PHYSICS

物理学同步辅导

（适用少学时专业）

主编　徐　力

天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

物理学同步辅导

（适用少学时专业）

主编　徐力

天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

物理学同步辅导 / 徐力主编. —天津 : 天津大学出版社,2009. 11

适用少学时专业
ISBN 978-7-5618-3262-2

Ⅰ. ①物… Ⅱ. ①徐… Ⅲ. ①物理学 - 高等学校 - 教学参考资料 Ⅳ. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 192152 号

出版发行	天津大学出版社
出 版 人	杨欢
地　　址	天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电　　话	发行部:022-27403647　邮购部:022-27402742
网　　址	www. tjup. com
印　　刷	昌黎太阳红彩色印刷有限责任公司
经　　销	全国各地新华书店
开　　本	169mm × 239mm
印　　张	17
字　　数	363 千
版　　次	2009 年 11 月第 1 版
印　　次	2009 年 11 月第 1 次
印　　数	1 - 3 000
定　　价	28. 00 元

前　　言

本书是与刘永胜教授主编的《物理学》(第2版)配套的学习指导书。在本书编写过程中,依托于教材的基本内容,充分体现了其中的基本要求。读者通过本辅导书的学习,可对教材中的内容有更深刻的理解和认识,从而学好物理学。

物理学作为一门基础理论科学,其重要性随着科学技术的发展而日益明显。许多边缘学科都是以物理规律为基础而发展起来的,所以理工科学生只有打好物理学基础,才有可能在专业课学习及科研新领域开拓中获得较大的成就。为了使广大学生学好物理学,本书根据学生在学习物理时所存在的问题和需求,每章都有基本概念和规律、基本要求、典型例题、同步练习习题解答、自测题等内容,力求让学生了解每一章的要求,掌握解题的思路,做好课后练习,并根据各章的知识点进行自我检测。相信本书会对广大读者有所启迪与帮助。

本书由王丽艳(第1章、第2章、第3章)、韩丽萍(第4章、第5章)、段秀丽(第6章、第7章)、杨帅(第8章、第9章)、许照锦(第10章、第11章)、李洪国(第12章、第13章、第14章)、徐力(第15章、第16章)编写。全书由徐力进行统稿和修改。刘永胜教授指导了本书的编写工作并审阅了全书。

由于编者水平所限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编　者

2009年3月

目　录

第 1 章 质点运动学

一、基本概念和规律

1. 基本概念

(1) 参考系

描述物体机械运动时被选作参考的其他物体,称为参考系。

由于自然界中物体的运动是绝对的,物体运动的描述是相对的,所以在研究物体的运动时必须引入参考系。为定量描述物体运动,需在参考系上建立坐标系。常用的坐标系有直角坐标系、极坐标系和自然坐标系等。

(2) 描述质点运动的物理量

本章以物体的理想模型——质点为研究对象,描述其机械运动。机械运动指物体位置的变化,所以要描述质点的运动,首先需要确定质点的位置;质点在运动过程中,位置不断改变;不同的质点,位置变化快慢和方向不同,即运动快慢和方向不同;运动快慢和方向也可能在运动过程中发生改变。这些分别用物理量位置矢量、位移、速度、加速度描述。

1) 位置矢量

位置矢量用来描述质点在空间的位置,是从坐标原点指向质点所在位置的矢量,物理符号为 $\boldsymbol{r}$,简称位矢。

在直角坐标系中

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}$$

其大小为

$$r = |\boldsymbol{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

方向用方向余弦表示:与 x 轴夹角余弦 $\cos\alpha = \frac{x}{r}$;与 y 轴夹角余弦 $\cos\beta = \frac{y}{r}$;与 z 轴夹角余弦 $\cos\gamma = \frac{z}{r}$。

位矢既有大小又有方向,具有矢量性。

质点运动时,位置随时间改变,位矢随之发生变化,因此,位矢具有瞬时性。

选择不同的参考系,虽然质点在空间的位置不变,但是描述质点位置的位矢的大小和方向却发生了变化。因此,位矢又具有相对性。

2) 位移

位移是描述质点一段时间内位置改变大小和方向的物理量,是从起点位置指向

终点位置的有向线段，即质点位矢的增量

$$\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t+\Delta t) - \boldsymbol{r}(t)$$

在直角坐标系中，

$$\begin{aligned}\Delta \boldsymbol{r} &= [x(t+\Delta t) - x(t)]\boldsymbol{i} + [y(t+\Delta t) - y(t)]\boldsymbol{j} \\ &= \Delta x\boldsymbol{i} + \Delta y\boldsymbol{j}\end{aligned}$$

其大小为

$$|\Delta \boldsymbol{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

方向：由初位置指向末位置。

位移是矢量，既有大小又有方向。

位移不具有相对性。

注意区别：

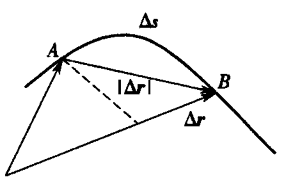

图 1-1

①位移与路程如图 1-1 所示，位移是矢量。路程指质点运动所经历的轨迹的长度，是标量。在一段时间内，位移大小不等于路程，即

$$|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta s$$

但在极限情况 $\Delta t \to 0$ 时，即 $\mathrm{d}t$ 时间内，某一时刻质点所在位置处切线、弦和弧三线合一，则位移和路程相等，即

$$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}| = \mathrm{d}s$$

②位矢增量的大小和位矢大小的增量如图 1-1 所示，位矢增量的大小即位移大小 $|\Delta \boldsymbol{r}|$，沿弦线方向位矢大小的增量为 Δr，沿径向则

$$|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta r, |\mathrm{d}\boldsymbol{r}| \neq \mathrm{d}r$$

3）速度和速率

Ⅰ. 速度

描述质点位置变化的快慢与方向的物理量称为速度，速度是矢量，具有瞬时性和相对性。

①平均速度：描述质点在一段时间内位置变化的平均快慢和方向，表示为

$$\overline{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$$

其大小为

$$|\overline{\boldsymbol{v}}| = \left|\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}\right|$$

方向：与位移方向相同。

②瞬时速度：描述质点某一时刻位置变化的快慢和方向，表示为

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$$

在直角坐标系中（以二维平面运动为例）：

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}$$

其大小为

$$v=|\boldsymbol{v}|=\sqrt{{v_x}^2+{v_y}^2}$$

方向:与 x 轴夹角 $\alpha=\arctan\frac{v_y}{v_x}$。

Ⅱ.速率

速率是描述质点位置变化快慢的物理量,是标量。

平均速率

$$\bar{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}$$

瞬时速率

$$v=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$$

注意区别:平均速度大小和平均速率大小。

$$|\bar{\boldsymbol{v}}|=\left|\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}\right|\neq\left|\frac{\Delta s}{\Delta t}\right|=\bar{v}$$

即平均速度的大小不等于平均速率。

$$|\boldsymbol{v}|=\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=v$$

即瞬时速度的大小等于瞬时速率。

4)加速度

描述质点速度变化的大小和方向的物理量,是矢量,具有瞬时性和相对性。

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2}$$

在直角坐标系中(以二维平面运动为例):

$$\boldsymbol{a}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{j}=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j}$$

其大小为

$$a=|\boldsymbol{a}|=\sqrt{{a_x}^2+{a_y}^2}$$

方向:与 x 轴夹角 $\alpha=\arctan\frac{a_y}{a_x}$。

(3)运动方程与轨迹方程

1)运动学方程

质点的位置随时间变化的函数式,称为质点的运动学方程。它可表示为

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)$$

在直角坐标系中,矢量表达式为

$$\boldsymbol{r}=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}+z(t)\boldsymbol{k}$$

分量表达式为

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

位置矢量给出的是质点运动过程中某一时刻的位置，而由运动学方程可求出任意时刻的位置。运动学的重要任务之一就是找出各种具体运动所遵循的运动方程，从而进一步判断运动情况，如某一时刻的位置、速度和加速度。

2）轨迹方程

运动质点在空间经过的路径所满足的方程，称为轨迹方程。

运动学方程在直角坐标系中的分量表达式即为轨迹方程的参量方程，从中消去时间参量 t 即得轨迹方程。

（4）圆周运动的描述

质点作圆周运动时，始终沿圆周循环往复运动，在运动过程中质点到圆心的距离始终不变。由于这种运动轨迹的特点，分别在自然坐标系和极坐标系中用如下方法描述圆周运动。

1）线量描述

①位置用从计时时刻质点所在位置开始的弧长描述，物理符号为 s。

②运动学方程：s 随时间变化的函数式，从中可求质点任一时刻的位置。

$$s = s(t)$$

③线速度即速度，大小为

$$v = \frac{ds}{dt}$$

方向：始终沿切线方向。

④加速度：在自然坐标系中描述质点圆周运动比较方便，可表示为

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_t + \boldsymbol{a}_n$$

其中，切向加速度描述速度大小的变化，有

$$\boldsymbol{a}_t = \frac{dv}{dt}\boldsymbol{e}_t$$

大小为

$$a_t = \frac{dv}{dt}$$

方向：始终沿切线方向。

法向加速度描述速度方向的变化，有

$$\boldsymbol{a}_n = \frac{v^2}{R}\boldsymbol{e}_n$$

大小为

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

方向:始终指向圆心。

2)角量描述

如图 1-2 所示,以圆心为坐标原点,建立 Ox 轴,则由径矢 $\boldsymbol{r}$ 与 Ox 之间的夹角 θ 可以完全确定质点的位置。

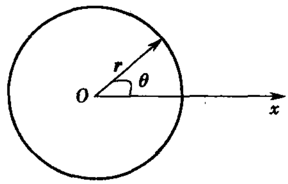

图 1-2

①角位置(角坐标):描述质点某一时刻的位置,物理符号为 θ,单位 rad。

注意:θ 有正负。一般选择逆时针方向为运动正方向,即质点逆时针方向运动时,$\theta>0$;反之,$\theta<0$。

②运动学方程:θ 随时间变化的函数式,从中可求质点任一时刻的位置,即

$$\theta=\theta(t)$$

③角速度:角坐标随时间的变化率,即

$$\omega=\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$$

④角加速度:角速度随时间的变化率,即

$$\beta=\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}$$

角量和线量关系:

$$s=R\theta,v=R\omega,a_t=R\beta,a_n=R\omega^2$$

(5)一般曲线运动的加速度

一般曲线运动的加速度如图 1-3 所示,表达式为

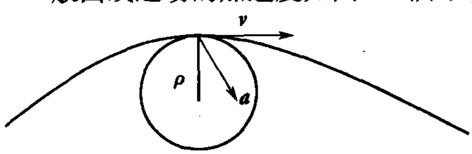

图 1-3

$$\boldsymbol{a}=a_t\boldsymbol{e}_t+a_n\boldsymbol{e}_n=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{e}_t+\frac{v^2}{\rho}\boldsymbol{e}_n$$

其中 ρ 为质点运动轨迹上某点的瞬时曲率半径,加速度方向指向轨迹曲线凹侧。

2. 几种简单运动的规律

(1)匀加速运动

$$a=常量$$

$$v=v_0+at$$

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

(2)斜抛运动

直角坐标系中:

$$a_x=0,a_y=-g$$

$$v_x=v_0\cos\theta_0,v_y=v_0\sin\theta_0-gt$$

$$x=v_0t\cos\theta_0,y=v_0t\sin\theta_0-\frac{1}{2}gt^2$$

$$\boldsymbol{r}=(v_0t\cos\theta_0)\boldsymbol{i}+(v_0t\sin\theta_0-\frac{1}{2}gt^2)\boldsymbol{j}$$

(3)圆周运动

1)匀速率圆周运动

$$\beta=0$$

$$a_t=0,a_n=\frac{v^2}{R}=R\omega^2$$

$$\theta-\theta_0=\omega t$$

2)匀变速率圆周运动

$$a_t=常量,\beta=常量$$

$$\omega=\omega_0+\beta t$$

$$\theta-\theta_0=\omega_0t+\beta t$$

$$\omega^2-\omega_0^2=2\beta(\theta-\theta_0)$$

3. 运动学的两类问题

①已知运动方程,求速度和加速度,用微分法。

②已知速度、加速度,求运动方程,用积分法。

二、基本要求

①熟悉描述质点运动物理量的定义及其矢量性、相对性和瞬时性。

②掌握运动方程的物理意义,会用微积分方法求解一维运动学的两类问题。

③理解平面抛体运动和圆周运动的规律,会圆周运动的角速度、角加速度、切向加速度、法向加速度的简单计算。

三、典型例题

例1 已知一质点的运动学方程为

$$\boldsymbol{r}=2t\boldsymbol{i}+(2-t^2)\boldsymbol{j}\ (\mathrm{SI})$$

试求:(1)从 $t=1$ s 到 $t=2$ s 质点的平均速度大小;

(2)$t=2$ s 时质点的速度和加速度;

(3)质点的轨迹方程。

分析 已知运动学方程,对位矢求导,即可得质点运动的速度和加速度。在求平均速度大小时需要注意,平均速度大小 $|\bar{\boldsymbol{v}}|\neq\frac{\Delta|\boldsymbol{r}|}{\Delta t}=\frac{|\boldsymbol{r}_2|-|\boldsymbol{r}_1|}{\Delta t}$。运动学方程在直角

坐标系中的分量表达式即为轨迹方程的参数方程，消去时间参数 t 即得轨迹方程。

解　依题意有

$$\boldsymbol{r}=2t\boldsymbol{i}+(2-t^2)\boldsymbol{j}$$

(1)将 $t=1$ s 和 $t=2$ s 代入上式，有

$$\boldsymbol{r}(1)=2\boldsymbol{i}+\boldsymbol{j}\ (\mathrm{m})$$

$$\boldsymbol{r}(2)=4\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}\ (\mathrm{m})$$

质点位移

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(2)-\boldsymbol{r}(1)=2\boldsymbol{i}-3\boldsymbol{j}\ (\mathrm{m})$$

平均速度

$$\overline{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}=(2\boldsymbol{i}-3\boldsymbol{j})\ (\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

其大小为

$$|\overline{\boldsymbol{v}}|=\sqrt{2^2+3^2}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}=3.6\ (\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

(2) $\boldsymbol{v}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}=2\boldsymbol{i}-2t\boldsymbol{j}\ (\mathrm{m\cdot s^{-1}})$

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=-2\boldsymbol{j}\ (\mathrm{m\cdot s^{-2}})$$

当 $t=2$ s 时，速度和加速度分别为

$$\boldsymbol{v}=2\boldsymbol{i}-4\boldsymbol{j}\ (\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

$$\boldsymbol{a}=-2\boldsymbol{j}\ (\mathrm{m\cdot s^{-2}})$$

(3)由运动学方程

$$\begin{cases}x=2t\\ y=2-t^2\end{cases}$$

消去时间 t 可得轨迹方程

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

即质点轨迹为一抛物线。

例 2　已知质点沿 x 轴作直线运动，其运动学方程为 $x=3t^2-t^3$(SI)，求：

(1)质点在 $t=1$ s 到 $t=4$ s 内的平均速度；

(2)质点在该时间内所通过的路程；

(3) $t=1$ s 时的速度和加速度。

分析　例 2 和例 1 都属于运动学第一类问题，即已知运动学方程求速度和加速度，求解方法与例 1 相同，所不同的是，例 2 是一维直线运动的情况，只需处理 x 轴分量就可以了，这里需注意矢量符号的表达。另外求解位移和路程时必须注意，位移和路程是两个完全不同的概念，位移 Δx 可直接由运动方程得到：$\Delta x=x_{t2}-x_{t1}$。求路程时容易出现的错误是认为路程等于位移大小，但实际上只有当质点作直线运动且运动方向不改变时，二者才会相等。所以需要先判断质点运动过程中有无方向改变，换

向时刻是否在所求的时间段内。若换向时刻不在所求的时间段内，则路程等于该段时间内位移大小；若换向时刻在所求的时间段内，则路程等于换向时刻前后两段时间内位移大小之和，根据 $v=\frac{dx}{dt}=0$ 求出换向时刻 t，路程 $\Delta s=|x_t-x_{t1}|+|x_{t2}-x_t|$。

解　依题意有

$$x=3t^2-t^3$$

(1)将 $t=1$ s 和 $t=4$ s 代入上式，有

$$x(1)=2\ \text{m}$$

$$x(4)=-16\ \text{m}$$

质点位移

$$\Delta x=x(4)-x(1)=-18\ \text{m}$$

平均速度

$$\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=-6\ \text{m/s}$$

负号表示平均速度方向沿 x 轴负向。

(2)令 $v=\frac{dx}{dt}=6t-3t^2=0$，得

$$t=2\ \text{s}\quad(t=0\ 舍)$$

路程

$$\Delta s=|x(4)-x(2)|+|x(2)-x(1)|=22\ \text{m}$$

(3) $v=\frac{dx}{dt}=6t-3t^2$

$$a=\frac{dv}{dt}=6-6t$$

当 $t=1$ s 时，速度和加速度分别为

$$v=3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$a=0$$

例3　质点沿直线运动，加速度 $a=4t$(SI)，当 $t=3$ s 时，$x=3$ m，$v=3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$，求质点的运动方程。

分析　本题属于运动学第二类问题，即已知加速度和速度求运动方程。用积分的方法求解，积分时要注意积分上下限的确定，以及根据给定条件确定初始运动状态，从而确定积分常数。

解　由 $a=\frac{dv}{dt}$，得

$$dv=a\,dt$$

两边积分

$$\int_{v_0}^{v}dv=\int_0^t a\,dt=\int_0^t 4t\,dt$$

可得

$$v = v_0 + 2t^2$$

将 $t = 3$ s, $v = 3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$代入上式,得

$$v_0 = -15\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

所以

$$v = -15 + 2t^2$$

由 $v = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$,得

$$\mathrm{d}x = v\mathrm{d}t$$

两边积分

$$\int_{x_0}^{x} \mathrm{d}x = \int_0^t (-15 + 2t^2)\,\mathrm{d}t$$

可得

$$x = x_0 - 15t + \frac{2}{3}t^3$$

将 $t = 3$ s, $x = 3$ m 代入上式,得

$$x_0 = 30\ \mathrm{m}$$

所以,运动学方程为

$$x = 30 - 15t + \frac{2}{3}t^3$$

例 4　一质点按规律 $s = t^3 + 2$(SI)作圆周运动。如果当 $t = 1$ s 时的总加速度大小为 $6\sqrt{2}\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$,求此圆弧的半径。

分析　该题本质上是已知质点圆周运动的运动方程,求质点的加速度,属于运动学第一类问题,应用求导的方法。这里给出的是圆周运动的线量描述,在自然坐标系中求解。$v = \dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$,切向加速度大小为 $a_\mathrm{t} = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$,法向加速度大小为 $a_\mathrm{n} = \dfrac{v^2}{R}$,总加速度 $\boldsymbol{a} = a_\mathrm{t}\boldsymbol{e}_\mathrm{t} + a_\mathrm{n}\boldsymbol{e}_\mathrm{n}$,加速度大小 $a = \sqrt{a_\mathrm{t}^2 + a_\mathrm{n}^2}$。

解　依题意,有

$$v = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = 3t^2$$

$$a_\mathrm{t} = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 6t$$

当 $t = 1$ s 时, $a_\mathrm{t} = 6\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$

$$v = 3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

$$a_\mathrm{n} = \frac{v^2}{R} = \frac{9}{R}$$

由 $a = \sqrt{a_\mathrm{t}^2 + a_\mathrm{n}^2} = \sqrt{36 + \dfrac{81}{R^2}} = 6\sqrt{2}\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$,得

$R=1.5\ \text{m}$

例 5 一质点在半径为 1 m 的圆周上运动，其运动方程为 $\theta=3+t^3$(SI)。求：

(1) $t=1$ s 时质点的切向加速度和法向加速度；

(2) 切向加速度大小恰等于总加速度大小的 $\frac{1}{3}$ 时，θ 值为多少？

分析 该题同例 4，都是已知质点圆周运动的运动方程求加速度，所不同的是本题给出的是圆周运动的角量描述。对角坐标求一阶导数得到角速度 $\omega=\frac{d\theta}{dt}$，角加速度 $\beta=\frac{d\omega}{dt}=\frac{d^2\theta}{dt^2}$。再由角量和线量的关系 $a_t=R\beta$，$a_n=R\omega^2$，可求得质点的切向加速度和法向加速度。

解 (1) 依题意，有

$$\omega=\frac{d\theta}{dt}=3t^2$$

$$\beta=\frac{d\omega}{dt}=6t$$

由角量和线量关系，得

$$a_t=R\beta=6t,\ a_n=R\omega^2=9t^4$$

当 $t=1$ s 时，

$$a_t=6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2},\ a_n=9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

(2) 当 $a_t=\frac{1}{3}a=\frac{1}{3}\sqrt{a_t^2+a_n^2}$ 时，有

$$8a_t^2=a_n^2$$

即

$$8(6t)^2=(9t^4)^2$$

$$t^3=\frac{4\sqrt{2}}{3}\ \text{s}$$

代入运动方程，此时角坐标

$$\theta=4.88\ \text{rad}$$

例 6 一球以 30 m/s 的速率水平抛射。试求 5 s 后加速度的切向分量和法向分量的大小。

分析 这是抛体运动，是二维平面曲线运动。建立平面直角坐标系，水平方向为 x 轴，竖直方向为 y 轴，分别处理两个坐标轴上的分量。球在水平方向作匀速直线运动，在竖直方向作自由落体运动，据此可求出两个方向上的速度时间表达式，从而求出速度大小的时间表达式，然后根据 $a_t=\frac{dv}{dt}$ 求出切向加速度大小。显然，总加速度大小 $a=g$，根据 $a^2=a_t^2+a_n^2$，可求得法向加速度大小 a_n。

解 由 $v_x=30$ m/s，$v_y=gt$，可知速度大小

$$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{30^2+(gt)^2}$$