高等学校理工科参考书

普通物理典型题解

王发伯　赵仲罴
黄宁庆　罗维治　等编

湖 南 科 学 技 术 出 版 社

内 容 提 要

本书精选了普通物理典型题解500余道，主要选自编者多年教学中积累的较好题目，并选解了国外最近几年出版的部分习题。全书包括：力学、分子物理和热力学、电磁学、振动和波、光学、近代物理等六篇。内容比较新颖，选题范围广泛。

本书可供高等院校理工科各专业师生教学参考，也可供电视大学、各类业余工大以及自修普通物理的读者参考。

普通物理典型题解

王发伯 赵仲罴 黄宁庆 罗维治 等编

责任编辑：刘孝纯

湖南科学技术出版社出版

（长沙市展览馆路14号） 湖南省新华书店发行

湖南省新华印刷二厂排版 湖南省新华印刷一厂印刷

1981年5月第1版 1984年2月第3次印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：18.25 字数：423,000

印数：86,801—119,200

统一书号：13204·32 定价：2.30元

前　言

物理学是理工科大学中的一门很重要的基础课程。掌握好普通物理学中的基本概念、定律、公式，并灵活地应用于实际，这对于学好其他课程都有重要的作用。为了帮助读者提高解题能力，我们编写了这本题解。在编写过程中，我们注意了：

（一）在掌握基本原理的基础上，为扩大读者的视野，除选解了一部分基本题外，还选解了部分构思比较新颖、难度较大的题目。

（二）题目解法力求严密、简练。对其中某些有典型意义或难度较大的题目，作了适当的分析，俾能有助于提高读者的解题能力。

本书是在湖南省物理学会的倡议和支持下编写而成的。编者对省物理学会负责同志陈积华、石任球、李德钜、谢泉、何维杰的帮助，表示感谢。

参加本书编写工作的同志有：湖南师范学院王楚云、朱久运、罗维治、王发伯（力学、近代物理）；湖南大学黄荔、李炳虎、蔡从政、刘华熺、刘开科、彭济刚、王秀琼、赵仲罴（部分电磁学、光学）；中南矿冶学院潘生泉、吴为平、黄宁庆（分子物理和热力学、静电学、电流、振动和波）。最后由王发伯、赵仲罴、黄宁庆、罗维治负责全书的审编工作。

本书难免有不妥或错误之处，敬希读者批评指正。

编　者

一九八〇年十一月于长沙岳麓山

目　　录

第一篇　力　　学

1-1　一质点在半径 $R=1$米的圆周上按顺时针方向运动，开始时位置在A点，如图所示。质点运动的路程与时间的关系为

$$S=\pi t^2+\pi t$$

（S的单位为米，t的单位为秒）。试求：(1)质点从A点出发，绕圆运行一周所经历的路程、位移、平均速度、平均速率各为多少？(2)质点在第1秒与1.1秒间、1秒与1.0001秒间的平均速度、平均速率各为多少？(3)质点在第1秒时的瞬时速度、瞬时速率、瞬时加速度各为多少？

解　(1) 质点绕行一周所经历的路程为

$$S=2\pi R=6.28(\text{米})$$

质点从A点出发又回到A点时，其位移为0。

为了求出平均速度、平均速率，我们先计算绕行一周所需的时间t

$$2\pi R=\pi t^2+\pi t$$

即　$$t^2+t-2=0$$

解得　$t_1=1$秒；$t_2=-2$秒（负值不合题意，舍去）。故在绕行一周质点运动的平均速率为

$$\bar{v}=\frac{2\pi R}{t_1}=\frac{2\times3.14\times1}{1}=6.28(\text{米/秒})$$

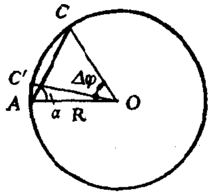
质点在一周内的平均速度为零。

(2) 在t到$t+\Delta t$时间间隔内，质点所经过的路程为

$$\Delta S = [(t+\Delta t)^2 + (t+\Delta t) - t^2 - t]\pi$$

$$= [(2t+1)\Delta t + \Delta t^2]\pi$$

故在1秒至1.1秒时间间隔内，质点所经过的路程为



1-1题图

$$\Delta S_1 = [(2\times 1+1)\times 0.1 + 0.1^2]\pi$$

$$= 0.31\pi \doteq 0.97(\text{米})$$

位移的大小为

$$\overline{AC} = 2R\sin\frac{\Delta\varphi}{2} = 2R\sin\left(\frac{\Delta S_1}{2R}\right)$$

$$= 2\times 1\sin\left(\frac{0.31\pi}{2}\right) \doteq 0.94(\text{米})$$

位移的方向沿AC，即与AO的夹角

$$\alpha = \frac{1}{2}(\pi - \Delta\varphi) \doteq 0.35\pi$$

故质点在1秒至1.1秒时间间隔内的平均速率为

$$\bar{v}_1 = \frac{\Delta S_1}{\Delta t} = \frac{0.97}{0.1} = 9.7(\text{米/秒})$$

平均速度的大小为

$$\bar{V}_1 = \frac{\overline{AC}}{\Delta t} = \frac{0.94}{0.1} = 9.4(\text{米/秒})$$

平均速度的方向沿AC方向，即与AO的夹角为0.35π。

同理，在1秒至1.0001秒时间间隔内，质点所经过的路程为

$$\Delta S_2 = [3\times 0.0001 + (0.001)^2]\pi \doteq 0.00094(\text{米})$$

从1秒至1.0001秒内，位移的大小为

$$\overline{AC'} = 2R\sin\left(\frac{\Delta S_2}{2R}\right) \doteq \Delta S_2 = 0.00094(\text{米})$$

位移的方向，$\overline{AC'}$与AO的夹角为

$$\alpha' = \frac{1}{2}\left(\pi - \frac{\Delta S_2}{R}\right) \doteq \frac{\pi}{2}$$

从1秒至1.0001秒内质点的平均速率为

$$\bar{v}_2 = \frac{\Delta S_2}{\Delta t} = \frac{0.00094}{0.0001} = 9.4(米/秒)$$

平均速度的大小为

$$\bar{V}_2 = \frac{\overline{AC'}}{\Delta t} \doteq 9.4(米/秒)$$

平均速度的方向与位移 $\overline{AC'}$ 相同，即与AO的夹角近似为90°。

（3）瞬时速度的大小为

$$V = \frac{dS}{dt} = (2t+1)\pi$$

当$t=1$秒时，$V_1 = (2\times1+1)\pi \doteq 9.4$(米/秒)，方向沿该点的切线方向。

瞬时速率为$v_1 = \frac{dS}{dt} = 9.4$米/秒

切线加速度 为$a_t = \frac{d^2S}{dt^2} = 2\pi \doteq 6.28$(米/秒^2)

法向加速度为 $a_n = \frac{V_1^2}{R} = \frac{9.4^2}{1} \doteq 88.9$(米/秒^2)

总加速度的大小为$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} \doteq 89$(米/秒^2)

加速度 $\vec{a}$ 的方向与AO的夹角为

$$\theta = \arcsin\left(\frac{at}{a}\right) \doteq 24'$$

由上计算可见，路程、平均速率、瞬时速率是标量；位移、平均速度、瞬时加速度是矢量。平均速率、平均速度的大小与所取时间间隔有很大关系，当时间间隔很小时，它们的数值是

相近的，在极限情形下，二者数值相等。

1-2　有一质点由A向B通过的路程为L，已知A点的速度$V_A=0$，加速度为a，如将L分成相等的n段，则质点每通过L/n的路程，加速度都均匀增加$1/n$，求质点到达B点时的速度。

解　虽然质点在整个运动过程中，其加速度是变化的，但在每一段上却是均匀变化的，因此可求每一段上的平均加速度$\bar{a}$。

第一段L/n的路程中的平均加速度为

$$\bar{a}_1=\frac{a+\left(a+\dfrac{a}{n}\right)}{2}=a+\frac{a}{2n}$$

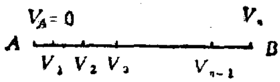
第二段L/n路程中的平均加速度为

$$\bar{a}_2=\frac{\left(a+\dfrac{a}{n}\right)+\left(a+\dfrac{2a}{n}\right)}{2}=a+\frac{3a}{2n}$$

同理，得$\bar{a}_3=a+\dfrac{5a}{2n}$

……

$$\bar{a}_n=a+\frac{(2n+1)a}{2n}$$



1-2题图

根据公式$V_t^2-V_0^2=2\bar{a}S$，得

$$V_1^2-0=2\,\bar{a}_1\times\frac{L}{n}=2\frac{aL}{n}\left(1+\frac{1}{2n}\right)$$

$$V_2^2-V_1^2=2\frac{aL}{n}\left(1+\frac{3}{2n}\right)$$

$$V_3^2-V_2^2=2\frac{aL}{n}\left(1+\frac{5}{2n}\right)$$

……

$$V_n^2 - V_{n-1}^2 = 2\frac{aL}{n}\left[1 + \frac{(2n+1)}{2n}\right]$$

将上列各式相加后，得

$$V_n^2 = 2\frac{aL}{n}\left[n + \frac{1}{2n}(1+3+5+\cdots\cdots+2n+1)\right]$$

$$= 2\frac{aL}{n}\left[n + \frac{1}{2n}\times\frac{n(1+2n-1)}{2}\right] = 3aL$$

于是，质点到达B点时的速度V_B为

$$V_B = V_n = \sqrt{3aL}$$

1-3 一物体作匀加速直线运动，已知出发后第k秒通过的距离为S_1，第 l 秒通过的距离为S_2，第m秒通过的距离为S_3，求证：

$$S_1(l-m) + S_2(m-k) + S_3(k-l) = 0$$

解 设在时刻$t=0$，$x=x_0$，$v=v_0$；令加速度为a，则t秒末物体的位置为

$$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 + x_0$$

第t秒(即从时刻第$(t-1)$到t秒时间间隔)内所通过的距离为

$$S = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 + x_0 - v_0(t-1) - \frac{1}{2}a(t-1)^2 - x_0$$

$$= v_0 + at - \frac{a}{2}$$

故 $$S_1 = v_0 + ak - \frac{a}{2} \qquad (1)$$

$$S_2 = v_0 + al - \frac{a}{2} \qquad (2)$$

$$S_3 = v_0 + am - \frac{a}{2} \qquad (3)$$

由(1)、(2)式得　$S_1 - S_2 = a(k-l)$

由(2)、(3)式得　$S_2 - S_3 = a(l-m)$

由(3)、(1)式得　$S_3 - S_1 = a(m-k)$

所以　$S_1(l-m) + S_2(m-k) + S_3(k-l)$

$$= \frac{1}{a}[S_1(S_2 - S_3) + S_2(S_3 - S_1) + S_3(S_1 - S_2)] = 0$$

1-4　一物体作直线运动，初速度为0，初始加速度为a_0，出发后每经过时间间隔τ秒，加速度均匀增加a_0，求经过t秒后，物体的速度和离出发点的距离。

解　加速度$a = a_0 + \frac{a_0}{\tau}t$

速度　$v = \int a dt = a_0 t + \frac{a_0}{2\tau}t^2 + C_1$

式中的积分常数C_1由初始条件定出，即：当 $t = 0$时，$v = 0$，

得　$C_1 = 0$

所以　$v = a_0 t + \frac{a_0}{2\tau}t^2$

物体离出发点的距离为

$$x = \int v dt = \frac{a_0}{2}t^2 + \frac{a_0}{6\tau}t^3 + C_2$$

当$t = 0$时，$x = 0$，得$C_2 = 0$

故　$x = \frac{a_0}{2}t^2 + \frac{a_0}{6\tau}t^3$

1-5　已知一质点的运动方程为：$\vec{r}=2t\vec{i}+(2-t^2)\vec{j}$（$\vec{r}$以米为单位，$t$以秒为单位），（1）画出质点的运动轨迹；（2）标出$t=1$秒和$t=2$秒时质点的矢径；（3）求出1秒末和2秒末的加速度。

解　（1）将$\vec{r}$分别投影到X轴和Y轴上，有：

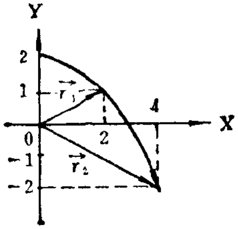
$$x=2t$$

$$y=2-t^2$$

由上两式消去t，得

$$y=2-\frac{1}{4}x^2$$

即质点的轨迹为一抛物线，如图所示。



1-5题图

（2）$t=1$秒时，$\vec{r}_1=2\vec{i}+\vec{j}$

$t=2$秒时，$\vec{r}_2=4\vec{i}-2\vec{j}$

（3）$\vec{v}=\dfrac{d\vec{r}}{dt}=2\vec{i}-2t\vec{j}$

在$t=1$秒时，$\vec{v}=2\vec{i}-2\vec{j}$

故　$|\vec{v}|=\sqrt{2^2+2^2}=\sqrt{8}$（米/秒）

由　$\operatorname{tg}\theta_1=\dfrac{v_y}{v_x}=-1$　得　$\theta=-45°$。即$\vec{v}$与X轴的夹角为$-45°$。

在　$t=2$秒时，$\vec{v}=2\vec{i}-4\vec{j}$

故　$|\vec{v}|=\sqrt{2^2+4^2}=\sqrt{20}$（米/秒）

$\theta=\operatorname{arc\,tg}\left(\dfrac{-4}{2}\right)=-63°26'$。即$\vec{v}$与X轴的夹角为$-63°26'$。

（4）$\vec{a}=\dfrac{d\vec{v}}{dt}=-2\vec{j}$　即沿Y轴负方向。

$$|\vec{a}| = 2米/秒^2$$

1-6 如图所示，跨过滑轮C的绳子，一端挂有重物 B，另一端A 被人拉着沿水平方向匀速运动，其速度为$v_0 = 1$米/秒；A 点离地面的距离保持着$h = 1.5$米。运动开始时，重物在地面上的B_0处，绳AC在铅直位置，滑轮离地面的高度 $H = 10$米，其半径忽略不计。求：(1) 重物B上升的运动方程；(2)在t时刻的速度和加速度以及到达滑轮处所需的时间。

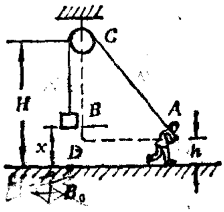
解 (1) 由题意知，$t = 0$时，$\overline{AC} = H - h$，设物体在某一时刻t，离地面的高度为x，则在t时刻$\overline{AC} = H - h + x$。

由图中三角形ADC可得

$$(H-h)^2 + (v_0 t)^2 = (H-h+x)^2$$

所以 $$x = \sqrt{(v_0 t)^2 + (H-h)^2} - (H-h)$$

即 $$x = \sqrt{t^2 + 8.5^2} - 8.5$$



1-6题图

(2) $$v = \frac{dx}{dt} = \frac{t}{\sqrt{t^2 + 8.5^2}}$$ 与V_0=1相

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{1}{\sqrt{t^2 + 8.5^2}} - \frac{t^2}{\sqrt{(t^2 + 8.5^2)^3}}$$

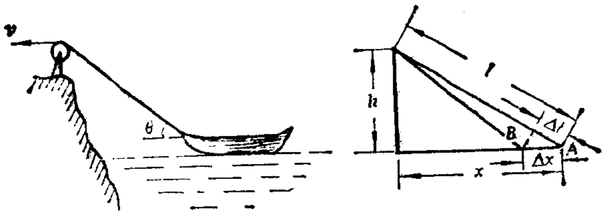
物体B从地面到达滑轮处所需时间，由

$$10 = \sqrt{t^2 + 8.5^2} - 8.5$$

得 $$t = \sqrt{270} \doteq 16.4(秒)$$ 这时间对吗？

1-7 湖中有一小船，岸边有人用绳子跨过一高处的滑轮拉船靠岸，如图(a) 所示。当绳子以速度v通过滑轮时，问：(1) 船的运动速度u比v大还是小？(2)如果保持绳的速度v的大小不变，船是否作匀速运动？

解 如图(b)所示，在滑轮和船头之间，绳的长度由l缩短



(a)　　　　　　　　(b)

1-7题图

到$(l—\Delta l)$的过程中，船头由A点移动到B点，移动的距离Δx。因$\Delta x>\Delta l$，故船的运动速度u比绳通过滑轮的速度v为大。由图可知

$$l^2=x^2+h^2$$

将此等式两边对t求导数，得

$$2l\frac{dl}{dt}=2x\frac{dx}{dt}$$

故　　$$|u|=\frac{l}{x}v=\frac{\sqrt{x^2+h^2}}{x}v>v$$

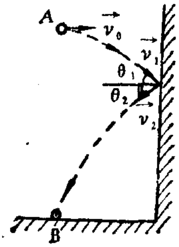
(2) 由上式可知，船的运动速度u与位置x有关。即使v为常数，船位于不同的位置，它的速度还是不同的，故船作变速运动。其加速度为

$$a=\frac{du}{dt}=\frac{d}{dt}\left(\frac{\sqrt{x^2+h^2}}{x}v\right)=-\frac{v^2h^2}{x^3}$$

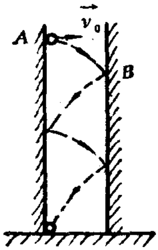
1-8 (1) 如图(a)所示，从距地面高19.6米处的A点，以初速度为5.0米/秒沿水平方向投出一小球。在距A点5.0米处有一光滑的墙，小球与墙发生弹性碰撞（即入射角θ_1＝反射角θ_2，$v_1=v_2$），弹回后掉到地面的B点处。求B点离墙的水平距离为

多少？(2)如图(b)所示，设有两面垂直于地面的光滑墙A与B，此两墙水平距离为1.0米，从距地面高19.6米处的一点A，以初速度为5.0米/秒沿水平方向投出一小球，设球与墙的碰撞为弹性碰撞。求：小球落地点距墙A的水平距离？球落地前与墙壁碰撞了几次？(忽略空气阻力)

解 因球在水平方向作匀速直线运动，在竖直方向为自由落体运动，因此小球从点A至第一次碰撞所需时间为



(a)



(b)

1-8题图

$$t_1=\frac{l}{v_0}=\frac{5}{5}=1(\text{秒})$$

故 $$v_{1y}=gt_1=9.8(\text{米/秒})$$

$$y_1=\frac{1}{2}gt_1^2=4.9(\text{米})$$

设从碰撞至落地的时间为t_2，则有

$$19.6-4.9=v_{1y}t_2+\frac{1}{2}gt_2^2$$

即 $$14.7=9.8t_2+4.9t_2^2$$

解方程得 $t_2=1$或-3(负值舍去)，故落地时，小球离墙的距离为

$$S = v_0 \cdot t_2 = 5(\text{米})$$

(2) 因为每次碰撞只改变水平方向的速度方向，对竖直方向的运动无影响，因而可将竖直方向的运动视为一自由落体运动。由此小球在空中停留的时间为一自由落体落地的时间，设为t，则有

$$19.6 = \frac{1}{2}gt^2$$

得 $t = 2(\text{秒})$ （负值舍去）

小球每碰撞一次的时间为$t' = \frac{l}{v_0} = \frac{1}{5} = 0.2(\text{秒})$，故小球落地前与墙碰撞的总次数为

$$n = \frac{2}{0.2} = 10(\text{次})$$

沿水平方向所通过的总路程为

$$S = 10l = 10(\text{米})$$

小球正好落在A墙的墙脚处。

1-9 一物体作直线运动，其加速度与时间的关系如图(a)所示，设$t = 0$时，$x = 0$，$v_0 = 0$，试求：(1)速度与时间的关系图；(2)位移与时间的关系图。

解 (1) 从图(a) 可求出物体各个时刻的加速度与时间关系的方程式为

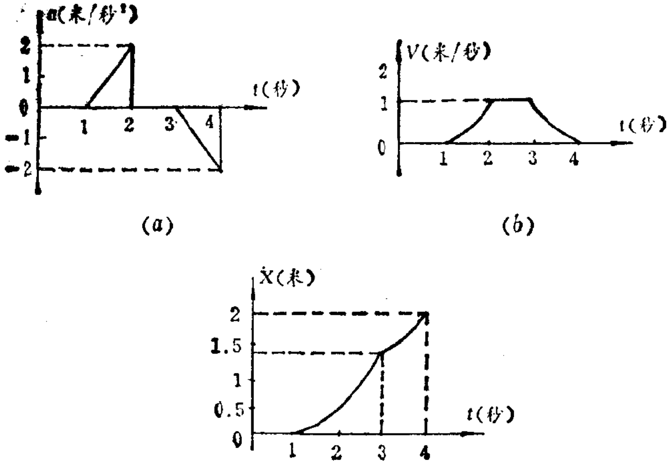
0→1秒， $a = 0$

1→2秒， $a = 2t - 2$

2→3秒， $a = 0$

3→4秒 $a = -2t + 6$

由 $v = \int a\,dt$，可求出物体各个时刻的速度



(a) (b)

(c)

1-9题图

$0\to1$秒　$v_1=0$

$1\to2$秒　$v_2=\int(2t-2)dt=t^2-2t+C_1$

当$t=1$秒时，$v=0$，代入上式，得$C_1=1$，

所以·　$v_2=t^2-2t+1$

$2\to3$秒，$v_3=2^2-2\times2+1=1$(米/秒)

$3\to4$秒　$v_4=\int(-2t+6)dt+C_2=-t^2+6t+C_2$

当$t=3$秒时，$v_4=1$米/秒，代入上式，便定出$C_2=-8$，故$v_4=-t^2+6t-8$；$t=4$秒时，$v_4=0$。相应的速度与时间关系，如图(b)所示。

(2) 由$x=\int vdt+C$，可得各时刻的位移为

$0\to1$秒，$x_1=0$

1→2秒　$x_2=\frac{t^3}{3}-t^2+t-\frac{1}{3}$，$t=2$秒时，$x_2=\frac{1}{3}$米

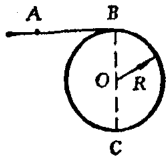
2→3秒　$x_3=t-\frac{5}{3}$，$t=3$秒时，$x_3=\frac{4}{3}$米

3→4秒　$x_4=\frac{-t^3}{3}+3t^2-8t+\frac{22}{3}$，$t=4$秒时，$x_4=2$米

位移与时间的关系，如图(c)所示。

1-10　如图所示，一卷扬机自静止状态开始作匀角加速转动，绞索上一点开始在A处，经3秒后到达鼓轮边缘的B处，以后开始作圆周运动，已知AB＝0.45米，鼓轮半径$R=0.5$米。求该质点经过与B点相对应的C点的速度和加速度的大小和方向。

解　A点运动的加速度，即为卷扬机鼓轮边缘的切向加速度a_t。由$0.45=\frac{1}{2}a_t\cdot3^2$得　$a_t=0.1$米/秒^2



1-10题图

又　　$v_c^2=2a_tS=2a_t(0.45+\pi R)$

$=2\times0.1(0.45+3.14\times0.5)$

$=0.404$(米/秒)^2

所以　　$v_c=0.63$米/秒，方向沿C点的切线方向向左。

而法向加速度$a_n=\frac{v_c^2}{R}=\frac{0.63^2}{0.5}\doteq0.8$(米/秒^2)，因而加速度

$$a=\sqrt{a_t^2+a_n^2}=\sqrt{0.1^2+0.8^2}\doteq0.8\ (\text{米/秒}^2)$$，其方向与切线的夹角θ为

$$\theta=\text{arctg}\frac{0.8}{0.1}=82^\circ53'$$。