

高等学校教材

# 大学物理知识内容精讲与应用能力提升

主 编 单亚拿 马振宁

高等教育出版社

高等学校教材

# 大学物理知识内容精讲与 应用能力提升

主 编 单亚拿 马振宁

编 委 (排名不分先后)

李 星 王月华 翟中海 李 强  
于智清 王 逊 汪青杰

高等教育出版社·北京

## 内容提要

本书是高等学校工科各专业学生学习大学物理课程的参考书。全书包括力学、机械振动与机械波、气体动理论和热力学基础、电磁学、波动光学、近代物理等内容,共21章,每章由教学基本要求、章节重点难点、知识内容精讲、精选例题详解、应用能力提升练习及其答案等部分构成。此外,还包括上、下学期综合练习题及解答,以便帮助学生巩固所学的知识和提升综合应用的能力。

本书是为普通高等学校工科各专业的学生编写的,对成人教育各专业的学员也是适用的,同时也可供高等学校大学物理授课教师参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理知识内容精讲与应用能力提升/单亚拿,马振宁主编.--北京:高等教育出版社,2018.3

ISBN 978-7-04-048837-1

I. ①大… II. ①单… ②马… 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(2017)第274754号

Daxue Wuli Zhishi Neirong Jingjiang Yu Yingyong Nengli Tisheng

策划编辑 顾炳富

责任编辑 马天魁

封面设计 赵阳

版式设计 杜微言

插图绘制 杜晓丹

责任校对 刘娟娟

责任印制 尤静

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印刷 北京明月印务有限责任公司  
开本 787mm×1092mm 1/16  
印张 20.5  
字数 500千字  
购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598

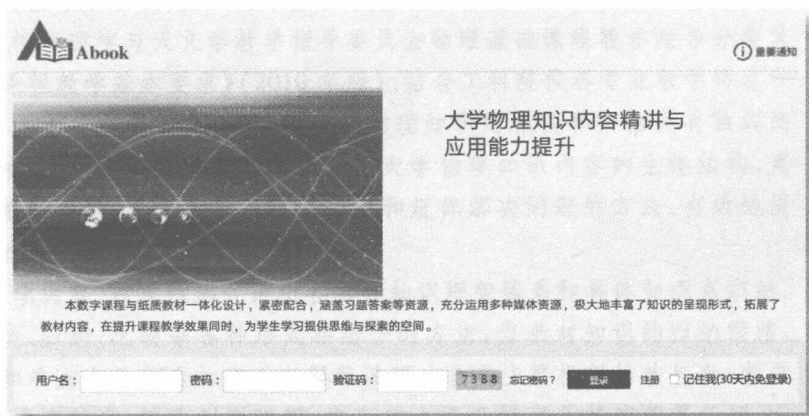
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>  
<http://www.hepmall.com>  
<http://www.hepmall.cn>  
版 次 2018年3月第1版  
印 次 2018年3月第1次印刷  
定 价 36.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 48837-00

# 大学物理知识 内容精讲与 应用能力提升

主编  
单亚拿  
马振宁

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1253351>, 或手机扫描二维码、下载并安装Abook应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过Abook应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至[abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn)。



扫描二维码  
下载 Abook 应用

<http://abook.hep.com.cn/1253351>

# 前 言

大学物理是高等学校理工科各专业学生的一门重要的必修基础课。它对于学生形成科学的思想方法,增强研究解决问题的能力,培养探索和创新精神,提高科学素质起着重要作用。

工科院校的学生在学习大学物理课程时,普遍感到学习困难。针对本课程的基本练习是帮助学生掌握和理解物理学基本概念、基本规律和基本应用的必要手段,也是提高学习能力的有效途径。为适应高等教育改革和发展的新形势,配合高等教育由精英教育向大众教育的转变,我们在总结多年教学经验的基础上,编写了本书,供工科学生在学习大学物理课程时参考。

本书是根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),结合工科院校各专业教学特点和编者多年教学经验编写而成的。本书主要特点在于,对大学物理知识的梳理和概括具有独到的方法和框架结构,内容概括简洁清晰,使学习者更清晰地了解大学物理知识内容的主体结构,更容易地理解重点、难点知识和基本规律,更快地掌握运用知识和规律解决问题的方法,有效地提高学生分析问题、解决问题的能力。

本书针对大学物理基本教学内容,以总结形式给出各部分知识框架体系和具体知识点归纳。采用流程图、框架图、列表、分类、归纳、比较等各种形式相结合的方法,力求对知识的归纳简洁、清晰、全面。对一些知识重点和难点在总结后加注适当解释说明。全书主要框架结构包括:教学基本要求、章节重点难点、知识内容精讲、精选例题详解、应用能力提升练习及其答案等几部分,在本书最后还编写了上、下两个学期的综合练习题及答案各5套。

本书在内容的把握上力求强调对基本知识、基本概念的理解和掌握;在形式上注重与教学内容相结合。因此,书中的大部分例题和习题都是基本的,尽量避免难题、偏题和怪题的出现。

参编人员分工如下:单亚拿(第5章、综合练习题),李星(第1—4章),王月华(第6章),马振宁(第7、第8章),翟中海(第9、第10章),李强(第11、第12章),于智清(第13、第14章),王逊(第15、第16、第20、第21章),汪青杰(第17—19章)。

在本书编写过程中,参考了相关的教材、教学辅导书和网络电子资料等,在此对相关作者表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促加之编者水平所限,书中难免出现疏漏和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2017年7月

# 目 录

第 1 章	质点运动学	1
第 2 章	牛顿运动定律	12
第 3 章	动量	20
第 4 章	功和能	28
第 5 章	刚体的定轴转动	40
第 6 章	狭义相对论	54
第 7 章	机械振动	64
第 8 章	机械波	79
第 9 章	气体动理论	96
第 10 章	热力学基础	104
第 11 章	真空中的静电场	116
第 12 章	静电场中的导体和电介质	135
第 13 章	真空中恒定电流的磁场	156
第 14 章	磁介质	172
第 15 章	电磁感应	176
第 16 章	电磁场理论和电磁波	193
第 17 章	光的干涉	199
第 18 章	光的衍射	210
第 19 章	光的偏振	217
第 20 章	光的量子性	223
第 21 章	量子物理基础	230
应用能力提升练习参考答案		240
综合练习题		241
综合练习题参考答案		281
参考文献		317
常用物理常量表		318

# 第 1 章 质点运动学

质点力学内容总括:

	分类	研究内容
质点力学	运动学	物体运动规律(第 1 章 质点运动学)
	动力学	力的瞬时效应(第 2 章 牛顿运动定律)
		力对时间的累积(第 3 章 动量)
		力对空间的累积(第 4 章 功和能)

## 1.1 教学基本要求

1. 理解质点模型和参考系等概念.
2. 掌握位矢、位移、速度、加速度、角速度等描述质点运动和运动变化的物理量.
3. 能借助于直角坐标系计算质点在平面内运动时的速度、加速度.
4. 能计算质点做圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度.
5. 理解伽利略相对性原理,理解伽利略坐标、速度变换.能够分析与平动有关的相对运动问题.

## 1.2 章节重点难点

重点: 1. 位矢  $\boldsymbol{r}$  及由此而派生的位移  $\Delta\boldsymbol{r}$ 、速度  $\boldsymbol{v}$ 、加速度  $\boldsymbol{a}$ .

2. 圆周运动的角量描述及角线量关系.

难点: 1. 位移、速度、加速度的计算.

2. 相对运动问题.

## 1.3 知识内容精讲

### 一、运动的描述

1. 描述质点运动的基本物理量

(1) 位置矢量(位矢)

位置矢量是描述质点在该时刻位置的物理量. 在三维直角坐标系中,可表示为

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

(2) 位移

位移是描述时间间隔  $\Delta t$  内质点位置变化的物理量,与时间间隔  $\Delta t$  相对应.在三维直角坐标系中,表示为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k}$$

## (3) 速度

速度是描述质点位置变化快慢的物理量,速度的大小称为速率,速度和速率分为:平均速度、瞬时速度,平均速率、瞬时速率.

$$\text{平均速度: } \bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

$$\text{瞬时速度(常简称为速度): } \mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k}$$

$$\text{平均速率: } \bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$\text{瞬时速率: } v = \frac{ds}{dt}$$

## (4) 加速度

加速度是描述质点运动速度变化快慢的物理量,分为:平均加速度和瞬时加速度.

$$\text{平均加速度: } \bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

瞬时加速度(常简称为加速度),可用公式表示为

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\mathbf{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\mathbf{k} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k}$$

注意:

① 如图 1.1 所示,运动学问题中要注意区分  $\Delta \mathbf{r}$ 、 $|\Delta \mathbf{r}|$ 、 $\Delta r$ 、 $\Delta s$ :

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1, \quad |\Delta \mathbf{r}| = |\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|, \quad \Delta r = |\mathbf{r}_2| - |\mathbf{r}_1|$$

②  $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta s$ ;  $|\mathbf{dr}| = ds$ . 即位移不等于路程,但微小位移等于微小路程.

③  $|\mathbf{v}| \neq \bar{v}$ ;  $|\mathbf{v}| = v$ . 即平均速度大小不等于平均速率;瞬时速度大小等于瞬时速率.

④  $\mathbf{a} = |d\mathbf{v}/dt| \neq dv/dt$ .

## 2. 描述圆周运动的特征物理量

## (1) 角位置和角位移

在极坐标系中,以任意半径为坐标轴,物体的位置可以用其所在位置的半径与坐标轴的夹角表示,即角位置  $\theta$ ;当物体运动时,角位置的变化  $\Delta\theta$  称为角位移.

角位移是标量,但微小角位移  $d\theta$  是矢量.  $d\theta$  的方向与物体旋转方向成右手螺旋关系.

## (2) 角速度

$$\text{平均角速度: } \bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\text{瞬时角速度: } \omega = \frac{d\theta}{dt}$$

## (3) 角加速度

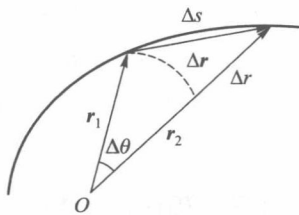


图 1.1



平均角加速度:  $\bar{\alpha} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$

瞬时角加速度:  $\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$

#### (4) 切向加速度和法向加速度

在自然坐标系中,下角标  $t$  代表切向,  $n$  代表法向. 圆周运动的加速度可表示为

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = a_t \mathbf{e}_t + a_n \mathbf{e}_n = \frac{dv}{dt} \mathbf{e}_t + \frac{v^2}{R} \mathbf{e}_n$$

切向加速度:是由速度大小变化引起的,  $a_t = \frac{dv}{dt} = R\alpha$ .

法向加速度:是由速度方向变化引起的,  $a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$ .

加速度大小:  $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$ ;

加速度方向:  $\varphi = \arctan \frac{a_n}{a_t}$  ( $\varphi$  是  $\mathbf{a}$  与  $\mathbf{a}_t$  的夹角), 加速度不总指向圆心.

#### (5) 线速度及角量和线量的关系

线速度:  $\mathbf{v} = v\mathbf{e}_t$

角量和线量的基本关系:

$$s = R\theta \quad (s \text{ 是弧心角 } \theta \text{ 对应的弧长, } ds = R d\theta)$$

$$v = R\omega$$

$$a_t = \frac{dv}{dt} = R\alpha, \quad a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$$

### 3. 运动方程和轨道方程

(1) 运动方程:质点的位置和时间的函数关系. 可表示为

$$\mathbf{r} = r(t), \quad s = s(t), \quad \theta = \theta(t)$$

在直角坐标系中表示为

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

或分运动方程:

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t)$$

(2) 轨道方程:分运动方程中消去参量  $t$ , 得到的方程:

$$y = f(x) \quad \text{或} \quad f(x, y, z) = 0$$

运动方程在运动学中地位很重要, 因为只要知道运动方程, 便可以求得速度、加速度、轨道方程等, 也就是说, 已知运动方程则质点的运动情况就知道了.

## 二、几种基本运动形式的规律

### 1. 直线运动

#### (1) 匀变速直线运动

特点:  $a = C$ .

规律:  $v = v_0 + at$ ;  $x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ ;  $v^2 - v_0^2 = 2ax$ .

## (2) 非匀变速直线运动

特点:  $a \neq C$ .

规律:  $a = \frac{dv}{dt}$ ;  $v = \frac{dx}{dt}$ .

## 2. 曲线运动

### (1) 抛体运动

特点:  $a = C$ .

规律: 以抛出点为坐标原点, 水平向右为  $x$  轴正方向, 竖直向上为  $y$  轴正方向, 建立二维直角坐标系, 则

$$\boldsymbol{r} = (v_0 \cos \alpha) \boldsymbol{i} + \left( v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2} g t^2 \right) \boldsymbol{j}$$

$$\boldsymbol{v} = (v_0 \cos \alpha) \boldsymbol{i} + (v_0 \sin \alpha - g t) \boldsymbol{j}$$

$$\boldsymbol{a} = -g \boldsymbol{j}$$

轨迹方程为

$$y = x \tan \alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2$$

### (2) 圆周运动

特点:

匀速率圆周运动:  $\alpha = 0$ ;  $\omega = C$ ;  $a_n = C$ ;  $a_t = 0$ .

匀变速率圆周运动:  $\alpha = C$ ;  $\omega \neq C$ ;  $a_n \neq C$ ;  $a_t = C$ .

变速率圆周运动:  $\alpha \neq C$ ;  $\omega \neq C$ ;  $a_n \neq C$ ;  $a_t \neq C$ .

规律:

匀速率圆周运动:  $\theta = \omega t$ .

匀变速率圆周运动:  $\omega = \omega_0 + \alpha t$ ;  $\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$ ;  $\omega^2 - \omega_0^2 = 2\alpha\theta$ .

变速率圆周运动:  $\theta = \theta(t)$ ;  $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ ;  $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$ .

说明:

在匀速率圆周运动中, 速度  $\boldsymbol{v} = v \boldsymbol{e}_t$ , 速度大小不变, 但方向时刻变化, 所以是变速运动, 存在加速度, 这个加速度就是法向加速度, 其大小  $a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$ , 方向与速度垂直而指向圆心. 法向加速度只改变速度方向而不改变速度的大小.

### (3) 一般曲线运动

法向加速度:  $a_n = \frac{v^2}{\rho}$ .  $\rho$  为曲率半径, 其倒数为曲率.

## 3. 相对运动

描述一个质点相对于两个相对做平动的参考系的运动关系. 这里相对地球静止的坐标系称为静系; 相对静系运动的坐标系称为动系; 动系相对静系的运动关系用牵连表示. 对应的量用绝对、相对或牵连加以区别.

位矢关系:  $\boldsymbol{r}_{\text{绝对}} = \boldsymbol{r}_{\text{相对}} + \boldsymbol{r}_{\text{牵连}}$

位移关系:  $\Delta \boldsymbol{r}_{\text{绝对}} = \Delta \boldsymbol{r}_{\text{相对}} + \Delta \boldsymbol{r}_{\text{牵连}}$

速度关系:  $\boldsymbol{v}_{\text{绝对}} = \boldsymbol{v}_{\text{相对}} + \boldsymbol{v}_{\text{牵连}}$

加速度关系:  $\boldsymbol{a}_{\text{绝对}} = \boldsymbol{a}_{\text{相对}} + \boldsymbol{a}_{\text{牵连}}$

## 三、运动学计算的两类基本问题

(1) 已知运动学方程  $\boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$ , 求速度  $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}(t)$ 、加速度  $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}(t)$ . 求解这类问题通常采用求导的方法.

(2) 已知加速度  $\boldsymbol{a}$  和初始条件  $\boldsymbol{r}_0, \boldsymbol{v}_0$ , 求运动方程  $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$ . 求解这类问题通常采用积分的方法.

积分方法解决问题的基本思路:

- ① 根据已知条件寻找变量的基本关系;
- ② 统一积分变量, 并分离积分变量;
- ③ 等式两边同时积分, 根据初始条件确定积分上下限;
- ④ 积分并整理得出结果.

例如: 导出匀变速运动的速度公式和位移公式的基本思路如下表所示.

	速度公式	位移公式
寻找基本关系	$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt}$	$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}$
分离并统一积分变量	$d\boldsymbol{v} = \boldsymbol{a} dt$	$d\boldsymbol{r} = \boldsymbol{v} dt = (\boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{a}t) dt$
同时积分并确定积分上下限	$\int_{v_0}^v d\boldsymbol{v} = \int_0^t \boldsymbol{a} dt$	$\int_{r_0}^r d\boldsymbol{r} = \int_0^t (\boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{a}t) dt$
积分并得出结果	$\boldsymbol{v} - \boldsymbol{v}_0 = \boldsymbol{a}t$	$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_0 + \boldsymbol{v}_0 t + \frac{1}{2} \boldsymbol{a}t^2$

## 1.4 精选例题详解

**例题 1.1** 已知一个质点的运动方程为  $\boldsymbol{r} = 2t\boldsymbol{i} + (2-t^2)\boldsymbol{j}$  (SI 单位). 求:

- (1)  $t = 1$  s 和  $t = 2$  s 时质点的位矢;
- (2) 1 s 末和 2 s 末的速度;
- (3) 加速度.

**解:** (1)  $t = 1$  s 时,  $\boldsymbol{r}_1 = 2\boldsymbol{i} + \boldsymbol{j}$ ;  $t = 2$  s 时,  $\boldsymbol{r}_2 = 4\boldsymbol{i} - 2\boldsymbol{j}$ .

(2) 质点运动的速度

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = 2\boldsymbol{i} - 2t\boldsymbol{j}$$

$t=1\text{ s}$  时,  $v_1=2i-2j$ , 即  $v_1=2\sqrt{2}\text{ m/s}$ ,  $\theta_1=45^\circ$  ( $\theta_1$  为  $v_1$  与  $x$  轴的夹角);

$t=2\text{ s}$  时,  $v_2=2i-4j$ , 即  $v_2=2\sqrt{5}\text{ m/s}$ ,  $\theta_2=-62^\circ 23'$  ( $\theta_2$  为  $v_2$  与  $x$  轴的夹角).

(3) 质点的加速度

$$a = \frac{dv}{dt} = -2j$$

**例题 1.2** 质点沿  $x$  轴运动, 其加速度  $a=A(1-Bt)$  ( $A$ 、 $B$  均为正值常量).  $t=0$  时,  $x_0=0$ ,  $v=v_0$ ,  $v_0$  与  $x$  轴同向, 试求:

(1)  $v=v(t)$ ;

(2)  $x=x(t)$ .

解: (1) 由  $a = \frac{dv}{dt}$  得

$$dv = a dt = A(1-Bt) dt$$

两边积分

$$\int_{v_0}^v dv = \int_0^t A(1-Bt) dt$$

求得

$$v = v_0 + At \left(1 - \frac{B}{2}t\right)$$

(2) 由  $v = \frac{dx}{dt}$  得

$$dx = v dt = \left[ v_0 + At \left(1 - \frac{B}{2}t\right) \right] dt$$

两边积分

$$\int_0^x dx = \int_0^t \left( v_0 + At - \frac{1}{2}ABt^2 \right) dt$$

求得

$$x = v_0 t + \frac{1}{2}At^2 - \frac{1}{6}ABt^3$$

**例题 1.3** 设某质点沿  $x$  轴运动, 其加速度  $a=8x^3+12x^2+4x$  (SI 单位), 已知质点在坐标原点处速度为零, 求质点在任意位置时的速度.

解:  $a = \frac{dv}{dt} = 8x^3 + 12x^2 + 4x$ , 式中  $a$  是  $x$  的函数, 求的是  $v$  与  $x$  的函数关系, 但式中没有  $dx$  却有  $dt$ , 因此要消去  $dt$  使等式中出现一个  $dx$ , 这是求解问题的关键所在. 这里采用的是变量代换的方法, 可消去  $dt$  得到  $dx$ :

$$8x^3 + 12x^2 + 4x = \frac{dv}{dt} \cdot \frac{dx}{dx} = v \frac{dv}{dx}$$

$$v dv = (8x^3 + 12x^2 + 4x) dx$$

两边同时积分

$$\int_0^v v dv = \int_0^x (8x^3 + 12x^2 + 4x) dx$$

$$v^2 = 4x^2(x^2 + 2x + 1)$$

求得

$$v = 2x(x+1)$$

这种变量代换的方法在某些题中仍可用到,请读者注意.

**例题 1.4** 质点做圆周运动,  $R=2\text{ m}$ , 路程  $s$  与时间  $t$  的关系为  $s=4t^2-2t$  (SI 单位). 求:

- (1)  $t=2\text{ s}$  时质点的线速度  $v$ 、角速度  $\omega$ 、角加速度  $\alpha$ ;  
 (2)  $t$  为何值时, 法向加速度等于切向加速度, 该时刻总加速度是多少?

解: 
$$v = \frac{ds}{dt} = 8t - 2$$

$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{1}{R}(8t - 2)$$

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{8}{R}$$

(1) 将  $t=2\text{ s}$  代入可得

$$v = 14\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \quad \omega = 7\text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}, \quad \alpha = 4\text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

(2) 
$$a_t = \frac{dv}{dt} = 8\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}, \quad a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{1}{R}(8t - 2)^2$$

当  $a_n = a_t$  时,  $\frac{1}{R}(8t - 2)^2 = 8$ , 求得

$$t = 0.75\text{ s}$$

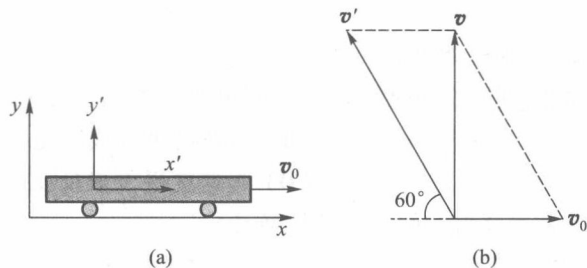
由于  $a_n = a_t = 8\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , 可知

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} = 11.3\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

**例题 1.5** 如图(a)所示, 一观察者 A 坐在平板车上, 车以  $10\text{ m/s}$  的速率沿水平轨道前进, 他以与车前进方向的反方向呈  $60^\circ$  角向上斜抛出一石块, 此时站在地面上的观察者 B 看到石块竖直向上运动, 求石块上升的高度.

解: 此题为相对运动问题, 按照题意作矢量图, 如图(b)所示. 设汽车速度是  $v_0$ , B 测得石块上升速度为  $v$ , A 测得石块上升速度为  $v'$ , 由速度合成定理得

$$v = v_0 + v'$$



例题 1.5 图

根据图(b)中几何关系, 有

$$v = v_0 \tan 60^\circ = 10 \tan 60^\circ\text{ m/s} = 17.3\text{ m/s}$$

观察者 B 看到石块做竖直上抛运动, 则

$$H = \frac{v^2}{2g} = \frac{(17.3)^2}{2 \times 9.8} \text{ m} = 15.3 \text{ m}$$

## 1.5 应用能力提升练习

### 一、选择题

1.1 某质点的运动方程为  $x = 2\cos 5.0t$  ( $x$  以 m 计,  $t$  以 s 计). 它在  $\pi$  s 时的速度  $v$  和加速度  $a$  为[ ].

- (A)  $v = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, a = 0$  (B)  $v = 0, a = 50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$   
 (C)  $v = -10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, a = 0$  (D)  $v = 0, a = -50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

【知识点提示:运动学第一类问题——已知位置矢量,求速度和加速度表达式.】

1.2 质点做直线运动,加速度为  $\omega^2 A \sin \omega t$ . 已知  $t=0$  时,质点的初状态为  $x_0=0, v_0=-\omega A$ , 则该质点的运动方程为[ ].

- (A)  $x = -A \sin \omega t$  (B)  $x = A \sin \omega t$   
 (C)  $x = -A \cos \omega t$  (D)  $x = A \cos \omega t$

【知识点提示:运动学第二类问题——已知加速度表达式和初始条件,求速度和位置矢量.】

1.3 一个质点做直线运动,某时刻的瞬时速度  $v = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 瞬时加速度  $a = -2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , 则 1 s 后质点的速度大小为[ ].

- (A) 零 (B)  $-2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$   
 (C)  $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (D) 不能确定

【知识点提示:加速度和速度的矢量性.】

1.4 某物体的运动规律为  $\frac{dv}{dt} = -kv^2 t$ , 式中  $k$  为正值常量. 当  $t=0$  时, 初速度为  $v_0$ . 则速度  $v$  与时间  $t$  的函数关系为[ ].

- (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)  $\frac{1}{v} = -\frac{kt^2}{2} + \frac{1}{v_0}$

【知识点提示:分离变量,求解微分方程.】

1.5 沿直线运动的物体,其速度与时间成反比,则其加速度大小与速度大小的关系是[ ].

- (A) 与速度成正比 (B) 与速度平方成正比  
 (C) 与速度成反比 (D) 与速度平方成反比

【知识点提示:加速度是速度对时间的一阶导数.】

1.6 某人骑自行车以速率  $v$  向西行驶,今有风以相同速率从北偏东  $30^\circ$  方向吹来,则人感到风从哪个方向吹来? [ ].

- (A) 北偏东  $30^\circ$  (B) 南偏东  $30^\circ$   
 (C) 北偏西  $30^\circ$  (D) 西偏东  $30^\circ$

【知识点提示:伽利略速度变换——风相对于人的速度等于风速(风相对于地)减去人相对于地的速度.】

1.7 一飞机相对空气的速度为  $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , 风速为  $56 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , 方向从西向东. 地面雷达测得飞机的速度大小是  $192 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ , 方向是[ ].

- (A) 南偏西  $16.3^\circ$  (B) 北偏东  $16.3^\circ$   
(C) 西偏东  $16.3^\circ$  (D) 正南或正北

【知识点提示:伽利略速度变换——飞机相对于雷达(地面)的速度等于飞机相对于空气(风)的速度加上风速.】

1.8 飞轮绕定轴做匀速转动时,飞轮边缘上任一点的[ ].

- (A) 切向加速度为零,法向加速度不为零  
(B) 切向加速度不为零,法向加速度为零  
(C) 切向加速度和法向加速度均为零  
(D) 切向加速度和法向加速度均不为零

【知识点提示:匀速圆周运动的特点.】

1.9 一质点沿半径为  $R$  的圆周按规律  $s = v_0 t - \frac{1}{2} b t^2$  运动,  $v_0$ 、 $b$  都是常量. 则当加速度达到  $b$  时,质点已沿圆周运行了多少圈? [ ].

- (A)  $\frac{v_0}{4\pi b R}$  (B)  $\frac{v_0}{2\pi b R}$  (C)  $\frac{v_0^2}{4\pi b R}$  (D)  $\frac{v_0^2}{2\pi b R}$

【知识点提示:圆周运动的速率等于路程对时间的一阶导数(自然坐标系).】

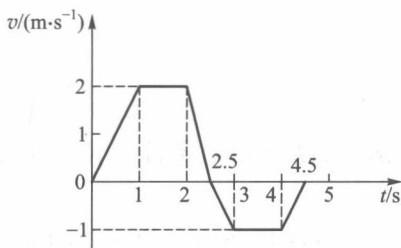
## 二、填空题

1.10 一质点沿  $x$  轴做直线运动,其  $v-t$  曲线如图所示,如  $t=0$  时,质点位于坐标原点,则  $t=4.5 \text{ s}$  时,质点在  $x$  轴上的位置为\_\_\_\_\_.

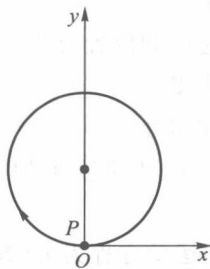
【知识点提示:已知速度和初始条件求位置矢量,用积分的运算方式,注意速度的正负取值.】

1.11 如图所示,一个质点  $P$  从  $O$  点出发以匀速率  $1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$  做顺时针的圆周运动,圆的半径为  $1 \text{ m}$ . 当它走过  $2/3$  圆周时,走过的路程为\_\_\_\_\_,这段时间内平均速度大小为\_\_\_\_\_,方向为\_\_\_\_\_.

【知识点提示:圆周运动的路程、速度、平均速度的关系,注意平均速度的矢量性.】



练习题 1.10 图



练习题 1.11 图

1.12 一个质点的运动方程为  $x = 6t - t^2$  (SI 单位), 则在  $t$  由  $0$  至  $4 \text{ s}$  的时间间隔内,质点的位移大小为\_\_\_\_\_,在  $t$  由  $0$  至  $4 \text{ s}$  的时间间隔内质点走过的路程为\_\_\_\_\_.

【知识点提示:位移是物体始末位置的改变,是运动方程对时间求一阶导数,路程是物体运动

的实际轨迹的长度.]

1.13 已知质点的位矢  $\boldsymbol{r} = At^2\boldsymbol{i} + B\cos \omega t\boldsymbol{j}$ , 其中  $A, B$  均为常量, 则质点的速度  $\boldsymbol{v} =$  \_\_\_\_\_, 加速度  $\boldsymbol{a} =$  \_\_\_\_\_.

【知识点提示: 已知位置矢量求速度、加速度用求导的运算方式.】

1.14 有一水平飞行的飞机, 速度为  $v_0$ , 在飞机上以水平速度  $v$  向前发射一颗炮弹, 略去空气阻力并设发炮过程不影响飞机的速度, 则

(1) 以地球为参考系, 炮弹的轨迹方程为 \_\_\_\_\_;

(2) 以飞机为参考系, 炮弹的轨迹方程为 \_\_\_\_\_.

【知识点提示: 牛顿运动定律仅适用于惯性参考系, 一般取地球为惯性参考系.】

1.15 质点沿一个圆周运动, 运动方程为  $\theta = t^3 + 4t - 3$  (SI 单位), 则  $t = 2$  s 时, 质点的角速度  $\omega =$  \_\_\_\_\_, 质点的角加速度  $\alpha =$  \_\_\_\_\_.

【知识点提示: 圆周运动中, 已知角位置, 求角速度和角加速度用求导的运算方式.】

1.16 一质点沿半径  $R = 3$  m 的圆周运动, 切向加速度  $a_t = 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . 则  $t = 2$  s 时, 它的法向加速度  $a_n =$  \_\_\_\_\_, 2 s 内质点经过的路程为 \_\_\_\_\_, 角位移为 \_\_\_\_\_.

【知识点提示: 圆周运动的切向、法向加速度表达式, 角量和线量的关系.】

### 三、计算题

1.17 一物体做直线运动, 它的运动学方程为  $x = at + bt^2 + ct^3$ , 其中  $a, b, c$  均为常量. 求:

(1)  $t = 1$  s— $2$  s 期间的位移, 平均速度和平均加速度;

(2)  $t = 2$  s 时的速度和加速度.

【知识点提示: 已知运动学方程, 求速度和加速度表达式, 用求导的运算方式.】

1.18 质点沿  $x$  轴运动, 方程为  $x = 10t^2 - 5t$  (SI 单位), 求:

(1) 质点的速度、加速度公式, 质点的初速度是多少? 方向如何?

(2) 质点在原点左方最远处的位置;

(3)  $x = 0$  时, 质点的速度如何?

【知识点提示: 已知运动学方程, 求速度和加速度表达式, 用求导的运算方式.】

1.19 质点在  $x$  轴上运动, 速度  $v$  与  $t$  的关系式为  $v = 4 + 3t^2$  (SI 单位), 当  $t = 2$  s 时, 质点在原点左边 24 m 处, 求:

(1) 质点加速度和位置公式;

(2) 初速度为多少?

(3) 初位置在何处?

【知识点提示: 已知速度求加速度用求导运算, 结合初始条件求位置矢量用积分的运算方式.】

1.20 质点的运动方程为  $x = 2t, y = 19 - 2t^2$ , 式中  $x, y$  以 m 计,  $t$  以 s 计, 求:

(1) 质点的运动轨道;

(2) 写出  $t = 1$  s,  $t = 2$  s 时刻质点的位置矢量, 并计算这 1 s 内质点的平均速度;

(3) 2 s 末质点的速度和加速度;

(4)  $t$  为何值时, 位置矢量和速度矢量恰好垂直? 此时  $x, y$  各为多少?

【知识点提示: 在二维的方向上分别求导, 求出  $x, y$  两个方向的速度和加速度分量.】

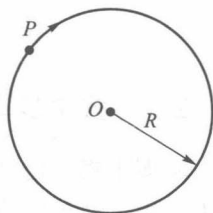


1.21 物体以初速  $v_0 = 20 \text{ m/s}$  抛出, 抛射角  $\theta = 60^\circ$ , 求:

- (1) 物体开始运动  $1.5 \text{ s}$  后在什么位置, 运动方向与水平夹角  $\theta$  为多少?
- (2) 抛出后经多少时间  $v$  与水平夹角  $\theta = 45^\circ$ , 这时抛物体的高度为多少?

【知识点提示: 在水平和竖直两个方向分别应用运动学的规律, 水平方向加速度为零, 竖直方向加速度为重力加速度.】

1.22 如图所示, 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  $\omega$  与时间  $t$  的函数关系为  $\omega = kt^2$  ( $k$  为常量). 已知  $t = 2 \text{ s}$  时, 质点  $P$  的速度值为  $32 \text{ m/s}$ . 试求  $t = 1 \text{ s}$  时, 质点  $P$  的速度与加速度的大小.



练习题 1.22 图

【知识点提示: 圆周运动的线量和角量的关系.】

1.23 一艘行驶的船, 关闭发动机时 ( $t = 0$ ) 的速度为  $v_0$ , 其加速度为  $a = -kv$ , 式中  $k$  为正值常量, 求:

- (1) 船速  $v$  与  $t$  的关系式;
- (2) 船此后行走的路程  $x$  与  $t$  的关系式;
- (3) 船速  $v$  与  $x$  的关系式.

【知识点提示: 已知加速度表达式和初始条件求速度和位置矢量表达式, 用积分.】