

不少电学题目中，用开关、滑动变阻器使电路变得复杂，给解题增加了难度。解答这类习题，必须认真进行电路分析，正确判断电路的连接方式，然后应用串、并联电路的特点和欧姆定律解答。

当开关  $S_1$  闭合、 $S_2$  断开、滑片 P 移至 b 端时，电阻  $R_1$  和滑动变阻器  $R_3$  组成串联电路。电压表  $V_1$  的示数既是串联电路的总电压，也是电源电压，

则  $U=12$  伏。 $R_1$  上消耗的电功率  $P_1 = I_1 U_1 = I_1^2 R_1$ ，

$$\text{则 } I_1 = \sqrt{\frac{P_1}{R_1}} = \sqrt{\frac{3.2 \text{瓦}}{20 \text{欧}}} = 0.4 \text{安。}$$

根据串联电路的特点： $I = I_1 = I_3 = 0.4$  安，

$$\text{则 } R_{串} = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{伏}}{0.4 \text{安}} = 30 \text{欧,}$$

滑动变阻器最大电阻

$$R_3 = R_{串} - R_1 = 30 \text{欧} - 20 \text{欧} = 10 \text{欧。}$$

(2)当开关  $S_1$ 、 $S_2$  均闭合，P 移至 a 端时， $R_1$  和  $R_2$  并联，电压表  $V_2$  被短路，其示数为零。

$$\text{通过 } R_1 \text{ 的电流 } I'_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12 \text{ 伏}}{20 \text{ 欧}} = 0.6 \text{ 安},$$

电流表 A 的示数为并联电路的总电流,  $I' = 0.9 \text{ 安}$ ,

$$I' = I'_1 + I'_2,$$

$$I'_2 = I' - I'_1 = 0.9 \text{ 安} - 0.6 \text{ 安} = 0.3 \text{ 安}.$$

$$\text{电阻 } R_2 \text{ 的阻值 } R_2 = \frac{U}{I'_2} = \frac{12 \text{ 伏}}{0.3 \text{ 安}} = 40 \text{ 欧}.$$

**【并联电路的特点】** 把用电器并列地连接起来的电路, 叫做并联电路。

并联电路的特点:

1. 并联电路中的总电流等于各支路中的电流之和。

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$$

2. 并联电路中各支路两端电压相等。

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n.$$

3. 并联电路的总电阻的倒数等于各并联支路中电阻的倒数之和。

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

若  $n$  个相同电阻  $R_0$  并联, 总电阻  $R = \frac{R_0}{n}$ 。

有关并联电路的特点, 应注意以下几点:

1. 并联电路的总电阻一定小于其中任何一个导体的电阻。

导体并联后, 相当于导体的横截面积增大, 总电阻减小, 并联的导体越多, 总电阻越小。

2. 通过导体的电流与它们的电阻成反比。

两个导体并联的电路中, 由于各支路电压相等,  $U_1 = U_2$ , 即  $I_1 R_1 =$

$I_2 R_2$ , 所以  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ , 该式表明, 在并联电路中, 电流的分配跟电阻成

反比。

**用例一** 应用并联电路的特点和欧姆定律, 计算并联电路中通过导体的电流。

**题 1** 如图 4-55 所示, 电阻  $R_1 = 9 \text{ 欧}$ ,  $R_2 = 15 \text{ 欧}$ , 电流表的示数为  $0.5 \text{ 安}$ 。求通过  $R_2$  中的电流。如果该电源用每节电压为  $1.5 \text{ 伏}$  的电池组成, 应该用几节电池?

电流表的示数是通过  $R_1$  的电流, 根据欧姆定律可求出  $R_1$  两端的电压,  $R_1$ 、 $R_2$  并联, 两端电压相等, 可计算  $R_2$  中的电流。再根据串联电池组的电压等于各电池的电压之和, 计算电池的节数。

根据欧姆定律,  $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$ , 得

$$U_1 = I_1 R_1 = 0.5 \text{ 安} \times 9 \text{ 欧} = 4.5 \text{ 伏}.$$

根据并联电路的特点,

$$U_2 = U_1 = 4.5 \text{ 伏},$$

通过  $R_2$  的电流

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{4.5\text{伏}}{15\text{欧}} = 0.3\text{安} .$$

组成串联电池组电池的节数  $n = \frac{4.5\text{伏}}{1.5\text{伏}} = 3$  (节) .

题 2 一根阻值为 8 欧的均匀电阻丝, 截成相等的两段后绞合在一起接入电路. (1) 这样连接后电阻值是多少? (2) 若在它两端加上 2 伏的电压, 通过各级电阻丝的电流和电路中的总电流各是多少?

(1) 把一根均匀电阻丝截成相等的两段, 两段的电阻相等, 为总电阻的一半. 原来电阻  $R = 8$  欧, 两段电阻  $R_1 = R_2 = \frac{R}{2} = \frac{8\text{欧}}{2} = 4$  欧. 把它们绞合在一起, 组成并联电路, 则  $\frac{1}{R_{\text{并}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{4\text{欧}} + \frac{1}{4\text{欧}} = \frac{1}{2\text{欧}}$  ,

$R_{\text{并}} = 2$  欧 .

(2) 根据并联电路的电压特点, 有

$$U_1 = U_2 = 2 \text{ 伏} .$$

根据欧姆定律,

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{2\text{伏}}{4\text{欧}} = 0.5\text{安} ,$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{2\text{伏}}{4\text{欧}} = 0.5\text{安} .$$

电路中的总电流  $I = I_1 + I_2 = 0.5 \text{ 安} + 0.5 \text{ 安} = 1 \text{ 安} .$

题 3 两只电阻  $R_1$ 、 $R_2$  串联后的总电阻为 20 欧, 若将它们并联后接在 6 伏的电源上, 通过  $R_1$  和  $R_2$  的电流之比是 2 : 3, 求通过电阻  $R_1$  中的电流和干路中的电流 .

根据题意和串联电路的特点, 有

$$R_1 + R_2 = 20 \text{ 欧} .$$

电阻  $R_1$ 、 $R_2$  并联接在 6 伏电源上, 根据并联电路的电压特点和电流分配规律, 有

$$U_1 = U_2 = 6\text{伏} , \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{2}{3} ,$$

解、式,  $\frac{3}{2}R_2 + R_2 = 20\text{欧}$ , 得

$$R_2 = 8 \text{ 欧} , R_1 = 12 \text{ 欧} ,$$

设通过  $R_1$ 、 $R_2$ 、干路中的电流分别为  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  .

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{6\text{伏}}{12\text{欧}} = 0.5\text{安} , I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{6\text{伏}}{8\text{欧}} = 0.75\text{安} .$$

$$I = I_1 + I_2 = 0.5 \text{ 安} + 0.75 \text{ 安} = 1.25 \text{ 安} .$$

用例二 应用并联电路的特点和欧姆定律, 计算并联电路中的电阻 .

题 4 如图 4-56 所示, 电阻  $R_1 = 12$  欧, 开关 S 断开时, 电流表的示数

为 0.5 安，开关 S 闭合时，电流表的示数为 0.75 安，求电阻  $R_2$  的阻值。

开关 S 断开时，电路中用电器仅有电阻  $R_1$ ， $R_1$  两端的电压即电源电压。根据欧姆定律，有

$$U=IR, U=U_1=I_1R_1=0.5 \text{ 安} \times 12 \text{ 欧}=6 \text{ 伏}.$$

开关 S 闭合， $R_1$  和  $R_2$  并联，根据并联电路的特点，有

$$I=I'_1+I_2,$$

电压和  $R_1$  未变， $I'_1=I_1=0.5$  安，

$$\text{所以 } I_2=I-I'_1=0.75 \text{ 安}-0.5 \text{ 安}=0.25 \text{ 安}.$$

$$\text{电阻 } R_2 \text{ 的阻值 } R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{6 \text{ 伏}}{0.25 \text{ 安}} = 24 \text{ 欧}.$$

题 5 电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  并联，已知干路中的电流是  $R_1$  中电流的 5 倍， $R_2$  中的电流是  $R_1$  中电流的 2.5 倍。已知  $R_3=10$  欧，求  $R_1$ 、 $R_2$  的阻值。

根据并联电路中电流的分配跟电阻成反比，只要找到各支路中电流的关系，即找到电流  $I_3$  与干流或与  $I_1$  的关系，就可以计算电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 。

根据题意， $I=5I_1$ ， $I_2=2.5I_1$ ，又根据并联电路中电流关系  $I=I_1+I_2+I_3$ ，有

$$5I_1=I_1+2.5I_1+I_3,$$

$$\text{得 } I_3=1.5I_1.$$

根据并联电路中电流分配规律，

$$\frac{I_1}{I_3} = \frac{R_3}{R_1},$$

$$R_1 = \frac{I_3}{I_1} R_3 = \frac{1.5I_1}{I_1} \times R_3 = 1.5R_3 = 1.5 \times 10 \text{ 欧} = 15 \text{ 欧}.$$

$$\text{又因 } \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}, \text{ 所以}$$

$$R_2 = \frac{I_1}{I_2} R_1 = \frac{I_1}{2.5I_1} \times R_1 = \frac{R_1}{2.5} = \frac{15 \text{ 欧}}{2.5} = 6 \text{ 欧}.$$

用例三 应用并联电路的特点和欧姆定律，分析有滑动变阻器的并联电路中电表示数变化的问题。

题 6 如图 4-57 所示，当滑动变阻器的滑片 P 向右滑动过程中，电路中电流表、电压表的示数如何变化？

这是一道典型题，弄清该电路中各电表的变化情况，能更深入理解有变阻器的并联电路。首先应判断电路的连接方式，然后弄清各电压表测的是哪一部分电路两端的电压，各电流表测的是干路还是支路的电流，最后根据滑片移动方向，判断各电表变化情况。

该电路为并联电路，电压表  $V_1$  测电源电压， $V_2$  测滑动变阻器连入电路的电阻上的电压，从图上分析， $V_2$  实际也是测电源电压，滑片移动过程中两电压表的示数均不变。

电流表  $A_1$  测通过  $R_1$  的电流  $I_1$ ，电流表  $A_2$  测通过变阻器的电流  $I_2$ ，电流表 A 测干路中的电流  $I$ ，它们间的关系是  $I=I_1+I_2$ 。在滑片 P 向右移动过

程中，由于电源电压不变，电阻  $R_1$  为定值电阻，所以  $I_1 = \frac{U}{R_1}$  不变，电流表  $A_1$  的示数不变； $R_2$  变大， $I_2 = \frac{U}{R_2}$  变小，电流表  $A_2$  的示数变小；根据  $I = I_1 + I_2$ ，电流表 A 的示数也变小。

题 7 如图 4-58 所示， $R_2$  是 0~50 欧的变阻器，合上开关 S，电压表的示数为 6 伏，电流表 A、 $A_1$  的示数分别为 2 安和 0.5 安。求：（1） $R_1$  的阻值。（2）变阻器接入电路部分的电阻。（3）如果电流表 A 的量程是 0~3 安，为了使电表不致损坏，计算滑动变阻器接入电路中的最小阻值。

电阻  $R_1$  和变阻器  $R_2$  组成并联电路，由电压表的示数可知电源电压为 6 伏， $U_1 = U_2 = U = 6$  伏。

通过  $R_1$  的电流  $I_1 = 0.5$  安，

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{6\text{伏}}{0.5\text{安}} = 12\text{欧}。$$

根据并联电路中电流关系， $I = I_1 + I_2$ ，

则  $I_2 = I - I_1 = 2\text{安} - 0.5\text{安} = 1.5\text{安}$ 。

变阻器接入电路部分的电阻

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{6\text{伏}}{1.5\text{安}} = 4\text{欧}。$$

在并联电路中， $R_1$  为定值电阻，电流表  $A_1$  的示数为 0.5 安且不变。滑片向左滑动， $R_2$  变小，电流  $I_2$  变大，干路中电流也变大。当滑片滑至某一位置时，干路中电流即电流表 A 的示数为 3 安时，滑片不能再向左移动，此时变阻器接入电路的电阻就是变阻器接入电路的最小阻值  $R'_2$ 。变阻器中的电流

$I'_2 = I' - I_1 = 3\text{安} - 0.5\text{安} = 2.5\text{安}$ ，最小阻值为：

$$R'_2 = \frac{U}{I'_2} = \frac{6\text{伏}}{2.5\text{安}} = 2.4\text{欧}。$$

用例四 应用并联电路的特点和欧姆定律，计算并联电路中有关电功率的问题。

题 8 如图 4-59 所示，电源电压不变，当开关 S 断开时，电流表的示数为 0.2 安；当开关 S 闭合时，电阻  $R_2$  上消耗的功率为 1.2 瓦，电流表的示数为 0.6 安。求电阻  $R_1$  和  $R_2$  的阻值。

这是一道未知数较多的习题，我们经常碰到这样的情况，列出一个方程后，方程中有两个或两个以上的未知数，这时就应另找途径列出其它方程，通过解方程组求解。该题中电源电压不变，开关 S 断开或闭合，电阻  $R_1$  中电流不变。

当开关 S 断开，电路中只接有电阻  $R_1$  时：

$$\frac{U}{R_1} = I_1，$$

当开关 S 闭合，电阻  $R_1$  和  $R_2$  并联，有

$$U_1=U_2=U,$$

$$I=I_1+I_2,$$

$$R_2 \text{ 上的电功率为 } P_2, P_2 = \frac{U_2}{R_2} = I_2 U.$$

由式得： $I_2=I-I_1$ ，代入式，

$$\text{得 } U = \frac{P_2}{I_2} = \frac{P_2}{I-I_1} = \frac{1.2 \text{瓦}}{0.6 \text{安} - 0.2 \text{安}} = 3 \text{伏}.$$

$$\text{由式， } R_1 = \frac{U}{I_1} = \frac{3 \text{伏}}{0.2 \text{安}} = 15 \text{欧},$$

$$\text{由式， } R_2 = \frac{U^2}{P_2} = \frac{(3 \text{伏})^2}{1.2 \text{瓦}} = 7.5 \text{欧}.$$

题9 如图4-60所示，电源电压为6伏，电阻 $R_1=4$ 欧，当 $S_1$ 、 $S_2$ 断开时，电流表 $A_1$ 的示数为0.6安。求：(1) $R_3$ 的阻值和电压表的示数。

(2)当 $S_1$ 、 $S_2$ 闭合时，电流表 $A_2$ 的示数为1.5安， $R_2$ 消耗的电功率为3瓦。计算电阻 $R_2$ 的阻值和电流表 $A_1$ 的示数。

(1)当 $S_1$ 、 $S_2$ 断开时， $R_1$ 、 $R_3$ 串联，

$$I_1=I_3=0.6 \text{安}.$$

$$R_{\text{串}} = \frac{U}{I_1} = \frac{6 \text{伏}}{0.6 \text{安}} = 10 \text{欧},$$

由于 $R_{\text{串}}=R_1+R_3$ ，所以

$$R_3=R_{\text{串}}-R_1=10 \text{欧}-4 \text{欧}=6 \text{欧}.$$

此时电压表测的是 $R_3$ 两端电压，

$$U_3=I_3 R_3=0.6 \text{安} \times 6 \text{欧}=3.6 \text{伏}.$$

(2)当 $S_1$ 、 $S_2$ 闭合时， $R_1$ 被短路， $R_2$ 和 $R_3$ 并联， $A_2$ 电表的示数为干路电流 $I'$ ，且接在电源上。通过 $R_3$ 的电流

$$I'_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{6 \text{伏}}{6 \text{欧}} = 1 \text{安}.$$

$$I' = I'_2 + I'_3,$$

$$I'_2 = I' - I'_3 = 1.5 \text{安} - 1 \text{安} = 0.5 \text{安},$$

即电流表 $A_1$ 的示数为0.5安。

电阻 $R_2$ 的电功率

$$P_2 = I_2^2 R_2,$$

$$R_2 = \frac{P_2}{I_2^2} = \frac{3 \text{瓦}}{(0.5 \text{安})^2} = 12 \text{欧}.$$

**【电功】** 电流做的功叫做电功。电流做功的过程，实质上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的能。电功计算的公式是：

$$W=UIt.$$

式中 $W$ 表示电功， $U$ 表示电路两端的电压， $I$ 表示电流强度， $t$ 表示通

电时间。式中  $W$ 、 $U$ 、 $I$ 、 $t$  的单位分别为焦、伏、安、秒。在日常用电中，电功的单位常用“千瓦时”或称“度”，这两种单位之间的关系是：

1 千瓦时 =  $3.6 \times 10^6$  焦耳。

在运用公式计算电功时，应注意：

1. 电功计算公式和变换式共有三种形式：

$$W = UIt ;$$

$$W = I^2Rt ;$$

$$W = \frac{U^2t}{R} .$$

电流通过某个电阻做功时，上述三种表达形式是等价的，在具体应用时，可根据不同已知条件选取其中一种表达式。

2. 当电流通过电解槽、电动机等负载电路时，电功计算的三种表达式不能等同。表达式  $W=UIt$ ，计算的是电流的总功； $W=I^2Rt$ 、 $W=\frac{U^2}{R}t$  是电流通过电阻时发热所做的功。

3. 应用上述表达式计算电功时，各物理量的单位必须统一。

用例一 根据公式  $W=UIt$  定性分析或定量计算电功。

题 1 有甲、乙两只小灯泡，已知  $R_{甲} > R_{乙}$ ，两灯接成如图 4-61 所示电路，问：甲灯和乙灯哪个更亮？为什么？

当 S 闭合后，根据串联电路特点，当通过甲、乙两灯泡的电流强度相等，通电时间也相等时，因  $R_{甲} > R_{乙}$ ，所以  $U_{甲} > U_{乙}$ 。根据公式  $W=UIt$  可知， $W_{甲} > W_{乙}$ 。故甲灯较乙灯亮。

上述问题，可以通过实验进行验证。 $U_{甲}$ 、 $U_{乙}$  可以通过电压表  $V_{甲}$ 、 $V_{乙}$  读出，电灯的亮暗可以通过人眼直接观察，从而说明，当  $I$ 、 $t$  相同时，电功与电压成正比。

题 2 有甲、乙两只灯泡，已知  $R_{甲} > R_{乙}$ ，两灯接成如图 4-62 所示电路，问：甲灯亮还是乙灯亮？为什么？

当 S 闭合后，因甲、乙两灯并联。根据并联电路特点，有  $U_{甲} = U_{乙}$ ，若通电时间相等，则因为  $R_{甲} > R_{乙}$ ，故  $I_{甲} < I_{乙}$ ，根据公式  $W=UIt$ ，故  $W_{甲} < W_{乙}$ ，故乙灯较甲灯亮。

上述问题，可以通过实验进行验证。 $I_{甲}$ 、 $I_{乙}$  可通过电流表  $A_{甲}$ 、 $A_{乙}$  读出，电灯亮暗可通过人眼观察，从而说明，当  $U$ 、 $t$  相同时，电功与电流强度成正比。

题 3 一盏接在 220 伏电路中的电灯，通过的电流强度是 0.2 安培，求它 1 分钟消耗的电能。

根据电功公式： $W=UIt$ ，

$$W=220 \text{ 伏} \times 0.2 \text{ 安} \times 60 \text{ 秒} = 2640 \text{ 焦}.$$

注意：1.1 分钟消耗的电能即为 1 分钟电流流过电灯所做的功，故求 1 分钟消耗的电能可用电功公式计算。

2. 在应用公式  $W=UIt$  时， $t$  的单位为秒，故 1 分钟必须换算成 60 秒才能代入公式计算，否则将由于单位混乱而导致结果错误。

用例二 根据电功公式变换式  $W=I^2Rt$  计算电功，

题4 把一工作时电阻为 80 欧姆的电炉接在电路中，电流强度为 2 安培，若要放出 19200 焦耳能量，通电时间应为多少？

根据电功计算公式变换式：

$W=I^2Rt$ ，其中  $I=2$  安培， $R=80$  欧姆， $W=19200$  焦耳，则：

$$t = \frac{W}{I^2R} = \frac{19200\text{焦}}{(2\text{安})^2 \times 80\text{欧}} = 60\text{秒}。$$

用例三 根据电功计算公式变换式  $W = \frac{U^2t}{R}$  计算电功或有关物理量。

题5 一个电阻为 20 欧的电阻，接在某一电源上，在 1 分钟内消耗的电能为 1200 焦，问电源电压是多少伏？

根据电功计算变换式  $W = \frac{U^2t}{R}$ ，其中  $W = 1200$  焦耳、 $t = 60$  秒、 $R = 20$  欧姆，则：

$$U = \sqrt{\frac{WR}{t}} = \sqrt{\frac{1200\text{焦} \times 20\text{欧}}{60\text{秒}}} = 20\text{伏}。$$

用例四 根据电功公式结合电流强度定义式  $I = \frac{Q}{t}$ ，计算有关物理量。

题6 一个电阻值为 10 欧的导体，接在某一电源上，在这个导体上通过 3 库仑的电量，电流做功为 18 焦耳，求电源电压及导体中的电流强度。

根据电功公式  $W = IUt$ ，其中  $I = \frac{Q}{t}$  代入得：

$$W = IUt = \frac{Q}{t}Ut = QU，\text{则 } U = \frac{W}{Q}。$$

根据题意： $W = 18$  焦耳， $Q = 3$  库仑，则：

$$U = \frac{W}{Q} = \frac{18\text{焦}}{3\text{库}} = 6\text{伏}，$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6\text{伏}}{10\text{欧}} = 0.6\text{安}。$$

【电功率】 电流在单位时间内所做的功叫做电功率。计算电功率的公式是： $p = \frac{W}{t}$ 。其中  $p$  的单位为瓦特，简称瓦， $W$  的单位为焦耳， $t$  的单位为秒。电功率的单位除了“瓦”以外还有“千瓦”，这两种单位的关系是：

1 千瓦=1000 瓦。

在运用电功率公式时，应注意：

1. 电功率的公式变换式有三种形式： $P = UI$ 、 $P = \frac{U^2}{R}$ 、 $P = IR^2R$ 。当

电流通过电阻时，电功率公式的三种变换式是等价的，在运用时可任选一种形式。当电流通过有电解槽、电动机等负载电路时，上述三种变换式的内涵不同，在使用时应区别对待。变换式  $P=UI$  为电流通过负载时消耗的总

功率，变换式  $P = \frac{U^2}{R}$ 、 $P = I^2R$  为电流流过电阻时的发热功率。

2. 在运用电功率公式和变换式时应注意单位的统一。

3. 在电功率概念的理解与运用中，应注意“额定功率”与“实际功率”的区别。额定功率是指用电器在额定电压下工作的功率，实际功率是指用电器在实际工作时的功率；如果实际工作时的电压与额定电压相等，则此时的实际功率等于额定功率；如果实际工作时的电压大于或小于额定电压，则实际功率将大于或小于额定功率。

用例一 应用电功率公式计算电功率或其它相关物理量。

题 1 由发电站向某一地区输送一定功率电能时，在线路电阻  $R$  不变的条件下，将输电电压提高到 10 倍，线路上损失的电功率为原来损失的 ( )

- A. 10 倍                      B.  $\frac{1}{10}$  倍  
C. 100 倍                     D.  $\frac{1}{100}$  倍

由发电站向用电地区输送电能，电路等效如图 4-63 所示。此时损失的电功率即为  $R$  上的发热功率。即：

$$P_{\text{损}} = I^2R$$

在输电功率不变的情况下，当  $U' = 10U$  时，根据  $P = UI$  有：

$$I' = \frac{1}{10}I$$

此时线路损失的电功率为：

$$P_{\text{损}}' = I'^2R = \left(\frac{1}{10}I\right)^2 R = \frac{1}{100}I^2R = \frac{1}{100}P_{\text{损}}$$

本题应选 D。

用例二 串并联电路中有关电功率问题的定性分析与定量计算。

题 2 把“220V60W”和“220V40W”的灯泡串联在 220V 的电路中，两只灯泡都比正常发光时暗，这是因为 ( )

- A. 每只灯泡的实际功率都小于额定功率  
B. 每只灯泡的额定电压都变小  
C. 每只灯泡的额定功率都变小  
D. 每只灯泡的额定电压都小于它的实际电压

每只电灯的额定电压和额定电功率是以电灯“正常工作”为标准定义的，它不以外加的条件变化而变化，因此 B、C 错误。又因为两只电灯串联在 220 伏电路中，都比正常发光时暗，所以电灯两端实际电压都小于额定电压 220 伏，故 D 错误，本题应选 A。

本题可根据  $P = \frac{U^2}{R}$  分析，当  $R$  一定时， $P$  与  $U^2$  成正比。因实际电压

小于额定电压 220 伏，故实际功率  $P$  小于额定电功率，即 A 正确。

题 3 两盏相同的电灯串联后接在电压恒定的电路中，消耗的总功率为 15 瓦，若改为并联再接在原来电路中，则消耗的总功率为： ( )

- A. 15 瓦                      B. 30 瓦

C. 60 瓦                      D. 120 瓦

因电源电压为  $U$  不变，电灯电阻为  $R$ ，则两灯串联时，每只灯两端的电压为  $\frac{U}{2}$ ，两电灯并联时，每只灯两端电压为  $U$ ，根据公式  $P = \frac{U^2}{R}$  得：

$$P_{\text{串}} = 2 \times \frac{U_{\text{串}}^2}{R} = 2 \times \frac{\left(\frac{U}{2}\right)^2}{R} = \frac{U^2}{2R},$$

$$P_{\text{并}} = \frac{2U^2}{R}.$$

比较、两式得： $P_{\text{并}} = 4P_{\text{串}} = 60$  瓦。

故本题应选 C。

题 4 电路如图 4-64 所示，电压  $U$  保持不变， $S$  闭合时电路消耗的总功率为 9 瓦； $S$  打开时，安培表读数改变了综合 0.5 安培，电路消耗的总功率改变了 3 瓦特，求电压  $U$  和  $L_2$  的电阻。

设  $S$  闭合时安培表读数为  $I$ ，根据并联电路特点，当  $S$  打开后，电路消耗电功率将减小，即： $P' = 9$  瓦 - 3 瓦 = 6 瓦，此时总电流强度  $I'$  也将减小，即： $I' = I - 0.5$ 。

根据题意：当  $S$  闭合时， $P = UI = 9$  瓦，

当  $S$  打开后， $P' = U(I - 0.5) = 6$  瓦。

综合得： $U = 6$  伏。

当  $S$  打开后，根据  $P' = \frac{U^2}{R}$  可得：

$$R_2 = \frac{U_2^2}{P'} = \frac{6^2}{6}, R_2 = 6 \text{ 欧}。$$

用例三 应用电功率公式对热量问题进行有关计算。

题 5 从阻值为 10 欧、20 欧、30 欧、40 欧四根电阻丝中选择一些制成电热器，要求接在 24 伏电源上，给 160 克的水加热，若 50% 的热量被水吸收，可在 14 分钟里使水温升高 30，应选择哪几根电阻丝？如何连接？160 克的水温度升高 30 所需热量：

$$\begin{aligned} Q &= cm \Delta t \\ &= 4.2 \times 10^3 \text{ 焦} / (\text{千克} \cdot \text{度}) \times 0.16 \text{ 千克} \times 30 \\ &= 20160 \text{ 焦}。 \end{aligned}$$

电热器的总功率应为：

$$P_{\text{总}} = \frac{P_{\text{用}}}{\eta} = \frac{W_{\text{用}}}{\eta t} = \frac{Q}{\eta t}, \text{ 其中 } \eta = 50\%, \text{ 将数据代入可得：}$$

$$P_{\text{总}} = \frac{20160 \text{ 焦}}{14 \times 60 \text{ 秒} \times 0.5} = 48 \text{ 瓦}。$$

电热器总电阻应为：

$$R = \frac{U^2}{P_{\text{总}}} = \frac{24^2}{48} = 12 \text{ (欧)}。$$

可选用 20 欧、30 欧两根电阻丝并联，即：

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{1}{30}} = 12 \text{ 欧。}$$

**用例四 “伏安法”测电功率的电路分析。**

**题 7** 如图 4-65 所示为“伏安法”测电功率的两种电路，试分析两种电路在测电功率时的误差与适用范围。

对于理想的电流表，视其电阻忽略不计；对于理想电压表，视其电阻为无穷大。对于常规电表在测量时，其电阻不可忽略，也并非无穷大，因而必须考虑电表对测量的误差影响与电路的运用条件。

(甲) 图所示电路，测量的电功率为  $P_{甲}$ ，则：

$$\begin{aligned} P_{甲} &= UI = U(I_R + I_V) \\ &= UI_R + UI_V \\ &= P_R + P_{V_0} \end{aligned}$$

(乙) 图所示电路，测量的电功率为  $P_{乙}$ ，则：

$$\begin{aligned} P_{乙} &= UI = (U_R + U_A) I \\ &= U_R I + U_A I \\ &= P_R + P_{A_0} \end{aligned}$$

两式中  $P_R$  分别为两种电路测量的真实值， $P_{V_0}$ 、 $P_{A_0}$  为两表损耗功率，即测量的误差。

根据 式，当  $R_V \gg R$  时， $I_V \ll I_R$ ，则  $P_{V_0} \ll P_R$ ，即待测电阻远小于电压表内阻时，可采用甲图测量，误差较小。

根据 式，当  $R_A \ll R$  时， $V_A \ll V_R$ ，则  $P_{A_0} \ll P_R$ ，即待测电阻远大于电流表内阻时，可采用乙图测量，误差较小。

**【测定小灯泡的功率】 实验目的** 测定只标出额定电压的小灯泡的额定功率；测定小灯泡不在额定电压下的实际功率，并与额定功率加以比较。

**实验器材** 标有额定电压的待测小灯泡，电压表，电流表，滑动变阻器，电源，开关和若干导线。

**实验步骤** 1. 画出测量小灯泡功率的电路图，如图 4-66。

2. 按电路图将电源、开关、滑动变阻器、小灯泡、电压表、电流表用导线连接起来。

3. 调节滑动变阻器，使小灯泡两端电压达到额定电压，观察小灯泡发光情况，记下这时电压表、电流表的读数，由电功率公式  $P=UI$  算出这时小灯泡的额定电功率，并填入下表。

4. 第二次调节滑动变阻器，使小灯泡两端电压略高于额定电压 20%，观察小灯泡发光情况，记下这时电压表、电流表的读数，算出这时小灯泡的实际功率，填入下表。

5. 再次调节滑动变阻器，使小灯泡两端电压略低于额定电压 20%，观察小灯泡的发光情况，记下这时电压表、电流表的读数，算出这时小灯泡的实际功率，填入下表。

实验次数	电压(伏特)	电流强度(安培)	功率(瓦特)	发光情况

**实验结论** 当小灯泡两端电压等于额定电压时，小灯泡发光正常，这时算出的电功率为额定功率。

当小灯泡两端电压大于额定电压时，小灯泡亮度增强，这时计算出的电功率为实际功率，它大于灯泡的额定功率。

当小灯泡两端电压小于额定电压时，小灯泡亮度变暗，这时计算出的实际功率小于额定功率。

**实验注意事项：**1. 选择器材、设计电路和记录图表，都应根据实验目的、原理，围绕所需测量的物理量的需要去确定。同时要注意器材的规格，电源电压要大于小灯泡额定电压的 1.2 倍；电压表、电流表的量程均要大于小灯泡的额定电压和正常工作的电流值；滑动变阻器的阻值大小应和小灯泡的电阻属同一数量级，允许通过的电流要大于小灯泡在额定电压下的工作电流。

2. 连接电路时要注意各种器材的连接要求。如电压表一定要并联在小灯泡两端，电流表一定要串联在电路里；电流一定要从它们的正接线柱流入，从它们的负接线柱流出；对有两个量程的电压表和电流表还要注意它们的量程选择；实验开始时，滑动变阻器的滑片要放在最大电阻值的位置；开关要打开。

3. 动手实验前，应对已连接好的电路进行认真细致地检查，检查无误后方能闭合开关进行实验。

**【电能】** 电流具有做功的本领我们称电流具有能，简称电能。

从功与能的关系看，电流做多少功就有多少电能转化为其它形式的能。因此电流做功的过程，实质上是电能转化成其它形式能的过程。

电能具有许多特点，主要表现在：

1. 使用方便。电能能方便地转化成光能、热能、机械能等，并且在使用中操作简单、方便，工作场所容易保持清洁。

2. 便于远距离输送，并且损失少。

3. 易于从其他形式的能量转化而得，如燃料的化学能、水能、风能、太阳能等都能通过较简便的过程转化成电能。

测量电能（或电功）的仪表叫电能表，又称电度表。

电能表表面如图 4-67 所示。kWh 表示记录的数据单位：千瓦时（度）；计数器记录了用户所消耗的电能；220V5A50Hz 则表示电能表工作的额定电压 220 伏，额定电流 5 安培，电路频率 50 赫兹；2500R/kWh 表示电路每消耗一度电转盘转 2500 转。

电能表有四个接线柱，联接如图 4-68 所示。

**用例一** 用电能表测量电能或电功率。

**题 1** 某家庭 8、9 月份电能表盘上计数器显示的数字情况如图 4-69 所示。9 月份消耗了多少电能？

根据 8 月份计数器显示：123.5 千瓦时；9 月份计数器显示：157.5 千

瓦时，9月份用电度数为：

$$157.5 \text{ 千瓦时} - 123.5 \text{ 千瓦时} = 34.0 \text{ 千瓦时}。$$

题 2 某户照明电路里配有一只“220V5A”的电能表，已在电路中装有“220V60W”电灯两盏，“220V40W”电灯三盏，25W 电视机一台，100W 电冰箱一台，250W 洗衣机一台，问：

(1) 还能安装多少功率的用电器。

(2) 若所有用电器同时工作 2 小时，共用电多少千瓦时？

(3) 电能表盘上标有“2500R/kWh”字样，所有用电器同时工作 2 小时表盘转动多少转？

(1) 由电能表额定电压与额定电流值可知，电能表接入用电器最大总功率为：

$$P_{\text{总}} = UI = 220 \text{ 伏} \times 5 \text{ 安} = 1100 \text{ 瓦}。$$

已装用电器总功率  $P_1$  为：

$$P_1 = 60 \text{ 瓦} \times 2 + 40 \text{ 瓦} \times 3 + 25 \text{ 瓦} + 100 \text{ 瓦} + 250 \text{ 瓦} = 615 \text{ 瓦}，$$

还能安装用电器的功率  $P_2$  为：

$$P_2 = P_{\text{总}} - P_1 = 1100 \text{ 瓦} - 615 \text{ 瓦} = 485 \text{ 瓦}。$$

(2)  $W = P_1 t = 615 \text{ 瓦} \times 2 \times 3600 \text{ 秒}$

$$= 4.43 \times 10^6 \text{ 焦} = 1.23 \text{ 千瓦时}。$$

(3) 由“2500R/kWh”字样可知，所有电器工作 2 小时，转动的转数  $n$  为：

$$n = 2500 \text{ 转/千瓦时} \times 1.23 \text{ 千瓦时}$$

$$= 3075 \text{ 转}。$$

题 3 某同学利用电能表来测家中电视机的功率。其家中电能表上标有 3000R/kWh 字样，当关闭其他所有电器，只让电视机工作，观察电能表转动情况，发现 12 分钟内，转盘转动 39 转，求电视机的电功率。

根据电能表标注 3000R/kWh 可知，每 1 千瓦时电能表转盘转 3000 转，由题意可知： $t = \frac{12}{60}$  小时 = 0.2 小时， $n = 39$  转。

$$W = \frac{39 \text{ 转}}{3000 \text{ 转/千瓦时}}，$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{39 \text{ 转} / 3000 \text{ 转/千瓦时}}{0.2 \text{ 小时}} = 0.065 \text{ 千瓦} = 65 \text{ 瓦}。$$

**【焦耳定律】** 电流流过导体产生的热量，跟电流强度的平方成正比，跟导体的电阻成正比，跟通电的时间成正比，这个规律叫焦耳定律。数学表达式为  $Q = I^2 R t$ 。式中  $Q$  表示热量， $I$  表示流过导体的电流强度， $R$  表示导体的电阻， $t$  表示通电的时间。 $Q$ 、 $I$ 、 $R$ 、 $t$  的单位分别为焦耳、安培、欧姆、秒。

焦耳定律可以根据能量转化与守恒定律推导出来，定律表明了当电流流过金属导体时，在电能全部转化成热能而没有转变成其它形式能的情况下，满足  $Q = W$ ，而电流做的功为： $W = U I t = I^2 R t$ ，因而电流流过导体产生的热量  $Q = I^2 R t$ 。

在应用焦耳定律时要注意：

1.应用焦耳定律时，只有当电流流过某段金属导体时，这时电流做的功才全部转化成热量，当电流流过电动机、电解槽等用电器时，电流做的功只有一部分转化成热量。因此，电功  $W=UIt$  总是大于产生的热量  $Q$ ，其差值  $W-Q$  将转变成其它性质的能。

2.焦耳定律公式除  $Q=I^2Rt$  外，还有变换式  $Q=\frac{U^2t}{R}$ 。在串联电路中，由于通过所有导体的电流强度都相等，因而，用前式比较各个导体所放出的热量较为方便；当几个导体并联时，通过各个导体上的电流强度不一定相等，但加在各个导体两端的电压相等，因而应用后式比较各个导体放出的热量较为方便。

用例一 应用焦耳定律公式  $Q=I^2Rt$  定性分析与定量计算电流通过金属导体时放出的热量。

题1 如图 4-70 所示，由同种金属制成的两质量相等的电阻丝  $R_1$ 、 $R_2$ ，串联在电路中，且  $R_1=5R_2$ ，另用两相同火柴杆分别与它们相接触，则两火柴杆被点燃的次序是： ( )

- A.同时点燃
- B. $R_1$  上火柴杆先点燃
- C. $R_2$  上火柴杆先点燃
- D.无法确定

由于  $R_1$ 、 $R_2$  串联，故电路中流经  $R_1$ 、 $R_2$  的电流相等，根据焦耳定律公式  $Q=I^2Rt$ ，当  $I$ 、 $t$ 、相等时， $Q$  与  $R$  成正比，而  $R_1=5R_2$ ，故有  $Q_1=5Q_2$ 。

根据物体吸热与温度关系：

$$Q=cm \ t,$$

当  $c$ 、 $m$  一定时， $t$  与  $Q$  成正比，所以  $R_1$  升高的温度大于  $R_2$  升高的温度，由此可知，与  $R_1$  接触的火柴杆先点燃。本题应选 B。

题2 某导体电阻值为 2 欧姆，当 1 安培电流通过 1 分钟时，电阻上能产生多少焦耳的热量？

根据焦耳定律公式  $Q=I^2Rt$ ，其中  $I=1$  安、 $R=2$  欧、 $t=60$  秒，代入式中得：

$$Q=I^2Rt=(1 \text{ 安培})^2 \times 2 \text{ 欧} \times 60 \text{ 秒}=120 \text{ 焦耳}。$$

用例二 应用焦耳定律变换式  $Q=\frac{U^2}{R}t$  定性分析与定量计算电流流过金属导体时放出的热量。

题3 如图 4-71 所示，由同种金属制成的两质量相等的电阻丝  $R_1$ 、 $R_2$ ，并联在电路中，且  $R_1=5R_2$  另用两相同火柴杆分别与它们相接触，则两火柴杆被点燃的次序是： ( )

- A.同时点燃
- B. $R_1$  上火柴杆先点燃
- C. $R_2$  上火柴杆先点燃
- D.无法确定

因为  $R_1$ 、 $R_2$  并联，所以加在  $R_1$ 、 $R_2$  两端的电压  $U$  相等。根据焦耳定

律变换式 $Q = \frac{U^2 t}{R}$ ,在通电时间相等的情况下, $Q$ 与 $R$ 成反比,因 $R_1 = 5R_2$ ,

所以 $Q_1 = \frac{1}{5}Q_2$ 。根据物体吸热与温度的关系:

$$Q = cm \Delta t,$$

当 $c$ 、 $m$ 相同,则 $\Delta t$ 与 $Q$ 成正比,所以 $R_1$ 升高的温度 $\Delta t_1$ 小于 $R_2$ 升高的温度 $\Delta t_2$ 。由此可知与 $R_2$ 接触的火柴杆先被点燃,本题应选C。

题4 某课外小组的同学自制一只电烙铁,这只电烙铁正常工作时的电阻是1210欧姆,它的额定电压为220伏,通电10分钟烙铁产生的热量是多少?

根据焦耳定律的变换式 $Q = \frac{U^2 t}{R}$ ,其中: $U = 220$ 伏, $R = 1210$ 欧, $t = 10$ 分钟 = 600秒,代入式中得:

$$Q = \frac{U^2 t}{R} = \frac{(220 \text{ 伏})^2 \times 600 \text{ 秒}}{1210} = 2.4 \times 10^4 \text{ 焦}。$$

用例三 根据电功 $W = UIt$ 与焦耳定律 $Q = I^2 Rt$ ,计算电功与电流产生的热量,正确区分两公式的不同适用范围。

题5 某电动机的线圈,其电阻为5欧姆,在220伏照明电路中正常工作时,电流为4安,试求:

- (1) 该电动机工作1分钟电流做多少功?
- (2) 该电动机在1分钟内放出的热量是多少焦耳?

(1) 根据电功 $W = UIt$ ,其中 $U = 220$ 伏, $I = 4$ 安, $t = 60$ 秒,代入式中得:  
 $W = UIt = 220 \text{ 伏} \times 4 \text{ 安} \times 60 \text{ 秒} = 52800 \text{ 焦}。$

(2) 根据焦耳定律 $Q = I^2 Rt$ ,其中 $I = 4$ 安, $R = 5$ 欧、 $t = 60$ 秒,代入式中得:

$$Q = I^2 Rt = (4 \text{ 安})^2 \times 5 \text{ 欧} \times 60 \text{ 秒} = 4800 \text{ 焦}。$$

从题5中可以看出,电流流过电动机1分钟内电流所做的功不等于电流1分钟内放出的热量,这是因为,电流1分钟内做的功 $W$ ,一部分转化为热量 $Q$ ,另一部分转化为机械能,其数量为 $W - Q = 52800 \text{ 焦} - 4800 \text{ 焦} = 48000 \text{ 焦}$ ,因而在应用焦耳定律时应注意其公式的适用范围。

用例四 应用焦耳定律解释一些常见的电现象。

题6 电炉工作时,电炉丝热得发红,而跟电炉丝连接的铜导线却不怎么热,为什么?

因为电炉丝与铜导线串联,所以通过两者的电流强度相等,根据焦耳定律 $Q = I^2 Rt$ ,在电流强度 $I$ 相同的情况下,热量 $Q$ 与 $R$ 成正比,由于电炉丝的电阻远大于铜导线的电阻,所以当电炉工作时,电炉丝热得发红,而铜导线却不怎么热。

用例五 应用焦耳定律及比热的概念进行有关物理量的计算。

题7 电阻是70欧姆的电热丝通上2安的电流,在1分钟内放出多少热量?若这些热量全部被0.2千克的某种液体所吸收,液体的温度升高40,求液体的比热。根据焦耳定律 $Q = I^2 Rt$ ,其中 $I = 2$ 安、 $R = 70$ 欧、 $t = 60$ 秒,则:

$$Q_1 = I^2 R t = (2 \text{ 安})^2 \times 70 \text{ 欧} \times 60 \text{ 秒} = 16800 \text{ 焦。}$$

液体温度升高 40 所吸收的热量  $Q_2$  满足：

$$Q_2 = c m \Delta t。$$

根据题意，放出的热量将全部被液体吸收，则有：

$$Q_1 = Q_2 = c m \Delta t，\text{故得：}$$

$$c = \frac{Q_1}{m \Delta t} = \frac{16800 \text{ 焦}}{0.2 \text{ 千克} \times 40} = 2100 \text{ 焦} / (\text{千克} \cdot \text{ } )。$$

**【火线和零线】** 家庭电路中一般有二条线，其中一条为零线，另一条为火线，火线与零线之间的电压为 220 伏。

火线与零线常用测电笔来辨别。使用测电笔应注意抓握的方法，正确的抓握方法应是：用手指握笔，测电笔笔尾金属体与手心或食指紧靠，笔尖金属体插入插座的插孔内。如果测电笔里氖管发光则笔尖接触的是火线；如果测电笔里氖管不发光，则笔尖接触的是零线。

为什么测电笔笔尖接触火线氖管会发光？其原理见图 4-72 所示。火线、金属笔尖、氖管、高压电阻、手（人）与地构成一个回路，此时 220 伏电压加在氖管两极间，因而使氖管发光。

如果金属笔尖接触的是零线，因零线与地之间电压为零，故氖管不发光。

**用例一 正确使用测电笔测火线与零线。**

题 1 图 4-73 是安装完好的三孔插座，其中 1 接\_\_\_\_线；2 接\_\_\_\_线；3 接\_\_\_\_线，用完好的测电笔金属笔尖接触 3，氖管应\_\_\_\_；如测电笔笔尖接触 2，氖管不发光，这是因为\_\_\_\_\_。

三孔插座是最常用的家用电路器件。正确的接法应是：1 接地，2 接火线，3 接零线。因此，用测电笔金属笔尖接触 3，氖管应不发光。当测电笔金属笔尖接触 2 时，氖管不发光，这表明测电笔使用不当，其原因是手未与测电笔尾部金属体接触。

题 2 当手心不与测电笔尾部金属体接触，则不能有效地判别火线与零线，为什么？

当手心不与测电笔尾部金属体接触，其测试火线等效电路如图 4-74 所示。

因人与地相接而与测电笔金属体不相连，则火线、测电笔、人体、地线不能构成回路，故氖管两极间电压为零，因而氖管不发光。由此可见，当握笔方法不正确时，将不能有效地判别火线与零线。

题 3 一支测电笔高压电阻的阻值为 500 千欧，氖管发光时，放电电流为 0.3 毫安，那么高压电阻上能降低多少伏电压？若人体电阻为 1500 欧，则人体在测量时承受的电压是多少伏？

在使用测电笔测试火线时，可视火线、氖管、高压电阻、人体到地线为一串联电路。根据串联电路特点，电路中电流均为 0.3 毫安。

根据欧姆定律公式  $I = \frac{U}{R}$  可得：

$$U_{\text{笔}} = I R_{\text{笔}} = 0.3 \times 10^{-3} \text{ 安} \times 500 \times 10^3 \text{ 欧} = 150 \text{ 伏。}$$

$$U_{\text{人}} = I R_{\text{人}} = 0.3 \times 10^{-3} \text{ 安} \times 1500 \text{ 欧} = 0.45 \text{ 伏。}$$

由计算可以看出，人体承受的电压为 0.45 伏特，远小于安全电压 36

伏，因而正确使用测电笔，人体是绝对安全的。

用例二 火线、零线与家庭用电电路的连接。

题 4 为什么用电器都要并联在火线与零线之间而不能串联？

因家庭所用电器如电灯、日光灯、洗衣机、电铃、电冰箱等，其额定电压都是 220 伏，因火线与地线之间电压也为 220 伏，故并联能满足用电器正常工作要求，如改为串联，根据串联电路特点，串联后的用电器两端电压均小于 220 伏，因而用电器不能正常工作。所以家庭用电电路中，用电器都要并联在火线与零线之间，另外，并联电路也保证了各用电器的单独使用。

题 5 在图 4-75 中将家庭电路中的部分元件接到火线、零线上，组成一个正确的电路。

如图 4-75 所示电路，在插座的安装中，两接线不分零线与火线，故可任意与火线、零线连接；在电灯、开关安装中，开关必须与火线连接，故 与零线相接， 与火线相连。

【白炽灯】 白炽灯是一种最普通的电灯，当电流通过灯泡时，灯泡温度高达 2000 ，呈白色状态，故称白炽灯。

白炽灯分螺丝口和卡口两种，其灯头灯泡结构如图 4-76 所示。

白炽灯在灯泡上标有“220V100W”字样，其含义为：灯泡的额定电压为 220 伏，额定功率为 100 瓦。

用例一 白炽灯的结构与原理。

题 1 为什么白炽灯灯丝要封闭在玻璃内？白炽灯是因通电钨丝发热而发光的，通电时钨丝温度可达 2000 ，在这种高温条件下，如钨丝直接与空气接触，则钨丝会急剧氧化而燃烧。这样白炽灯的寿命就很短。因此，白炽灯必须将钨丝封入玻璃灯泡内，并将里边抽成真空，然后充进氮、氩等惰性气体，这样既可以防止钨丝氧化，同时又可提高钨丝温度，从而增强白炽灯的亮度，提高热效率。

用例二 白炽灯有关问题的定性分析与定量计算。

题 2 有两只白炽灯泡，一只为“220V40W”，另一只为“220V100W”，现灯泡上字迹已经不清，怎样直接将它们分开。

根据电功率变换式： $P = \frac{U^2}{R}$ ，当U一定时，P与R成反比。显然，40

W 灯泡的钨丝电阻大，100W 灯泡的钨丝电阻小；又因为电阻的大小与长度成正比，与横截面积成反比。因此，电阻大的必定钨丝细而长；电阻小的必定钨丝粗而短。由此可以通过比较“220V40W”电灯的钨丝与“220V100W”的钨丝的长短与粗细即可作出判断。

题 3 现有白炽灯一只，标有“220V40W”字样。问：

(1) 所标文字的含义。

(2) 这只电灯泡的电阻是多少欧姆？正常工作时的电流是多少安培？

(3) 当这只电灯接到 110 伏电路中时，灯泡的实际功率是多少瓦？

(1) 电灯泡标有“220V40W”字样，其含义为：电灯泡的额定电压为 220 伏，额定功率为 40 瓦。

(2) 根据电功率变换式： $P = \frac{U^2}{R}$ ，其中  $P = 40$  瓦、 $U = 220$  伏，则  $R$

$$= \frac{U^2}{P} = \frac{(220\text{伏})^2}{1210\text{欧}} = 1210\text{欧}。$$

电灯正常工作时的电流为：

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220\text{伏}}{1210\text{欧}} = 0.18\text{安}。$$

(3) 根据电功率变换式，灯泡在 110 伏电路中实际功率为：

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(110\text{伏})^2}{1210\text{欧}} = 10\text{瓦}。$$

由此可见，电灯在小于额定电压下工作，实际电功率将小于额定电功率，并且，在  $R$  不变的情况下， $P$  与  $U^2$  成正比。对题 (3)，实际电压与额定电压之比为  $1/2$ ，则实际电功率与额定电功率之比为  $1/4$ ，即  $1/4$ ，利用这个比例关系可以迅速地计算出相关物理量。

用例三 白炽灯的正确安装。

题 4 如图 4-77 所示，是四只螺丝口灯座的连接图，正确的是：

( )

- A.                      B.  
C.                      D.

螺丝口灯座连接有两个要点：开关应接在火线与灯座之间；零线应与螺旋部分相连接。根据上述两个原则，四种接法中，正确的应为 **A**，故本题选 **A**。

**【熔断器】** 家庭照明电路中为防止电流超过电线规定值引起事故而接入的一种器件。熔断器主要由熔断丝构成，这是一种电阻率较大、熔点较低的合金丝，这种合金丝又称保险丝。

当电路中的电流超过额定值，达到危险程度时（如发生短路或电流强度超过最大安全电流以前），熔断丝被熔化，从而自动切断电路，起到保护作用。

保险丝常用铅锑合金制成。合金比例一般为：铅 98%，锑 0.3~1.5%，杂质不多于 1.5%。电路选择保险丝的原则是：保险丝额定电流等于或略大于电路最大工作电流，额定电流选的过大则不起到保护作用，额定电流选的过小，则在正常工作情况下也会造成停电事故。

用例一 保险丝的特点。

题 1 组成保险丝的材料应有的特点是：

( )

- A. 电阻率较大，熔点较高  
B. 电阻率较大，熔点较低  
C. 电阻率较小，熔点较低  
D. 电阻率较小，熔点较高

根据焦耳定律公式  $Q = I^2 R t$ ，保险丝材料组成应具有较低的熔点，又具有较高的电阻值，这样在电流过大时可以迅速地熔断，从而保证电路安全，故本题应选 **B**。

用例二 保险丝的选取。

题2 一台电烘箱，它的电热元件是由4条镍铬合金丝并联而成的，每条镍铬合金丝的电阻都是48.4欧姆，这台电烘箱将由照明电路供电，它的总熔断器盒内应该装额定电流是多少安培的保险丝？

四条镍铬合金丝并联总电阻为：

$$R_{\text{总}} = \frac{1}{4}R = 48.4\text{欧} \times \frac{1}{4} = 12.1\text{欧},$$

照明电路的额定电压  $U=220$  伏，

$$\text{通过保险丝的额定电流 } I = \frac{U}{R_{\text{总}}} = \frac{220\text{伏}}{12.1} = 18.2\text{安}.$$

查常用保险丝规格表：直径为2.40毫米的保险丝能满足要求，其额定电流为20安培，熔断电流为40安。

用例三 在固定保险丝条件下，正确选择用电器。

题3 一座教学楼总熔断器盒内装的保险丝额定电流是25安培，楼内共有22间教室，每间教室共有4盏60瓦电灯，在有80%灯亮的时候，还能接500瓦的电炉多少只？

当有80%的电灯亮的时候，全校电灯的总功率：

$$P_{\text{总}} = 60\text{瓦} \times 4 \times 22 \times 80\% = 4224\text{瓦}.$$

熔断器盒内装的是额定电流为25安培的保险丝，则电路能承受的额定总功率为：

$$P = UI = 220\text{伏} \times 25\text{安} = 5500\text{瓦},$$

故能接入的电炉只数  $n$  为：

$$n = \frac{5500\text{瓦} - 4224\text{瓦}}{500\text{瓦}} = 2.5\text{只}.$$

因电炉无法接半只，而接三只又超过了总功率，所以，电路中可再接2只电炉。

**【安全用电】** 在家庭用电中，为了防止触电事故的发生，必须根据安全用电的原则进行操作，称为安全用电。

安全用电的原则主要有下列几项：

1. 不接触低压带电体（不包括36伏以下安全电压）。
2. 不靠近高压带电体。
3. 不弄湿用电器。
4. 不损坏绝缘体。

如果违反安全用电原则，就可能引发触电事故，触电事故有如下几种：

1. 双线触电：当人体同时接触火线和零线时，电流将直接流过人体，当电流强度超过一定值时，将引起触电事故。
2. 单线触电：当人体立于地面并接触火线时，电流直接流过人体入地，当电流强度超过一定值时，将引发触电事故。
3. 高压电弧触电：人体接近高压电器时，人体与高压带电体之间将发生放电现象，从而造成高压电弧触电事故。
4. 跨步电压触电：人体走进落地的高压电线的某一区域，由于两脚离高压电线落地点距离不同，两脚间存在电压，此时将有电流流过人体，当电流强度超过一定值时，将造成跨步电压触电事故。

日常生活中，为防止发生触电事故应注意以下事项：

- 1.防止电器绝缘部分破损。
- 2.保持电器绝缘部分干燥。
- 3.避免电线跟其它金属物接触。
- 4.要定期检查线路，有问题处要及时进行修理。

用例一 安全用电原则。

题1 为了用电安全，必须注意下列几点：

- (1)不准用剪刀或没有绝缘柄的钳子剪带电的导线。
- (2)不准在电线上晒衣服。
- (3)发现有人触电时，必须先切断电源，然后才可以用手去拉。
- (4)发现高压输电线的断头落在地上时，不要走近，更不能去拾。

请说明不能这样做的原因。

因为：(1)用剪刀或没有绝缘柄的钳子剪带电的导体，电流将通过金属剪刀或钳子流经人体入地，从而发生触电事故。

(2)在电线上晒衣服，会弄湿电线的绝缘层从而漏电，违背了安全用电原则。

(3)当人触电时，人体已变成了一个带电体，这时直接去拉，将造成连锁触电事故，故应先切断电源再行抢救。

(4)高压输电线断头落地，在落地点周围形成一个电场。当人走近过程中，在两脚间，由于距输电线断头落地点距离不等，而形成跨步电压，造成触电事故。如人手去拾线头，电流将通过输电线、人体到地，造成直接接触触电事故。

题2 某同学家中的四盏电灯突然全部熄灭了，检查保险丝发现并未烧断，用测电笔测室内各处电路时，氖管都发光，该同学对故障作了下列四种判断，其中正确的是： ( )

- A.灯泡全部烧坏了
- B.进户零线断路
- C.室内线路某处短路
- D.进户火线断路

题中给出的四种可能判断，它们都可以导致电灯全部熄灭，但要得出正确的判断还必须根据题意，对电路故障进行具体分析。

首先，检查保险丝并未烧断，说明C不可能，因为，当室内线路某处短路时，必会因电流过大而烧坏保险丝。其次，用测电笔测室内各处电路时氖管均发光，说明线路中的火线连接完好，因此D不可能。另外用测电笔测零线时正常情况下氖管不发光，现在氖管发光，说明零线通过灯泡灯丝处于接通状态，故A不可能。因此，本题应选B，即由于进户零线断路，使电路不能闭合，从而电灯全部熄灭，但此时室内线路处于有电状态。

**【磁体】** 物体能够吸引铁、钴、镍等物质的性质叫做磁性，具有磁性的物体叫做磁体。永磁体有两类：天然磁体，如磁铁矿石等；人造磁体，如条形磁铁、蹄形磁铁等。

**磁极** 磁体上磁性最强的部分叫做磁极。任何一个磁体都有两个磁极，指北的一端叫北极或N极，指南的一端叫南极或S极。地球就是一个巨大的磁体，在地理南极附近有地磁体的N极，地理北极附近有地磁体的S极。利用磁体的这个特性，可以用来制成指南针，现代的指南针（罗盘）是用人造磁铁制成的。

磁极之间存在着相互作用力，叫做磁力。同名磁极相互排斥，异名磁极相互吸引。

**磁化** 一根铁棒，原来没有磁性，不能吸引铁屑，但是当一根磁铁的磁极靠近铁棒时，这个铁棒就能吸引铁屑，有了磁性。这种原来没有磁性的物体得到磁性的过程叫做磁化。被磁化的物体，靠近磁极的一端成为异名磁极，远离磁极的一端成为同名磁极。

能够被磁化的材料称为铁磁性材料。其中磁化后磁性不易消失的叫硬磁性材料，磁化后磁性容易消失的叫软磁性材料。

**用例一 判别物体是否有磁性。**

**题 1** 有两根外形完全相同的条形钢 A、B，如图 4-78（甲）放置时，B 被吸住不会掉下来，如图 4-78（乙）放置时，A 不被吸住而掉下来，这两种情况说明：（ ）

- A. A 有磁性，B 无磁性                      B. A 无磁性，B 有磁性  
C. A、B 都无磁性                              D. A、B 都有磁性

根据条形磁铁的特点，两端磁性最强，中间部分磁性最弱，图（甲）中 B 被吸住，可以判定只有 B 有磁性才有可能。同理，可以推知图（乙）中 A 无磁性。本题答案应选 B。

**题 2** 有一根细钢针，想知道它是否带有磁性，可以采用哪些方法来判断？

可以用三种方法来判断：

（1）根据磁铁具有吸引铁屑等物体的性质，试一试钢针能否吸引铁屑，能吸引就有磁性。

（2）根据磁极间存在相互作用的性质，让钢针与一小磁体两极靠近，看有无排斥现象，若有，即可判断钢针具有磁性。

（3）把钢针插在一小块泡沫塑料上，浮于水面，若钢针在地磁场作用下，一端指南，一端指北，说明钢针具有磁性。

**用例二 确定物体的磁性和磁极。**

**题 3** 如图 4—79 所示，用一磁体的北极分别去靠近可以自由转动的铁针 A、B 的一端，当靠近 A 时出现排斥现象，当靠近 B 时出现吸引现象，上面两种情况说明（ ）

- （1）A 一定有磁性，且靠近磁体一端是北极  
（2）B 一定有磁性，且靠近磁体一端是南极  
（3）A 不一定有磁性  
（4）B 不一定有磁性

根据磁极间的相互作用，总是同名磁极互相排斥，异名磁极互相吸引，可以判定（1）正确，而对于磁体北极靠近 B 时，可以作这样的分析：一种可能是磁体北极靠近 B 的一端，正好是 B 的南极，必然互相吸引，另一种可能是 B 原来没有磁性，当磁体靠近它时，由于磁化，也会互相吸引，故（2）的说法不完全正确。本题答案应选（1）、（2）。

**【磁场】** 磁体周围空间存在着一种特殊的物质，叫做磁场，磁体间的相互作用就是通过磁场作媒介而发生的。磁场是有方向的，磁场对小磁针北极作用力的方向就是这一点的磁场方向。在磁场中放一磁针，磁针北极的受力方向和磁场方向相同，而南极的受力方向与磁场方向相反。

**磁感线** 为了形象地描绘磁场的性质而引进的假想曲线。磁感线是有方向的，曲线上任何一点的切线方向都与放在该点的小磁针北极指向一致。在磁体外部磁感线由 N 极出来再回到 S 极，在磁体内部则由 S 极到 N

极，所以磁感线是闭合曲线。

不同的磁场，磁感线有不同的表示方法，如图 4—80 所示。

在某一空间，如果各处的磁场方向相同，磁场一样强弱，这样的磁场叫匀强磁场，通常用等距离的平行线表示，(d) 图中两极间的部分便是匀强磁场。

地球本身是个巨大的永磁体，它的周围存在着磁场，叫做地磁场，小磁针指南北方向就是因为有地磁场存在的缘故。地理两极跟地磁两极并不重合，因此，水平放置的磁针的指向，跟地理子午线并不一致，其间有一交角，叫做磁偏角。最早发现磁偏角存在的科学家是我国宋代的沈括（1031 ~ 1095），比西方哥伦布横渡大西洋时才观察到地磁偏角现象早了 400 多年。

**用例一** 根据小磁针静止时的指向判别磁铁的极性。

**题 1** 小磁针静止时位置如图 4-81，试标出磁铁的南北极。

小磁针北极的指向应和该点的磁场方向即磁感线的切线方向一致，根据这一特点可以判定，(a) 图中右端为 N 极，左端为 S 极，(b) 图中上端为 S 极，下端为 N 极。

**用例二** 根据磁感线方向，判别磁体的极性和小磁针静止时的位置。

**题 2** 如图 4-82，已知磁体的磁感线方向，标出磁体的 N、S 极；若在 A、B、C 各点放一小磁针，作图说明小磁针平衡后的 N、S 极。

磁感线在磁体外部从 N 极出发，回到 S 极，在内部从 S 极到 N 极。小磁针静止时 N 极的指向应和磁场方向即磁感线切线方向一致。故答案如图 4-83。

**【电流的磁场】** 电流周围空间存在着磁场的现象，叫做电流的磁效应。这一现象是丹麦物理学家奥斯特在 1820 年首先发现的。奥斯特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，磁针又回到原来的位置。奥斯特实验表明，通电导线周围和磁铁周围一样，存在着磁场。

直导线电流周围磁场的磁感线是以导线上各点为圆心的同心圆，这些同心圆都在与导线垂直的平面上（如图 4—84）。

通电螺线管的磁场与条形磁铁的磁场相似，其特点为电流越强，磁性越强，且电流方向改变时两磁极也改变，螺线管的匝数越多，磁性越强，螺线管内插入铁棒后其磁性大大增强。

电流产生的磁场方向可以用安培定则即右手螺旋定则判别。

\*对于直线电流的磁场，安培定则的使用方法是：用右手握住导线，让大拇指所指的方向跟电流方向一致，那么弯曲的四指所指的方向就是磁感线的环绕方向。

对于通电螺线管产生的磁场，安培定则的使用方法是：用右手握住螺线管时，弯曲的四指方向跟电流方向一致，而大拇指所指的方向就是通电螺线管的 N 极，另一端则为 S 极。

**用例一** 根据右手螺旋定则判别通电螺线管南北极。题 1 在图 4—85 中标出通电螺线管的南北极。

用右手握住螺线管，四指弯曲方向与电流方向一致，大拇指所指的那端就是通电螺线管的北极，另一端为南极。所以 (a) 图的左端为北极 (N 极)，右端为南极 (S 极)，(b) 图的右端为北极，(c) 图的右端为南

极。

**用例二 判别直导线或螺线管中的电流方向。**

**题 2** 图 4—86 给出了通电导线所产生的磁场的磁感线方向或者小磁针静止时的位置（虚线为磁感线），试判别导线或螺线管中的电流方向。

对于直线电流，根据安培定则，四指弯曲方向与磁感线方向一致，大拇指的指向即为电流方向，所以（a）图中电流方向垂直纸面向内；（b）图中电流方向沿导线向上；对（c）图，由小磁针静止时 N 极靠近螺线管的右端，可以判定螺线管右端为 S 极，左端为 N 极，再根据右手定则可以判别通过螺线管的电流是由右端向上流进，从左端向下流出。

**用例三 由小磁针的指向，确定通电螺线管的磁极和电流方向。**

**题 3** 如图 4—87，已知通电螺线管内小磁针 N 极的指向，试确定通电螺线管的磁极，螺线管中的电流方向以及在通电螺线管外 a、b 两处小磁针的磁极。

由于螺线管内部磁感线方向是由 S 极到 N 极，所以通电螺线管左端为 N 极，右端为 S 极，由安培定则可知，螺线管中电流方向为从右端导线流入，左端导线流出，根据磁极间的相互作用规律可以判定，a 处小磁针左端为 N 极，右端为 S 极；b 处小磁针右端为 N 极，左端为 S 极。

**用例四 根据安培定则和磁极间的相互作用，画出螺线管的绕线方法。**

**题 4** 如图 4—88，A、B 是两个螺线管，当开关闭合时，A、B 两螺线管相斥，请画出 B 的绕线方法。

从图中可以看出，这两个螺线管是串联的关系。用安培定则判断出当开关闭合时，A 的右端应为 N 极，左端为 S 极。由于 A、B 相斥，则 B 的左侧和 A 的右侧应是同样的极性，都是 N 极。电流从 B 的左侧流入，用右手定则可判断出 B 的绕线方法，如图 4—89 所示。

**【电磁铁】** 电磁铁是利用电流的磁效应而制成的。在螺线管中插入软铁芯，便构成简单的电磁铁。

电磁铁与永久磁铁相比，具有许多优点。1. 利用电磁铁可以获得比永久磁铁更强的磁场。2. 电磁铁的磁性有无、磁性的强弱、磁极的变换都可用控制电流的方法加以控制，而永久磁铁是无法控制的。

由于电磁铁有以上优点，因此它获得了十分广泛的应用。电磁继电器就是电磁铁重要的应用实例，它在自动化控制中有着极其重要的作用；此外电磁铁还在电磁起重机、电铃、电报机、电动机、发电机等许多方面都有广泛的应用。

**【制作电磁铁并研究它的作用】 实验目的** 1. 学会自制简易电磁铁。

2. 研究电磁铁磁性的强弱与哪些因素有关。

**实验器材** 一个线圈匝数可以改变的螺线管，软铁芯，电源，开关，滑动变阻器，电流表和若干大头针。

**实验步骤** 1. 把软铁芯插入螺线管中。

2. 按图 4—90 的电路图把螺线管、电流表、滑动变阻器、开关、电源串联成电路。

3. 研究电磁铁的磁性跟电流通断的关系，观察通电和断电时电磁铁对大头针的作用。

4. 研究电流大小对电磁铁磁性强弱的影响。闭合电键，移动滑动变阻器的滑动片，调节电路中的电流大小，观察电磁铁吸引大头针的数目。

5. 研究外形相同的螺线管，电磁铁的磁性强弱跟线圈匝数的关系。改变电磁铁的接线，增加通电线圈的匝数，同时调节变阻器的滑片，使电流保持不变，观察电磁铁吸引大头针的数目有什么变化。

实验现象的分析：

1. 电磁铁通电时，能吸引大头针，说明这时有磁性，断电时不能吸引大头针，说明这时无磁性。

2. 通入电磁铁的电流越大，吸引大头针的数目越多，说明电磁铁磁性越强。

3. 在电流一定时，外形相同的螺线管，线圈的匝数越多，它的磁性就越强。

电磁继电器是电磁铁在远距离操纵和自动控制方面的具体应用。它的主要构造是：

1. 电磁铁。电磁继电器的主体部分，是一个带有铁芯的螺线管，它是靠螺线管的电流通断来控制磁性有无的。

2. 衔铁。受电磁铁的吸引，能改变位置，以达到控制继电器触点通断的目的。

3. 弹簧。在电磁铁失去磁性时，能拉动衔铁恢复原位。

4. 触点。是接通或切断电路的开关。

图 4—91 (1) 所示的装置，就是电磁继电器一种具体应用。当工作电路发生故障而断开的时候，行铁离开电磁铁，使指示灯接通，发光告警。故障排除后工作电路接通，衔铁被电磁铁吸引，指示灯又自动熄灭。

图 4—91 (2) 是一种水位自动报警器的原理图。水位没有达到金属块 B 时，电磁铁没有通电，衔铁与连接绿灯的电路接触，因而绿灯亮；当水位上涨，达到金属块 B 时，电磁铁中有电流通过，具有磁性，衔铁被吸引，与连接红灯的电路接触，此时绿灯熄灭，红灯发光，从而自动报警。

【磁场对电流的作用】 实验证明，通电导线在磁场里要受到力的作用。导线的受力方向与电流方向和磁场方向有关，这个关系可以用左手定则来确定。

\*左手定则：伸开左手，使拇指与其余四指垂直，并且都与掌心在同一平面里。把左手放在磁场中，让磁感线从掌心穿过手掌，四指指向电流方向，拇指指向就是通电导线在磁场中的受力方向。

把一个通电线框放在磁场中，根据左手定则可以判断通电线框中有两条边受力且方向不同而发生转动，此时，线框消耗了电能，人们得到了机械能，这是一种将电能转化为机械能的方法。直流电动机就是根据这一原理制成的。

运用右手螺旋定则（安培定则）和左手定则时，必须注意两者的区别：

1. 右手螺旋定则，是用于在电流产生磁场的现象中，判定电流方向与磁感线方向间关系的法则。只要知道电流或磁感线方向中的一个，就可判定出另一个。

2. 左手定则是用于在磁场对电流作用的现象中，判定电流方向、磁场方向和通电导体在磁场中受力方向三者关系的法则。我们只要知道电流、磁场、运动这三个方向中的任意两个，就可以判定第三个。

**用例一** 根据左手定则，判别磁场力方向、电流方向或磁场方向。

\*题 1 图 4—92 中已知导线中电流方向，试分析其在磁场中受力方向。

根据左手定则可以判别：(a) 图中导线受磁场力方向水平向右；(b) 图中导线受磁场力方向为垂直纸面向外；(c) 图中导线受磁场力方向为水平向左；(d) 图中矩形线圈的 ad、bc 两边不受力，ab 边受磁场力方向为垂直纸面向内，cd 边受磁场力方向为垂直纸面向外。

\*题 2 图 4—93 中表示通电导线的电流方向和其在磁场中受力方向 F，试标出磁场方向或磁极。

根据左手定则，四指指向电流方向，大拇指指向受力方向，手心所对的方向为 N 极，所以 (a) 图中上端为 N 极，下端为 S 极；(b) 图中磁场方向垂直纸面向外；(c) 图中左边为 N 极，右边为 S 极。

\*题 3 如图 4—94 所示，箭头表示通电导体所受磁场力的方向，那么导体中应通入什么方向的电流？

已知磁场方向和导线的受力方向，要判别电流方向，应该用左手定则。由左手定则可知：(a) 图中电流方向为垂直纸面向内；(b) 图中垂直纸面向外；(c) 图中电流应从右边进去，左边出来；(d) 图中电流应从左边进，右边出。

**用例二** 根据电流的磁效应，利用右手螺旋定则和左手定则，判别电流与电流间的相互作用。

\*题 4 有一条很长的通电直导线，电流方向如图 4—95 所示，另有一条直导线 ab，与长直导线在同一平面内，ab 中通入电流方向由 a 到 b，问在下列两种情况下导线受力的方向：(1) ab 平行于长直导线；(2) ab 垂直于长直导线即在 a'b' 位置。

(1) ab 平行于长直导线时，ab 所处的磁场是由长直导线中电流产生的，根据安培定则可知，磁场方向垂直于导线所在平面指向纸内，再根据左手定则可知，通电直导线 ab 受力方向向左。

(2) ab 在 a'b' 位置时根据左手定则可知，受力方向竖直向上。

**【电动机】** 电动机是利用通电线圈在磁场中受到磁场力的作用而发生转动的原理制成的。

用直流电源供电的电动机叫直流电动机，它是把电能转化为机械能的装置。电动机的基本组成部分有：形成磁场的磁极、线圈、换向器、电刷。

换向器是由安装在线圈上的两个互相绝缘的金属半环组成，当线圈转到平衡位置时，换向器能自动地改变线圈里的电流方向，使线圈继续转动。图 4—96 说明了电动机的工作原理。

甲：电流方向和力的方向如图所示，线圈顺时针转动。

乙：线圈转到平衡位置时，两电刷恰好接触两半环间的绝缘部分，线圈由于惯性继续转动，转过平衡位置后，电流即改变方向。

丙：ab 和 cd 中的电流方向与图甲相反，受力方向也相反，线圈仍顺时针转动。

丁：线圈又转到平衡位置，换向器又自动改变电流方向。

实际的直流电动机，为了能够带动工作机平稳地运转，线圈有很多匝，而且嵌在铁芯上，组成转子；换向器也由许多铜片组成。转子安装在定子里，定子由机壳和磁极组成，而且用的是电磁铁，如图 4—97 所示。

电动机与热机相比，具有许多优点：操作方便，构造简单，体积小，效率高，所以各种电动机得以广泛应用。另外，由于直流电动机起动力矩大，变速特性好，常用在需要大起动力矩和频繁变速的地方，如电车、电力机车、轧钢机和大吨位起重机等，都是应用直流电动机的机械。除了直流电动机，还有交流电动机。交流电动机也广泛应用在工厂、农村和日常生活中。电风扇、洗衣机、电冰箱等电器中用的都是交流电动机。

**【装配直流电动机模型】** 实验目的 1. 了解直流电动机的基本构造。

2. 加深对直流电动机原理的认识。

3. 了解电动机转向、转速的控制方法。

**实验器材** 磁铁，线圈，换向器，电刷，转轴，轴架及其它有关部件，直流电源、滑动变阻器、电键、导线等。

**实验步骤** 1. 组装直流电动机模型（如图 4—98 所示）。

（1）安装转子。先固定一个轴架，然后将转子的转轴穿入轴孔中，再固定另一个轴架，要注意让转子的换向器一端靠近电刷的接线柱，不能把转子装颠倒，装好转子后，用手捻动转子的轴，检查转子转动是否灵活、平稳，发现转子“跳动”时要予以校正或更换。

（2）组装定子。组装定子时要先固定一个磁极铁片，在固定另一磁极铁片时，螺钉暂不上紧，待夹上磁铁后再将螺钉旋紧。装好定子后，再转动转子检查转子是否跟定子相碰，若有相碰现象，可松动磁极铁片的固定螺钉，调整好铁片的位置后再将螺钉旋紧。

（3）固定电刷。固定电刷时，既要保证电刷跟换向器接触良好，又不能使电刷对换向器的压力太大。

2. 画出实验电路图，连接电路。

把电动机、滑动变阻器、开关和电源串联起来，组成闭合电路。电源取 4~6 伏，变阻器可用 10~20 欧，接通电源前应将变阻器的滑片放在中间位置，合上开关，接通电路，观察线圈的转动。

3. 改变电动机转动的方向。

（1）对调电源的电极，改变电流方向，观察转动方向的变化。

（2）对调磁铁的两极，改变磁场方向，观察转动方向的变化。

4. 改变直流电动机的转速。

把滑动变阻器的滑片从中间位置分别向电阻增大和电阻减小的方向滑动，观察电动机转动速度的变化。

**【电磁感应】** 闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁力线运动时，导体中就产生电流，这种现象叫做电磁感应，产生的电流叫做感生电流。

产生感生电流必须具备两个条件：1. 电路必须闭合；2. 导体必须做切割磁感线运动。上述两个条件缺一不可，如果导体不是闭合的，只在导体两端产生感生电压。

感生电流的大小跟磁场的强弱、导线在磁场中的长度、导线运动的速

度及运动方向与磁场方向之间的夹角有关，还与闭合电路的电阻大小有关。

\*感生电流的方向用右手定则来判别。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，让磁感线垂直穿入手心，大拇指指向导体的运动方向，那么其余四指所指的方向就是感生电流的方向。

在使用右手定则判别感生电流方向时，总是把导体当作运动的，如果不是导线动而是磁场动，就要注意运动方向的相对性，一定要把磁场当作不动，而看成导线相对磁场向相反方向运动。

#### 用例一 正确理解感生电流产生的条件

题 1 如图 4—99 所示，一导线绕成的矩形线框，在磁场中做匀速运动，速度为  $v$ 。线框中有感生电流产生的图是： ( )

产生感生电流的条件是：闭合电路中的一部分（不能全部）导体在磁场中做切割磁感线的运动，即电路闭合，部分导体做切割磁感线的运动。照此分析，(a) 线框全部在磁场中做切割磁感线运动，无感生电流产生；(b) 线框虽在磁场中运动，但线框各部分都不切割磁感线，无感生电流产生；(c) 有部分线框不在磁场中，部分在磁场中切割磁感线，故有感生电流产生；(d) 中线框不切割磁感线，无感生电流产生，故本题正确答案是 (c)。

#### 用例二 右手定则的应用。

\*题 2 判断在图 4—100 所示的运动导体中，有没有感生电流，若有则确定感生电流方向（图中导体棒均为闭合电路的一部分）。

根据右手定则，(a) 图中导体做切割磁感线运动，可以判别产生感生电流的方向为垂直纸面向外；同理，(b) 图中产生的感生电流方向对于导体棒来说自下而上，整个回路电流方向为逆时针；(c) 图中导体棒的运动方向与磁感线方向平行，不切割磁感线，故没有感生电流。

\*题 3 如图 4—101（俯视），A 是一个可自由转动的线圈，当线圈 A 顺时针方向转动时，小磁针将： ( )

- A. 静止不动      B. 北极向里转      C. 北极向外转

线圈 A 在磁场中转动，切割磁力线，产生感生电流。产生的感生电流方向应用右手定则判别，可知线圈 A 中电流是右边向下，左边向上。再根据安培定则可以判断螺线管的右边为 N 极，左边为 S 极，小磁针的北极正好与该处的磁场方向一致，故静止不动。答案应选 A。

#### 用例三 安培定则、右手定则和左手定则的综合应用。

\*题 4 如图 4—102，当电磁铁向上运动时，确定导线（图中画的是闭合电路的一部分导线的横截面）中感生电流的方向，并标出导线受力的方向。

分析此题要分三步来做。第一步：使用安培定则判断电磁铁的磁性。判断后知电磁铁的左端是 N 极、右端是 S 极。

第二步：使用右手定则判断感生电流的方向。伸开右手，先使手心向左，让磁力线垂直穿入手心，再把大拇指指向下方，跟导线运动方向一致（题中给出电磁铁从下向上运动，相当于电磁铁不动，而导线向下运动），这时其余四指所指的方向——从书里指向我们，就是感生电流的方向。

第三步：使用左手定则判断导线在磁场里的受力方向。判断得出：导线受磁场力方向向上。

**【发电机】** 发电机是把机械能转化为电能的装置，是电磁感应现象的重要应用。发电机主要由定子（不动部分）和转子（运转部分）组成。

如图 4—103 是发电机的原理图。放在磁场里的线圈，两端各连一个铜环 K 和 L，它们分别跟电刷 A 和 B 接触，并跟电流表组成闭合电路。让线圈在磁场中转动，线圈每转动一周，电流方向将改变两次，大小也作一次周期性变化。这种大小和方向作周期性变化的电流，叫做交流电。交流电的应用很普遍，家庭电路中的电流，供生产用的动力线路中的电流都是交流电。我国供生产和生活用的交流电，周期是 0.02 秒，频率是 50 赫兹。

为了使发电机产生很高的电压和很强的电流，大型发电机的线圈匝数很多，导线也很粗，要使巨大的线圈高速旋转，需要解决的技术问题比较复杂，因此大型发电机采用的是线圈不动而磁场旋转的方式，把线圈嵌在定子铁芯的槽里，这样的发电机叫做旋转磁极式发电机。为了得到较强的磁场，用电磁铁代替永久磁铁作转子，由专用的直流电源经电刷、滑环给电磁铁供电。

除了交流发电机，还有直流发电机。它用换向器来代替交流发电机上的两个铜滑环，这样，虽然线圈中产生的是交流电，而供给外部电路的却是直流电。

甲：线圈开始转动时。ab 边向左运动，cd 边向右运动，导线不切割磁感线，电路中没有电流。

乙：线圈转动的前半周中。ab 边向下运动，cd 边向上运动，导线切割磁感线，电路中有电流，这时外部电路中电流由 A 到 B。

丙：线圈转到 1 / 2 周时。ab 边向右运动，cd 边向左运动，导线不切割磁感线，电路中没有电流。

丁：线圈转动的后半周中。ab 边向上运动，cd 边向下运动，导线切割磁感线，电路中有电流，这时外部电路中电流由 B 到 A。

图 4—103

**【电能的输送】** 发电厂到用户往往有一定的距离，这就需把电能输送出去，供用户使用。电能的输送是通过输电导线来实现的。

在电能的输送过程中，由于电流的热效应，必然会有一定的电能转化为热能而损失掉。因此，我们必须采取相应的方法尽量减少损失，以提高输电的效率。

根据焦耳定律， $Q = I^2Rt$ ，减小热量损失有两种方法：一是减小电阻 R，另一种方法是减小电流 I。而要减小 R，在距离一定的条件下，必须减小电阻率，因而一般输电线采用铜和铝。另外若增加导线的横截面积，则必须把导线做得很粗，这样，一方面使得所需金属材料成倍增加，从而提高价格，同时由于输电线重量增加，从而给架线带来不便。因此，通过减小电阻的方法减小热量损失是有限的。

另一种办法是减小导线中的电流。当输送的电功率不变的情况下，根

据  $P = IU$ ，为了达到减小  $I$  的目的，必须增大  $U$ ，这就是高压输电的原理。

目前，我国远距离输电电压一般有：110 千伏；220 千伏；330 千伏，在少数地区采用了 500 千伏超高压送电。目前世界上正在实验用 1150 千伏输电。

从发电厂到用户，电能输送一般经过如图 4—104 所示的几个过程。

用例一 根据电能输送原理，计算线路损失的电功率。

题 1 一座小型水电站输送的电功率是 4800 千瓦，输电电压是 220 千伏，若输电导线总电阻是 0.5 欧，那么输电线路损失的电功率是多少？如果用 400 伏的电压输电，输电线路损失的电功率是多少？

当用 220 千伏电压输电时，线路中电流  $I$ ：

$$I_1 = \frac{P}{U_1} = \frac{4800 \times 10^3}{220 \times 10^3} = 21.8(\text{安})$$

当用 400 伏电压输电时，线路中电流  $I$ ：

$$I_2 = \frac{P}{U_2} = \frac{4800 \times 10^3}{400} = 1.2 \times 10^4(\text{安})$$

输电线上损失的电功率分别为：

$$P_1 = I_1^2 R = (21.8)^2 \times 0.5 = 237.6(\text{瓦})；$$

$$P_2 = I_2^2 R = (1.2 \times 10^4)^2 \times 0.5 = 7.2 \times 10^7(\text{瓦})。$$

从以上计算可以看出：高压输电与低压输电损失的电功率之比为  $237.6 : 7.2 \times 10^7 = 1 : 3 \times 10^5$ ，由此可见高压输电的优越性。

**【能的转化与守恒】** 能的转化与守恒定律是自然界最普遍、最根本的定律之一。能的转化与守恒定律的内容是：能量既不能消失，也不会创生，它只会从一种形式转化为另一种形式，或者从一个物体转移到另一个物体，而能的总量保持不变。

能量的转化与守恒定律是 19 世纪人类最伟大的发现之一。它揭示了机械、热、电、磁、化学、核等各种运动形式之间的统一性，达到了自然界的又一次大综合。

能量的转化与守恒定律包括两个方面内容：其一，各种能量是可以互相转化的。动能可以转化为势能，势能可以转化为动能；机械能可以转化为内能，内能也可以转化成机械能；化学能可以转化成电能，电能也可以转化为化学能；太阳能可以转化为电能，电能也可以转化成光能……其二，伴随着能量的转化与转移，总能量保持不变，即能量不会消失，也不能创生。

在能的转化与守恒定律发现以前，一些科学家曾以毕生的精力从事“永动机”的研究，但是，无论他们应用何种原理，设计的机器如何精巧，但最终无不以失败而告终。这就从反面告诉我们，只有在正确理论指导下，沿着正确的途径攀登，才能到达成功的彼岸。

用例一 应用能量转化与守恒定律分析物理过程。

题 1 如图 4—105 所示，表现了撑杆跳高运动的几个阶段：助跑、撑杆起跳、越横杆，试分析运动员在撑杆跳几个过程中能量的转化情况。

在助跑阶段，运动员通过助跑获得一定动能；在撑杆起跳过程中，运动员具有的动能转化成势能；越过横杆后，运动员具有的势能转化成动能而下落。

## 现代物理

**【半导体】** 导电性能介于金属和绝缘体之间的一些导电材料叫半导体，一般为固体，如锗、硅、砷化镓等。与金属相比，半导体的导电性能还有以下几个显著特点：

1. 半导体中加入微量杂质后，可使其导电性能变化达几个数量级。
2. 温度升高时，金属的电阻略微增加，而半导体的电阻受热后可迅速减小，利用半导体的这种特性可做成体积很小的热敏电阻。
3. 光照可以使半导体的电阻大为减小，而在金属则不变，利用半导体的这种特性，可做成光敏电阻。

利用半导体各种特殊的电学性能，可以制成各种电子器件，这些电子器件总称为半导体器件。如各种二极管、三极管、光敏电阻、热敏电阻、光电池、半导体激光器、半导体集成电路等。

通常，半导体器件具有体积小、耗电少、耐震动、寿命长和可靠性高等优点，为电子设备的微型化和工作高速化创造了条件，因而得到广泛的应用。

**【超导体】** 人们早已知道，随着温度的降低，金属的电阻会减小，但是并不知道在温度接近绝对零度时，电阻会降低到什么程度。为了弄清这个问题，荷兰物理学家昂尼斯（1853~1926）开始对极低温下金属电阻的研究。1911年，他在测量低温下水银的电阻时发现，水银的电阻并不像人们预想的那样随着温度的降低连续地减小，而是当温度降到 $-269$ 左右时突然完全消失。以后还发现一些金属或合金，当温度降到某一温度时，电阻也会变为零。这种现象叫做超导现象，能够发生超导现象的物质叫做超导体。物质的电阻变为零时的温度叫做这种物质的超导转变温度或超导临界温度，用 $T_c$ 表示。物质低于 $T_c$ 时具有超导性，高于 $T_c$ 时失去超导性。

超导体的发现，在科学技术上有很大的意义。

例如，由于现代生产的发展，对电能的需要迅速增长，有人统计，几乎每隔10年对电能的需要就会增长一倍。但输电线有电阻，由于电流的热效应，使损失在输送电路上的电能大约超过 $\frac{1}{4}$ 。如果我们能够找到常温

下的超导材料，就可以在发电、送电、电动机等方面大规模地利用超导性能，它将在现代技术的一切领域内引起一场巨大的变革。所以常温超导体的研究，是目前的一个重要课题，即使得不到常温超导体，能寻找到转变温度较高的超导体亦有重大意义。在这方面，我国的研究工作走在世界前列，1989年已找到 $T_c$ 达 $-141$ 的超导材料，这是在高临界温度超导体研究方面取得的重大突破。

**【电磁波】** 当导体中的电流迅速发生变化或通以高频率的交流电时，导体就会向四周空间发射一种波。这种波是由电磁现象产生的，称为电磁波。

电磁波每秒振荡的次数叫做电磁波的频率，单位是赫兹（Hz），常用单位还有千赫（kHz）、兆赫（MHz）。

电磁波振荡一次向前传播的距离等于电磁波的波长。

电磁波在真空中的传播速度跟光速一样，也是 $3 \times 10^8$ 米/秒，它在空气中传播的速度则近似等于 $3 \times 10^8$ 米/秒。

对于电磁波来说，同样有：

波速 = 波长 × 频率。

不同频率的电磁波，传播速度都是相同的。因此频率较大的电磁波，波长较短。

无线电通讯就是利用电磁波传输信号的。

用例根据电磁波的频率的大小，判断其波长的大小。

题 1 上海人民广播电台发射的一种电磁波的频率为 990 千赫，中央人民广播电台发射一种电磁波的频率是 15.58 兆赫。它们发射的电磁波的波长分别是\_\_\_\_和\_\_\_\_。

因为不同频率的电磁波在空气中的传播速度都等于  $3 \times 10^8$  米/秒，根据波速 = 波长 × 频率，所以，

$$\text{波长} = \frac{\text{波速}}{\text{频率}}。$$

$$\text{上海台：波长} = \frac{3 \times 10^8 \text{ 米/秒}}{990 \times 10^3} = 303 \text{ 米，}$$

$$\text{中央台：波长} = \frac{3 \times 10^8 \text{ 米/秒}}{15.58 \times 10^6} = 19.3 \text{ 米。}$$

【激光的应用】 激光是一些物质受到外来能量的激发而发射出来的光束。它可由一种叫做激光器的装置发射出来，不同的激光器可以发射不同颜色的激光。与普通光相比，激光的主要特点是：方向性好、单色性好、亮度高、能量高度集中。

由于激光的上述特点，因而被广泛应用于机械加工，通讯，精密测量，医疗手术，军事等方面。

1. 激光通讯。激光通讯是本世纪 70 年代以后发展起来的新兴技术。激光通讯不但可以大幅度提高通讯容量，还有很强的抗干扰能力，保密性强，成为激光应用的重要领域之一。

激光通讯分“有线”与“无线”两种。“无线”通讯由发射和接收两部分组成，它与无线电通讯十分相似，只是采用激光作为传递信息的运载工具，同时采用一些光学器件。激光“有线”通讯是将光信号沿光导纤维传送出去，在接收端通过光、电转换，使传送的讯号还原。

70 年代，激光光纤通讯技术便开始发展起来，信息容量每 4 年增加 10 倍，在不到 20 年的时间内，光纤技术更新了五代，第五代光纤技术是 1986 年研制的，它在 1 秒钟内可将 10 亿个信息通过光导纤维传送到 1 万公里之外。

2. 激光加工。激光具有很高的亮度，经光学系统可将激光束聚焦为直径比 1 微米还小的光点，在该范围内可以产生几千万度的高温，足以使坚硬的红宝石，不锈钢材料熔化、汽化。所以用激光束进行打孔、切割、焊接具有精度高、效率高、质量好等优点，还节省能源、材料。医学上还可利用激光作“光刀”来切开皮肤、切除肿瘤或作其他外科手术。

3. 激光测量。由于激光方向性好，用它来测量距离可以达到很高的精度。多用途的激光雷达不仅可以测量距离，而且能够测定目标的方位、运动速度、运动轨迹、甚至能描绘出目标的形状，进行识别和自动跟踪，所以激光雷达被用在导航、气象、天文、大地测量和人造卫星、宇宙飞船等

许多方面。

由于激光的单色性好，测量物体长度的精度很高。用激光测量几米的长度，测量精度可达 0.1 微米以内。

激光的应用还不止上面这些，例如激光化学、全息照相等，并且还在不断发展。

**【火箭】** 火箭起源于中国，是我国古代劳动人民的重大发明之一。现代的火箭，原理与古代的相同，只是构造复杂得多。

现代的火箭主要用来发射探测仪器、弹头、人造地球卫星或宇宙飞船，即作为运载工具。

由于用途不同，火箭的大小和复杂程度相差很大。小的如步兵用的反坦克导弹的火箭，连同弹头总共不过十几千克，长度只有一米左右。大的如把宇宙飞船送到月球去的火箭，共有三级，总高度超过 100 米，发射时包括燃料的质量达 3000 多吨。

现代火箭主要由壳体和燃料两大部分组成，壳体是圆筒形的，前端是封闭的尖端，后端有尾喷管。燃料燃烧时产生的高温高压气体以很大的速度从尾部向后喷出，火箭就向前飞去。

现代火箭在技术上已经有了很大的发展。除了单级火箭外，还出现了多级火箭。多级火箭是由单级火箭组成的，图 5—1 是三级火箭示意图。发射时先点燃第一级火箭，它的燃料用完以后空壳就自动脱离，以后是第二级火箭开始工作。多级火箭在工作中及时把对后面航行没有用的空壳抛掉，使火箭的总质量减少，因此能达到很高的速度，可以用来发射人造卫星、宇宙飞船或洲际导弹等。当然，火箭的级数也不是越多越好，因为级数越多，火箭的构造也越复杂，工作的可靠性也就越差。目前，多级火箭一般都是三级的。

我国的“长征”号系列运载火箭（包括“长征一号”、“长征二号”、“长征三号”和“长征四号”等），在不到 30 年的发展时间内，已经跨入世界先进行列，不但可以满足发射各种不同用途、不同重量卫星的需要，而且质量好，可靠性高。

自从 1926 年第一枚液体燃料火箭试飞成功以来，利用液体燃料或固体燃料的化学能作能源的火箭一直占有重要的地位。目前，科学家正在研制用电能或太阳能作能源的电火箭、太阳能火箭等。但是，无论哪一种火箭，都将向经济可靠和多次使用的方向发展。

**【放射性现象】** 铀、钋、镭等物质能放出射线的现象叫做放射性现象。放射性现象的实质是，放射性元素的原子核放出某种射线（粒子）并自发地转变为另一种原子核的过程。

人类认识原子核的复杂结构和它的变化规律，是从发现天然放射现象开始的。

天然放射性物质放出的射线有三种：α 射线，β 射线和 γ 射线。

α 射线，由带正电的 α 粒子组成。研究表明，α 粒子就是氦原子核。

α 粒子射出的速度约为光速的  $1/10$ ，但是其贯穿物质的本领很小，在空气中只能飞行几厘米，一张薄铝箔或一张薄纸就能把它挡住；不过它有很强的电离作用，使照相底片感光的能力也很强。

β 射线，是高速运动的电子流。它的贯穿能力很强，很容易穿透黑纸，甚至能穿透几毫米厚的铝板，但它的电离作用比较弱。

射线，是一种波长很短的电磁波。它的贯穿能力非常强，甚至能贯穿几厘米厚的铅板，但它的电离作用却很小。

射线的应用：可以检查金属材料内部损伤情况和金属板的厚度；用适度的放射线照射种子，可以提高农作物产量；可以用来检查、抑制和医治恶性肿瘤；放射线还可以使原来不导电的气体发生电离而导电。

过量的放射线照射到人体上，对人体是有害的。因此，切勿靠近有放射性物质的地方；在有放射性的地方工作时要采取保护措施，如用铅板等物把人体重要部位遮起来等。工作时，要防止放射性物质泄漏，以避免对环境造成污染。

**【原子核的组成】** 原子核是由质子和中子组成的。质子和中子具有相同的质量，中子不带电，质子带正电，一个质子带的正电电量跟核外一个电子所带的负电电量相等。所以，原子核的电荷数就等于它的质子数，原子核的质量数就等于它的质子数和中子数的和。

质子和中子是依靠一种作用力结合在一起组成原子核的，这个作用力叫做核力。

不同物质的原子核中的质子数和中子数是不相同的。具有相同质子数的原子，它们的核外电子数也相同，因而有相同的化学性质，属于同一种元素。

氢的原子核的结构最简单，氢原子核就一个质子，核外有一个电子。氦原子核由两个质子和两个中子组成，核外有两个电子。

**【核能】** 原子核发生变化时释放出的能量叫做核能，也叫原子能。可以通过两种途径获得核能。

第一种途径是原子核的裂变。例如用中子轰击铀 235，使铀核分裂成两部分而发生裂变，便有核能释放出来。在不同的裂变中，铀核释放的能量并不相同。一般来说，如果 1 千克铀全部裂变，它放出的能量相当于 2500 吨优质煤完全燃烧时放出的化学能。由此可见，裂变过程中释放出的核能是巨大的。

第二种途径是原子核的聚变。例如一个氘 (d o) 核 (质量数为 2 的氢核) 和一个氚 (chu n) 核 (质量数为 3 的氢核) 结合时，就释放出核能。这种较轻的核结合成质量较大的核，同时释放能量的反应叫做聚变。氢弹就是利用轻核聚变制成的。氢弹是一种比原子弹威力更巨大的核武器。

聚变在宇宙中是很普遍的现象。在太阳内部和许多恒星内部都进行着大规模的聚变，太阳每秒钟辐射出来的能量约为  $3.8 \times 10^{26}$  焦，这些能量就是由聚变产生的，地球只接受了其中的二十亿分之一，就使地面温暖，产生风云雨雾，使河川流动，生物生长等。

**【链式反应】** 铀核裂变时，同时放出 2~3 个中子，如果这些中子再引起其它铀核裂变，就可以使裂变反应不断地进行下去，这种反应叫做链式反应。

链式反应的主要应用是在两个方面：

1. 不可控的核反应。如果对裂变的链式反应不加控制，在极短时间内就会释放出巨大的核能，发生猛烈爆炸，原子弹就是根据这个原理制成的。

2. 可控反应堆。如果用人工方法控制链式反应的速度，使核能比较缓慢、平稳地释放出来。这种使核能缓慢释放的装置叫核反应堆，核反应堆是核电站的核心。除此以外，反应堆产生的大量中子还可以用来进行各种

原子核物理实验，制造各种放射性同位素以及生产新的核燃料。

**【核电站】** 利用核能使水汽化以推动汽轮发电机发电，这就是核电站。目前已建成的核电站，都是利用原子核裂变的链式反应产生的能量来发电的。

图 5—2 所示是核电站原理的示意图，它的核心是反应堆。第一回路中的水或其它液体用泵压入反应堆，在那里被加热，然后进入热交换器，接着又被泵压回到反应堆里。

在热交换器中，第二回路中的水经加热产生高温高压蒸汽，送入汽轮机驱动汽轮做功后温度和压强都降低，进入冷凝器，最后又由水泵把它压回热交换器。

高速旋转的汽轮机带动发电机发电。

核电站的特点是它消耗的“燃料”很少，一座 100 万千瓦的核电站每年只消耗铀燃料 30 吨左右，而同样功率的火力发电站，每年都要消耗 300 万吨煤。

目前，核能发电技术已经成熟，在经济效益上也跟火电站不相上下，核能发电对环境的污染，也比火电站要小。到 1989 年，全世界核电站的发电量已占世界总发电量的 17%，核能将作为 21 世纪的主要能源之一。

我国浙江秦山核电站和广东大亚湾核电站已运行发电，机组采用技术成熟的压水型反应堆。目前，能建造这种堆型核电站的只有美、俄等少数几个国家，可见我国在核电技术方面已进入世界的先进行列。

**【能源】** 凡是能够提供能量的物质资源，都可叫做能源，如煤、石油、天然气、水流和风等都是能源。

由自然界提供的能源，是一次能源，例如煤、石油、天然气以及水能、风能等。

由自然界提供的能源转化而来的，是二次能源，例如电能等。

人类多年来长期利用的能源叫常规能源，例如煤、石油、天然气及水能等。

人们新近开始利用的能源，叫做新能源，例如核能、太阳能、潮汐能、地热能等。开发和利用新能源，特别是核能和太阳能，是解决能源问题的主要出路。

**【太阳能】** 太阳是个巨大的能源，它不断地向外辐射能量，其中实际到达地面的太阳能就达  $8 \times 10^{13}$  千瓦，比全世界的发电总量高出 5 万倍。由于太阳能具有普遍、无害、长久、巨大等特点，因此具有重要的开发和利用价值。

太阳能可以通过四个渠道被人们所利用，这其中太阳被直接利用有两个途径，详见下表。

利用太阳能的四个渠道	获得的能源	应用范围
通过植物的光合作用，被植物、微生物吸收	煤、石油、草木、沼气、天然气等	直接作燃料 作食物（粮食） 储存变为石油、煤炭等
通过大气和水的升腾循环	风、流水、波浪、海流等	风力发电、水力发电等
被海洋吸收	海洋内能（潮汐能）	潮汐发电等
被人们直接利用的三个途径	光能 内能	太阳炉、太阳灶、太阳能热水器
	光能 电能	太阳能电池（如硅光电池）等

**【热电站】** 它是既供电、又供热的电站。一般的火力发电站有凝汽式发电站和热电站两种。前者只发电，后者装有供热机组，在发电的同时可向附近工厂和居民住宅供给蒸汽或热水，以发挥大锅炉的经济效益。

**【蓄能电站】** 一天中不同时间对电能的需求相差很大的地区，可建立蓄能电站。

水电站可建蓄能水池，在非峰值用电期用多余的动力把水抽运到高处的水池中，峰值期再让池中水流出来，将势能转化为电能。有些沿海地区，可利用潮水建立蓄能电站，即在涨潮时把水拦在水库中，然后再把水库中的水放出来，驱动水轮机发电。

火力发电站和核电站，可用蒸汽蓄能发电。这种发电方式不改变电站的原先设计，只需增设一巨大型蒸汽蓄存器和峰值汽轮机即可。夜间低负荷时，由主发电机组的高压汽轮机中排出的中压蒸汽被送到蓄能容器中，变为热水形式贮存起来，在白天用电高峰时把热水重新变为蒸汽，推动峰值汽轮机发电。

## 科学家

**【阿基米德】** 阿基米德是古希腊著名的数学家和物理学家。公元前287年出生于地中海西西里岛的叙拉古。

他的父亲是古希腊天文学家和数学家。阿基米德从小深受父亲的影响，偏爱数学，很早就学习希腊著名数学家欧几里得的《几何学原本》。11岁的时候，阿基米德去当时著名的文化中心——尼罗河畔的亚历山大城学习。在这期间，他发明了有名的阿基米德螺旋（螺旋扬水器），解决了利用尼罗河水灌溉的问题。回叙拉古城后，他继续致力于数学和物理学的研究。

阿基米德在物理学中的主要贡献是在静力学和流体静力学方面。他在《论平面图形的平衡》一书中，证明了物体的重量之比等于距离的反比的杠杆定律。据说阿基米德发现杠杆定律以后，在写给叙拉古国王亥厄洛的信中得意地说：“我找到了把力放大的办法”，“只要给我一个支点和立足点，我就能移动地球”。当时，亥厄洛国王为埃及王造了一艘大船，下水那天，许多人围着这艘船团团转，费了九牛二虎之力也无法推船下水。国王召来了阿基米德，请他想想办法。阿基米德欣然接受任务，精心设计了一个杠杆滑轮系统。在隆重的推船下水仪式上，阿基米德从容地把绳子的一端系到船上，另一端交给国王，只见国王轻轻地一拉，魔术般的奇迹出现了：大船缓缓地移动到了水里。

阿基米德有许多发现，其中最著名的要算浮力定律——阿基米德定律了。关于这个定律的发现过程，历史上流传着这样一个发人深思的故事：亥厄洛国王为了炫耀自己的尊贵，命令工匠为他制作一顶金王冠。到了规定的日期，工匠送来了金光灿灿的王冠，重量恰好和交付的黄金相同，国王十分满意。后来有人告诉国王，工匠在王冠里掺了假，国王感到受了欺骗，但是又没有办法把工匠的阴谋揭露出来，于是命令阿基米德查明真相。

阿基米德冥思苦想好几天，不得其解。有一天，阿基米德去洗澡，由于澡盆里水太满，他一进澡盆，水就向外溢，而且感到水对身体有托力。他用身体沉浮多次来体验浮力的大小，领悟到身体排开的水越多，浮力就越大。他立即联想到王冠里如果掺银子，必然比同样重量的金子体积大，放入水中所受的浮力就会比纯金的大。阿基米德立刻跳出澡盆，狂喜地跑过人流熙攘的大街，直向王宫奔去，嘴里喊着：“找到了！找到了！”后来经过阿基米德的严格检验，证明王冠里确实用银子掺了假，工匠也被国王治了罪。

阿基米德在数学上也有辉煌的成就。他在《圆的度量》一书中，证明了圆周率在 $3\frac{10}{71}$ 和 $3\frac{1}{7}$ 之间，他还求出了球体、圆柱体、椭球体以及锥体等的表面积和体积公式。

阿基米德不仅是一位杰出的学者，而且是一位伟大的爱国者。传说古罗马大将马塞拉斯率兵攻打叙拉古，阿基米德和叙拉古人民一起英勇抗击入侵者。他把科学用于战争，设计制造了大型抛石机，敌人到达城下时，一按动机关，石块便自动抛出，砸向敌人；他还让守城的人各拿一面镜子，组成大型凹面镜，把炽热的太阳光集中到迎面而来的敌船上，烧得敌军鬼哭狼嚎。

公元前 212 年，古罗马军队打进了叙拉古。年已 75 岁的阿基米德仍在潜心研究数学，证明他的几何题。罗马士兵闯进了他的房间，惊动了他。“喂，你们踩坏了我的图，赶快走开！”阿基米德发怒地说。凶神恶煞的士兵毫不理会，并把刀剑指向了他的胸膛。阿基米德明白将要发生的事情，坦然自若地说：“等一下杀我的头，让我把这条几何定理证完。”然而，无知而又残暴的罗马士兵，一刀杀死了阿基米德。

阿基米德生前最引为自豪的是这样一个发现：高和底面直径相等的圆柱体的体积，等于同它内接的球体积的一倍半。人们遵照他的嘱咐，把一个含有内接球体的圆柱体图案，铭刻在他的墓碑上，作为永久的纪念。

【沈括】 沈括，字存中，是我国宋代杰出的科学家、政治家。他 1031 年诞生在浙江钱塘（现为杭州）。

沈括少年时期喜爱读书，在母亲的指导下，14 岁就读完了家里的藏书。他还跟父亲游历泉州、开封、南京、苏州等地，知晓风土人情，开阔了眼界。这些对他一生的事业产生了深远的影响。1054 年，沈括进入官场，任县主簿，后升为县令。1063 年，沈括考中进士，历任京城司天监、军器监、翰林大学士、三司使等军政要职。1082 年，沈括镇守永乐，因兵败被罢官，软禁在随州、秀州等地。1088 年，沈括开始写作巨著《梦溪笔谈》，总结他毕生的见闻和研究成果。

在物理学方面，沈括研究了力学、声学、光学和磁学等现象。他发现了地磁偏角的存在，指出磁针“能指南，然常微偏东，不全南也”。这在世界物理学史上是一大贡献。西方哥伦布横渡大西洋发现新大陆的时候才观测到磁偏角现象，要比沈括迟了 4 个世纪。

沈括做过一个很有名的共振实验。他剪一些小纸人，把它们骑放在琴弦上，拨动一根琴弦，就可以看到和它相应的另一根琴弦上的纸人跳动不止，这是相应的两根琴弦发生共振的结果。沈括还通过观察和实验，通俗生动地论述了小孔成像、凹面镜成像、凹、凸透镜的放大和缩小作用，比较科学地解释了虹的成因，认为它是“雨中日影”。

在天文学方面，他极力推荐、启用精通历法的平民卫朴，修编了新历法《奉元历》，并且提倡使用著名的“十二气历”。十二气历建立在科学的基础上，有利于农事，英国直到本世纪 30 年代才采用和十二气历原理一样的“萧伯纳农历”。沈括还精心研究和改革了浑仪、漏壶、日晷（gu）等天文观测仪器。他曾经每夜三次，连续观测了三个月，画了两百多张星图，终于发现北极星并不在正北，而是偏离北极“三度有余”。

此外，在数学方面，沈括创立了求高阶等差级数和的“隙积术”以及已知圆的直径和弓形的高求弓形的弦和弧长的“会圆术”，在数学史上占有重要的地位。在医学方面，沈括对中草药作了精心研究，整理出许多民间验方，著有《良方》等。

沈括处处精细观察，事事独立思考，敢于发表与众不同的见解，这是他取得杰出成就的重要原因之一。据说有一次，许多人议论白居易写的《游庐山大林寺》中“人间四月芳菲尽，山寺桃花始盛开”两句诗，嘲笑白居易写错了，理由是这首诗写于唐元和十二年四月九日，那时桃花早就谢了。可是沈括却认为深山里气候比较寒冷，所以桃花比平原上开得迟，白居易尊重事实，没有写错。

沈括是中国科技史上的一位巨人，他的才智学识的凝聚物——《梦溪

笔谈》，不但是“中国科学史上的坐标”，也是世界科技文献中的一份珍品。沈括晚年受人排挤，不得志，经常生病。1095年他在隐居地润州去世，归葬钱塘，终年65岁。

**【伽利略】** 伽利略是意大利著名的物理学家、天文学家。1564年2月25日诞生于意大利比萨城的一个破落贵族家庭。他父亲是一位很有才华的音乐家，还精通数学。

伽利略从小勤学好动，领悟力强，才学惊人，父亲决定培养他当医生。1581年，伽利略被送入比萨大学学医。但是伽利略的兴趣却在数学和物理方面，上课的时候常常在医书下面藏着欧几里德、阿基米德等人的著作，课余喜欢制作仪器，做实验。由于他刻苦自学，发明了“浮力天平”，还写了一篇题为《物体的重心》的论文，引起了学者们的注意，被誉为“当代的阿基米德”。1589年，伽利略被比萨大学聘请担任数学教授，三年后又转到帕多瓦大学任教。从1609年开始，伽利略用自制的望远镜进行天文观测，并且积极宣传哥白尼学说。1613年因为出版《关于太阳黑子通信集》，宣传和捍卫日心说，伽利略和宗教神学发生公开冲突，受到教廷警告。从1623年起，伽利略花了九年时间，写成名著《关于托勒玫和哥白尼两种世界体系的对话》，这本书的发表招来了横祸，1632年末伽利略被逮捕，遭终身监禁。1638年，伽利略写成《两种新科学的对话》，总结了他一生在力学上的研究成果。

伽利略是经典力学和实验物理学的先驱者。他在物理学方面的主要贡献是：确定了自由落体定律，发现了单摆振动的等时性，抛体运动规律，提出了运动的相对性原理，还对速度、加速度等运动学的基本概念作出了严格的定义等。

单摆振动的等时性是伽利略作出的第一个重要发现。1583年，年轻的伽利略在比萨教堂祈祷的时候，他的注意力被摆动的吊灯吸引住了，他全神贯注地用自己的脉搏来测定吊灯摆动的时间，奇怪地发现，不管吊灯摆动的幅度是大是小，摆动的时间总是相等的。回去以后，伽利略用绳子系住石子，作了一系列实验，终于发现了摆振动的等时性规律，为以后摆钟的发明打下了基础。

在近两千年的时间里，人们都相信亚里士多德的“圣言”：重的物体比轻的物体下落得快。伽利略认为，不同重量的物体从同一高度同时下落，将会同时落地。这个结论对于当时的人来说，真是一件天大的奇闻，许多知名的大学教授对此纷纷表示怀疑和反对。伽利略感到用辩论的方法很难说服那些顽固的先生，于是他发出邀请，让人们来到比萨城的斜塔下。那一天，斜塔周围聚集了许多看热闹的人。伽利略拿了两个铁球，一个重100磅，另一个重1磅，上到了高54.62米的塔顶上。“大家注意！”伽利略在塔顶上喊。两球一齐开始下落了，差不多平行地下降着，并同时着了地！那些顽固的教授们在铁的事实面前哑口无言。后来伽利略又通过进一步的实验，建立了科学的落体定律。

伽利略对天文学也有重要的贡献。他是第一个利用望远镜观察天体并取得大量成果科学家，被人们誉为“天空的哥伦布”。

伽利略一生道路坎坷，尤其是屡遭罗马教廷的残酷迫害。早在1592年，比萨大学当局惧怕伽利略反传统的科学思想，借口资格不够，把他赶出比萨大学。1632年《关于托勒玫和哥白尼两种世界体系的对话》一书出

版以后，再次点燃了尊重科学、冲击宗教的火焰。教皇十分恐慌，大发雷霆，下令没收这本书，并立即逮捕伽利略，最后法庭判决伽利略终生监禁。

残酷的迫害使已经风烛残年的伽利略得了多种疾病，双目失明。1642年1月8日，伽利略在满目凄凉和贫病交加中，在监禁地佛罗伦萨含冤去世，终年78岁。

历史一再证明，科学总要战胜邪恶。科学的不断发展，迫使罗马教廷不得不在1757年宣布解除对哥白尼《天体运行论》的禁令；1882年罗马教皇又无可奈何地承认了日心说。1979年11月10日，罗马教廷再一次向真理低了头，作出了为伽利略平反的决定。

**【牛顿】** 牛顿是英国著名的物理学家、数学家和天文学家。1642年12月25日诞生于英国林肯郡伍耳索浦的一个农民家庭。

牛顿出世前两个月父亲病故，他自己不足月就降生世界。牛顿幼年时体弱多病，性格腼腆，学习成绩是班上倒数几名。但是牛顿意志坚强，有一股不服输的劲头。牛顿告诫自己说：“无论做什么事情，只要肯努力，是没有不成功的。”经过刻苦学习，牛顿一跃而为全班的第一名。牛顿12岁进入金格斯中学上学，那时他喜欢动手制作玩具、风筝、水车之类的东西。由于心灵手巧，肯动脑筋钻研，他制作的风筝比商店里买的飞得还要高；他制作的一架精巧的风车，里面还别出心裁地放进一只老鼠，名叫“老鼠开磨坊”，连大人看了都赞不绝口。

1661年牛顿到剑桥大学三一学院学习。两年之后，三一学院创办了“卢卡斯自然科学讲座”，内容包括地理、物理、天文和数学，这个讲座的教授是著名的数学家巴罗。牛顿对这些课程十分喜欢，如饥似渴地学习，很快就崭露头角。巴罗教授不愧是一位多才多识的“伯乐”，他看出牛顿才华非凡，就指导他先后钻研了开普勒的《光学》、欧几里德的《几何学原本》等名著。1665年牛顿大学毕业，取得学士学位，留校做研究工作。这年夏天，伦敦发生鼠疫，牛顿暂时离开剑桥，回到家乡，在那里整整呆了18个月。

大概是“因祸得福”吧，牛顿回乡的这18个月，竟成为他一生中最丰产的时期。在这期间，牛顿发现了二项式定理、微积分、光的色散和颜色理论，同时开始考虑如何把重力推广到月球轨道。

瘟疫过后，牛顿回到了剑桥大学。1668年他取得硕士学位。1669年巴罗教授主动让贤，推荐牛顿任“卢卡斯自然科学讲座”教授。1672年牛顿当选为英国伦敦皇家学会会员。1705年英国女王加封牛顿为艾萨克爵士。

牛顿是17世纪最伟大的科学巨匠。他一生对科学事业所做的贡献，遍及物理学、数学和天文学等领域。

牛顿在物理学上最重要的成就，是发现了万有引力定律，创立了经典力学的基本体系，从而完成了物理学史上第一次大综合。

牛顿对伽利略等人的工作也进行了详细研究和总结，把地球上物体的力学和天体力学统一起来。1687年牛顿写成了科学巨著《自然哲学的数学原理》，他在书中全面地、系统地论述了物体运动理论和万有引力理论，给出了质量、动量、惯性和力的定义，系统地表述了三个基本运动定律，就是惯性定律、力和加速度定律、作用和反作用定律，牛顿根据力学理论，预言了岁差现象和地球的形状是扁平的，这些后来都被实验观察所证实。

对于光学，牛顿曾经致力于光的颜色和光的本性的研究。1666年牛顿

把一张一半涂红色、一半涂蓝色的长纸片水平放置在实验台上，然后通过三棱镜用眼睛观察，发现当三棱镜的棱角朝上的时候，纸片的蓝色部分看起来比红色部分高，反过来，当棱角朝下的时候，纸片的红色部分看起来比蓝色部分高。受它启发，牛顿又用三棱镜来观察通过小孔的日光光线，发现透过棱镜后，日光变成了一条彩色光带，这样，他证明了白光是由不同颜色的光组成的，为光谱分析的研究打下了基础。1675年牛顿观察到了著名的牛顿环现象，1704年出版了《光学》一书，系统阐述了光的现象和光的本性，提出了光的微粒说。

牛顿的杰出成就主要归功于他的勤奋，牛顿对于科学研究专心到痴迷的地步，据说有一次牛顿煮鸡蛋时，他一边看书一边干活，糊里糊涂地把一块怀表扔进了锅里，等水煮开后，揭盖一看，才知道错把怀表当鸡蛋煮了。

牛顿的科学成就是无与伦比的，但是他自己却谦逊地说：“如果说我比笛卡儿看得远一点，那是因为我站在巨人的肩上。”“我不知道在世人眼里我是什么样的人，但是在我自己看来，我不过像是在海边玩耍的孩子，为不时拣到一块比较光滑的卵石、一只比较漂亮的贝壳而喜悦，而真理的大海在我面前，一点也没有被发现。”这些质朴感人的话，一直成为科学界的至理名言。

牛顿晚年患有膀胱结石、风湿等多种疾病，于1727年3月20日深夜在伦敦去世，葬在威斯特教堂，终年85岁。人们为了纪念牛顿，使用他的名字来命名力的单位，简称“牛”。

**【托里拆利】** 托里拆利是意大利物理学家。1608年10月15日诞生于意大利的法恩扎。

托里拆利从小家境贫穷，由伯父雅可布抚养。托里拆利小时候酷爱学习，表现出很多才能，尤其在法恩扎耶稣教会学校学习数学和哲学课程的时候，成绩特别出众。1627年，伯父把托里拆利送到罗马，拜伽利略的得意门生、数学家和水力学工程师卡斯特里为师，继续深造。从1630年到1641年，托里拆利在伽利略的朋友夏波利手下工作，主要从事力学研究，写了一批论文。1641年在卡斯特的推荐下，托里拆利来到伽利略身边工作，并和伽利略的学生维维安尼结成了好朋友。伽利略去世后，他的保护人托斯吉姆大公爵让托里拆利以学院数学教授的名义作为伽利略的继承人。

卡斯特里是非常赏识托里拆利才华的。1628年，卡斯特里出版了一本有关流体力学的著作，托里拆利仔细阅读了导师的名著，还做了一系列实验，逐个验证书中的重要结论。他发现，书中关于液体从容器底部小孔流出的速度和小孔离液面高度成正比的结论，和实验不符。经过反复测量和计算，他总结出这个速度和小孔上方水面高度的平方根成正比的正确结论。托里拆利热爱和尊敬自己的导师，但是他并不盲从，他决定把自己的发现整理成文，公开发表，来纠正导师的这个学术错误。胸怀宽广的卡斯特里看到这篇文章以后，十分高兴，认定托里拆利大有培养和发展前途，立即决定让他当自己的秘书。

托里拆利在物理学中的主要贡献是设计了有名的托里拆利实验，证明真空的存在，发现了大气压强。

早在古希腊时代，亚里士多德认为“自然界厌恶真空”，他特别用飞

矢作例子来说明，认为飞矢的箭头把空气向两边分开，当箭尾向前去的时候，空气不断补充，不存在真空。后来，人们在抽水的时候发现，吸气筒式抽水机无论如何也无法把水抽到 33 英尺高，真空不存在的观念发生了动摇。伽利略研究了这一现象以后认为，空气是有重量的，空气密度是水的  $\frac{1}{400}$ ；别的液体抽吸所能达到的高度也有一个限度，这个限度由这种液体的密度大小来确定。不过，他没有做实验来验证自己的看法。

1643 年，托里拆利用实验进行了仔细的研究。他设计了一个用水银柱测真空阻力的方案，预言水银柱的高度大约是水柱高度的  $\frac{1}{14}$ 。接着，他和维维安尼一起在佛罗伦萨做了这个著名的实验。他们在一支一端开口的玻璃管里灌满水银，然后把开口的一端倒插入水银槽中，他们发现，水银柱立即下降，直到比槽中水银面高出 76 厘米为止，而且不论玻璃管斜放还是竖放，水银柱的垂直高度都不变。托里拆利认为，水银柱的高度是由大气对槽中水银面的压力引起的。

当时由于托里拆利忙于摆线的研究，所以没有公开发表这个著名实验。他仅于 1644 年在给罗马的朋友里奇的两封信里描述了这个实验。同年，里奇在给巴黎学者默森的信中介绍了托里拆利实验，在法国科学界广为传播，引起很大的轰动。1648 年，帕斯卡先后在巴黎教堂的顶尖上和法国南部的多姆山重做了这个实验，成功地证实了托里拆利的重大发现。这样，古代权威亚里士多德的“自然界厌恶真空”的谬说被彻底推翻了。

此外，托里拆利曾磨制成直径 80 毫米的望远镜透镜，还用小玻璃球作透镜制成简易显微镜。他写了不少有价值的数学论文，对摆线、圆锥曲线、对数曲线等进行了深入的研究。

托里拆利于 1647 年 10 月 25 日在意大利的佛罗伦萨去世，才活了 39 岁。

**【帕斯卡】** 帕斯卡是法国数学家、物理学家。1623 年 6 月 19 日出生于法国多姆山省克莱蒙费朗城。

帕斯卡没有受过正规的学校教育，他四岁那年母亲病故，由父亲和两个姐姐对他进行教育和培养，1631 年随全家迁居巴黎。从此，父亲对帕斯卡抓得很紧，专门辅导他的语文，帕斯卡聪明好学，不但语文学得很好，而且几何学也学得很出色。他 12 岁就阅读了欧几里德的《几何学原本》，还做了很多练习题。父亲发现帕斯卡很有出息，在他 16 岁那年，带他去参加巴黎数学家和物理学家小组（法国巴黎科学院的前身）的学术活动，让他开开眼界。帕斯卡的才能很快得到一位数学家的赏识，在这位数学家的指导下，他开始了数学研究工作，当年就发表了一篇有关圆锥曲线的出色论文。这篇论文使年轻的帕斯卡名声大震，正式踏进了法国学术界的大门。1641 年帕斯卡迁居鲁昂，1650 年又回到巴黎。

帕斯卡在物理学方面的主要贡献是重复了托里拆利实验，发现了大气压强随高度变化而改变的规律，建立了流体的帕斯卡定律。

1644 年，托里拆利关于大气压强的实验的公布，推翻了亚里士多德的“自然界厌恶真空”的谬说，因此招来了许多人的怀疑和反对。消息传到帕斯卡那里，尽管关于实验的说明很不完全，不迷信亚里士多德的帕斯卡还是相信这个实验的正确性。他说：“真空在自然界是可能存在的，自然界不是像许多人想象的那样用如此巨大的厌恶来避开真空。”帕斯卡不仅

重复了托里拆利实验，而且验证了他自己的推论：既然大气压力是由空气重量产生的，那么在海拔越高的地方，玻璃管中的液柱就应该越短。1648年，帕斯卡用水和葡萄酒等作实验液体，采用不同形状的管子，先后在巴黎的教堂尖顶和法国南部多姆山的不同高度，反复进行实验。据说当时帕斯卡用的最长的管子达12米，以至不得不用船桅把它支撑起来。这一系列规模很大的实验，轰动了巴黎的学术界。帕斯卡从实验中得出了两条令人信服的重要结论：一是空气确实有重量；二是真空确实存在。在帕斯卡的实验面前，一些原来迷信亚里士多德、反对托里拆利的人变得哑口无言了。

后来，帕斯卡又做了一系列实验，研究液体压强的规律。其中最著名的一个实验是这样的：他用一个木酒桶，顶端开一个小口，小口上接一根很长的铁管子，接口密封。实验的时候，酒桶先盛满水，再慢慢往铁管子里倒上几杯水，当管子中的水柱高达到几米的时候，只见木酒桶突然破裂，水流满地。帕斯卡总结了这些实验，于1654年写成一篇论文《论液体的平衡》，提出了著名的帕斯卡定律，指出压强能够在密封流体内部大小不变地传向各个方向。这一定律的发现，为流体静力学的建立奠定了基础。

帕斯卡在数学方面的贡献也很杰出。1639年，他在一篇关于圆锥曲线的论文中提出了一条定理，后人把它叫做帕斯卡定理。他还提出了有名的帕斯卡三角形，阐明了代数中二项式展开的系数规律。1641年，帕斯卡发明了加法器。帕斯卡对概率论等也都有一定的研究。

晚年的时候，帕斯卡对文学和哲学有浓厚的兴趣。他的文学作品《致外省人书》、《思想录》等，对法国散文的发展有很大的影响。在哲学上，他信奉怀疑论，认为感性和理性都不可靠，得出了信仰高于一切的结论。他把人们的直觉称作“微妙的精神”，而把演绎能力称作“几何的精神”，认为只有通过直觉而不是演绎，才能认识宇宙的真正面貌。

帕斯卡由于工作和学习过于劳累，从18岁起就病魔缠身，1658年健康迅速恶化，1662年8月19日在巴黎病逝，年仅39岁。后人为了纪念帕斯卡，用他的名字来命名压强的单位，简称“帕”。

**【焦耳】** 焦耳是英国物理学家。1818年12月24日诞生于英国曼彻斯特附近索尔福德的一个酿酒厂老板的家庭。

从童年时代起，焦耳就在家接受父母的启蒙教育，后来一边跟父亲学习酿酒技术一边自学。1834年，父亲把近70岁的著名化学家道尔顿请到家里，给16岁的焦耳当家庭教师，指导他学习初等数学、自然哲学、化学。从1837年开始，焦耳对物理学产生了浓厚的兴趣，他把酿酒厂的一间房子布置成实验室，在里面做了一系列物理实验，取得了不少重要成果，为他建立“热的动力学说”打下了坚实基础。1847年，焦耳有幸会见了英国著名物理学家威廉·汤姆孙（开尔文勋爵），和他建立了比较深的友谊，合作进行能量守恒等问题的研究。1850年焦耳当选为英国伦敦皇家学会会员。1866年由于他在热学、热力学和电学方面的贡献，皇家学会授予他柯普利奖章。1872到1887年焦耳任英国科学技术协会主席。

焦耳在物理学中的主要贡献是第一次提出了机械功和热等价的概念，精确测定了热功当量，为发现和建立能量守恒和转换定律作了奠基性的研究。

从1840年开始，焦耳多次进行通电导体发热的实验，他把通电金属丝浸没在水中，测算水的热量变化情况，结果发现通电导体产生的热量同电

流强度的平方、导体的电阻和通电时间的乘积成正比，比楞次早一年得到了电流的热效应定律。

1843年8月，在考尔克的一次学术报告会上，焦耳作了题为《论磁电的热效应和热的机械值》的报告。他在报告中描述了四个实验，其中一个是在磁场中让电磁体在水里旋转，分别测量运动线圈中感应电流所产生的热量和维持电磁体旋转所作的功，他发现感应电流所产生的热量和电流强度的平方成正比，旋转所需要的机械功也和电流的平方成正比，可见热量和机械功之间存在着恒定的比例关系。焦耳从这里测得了第一个热功当量值：1千卡热量相当于460千克·米的机械功。

当时许多物理学家对测出热功当量值抱怀疑甚至反对态度。为了证明这个发现是成功的，焦耳以极大的毅力，采用不同的方法，长时间地反复实验。尤其在1847年，焦耳精心地设计了一个著名的热功当量测定装置，也就是用下降重物带动叶桨旋转的方法，搅拌水或其他液体产生热量，得到热功当量的平均值是428.9千克·米/千卡。从1849年到1878年，焦耳反复做了400多次实验，所得到的热功当量值和现在的公认值427千克米/千卡相比，只差0.7%。焦耳用惊人的耐心和巧夺天工的技术，在当时的实验条件下，测得的热功当量值能够在几十年时间里不作较大的修正，这在物理学史上也是空前的。

焦耳是一位主要靠自学成才的科学家，他对物理学作出重要贡献的过程不是一帆风顺的。1845年在剑桥召开的英国科学协会学术会议上，焦耳又一次作了热功当量的研究报告，宣布热是一种能量形式，各种形式的能量可以相互转化，但是焦耳的观点遭到与会者的否定，英国伦敦皇家学会拒绝发表他的论文。同年6月，在英国科学协会的牛津会议上，焦耳再一次提出热功当量的研究报告，宣传自己的新思想。会议主席只准许他作简要的介绍，只是由于威廉·汤姆孙在焦耳报告结束后作了即席发言，他的新思想才引起与会者的重视。1850年，焦耳的科学结论终于获得了科学界的公认。

焦耳于1889年8月11日在英格兰紫郡的塞尔去世，享年71岁。后人为了纪念他，把能量的单位命名为焦耳，简称“焦”；并且用焦耳的拉丁文拼法的第一个字母“J”来标记热功当量。

**【瓦特】** 瓦特是英国工人出身的工程师和发明家。1736年1月19日诞生于苏格兰格拉斯哥附近格林克镇的一个工人家庭。

瓦特从小就喜欢学习，六岁开始学几何学，十四五岁学习物理学。在做木匠的父亲影响下，瓦特的手很巧，经常自己动手修理、制作玩具。少年瓦特还爱动脑筋，好问为什么。据说有一天晚上，瓦特正和别人聊天，忽然听到厨房里的水开了，跑去一看，立即被蒸汽冲动壶盖的现象所吸引，于是，就在水壶上做起小实验来。他用布把壶嘴堵死，结果蒸汽把壶盖冲开了。1753年瓦特在格拉斯哥一家钟表店当学徒。1754年又到伦敦一家仪表制造厂学手艺，以后又到一个仪器厂当修理工。瓦特刻苦钻研技术，爱动脑子，努力学习专业知识，不仅手艺提高很快，而且有所发明。1763年他首次发明了一台用来画三维物体的投影仪。1785年当选为英国伦敦皇家学会会员。

瓦特在科学技术中的主要成就是对已出现的原始蒸汽机作了一系列重大改进和发明，提高了蒸汽机的热效率和工作的可靠性。

早在 1698 年，英国技师塞维莱发明了第一台实用的蒸汽机。1705 年苏格兰铁匠纽可门发明了能较大规模地利用热能推动机械的蒸汽机，很快被当时的英国和欧洲所使用。但是，纽可门的蒸汽机有两大缺点，一是效率低，煤的消耗大；二是活塞只能做往复运动，不能做旋转运动。

瓦特经过深入研究，认为要提高蒸汽机的效率，必须设法使汽缸里排出的高温蒸汽尽快冷却。因此，瓦特专门设计了一个和汽缸分离的冷凝器，在熟练工人的帮助下，终于研制成功第一台装有冷凝器的新式蒸汽机，大大提高了蒸汽机的效率。

瓦特并没有因此满足。后来他又把活塞“单向式”推动改成“双向式”推动，进一步提高了效率。1784 年他发明了一种“联动”装置，用特殊的齿轮传动机构来传递动力。为了使蒸汽机在有负载时仍能保持均匀运行，瓦特设计了离心式调速器，对蒸汽机的运转实行自动调节。经过这些改进，瓦特蒸汽机的性能更加优良，煤的消耗大大降低，成为工业上广泛使用的发动机。瓦特蒸汽机的广泛使用，极大地推动了当时正在蓬勃兴起的英国工业革命，也使世界工业进入了所谓的“蒸汽时代”。

瓦特于 1819 年 8 月 19 日在伯明翰去世，终年 83 岁。后人为了纪念瓦特，把功率的单位用他的名字来命名，简称“瓦”。

**【开尔文】** 开尔文勋爵原名威廉·汤姆孙，是英国著名物理学家。1824 年 7 月 26 日出生于爱尔兰贝尔法斯特的一个知识分子家庭。

汤姆孙童年丧母，在英国皇家学院任数学教授的父亲对他和哥哥杰姆十分疼爱，亲自对他俩进行严格的教育。1832 年，8 岁的汤姆孙和 10 岁的杰姆跟着父亲在大学里旁听数学、电学等课程。1834 年汤姆孙 10 岁，正式考入格拉斯哥大学预科学习，成为当时世界上年龄最小的大学生。他 15 岁获得大学物理学奖，16 岁获得天文学奖，17 岁开始研究电磁学和热学。1846 年，22 岁的汤姆孙受聘任格拉斯哥大学自然哲学教授，任期长达 53 年。1851 年被选为英国伦敦皇家学会会员，1890 年当选为皇家学会会长。1892 年由于汤姆孙在电缆研制中的功绩，英国维多利亚女王封他为勋爵。

汤姆孙对科学技术的主要贡献是在电磁学、热力学，另外，在他的率领下铺设了世界上第一条大西洋电缆。

1845 年汤姆孙发表了一篇电学方面的论文，运用镜像法阐述了静电感应的电荷分布，同年夏天，提出磁感线可以用数学来表示；后来他又通过数学分析的方法，建立起静电场和弹性体之间的相似性，得出可以用类似弹性固体中表示位移的方法来研究电磁现象，他力图用数学的方法来统一电力和磁力。实际上汤姆孙为建立电磁理论进行了开拓性的研究工作。

1847 年，在牛津召开的英国科学协会会议上，汤姆孙结识了焦耳。在焦耳的影响下，汤姆孙对热力学开始了深入的研究，第二年他就创立了热力学温标，又叫做绝对温标或开氏温标。后来汤姆孙和焦耳一起作了一个实验，发现气体通过多孔物质向低压容器流出后会产生膨胀降温的现象，这就是著名的焦耳-汤姆孙效应，它为现代低温物理、低温工程提供了重要的理论基础。

从 1856 年起，汤姆孙转向海底电缆的研制工作。在他的率领下，英国大西洋海底电缆公司经过 10 年的艰苦努力，终于在 1866 年的第 4 次沉放中，完全成功地铺设了世界上第一条永久性的横跨大西洋的海底电缆。在铺设过程中，汤姆孙始终意志坚定，不达目的誓不罢休，坚信“大西洋阻

挡不住人类的进步”！在铺设电缆中，汤姆孙还根据需要研制成静电计、镜式电流计、双臂电桥等多种电学仪器。

汤姆孙是一位公认的知识渊博的学者，但是他晚年还积极学习新知识。1899 年新学期开始的时候，已经 75 岁的汤姆孙和学生们一起走进格拉斯哥大学的注册室，在报名单上写下：“开尔文勋爵，研究生”。

开尔文勋爵于 1907 年 12 月 17 日在苏格兰埃尔郡的格拉斯哥去世，安葬在牛顿墓的旁边，终年 83 岁。

