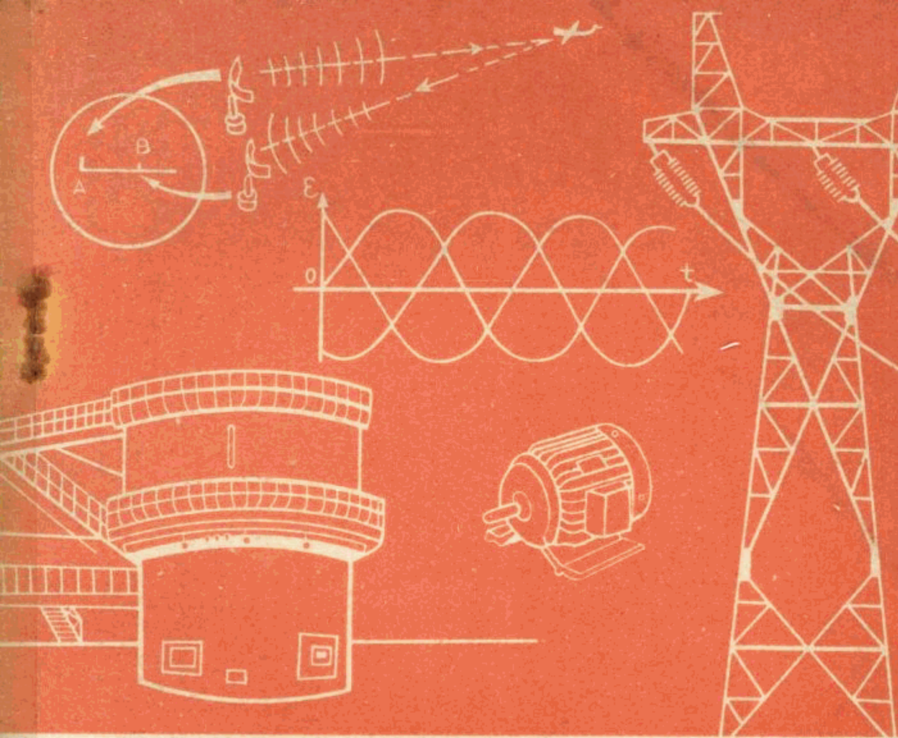


辽宁省中学试用课本

# 物理

## 第四册

# 目　　录

# 第一章　振动和波

振动是一种常见的机械运动。例如，树木庄稼在风中的摇动，钟摆的摆动，气缸里的活塞或刨床上刨刀的来回移动，机器开动时各部分的颤动等等，都是振动现象。

振动现象虽然是多种多样的，但是，它们都具有一个共同的特点——物体在一定位置附近作往复运动，具有这种特点的运动都叫做振动。

振动是波的基础，任何波动过程都不能和振动现象分开。

研究振动和波的基本规律，不仅对与力学有关的工程技术领域有实际意义，而且还能为以后学习电学和光学的有关部分打下基础。

## 第一节　简谐振动

振动现象中最简单、最基本的是简谐振动。下面我们以弹簧振子和单摆的振动为例来研究简谐振动的特点和规律。

### 一、弹簧振子的振动

如图1—1所示，把一个在直径方向有光滑圆孔的重球拴在弹簧的右端，中间穿一根水平的光滑圆杆，弹簧的左端固定在杆

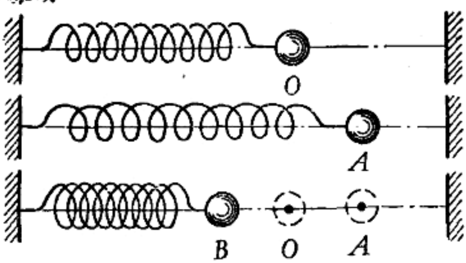


图1—1　弹簧振子的振动

的一端，这样的装置就叫做弹簧振子。

球在$O$点时，弹簧是原长，作用在球上的弹力是零，球处于平衡状态，所以$O$点是球的平衡位置。如果把球拉到$A$点后再放开，球就要在平衡位置$O$点的左右振动起来。

球为什么会振动呢？原来，当我们向右边拉球时，弹簧被拉长，它便对球施加一个向左指向平衡位置$O$点的弹力。球在$A$点被放开后，就在向左的弹力作用下从$A$点向左作加速运动。当球到达$O$点时，虽然这时弹簧已恢复到原长，不再有弹力作用在球上，可是，由于球已具有一定的速度，因此它并不停止，而是通过$O$点继续向左运动。这时弹簧处于被压缩状态，它对球施加的弹力的方向是向右指向$O$点，所以球从$O$点向左是作减速运动。球到达$B$点时的速度变为零，然后在仍处于被压缩状态的弹簧施加的弹力作用下从$B$点向右作加速运动。和前面一样，球回到$O$点后并不停止，而是继续向右运动并拉长弹簧，这时弹簧的弹力又向左指向$O$点，所以使得球减速地返回$A$点。到这时为止，弹簧振子刚好来回振动了一次，它接下去的运动将是重复上述过程。

从上述弹簧振子的振动过程可以看出，作用在球上的弹力的方向始终指向平衡位置$O$点。同时，还可以明显地看出，弹簧的弹力不是一个恒力，而是一个变力。因为，不仅弹簧弹力的方向在有规律地变化，它的大小也在变化着。根据弹性定律可知，在弹性限度内，某一时刻弹簧弹力的大小和该时刻弹簧被伸长或压缩的形变的大小成正比，而弹簧的形变的大小又正好等于同一时刻球离开平衡位置的距离。也就是说，弹簧弹力的大小也是作有规律变化的，它和球离开平衡位置的距离成正比。

我们知道，球离开平衡位置有相同距离的位置可以有两个，它们分别处在平衡位置的两侧，然而振动物体在任意时刻却只能有一个确定的位置。因此，我们必须规定一个能够同时把球离开平衡位置的距离和方向都表示出来的物理量，这个物理量是个矢量，叫做振动的位移，它的大小等于振动物体在某一时刻的位置跟平衡位置间的距离，它的方向是从平衡位置指向物体所在的位置。例如，图1—1中的球在往返通过任意位置$C$点时（图1—2所示），它的位移的大小都等于$OC$线段的长，方向都是向右，在图上用有向线段$\overrightarrow{OC}$表示。同样，球往返通过任意位置$D$点时的位移的大小和方向，都由有向线段$\overrightarrow{OD}$表示。

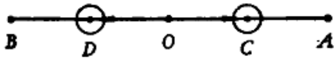

图1—2　振动的位移

由此可见，在图1—1所示的弹簧振子的情况下，球在某一时刻的位移的大小，正好等于该时刻弹簧所发生的形变的大小。球的位移增大或减小时，即弹簧被伸长或压缩的形变增大或减小时，弹力也随着成正比地增大或减小。如果用$x$表示位移的大小，用$F$表示弹力的大小，写成公式就是：

$$F = Kx\ 。$$

公式中的$K$是一个比例常数，它是由弹簧本身的性质所决定的，叫做弹簧的倔强系数。对一个弹簧来说，在弹性限度内，它的$K$是一个恒量。$K$在数值上等于弹簧被伸长或压缩单位长度时弹力的变化值。由于作用在球上的弹力的方向总是指向平衡位置$O$点的，而球的位移的方向却总是由$O$点指向球所在的位置，所以，弹力的方向总跟球的位移的方向相

反。为了反映出这个特点，上面的公式就应该改写成：

$$F = -Kx \text{ 。} \qquad (1—1)$$

根据式(1—1)，我们规定：物体在跟位移大小成正比的、方向总是跟位移方向相反的力的作用下而作的振动，叫做简谐振动。所以，弹簧振子的振动就是简谐振动的一个例子。

“……**普遍性即存在于特殊性之中**……。”式（1—1）虽然是从弹簧振子的振动中总结出来的，可是它所反映的规律却具有普遍意义，换句话说，它是各种各样的简谐振动所共同遵守的基本规律。

假设作简谐振动的物体的质量为$m$，加速度为$a$。根据牛顿第二定律（第二运动定律）的公式 $F=ma$，把它和式（1—1）相比较，就可以得到：

$$a=\frac{F}{m}=-\frac{K}{m}x \text{ 。}$$

上面这个式子表明，作简谐振动的物体，它的加速度的大小总是跟位移的大小成正比而方向总是跟位移的方向相反。

二、单摆的振动

一根细长的、几乎不会伸缩的轻线，上端固定，下端悬挂一个不大的重物（例如小球），把小球稍稍移动后，可以使它在竖直面内来回振动，这样的装置

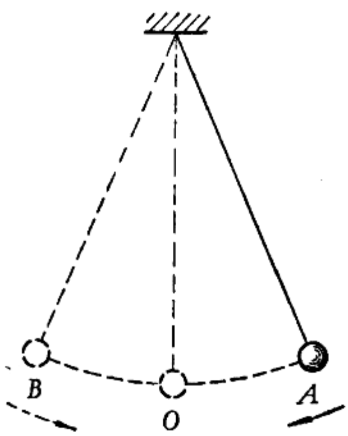

图1—3 单摆

叫做单摆（图1—3）。

单摆的振动具有什么样的特点和规律呢？

悬线在竖直位置时，小球处在平衡位置$O$点。如果某一时刻小球处在任意位置$C$点，这时悬线与竖直方向所成的夹角（摆角）为$\alpha$，由于空气阻力小到可以忽略不计，因此，可以认为这时小球只受到重力$P$和悬线拉力$T$的作用（图1—4）。显然，小球只能沿圆弧运动。重力$P$在小球运动方向即圆弧切线方向的分力为$F$，由于这个分力$F$的作用，才使得单摆来回振动起来。从图上可以看出，$\triangle CDO' \backsim \triangle CFP$（因为都是直角三角形，而且有一个锐角相等），所以，

$$\frac{F}{P}=\frac{CD}{O'C}\text{。}$$

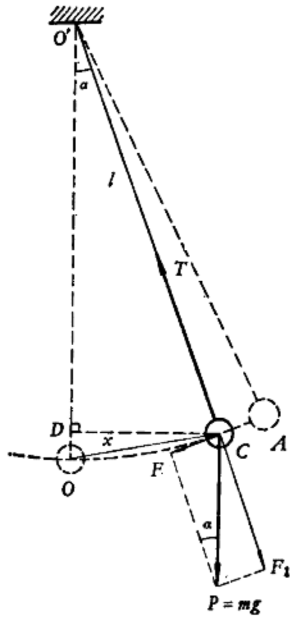

图1—4　单摆的振动

当$\alpha<5°$时，$CD$与$CO$（即位移的大小“$x$”）近似地相等，因此这时$\frac{F}{P}\approx\frac{x}{O'C}$。

假设从悬点到小球中心的长度（摆长）$O'C$为$l$，小球的质量为$m$，就可以得出在摆角$\alpha<5°$时，$F$和$x$等物理量之间的关系为：

$$F \approx P\frac{x}{l} = \frac{mg}{l}x 。$$

当$\alpha < 5°$时，还可以近似地认为$F$总是指向平衡位置的，也就是$F$的方向总跟位移$x$的方向相反。为了反映这个特点，所以上式也应该改写成：

$$F = -\frac{mg}{l}x 。 \qquad (1—2)$$

对于在一定地点的一个单摆来说，$m$、$g$和$l$都是一定的。所以，式（1—2）表明，当单摆的最大摆角不超过5°时，使单摆来回振动的力跟弹簧振子中的弹力相类似，它的大小跟位移成正比，它的方向总是指向平衡位置而跟位移的方向相反。因此，这种情况下的单摆的振动也是一种简谐振动。

## 练　　习

1. 什么叫做振动？什么叫做简谐振动？试分别举例加以说明。

2. 图1—1中的球所作的运动，是不是匀速直线运动或匀变速直线运动？为什么？

3. 试一一指出，图1—1中球的加速度最大和为零、速度最大和为零的位置。

4. 分析图1—3中小球的加速度、速度及位移的变化，填入下表（只写向左或向右、变大或变小）；并指出小球在哪一点时加速度最大或为零、速度最大或为零。

| 小球位置的变化 | 从A到O | 从O到B | 从B到O | 从O到A |
|---|---|---|---|---|
| 力（F） | 向左，变小 | 向右，变大 | 向右，变小 | 向左，变大 |
| 加速度 | | | | |
| 速度 | | | | |
| 位移 | | | | |

5．如果图1—1中的$OA$之间距离过大、图1—3中的最大摆角较大，小球的振动还能不能是简谐振动？为什么？

## 第二节　振动的振幅　周期和频率

各种振动现象之间既有区别，又有联系，一般讲来情况比较复杂。但是，我们可以用一些能够表示振动的性质的物理量，来描述各种振动现象之间的主要的联系和区别（运动形式上的共同特性和数量上的差异）。振动的振幅、周期和频率就是用来表示振动的性质的三个物理量。

在图1—1或图1—3所示的实验中，小球由$A$点经过$O$点到达$B$点，再由$B$点经过$O$点回到$A$点，恰好完成了一次全振动。凡是振动物体通过任意一个位置到下一次沿同方向再通过这一位置的过程，都叫做完成了一次全振动，或叫做往复一周。

振动物体位移的最大值即振动物体离开平衡位置的最大距离，叫做振动的振幅。振幅用$A$表示，单位是厘米。例如，在图1—1或图1—3中的$OA$和$OB$，它们的大小都等于振幅。

物体完成一次全振动所需的时间叫做周期。周期用$T$表示，单位是秒。

在1秒钟内完成全振动的次数叫做频率。频率用$f$表示，单位是赫兹，1赫兹就是1秒钟内刚好完成一次全振动的振动频率。

如果物体在$t$秒内完成了$n$次全振动，那么，它的周期和频率就分别为：

$$T=\frac{t}{n}\quad;\qquad f=\frac{n}{t}\ 。$$

由此可见，周期和频率互成倒数关系，即

$$T=\frac{1}{f}\quad 或\quad f=\frac{1}{T}\ 。\qquad\qquad (1—3)$$

周期和频率都是表示物体振动的快慢性质的物理量。周期越小或频率越大，说明物体振动得越快；反之，就说明物体振动得越慢。

下面我们来研究一下单摆的周期或频率是由哪些因素所决定的。

取一个大约 200 厘米长的单摆，在摆角不超过5°的条件下（摆角5°时，它的振幅约为17.4厘米），分别使它作不同振幅的振动，并一一测出周期。实验结果表明：当摆角很小时，单摆的振动周期跟振幅无关。这个性质叫做摆的等时性，时钟记时就利用了摆的这种性质。根据单摆的等时性，在需要比较精确地测量单摆的周期或频率时，都是先测出振动很多次（例如50次）所需的时间，然后再算出周期或频率来的。

再取一个跟第一个摆的摆长相同、摆球大小相同而质量不同的单摆，让它们同时从同一方向开始作相同振幅的振动，比较实验结果后就会发现，单摆的振动周期跟摆的质量无关。

如果上述单摆中任何一个的摆长缩短为原来的$\frac{1}{4}$，那么，就可以测出它的振动周期将减小为原来的$\frac{1}{2}$。实验指出：单摆的振动周期跟摆长的平方根成正比，即$T=K\sqrt{l}$，其中$K$是比例常数。

理论和实验证明，上式中的比例常数$K=\frac{2\pi}{\sqrt{g}}$，其中$g$是重力加速度。因此，单摆的周期公式为：

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\text{。}\qquad(1-4)$$

式（1—4）表明，单摆的周期还跟重力加速度的平方根成反比。由于不同地点的重力加速度一般都不相同，所以，对于同一个单摆来说，它的周期跟它所在的地点有关。重力加速度大的地方，它的周期要小一些；反之，它的周期就要大一些。

〔例题〕作单摆振动实验时，摆长150厘米，振动50次需时123秒，求重力加速度$g$。

已知：$l=150$厘米，$n=50$，$t=123$秒。

求：重力加速度$g$。

解：$T=\frac{t}{n}=\frac{123}{50}=2.46$（秒）；

根据单摆的周期公式$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，可得

$$g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}=\frac{4\times3.14^2\times150}{2.46^2}=\frac{4\times9.86\times150}{6.05}$$

$\approx977$（厘米/秒$^2$）。

答：所测得的重力加速度约为977厘米/秒$^2$。

## 练　　习

1. 一个摆长为100厘米的单摆，它在振动过程中的最大摆角为5°，求它的振幅。

2. 某物体在5秒钟内完成10次全振动，求振动的周期和频率。

3. 在图1—1或图1—3所示的简谐振动中，小球从$A$点到$B$点和从$B$点到$A$点各经过多少周期？小球从$O$点到$A$点和从$A$点到$O$点各经过多少周期？能不能由此推论说，小球从$O$点到$OA$的中点应该经过$\frac{T}{8}$？为什么？

4. 接上题，从小球正好处在$B$点时算起，问经过$\frac{3}{4}T$、$\frac{35}{4}T$及$\frac{100}{4}T$的时间后，小球各应到达何处？

5. 一个单摆原来的周期为2秒，在下列情况下周期有无变化？如果有变化，变化到多少？（1）摆长缩短为原来的$\frac{1}{4}$；（2）摆球的质量减小为原来的$\frac{1}{4}$；（3）振幅减小为原来的$\frac{1}{4}$。

6. 周期是2秒的单摆叫做秒摆。北京的重力加速度是980.12厘米/秒$^2$，求在北京的秒摆的摆长。

7. 一台在沈阳地区走得很准的挂钟，放在西藏高原就走得不准了，为什么？为了能准确地计时，钟摆的摆锤在冬天和夏天各自应当怎样去调节它？

## 第三节　振动图线

图1—5表示用装细砂子的细孔漏斗做成的摆，可以在竖直面内前后摆动；摆的下面有一块长条平板，板的中央画有一根直线$OO_1$。当漏斗摆动而平板的$O$点正好处于漏斗

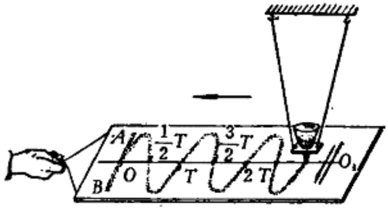


图1—5　演示振动图线的装置

的平衡位置的正下方时，从漏斗漏下的砂子在平板上形成一条直线$AB$。向左匀速地拉动平板，并使直线$OO_1$始终处于漏斗的平衡位置的正下方，从漏斗漏下的砂子就在平板上形成一条曲线。

因为在各个时刻漏斗都要漏下一些砂子，所以平板上砂子所形成的曲线上的各点，就分别记载了摆在各个时刻的位置。由于平板匀速地向左移动，曲线上任意一点离开$AB$的垂直距离，就跟经过的时间成正比，用这个距离就可以代表所经过的时间。曲线上各点离开直线$OO_1$的垂直距离，就是摆在各个时刻离开平衡位置的距离；如果把从直线$OO_1$向前和向后的距离分别取成正值和负值，那么带正负符号的距离就是摆的位移。因此，图1—5所示的曲线是摆的位移随时间而变化的图线，曲线上位移的最大值是摆的振幅，曲线同直线$OO_1$的交点从左到右依次代表0、$\frac{1}{2}T$、$\frac{3}{2}T$、$2T$等时间。

振动物体的位移随着时间而变化的图线，叫做振动图线。必须注意，振动图线是描写振动物体在各个时刻的位移情况的图线，它不是振动物体的真实的运动轨迹。图1—5的实验所演示出来的图线跟数学里所讲的正弦曲线很相似。一切简谐振动的振动图线都是严格的正弦曲线。

## 练　　习

1. 物体的振动图线是什么意思？在图1—1和图1—3中小球的运动轨迹是什么形状？

2. 在图1—5所示实验中，如果平板向左移动的速度不变，振动

的振幅变大一倍，周期变小一半，所得振动图线的形状有何改变？

3．图1—6 所示的正弦曲线，是根据图1—5所示平板上所得砂迹缩小绘制的，尺寸缩小为原来的$\frac{1}{10}$，平板移动速度是150毫米/秒，试由图求出振动的振幅和周期。

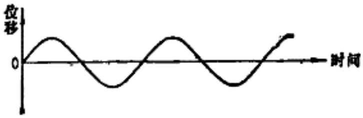

图1—6

4．设图1—6 是某个振动图线的缩小图，纵向每毫米代表2毫米，横向每毫米代表$\frac{1}{15}$秒，求振动的振幅和周期。

## 第四节 振动中能量的转换

在单摆振动的实验中（图1—3），使摆球偏离平衡位置$O$点时，我们要对它做功，摆球位置升得越高，所需要做的功就越多。当摆球达到最高位置$A$点时，它的势能最大。如果把摆球在$O$点时的势能取为零，并且假定它在偏离平衡位置的过程中没有任何能量损失，那么，它在$A$点时的势能就等于我们所做的功。

在$A$点把摆球放开之后，它就从$A$点向$O$点摆动。随着摆球位置的逐步降低它的势能就越来越小，但同时它的速度却不断地增加，因此它的动能就越来越大。当摆球到达$O$点时，它的势能为零，而速度和动能却达到了最大值。摆球从$O$点继续向$B$点摆动时，随着它的位置的不断升高它的势能逐渐增大，同时它的速度和动能却逐渐减小。摆球到达$B$点时，它的动能为零（因为速度为零），而势能又达到了最大值。如果摆球在摆动过程中没有任何能量损失，那么，根据能量守恒定律，它在$O$点时的动能应该等于它在$A$点或$B$

点时的势能，也就是说，它在$B$点时的势能等于它在$A$点时的势能，所以，$B$点位置应该和$A$点一样高。同时，它在摆动到任何一个位置时的势能和动能的总和，都等于它在$A$点时的势能。

在弹簧振子的振动实验中(图1—1)，也有相似的能量转换过程，只不过这里的势能不是重力势能，而是弹性势能。

振动物体的总能量和振幅，都是表示物体振动强弱的物理量。它们之间存在一定的关系，振动物体的振幅越大时它的总能量也越大。例如，扬声器的纸盆振动得越强烈时（它的振幅越大），这时它所发出的声音也越响（说明它的振动的总能量也越大）。

从前面所作的分析中还可以看出，如果物体在振动过程中总能量守恒，那么，它的振幅也一定保持不变。任何作简谐振动的物体，它的总能量和振幅在振动过程中都是不变的。

### 练　　习

在图1—1所示的弹簧振子的实验中，假定它在振动过程中不受任何阻力的作用（即没有任何能量的损失）。试分析它在振动过程中的能量转换情况，说明它在$A$、$O$、$B$各点时所具有的能量之间存在什么样的关系。

## 第五节　阻尼振动　受迫振动　共振

当我们用碰一下或稍稍拉开后再放开的办法，去供给单摆一定的能量时，它便开始振动起来。如果以后不再干涉它并且假定它不受任何阻力的作用，那么，它将保持一定的振幅不