第一章　直线运动

自然界是由物质组成的，一切物质都处在永恒的运动中，物质的运动形式是多种多样的。其中最简单、最基本的运动形式是机械运动。物质的所有其他运动形式中，几乎都包含着机械运动。力学是研究机械运动及其应用的学科，它是整个物理学的基础，也是工程技术的基础之一。在这一章，我们将学习描述机械运动的方法和直线运动规律及应用技术。

第一节　位移

参考系　一个物体相对于另一物体的位置变化或一个物体各部分之间相对位置的变化叫做机械运动，简称运动。宇宙间一切物体都在运动，如火车沿轨道前进。地球绕太阳转动等。房屋桥梁和山岭等看起来是静止的，其实它们都在随着地球一起运动。在研究一个物体运动时，总要选择另一个物体作为标准，被选为标准的这个物体就叫做参考系。例如研究火车运动，可以以铁轨旁的树木或电杆为参考系。

在描述一个物体运动时，首先必须明确参考系。参考系的选取要根据研究问题的性质和方便而定。例如，研究太阳系的行星的运动，都用太阳系为参考系；研究地面上物体的运动，通常选取地球为参考系。

在研究一个物体运动时，如果选取的参考系不同，则对这个物体运动状态的描述也常常不同。例如，对奔驰的火车的运动，若以坐在火车上的乘客为参考系，火车是静止的；若以站立在铁轨旁的人为参考系，火车又是运动的。由此可见，对物体运动状态的描述与参考系选取有关，机械运动的这种性质称为运动的相对性。

利用运动和静止的这种相对性，人们设计了所谓的“风洞”，在地面上来研究空气流对飞机的作用。风洞是在实验室里设计的一个很大的管子。在风洞里造成一股模拟自然风的空气流，人们研究这股空气流对悬挂着的不动飞机（或飞机模型）的作用，这样得到的实验结果跟飞机在空中飞行得到的结果全相同。目前，风洞实验原理还广泛用于改进流线型汽车、火车和船舶的设计中。

质点　我们所研究的物体形状各异，大小不一，运动情况不同。为了便于研究，要根据研究问题的性质和范围，先对研究对象做一定简化，也就是把它理想化。例如：从桌上拉出抽屉时抽屉的运动；随传送带而前进的工件的运动。它们的共同之处在于物体任意两点连线在运动过程中始终保持平行，这样的运动叫做平移。显然物体做平移运动时，物体上各点运动情况都相同，物体上任一点的运动都可以代表物体的运动，这样就可以把物体视为一个具有质量的点来处理。

在研究问题时，如果物体的形状、大小可以忽略不计，就可以把整个物体简化为一个具有质量的点，这样的物理模型叫质点。

能否将一个物体看做质点，关键不在于物体形状、大小，而要根据研究问题的性质而定。例

需要全本请访问 www.ertongbook.com

如，研究地球绕太阳公转时，由于地球大小（直径约 1.3×10^{7}m)远小于地球与太阳间距离(约 1.5×10^{11}m)，所以可以忽略地球形状、大小而把它看成质点。但在研究地球自转时（比如研究白天、黑夜），地球的形状是主要因素自然就不能忽略地球形状、大小，不能把地球看做质点了。

将物体看成质点，这是一种理想化的方法，它突出了研究问题时的主要因素，而排除了次要因素。这种研究问题的方法在物理学中常常用到。在本书的几章力学中，如不加说明，都是把物体看成质点。

位移　路程　研究物体的运动时，通常要知道物体经过的路程。路程是物体运动轨迹的长度。但是，有时更关心运动物体到达的位置与初位置的距离。例如，在测量运动员的跳远成绩时，不测量他的路程，而测量起跳点到落地点的距离。研究飞机的航线时，也不研究它的路程，而关心它到达的位置与起飞点的距离以及它的飞行方向。如果不知道飞行方向，只知道飞行距离，同样不能确定飞机到达的位置。如何来描述物体运动，让我们看下边例子。图 1-1 所示，物体由初位置 A 出发向东到达末位置 B，A 与 B 距离为 10m;若物体从初位置 A 向东到达末位置 C,两种情况位置变化方向相同(都向东),但位置变化大小不同,若由初位置 A 向北到达末位置 D，AD 间距离为 10m,与从 A 到 B 比较，两个位置变化大小相同，但方向不同，所以位置变化也不相同。可见物体位置变化情况应由大小及方向两个因素决定。在物理学中，把物体由初位置指向末位置的有向线段，叫做位移。在国际单位制（SI）中位移的单位是米，符号是 m 由初位置指向末位置的方向表示位移方向。两段位移要相等必须是大小相等且方向相同。

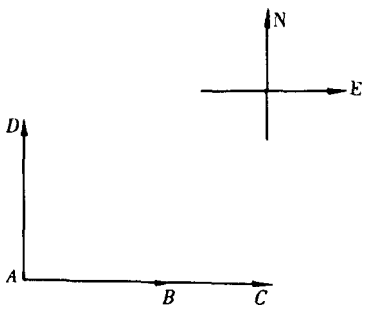


图 1-1

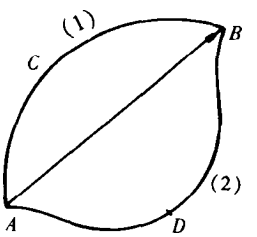


图 1-2

在图 1-2 中,物体从初位置 A 到达末位置 B，可以通过不同路径实现，但不管沿任何路径，物体位置的变化就是相同的。所以位移只与物体初末位置有关，而与路径无关。

物体通过的路径（或运动轨迹）的长度叫做路程。单位是米，符号是 m。路程只有大小,没有方向。

路程与路径有关。通常情况下位移大小和路程不等。如图 1-2 所示,物体由 A 到 B,位移大小为 AB 长度,而当物体沿路径 1 到达 B 时,路程为 ACB 长度,而由 2 路径到达 B 时,路程为 ADB 长度。只有当物体做单向直线运动时，位移大小才等于路程。

在实际应用中，位移和路程各有其不同的用处，如田径运动会中的用位移表示跳高、跳远、铅球的成绩，用路程表示长跑、短跑的成绩。

标量　矢量　在物理学中，把只有大小，没有方向，且运算遵循代数运算法则的量叫做标量。例如时间、质量、电流强度等都是标量。

把既有大小，又有方向，且运算遵循平行四边形定则的物理量叫做矢量。例如位移、力等是矢量。

表示一个矢量，既要表示出它的大小，又要表示出它的方向。对于在同一直线上的矢量可以用代数量来表示：首先取一个正方向，若矢量方向与正方向相同，则取正；若矢量方向与正方向相反,则取负。

时刻　时间　时刻指某一瞬时。例如，上午 8 点正上课,8 点就是时刻，表示 8 点那一瞬时，第二秒末也是时刻，指的是第二秒结束或第三秒开始那一瞬时。

时间指的是两个时刻间的间隔。例如，上午 8 点上班,12 点下班,从 8 点到 12点的间隔 4 小时即为时间。第二秒内也是时间，指的是第一秒末到第二秒末的间隔，时间为 1 秒。

在 SI 中,它们的单位都是秒,符号是 s。

质点运动时，时刻和位置相对应，时间与位移或路程相对应。例如，飞机 17 点 30 分从上海起飞,20点到达重庆,共经历了 2 小时 30分,其中 17 点 30 分和 20 点 30 分都是时刻,分别与上海和成都机场对应，而 2 点 30 分是时间，与从上海机场到成都机场这段位移或路程对应。

习 题 1-1

1.甲、乙两车以相同速度在平直公路上行驶以什么为参考系车是运动的？以什么为参考系车是静止的？

2.关于质点的说法，下面正确是哪一个？(1) 小物体可以看做质点，而大物体不能看做质点。(2) 转动物体在任何时候都不能看做质点。(3)做直线运动的物体可以看做质点，而做曲线运动的物体不能看做质点。 (4) 同一物体在某种情况下可以看做质点，在另一种情况下也许不能看成质点。

3.某人向东走了 200m,又向西走了 300m，他通过位移大小为多少？方向如何？路程为多少？

4.一运动员沿半径为 50m 的圆形轨道跑完一圈，他通过位移大小为多少？通过路径为多少？

5.头 3 秒,3秒末,第 3 秒内分别表示的是时间还是时刻？如果是时间指明其初时刻和末时刻。

第二节　速度

速度是描述质点运动快慢及运动方向的物理量。初中阶段我们已接触了速度这个物理量，但都很不确切，也不完善。为此，我们要进一步深入对速度的理解和认识。

匀速直线运动　物体沿直线运动时，运动快慢不变而且运动方向也不变的运动，即在任意相等时间内通过位移都相等的运动，叫做匀速直线运动。

在匀速直线运动中，物体的位移 s 跟通过这段位移所用时间 t 的比值，叫做匀速直线运动的速度。用 v 表示速度,则

$$v = \frac{s}{t} \tag{1-1}$$

在 SI 中,速度的单位是米／秒,符号是 m/s ,读作米每秒。常用的单位还有 km/h,cm/s 等。

速度是矢量，其大小反映物体运动快慢，其方向即物体运动方向，也就是位移方向。在匀速直线运动中,速度为常矢量(即大小,方向都不变)。

变速直线运动　匀速直线运动是一种理想的运动，实际上我们日常看到的直线运动，往往不是匀速直线运动。汽车出站时，运动越来越快，而进站时则运动越来越慢，也就是说在相等的时间内通过的位移并不相等。把物体沿直线运动时，在相等时间内通过位移不相等的运动，叫做变速直线运动。

平均速度　在变速直线运动中，物体通过的位移 s，跟通过这段位移所用时间 t 的比值,叫做这段位移时间内的平均速度。平均速度用 $\bar{v}$ 表示,则

$$\bar{v} = \frac{s}{t} \tag{1-2}$$

平均速度也是矢量，其大小反映物体在这段位移或时间内运动的平均快慢，其方向即位移方向。不难看出，物体做变速运动时在不同位移内或不同时间内的平均速度一般不同。因此，讲平均速度必须指明是哪一段位移或时间内的平均速度。平均速度是与位移或时间相对应的。

瞬时速度　平均速度只能粗略地描述变速运动物体的运动快慢及方向。那么，又怎样精确地描述呢？汽车驾驶室的速度计指针所指的示数，可以帮助驾驶员了解每个时刻汽车行驶快慢,如指针所指示数为 80km/h。就表示了这个时刻汽车速度是 80km/h。我们把物体在某一时刻或某一位置的速度，叫做瞬时速度，简称速度。

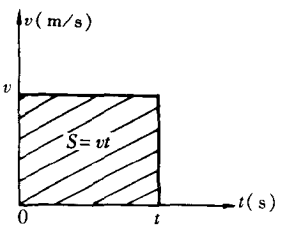
瞬时速度也是矢量，其大小精确地表示了物体运动快慢，其方向即物体运动方向。

瞬时速度是和位置或时刻相对应的，瞬时速度必须指明是哪一位置或哪一时刻。这也是它和平均速度的区别所在。例如,子弹以 400m/s 的速度过枪筒和以 800m/s 的速度从枪口飞出，其中 400m/s 就是平均速度，因为它与通过枪筒这段位移对应；而 800m/s 是瞬时速度,因为它是与枪口这个位置对应。

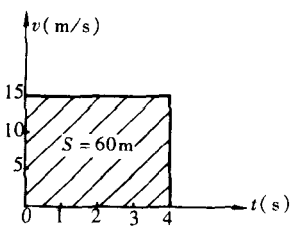
速　率　物体通过的路程跟通过这段路程所经历的时间的比值，叫做速率。单位是米／秒，符号是 m/s ，它是标量，只有大小，而无方向。速率和速度是两个不同概念。

瞬时速率（通常简称速率）与瞬时速度（通常简称速度）大小是相等的，因为在极短时间内路程和位移大小可以等同了。所以我们也常说速度的大小就是速率。

速度一时间图像　速度一时间图像（v-t 图像），简称速度图像，即是用图像法表示速度 v 与时间 t 的函数关系。在平面直角坐标系中，纵轴表示速度，横轴表示时间。



(a) 匀速直径运动的 v-t 图像



(b)利用 v-t 图像求位移

图 1-3

对匀速直线运动，由于速度是常量，所以 v-t 图是一条平行于时间轴的直线，例如，一辆汽车以 15m/s 速度做匀速直线运动，其 v-t 图像如图 1-3a 所示。

由于匀速直线运动位移 $s=vt$，由图像上看出，物体速度图线与时间轴所围成“面积”在数值上等于物体在 t 时间内通过位移 s(图 1-3a、b)。在面积一词上加上引号，意思是这里的面积不是几何面积，而是表示位移。可以证明，在非匀速直线运动中，这个结论仍然成立。

习 题 1-2

1. 下列速度中哪些是瞬时速度：某运动员 100m 赛跑速度是 12m/s；汽车以 10m/s 的速度经过桥头；一只宇宙飞船起飞后 20s，速度达到 400m/s；一汽车沿成渝高速公路行驶速度为 80km/h。

2. 气垫导轨滑块上挡光片宽度为 1cm，经过光电门 A 挡光时间是 250ms，经过光电门 B 挡光时间为 200ms，则滑块在 A、B 两个光电门处的速度分别为多少？

3. 一物体沿直线运动，起初以 2.5m/s 速度运动 10m，然后以 4.0m/s 速度运动 10m，它在这 20m 位移内平均速度是多少？

4. 一物体以 5.0m/s 速度做匀速直线运动，作出它的 v-t 图像，并在图像中表示出它在 0～4.0s 内的位移。

第三节　　加速度

匀变速直线运动　在变速直线运动中，物体速度在不断变化，而最简单，也最重要的是速度均匀变化。表 1-1 记录的是一辆汽车直线运动时，在不同时刻的速度。

表 1-1

时刻/s	0.1	0.2	0.3	…	1	2	3	…
速度/(m·s^{-1})	4.8	4.82	4.84	…	5.0	5.2	5.4	…

由表中可看出，在每个 0.1s 时间内速度增量都为 0.02m/s，现在每个 1s 时间内速度增量都为 0.2m/s，这表明，该汽车在相等时间内速度增量都相同，即速度是均匀变化的。

物体做直线运动，在任意相等的时间内速度的增量都相等，这种运动叫做匀变速直线运动。

当物体做直线运动时，若速度均匀增加，叫做匀加速直线运动。例如石块自由下落，汽车的启动都可以近似看成匀加速直线运动；若速度均匀减小，叫做匀减速直线运动。例如竖直向上抛出的石块向上运动，汽车刹车都可以近似看成匀减速直线运动。

加速度　在不同的匀变速直线运动中，速度变化快慢是不一样的，因此我们需要引入一个物理量来描述速度变化快慢。

如上表 1-1 中，汽车速度增量与所用时间比值为 0.2m/s^2，即 1.0s 速度增加 0.2m/s，而子弹在枪筒里击发，在 2×10^{-3}s 内速度可以由零增至 900m/s，速度增量与所用时间之比则为 4.5×10^5m/s^2，即 1.0s 速度增加 4.5×10^5m/s，显然子弹速度变化就远比此汽车速度变化快。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

可见，速度增量与所用时间的比值可以反映速度变化快慢。

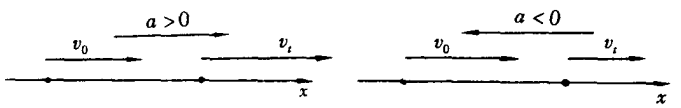
在匀变速直线运动中，物体速度增量与所用时间的比值，叫做匀变速直线运动的加速度。加速度用 a 表示，则

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} \tag{1-3}$$

式中 v_0 表示初速度；v_t 表示末速度；$v_t - v_0$ 表示 t 时间内速度增量（通常用 Δv 表示，即 $\Delta v = (v_t - v_0)$.

在 SI 中，加速度单位是米／秒^2，符号是 m/s^2，读做米每二次方秒。加速度是矢量，它的大小表示速度变化快慢，它的方向就是速度增量的方向。

在匀变速直线运动中，由于速度均匀变化，所以加速度 a 是常矢量（即大小，方向不变）。加速度表示方法与位移相同。本书取 v_0 方向为 x 轴正方向。如图 1-4 所示，当 $v_t > v_0$ 时，$a > 0$，a 为正值，则加速度方向与初速度方向相同，物体做匀加速直线运动（如图 1-4a）当 $v_t < v_0$ 时，$a < 0$，a 为负值，则加速度方向与初速度方向相反，物体做匀减速直线运动（如图 1-4b）。



(a)匀加速直线运动　　(b)匀减速直线运动

图 1-4

特别应当注意的是，速度与加速度是完全不同的两个物理量。速度是描述物体的运动状态，即运动快慢及方向；而加速度是描述物体运动状态的变化，即速度变化的快慢及速度变化方向，加速度只和速度变化的快慢相联系。物体速度变了，说明它具有加速度；物体具有加速度，经过一段时间速度就要变化。我们不能认为速度大，加速度一定就大，例如 F-11 隐形战斗机以 $1.0 \times 10^3 m/s$ 的速度匀速飞行，它的速度大，但速度不变，所以加速度为零；也不能认为速度为零，加速度就一定为零，例如，握在手中的物体，当松手瞬时，其速度为零，但它却具有向下加速度；也不能认为加速度方向与速度方向一定相同，匀减速直线运动时，加速度方向就可能和速度方向相反；以后的学习还可知道，曲线运动时，加速度方向与速度方向还不在一直线上。

例题 1 做匀变速直线运动的火车，在 50s 内速度由 10m/s，增加到 20m/s，求火车加速度。

解 已知 $v_0 = 10m/s$，$v_t = 20m/s$，$t = 50s$　求 a

取 v_0 方向为正方向，则

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{20 - 10}{50} m/s^2 = 0.20 m/s^2$$

则火车加速度大小为 $0.20m/s^2$，其方向与初速度方向相同。

例题 2 汽车紧急刹车，在 2.0s 内速度由 36km/h 减小到零，求汽车加速度（汽车刹车的运动可视为匀减速直线运动）。

解 已知 $v_0 = 36km/h = 10m/s$，$v_t = 0$，$t = 2.0s$，求 a

取初速度方向为正方向，则

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{0 - 10}{2.0} m/s^2 = -5.0 m/s^2$$

“－”说明汽车加速度方向与初速度方向相反（即做匀减速直线运动）。

习 题 1-3

1. 下例说法正确的是：匀变速直线运动是速度均匀变化的运动；匀变速直线运动是加速度不变的运动；物体运动就有加速度，不运动就没有加速度；只要速度发生了变化，就一定有加速度。

2. 下例说法正确的是：物体运动快，它的加速度一定大；物体的速度变化大，它的加速度一定大；物体的速度变化快，它的加速度一定大；物体速度为零，它的加速度一定为零。

3. 下列运动可以看成匀变速直线运动，求它们的加速度。

(1)速度为 54km/h 的火车，制动 2.0s 以后停下；

(2)在 10s 内汽车速度由 3.0m/s 增加到 32.4km/h。

第四节　匀变速直线运动的规律

匀变速直线运动的速度公式　由 $a=\frac{v_t-v_0}{t}$ 可得 $v_t=v_0+at$　　(1-4)

式(1-4)就是匀变速直线运动速度公式。

匀变速直线运动的位移公式　作匀变速直线运动的 v-t 图像，由 $v_t=v_0+at$，在匀变速直线运动中的 v_0、a 是常量，v_t 是 t 的一次函数，故 v-t 图像是一条直线，如图 1-5 所示。图 1-5a 是初速度不为零的匀加速直线运动的速度一时间图像，图 1-5b 是匀减速直线运动的速度一时间图像，图 1-5c 是初速度为零的匀加速直线运动的速度一时间图像。

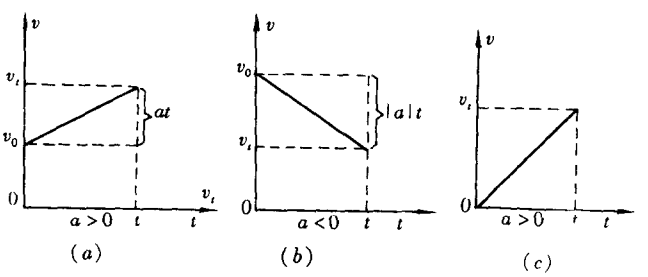


图 1-5

根据 v-t 图像的物理意义可知，只要求出 v-t 图像与时间轴所围‘面积’即可知 t 时间内的位移。图 1-5 中梯形两底分别为 v_0、v_t，高为 t，所以

$$s=\frac{(v_0+v_t)}{2}t$$

再将 $v_t=v_0+at$ 代入上式，得

$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2 \qquad (1\text{-}5)$$

式(1-5)就是匀变速直线运动的位移公式。

匀变速直线运动的平均速度　由 $s=vt$ 和 $s=\frac{v_0+v_t}{2}t$ 可得：

$$\bar{v}=\frac{v_0+v_t}{2} \tag{1-6}$$

式(1-6)就是匀变速直线运动平均速度公式，一段时间内的平均速度等于这段时间初速度和末速度和的一半。

速度与位移关系　由公式 $v_t=v_0+at$ 和 $s=\frac{v_0+v_t}{2}t$ 消去 t 可得：

$$v_t^2-v_0^2=2as \tag{1-7}$$

通过以上讨论，便得出匀变速直线运动公式如下：

$$\left.\begin{aligned}&v_t=v_0+at\\&s=v_0t+\frac{1}{2}at^2\\&v_t^2-v_0^2=2as\end{aligned}\right\}\qquad\left.\begin{aligned}&\bar{v}=\frac{v_0+v_t}{2}\\&s=\frac{v_0+v_t}{2}t\end{aligned}\right\}$$

在应用这些公式时应注意：

(1)v_0、v_t、s、a、$\bar{v}$ 都是矢量，所以各公式都为矢量式。

(2)计算时，首先必须选取正方向(本书以 v_0 方向为 x 轴正方向)。

(3)若 v_0、v_t、s、a、v 中为已知量的，其方向与选取的正方向相同者，取正；方向与选取的正方向相反者，取负。

(4)计算时必须连同“+”、“−”符号一起代入计算。

(5)若 v_0、v_t、s、a、v 为所求量的，计算出结果为正，说明其方向与正方向相同；计算出结果为负，说明其方向与正方向相反。

(6)以上公式适用于匀变速直线运动，当匀减速直线运动时，加速度 a 取负表示与 v_0 方向相反。

例题 1 一辆汽车以 20m/s 的速度在平直公路上匀速行驶，紧急刹车后加速度大小为 4.0 m/s²，求：(1)汽车刹车后 2.0 s 末的速度(2) 汽车由刹车到停下所用时间。

解 已知 $v_0=20\text{m/s}$，$a=-4.0\text{m/s}^2$

(1)$v_1=v+at_1=20\text{m/s}+(-4.0)\times 2.0\text{m/s}=12\text{m/s}$

(2)由 $v_t=v_0+at$

得
$$t=\frac{v_t-v_0}{a}=\frac{0-20}{-4.0}\text{s}=5.0\text{s}$$

汽车刹车后 2.0s 末速度为 12 m/s，到停下经历时间为 5.0s。

例题 2 波音 747 飞机以 160 m/s 的速度着陆后做匀减速直线运动，加速度大小为 4.0 m/s²，求它在 3.0s 内的位移和第 3.0s 内位移。

解 已知 $v_0=160\text{m/s}$，$a=-4.0\text{m/s}^2$，$t_2=2.0\text{s}$，$t_3=3.0\text{s}$　求 $s_3=?$，$s_{2-3}=?$

$$s_2=v_0t_2+\frac{1}{2}at_2^2=160\times 2.0\text{m}+\frac{1}{2}\times(-4.0)\times 2.0^2\text{m}=312\text{m}$$

$$s_3=v_0t_3+\frac{1}{2}at_3^2=160\times 3.0\text{m}+\frac{1}{2}\times(-4.0)\times 3.0^2\text{m}=462\text{m}$$

$$s_{2-3}=s_3-s_2=462\text{m}-312\text{m}=150\text{m}$$

飞机在 3.0s 内位移是 462m，在第 3.0s 内位移是 150m。

例题 3：一列火车以 0.50m/s^2 的加速度做匀加速直线运动，求火车速度由 10m/s 增加到 15m/s 的过程中，行驶了多远？

解：已知 $a=0.50\text{m/s}, v_0=10\text{m/s}, v_t=15\text{m/s}$ 求 s

由 $$v_t^2-v_0^2=2as$$

$$s=\frac{v_t^2-v_0^2}{2a}=\frac{15^2-10^2}{2\times 0.50}\text{m}=125\text{m}$$

火车速度由 10m/s 增加到 15m/s，行驶了 125m。

初速为零的匀加速直线运动

令匀变速直线运动五个公式中 $v_0=0$，即得到初速为零的匀加速直线运动公式。

$$\left.\begin{aligned} &v_t=at\\ &s=\frac{1}{2}at^2\\ &v_t^2=2as \end{aligned}\right\} \qquad \left.\begin{aligned} &\bar{v}=\frac{v_t}{2}\\ &s=\frac{v_t t}{2} \end{aligned}\right\}$$

初速度为零的匀加速直线运动有两个重要特征：

(1)由 $s=\frac{1}{2}at^2$，a 是常量，所以 $s\propto t^2$，即前 t 秒内位移之比等于经历时间的平方比。也即

$$s_1 : s_2 : s_3\cdots = t_1^2 : t_2^2 : t_3^2\cdots \tag{1-8}$$

如图 1-6 所示。

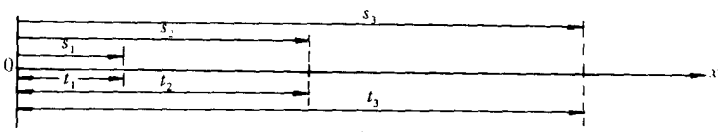


图 1-6

式中 $s_1、s_2、s_3\cdots$ 表示 $t_1、t_2、t_3\cdots$ 各时间内的位移。当 $t_1 : t_2 : t_3 : \cdots = 1 : 2 : 3 : \cdots$ 时，$s_1 : s_2 : s_3 : \cdots = 1^2 : 2^2 : 3^2 : \cdots$。

(2)由 $v_t=at$ 可知初速为零的匀加速直线运动 v-t 图如图 1-7 所示。

由图可知，连续相等时间内位移之比等于连续奇数比，即

$$s_{\text{I}} : s_{\text{II}} : s_{\text{III}} : \cdots = 1 : 3 : 5 : \cdots \tag{1-9}$$

式中 $s_{\text{I}}、s_{\text{II}}、s_{\text{III}}$ 均为相等时间间隔 t 通过的位移，如图 1-8 所示。

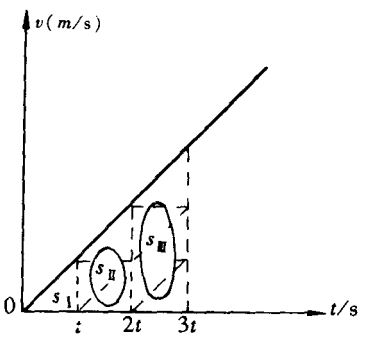


图 1-7

以上两个特征是我们判断一个物体是否是作初速度为零的匀加速直线运动的依据。有时，解题时应用其特征则更为简便。

例题 4：一质点做初速度为零的匀速直线运动，在前一秒内通过位移为 3.0m，求它在前 3.0s 和第 3.0s 内的位移。

解法 1：由

$$s_1=\frac{1}{2}at_1^2$$

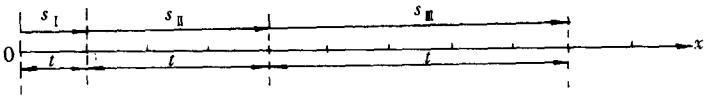


图 1-8

$$a = \frac{2s_1}{t_1^2} = \frac{2 \times 3.0}{1.0^2}\text{m/s} = 6.0\text{m/s}$$

$$s_2 = \frac{1}{2}at_2^2 = \frac{1}{2} \times 6.0 \times 2.0^2\text{m} = 12\text{m}$$

$$s_3 = \frac{1}{2}at_3^2 = \frac{1}{2} \times 6.0 \times 3.0^2\text{m} = 27\text{m}$$

$$s_{\text{II}} = s_{2\sim3} = s_3 - s_2 = 27\text{m} - 12\text{m} = 15\text{m}$$

解法 2：由于质点做初速为零的匀加速直线运动，由 $s_1 : s_3 = t_1^2 : t_3^2$ **得**

$$s_3 = \frac{t_3^2}{t_1^2}s_1 = \frac{3.0^2}{1.0^2} \times 3.0\text{m} = 27\text{m}$$

由 $s_{\text{I}} : s_{\text{II}} = 1 : 5$ **得**

$$s_{\text{II}} = 5s_{\text{I}} = 5 \times 3.0\text{m} = 15\text{m}$$

式中 $s_{\text{I}} = s_1 = 3.0\text{m}$

可见解法 2 较解法 1 更为简单。

质点在前 3.0s 内通过位移为 27m，在第 3.0s 内通过位移为 15m。

习 题 1-4

1. **火车进站后做匀减速直线运动，已知初速度是** 15m/s **，加速度大小是** 1.5m/s^2 **，求火车制动后 8.0s 末的速度，8.0s 内通过的位移。**

2. **若飞机降落时着地速度为** 60 m/s **，设飞机制动装置所产生的最小制动加速度为** 3.0 m/s^2 **，求机场跑道至少要多长？**

3. **在笔直的铁轨上行驶的火车，当它的速度由** 5.0 m/s **增加到** 54km/h **时，通过位移为** 500m **，求火车的加速度和通过这段位移经历时间。**

4. **一自行车下坡，头 8.0s 内的位移为 20m，第 8.0s 末速度为** 4.0m/s **，求它的加速度和开始下坡时的速度。**

5. **矿井里的升降机由静止开始匀加速上升，经过** 3.0s **速度达到** 3.0m/s **，然后以此速度匀速上升** 10s **，最后匀减速上升，经过** 2.0s **刚好停在井口，求矿井深度。**

第五节　自由落体运动

自由落体运动　物体只在重力作用下，从静止开始下落的运动，叫做自由落体运动。这种运动只有在没有空气时才能发生。在有空气的空间里，如果物体所受阻力作用比重力小得多，那么，空气阻力可以忽略，这样物体从静止开始下落的运动也可以看做自由落体运动，例如钢球在空中下落。

自由落体运动是典型初速度为零的匀加速直线运动。这个结论首先是由伽利略推证的。伽利略设计了著名的斜面实验，证明物体在小倾角斜面上的运动是匀加速直线运动，然后他应用外推法判断物体在大倾角的斜面上的运动，特别是倾角为 90°时，即物体做自由落体运动，也是匀加速直线运动。现在，我们可以在实验室中应用重力加速度测试器、毫秒计时器，分别测出钢球自由落体运动下落高度 h_1、h_2、h_3 和所用时间 t_1、t_2、t_3，在实验误差允许的范围内，可以发现 $h_1 : h_2 : h_3 = t_1^2 : t_2^2 : t_3^2$，即位移 h 与时间 t^2 成正比，从而说明，自由落体运动是初速为零的匀加速直线运动。

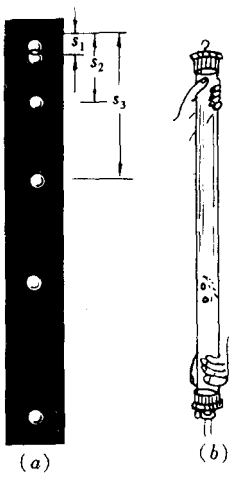


图 1-9

图 1-9a 是一个小球做自由落体运动的闪光照片，对其分析、研究、发现自由落体运动是初速为零的匀加速直线。

重力加速度　自由落体运动是匀加速直线运动，那么，在地球上同一地方，不同物体做自由落体运动时，加速度是否相同呢？我们可以通过实验得出答案。把金属片和羽毛放入一个玻璃管内，管的一端封闭，另一端装有气阀（我们称为钱毛管），图 1-9b 所示。当管内有空气时，我们很快地把管倒立，金属片和羽毛同时由顶端下落，可以观看到，二者到达管底经历时间不同，金属片经历时间比羽毛短很多，但如果抽去管内空气，再重复上这实验过程，可以发现金属片和羽毛同时到达管底。二者从顶端到底端自由下落经历时间完全相同，可见二者加速度相同。1969 年美国阿波罗飞船登上月球，宇航员斯特科将一把锤子和一根羽毛在同一高度同时释放，由于月球上无空气，他观察到锤子和羽毛同时落到月球表面。

以上实验和事实说明，在地球上同一地点，任何物体做自由落体运动时下落加速度都相同，这个加速度叫做重力加速度。通常用 g 表示。重力加速度 g 的方向总是竖直向下，大小可以通过实验测定。在地球上不同地方，g 的大小略有不同，表 1-2 列出了地球上不同纬度处的重力加速度。

表 1-2　重力加速度的数值

地点	赤道	广州	重庆	上海	北京	北极
纬度	0°	23°08′	29°30′	31°12′	39°56′	90°
$g/(m \cdot s^{-2})$	9.780	9.788	9.793	9.794	9.801	9.832

在其计算中，可忽略重力加速度随纬度的变化，取 $g = 9.8 m/s^2$，粗略计算可以取 $g = 10 m/s^2$

自由落体运动遵循初速度为零的匀加速直线运动的一切规律。此时 $a = g$，因此自由落体运动公式是：

$$\begin{cases} v_t = gt \\ h = \dfrac{1}{2}gt^2 \\ v_t^2 = 2gh \end{cases} \tag{1-10}$$

例题 1 小球从 19.6m 的高处自由下落，不计空气阻力时，求：(1) 小球落地速度大小；(2)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

小球在第 2.0s 内下落的高度。

解：(1) 由 $$v_t^2=2gh$$

$$v_t=\sqrt{2gh}=\sqrt{2\times 9.8\times 19.6\text{m/s}}=19.6\text{m/s}$$

(2) $$h_{1\sim 2}=h_2-h_1=\frac{1}{2}gt_2^2-\frac{1}{2}gt_1^2=\frac{1}{2}\times 9.8\times(2.0^2-1.0^2)\text{m}=14.7\text{m}$$

或 $$h_{0\sim 1}=\frac{1}{2}gt_1^2=\frac{1}{2}\times 9.8\times 1^2=4.9\text{m}$$

$$h_{0\sim 1}:h_{1\sim 2}=1:3$$

$$h_{1\sim 2}=3h_{0\sim 1}=3\times 4.9\text{m}=14.7\text{m}$$

小球落地时速度为 19.6m/s，小球在第 2.0s 内通过高度为 14.7m。

习 题 1-5

1. 石子从井口自由落下井中，2.0s 后听到石子击水声音(忽略声音传播时间)，求井口到井里水面的深度。

2. 一物体从 24.5m 高处自由下落，求它着地时的速度和落地所用时间。

3. 自由下落的物体在 A、B 两点的速度为 9.8m/s 和 19.6m/s，求 A、B 两点距离和物体经过这段距离所用时间。

4. 从塔顶自由下落的物体，它在最后 1.0s 内位移大小等于 5/9 塔高，求塔的高度。

第二章　力与运动

力学是在生产实践的基础上逐步发展起来的，是自然科学中发展最早的一门科学。在古代，人们对于机械运动有了一些初步的认识和了解，我国战国时代的学者墨翟和东汉时期的王充对力和运动的关系都进行了研究，在他们的著作中都有定性的论述。力学发展成为一门系统的独立的学科开始于16到17世纪。在生产的推动下，经过许多科学家(特别是伽利略等人)的努力，力学的实验基础已初步建立起来，在这个基础上，英国科学家牛顿总结出机械运动的基本规律，称为牛顿运动定律。自17世纪以来，以牛顿运动定律为基础的经典力学不断发展，在科学研究和生产技术中得到了广泛的应用。

在第一章我们只研究了物体做直线运动的一些规律，但是没有研究物体做直线运动的条件及物体间的相互作用对物体运动的影响。本章主要研究物体受力以及力和运动的关系。

第一节　牛顿第一定律

牛顿第一定律　古希腊哲学家亚里士多德提出，力是维持物体运动的原因，有力作用在物体上，物体就运动；没有力的作用，物体就停止下来。这种错误的观点，持续了近二千年。

16世纪末，伽利略设想了摩擦为零的理想实验。图2-1是这个实验的示意图。在光滑的斜面顶端释放一个小球，小球可以运动到对面光滑斜面的相同高度 A 的位置。如果减小对面斜面的坡度，那么小球就运动得远些，运动到图中相同高度 B、C 的位置。对面的坡度越小，小球就运动得越远。如果对面的斜面趋近水平面，那么小球将永远运动不到相同高度，也就永远不会停止。于是伽利略推断：小球在无摩擦的水平面上，将以不变的速度永远运动下去。

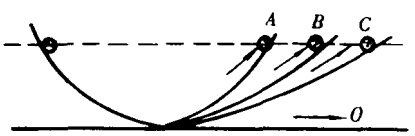


图 2-1

英国物理学家牛顿在伽利略等人的成果基础上，根据自己的研究，提出了如下的定律：

一切物体在没有受到别的物体作用时，都保持原来的匀速直线运动状态或静止状态。这就是牛顿第一定律。

牛顿第一定律不仅反映了物体不受别的物体作用时的运动规律，还指出了物体有保持原来的匀速直线运动状态或静止状态的性质，这种性质叫做惯性。因此，牛顿第一定律又叫惯性定律。

一切物体都有惯性。如果没有外力作用，任何静止的物体都不会自己运动起来，任何运动的物体也不会自己静止下来。有人把这个规律概括为简单的八个字“动者恒动，静者恒静”。惯性是物体的固有性质，一切物体做匀速直线运动都不需要力来维持。

但是，在实际情况中不受力作用的物体是没有的。例如，汽车的运动总要受到路面和空气阻力的作用，要使它保持匀速直线运动，必须对它施加一个牵引力来抵消阻力的作用，使物体受到的合力为零。所以我们实际看到的物体处于静止状态或匀速直线运动状态，并不是物体没

有受到外力作用，而是它们受的外力相互平衡，合力为零的结果。

惯性运动到处可见。汽车刹车后还会继续前进一段距离，汽车司机常常利用车的惯性节省汽油；同样，100m赛跑运动员冲到终点后，由于惯性还要前进一段距离。因此，在100m终点后总要留出足够长的地带，以保证运动员冲线后不发生危险。

惯性在生产中的应用也十分广泛。炼钢工人用铁锹向炉内添燃料时，将装满煤的铁锹挥起，使锹中的煤具有一定的速度，当握在手中的铁锹不再向前运动时，煤仍保持原来的运动状态，于是便飞离铁锹投入炉膛中。锤头松了，木工常常使锤柄向下，迅速撞击工作台或其他物体，锤柄很快停下来，锤头由于惯性保持原来向下运动的速度，便紧紧地套在锤柄上。

惯性有时又是有害的，要注意预防。例如，小孩奔跑时被绊倒，汽车突然运动或紧急刹车时，乘客容易受伤等。要防止类似事故的发生，就要做到在运动场禁止堆放杂物，乘汽车一定要抓好扶手，坐飞机要系好安全带等。

力　初中物理已经讲过，物体对物体的作用叫做力。牛顿第一定律揭示了力和运动之间的关系。物体不受力，就将保持原来的运动状态。反过来说，如果物体受了力，它的运动状态就会发生变化。因此，力不是维持物体运动的原因，而是改变物体运动状态的原因，即力是使物体产生加速度的原因。另一方面，用力拉伸或挤压弹簧时，弹簧就会发生形变。因此，力也是使物体产生形变的原因。大量事实说明，力的作用效果有两种：其一力可以改变物体的运动状态，其二力可以使物体发生形变。因此，凡是能够使物体运动状态或形状发生变化的作用，都叫做力。

实践证明，力对物体作用的效果与力的大小、方向和作用点有关。通常把力的大小、方向、作用点称为力的三要素。

力学中，按一定的比例画一条有向线段来直观地表示力。线段的长度表示力大小，它的箭头表示力的方向，箭尾表示力的作用点，箭头所在的直线叫做力的作用线。这种表示力的方法叫做力的图示。图2-2表示在物体 A 点上作用的一个方向向右的30牛的力。在SI中，力的单位是牛顿，简称牛，符号为N.

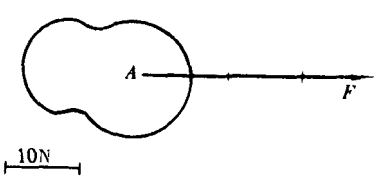


图 2-2

力的分类方法很多，常用的有两类：一类是按力的性质分类，可分为重力、弹力、摩擦力、分子力、电力、磁力等；另一种按力的效果分类，可分为拉力、压力、支持力、动力、阻力、合力、分力、作用力、反作用力、向心力等。按效果来分的不同名称的力，可能是同一性质的力。例如，绳中的拉力、杆中的压力、桌面的支持力，实际上都是弹力，只是作用效果不同。而按效果来分的同一名称的力，也可能是不同性质的力，例如，重物下落的动力是重力，纤夫拉船使船前进的动力是弹力，使传送皮带上的物体作加速运动的动力是摩擦力。

习 题 2-1

1. 快进站的公共汽车，在距站还有一定的距离时，司机就关了油门，车子却能准确地停在站牌下，为什么？

2. 有一个40N的电灯竖直吊在灯线下，试用力的图示法，表示出其受力情况。

3. 跳远运动员利用助跑为什么可以跳得远些？

4. 用小棒敲打晾在绳子上的毛毯，会使毛毯上的灰尘掉下来，为什么？

5. 从匀速直线运动着的火车上落下一个小球，能否竖直地落到地面上？为什么？

6. 在匀速直线运动车箱里的水平桌上放着一个小球，这个小球有时向车前进的方向滚动、有时向相反方向滚动，说明小球每次滚动时，火车运动发生了什么变化？

第二节　重力　弹力　摩擦力

重　力　由于地球的吸引而使物体受到的力叫做重力，重力的方向是总竖直向下的，物体所受的重力的大小叫做重量。在地球表面附近，质量为 m 的物体，其重力为

$$G = mg$$

式中 $g = 9.8\text{N/kg}$

重力的大小可以用弹簧秤测量。重力的作用点叫做重心。质量均匀分布的规则形状的物体，重心在其几何中心，质量分布不均匀的物体，重心位置除了与物体的形状有关外，还与它的质量分布情况有关，如汽车上的货物堆放得越高，它的重心就越高。重心位置的高低对物体的稳定程度影响很大，物体的重心越低越稳定。所以，在堆放物品、建筑施工、货物运输等多种场合，都要想方设法降低物体的重心。

弹　力　任何物体受外力后都要发生形变。在外力除去后物体能恢复原状的性质叫做弹性，不能恢复原状（仍有一部分形变不能消失）的性质叫做塑性。在外力停止作用后能够恢复物体原状的形变，叫做弹性形变，不能恢复原状的形变叫做塑性形变。物体发生弹性形变是有条件的，如果作用力太大，超过了一定限度，即使撤去外力，物体也不能恢复原状，这个限度叫做弹性限度。

发生弹性形变的物体，企图恢复原来的形状，对使其形变的物体要产生力的作用，这种力叫做弹力。例如，手拉弹簧使弹簧伸长，而弹簧要恢复原来的长度，这时弹簧就会对手施加一个沿着其收缩方向的拉力作用，这个力就是弹力。

产生弹力的条件：第一两物体必须相互接触；第二物体必须发生弹性形变，也即弹力发生在相互接触又彼此发生形变的物体之间。物体形变时可能被拉伸，也可能被压缩，所以弹力分为拉力和压力两类。弹力的方向与使物体发生形变的外力方向相反。水平桌面上的书对桌面一个向下的压力，使桌面产生弹性形变，于是桌面产生向上的，企图恢复原状的弹力，该弹力作用在书上，起着支持书的作用，即书受的支持力。

弹力和形变的关系一般来说是复杂的。但是，实验证明，在弹性限度内，弹簧的弹力 F 的大小和它的形变长度 x 成正比，即

$$F = kx \tag{2-1}$$

式中 k 称为弹簧的劲度系数，不同弹簧的劲度系数一般是不同的在 SI 中，劲度系数 k 的单位是 N/m　这一规律是英国科学家胡克（1635—1703）发现的，叫胡克定律。

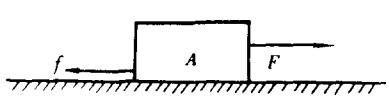


图 2-3

摩擦力　摩擦力也是发生在两个相互接触的物体之间。当一个物体在另一个物体表面上相对滑动时，要受到另一个物体阻碍它相对运动的力，这种力叫做滑动摩擦力。滑动摩擦力的方向总是跟接触面相切，跟物体的相对运动的方向相反，作用于接触面上。实验证明，滑动摩擦力的大小跟两物体间正压力 N 的大小成正比，即

$$f = \mu N \tag{2-2}$$

式中 μ 称为动摩擦因数，它的数值与相互接触的物体的材料和表面情况有关。表 2-1 列出了在通常情况下几种材料间的动摩擦因数。

表 2-1　几种材料间的动摩擦因数

材　料	动摩擦因数	材　料	动摩擦因数
钢－钢	0.25	铁－铁	0.3
木－木	0.30	皮革－木头	0.4
木－冰	0.035	玻璃－玻璃	0.4
木－金属	0.20	橡皮轮胎－干路面	0.71
皮革－铸铁	0.28	苎麻绳－铁	0.25
黄铜－铸铁	0.16	气垫导轨	0.001

当一个物体相对于另一个与它接触的物体静止时，也可能受到摩擦力的作用。如图 2-3 所示，如果用 $F=2.0$N 的力拉物体时，物体仍静止，此时物体与它相接触的地面有相对运动的趋势，物体之所以仍能静止，是因为地面给物体一个与拉力大小相等、方向相反的阻碍物体运动的力。这种作用在具有相对运动趋势，但又保持相对静止的相互接触的物体间的摩擦力，叫做静摩擦力。静摩擦力和滑动摩擦力一样，是作用在物体间的接触面上的。静摩擦力的方向总是跟两物体接触面相切，与物体间的相对运动趋势方向相反。应当注意，这里的“相对运动趋势”是以和它接触的另一物体为参考系，即在另一个物体上观察所得的。

用图 2-3 为例，当拉力从 2.0N 增加到 4.0N 时，这时物体方从静止开始运动。在拉力为 4.0N 之前，物体受到的是静摩擦力，静摩擦力与拉力为平衡力，可见静摩擦力随拉力的增加而增大，但静摩擦力不能无限增大，如当超过 4.0N 的拉力作用时，物体将滑动，这时物体受到的不再是静摩擦力，而是滑动摩擦力了。这表明静摩擦力的大小是在一个范围内，静摩擦力有一个最大值，这个最大值叫做最大静摩擦力。此例中的最大静摩擦力为 4.0N。

摩擦力在很多地方是有用的。走路、夹东西、开车、传动和制动等都少不了摩擦力的帮助。但是摩擦力也有其有害的一面。在机器运动中，各个零件之间由于摩擦而使机件磨损，为了延长机器寿命和减少能量损耗，通常是采用加润滑油，或变滑动为滚动来减少摩擦。

固体之间会产生摩擦，固体相对液体或气体运动时，也会受到液体或气体对它的摩擦。当物体运动速度很大时，这种摩擦力是很大的。当速度较低时，空气对物体的摩擦阻力比固体对物体的摩擦力要小得多，有时可忽略不计。人们利用物体在气体上运动摩擦较小的这一特点制造了气垫船、气垫火车和气垫卡车等运输装置。气垫火车速度高达 400km/h，而且对路轨的强度要求比普通火车低。我们在气垫导轨上做实验时，可以体会到滑块与气垫间的微小摩擦。

习 题 2-2

1.用 10N 的水平拉力，使重为 50N 的物体沿粗糙水平面匀速运动，则物体与水平面间的动摩擦因数为多少？

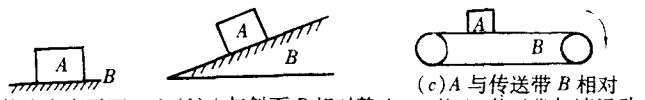
2.关于弹力，下列说法正确的是：(1) 弹力仅指其他物体对弹簧的作用力；(2)弹力是发生弹性形变的物体产生的反抗形变的力；(3)弹力是物体反抗外力的力；(4)物体间凡有接触，就

一定产生弹力。

3. 一根弹簧的劲度系数是 100N/m ,伸长的长度为 1.5cm 时，弹簧的弹力有多大？另一根弹簧的劲度系数是 1500N/m，缩短的长度为 2.5cm 时，弹簧的弹力有多大？

4 物体 A 重量为 10N,用 5.0N 的水平拉力可使 A 沿水平地面匀速运动，如果在 A 上再放上重量为 20N 的物体,求物体 A 沿水平地面滑动时，受到的滑动摩擦力是多大？

5. 如图 2-4 所示，A、B 间有无摩擦力？若有，画出物体 A 所受摩擦力的方向。



(a)A 静止在水平面 B 上 (b)A 与斜面 B 相对静止 (c)A 与传送带 B 相对静止,传送带加速运动

图 2-4

6. 使重 400N 的桌子从原地滑动，最小需用 200N 的水平推力。桌子滑动后，若使其继续做匀速运动,则只需 180N 的水平推力。求最大静摩擦力和滑动摩擦因数。如果用 100N 的水平力推桌子，这时静摩擦力是多少？

第三节　牛顿第三定律

作用力　反作用力　力是一个物体对另一个物体的作用，物体间的作用总是相互的。例如，当用手指去压桌上一本书时，可以看到书面向下发生形变，同时，可以明显地看到与书面接触处的手指肌肉也发生了形变，即表明同时书对手也有一个作用力。当两条小船停在水面上时，若甲船上的人推乙船，则乙船也给甲船上的人一个作用力，使两条船同时向相反方向运动。当乘小船用桨划水，桨给水一个向后的作用力，同时，水给桨一个向前的推力，使得小船向前航行。

无数事实说明，当一个物体对另一个物体有力作用时，另一物体必定同时对这个物体有力的作用。把物体间相互作用的力中的一个力叫做作用力，把另一个力叫做反作用力。

牛顿第三定律　作用力和反作用力之间有什么关系呢？可以用以下简单的实验来说明。把两个弹簧秤的小钩挂在一起，将其中一个弹簧秤的小环套在固定的小钩上，在水平方向上用手拉另一个弹簧秤的小环(图 2-5)。可以看到，无论手中的拉力如何变化，两个弹簧秤的读数总是同时变化、始终相等，即使将手松开，两弹簧秤的指针也是同时回到零点。这说明，作用力和反作用力的大小相等、方向相反，同时存在、同时消失。

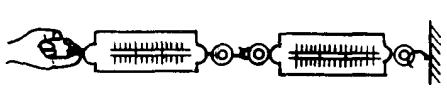


图 2-5

大量实验证明：两个物体间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在一条直线上的。这就是牛顿第三定律。应用牛顿第三定律时，必须注意以下几点：

(1)作用力和反作用力总是同时存在，同时变化，同时消失。物体间的作用力总是成对出现的。

(2) 作用力和反作用力虽然大小相等，方向相反，而且作用在同一条直线上，但它们分别作用在两个不同的物体上，各自产生不同的效果。例如鸡蛋和石头相碰，它们间的相互作用力大小是相等的。鸡蛋易碎，受到石头的作用力后要破；而石头坚硬，受到大小相等的反作用力后完

需要全本请访问 www.ertongbook.com