高等教育“十三五”规划教材

苏欣纺 主编
魏京花 余丽芳 黄伟 等 副主编

普通物理全程指导

清华大学出版社

普通物理
全程指导

苏欣纺 主 编
魏京花 余丽芳 黄 伟 王俊平 聂传辉 陈 蕾 马黎君 副主编

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是为清华大学出版社魏京花主编的《普通物理教程》上册和下册（第 2 版）而编写的习题分析与解答。

本书按主教材篇章次序分为力学、电磁学、热学、振动与波、波动光学、量子物理基础等 6 篇共 15 章。每章都对知识点进行了梳理，给出了教学基本要求和内容提要，并针对各章的全部习题逐一进行了详细的解答。

本书可作为主教材的配套用书，也可供高等学校理工科非物理专业师生和社会读者使用。

图书在版编目（CIP）数据

普通物理全程指导/苏欣纺主编. —北京：清华大学出版社，2017
ISBN 978-7-302-48063-1

Ⅰ. ①普… Ⅱ. ①苏… Ⅲ. ①普通物理学－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 205823 号

责任编辑：佟丽霞
封面设计：常雪影
责任校对：刘玉霞
责任印制：王静怡

出版发行：清华大学出版社
网　　址：http://www.tup.com.cn，http://www.wqbook.com
地　　址：北京清华大学学研大厦 A 座　　**邮　　编**：100084
社 总 机：010-62770175　　**邮　　购**：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质量反馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 装 者：北京鑫海金澳胶印有限公司
经　　销：全国新华书店
开　　本：185mm×260mm　　**印　　张**：11.5　　**字　　数**：278 千字
版　　次：2017 年 12 月第 1 版　　**印　　次**：2017 年 12 月第 1 次印刷
印　　数：1～2000
定　　价：29.80 元

产品编号：061003-01

前言

FOREWORD

本书是为魏京花主编的《普通物理教程》上册和下册(第2版)而编写的习题分析与解答。

"物理学"是理工科学生的必修课程,为了更好地帮助学生学好大学物理,使学生真正掌握所学知识及其内涵,了解重点、难点和解题思路,并用以解决实际问题,达到事半功倍的效果,我们编写了这本习题分析与解答。

本书按主教材篇章次序分为力学、电磁学、热学、振动与波、波动光学、量子物理基础等6篇共15章。每章由基本要求、内容提要和习题解答三部分组成。其中基本要求向读者指明该章必须掌握的主要内容,反映了章节的重点,可成为读者判断该章内容主与次、重点与一般的依据;内容提要部分是为方便读者掌握各章内容体系的结构和脉络而设,对各章知识点进行梳理,给出各章节教学内容及定理公式,使读者在复习各章内容时思路清晰,重点突出,方便有效地解决实际问题;习题解答针对各章的全部习题逐一进行了详细的解析,在解题过程中注重培养和锻炼学生分析问题、解决问题的能力,有助于学生深入理解章节知识点。

本书由苏欣纺、魏京花、余丽芳、黄伟、王俊平、聂传辉、陈蕾和马黎君8位教师共同编写完成。全书分为6篇15章,其中苏欣纺编写第5、6、11、13章,魏京花编写第1、9、10章,余丽芳编写第8、12章,黄伟编写第4章,王俊平编写第2章,聂传辉编写第7章,陈蕾编写第14、15章,马黎君编写第3章,全书由苏欣纺负责统稿,黄伟教授仔细审稿并定稿。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不当之处,恳请使用本书的师生和其他读者,随时提出宝贵意见。

编　者

2017年10月

目录

CONTENTS

第1篇 力 学

第2篇 电 磁 学

第 3 篇　热　　学

第 4 篇　振动与波

第5篇 波动光学

第6篇 量子物理基础

第1篇

力　学

第1章

质点运动学

一、基本要求

1. 理解质点、参照系、坐标系等概念。

2. 掌握位置矢量、位移、速度、加速度的概念及特点(矢量性、瞬时性和相对性)。

3. 能运用直角坐标系熟练地计算质点运动的速度和加速度(切向加速度和法向加速度)。

4. 能分析质点的相对运动问题。

二、内容提要

1. 描写质点运动的4个物理量

位置矢量：描述质点在空间的位置情况。

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

位移：描述质点位置的改变情况。

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

速度：描述质点位置变动的快慢和方向。

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}$$

加速度：描述质点速度的变化情况。

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2} = \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2}\boldsymbol{k}$$

上述4个物理量均具有矢量性、瞬时性和相对性。

2. 圆周运动的速度和加速度

(1) 线量描述

线速度$\boldsymbol{v}$：方向沿切向，大小为其运动的速率，$v=\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$。

切向加速度 $\boldsymbol{a}_\tau$：方向沿切向（$a_\tau>0$，$\boldsymbol{a}_\tau$ 与 $\boldsymbol{v}$ 同向，加速；$a_\tau<0$，$\boldsymbol{a}_\tau$ 与 $\boldsymbol{v}$ 反向，减速），大小为 $a_\tau=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$。

法向加速度 $\boldsymbol{a}_n$：方向指向圆心，大小为 $a_n=\dfrac{v^2}{R}$。

线加速度 $\boldsymbol{a}$：方向指向轨迹凹的一侧。

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_\tau+\boldsymbol{a}_n,\quad a=\sqrt{a_\tau^2+a_n^2},\quad \tan(\boldsymbol{a},\boldsymbol{v})=\frac{a_n}{a_\tau}$$

（2）角量描述

角位置：$\theta(t)$。

角速度：$\omega=\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$。

角加速度：$\alpha=\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2}$。

（3）线量与角量的关系

$$s=R\theta,\quad v=R\omega,\quad a_\tau=R\alpha,\quad a_n=R\omega^2$$

3. 伽利略速度变换

$$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}'+\boldsymbol{u}$$

4. 求解运动学习题需注意的问题

（1）已知运动学方程求轨道方程、速度及加速度

解这类问题时，消去运动方程中的参量 t，得轨道方程；由运动方程对 t 求导数，可得质点的速度和加速度。

（2）已知加速度和初始条件求速度及运动方程

这类问题是微分法的逆运算，需要用积分的方法求解，积分可采用定积分或不定积分，要注意初始条件的正确使用。

（3）注意位移与路程的区别，平均速度与平均速率定义的不同点

平均速度 $\overline{\boldsymbol{v}}=\dfrac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}$ 为矢量，平均速率 $\overline{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$ 为标量。

三、习题解答

（一）选择题

1. 一运动质点在某瞬时位于矢径 $\boldsymbol{r}(x,y)$ 的端点处，其速度大小为[　　]。

A. $\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$　　　　B. $\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$

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

【分析与解答】

$\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$ 表示质点到坐标原点的距离随时间的变化率，$\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$ 表示速度矢量，$\dfrac{\mathrm{d}|\boldsymbol{r}|}{\mathrm{d}t}$ 与 $\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$ 意义相同。

在直角坐标系中，速度大小即速率可由 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{\left(\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2+\left(\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$ 求解，在自然坐标系中，速率可用公式 $v=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$ 计算。

正确答案是 D。

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

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

【分析与解答】

$\boldsymbol{v}=2at\boldsymbol{i}+2bt\boldsymbol{j}$ 是变速运动，$x=at^2$，$y=bt^2$，$x=\frac{a}{b}y$ 为直线方程。

正确答案是 B。

3. 某质点的速度为 $\boldsymbol{v}=2\boldsymbol{i}-8t\boldsymbol{j}$，已知，$t=0$ 时它过点(3，−7)，则该质点的运动方程为[　　]。

A. $2t\boldsymbol{i}-4t^2\boldsymbol{j}$　　B. $(2t+3)\boldsymbol{i}-(4t^2+7)\boldsymbol{j}$

C. $-8\boldsymbol{j}$　　D. 不能确定

【分析与解答】

$$\boldsymbol{r}=\int\boldsymbol{v}\mathrm{d}t=2t\boldsymbol{i}-4t^2\boldsymbol{j}+c=(2t+3)\boldsymbol{i}-(4t^2+7)\boldsymbol{j}$$

正确答案是 B。

4. 以初速 v_0 将一物体斜向上抛，抛射角为 θ，不计空气阻力，则物体在轨道最高点处的曲率半径为[　　]。

A. $\frac{v_0\sin\theta}{g}$　　B. $\frac{g}{v_0^2}$　　C. $\frac{v_0^2\cos^2\theta}{g}$　　D. 不能确定

【分析与解答】

轨道最高点 $\boldsymbol{v}=v_x\boldsymbol{i}$，$v^2=v_x^2=(v_0\cos\theta)^2$，$a_n=g=\frac{v^2}{\rho}$，故曲率半径 $\rho=\frac{v^2}{g}$。

正确答案是 C。

5. 质点沿半径为 R 的圆周作匀速率运动，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. $\frac{2\pi R}{T}$，$\frac{2\pi P}{T}$　　B. 0，$\frac{2\pi R}{T}$　　C. 0，0　　D. $\frac{2\pi R}{T}$，0

【分析与解答】

平均速度为位移除以时间间隔，平均速率为路程除以时间，质点沿半径为 R 的圆周转动一周，位移为零，路程等于 $2\pi R$。

正确答案是 B。

6. 某物体的运动规律为 $\mathrm{d}v/\mathrm{d}t=-kv^2t$，式中的 k 为大于零的常量。当 $t=0$ 时，初速为 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. $\frac{1}{v}=-\frac{kt^2}{2}+\frac{1}{v_0}$

【分析与解答】

$\frac{dv}{v^2}=-kt\,dt$，两边进行定积分$\int_{v_0}^{v}\frac{dv}{v^2}=\int_0^t -kt\,dt$，得$\frac{1}{v}-\frac{1}{v_0}=\frac{1}{2}kt^2$。

正确答案是C。

7. 一个质点在作匀速率圆周运动时[　　]。

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

【分析与解答】

质点在作匀速率圆周运动时速率不变，切向加速度为零，法向加速度的大小不变，但方向时时改变，故切向加速度不变，法向加速度改变。

正确答案是B。

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

A. $t=4\text{s}$　　B. $t=2\text{s}$　　C. $t=8\text{s}$　　D. $t=5\text{s}$

【分析与解答】

小球运动到最高点的速度为零。$\frac{dx}{dt}=4-2t=0$，$t=2(\text{s})$。

正确答案是B。

9. 质点沿曲线运动，t_1 时刻速度为 $\boldsymbol{v}_1=6\boldsymbol{i}+8\boldsymbol{j}(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$；$t_2$ 时刻速度为 $\boldsymbol{v}_2=-6\boldsymbol{i}-8\boldsymbol{j}(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$；那么，其速度增量的大小 $|\Delta\boldsymbol{v}|$ 和速度大小的增量 Δv 分别为[　　]。

A. $|\Delta\boldsymbol{v}|=0$，$\Delta v=20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$　　B. $|\Delta\boldsymbol{v}|=20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$，$\Delta v=0$

C. 均为 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$　　D. 均为零

【分析与解答】

速度增量的大小 $|\Delta\boldsymbol{v}|$：$|\boldsymbol{v}_2-\boldsymbol{v}_1|=|-6\boldsymbol{i}-8\boldsymbol{j}-6\boldsymbol{i}-8\boldsymbol{j}|=|-12\boldsymbol{i}-16\boldsymbol{j}|=20$；

速度大小的增量 Δv：$\Delta v=|\boldsymbol{v}_2|-|\boldsymbol{v}_1|=|-6\boldsymbol{i}-8\boldsymbol{j}|-|6\boldsymbol{i}+8\boldsymbol{j}|=0$。

正确答案是B。

（二）填空题

1. 某质点从静止出发沿半径为 $R=1\text{m}$ 的圆周运动，其角加速度随时间的变化规律是 $\alpha=12t^2-6t$，则质点的角速度大小为________，切向加速度大小为________。

【分析与解答】

因为：$R=1$，$t=0$，$\omega_0=0$；

所以：$\omega=\int_0^t \alpha\,dt=4t^3-3t^2$，$a_\tau=R\alpha=12t^2-6t$。

2. 质点 p 在一直线上运动，其坐标 x 与时间 t 有如下关系：$x=-A\sin(\omega t)$　(SI)(A 为常数)。(1)任意时刻 t，质点的加速度 $a=$________；(2)质点速度为零的时刻 $t=$________。

【分析与解答】

$$a=\frac{d^2x}{dt^2}=-A\omega^2\sin(\omega t)$$

当 $v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=-A\omega\cos(\omega t)=0$；$\cos(\omega t)=0$；$\omega t=(2n+1)\frac{\pi}{2}$；

所以 $t=\frac{1}{2}(2n+1)\pi/\omega\ (n=0,1,\cdots)$。

3. 两辆车 A 和 B，在笔直的公路上同向行驶，它们从同一起始线上同时出发，并且由出发点开始计时，行驶的距离 x 与行驶时间 t 的函数关系式：$x_A=4t+t^2$，$x_B=2t^2+2t^3$(SI)。(1)它们刚离开出发点时，行驶在前面的一辆车是________；(2)出发后，两辆车行驶距离相同的时刻是________；(3)出发后，B 车相对 A 车速度为零的时刻是________。

【分析与解答】

(1) 两辆车刚离开出发点时，行驶在前面的一辆车速率大 $v_A=4+2t$，$v_{A_0}=4(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$；$v_B=4t+6t^2$，$v_{B_0}=0(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$。

行驶在前面的一辆车是 A 车；

(2) 出发后，两辆车行驶距离相同的时刻满足：$x_A=x_B$，$4t+t^2=2t^2+2t^3$，$2t^2+t-4=0$，$t=\frac{-1+\sqrt{33}}{4}=1.19(\mathrm{s})$；

(3) 出发后，B 车相对 A 车速度为零的时刻满足：$v_A=v_B$，$4+2t=4t+6t^2$，$3t^2+t-2=0$，$t=\frac{2}{3}=0.67(\mathrm{s})$。

4. 一质点沿 x 方向运动，其加速度随时间变化关系为 $a=3+2t$ (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 $v=$________。

【分析与解答】

$$v-v_0=\int_0^t a\mathrm{d}t=3t+t^2$$

$$t=3\mathrm{s},\quad v=3t+t^2+v_0=23(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

5. 一质点沿直线运动，其运动学方程为 $x=6t-t^2$ (SI)，则在 t 由 0～4s 的时间间隔内，质点的位移大小为________，在 t 由 0～4s 的时间间隔内质点走过的路程为________。

【分析与解答】

位移：$\Delta x=x_4-x_0=24-16=8(\mathrm{m})$；

路程：由于在 0～4s 的时间间隔内质点作非单向直线运动，故需找到转向时刻与位置；

转向点：$v=6-2t=0$，$t=3\mathrm{s}$；

故路程：$s=|x_3-x_0|+|x_4-x_3|=9+|8-9|=10(\mathrm{m})$。

6. 一质点从坐标原点出发沿 x 轴运动，其速度随时间变化关系为 $\boldsymbol{v}=(6t-6t^2)\boldsymbol{i}(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$。在最初 2s 内质点的平均速度大小为________，平均速率为________。

【分析与解答】

平均速度：$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}$，$\boldsymbol{r}=\int\boldsymbol{v}\mathrm{d}t=(3t^2-2t^3)\boldsymbol{i}\ (t=0,\boldsymbol{r}=0)$；

最初 2s 内质点的平均速度大小为 $|\bar{\boldsymbol{v}}|=\frac{|\Delta\boldsymbol{r}|}{\Delta t}=\frac{|12-16|}{2}=2(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$；

平均速率：$\bar{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}$，转向点 $v=6t-6t^2=0$，$t=1\mathrm{s}$；

故路程：$s=|x_1-x_0|+|x_2-x_1|=1+|-4-1|=6(\mathrm{m})$；

平均速率：$\bar{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}=\dfrac{6}{2}=3(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$。

（三）计算题

1. 某质点在平面上作曲线运动，t_1 时刻位置矢量为 $\boldsymbol{r}_1=-2\boldsymbol{i}+6\boldsymbol{j}$，$t_2$ 时刻的位置矢量为 $\boldsymbol{r}_2=2\boldsymbol{i}+4\boldsymbol{j}$，求：

(1) 在 $\Delta t=t_2-t_1$ 时间内质点的位移矢量式；

(2) 该段时间内位移的大小和方向；

(3) 在坐标图上画出 $\boldsymbol{r}_1$，$\boldsymbol{r}_2$ 及 $\Delta\boldsymbol{r}$（题中 r 以 m 为单位，t 以 s 为单位）。

【分析与解答】

(1) 在 $\Delta t=t_2-t_1$ 时间内质点的位移矢量为 $\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1=4\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}(\mathrm{m})$；

(2) 该段时间内位移的大小为 $|\Delta\boldsymbol{r}|=\sqrt{x^2+y^2}=2\sqrt{5}(\mathrm{m})$，方向与 x 轴的夹角为 $\alpha=-26.6°$；

(3) 坐标图上的表示如图 1-1。

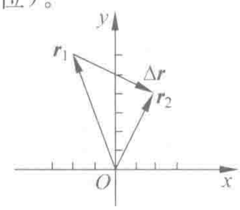

图 1-1

2. 某质点作直线运动，其运动方程为 $x=1+4t-t^2$，其中 x 以 m 计，t 以 s 计。求：

(1) 第 3 秒末质点的位置；

(2) 头 3 秒内的位移大小；

(3) 头 3 秒内经过的路程。

【分析与解答】

(1) 第 3 秒末质点的位置为 $x(3)=1+4\times3-3^2=4(\mathrm{m})$；

(2) 头 3 秒内的位移大小为 $x(3)-x(0)=3(\mathrm{m})$；

(3) 由 $v=\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=4-2t=0$ 得 $t=2$ 转向，头 3 秒内经过的路程为

$$s=|x(2)-x(0)|+|x(3)-x(2)|=1+4\times2-2^2-1+|4-5|=5(\mathrm{m})$$

3. 已知某质点的运动方程为 $x=2t$，$y=2-t^2$，式中 t 以 s 为单位，x 和 y 以 m 为单位。

(1) 计算并图示质点的运动轨迹；

(2) 求出 $t=1\mathrm{s}\sim t=2\mathrm{s}$ 这段时间内质点的平均速度；

(3) 计算 1s 末和 2s 末质点的速度；

(4) 计算 1s 末和 2s 末质点的加速度。

【分析与解答】

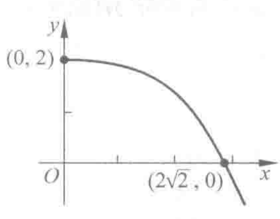

图 1-2

(1) 由质点的运动方程 $x=2t$，$y=2-t^2$，消去时间参量 t 得轨迹方程：

$y=2-\dfrac{x^2}{4}(x>0)$。运动轨迹图如图 1-2。

(2) 求出 $t=1\mathrm{s}\sim t=2\mathrm{s}$ 这段时间内质点的平均速度为

$$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1}{2-1}=2\boldsymbol{i}-3\boldsymbol{j}(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

(3) 由位置矢量求导得质点的速度：

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}=2\boldsymbol{i}-2t\boldsymbol{j}$$

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

(4) 由速度矢量求导得质点的加速度：

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

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

4. 湖中有一小船，岸边有人用绳子跨过离河面高 H 的滑轮拉船靠岸，如图 1-3 所示。设绳子的原长为 l_0，人以匀速 v_0 拉绳，试描述小船的运动轨迹并求其速度和加速度。

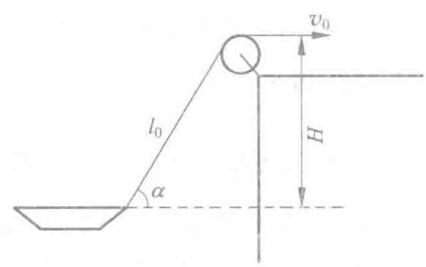

图 1-3

【分析与解答】

$$x=\sqrt{(l_0-v_0t)^2-H^2}$$

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=-\frac{(l_0-v_0t)v_0}{\sqrt{(l_0-v_0t)^2-H^2}}=-\frac{v_0}{\cos\alpha}$$

$a=\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$， 由 $\left(\dfrac{U}{V}\right)'=\dfrac{U'V-UV'}{V^2}$， 得 $a=-\dfrac{v_0^2H^2}{x^3}$。

讨论：有人会将绳子速率 v_0 按 x、y 两个方向分解，则小船速率 $v=v_0\cos\alpha$，这样做对吗？

5. 大马哈鱼总是逆流而上，游到乌苏里江上游去产卵，游程中有时要跃上瀑布。这种鱼跃出水面的垂直速度可达 $32\mathrm{km}\cdot\mathrm{h}^{-1}$。它最高可跃上多高的瀑布？和人的跳高纪录相比如何？

【分析与解答】

鱼跃出水面的垂直速度大小为 $\bar{v}=32\mathrm{km}\cdot\mathrm{h}^{-1}=8.89\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-1}$；

若垂直跃出水面，则跃出高度为 $h=\dfrac{v^2}{2g}=4.03(\mathrm{m})$；

和人的跳高纪录相比差不多是人所跳高度的两倍。

6. 某质点作圆周运动的方程为 $\theta=2t-4t^2$（θ 以 rad 为单位，t 以 s 为单位）。在 $t=0$ 时开始逆时针旋转，问：

(1) $t=0.5$s 时，质点以什么方向转动；

(2) 质点转动方向改变的瞬间，它的角位置 θ 等于多大？

【分析与解答】

(1) 质点作圆周运动在 $t=0$ 时开始逆时针旋转，角速度方向改变的瞬时满足：

$$\omega=\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}=0,\quad 即\quad 2-8t=0,\quad t=0.25\mathrm{s}$$

所以 $t=0.5$s 时质点以顺时针方向转动；

(2) 质点转动方向改变的瞬间，它的角位置为

$$\theta(0.25)=2\times0.25-4\times0.25^2=0.25(\mathrm{rad})$$

7. 质点从静止出发沿半径 $R=3$m 的圆周作匀变速运动，切向加速度 $a_\tau=3\mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$。问：

(1) 经过多少时间后质点的总加速度恰好与半径成 45°角？

(2) 在上述时间内，质点所经历的角位移和路程各为多少？

【分析与解答】

因为 $a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=3$，所以 $\mathrm{d}v=3\mathrm{d}t$，即 $\int_0^v \mathrm{d}v=\int_0^t 3\mathrm{d}t$，故质点作圆周运动的瞬时速率为 $v=3t$。

质点的法向加速度的大小为 $a_\mathrm{n}=\frac{v^2}{R}=\frac{(3t)^2}{3}=3t^2$，其方向指向圆心。于是总加速度(图 1-4)为

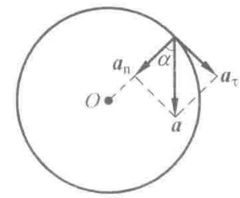

图 1-4

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_\mathrm{n}+\boldsymbol{a}_\tau=(3t^2)\boldsymbol{e}_\mathrm{n}+3\boldsymbol{e}_\tau$$

(1) 当质点的总加速度恰好与半径成 45°角时，$a_\mathrm{n}=a_\tau$，$3t^2=3$，$t=1$，即 $t=1\mathrm{s}$ 时 $\boldsymbol{a}$ 与半径成 45°角；

(2) 因为 $v=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=3t$，所以 $\int_0^s \mathrm{d}s=\int_0^t 3t\mathrm{d}t$，$s=\frac{3}{2}t^2$。

故在上述时间内，质点所经历的路程为 $s=1.5\mathrm{m}$，角位移 $\Delta\theta=\frac{s}{R}=\frac{1.5}{3}=0.5(\mathrm{rad})$。

8. 汽车在半径为 $R=400\mathrm{m}$ 的圆弧弯道上减速行驶。设某一时刻，汽车的速率为 $v=10\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，切向加速度的大小为 $a_\tau=0.2\mathrm{m\cdot s^{-2}}$。求汽车的法向加速度和总加速度的大小和方向。

【分析与解答】

如图 1-5 所示，汽车的法向加速度为 $a_\mathrm{n}=\frac{v^2}{R}=\frac{10^2}{400}=0.25(\mathrm{m\cdot s^{-2}})$；

汽车的总加速度大小为 $a=\sqrt{a_\mathrm{n}^2+a_\tau^2}=\sqrt{0.25^2+0.2^2}=0.32(\mathrm{m\cdot s^{-2}})$；

总加速度与速度之间的夹角为 $\alpha=180°-\arctan\frac{0.25}{0.2}=128°40'$。

9. 由楼窗口以水平初速度 $\boldsymbol{v}_0$ 射出一发子弹，取枪口为原点，沿 $\boldsymbol{v}_0$ 方向为 x 轴，竖直向下为 y 轴，并取发射时刻 t 为 0，试求：

(1) 子弹在任一时刻 t 的位置坐标及轨迹方程；

(2) 子弹在 t 时刻的速度，切向加速度和法向加速度的大小并做图标注方向。

【分析与解答】

(1) $x=v_0t$，$y=\frac{1}{2}gt^2$，轨迹方程是 $y=\frac{1}{2}x^2g/v_0^2$；

(2) $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+g^2t^2}$；方向为与 x 轴夹角 $\theta=\arctan\frac{gt}{v_0}$，$a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{g^2t}{\sqrt{v_0^2+g^2t^2}}$，与 $\boldsymbol{v}$ 同向；

$a_\mathrm{n}=(g^2-a_\tau^2)^{1/2}=v_0g/\sqrt{v_0^2+g^2t^2}$，方向与 $\boldsymbol{a}_\tau$ 垂直。

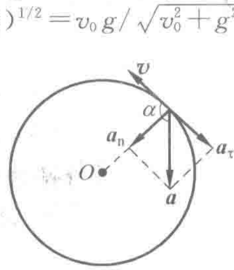

图 1-5

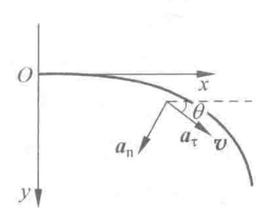

图 1-6