

### 质点运动学

1. 1 一质点沿直线运动，运动方程为  $x(t) = 6t^2 - 2t^3$ 。试求：

- (1) 第 2s 内的位移和平均速度；
- (2) 1s 末及 2s 末的瞬时速度，第 2s 内的路程；
- (3) 1s 末的瞬时加速度和第 2s 内的平均加速度。

1. 2 一质点作匀加速直线运动，在  $t = 10\text{s}$  内走过路程  $s = 30\text{m}$ ，而其速度增为  $n = 5$  倍。试证加速度为  $a = \frac{2(n-1)s}{(n+1)t^2}$ ，并由上述数据求出量值。

1. 3 一人乘摩托车跳越一个大矿坑，他以与水平成  $22.5^\circ$  的夹角的初速度  $65\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  从西边起跳，准确地落在坑的东边。已知东边比西边低  $70\text{m}$ ，忽略空气阻力，且取  $g = 10\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ 。问：

- (1) 矿坑有多宽？他飞越的时间多长？
- (2) 他在东边落地时的速度？速度与水平面的夹角？

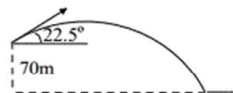


图 1.3

1. 4 一个正在沿直线行驶的汽船，关闭发动机后，由于阻力得到一个与速度反向、大小与船速平方成正比的加速度，即  $dv/dt = -kv^2$ ， $k$  为常数。

- (1) 试证在关闭发动机后，船在  $t$  时刻的速度大小为  $\frac{1}{v} = \frac{1}{v_0} + kt$ ；
- (2) 试证在时间  $t$  内，船行驶的距离为  $x = \frac{1}{k} \ln(v_0 kt + 1)$ 。

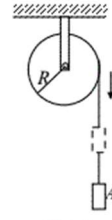
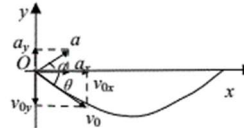


图 1.7

1. 5 一质点沿半径为  $0.10\text{m}$  的圆周运动，其角位置（以弧度表示）可用公式表示： $\theta = 2 + 4t^3$ 。求：

- (1)  $t = 2\text{s}$  时，它的法向加速度和切向加速度；
- (2) 当切向加速度恰为总加速度大小的一半时， $\theta$  为何值？
- (3) 在哪一时刻，切向加速度和法向加速度恰有相等的值？

1. 6 一飞机在铅直面内飞行，某时刻飞机的速度为  $v = 300\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，方向与水平线夹角为  $30^\circ$  而斜向下，此后飞机的加速度为  $a = 20\sqrt{3}\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ，方向与水平前进方向夹角为  $30^\circ$  而斜向上，问多长时间后，飞机又回到原来的高度？在此期间飞机在水平方向飞行的距离为多少？



1. 7 一个半径为  $R = 1.0\text{m}$  的轻圆盘，可以绕一水平轴自由转动。一根轻绳绕在盘子的边缘，其自由端拴一物体  $A$ 。在重力作用下，物体  $A$  从静止开始匀加速地下降，在  $\Delta t = 2.0\text{s}$  内下降的距离  $h = 0.4\text{m}$ 。求物体开始下降后  $3\text{s}$  末，圆盘边缘上任一点的切向加速度与法向加速度。

1. 8 一升降机以加速度  $1.22\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  上升，当上升速度为  $2.44\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  时，有一螺帽自升降机的天花板上松落，天花板与升降机的底面相距  $2.74\text{m}$ 。计算：

- (1) 螺帽从天花板落到底面所需的时间；
- (2) 螺帽相对于升降机外固定柱子的下降距离。

1. 10 如图所示，一汽车在雨中沿直线行驶，其速度为  $v_1$ ，下落雨的速度方向与铅直方向的夹角为  $\theta$ ，偏向于汽车前进方向，速度为  $v_2$ 。今在车后放一长方形物体，问车速  $v_1$  为多大时此物体刚好不会被雨水淋湿？

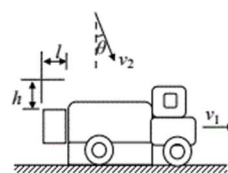


图 1.10

## 运动定律与力学中的守恒定律

### (一) 牛顿运动定律

2. 1 一个重量为  $P$  的质点，在光滑的固定斜面（倾角为  $\alpha$ ）上以初速度  $\vec{v}_0$  运动， $\vec{v}_0$  的方向与斜面底边的水平约  $AB$  平行，如图所示，求这质点的运动轨道。

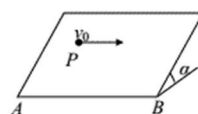
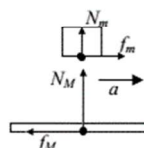


图 2.1

2. 2 桌上有一质量  $M = 1\text{kg}$  的平板，板上放一质量  $m = 2\text{kg}$  的另一物体，设物体与板、板与桌面之间的滑动摩擦因素均为  $\mu_k = 0.25$ ，静摩擦因素为  $\mu_s = 0.30$ 。求：

(1) 今以水平力  $\vec{F}$  拉板，使两者一起以  $a = 1\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$  的加速度运动，试计算物体与板、与桌面间的相互作用力；

(2) 要将板从物体下面抽出，至少需要多大的力？



2.5 如图所示, 质量为  $m$  的摆悬于架上, 架固定于小车上, 在下述各种情况中, 求摆线的方向 (即摆线与竖直线的夹角  $\theta$ ) 及线中的张力  $T$ .

- (1) 小车沿水平线作匀速运动;
- (2) 小车以加速度  $\vec{a}_1$  沿水平方向运动;
- (3) 小车自由地从倾斜平面上滑下, 斜面与水平面成  $\varphi$  角;
- (4) 用与斜面平行的加速度  $\vec{b}_1$  把小车沿斜面往上推 (设  $b_1 = b$ );
- (5) 以同样大小的加速度  $\vec{b}_2$  ( $b_2 = b$ ), 将小车从斜面上推下来.

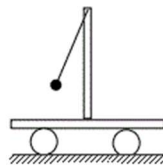


图 2.5

2.6 如图所示: 质量为  $m=0.10\text{kg}$  的小球, 拴在长度  $l=0.5\text{m}$  的轻绳子的一端, 构成一个摆. 摆动时, 与竖直线的最大夹角为  $60^\circ$ . 求:

- (1) 小球通过竖直位置时的速度为多少? 此时绳的张力多大?
- (2) 在  $\theta < 60^\circ$  的任一位置时, 求小球速度  $v$  与  $\theta$  的关系式. 这时小球的加速度为多大? 绳中的张力多大?
- (3) 在  $\theta = 60^\circ$  时, 小球的加速度多大? 绳的张力有多大?

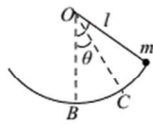


图 2.6

2.7 小石块沿一弯曲光滑轨道上由静止滑下  $h$  高度时, 它的速率多大? (要求用牛顿第二定律积分求解)

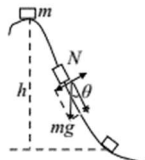


图 2.7

2.8 质量为  $m$  的物体, 最初静止于  $x_0$ , 在力  $f = -\frac{k}{x^2}$  ( $k$  为常数) 作用下沿直线运动. 证明物体在  $x$  处的速度大小  $v = [2k(1/x - 1/x_0)/m]^{1/2}$ .

2.9 一质量为  $m$  的小球以速率  $v_0$  从地面开始竖直向上运动. 在运动过程中, 小球所受空气阻力大小与速率成正比, 比例系数为  $k$ . 求:

- (1) 小球速率随时间的变化关系  $v(t)$ ;
- (2) 小球上升到最大高度所花的时间  $T$ .

2.10 如图所示: 光滑的水平桌面上放置一固定的圆环带, 半径为  $R$ . 一物体贴着环带内侧运动, 物体与环带间的滑动摩擦因数为  $\mu_k$ . 设物体在某时刻经  $A$  点时速率为  $v_0$ , 求此后时刻  $t$  物体的速率以及从  $A$  点开始所经过的路程.

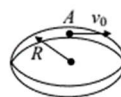


图 2.10

2.11 如图所示, 一半径为  $R$  的金属光滑圆环可绕其竖直直径转动. 在环上套有一珠子. 今逐渐增大圆环的转动角速度  $\omega$ , 试求在不同转动速度下珠子能静止在环上的位置. 以珠子所停处的半径与竖直直径的夹角  $\theta$  表示.

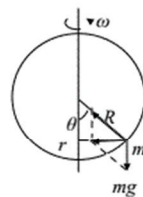
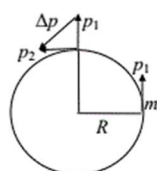


图 2.11

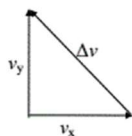
## (二)力学中的守恒定律

2.13 一个质量  $m = 50\text{g}$ , 以速率的  $v = 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  作匀速圆周运动的小球, 在  $1/4$  周期内向心力给予小球的冲量等于多少?



球, 在

2. 14 用棒打击质量  $0.3\text{kg}$ ，速率等于  $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的水平飞来的球，球飞到竖直上方  $10\text{m}$  的高度，求棒给予球的冲量多大？设球与棒的接触时间为  $0.02\text{s}$ ，求球受到的平均冲力？



2. 15 如图所示，三个物体  $A$ 、 $B$ 、 $C$ ，每个质量都为  $M$ ， $B$  和  $C$  靠在一起，放在光滑水平桌面上，两者连有一段长度为  $0.4\text{m}$  的细绳，首先放松， $B$  的另一侧则连有另一细绳跨过桌边的定滑轮而与  $A$  相连，已知滑轮轴上的摩擦也可忽略，绳子长度一定，问  $A$  和  $B$  起动后，经多长时间  $C$  也开始运动？ $C$  开始运动时的速度是多少？（取  $g = 10\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ）

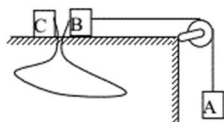
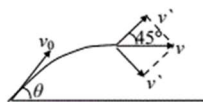


图 2.15

2. 16 一炮弹以速率  $v_0$  沿仰角  $\theta$  的方向发射出去后，在轨道的最高点爆炸为质量相等的两块，一块沿此  $45^\circ$  仰角上飞，一块沿  $45^\circ$  俯角下冲，求刚爆炸的这两块碎片的速率各为多少？



2. 17 如图所示，一匹马拉着雪橇沿着冰雪覆盖的弧形路面极缓慢地匀速移动，这圆弧路面的半径为  $R$ 。设马对雪橇的拉力总是平行于路面，雪橇的质量为  $m$ ，它与路面的滑动摩擦因数为  $\mu_k$ 。当把雪橇

由底端拉上  $45^\circ$  圆弧时，马对雪橇做了多少功？重力和摩擦力各做了多少功？

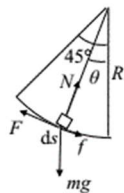


图 2.17

2. 18 一质量为  $m$  的质点拴在细绳的一端，绳的另一端固定，此质点在粗糙水平面上作半径为  $r$  的圆周运动。设质点最初的速率是  $v_0$ ，当它运动 1 周时，其速率变为  $v_0/2$ ，求：

- (1) 摩擦力所做的功；
- (2) 滑动摩擦因数；
- (3) 在静止以前质点运动了多少圈？

2. 19 如图所示，物体  $A$  的质量  $m = 0.5\text{kg}$ ，静止于光滑斜面上，它与固定在斜面底  $B$  端的弹簧  $M$  相距  $s = 3\text{m}$ 。弹簧的倔强系数  $k = 400\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ，斜面倾角为  $45^\circ$ 。求当物体  $A$  由静止下滑时，能使弹簧长度产生的最大压缩量是多大？

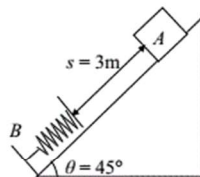
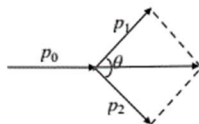


图 2.19

2. 20 一个小球与另一质量相等的静止小球发生弹性碰撞。如果碰撞不是对心的，试证明：碰撞后两小球的运动方向彼此垂直。



2. 21 如图所示，质量为  $1.0\text{kg}$  的钢球  $m_1$  系在长为  $0.8\text{m}$  的绳的一端，绳的另一端  $O$  固定。把绳拉到水平位置后，再把它由静止释放，球在最低点处与质量为  $5.0\text{kg}$  的钢块  $m_2$  作完全弹性碰撞，求碰撞后钢球继续运动能达到的最大高度。

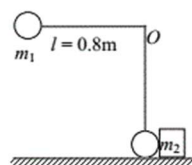


图 2.21

2. 22 一质量为  $m$  的物体，从质量为  $M$  的圆弧形槽顶端由静止滑下，设圆弧形槽的半径为  $R$ ，张角为  $\pi/2$ ，如图所示，所有摩擦都忽略，求：

- (1) 物体刚离开槽底端时，物体和槽的速度各是多少？
- (2) 在物体从  $A$  滑到  $B$  的过程中，物体对槽所做的功  $W$ ；
- (3) 物体到达  $B$  时对槽的压力。

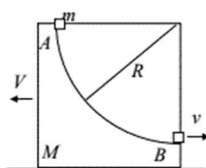


图 2.22

2. 23 在实验室内观察到相距很远的一个质子（质量为  $m_p$ ）和一个氦核（质量为  $4m_p$ ）沿一直线相向运动：速率都是  $v_0$ ，求两者能达到的最近距离。



图 2.24

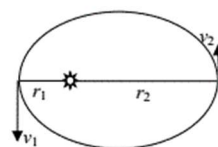
2. 24 如图所示，有一个在竖直面内摆动的单摆。问：

- (1) 摆球对悬挂点的角动量守恒吗？
- (2) 求出  $t$  时刻小球对悬挂点的角动量的方向，对于不同的时刻，角动量的方向会改变吗？
- (3) 计算摆球在  $\theta$  角时对悬挂点角动量的变化率。



$$E = -\frac{GMm}{r_1 + r_2}$$

2. 25 证明行星在轨道上运动的总能量为  $E = -\frac{GMm}{r_1 + r_2}$ 。式中  $M$  和  $m$  分别为太阳和行星的质量， $r_1$  和  $r_2$  分别为太阳和行星轨道的近日点和远日点的距离。



### (三) 刚体定轴转动

2. 26 质量为  $M$  的空心圆柱体，质量均匀分布，其内外半径为  $R_1$  和  $R_2$ ，求对通过其中心轴的转动惯量。

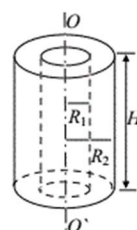


图 2.26

2. 28 一半圆形细杆，半径为  $R$ ，质量为  $M$ ，求对过细杆二端  $AA'$  轴的转动惯量。半圆绕  $AA'$  轴的转动惯量为

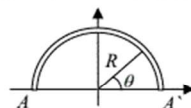


图 2.28

2. 29 如图所示，在质量为  $M$ ，半径为  $R$  的匀质圆盘上挖出半径为  $r$  的两个圆孔。圆孔中心在圆盘半径的中点。求剩余部分对大圆盘中心且与盘面垂直的轴线的转动惯量。

1

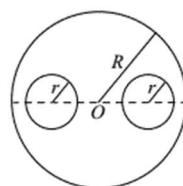


图 2.29

2. 30 飞轮质量  $m = 60\text{kg}$ , 半径  $R = 0.25\text{m}$ , 绕水平中心轴  $O$  转动, 转速为  $900\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ . 现利用一制动用的轻质闸瓦, 在剖杆一端加竖直方向的制动力  $\vec{F}$ , 可使飞轮减速. 闸杆尺寸如图所示, 闸瓦与飞轮之间的摩擦因数  $\mu = 0.4$ , 飞轮的转动惯量可按匀质圆盘计算.

- (1) 设  $F = 100\text{N}$ , 问可使飞轮在多长时间停止转动? 这段时间飞轮转了多少转?
- (2) 若要在  $2\text{s}$  内使飞轮转速减为一半, 需加多大的制动力  $F$ ?

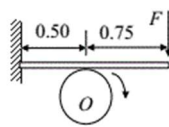


图 2.30

2. 31 一轻绳绕于  $r = 0.2\text{m}$  的飞轮边缘, 以恒力  $F = 98\text{N}$  拉绳, 如图 (a) 所示. 已知飞轮的转动惯量  $I = 0.5\text{kg}\cdot\text{m}^2$ , 轴承无摩擦. 求

- (1) 飞轮的角加速度.
- (2) 绳子拉下  $5\text{m}$  时, 飞轮的角速度和动能.
- (3) 将重力  $P = 98\text{N}$  的物体挂在绳端, 如图 (b) 所示, 再求上面的结果.



图 2.31

2. 32 质量为  $m$ , 半径为  $R$  的均匀圆盘在水平面上绕中心轴转动, 如图所示. 盘与水平面的摩擦因数为  $\mu$ , 圆盘从初角速度为  $\omega_0$  到停止转动, 共转了多少圈?

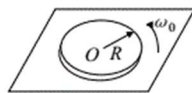


图 2.32

2. 33 一个轻质弹簧的倔强系数为  $k = 2.0\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ . 它的一端固定, 另一端通过一条细绳绕过定滑轮和一个质量为  $m_1 = 80\text{g}$  的物体相连, 如图所示. 定滑轮可看作均匀圆盘, 它的半径为  $r = 0.05\text{m}$ , 质量为  $m = 100\text{g}$ . 先用手托住物体  $m_1$ , 使弹簧处于其自然长度, 然后松手. 求物体  $m_1$  下降  $h = 0.5\text{m}$  时的速度多大? 忽略滑轮轴上的摩擦, 并认为绳在滑轮边上不打滑.

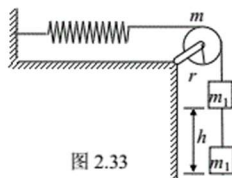
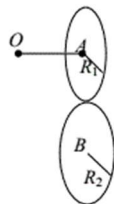


图 2.33

2. 34 均质圆轮  $A$  的质量为  $M_1$ , 半径为  $R_1$ , 以角速度  $\omega$  绕  $OA$  杆的  $A$  端转动, 此时, 将其放置在另一质量为  $M_2$  的均质圆轮  $B$  上,  $B$  轮的半径为  $R_2$ .  $B$  轮原来静止, 但可绕其几何中心轴自由转动. 放置后,  $A$  轮的重量由  $B$  轮支持. 略去轴承的摩擦与杆  $OA$  的重量, 并设两轮间的摩擦因素为  $\mu$ , 问自  $A$  轮放在  $B$  轮上到两轮间没有相对滑动为止, 需要经过多长时间?



2. 35 均质矩形薄板绕竖边转动, 初始角速度为  $\omega_0$ , 转动时受到空气的阻力. 阻力垂直于板面, 每一小面积所受阻力的大小与其面积及速度的平方的乘积成正比, 比例常数为  $k$ . 试计算经过多少时间, 薄板角速度减为原来的一半. 设薄板竖边长为  $b$ , 宽为  $a$ , 薄板质量为  $m$ .

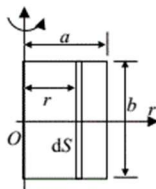


图 2.35

2. 36 一个质量为  $M$ , 半径为  $R$  并以角速度  $\omega$  旋转的飞轮 (可看作匀质圆盘), 在某一瞬间突然有一片质量为  $m$  的碎片从轮的边缘上飞出, 如图所示. 假定碎片脱离飞轮时的瞬时速度方向正好竖直向上.

- (1) 问它能上升多高?
- (2) 求余下部分的角速度、角动量和转动动能.

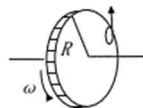
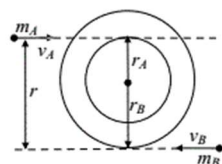


图 2.36

2. 37 两滑冰运动员，在相距 1.5m 的两平行线上相向而行，两人质量分别为  $m_A = 60\text{kg}$ ， $m_B = 70\text{kg}$ ，它们速率分别为  $v_A = 7\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ， $v_B = 6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，当两者最接近时，便拉起手来，开始绕质心作圆周运动，并保持二者的距离为 1.5m。求该瞬时：

- (1) 系统对通过质心的竖直轴的总角动量；
- (2) 系统的角速度；
- (3) 两人拉手前、后的总动能，这一过程中能量是否守恒？



## 机械振动

4. 1 一物体沿  $x$  轴做简谐振动，振幅  $A = 0.12\text{m}$ ，周期  $T = 2\text{s}$ 。当  $t = 0$  时，物体的位移  $x = 0.06\text{m}$ ，且向  $x$  轴正向运动。求：

- (1) 此简谐振动的表达式；
- (2)  $t = T/4$  时物体的位置、速度和加速度；
- (3) 物体从  $x = -0.06\text{m}$ ，向  $x$  轴负方向运动第一次回到平衡位置所需的时间。

4. 2 已知一简谐振子的振动曲线如图所示，试由图求：

- (1)  $a, b, c, d, e$  各点的位相, 及到达这些状态的时刻  $t$  各是多少? 已知周期为  $T$ ;
- (2) 振动表达式;
- (3) 画出旋转矢量图.

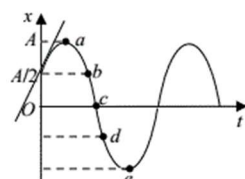


图 4.2

4.3 有一弹簧, 当其下端挂一质量为  $M$  的物体时, 伸长量为  $9.8 \times 10^{-2} \text{m}$ . 若使物体上下振动, 且规定向下为正方向.

- (1)  $t=0$  时, 物体在平衡位置上方  $8.0 \times 10^{-2} \text{m}$  处, 由静止开始向下运动, 求运动方程;
- (2)  $t=0$  时, 物体在平衡位置并以  $0.60 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  速度向上运动, 求运动方程.

4.4 质量为  $10 \times 10^{-3} \text{kg}$  的小球与轻弹簧组成的系统, 按  $x = 0.1 \cos(8\pi t + \frac{2\pi}{3})$  的规律作振动, 式中  $t$  以秒(s)计,  $x$  以米(m)计. 求:

- (1) 振动的圆频率、周期、振幅、初位相;
- (2) 振动的速度、加速度的最大值;
- (3) 最大回复力、振动能量、平均动能和平均势能;
- (4) 画出这振动的旋转矢量图, 并在图上指明  $t$  为 1, 2, 10s 等各时刻的矢量位置.

4.5 两个质点平行于同一直线并排作同频率、同振幅的简谐振动。在振动过程中，每当它们经过振幅一半的地方时相遇，而运动方向相反。求它们的位相差，并作旋转矢量图表示。

4.6 一氢原子在分子中的振动可视为简谐振动。已知氢原子质量  $m = 1.68 \times 10^{-27} \text{kg}$ ，振动频率  $\nu = 1.0 \times 10^{14} \text{Hz}$ ，振幅  $A = 1.0 \times 10^{-11} \text{m}$ 。试计算：

- (1) 此氢原子的最大速度；
- (2) 与此振动相联系的能量。

4.7 如图所示，在一平板下装有弹簧，平板上放一质量为  $1.0 \text{kg}$  的重物，若使平板在竖直方向上作上下简谐振动，周期为  $0.50 \text{s}$ ，振幅为  $2.0 \times 10^{-2} \text{m}$ ，求：

- (1) 平板到最低点时，重物对平板的作用力；
- (2) 若频率不变，则平板以多大的振幅振动时，重物跳离平板？
- (3) 若振幅不变，则平板以多大的频率振动时，重物跳离平板？



图 4.7

4.9 如图所示，质量为  $10 \text{g}$  的子弹以速度  $v = 10^3 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  水平射入木块，并陷入木块中，使弹簧压缩而作简谐振动。设弹簧的倔强系数  $k = 8 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ，木块的质量为  $4.99 \text{kg}$ ，不计桌面摩擦，试求：

- (1) 振动的振幅；
- (2) 振动方程。

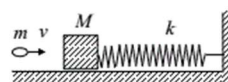


图 4.9

4.11 装置如图所示, 轻弹簧一端固定, 另一端与物体  $m$  间用细绳相连, 细绳跨于桌边定滑轮  $M$  上,  $m$  悬于细绳下端. 已知弹簧的倔强系数为  $k = 50\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ , 滑轮的转动惯量  $J = 0.02\text{kg}\cdot\text{m}^2$ , 半径  $R = 0.2\text{m}$ , 物体质量为  $m = 1.5\text{kg}$ , 取  $g = 10\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

- (1) 试求这一系统静止时弹簧的伸长量和绳的张力;
- (2) 将物体  $m$  用手托起  $0.15\text{m}$ , 再突然放手, 任物体  $m$  下落而整个系统进入振动状态. 设绳子长度一定, 绳子与滑轮间不打滑, 滑轮轴承无摩擦, 试证物体  $m$  是做简谐振动;
- (3) 确定物体  $m$  的振动周期;
- (4) 取物体  $m$  的平衡位置为原点,  $OX$  轴竖直向下, 设振动物体  $m$  相对于平衡位置的位移为  $x$ , 写出振动方程.

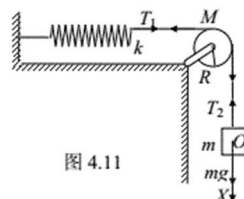
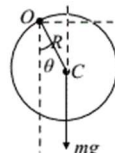


图 4.11

4.12 一匀质细圆环质量为  $m$ , 半径为  $R$ , 绕通过环上一点而与环平面垂直的水平光滑轴在铅垂面内作小幅度摆动, 求摆动的周期.



4.13 重量为  $P$  的物体用两根弹簧竖直悬挂, 如图所示, 各弹簧的倔强系数标明在图上. 试求在图示两种情况下, 系统沿竖直方向振动的固有频率.

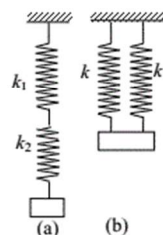


图 4.13

4. 14 质量为  $0.25\text{kg}$  的物体，在弹性力作用下作简谐振动，倔强系数  $k = 25\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ，如果开始振动时具有势能  $0.6\text{J}$ ，和动能  $0.2\text{J}$ ，求：（1）振幅；（2）位移多大时，动能恰等于势能？（3）经过平衡位置时的速度。

4. 15 两个频率和振幅都相同的简谐振动的  $x-t$  曲线如图所示，求：

- （1）两个简谐振动的位相差；
- （2）两个简谐振动的合成振动的振动方程。

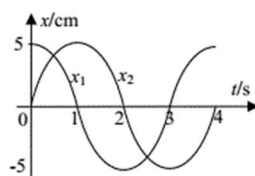


图 4.15

4. 16 已知两个同方向简谐振动如下： $x_1 = 0.05\cos(10t + \frac{3}{5}\pi)$ ， $x_2 = 0.06\cos(10t + \frac{1}{5}\pi)$ 。

- （1）求它们的合成振动的振幅和初位相；
- （2）另有一同方向简谐振动  $x_3 = 0.07\cos(10t + \varphi)$ ，问  $\varphi$  为何值时， $x_1 + x_3$  的振幅为最大？ $\varphi$  为何值时， $x_2 + x_3$  的振幅为最小？
- （3）用旋转矢量图示法表示（1）和（2）两种情况下的结果。 $x$  以米计， $t$  以秒计。

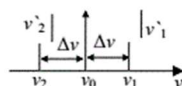
4. 17 质量为  $0.4\text{kg}$  的质点同时参与互相垂直的两个振动： $x = 0.08\cos(\frac{\pi}{3}t + \frac{\pi}{6})$ ，

$y = 0.06\cos(\frac{\pi}{3}t - \frac{\pi}{3})$ 。式中  $x$  和  $y$  以米(m)计， $t$  以秒(s)计。

- （1）求运动的轨道方程；
- （2）画出合成振动的轨迹；
- （3）求质点在任一位置所受的力。



4. 18 将频率为 384Hz 的标准音叉振动和一待测频率的音叉振动合成，测得拍频为 3.0Hz，在待测音叉的一端加上一小块物体，则拍频将减小，求待测音叉的固有频率。



4. 20 三个同方向、同频率的简谐振动为

$$x_1 = 0.08 \cos(314t + \frac{\pi}{6}), \quad x_2 = 0.08 \cos(314t + \frac{\pi}{2}), \quad x_3 = 0.08 \cos(314t + \frac{5\pi}{6}).$$

求：（1）合振动的圆频率、振幅、初相及振动表达式；

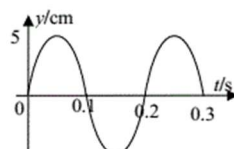
（2）合振动由初始位置运动到  $x = \frac{\sqrt{2}}{2}A$  所需最短时间（ $A$  为合振动振幅）。

### 机械波

5. 1 已知一波的波动方程为  $y = 5 \times 10^{-2} \sin(10\pi t - 0.6x)$  (m)。

（1）求波长、频率、波速及传播方向；

（2）说明  $x = 0$  时波动方程的意义，并作图表示。



5. 2 一平面简谐波在媒质中以速度为  $u = 0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  沿  $x$  轴正向传播，已知波线上  $A$  点（ $x_A = 0.05 \text{ m}$ ）的振动方程为  $y_A = 0.03 \cos(4\pi t - \frac{\pi}{2})$  (m)。试求：（1）简谐波的波动方程；（2） $x = -0.05 \text{ m}$  处质点  $P$  处的振动方程。

5.3 已知平面波波源的振动表达式为  $y_0 = 6.0 \times 10^{-2} \sin \frac{\pi}{2} t$  (m). 求距波源 5m 处质点的振动方程和该质点与波源的位相差. 设波速为  $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

5.4 有一沿  $x$  轴正向传播的平面波, 其波速为  $u = 1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 波长  $\lambda = 0.04\text{m}$ , 振幅  $A = 0.03\text{m}$ . 若以坐标原点恰在平衡位置而向负方向运动时作为开始时刻, 试求:

- (1) 此平面波的波动方程;
- (2) 与波源相距  $x = 0.01\text{m}$  处质点的振动方程, 该点初相是多少?

5.5 一列简谐波沿  $x$  轴正向传播, 在  $t_1 = 0\text{s}$ ,  $t_2 = 0.25\text{s}$  时刻的波形如图所示, 试求:

- (1)  $P$  点的振动表达式;
- (2) 波动方程;
- (3) 画出  $O$  点的振动曲线.

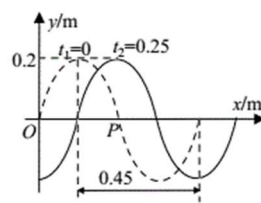


图 5.5

5.6 如图所示为一列沿  $x$  负向传播的平面谐波在  $t = T/4$  时的波形图, 振幅  $A$ 、波长  $\lambda$  以及周期  $T$  均已知.

- (1) 写出该波的波动方程;
- (2) 画出  $x = \lambda/2$  处质点的振动曲线;
- (3) 图中波线上  $a$  和  $b$  两点的位相差  $\varphi_a - \varphi_b$  为多少?

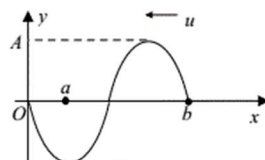
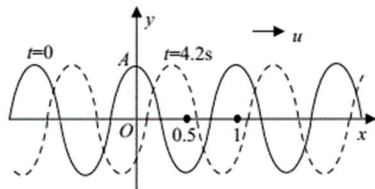


图 5.6

5.7 已知波的波动方程为  $y = A \cos \pi(4t - 2x)$  (SI). (1) 写出  $t = 4.2\text{s}$  时各波峰位置的坐标表示式, 并计算此时离原点最近的波峰的位置, 该波峰何时通过原点? (2) 画出  $t = 4.2\text{s}$  时的波形曲线.



5.8 一简谐波沿  $x$  轴正向传播, 波长  $\lambda = 4\text{m}$ , 周期  $T = 4\text{s}$ , 已知  $x = 0$  处的质点的振动曲线如图所示.

- (1) 写出  $x = 0$  处质点的振动方程;
- (2) 写出波的表达式;
- (3) 画出  $t = 1\text{s}$  时刻的波形曲线.

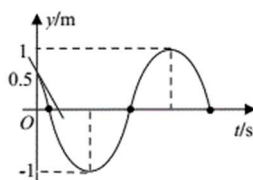


图 5.8

5.9 在波的传播路程上有  $A$  和  $B$  两点, 都做简谐振动,  $B$  点的位相比  $A$  点落后  $\pi/6$ , 已知  $A$  和  $B$  之间的距离为  $2.0\text{cm}$ , 振动周期为  $2.0\text{s}$ . 求波速  $u$  和波长  $\lambda$ .

5. 10 一平面波在介质中以速度  $u = 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  沿  $x$  轴负方向传播. 已知在传播路径上的某点  $A$  的振动方程为  $y = 3\cos 4\pi t$ .

(1) 如以  $A$  点为坐标原点, 写出波动方程;

(2) 如以距  $A$  点  $5\text{m}$  处的  $B$  点为坐标原点, 写出波动方程;

(3) 写出传播方向上  $B, C, D$  点的振动方程.

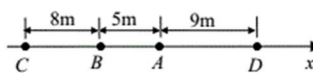


图 5.10

5. 11 一弹性波在媒质中传播的速度  $u = 1 \times 10^3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 振幅  $A = 1.0 \times 10^{-4}\text{m}$ , 频率  $\nu = 10^3\text{Hz}$ . 若该媒质的密度为  $800\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , 求:

(1) 该波的平均能流密度;

(2) 1 分钟内垂直通过面积  $S = 4 \times 10^{-4}\text{m}^2$  的总能量.

5. 12 一平面简谐声波在空气中传播, 波速  $u = 340\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 频率为  $500\text{Hz}$ . 到达人耳时, 振幅  $A = 1 \times 10^{-4}\text{cm}$ , 试求人耳接收到声波的平均能量密度和声强? 此时声强相当于多少分贝? 已知空气密度  $\rho = 1.29\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

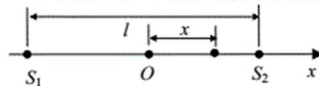
5. 13 设空气中声速为  $330\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . 一列火车以  $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的速度行驶, 机车上汽笛的频率为  $600\text{Hz}$ . 一静止的观察者在机车的正前方和机车驶过其身后所听到的频率分别是多少? 如果观察者以速度  $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  与这列火车相向运动, 在上述两个位置, 他听到的声音频率分别是多少?

- 5.14. 一声源的频率为 1080Hz, 相对地面以  $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  速率向右运动. 在其右方有一反射面相对地面以  $65\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  的速率向左运动. 设空气中声速为  $331\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . 求:
- (1) 声源在空气中发出的声音的波长;
  - (2) 反射回的声音的频率和波长.

- 5.15  $S_1$  与  $S_2$  为两相干波源, 相距  $1/4$  个波长,  $S_1$  比  $S_2$  的位相超前  $\pi/2$ . 问  $S_1$ 、 $S_2$  连线上在  $S_1$  外侧各点的合成波的振幅如何? 在  $S_2$  外侧各点的振幅如何?



- 5.16 两相干波源  $S_1$  与  $S_2$  相距 5m, 其振幅相等, 频率都是 100Hz, 位相差为  $\pi$ ; 波在媒质中的传播速度为  $400\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 试以  $S_1S_2$  连线为坐标轴  $x$ , 以  $S_1S_2$  连线中点为原点, 求  $S_1S_2$  间因干涉而静止的各点的坐标.



- 5.17 设入射波的表达式为

$$y_1 = A \cos 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right),$$

在  $x=0$  处发生反射, 反射点为一自由端, 求:

- (1) 反射波的表达式;

(2) 合成驻波的表达式.

- 5.18 两波在一很长的弦线上传播, 设其表达式为:  $y_1 = 6.0 \cos \frac{\pi}{2}(0.02x - 8.0t)$ ,  $y_2 = 6.0 \cos \frac{\pi}{2}(0.02x + 8.0t)$ , 用厘米、克、秒 (cm,g,s) 制单位, 求: (1) 各波的频率, 波长、波速; (2) 节点的位置; (3) 在哪些位置上, 振幅最大?

## 气体分子运动论

10. 1 已知温度为  $27^\circ\text{C}$  的气体作用于器壁上的压强为  $10^5\text{Pa}$ , 求此气体内单位体积里的分子数.
10. 2 一个温度为  $17^\circ\text{C}$ 、容积  $11.2 \times 10^{-3}\text{m}^3$  的真空系统已抽到其真空度为  $1.33 \times 10^{-3}\text{Pa}$ . 为了提高其真空度, 将它放在  $300^\circ\text{C}$  的烘箱内烘烤, 使吸附于器壁的气体分子也释放出来. 烘烤后容器内压强为  $1.33\text{Pa}$ , 问器壁原来吸附了多少个分子?
10. 4 已知  $275\text{K}$  和  $1.00 \times 10^3\text{Pa}$  条件下气体的密度  $\rho = 1.24 \times 10^{-5}\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , 求:
- (1) 气体的方均根速率  $\sqrt{v^2}$ ;
  - (2) 气体的摩尔质量  $\mu$ , 并指出是什么气体.
10. 5 当温度为  $0^\circ\text{C}$  时, 求:
- (1)  $\text{N}_2$  分子的平均平动动能和平均转动动能;
  - (2)  $7\text{gN}_2$  气体的内能.
10. 6 一个能量为  $1.6 \times 10^{-7}\text{J}$  的宇宙射线粒子射入氖管中, 氖管中含有氖气  $0.01\text{mol}$ , 如射线粒子能量全部转变成氖气的内能, 氖气温度升高多少?

10. 7 某些恒星的温度达到  $10^6\text{K}$  的数量级, 此时原子已不存在, 只有质子存在, 求:

- (1) 质子的平均动能是多少?
- (2) 质子的方均根速率多大?

10. 8 一容器被中间隔板分成体积相等的两半, 一半装有氦气, 温度为  $250\text{K}$ ; 另一半装有氧气, 温度为  $310\text{K}$ . 两种气体的压强均为  $p_0$ . 求抽去隔板后的混合气体温度和压强为多少?

10. 11. 由 11. 10 题结果, 求速率在  $0.99v_p$  到  $1.01v_p$  之间的分子数占分子总数的百分比.

10. 12 求上升到什么高度时大气压强减到地面大气压强的 75%. 设空气温度为  $0^\circ\text{C}$ , 空气的平均摩尔质量为  $0.0289\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

10. 13 已知  $f(v)$  是麦克斯韦分子速率分布函数, 说明以下各式物理意义.

- (1)  $f(v)dv$ ;
- (2)  $n f(v)dv$ ,  $n$  为分子数密度;
- (3)  $\int_{v_1}^{v_2} v f(v)dv$ ;
- (4)  $\int_0^{v_p} f(v)dv$ ,  $v_p$  为最可几速率;
- (5)  $\int_{v_p}^{\infty} v^2 f(v)dv$ .

10. 14 质量为  $6.2 \times 10^{-14} \text{g}$  的微粒悬浮于  $27^\circ\text{C}$  的液体中，观察到它的方均根速率为  $1.4 \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ，由这些结果计算阿佛加德罗常数  $N_A$ 。

10. 15 氮分子的有效直径为  $3.8 \times 10^{-10} \text{m}$ ，求它在标准状态下的平均自由程和连续碰撞的平均时间间隔。

10. 16 在标准状态下  $\text{CO}_2$  气体分子的平均自由程  $\bar{\lambda} = 6.29 \times 10^{-8} \text{m}$ ，求两次碰撞之间的平均时间和  $\text{CO}_2$  气体分子的有效直径。

## 热力学基础

11. 1 一系统由如图所示的状态  $a$  沿  $abc$  到达  $c$ ，有  $350 \text{J}$  热量传入系统，而系统对外做功  $126 \text{J}$ 。

(1) 经  $adc$ ，系统对外做功  $42 \text{J}$ ，问系统吸热多少？

(2) 当系统由状态  $c$  沿曲线  $ac$  回到状态  $a$  时，外界对系统做功为  $84 \text{J}$ ，问系统是吸热还是放热，在这一过程中系统与外界之间的传递的热量是多少？

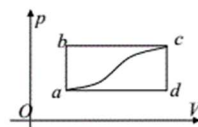


图 11.1

11. 2  $1 \text{mol}$  氧气由状态 1 变化到状态 2，所经历的过程如图，一次沿  $1 \rightarrow m \rightarrow 2$  路径，另一次沿  $1 \rightarrow 2$  直线路径。试分别求出这两个过程中系统吸收热量  $Q$ 、对外界所做的功  $A$  以及内能的变化  $E_2 - E_1$ 。

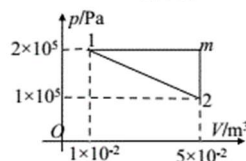


图 11.2



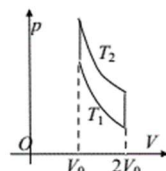
11. 3 1mol 范氏气体，通过准静态等温过程，体积由  $V_1$  膨胀至  $V_2$ ，求气体在此过程中所做的功？

11. 4 1mol 氢在压强为  $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$ ，温度为  $20^\circ\text{C}$  时的体积为  $V_0$ ，今使其经以下两种过程达同一状态：

(1) 先保持体积不变，加热使其温度升高到  $80^\circ\text{C}$ ，然后令其作等温膨胀，体积变为原体积的 2 倍；

(2) 先使其作等温膨胀至原体积的 2 倍，然后保持体积不变，升温至  $80^\circ\text{C}$ 。

试分别计算以上两过程中吸收的热量，气体所做的功和内能增量。将上述两过程画在同一  $p-V$  图上并说明所得结果。



11. 7 一气缸内贮有 10mol 的单原子理想气体，在压缩过程中，外力做功 209J，，气体温度升高  $1^\circ\text{C}$ 。试计算气体内能增量和所吸收的热量，在此过程中气体的摩尔热容是多少？

11. 8 一定量的单原子分子理想气体，从初态  $A$  出发，沿图示直线过程变到另一状态  $B$ ，又经过等容、等压过程回到状态  $A$ 。

(1)  $A \rightarrow B$ ， $B \rightarrow C$ ， $C \rightarrow A$ ，各过程中系统对外所做的功  $A$ ，内能的增量  $\Delta E$  以及所吸收的热量  $Q$ 。

(2) 整个循环过程中系统对外所做的总功以及从外界吸收的总热量（各过程吸热的代数和）。

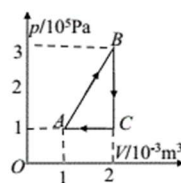


图 11.8

11. 9 1mol 单原子分子的理想气体, 经历如图所示的可逆循环, 连接  $ac$  两点的曲线 III 的方程为  $p = p_0 V^2/V_0^2$ ,  $a$  点的温度为  $T_0$ .

(1) 以  $T_0, R$  表示 I, II, III 过程中气体吸收的热量.

(2) 求此循环的效率.

[

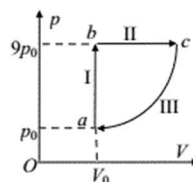


图 11.9

11. 10 1mol 理想气体在 400K 和 300K 之间完成卡诺循环. 在 400K 等温线上, 初始体积为  $1 \times 10^{-3} \text{m}^3$ , 最后体积为  $5 \times 10^{-3} \text{m}^3$ . 试计算气体在此循环中所做的功及从高温热源所吸收的热量和向低温热源放出的热量.

11. 11 一热机在 1000K 和 300K 的两热源之间工作, 如果 (1) 高温热源提高 100K, (2) 低温热源降低 100K, 从理论上说, 哪一种方案提高的热效率高一些? 为什么?

11. 12 使用一制冷机将 1mol,  $10^5 \text{Pa}$  的空气从  $20^\circ\text{C}$  等压冷却至  $18^\circ\text{C}$ , 对制冷机必须提供的最小机械功是多少? 设该机向  $40^\circ\text{C}$  的环境放热, 将空气看作主要由双原子分子组成.