周遥生　黄以主　沈才康　主编

《物理学》习题解

教师、自学者参考书

东南大学出版社

《物理学》习题解

东南大学出版社

19

(苏)新登字第012号

内容提要

本书是根据东南大学(原南京工学院)等七所工科院校编，马文蔚、柯景风改编的《物理学》(1992年第三版)一书，为配合教学而编写的习题解答。可供教师在教学中参考和自学者辅导学习之用。

《物理学》习题解

周遥生　黄以主　沈才康　编

*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号　邮编210018)

江苏省新华书店经销　　南京京新印刷厂印刷

*

开本850×1168　毫米1/32　印张13.25　字数344　千

1993年8月第1版　1993年8月第1次印刷

印数:1—7000册

ISBN　7—81023—777—2/O・69

定价:8.00元

(凡因印装质量问题，可直接向承印厂调换)

前　言

本书是根据《物理学》[东南大学(原南京工学院)等七所工科院校编,马文蔚、柯景凤改编]1992 年第三版一书的习题而作的题解。由于新版的习题较原版有所变动,为了配合教学,给有关教师提供教学参考,更是为了自学者便于学习,我们编写了这本题解。在解题中,力求概念正确,思路清晰,方法简练;对其中部分习题,还采用不同解法,以作比较,开阔思路。

本书由周遥生、黄以主、沈才康编写,最后由周遥生负责统稿。

东南大学马文蔚教授认真仔细地审阅了全书,提出许多有益的建议,为此,我们表示衷心的感谢。

由于时间仓促,书中不妥或疏漏之处,恳请读者批评指正。

编　者

1992 年 12 月

目　录

第一章　质点运动学……………………………………………（1）
第二章　牛顿运动定律 ……………………………………（23）
第三章　功与能 ……………………………………………（44）
第四章　动量 ………………………………………………（61）
第五章　刚体的转动 ………………………………………（84）
第六章　万有引力…………………………………………（117）
第七章　气体动理论………………………………………（130）
第八章　热力学基础………………………………………（144）
第九章　静电场……………………………………………（165）
第十章　静电场中的导体和电介质………………………（197）
第十一章　稳恒电流………………………………………（225）
第十二章　磁场……………………………………………（241）
第十三章　磁介质…………………………………………（273）
第十四章　电磁感应　电磁场……………………………（277）
第十五章　机械振动………………………………………（299）
第十六章　机械波…………………………………………（333）
第十七章　电磁振荡和电磁波……………………………（353）
第十八章　波动光学………………………………………（363）
第十九章　狭义相对论……………………………………（386）
第二十章　量子物理………………………………………（400）

第一章　质点运动学

1—1　一质点沿 x 轴作直线运动，其速度与时间关系如图 1—1(a)所示。设 $t=0$ 时，$x=0$。试根据已知的 $v-t$ 图，画出 $a-t$ 图以及 $x-t$ 图。

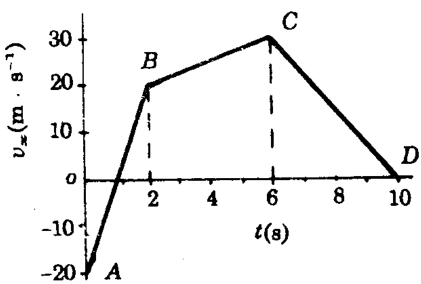


图 1—1(a)

［解］　根据加速度的定义 $\boldsymbol{a}=\mathrm{d}\boldsymbol{v}/\mathrm{d}t$ 可知，在直线运动中 $v-t$ 曲线的斜率为加速度 a 的大小。因此，由图 1—1(a)可得在各时间间隔质点的加速度值为：

$$a_{0-2}=\frac{20-(-20)}{2-0}=20\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

$$a_{2-6}=\frac{30-20}{6-2}=2.5\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

$$a_{6-10}=\frac{0-30}{10-6}=-7.5\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

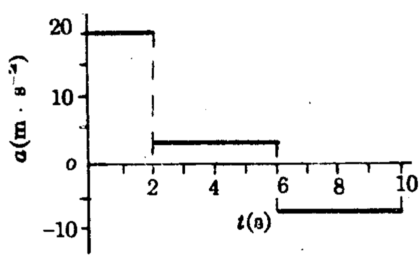


图 1—1(b)

根据上述结果，可作出如图 1—1(b)所示的质点运动的 $a-t$ 图。可见，质点的运动是由三段匀变速直线运动过程组成的。而匀变速直线运动的位移公式为

$$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

由此可计算在不同时间间隔内的位移大小。在 0→2 秒内，由于 $a_{0-2}=20\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$， $x_0=0$， $v_0=-20\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$。得

$$x_{0-2}=-20t+10t^2 \tag{1}$$

在 2→6 秒内，由于 $a_{2-6}=2.5\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$， $x_2=0$， $v_2=20\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$。得

$$\begin{aligned} x_{2-6}&=x_2+v_2(t-2)+\frac{1}{2}a_{2-6}(t-2)^2 \\ &=20(t-2)+1.25(t-2)^2 \end{aligned} \tag{2}$$

在 6→10 秒内，由于 $a_{6-10}=-7.5\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$，$v_6=30\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$，$x_6=100\ \mathrm{m}$。得

$$\begin{aligned} x_{6-10}&=x_6+v_6(t-6)+\frac{1}{2}a_{6-10}(t-6)^2 \\ &=100+30(t-6)-\frac{7.5}{2}(t-6)^2 \end{aligned} \tag{3}$$

根据式(1)、式(2)、式(3)的结果，并取数据点可列表如下：

t(s)	0	1	2	4	6	8	10
x(m)	0	−10	0	45	100	145	160

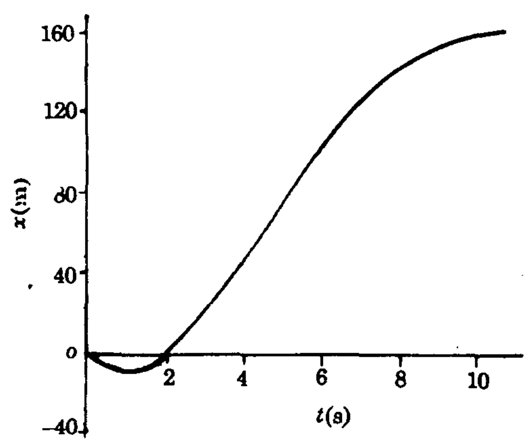


图 1−1(c)

另由式(1)、式(2)、式(3)及表中数据可作出如图 1—1(c)所示的 $x-t$ 图。

1—2 一质点作直线运动，它的运动方程是 $x=bt-ct^2$。方程中 b、c 是常数。求：(1)此质点的速度和加速度与时间的函数关系；(2)作出 $x-t$ 图、$v-t$ 图和 $a-t$ 图。

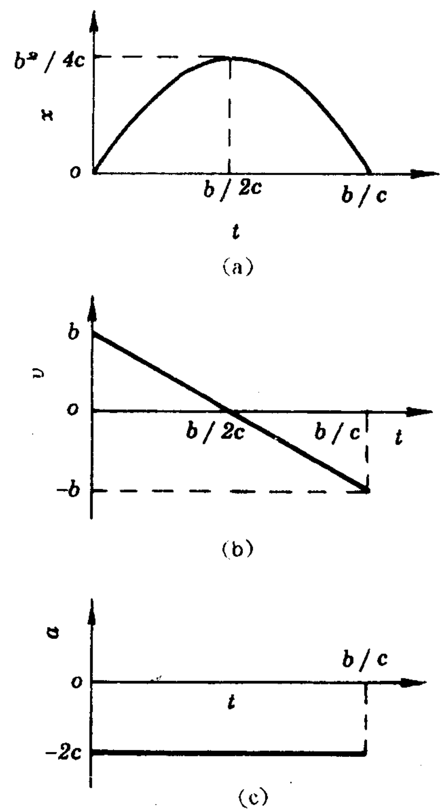


图 1—2

［**解**］ (1)由运动方程 $x=bt-ct^2$，可得速度和加速度分别为

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=b-2ct$$

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-2c$$

(2)由(1)中的函数关系可分别作出如图 1—2(a)、(b)、(c)所示的图线。

1—3 一人的左、右手掌相距 0.5m，它们以 $4\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ 和 $-4\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ 的速度相向运动。设原有一昆虫在左手掌上，以 $10\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$ 的速度飞向右手掌。当它碰到右手掌后，立刻又以相同的速率飞回左手掌。于是昆虫连续地飞行在两手掌之间。试求在两手掌碰到一起之前，昆虫飞行的总路程。

［**解**］ 设昆虫的速率为 v；两手的速率为 u；昆虫从一手掌飞

向另一手掌，第 i 次时飞行的路程为 s_i；对应这一次，昆虫刚飞出时，两手掌的距离为 d_{i-1}，所用时间 $t_i=d_{i-1}/(v+u)$。则昆虫飞行的总路程为

$$\begin{aligned} s &= \sum s_i = s_1 + s_2 + \cdots + s_i + \cdots \\ &= (t_1 + t_2 + \cdots + t_i + \cdots)v \\ &= \left(\frac{d_0}{v+u} + \frac{d_1}{v+u} + \cdots + \frac{d_{i-1}}{v+u} + \cdots\right)v \end{aligned}$$

式中 $d_0=0.5\ \mathrm{m}$。而

$$d_1=d_0-2ut_1=d_0-2u\,\frac{d_0}{v+u}=\frac{d_0(v-u)}{v+u}$$

$$d_2=d_1-2ut_2=\frac{d_1(v-u)}{v+u}=d_0\left[\frac{v-u}{v+u}\right]^2$$

$$\vdots$$

$$d_i=d_0\left(\frac{v-u}{v+u}\right)^i$$

$$\vdots$$

令 $x=(v-u)/(v+u)$，则得

$$s=[1+x+x^2+\cdots+x^i+\cdots+x^n]\frac{d_0v}{v+u}$$

由题意 $v>u$，则 $0<x<1$。当 $n\to\infty$ 时，$x^n\to 0$。即当 n 较大时，上述结果为

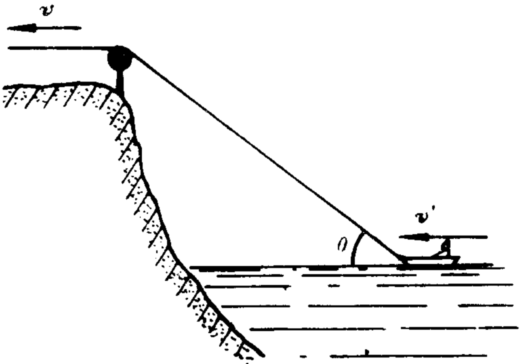
$$s\approx\frac{1}{(1-x)}\frac{d_0v}{v+u}=\frac{d_0v}{2u}=\frac{0.5\times 10}{2\times 4}=0.625\ \mathrm{m}$$

1—4 如图 1－4(a)所示，湖中有一小船。岸上有人用绳跨过定滑轮拉船靠岸。设滑轮距水面高度为 h，滑轮到原船位置的绳长为 l。当人以匀速 v 拉绳，船运动的速度 v' 为多少？

［解 1］ 取如图 1—4(b)所示的 ox 轴，由题知任一时刻滑轮到船的绳长为

$$l=l_0-vt$$

则船到岸的距离为



(a)

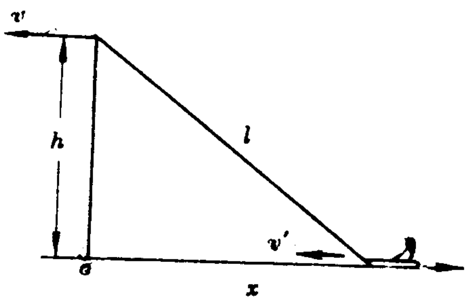
$$x=\sqrt{l^2-h^2}$$

$$=\sqrt{(l_0-vt)^2-h^2}$$

因此船的运动速度为

$$v'=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$$

$$=-\frac{v}{\sqrt{1-\left(\frac{h}{l_0-vt}\right)^2}}$$



(b)

［解 2］ 取如图 1—4(c)所示的坐标系。某时刻船的位置矢量为

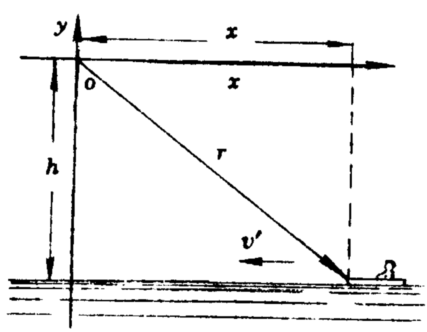
$$\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+(-h)\boldsymbol{j}$$

则船的运动速度为

$$\boldsymbol{v}'=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$$

$$=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}(-h)}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}$$

$$=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}$$



(c)

图 1—4

$$=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\sqrt{r^2-h^2}\,i=\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{h}{r}\right)^2}}\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}i$$

而绳速 $v=-\mathrm{d}r/\mathrm{d}t$，且因 $r=l_0-vt$，故

$$v'=\frac{-v}{\sqrt{1-\left(\frac{h}{l_0-vt}\right)^2}}i$$

1—5　如图 1—5(a)所示，路灯距地面高为 H，行人身高为 h。若人以匀速 v 背离路灯行走，人头顶影子的移动速度 v' 为多少？

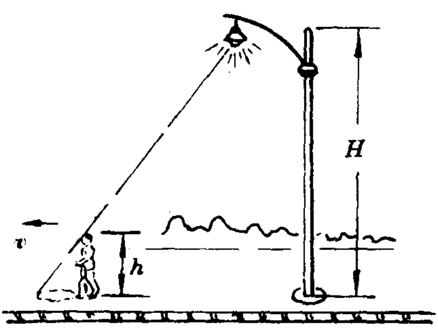


图 1—5(a)

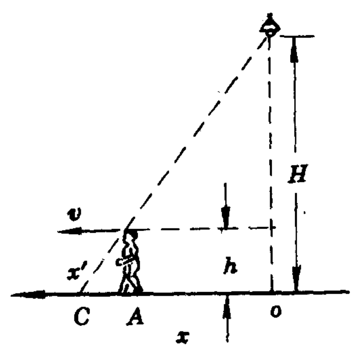


图 1—5(b)

［解］　如图 1—5(b)所示，取沿地面方向的轴为 ox 轴。人从路灯正下方点 o 开始运动，经时间 t 后其位置为

$$x=\overline{oA}=vt$$

而人头顶影子的位置为 x'。由相似三角形关系，有

$$\frac{\overline{oc}}{\overline{oA}}=\frac{x'}{vt}=\frac{H}{H-h}$$

$$x'=\frac{Hvt}{H-h}$$

故头顶影子的移动速度为

$$v' = \frac{\mathrm{d}x'}{\mathrm{d}t} = \frac{Hv}{H-h}$$

1—6 一身高为 h 的人,用绳子拉一雪橇奔跑,雪橇放在高出地面 H 的光滑平台上。如图 1—6(a)所示。若人奔跑的速率是 v_0,求雪橇的速度和加速度。

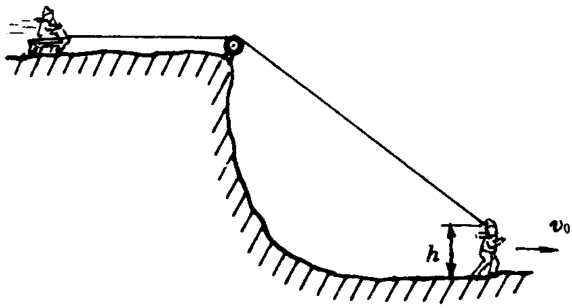
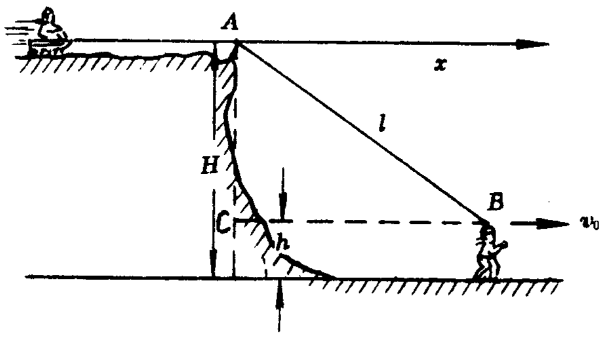


图 1—6(a)



1—6(b)

[解] 作如图 1－6(b)所示的示意图,取雪橇的运动方向为 ox 轴正方向。当人从平台上点 A 的正下方点 C 开始奔跑,经时间 t 后,绳长 $\overline{AB}$ 为

$$l = \overline{AB} = \sqrt{\overline{AC}^2 + \overline{CB}^2} = \sqrt{(H-h)^2 + (v_0 t)^2}$$

雪橇在 x 轴上的位移为

$$x=l-(H-h)=\sqrt{(H-h)^2+(v_0t)^2}-(H-h)$$

雪橇运动的速度值为

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=\frac{v_0{}^2t}{\sqrt{(H-h)^2+(v_0t)^2}}$$

雪橇运动的加速度大小为

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{(H-h)^2v_0{}^2}{[(H-h)^2+(v_0t)^2]^{3/2}}$$

1—7 一升降机以加速度 1.22 m・s^{-2}上升，当上升速度为 2.44 m・s^{-1}时，有一螺丝自升降机的天花板上松脱，天花板与升降机的地面相距 2.74m。计算：(1)螺丝从天花板落到地面所需的时间；(2)螺丝相对升降机外固定柱子的下降距离。

［**解** 1］ (1) 以升降机外固定柱子为参考系。取如图 1—7 所示的坐标系。点 o 为螺丝松脱时柱子上与升降机底部相对应的一点。升降机运动方向沿 y 轴正向。经时间 t 后，螺丝和升降机底部的位置坐标分别为

$$y_1=h+v_0t-\frac{1}{2}gt^2$$

$$y_2=v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

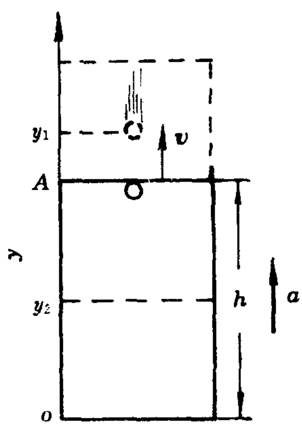


图 1—7

当螺丝从天花板落到底面时，有 $y_1=y_2$，即

$$h+v_0t-\frac{1}{2}gt^2=v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

由此可得螺丝掉到升降机底面所需时间为

$$t=\sqrt{\frac{2h}{g+a}}=\sqrt{\frac{2\times 2.74}{1.22+9.8}}=0.7052\ \mathrm{s}$$

(2) 螺丝相对于升降机外固定柱子的下降距离

$$d=h-y_1=-v_0t+\frac{1}{2}gt^2$$

$$=-2.44\times 0.7052+\frac{1}{2}\times 9.8\times 0.7052^2$$

$$=0.716\ \mathrm{m}$$

[解 2]　(1) 以升降机为参考系，螺丝下落时初速为零，加速度为$(g+a)$，方向向下。从天花板上落到底面，有

$$h=\frac{1}{2}(g+a)t^2$$

由此可得螺丝掉到底面所需时间为

$$t=\sqrt{\frac{2h}{g+a}}=\sqrt{\frac{2\times 2.74}{9.8+1.22}}=0.7052\ \mathrm{s}$$

(2) 在螺丝下落过程中，升降机相对固定柱子上升高度 h' 为

$$h'=v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

因此，螺丝相对固定柱子的下降距离为

$$d=h-h'=2.74-2.44\times 0.7052-\frac{1}{2}\times 1.22\times 0.7052^2$$

$$=0.716\mathrm{m}$$

1—8　一质点具有恒定加速度 $\boldsymbol{a}=(6\boldsymbol{i}+4\boldsymbol{j})(\mathrm{m\cdot s^{-2}})$，在 $t=0$ 时，其速度为零，位置矢量 $\boldsymbol{r}_0=10\boldsymbol{i}(\mathrm{m})$。求：(1)在任意时刻的速度和位置矢量；(2)质点在 xoy 平面上的轨迹方程，并画出轨迹的示意图。

[**解**]　(1) 由加速度定义 $\boldsymbol{a}=\mathrm{d}\boldsymbol{v}/\mathrm{d}t$，根据初始条件 $t_0=0, v_0=0$ 可得

$$\int_0^v \mathrm{d}\boldsymbol{v}=\int_0^t \boldsymbol{a}\mathrm{d}t=\int_0^t(6\boldsymbol{i}+4\boldsymbol{j})\mathrm{d}t$$

$$\boldsymbol{v} = (6t\boldsymbol{i} + 4t\boldsymbol{j})\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

又由 $\boldsymbol{v}=\mathrm{d}\boldsymbol{r}/\mathrm{d}t$ 及初始条件 $t=0$ 时，$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_0=10\boldsymbol{i}$，可得

$$\int_{r_0}^{r} \mathrm{d}\boldsymbol{r} = \int_0^t \boldsymbol{v}\,\mathrm{d}t = \int_0^t (6t\boldsymbol{i} + 4t\boldsymbol{j})\mathrm{d}t$$

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_0 + 3t^2\boldsymbol{i} + 2t^2\boldsymbol{j} = [(10 + 3t^2)\boldsymbol{i} + 2t^2\boldsymbol{j}]\ \mathrm{m}$$

（2）由上述结果可得质点运动方程的分量式 $x=x(t)$ 和 $y=y(t)$，即

$$x=10+3t^2;$$

$$y=2t^2$$

消去参数 t，得质点运动的轨迹方程为

$$3y=2x-20$$

这是一个直线方程。由 $\boldsymbol{r}_0=10\boldsymbol{i}$ m 知 $x_0=10$ m，$y_0=0$；而直线斜率 $k=\mathrm{d}y/\mathrm{d}x=\mathrm{tg}\alpha=2/3$，则 $\alpha=33°41'$. 轨迹方程如图 1—8 所示。

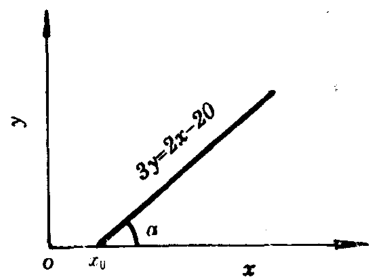


图 1—8

1—9 质点的运动方程为 $x=-10t+30t^2$ 和 $y=15t-20t^2$，式中 x、y 的单位是 m，t 的单位是 s。试求：(1)初速度的大小和方向；(2)加速度的大小和方向。

［解］ (1) 速度的分量式为

$$v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=-10+60t$$

$$v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=15-40t$$

当 $t=0$ 时，$v_{0x}=-10\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$，$v_{0y}=15\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$，则初速度大小为

$$v_0=\sqrt{{v_{0x}}^2+{v_{0y}}^2}=\sqrt{100+225}=18.0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

而 v_0 与 x 轴夹角为

$$\alpha=\text{arctg}\,\frac{v_{0y}}{v_{0x}}=\text{arctg}\,\frac{15}{-10}=123°41'$$

（2）加速度的分量式为

$$a_x=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}=60\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

$$a_y=\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=-40\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

则其加速度的大小为

$$a=\sqrt{a_x{}^2+a_y{}^2}=\sqrt{60^2+(-40)^2}=72.1\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

$\boldsymbol{a}$ 与 x 轴的夹角为

$$\beta=\text{arctg}\,\frac{a_y}{a_x}=\text{arctg}\,\frac{-40}{60}=-33°41'\ (\text{或}\ 326°19')$$

1—10 一质点由静止出发，它的加速度在 x 轴和 y 轴上的分量为 $a_x=10t$ 和 $a_y=5t^2$（a 的单位为 $\mathrm{m\cdot s^{-2}}$）。试求 5s 时质点的速度和位置。

［**解**］ 取质点的出发点为坐标原点。质点的加速度为

$$\boldsymbol{a}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}=10t\boldsymbol{i}+5t^2\boldsymbol{j} \tag{1}$$

依据 $\boldsymbol{a}=\mathrm{d}\boldsymbol{v}/\mathrm{d}t$ 及初始条件 $t=0$ 时 $v_0=0$，对式(1)进行分离变量并积分，有

$$\int_0^v \mathrm{d}\boldsymbol{v}=\int_0^t(10t\boldsymbol{i}+5t^2\boldsymbol{j})\mathrm{d}t$$

$$\boldsymbol{v}=5t^2\boldsymbol{i}+\frac{5}{3}t^3\boldsymbol{j} \tag{2}$$

当 $t=5\mathrm{s}$ 时，有

$$\boldsymbol{v}=(125\boldsymbol{i}+\frac{1}{3}\times 625\boldsymbol{j})\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

又由 $\boldsymbol{v}=\mathrm{d}\boldsymbol{r}/\mathrm{d}t$ 及初始条件 $t_0=0$ 时，$\boldsymbol{r}_0=0$。对式(2)进行分离变量并积分，有

$$\int_0^r \mathrm{d}\boldsymbol{r}=\int_0^t(5t^2\boldsymbol{i}+\frac{5t^3}{3}\boldsymbol{j})\mathrm{d}t$$

得

$$r=\frac{5t^3}{3}i+\frac{5t^4}{12}j$$

当 $t=5$s 时，有

$$r=\left(\frac{625}{3}i+\frac{3125}{12}j\right)\ \mathrm{m}$$

1—11 一球以 30m·s^{-1}的速率水平抛射，试求 5s 后加速度的切向分量和法向分量。

［**解**］ 如图 1—11 所示，取水平方向为 x 轴，竖直向上为 y 轴。根据平抛运动质点运动规律，有

$$v_x=v_0;$$

$$v_y=-gt$$

v 与 x 轴夹角为

$$\alpha=\mathrm{arctg}\left|\frac{v_y}{v_x}\right|=\mathrm{arctg}\frac{gt}{v_0}$$

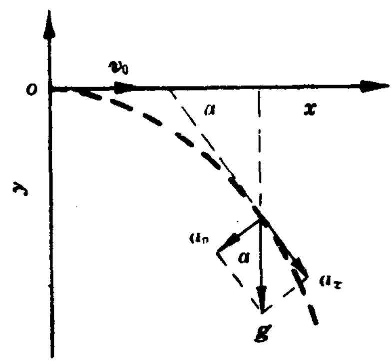


图 1—11

质点平抛出后，在空中仅受重力作用，则其加速度为 g，如果按图 1—11 所示分解到切向和法向的分量则为

$$a_\tau=g\sin\alpha=g\sin(\mathrm{arctg}\frac{gt}{v_0})$$

$$=9.8\sin(\mathrm{arctg}\frac{9.8\times5}{30})=8.36\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

$$a_n=g\cos\alpha=g\cos(\mathrm{arctg}\frac{gt}{v_0})$$

$$=9.8\cos(\mathrm{arctg}\frac{9.8\times5}{30})=5.12\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

1—12 一质点以 25m·s^{-1}的速度沿与水平轴成 30°角的方