普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理学习指导

主　编　钟春晓　任喜梅
副主编　王锦丽　李　蓉

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理学习指导

主　编　钟春晓　任喜梅

副主编　王锦丽　李　蓉

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn
·北京·

内 容 提 要

本书是“大学物理”课程的学习辅导教材，其中包括基本内容、例题分析和练习题三个部分。基本内容是对每个章节的知识点进行梳理和总结，以便于读者对知识的融会贯通；例题分析部分主要是对一些常见的题目进行详细的分析解答，有利于读者自学；练习题部分则是为读者自己检验学习情况而编写的。

本书所选用的例题和习题具有比较强的通用性，比较适合作为“大学物理”课程的学习辅导教材和习题参考书。

图书在版编目（CIP）数据

大学物理学习指导 / 钟春晓，任喜梅主编. -- 北京：中国水利水电出版社，2018.12

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5170-7290-4

Ⅰ. ①大… Ⅱ. ①钟… ②任… Ⅲ. ①物理学－高等学校－教学参考资料 Ⅳ. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第290516号

策划编辑：陈红华　　责任编辑：张玉玲　　封面设计：李　佳

书　名	普通高等教育“十三五”规划教材 大学物理学习指导 DAXUE WULI XUEXI ZHIDAO
作　者	主　编　钟春晓　任喜梅 副主编　王锦丽　李　蓉
出版发行	中国水利水电出版社 （北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座　100038） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：mchannel@263.net（万水） sales@waterpub.com.cn 电话：（010）68367658（营销中心）、82562819（万水）
经　售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排　版	北京万水电子信息有限公司
印　刷	三河市铭浩彩色印装有限公司
规　格	184mm×260mm　16 开本　14 印张　343 千字
版　次	2018 年 12 月第 1 版　2018 年 12 月第 1 次印刷
印　数	0001—3000 册
定　价	37.00 元

前　　言

大学物理是高等工科院校课程体系中的一门重要的基础理论课。本书编写的目的主要是在课堂之外，帮助读者自学，并起到课外辅导和答疑的作用，同时也给教师的教学工作提供了一定程度的参考。

本书内容包括基本概念、典型例题分析和练习题三个部分。其中基本内容是对每个章节的知识点进行梳理和总结，以便于读者对知识的融会贯通；例题分析部分主要是对一些常见的题目进行详细的分析解答，其目的在于使读者能够利用所学的知识去解决、处理实际问题，这样有利于读者自学；练习题部分则是为读者自己检验学习情况而编写的，同时也可巩固和提高所学知识。

本书中的大部分习题是经过大学物理一线教师的精心挑选，有些已经使用过多年，能够经得起实践的检验。

参加本书编写工作的是华东交通大学理工学院物理教研室老师。主要分工如下：李蓉编写了第 1～2 章，王锦丽编写了第 3～5 章，钟春晓编写了第 6～11 章，任喜梅编写了第 12～16 章以及参考答案。由钟春晓负责全书的统稿。

由于编者的水平有限，加之时间仓促，书中难免有错误及欠缺之处，恳请读者批评指正，编者将不胜感激。

编　者

2018 年 10 月

目　　录

第一章　质点运动学

一、基本内容

（一）质点、参考系和运动方程

1. 质点

质点： 只有质量而没有形状和大小的理想几何点。

做平动的物体可以当作质点处理。另外，如果一个物体与观察者的距离远远大于这个物体本身的几何线度，这个物体也可以当作质点看待。

一个确定的物体能否抽象成质点，应视具体情况而定。

2. 参考系和坐标系

参考系： 为了描述物体的运动而被选作参考的物体。

运动描述的相对性：在描述某一个物体的运动时，如果选取的参考系不同，对该物体运动的描述述也不同。

坐标系： 为了定量地表示物体在各时刻的位置，在参考系上建立的计算系统。

常用的坐标系有直角坐标系、自然坐标系、极坐标系、柱面坐标系、球面坐标系和广义坐标系等。

3. 位置矢量和运动方程

位置矢量 $\boldsymbol{r}$: 为了确定质点在某一时刻的位置和方向，由坐标原点向质点做的有方向线段。

位置矢量在平面直角坐标系中的表达式为

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$$

其大小和方向分别为

$$r = \left|\vec{r}\right| = \sqrt{x^2 + y^2}\,,\quad \tan\theta = \frac{y}{x}$$

式中：θ 为 $\vec{r}$ 与 x 轴的夹角。

质点的运动方程： 随时间变化的位置矢量反映了质点的运动规律，即：

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

质点运动方程的平面直角坐标表达式为

$$\vec{r} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j}$$

轨迹： 质点运动过程中所走的路径。

轨迹方程： 描述质点运动轨迹的方程

（二）位移、速度和加速度

1. 位移

位移 $\Delta\vec{r}$： 设质点在 Δt 时间内从位置 P_1 运动到 P_2，位移 $\Delta\vec{r}$ 为从点 P_1 到点 P_2 所作的矢量，它描述了质点在运动过程中空间位置变化的大小和方向。

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

在平面直角坐标系中位移的表达式为

$$\Delta\vec{r} = \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j}$$

其大小和方向分别为

$$\left|\Delta\vec{r}\right| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}，\quad \tan\alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

式中：α 为 $\Delta\vec{r}$ 与 x 轴的夹角。

路程 Δs：质点实际运动的轨迹长度。

一般情况下，$\left|\Delta\vec{r}\right| \neq \Delta s$，$\left|\mathrm{d}\vec{r}\right| = \mathrm{d}s$

注意：$\Delta r = \Delta\left|\vec{r}\right| = \left|\vec{r}_1\right| - \left|\vec{r}_2\right|$，为位置矢量大小的增量。

2. 速度

速度是描述物体运动快慢和方向的物理量。

Δt 时间间隔内的平均速度为

$$\bar{\vec{v}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

瞬时速度（简称"速度"）$\vec{v}$ 为

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

某点的瞬时速度方向为沿曲线在该点的切线方向。

在平面直角坐标系中速度的表达式为

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

其大小和方向分别为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}，\quad \tan\varphi = \frac{v_y}{v_x}$$

式中：φ 为 $\vec{v}$ 与 x 轴的夹角。

瞬时速率（简称"速率"）：在单位时间内质点所通过的路程，即：

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

瞬时速度与瞬时速率的关系为

$$\left|\vec{v}\right| = v$$

3. 加速度

加速度是描述速度变化快慢和方向的物理量。

瞬时加速度（简称"加速度"）$\vec{a}$ 为

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

$\vec{a}$ 的方向总是指向曲线的凹侧。

在平面直角坐标系中加速度的表达式为

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

其大小和方向分别为

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}\,,\quad \tan\beta=\frac{a_y}{a_x}$$

式中：β 为 $\vec{a}$ 与 x 轴的夹角。

4. 直线运动的运动学量

质点沿 x 轴做直线运动时，在任意时刻的运动方程、位移、速度和加速度分别为

$$r=x$$

$$\Delta r=\Delta x$$

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

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

当它们为正值时，方向与 x 轴正方向相同，为负值时，与 x 轴正方向相反。

（三）圆周运动和曲线运动

1. 法向加速度和切向加速度

自然坐标系：以运动质点为坐标原点，切向坐标轴沿质点所在位置的切线并指向质点的运动方向，其单位矢量用 $\overline{e_\tau}$ 表示，法向坐标轴与切线垂直并沿曲率半径指向曲率中心，单位矢量用 $\overline{e_n}$ 表表示。

加速度在自然坐标系中的表示为

$$\vec{a}=a_n\overline{e_n}+a_\tau\overline{e_\tau}=\frac{v^2}{r}\overline{e_n}+\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\overline{e_\tau}$$

法向加速度 $\overline{a_n}$ 描述速度方向随时间变化的快慢，切向加速度 $\vec{a}_\tau$ 描述速度大小随时间变化的快慢。

当质点做圆周运动时，设加速度 $\vec{a}$ 与 $\vec{v}$ 之间的夹角为 β，将 $\vec{a}$ 分解成法向加速度 $\overline{a_n}$ 和切向加速度 $\vec{a}_\tau$，则加速度 $\vec{a}$ 的大小和方向分别为

$$a=\sqrt{a_n^2+a_\tau^2}\,,\quad \tan\beta=\frac{a_n}{a_\tau}$$

当 $0<\beta<\dfrac{\pi}{2}$ 时，$\vec{a}_\tau$ 与 $\vec{v}$ 的方向相同，质点做加速圆周运动；当 $\beta=\dfrac{\pi}{2}$ 时，$\overline{a_\tau}=0$，质点做匀速圆周运动；当 $\dfrac{\pi}{2}<\beta<\pi$ 时，$\vec{a}_\tau$ 与 $\vec{v}$ 的方向相反，质点做减速圆周运动。

质点做曲线运动时，如果引入曲率圆和曲率半径的概念，也可以用法向加速度和切向加速度的理论解决曲线运动问题，不过法向加速度中的曲率半径 r 不再是常量。

2. 圆周运动的角量描述

角坐标 θ：设做圆周运动的质点在 t 时刻位于 P 点，从圆心 O 点向 P 点作矢量 $\vec{r}$，角坐

标 θ 指 $\vec{r}$ 与参考轴 x 正方向的夹角。

质点的运动方程：角坐标随时间变化的函数，即：

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

角位移 $\Delta\theta$：经过 Δt 时间矢量转过的角度。

角坐标和角位移的方向：相对于 x 轴正方向，逆时针转向的角坐标和角位移为正，反之为负。

角速度 ω：角坐标随时间的变化率，即：

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

角加速度 α：角速度随时间的变化率，即：

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

匀变速圆周运动公式为

$$\omega=\omega_0+\alpha t$$

$$\Delta\theta=\omega_0 t+\frac{1}{2}\alpha t^2$$

$$\omega^2=\omega_0^2+2\alpha\Delta\theta$$

$$\frac{\Delta\theta}{t}=\frac{\omega_0+\omega}{2}$$

3. 圆周运动的线量与角量关系

质点在 $\triangle t$ 时间内通过的弧长 $\triangle s$ 与对应的角位移 $\Delta\theta$ 的关系为

$$\Delta s=r\Delta\theta$$

速率与角速度的关系为

$$v=r\omega$$

切向加速度与角加速度的关系为

$$a_\tau=r\alpha$$

法向加速度与角速度的关系为

$$a_n=r\omega^2$$

（四）相对运动

静止坐标系：在地面上建立的坐标系。

运动坐标系：相对于地面运动的坐标系。

设运动坐标系相对于静止坐标系做平动。

速度合成定理：质点相对静止坐标系的速度 $\vec{v}$（称为“绝对速度”）等于质点相对运动坐标系的速度 $\vec{v'}$（称为“相对速度”）加上运动坐标系相对静止坐标系的速度 $\vec{v}_0$（称为“牵连速度”），即：

$$\vec{v}=\vec{v'}+\vec{v_0}$$

加速度合成定理：质点相对静止坐标系的加速度 $\vec{a}$（称为“绝对加速度”）等于质点相对运动坐标系的加速度 $\vec{a'}$（称为“相对加速度”）加上运动坐标系相对静止坐标系的加速度 $\vec{a_0}$（称

为“牵连加速度”），即：

$$\vec{a}=\vec{a'}+\vec{a_0}$$

二、例题分析

例题 1　已知某质点在 xOy 平面内运动，其运动方程为

$$\vec{r}=t^3\vec{i}+(2t-1)\vec{j}$$

公式中的各个物理量均采用国际单位。试求该质点：

（1）从 1s 到 2s 时间内的位移。

（2）轨迹方程。

（3）在 t=2s 时刻的速度和加速度的大小和方向。

解：（1）该质点在 1s 和 2s 时刻的位矢分别为

$$\vec{r_1}=1^3\vec{i}+(2\times1-1)\vec{j}=\vec{i}+\vec{j}$$

$$\vec{r_2}=2^3\vec{i}+(2\times2-1)\vec{j}=8\vec{i}+3\vec{j}$$

因此质点在这段时间内的位移为

$$\Delta\vec{r}=\vec{r_2}-\vec{r_1}=7\vec{i}+2\vec{j}$$

（2）由运运动方程可知

$$x=t^3\text{，}\quad y=2t-1$$

在以上两式中消去时间即得质点运动的轨迹方程为

$$x=\frac{1}{8}(y+1)^3$$

（3）该质点在任意时刻的速度和加速度表达式分别为

$$\vec{v}=\frac{d\vec{r}}{dt}=3t^2\vec{i}+2\vec{j}$$

$$\vec{a}=\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}=6t\vec{i}$$

则在 t=2s 时刻的速度和加速度分别为

$$\vec{v}=12\vec{i}+2\vec{j}\text{，}\quad \vec{a}=12\vec{i}$$

因此，速度的大小及与 x 轴的夹角分别为

$$v=\sqrt{12^2+2^2}=12.17\text{(m/s)}$$

$$\tan\theta=\frac{v_x}{v_y}=\frac{2}{12}=\frac{1}{6}\text{，}\quad \theta=9.46°$$

加速度的大小为 12m/s，方向沿 x 轴正方向。

例题 2　某质点沿 x 轴做直线运动，其运动方程为

$$x=1+5t+10t^2-t^3$$

式中的物理量均采用国际单位，则：

（1）质点在 $t=0$ 时刻的速度 v_0 为多少？

（2）当加速度为零时，该质点的速度 v 为多少？

解：（1）对运动方程中的时间求导，可以得到该质点的速度表达式为

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=5+20t-3t^2$$

把 $t=0$ 代入上式，得出质点的初速度为

$$v_0=5\ (\mathrm{m/s})$$

（2）对速度表达式中的时间求导，可以得到该质点的加速度表达式为

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=20-6t$$

令 $a=0$，可解得 $t=\frac{10}{3}s$，再将时间 $t=\frac{10}{3}s$ 带入速度表达式，即得加速度为零时质点的速度为

$$v=38.3\ (\mathrm{m/s})$$

例题 3 某质点沿半径为 R 的圆周运动，运动方程为

$$\theta=t^2+3$$

公式中的各个物量均采用国际单位，则 t 时刻质点的角加速度、法向加速度和切向加速度的大小分别为多少？

解：t 时刻质点的角速度和角加速度分别为

$$\omega=\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}=2t,\quad \alpha=\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=2$$

法向加速度和切向加速度的大小分别为

$$a_n=R\omega^2=4Rt^2,$$
$$a_\tau=R\alpha=2R$$

例题 4 某质点沿半径为 R 的圆周运动。质点所经过的弧长与时间的关系为

$$S=at^2+bt$$

其中，a、b 是大于零的常量。求在什么时刻质点的切向加速度和法向加速度大小相等？

解：质点的速率为

$$v=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=2at+b$$

切向加速度和法向加速度分别为

$$a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=2a$$

$$a_n=\frac{v^2}{R}=\frac{(2at+b)^2}{R}$$

根据题意有

$$\frac{(2at+b)^2}{R}=2a$$

由此可解得切向加速度和法向加速度大小相等的时刻为

$$t=\frac{\sqrt{2aR}-b}{2a}$$

例题 5　有一质点沿 x 轴做直线运动，其加速度为 $a=2t$ 。已知质点开始运动时位于 $x_0=8\text{m}$ 处，这时的速度为 $v_0=0$ 。试求质点的位置和时间的关系式。

解：根据加速度的定义 $a=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$，有

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=2t$$

将上式分离变量，并且两边同时积分有

$$\int_0^v \mathrm{d}v=\int_0^t 2t\,\mathrm{d}t$$

积分得

$$v=t^2$$

再根据速度的定义 $v=\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$，有

$$\mathrm{d}x=t^2\mathrm{d}t$$

对上式做定积分有

$$\int_8^x \mathrm{d}x=\int_0^t t^2\,\mathrm{d}t$$

可解得质点的位置和时间的关系式：

$$x=8+\frac{1}{3}t^3\ (m)$$

三、练习题

（一）选择题

1．一运动质点在某瞬时位于位矢 $\bar{r}=(x,y)$ 的端点处，其速度大小为（　　）。

A．$\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$　　B．$\dfrac{\mathrm{d}\bar{r}}{\mathrm{d}t}$　　C．$\dfrac{\mathrm{d}|\bar{r}|}{\mathrm{d}t}$　　D．$\sqrt{\left(\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2+\left(\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$

2．下列说法正确的是（　　）。

A．加速度恒定不变时，物体运动方向也不变

B．平均速率等于平均速度的大小

C．不管加速度如何，平均速率表达式总可以写成 $\bar{v}=(v_1+v_2)/2$

D．运动物体速率不变时，速度可以变化

3．某质点的运动方程为 $x=3t-5t^2+6$（SI），则该质点做（　　）。

A．匀加速直线运动，加速度沿 X 轴正方向

B．匀加速直线运动，加速度沿 X 轴负方向

C．变加速直线运动，加速度沿 X 轴正方向

D．变加速直线运动，加速度沿 X 轴负方向

4．一小球沿斜面向上运动，其运动方程为 $S=5+4t-t^2$（SI），则小球运动到最高点的时刻是（　　）。

A．t=2s　　B．t=4s　　C．t=5s　　D．t=8s

5．一个质点在做匀速圆周运动时（　　）。

A．切向加速度改变，法向加速度也改变

B．切向加速度不变，法向加速度改变

C．切向加速度不变，法向加速度也不变

D．切向加速度改变，法向加速度不变

6．某物体的运动规律为$\frac{dv}{dt}=-kv^2t$，式中的k为大于零的常数，当$t=0$时，初速度为v_0，则速度v与时间t的函数关系是（　　）。

A．$v=\frac{1}{2}kt^2+v_0$　　B．$v=-\frac{1}{2}kt^2+v_0$

C．$\frac{1}{v}=\frac{kt^2}{2}+\frac{1}{v_0}$　　D．$\frac{1}{v}=-\frac{kt^2}{2}+\frac{1}{v_0}$

7．质点沿半径为R的圆周做匀速率运动，每t秒转一圈。在$2t$时间间隔中，其平均速度大小与平均速率大小分别为（　　）。

A．$\frac{2\pi R}{t}$，$\frac{2\pi R}{t}$　　B．0，$\frac{2\pi R}{t}$

C．0，0　　D．$\frac{2\pi R}{t}$，0

8．以下五种运动形式中，$\vec{a}$保持不变的运动是（　　）。

A．单摆的运动　　B．匀速率圆周运动

C．行星的椭圆轨道运动　　D．抛体运动

9．一质点在平面上运动，已知质点位置矢量的表示式为$\vec{r}=at^2\vec{i}+bt^2\vec{j}$（其中$a$，$b$为常量），则该质点做（　　）。

A．匀速直线运动　　B．变速直线运动

C．抛物线运动　　D．一般曲线运动

10．质点做曲线运动，$\vec{r}$表示位置矢量，s表示路程，$\vec{a}_\tau$表示切向加速度，下列表达式中（　　）。

（1）$\frac{dv}{dt}=a$　（2）$\frac{dr}{dt}=v$　（3）$\frac{ds}{dt}=v$　（4）$\left|\frac{d\vec{v}}{dt}\right|=a_\tau$

A．只有（1），（4）是对的　　B．只有（2），（4）是对的

C．只有（2）是对的　　D．只有（3）是对的

11．一质点在平面上做一般曲线运动，其瞬时速度为$\vec{v}$，瞬时速率为v，某一段时间内的平均速度为$\bar{\vec{v}}$，平均速率为$\bar{v}$，它们之间的关系必定有（　　）。

A．$|\vec{v}|=v$，$|\bar{\vec{v}}|=\bar{v}$　　B．$|\vec{v}|\neq v$，$|\bar{\vec{v}}|=\bar{v}$

C．$|\vec{v}|\neq v$，$|\bar{\vec{v}}|\neq\bar{v}$　　D．$|\vec{v}|=v$，$|\bar{\vec{v}}|\neq\bar{v}$

（二）填空题

1．一质点沿X方向运动，其加速度随时间变化的关系为$a=3+2t$（SI），如果初始时质点的速度v_0为$5\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，则当t为3s时，质点的速度v=__________。

2．一质点的运动方程为$x=6t-t^2$（SI），则在t由0到4s的时间间隔内，质点的位移大小为__________；在t由0到4s的时间间隔内质点走过的路程为__________。

3．在表达式$\bar{v}=\lim\limits_{\Delta x\to 0}\dfrac{\Delta\bar{r}}{\Delta t}$中，位置矢量是__________；位移矢量是__________。

4．距河岸（河岸看成直线）500m处有一艘静止的船，船上的探照灯以速度为$n=1\text{rev/min}$转动，当探照灯的光束与岸边成60°角时，光束沿岸边移动的速度$v=$__________。

5．一质点做直线运动，其$v-t$曲线如图1-1所示，则BC和CD段时间内的加速度分别为$a_{BC}=$__________，$a_{CD}=$__________。

6．如图1-2所示，灯距地面高度为h_1，一个人身高为h_2，在灯下以速率v沿水平直线行走，则他的头顶在地面上的影子M点沿着地面移动的速度大小为$v_M=$__________。

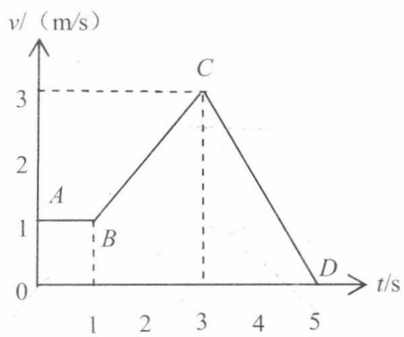

图1-1

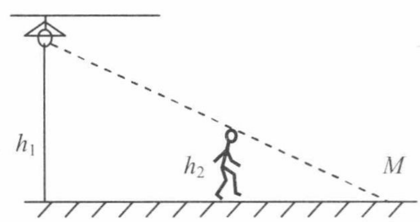

图1-2

7．一质点沿x轴做直线运动，它的运动方程为$x=3+5t+6t^2-t^3$（SI）
则（1）质点在t=0时刻的速度$v_0=$__________；

（2）加速度为零时，该质点的速度$v=$__________。

8．物体在某瞬时，以初速度$\overline{v_0}$从某点开始运动，在Δt时间内，经长度为S的曲线路径后，又回到出发点，此时速度为$-\overline{v_0}$，则在这段时间：

（1）物体的平均速率是__________；

（2）物体的平均加速度是__________。

9．质点沿半径为R的圆周运动，运动方程为$\theta=3+2t^2$（SI），则t时刻质点的法向加速度大小为$a_n=$__________，角加速度$\beta=$__________。

10．半径为r＝1.5m的飞轮，初角速度$\omega_0=10\,\text{rad/s}$，角加速度$\beta=-5\,\text{rad/s}^2$，则在$t$＝__________时角位移为零，而此时边缘上点的线速度$v=$__________。

11．一质点沿半径为R的圆周运动，在t=0时经过P点，此后它的速率v按$v=A+Bt$（A，B为正的已知常量）变化。则质点沿圆周运动一周再经过P点的切向加速度$a_\tau=$__________，法向加速度$a_n=$__________。

12．以初速率v_0、抛射角θ_0抛出一物体，则其抛物线轨道最高点处的曲率半径为__________。

13．如图1-3所示，利用皮带传动，用电动机拖动一个真空泵。电动机上装一半径为0.1m的轮子，真空泵上装一半径为0.29m的轮子，如果电动机的转速为$1450\,\text{rev/min}$，则真空泵上

的轮子的边缘上一点的线速度为__________；真空泵的转速为__________。

14．一质点做直线运动，其坐标 x 与时间 t 的函数曲线如图 1-4 所示。则该质点在第__________s 瞬时速度为零；在第__________s 到第__________s 间速度与加速度同方向。

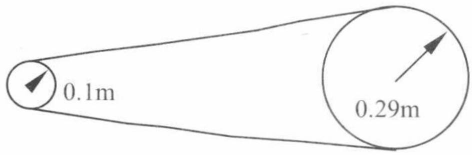

图 1-3

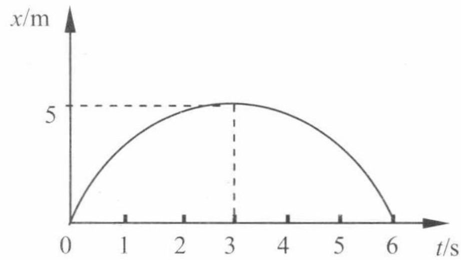

图 1-4

15．一质点从静止出发，沿半径 R=3m 的圆周运动。切向加速度 a_τ=3m/s^2，当总加速度与半径成 45°角时，所经过的时间 t= __________，在上述时间内质点经过的路程 S= __________。

（三）计算题

1．有一质点沿 x 轴做直线运动，t 时刻的坐标为 $x = 4.5t^2 - 2t^3$（SI）。试求：

（1）第 2s 内的平均速度；

（2）第 2s 末的瞬时速度；

（3）第 2s 内的路程。

2．质点沿 X 轴运动，其加速度为 $a = 4t$（SI），已知 t=0 时，质点位于 x_0=10m 处，初速度 $V_0 = 0$。试求其位置和时间的关系式。

3．已知一质点在 x、y 平面内，以原点 O 为圆心做匀速圆周运动，且当 $t = 0$ 时，$y = 0$，$x = r$，角速度如图 1-5 所示。

（1）试用半径 r、角速度 ω 和单位矢量 $\vec{i}$、$\vec{j}$ 表示 t 时刻的位置矢量。

（2）由结果（1）导出速度与加速度的矢量表达式。

（3）试证加速度指向圆心。

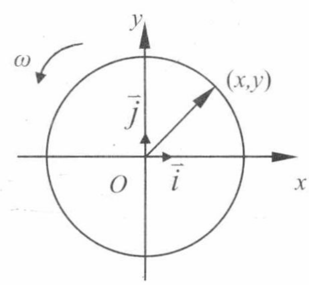

图 1-5

4．一质点沿 x 轴运动，其加速度 a 与位置坐标 x 的关系为 $a = 2 + 6x^2$（SI）。如果质点在原点处的速度为零，试求其在任意位置处的速度。

5．已知一质点沿着半径为 R 的圆做圆周运动，质点所经过的弧长与时间的关系为 $S = bt + \frac{1}{2}ct^2$。其中 b、c 是大于零的常量，求从 t=0 时开始到切向加速度和法向加速度相等时所经历的时间。

6．如图 1-6 所示，质点 P 在水平面内沿一半径为 $R = 2\text{m}$ 的圆轨道转动，转动的角速度 ω 与时间 t 的函数关系为 $\omega = kt^2$（k 为常量），已知 t=2s 时，质点 P 的速度大小为 32m/s，试求 t=1s 时，质点 P 的速度与加速度的大小。

7．质点 M 在水平面内运动轨迹如图 1-7 所示。OA 段为直线，AB、BC 段分别为不同半

径的两个 1/4 圆周。$t=0$ 时，M 在 O 点，已知运动方程为 $S=30t+5t^2$ （SI），求 $t=2$ 时刻，质点 M 的切向加速度和法向加速度。

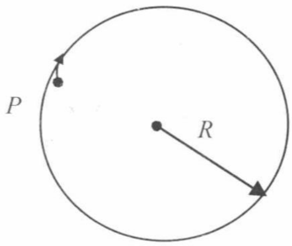

图 1-6

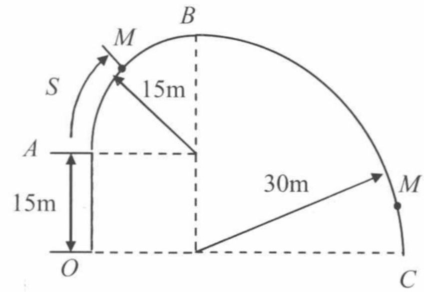

图 1-7

第二章　质点动力学

一、基本内容

（一）牛顿运动定律

1. 牛顿定律

牛顿第一定律： 任何物体都保持静止或匀速直线运动状态，直到其他物体的作用迫使它改变这种状态为止。

惯性： 任何物体都具有保持静止或匀速直线运动状态的性质。

力： 一个物体对另一个物体的作用称为力。

力是改变物体运动状态的原因。

牛顿第二定律： 物体受到外力作用时，物体所获得的加速度的大小与合外力成正比，与物体的质量成反比，加速度的方向与外力的方向相同。即：

$$\overline{F}=m\vec{a}$$

质点运动微分方程为

$$\overline{F}=m\frac{\mathrm{d}^2\overline{r}}{\mathrm{d}t^2}$$

质点运动微分方程在平面直角坐标系中的分量形式为

$$F_x=m\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2},\quad F_y=m\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}$$

质点运动微分方程在自然坐标系中的分量形式为

$$F_n=m\frac{v^2}{r},\quad F_t=m\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

牛顿第三定律： 两个物体之间的作用力$\overline{F}$和反作用力$\overline{F}'$大小相等，方向相反，作用在同一条直线上。即：

$$\overline{F}=-\overline{F}'$$

2. 惯性参考系

惯性参考系（简称“惯性系”）： 牛顿定律适用的参考系。

非惯性参考系（简称“非惯性系”）： 牛顿定律不适用的参考系。

已知相对参考系存在某种运动，如果这种运动是匀速直线运动，该参考系就是惯性系；如果是变速运动，该参考系就是非惯性系。

3. 常见的几种力

万有引力： 由于物体的质量而存在的相互吸引力。

万有引力定律： 两个质点之间的万有引力的方向沿着两个质点的连线方向，引力的大小与两个质点的质量m_1，m_2的乘积成正比，与它们之间距离r的平方成反比。即