

普通高等教育“九五”国家级重点教材 **教学辅导**  
清华大学《大学物理学·第二版》(张三慧 主编)

# 大学物理学

## 习题全解

—— 黄伯坚 周逊选 周述文 编 ——



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

## 内 容 简 介

本书是根据“九五”国家级重点教材清华大学张三慧主编《大学物理学•第二版》的内容和系统编写的。全书容量较大,共分31章,每章分为“内容提要”和“习题解答”两部分。书中对多数题指出了解题思路,对较复杂的习题点明了解题的关键点。

由于习题涉及知识较广泛,内容新颖,应用性强,因此本书可作为各类工科院校、成人高等教育物理课程的辅助教材,也可供其他相关人员和考研者参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习题全解 / 黄伯坚, 周述选, 周述文编. 北京: 电子工业出版社, 2005.7

ISBN 7-121-01495-5

I. 大... II. ①黄...②周...③周... III. 物理学—高等学校—解题 IV. O4-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第071975号

责任编辑: 黄以铭

印 刷: 北京大中印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×980 1/16 印张: 22 字数: 490千字

印 次: 2005年7月第1次印刷

印 数: 6000册 定价: 26.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 [zltts@phei.com.cn](mailto:zltts@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

# 前 言

物理学是工科大学生必修的基础理论课。它内容丰富、应用广泛,要理解和掌握其基本概念和众多定律的应用,必不可少的一个环节是作适量的习题。

清华大学张三慧教授主编的《大学物理学》第二版的习题所包含的内容,在国内大学物理学教材中是最为完善的,量也是最多的。我们编写这本题解的目的是,希望在快速增长的知识和有限学时的矛盾之中能起些有益的作用。

由于编者水平有限,书中难免有不恰当、甚至错误之处,敬请读者不吝指正。

编 者

2005 年 5 月

# 目 录

## 第1篇 力 学

|     |               |      |
|-----|---------------|------|
| 第1章 | 质点运动学 .....   | (3)  |
| 第2章 | 牛顿运动定律 .....  | (13) |
| 第3章 | 动量与角动量 .....  | (25) |
| 第4章 | 功和能 .....     | (35) |
| 第5章 | 刚体的定轴转动 ..... | (50) |
| 第6章 | 狭义相对论基础 ..... | (62) |

## 第2篇 热 学

|      |               |       |
|------|---------------|-------|
| 第7章  | 温度 .....      | (75)  |
| 第8章  | 气体动理论 .....   | (81)  |
| 第9章  | 热力学第一定律 ..... | (94)  |
| 第10章 | 热力学第二定律 ..... | (109) |

## 第3篇 电 磁 学

|      |                    |       |
|------|--------------------|-------|
| 第11章 | 静止电荷的电场 .....      | (121) |
| 第12章 | 运动电荷的电场 .....      | (138) |
| 第13章 | 电势 .....           | (140) |
| 第14章 | 静电场中的导体 .....      | (157) |
| 第15章 | 静电场中的电介质 .....     | (165) |
| 第16章 | 恒定电流 .....         | (181) |
| 第17章 | 磁力 .....           | (188) |
| 第18章 | 磁场的源 .....         | (199) |
| 第19章 | 磁场中的磁介质 .....      | (218) |
| 第20章 | 电磁感应 .....         | (225) |
| 第21章 | 麦克斯韦方程组和电磁辐射 ..... | (238) |

## 第4篇 波动与光学

|      |            |       |
|------|------------|-------|
| 第22章 | 振动 .....   | (249) |
| 第23章 | 波动 .....   | (266) |
| 第24章 | 光的干涉 ..... | (279) |
| 第25章 | 光的衍射 ..... | (289) |
| 第26章 | 光的偏振 ..... | (297) |

## 第5篇 量子物理

|      |              |       |
|------|--------------|-------|
| 第27章 | 波粒二象性 .....  | (305) |
| 第28章 | 薛定谔方程 .....  | (314) |
| 第29章 | 原子中的电子 ..... | (319) |
| 第30章 | 固体中的电子 ..... | (330) |
| 第31章 | 核物理 .....    | (335) |

1

# 第 1 篇

---

力

学



# 第1章

## 质点运动学

### 一、内容提要

#### 1. 参考系和坐标系

描述物体运动时用作参考的其他物体称为参考系。

为了定量地说明物体对参考系的位置,需要在该参考系上建立固定的坐标系:

#### 2. 位置矢量

在参考系上选一点 $O$ 向质点所在位置 $P$ 所引的有向线段 $r(=\overrightarrow{OP})$ 。

运动方程 表示质点位置随时间变化的函数式称为运动方程,可以写作

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

位移矢量

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

一般

$$|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta r$$

运动叠加 在直角坐标系中

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

#### 3. 速度和加速度

速度  $\mathbf{v} = d\mathbf{r}/dt$

加速度  $\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt = d^2\mathbf{r}/dt^2$

在直角坐标系中  $\mathbf{v} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k}, \mathbf{a} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k}$

在自然坐标系中  $\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t = \frac{v^2}{\rho}\mathbf{n} + \frac{dv}{dt}\mathbf{t}$

(1) 匀加速运动  $\mathbf{a} = \text{常矢量}$

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t, \quad \mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0t + \mathbf{a}t^2/2$$

(2) 抛体运动  $a_x = 0, \quad a_y = -g$

$$v_x = v_0 \cos \theta, \quad v_y = v_0 \sin \theta - gt$$

$$x = v_0 \cos \theta \cdot t, \quad y = v_0 \sin \theta \cdot t - gt^2/2$$

(3) 圆周运动  $\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t, \quad a_n = v^2/R = R\omega^2, \quad a_t = dv/dt = R\alpha$

(4) 角量描述  $\omega = d\theta/dt, \quad \alpha = d\omega/dt$

#### 4. 相对运动

相对位移

$$\Delta \mathbf{r}'_{\text{人对车}} + \Delta \mathbf{r}_{\text{车对地}} = \Delta \mathbf{r}_{\text{人对地}}$$

相对速度

$$\mathbf{v}'_{\text{人对车}} + \mathbf{u}_{\text{车对地}} = \mathbf{v}_{\text{人对地}}$$

### 二、习题解答

【1-1】 蟹状星云被认为是一次超新星爆发后的遗物。1920年已发现它的范围正在

以  $0.21''/a$  ( $''$  为 [角] 秒,  $a$  为年) 的速率膨胀, 当时蟹状星云的范围为  $180''$ 。假定膨胀速率是恒定的, 试问该超新星是哪一年爆发的?

【解】 本题为匀速运动问题。

$$(1920 - 180/0.21)a = 1060 a$$

【1-2】 观察发现: 离我们越远的星系正以越大的速率远离我们飞去。例如牧夫座内一星云离我们银河系的距离为  $2.74 \times 10^9 \text{ L. y.}$  (L. y. 为光年,  $1 \text{ L. y.} = 9.46 \times 10^{15} \text{ m}$ ), 它正以  $3.93 \times 10^7 \text{ m/s}$  的速率飞离。假定飞离速率是恒定的, 试问它是多少年前和我们的银河系分离的? (根据宇宙产生于一次大爆炸的学说, 可以认为这一段时间就是宇宙的年龄。)

【解】 匀速运动。

$$t = \frac{s}{v} = \frac{2.74 \times 10^9 \times 9.46 \times 10^{15}}{3.93 \times 10^7} \text{ s} = 6.60 \times 10^{17} \text{ s} = 2.09 \times 10^{10} a$$

【1-3】 木星的一个卫星——木卫1上面的珞玑火山爆发出的岩块上升高度可达  $200 \text{ km}$ , 这些石块的喷出速度是多大? 已知木卫1上的重力加速度为  $1.80 \text{ m/s}^2$ , 而且在木卫1上没有空气。

【解】 竖直上抛运动, 为匀减速问题。

$$v_0 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 1.80 \times 200 \times 10^3} \text{ m/s} = 849 \text{ m/s}$$

【1-4】 一种喷气推进的实验车, 从静止开始可在  $1.80 \text{ s}$  内加速到  $1600 \text{ km/h}$  的速率。按匀加速运动计算, 它的加速度是否超过了人可以忍受的加速度  $25 \text{ g}$ ? 这  $1.80 \text{ s}$  内该车跑了多大距离?

【解】 匀加速运动。

$$\text{由 } v = v_0 + at, v_0 = 0 \text{ 得 } a = \frac{v}{t} = \frac{1600 \times 10^3 / 3600}{1.80} \text{ m/s}^2 = 2.47 \times 10^2 \text{ m/s}^2 = 25.2 \text{ g}$$

$$\text{距离为 } s = at^2/2 = 2.47 \times 10^2 \times (1.80)^2/2 \text{ m} = 400 \text{ m}$$

【1-5】 一辆卡车为了超车, 以  $90 \text{ km/h}$  的速度驶入左侧逆行道时, 猛然发现前方  $80 \text{ m}$  处一辆汽车正迎面驶来。假定该汽车以  $65 \text{ km/h}$  的速度行驶, 同时也发现了卡车超车。设两司机的反应时间都是  $0.70 \text{ s}$  (即司机发现险情到实际刹车所经过的时间), 他们刹车后的减速度都是  $7.5 \text{ m/s}^2$ , 试问两车是否会相撞? 如果会相撞, 相撞时卡车的速度多大?

【解】 本题为匀减速运动。

设卡车初速为  $v_{01}$ , 减速到速度为零的时间为  $t_1$ , 行驶距离为  $s_1$ ; 汽车相应的量为  $v_{02}, t_2, s_2$ 。由题知

$$v_{01} = \frac{90 \times 10^3}{3600} \text{ m/s} = 25 \text{ m/s}, v_{02} = \frac{65 \times 10^3}{3600} \text{ m/s} = 18 \text{ m/s}$$

因为

$$v = v_0 - at, \quad s = v_0 t - at^2/2$$

所以对卡车, 有

$$t_1 = v_{01}/a = 25/7.5 \text{ s} = 3.3 \text{ s}$$

$$s_1 = v_{01} t_1 - at_1^2/2 = [25 \times 3.3 - 7.5 \times (3.3)^2/2] \text{ m} = 42 \text{ m}$$

对汽车, 有

$$t_2 = v_{02}/a = 18/7.5 \text{ s} = 2.4 \text{ s}$$

$$s_2 = v_{02} t_2 - at_2^2/2 = [18 \times 2.4 - 7.5 \times (2.4)^2/2] \text{ m} = 22 \text{ m}$$

又反应时间两车驶过的距离为

$$s_0 = (v_{01} + v_{02})t = (25 + 18) \times 0.70 \text{ m} = 30 \text{ m}$$

因而由  $s_0 + s_1 + s_2 = (30 + 42 + 22) \text{ m} = 94 \text{ m} > 80 \text{ m}$   
可知两车会相碰。

设刹车后到相碰时时间为  $t$ , 则据题意有

$$v_{01}t - at^2/2 + v_{02}t - at^2/2 = 80 - (v_{01} + v_{02}) \times 0.70$$

代值并整理可得  $7.5t^2 - 43t + 50 = 0$

解得  $t = 1.62 \text{ s}, 4.11 \text{ s}$ , 后者不合题意, 舍去。

相碰时卡车速度为

$$v_1 = v_{01} - at = (25 - 7.5 \times 1.62) \text{ m/s} = 12.8 \text{ m/s} = 46 \text{ km/h}$$

**【1-6】** 跳伞运动员从1200 m 高空下跳, 起初不打开降落伞作加速运动。由于空气阻力的作用, 会加速到一“终极速率”200 km/h 而开始匀速下降。下降到离地面50 m 处时打开降落伞, 很快速率会变为18 km/h 而匀速下降着地。若起初加速运动阶段的平均加速度按  $g/2$  计, 此跳伞运动员在空中一共经历了多长时间?

**【解】** 本题为先匀加速、后匀速运动。注意题中“很快”的含义。

设加速时间为  $t_1$ , 通过距离  $s_1$ , 末速  $v_1$ , 则由  $v_1 = at_1, s_1 = at_1^2/2$  可得

$$t_1 = \frac{v_1}{a} = \frac{200 \times 10^3/3600}{9.8/2} \text{ s} = 11.3 \text{ s}, s_1 = \frac{1}{2} \times \frac{9.8}{2} \times (11.3)^2 \text{ m} = 313 \text{ m}$$

又设两次匀速运动的时间分别为  $t_2, t_3$ , 通过距离分别为  $s_2, s_3$ , 其速度分别为  $v_2, v_3$ 。由  $s_2 = v_2 t_2 = v_1 t_2, s_3 = v_3 t_3 = 50 \text{ m}, s_1 + s_2 + s_3 = 1200 \text{ m}$  可得

$$t_2 = \frac{s_2}{v_1} = \frac{1200 - s_1 - s_3}{v_1} = \frac{1200 - 313 - 50}{200 \times 10^3/3600} \text{ s} = 15.0 \text{ s}$$

$$t_3 = \frac{s_3}{v_3} = \frac{50}{18 \times 10^3/3600} \text{ s} = 10.0 \text{ s}$$

所以  $t = t_1 + t_2 + t_3 = (11.3 + 15.0 + 10.0) \text{ s} = 36.3 \text{ s}$

**【1-7】** 由消防水龙带的喷嘴喷出的水的流量是  $q = 280 \text{ L/min}$ , 水的流速  $v = 26 \text{ m/s}$ 。若这喷嘴竖直向上喷射, 水流上升的高度是多少? 在任一瞬间空中有多少升水?

**【解】** 本题为竖直上抛运动, 注意空中水的含义。

水流上升高度为  $h = v^2/(2g) = 26^2/(2 \times 9.81) \text{ m} = 34.5 \text{ m}$

任一瞬间空中水即为水喷出到落回地面这段时间内喷出的水的总质量, 由

$$m = \int_0^{2t} q dt = q \cdot 2t \quad \text{和} \quad t = \frac{v}{g}$$

可得

$$m = q \cdot \frac{2v}{g} = \frac{280}{60} \times \frac{2 \times 26}{9.81} \text{ L} = 24.7 \text{ L}$$

**【1-8】** 在以初速率  $v = 15.0 \text{ m/s}$  竖直向上扔一块石头后,

(1) 在1.0 s 末又竖直向上扔出第二块石头, 后者在  $h = 11.0 \text{ m}$  高度处击中前者, 求第二块石头扔出时的速率;

(2) 若在1.3 s 末竖直向上扔出第二块石头, 它仍在  $h = 11.0 \text{ m}$  高度处击中前者, 求这一次第二块石头扔出时的速率。

**【解】** 本题为竖直上抛运动, 注意上抛与下落过程。

(1) 设第一、二块石头初始速度分别为  $v_1$  与  $v_2$ , 在  $h$  处相遇, 则对第一块石头有

$$h = v_1 t_1 - g t_1^2 / 2$$

$$\text{解得 } t_1 = \frac{v_1 \pm \sqrt{v_1^2 - 2gh}}{g} = \frac{15.0 \pm \sqrt{(15.0)^2 - 2 \times 9.81 \times 11.0}}{9.81} \text{ s} = \begin{cases} 1.84 \text{ s} \\ 1.22 \text{ s} \end{cases}$$

对第二块石头有

$$t_2 = t_1 - 1$$

$$v_2 = \frac{h}{t_2} + \frac{1}{2} g t_2 = \begin{cases} 17.2 \text{ m/s} \\ 51.1 \text{ m/s} \end{cases}$$

$$(2) \text{ 同前解出 } t_1, \text{ 由 } t_2 = t_1 - 1.30 \text{ 可得 } t_2 = \begin{cases} 0.540 \text{ s} \\ -0.08 \text{ s} < 0 \text{ 舍去} \end{cases}$$

$$\text{所以 } v_2 = \frac{h}{t_2} + \frac{1}{2} g t_2 = \left( \frac{11.0}{0.540} + \frac{1}{2} \times 9.8 \times 0.540 \right) \text{ m/s} = 23.0 \text{ m/s}$$

**【1-9】** 一只在星际空间飞行的火箭, 当它以恒定速率燃烧它的燃料时, 其运动函数可表示为  $x = ut + u \left( \frac{1}{b} - t \right) \ln(1 - bt)$ , 其中  $u$  是喷出气流相对于火箭体的喷射速度, 是一个常量,  $b$  是与燃料速率成正比的一个常量。

(1) 求此火箭的速度表示式;

(2) 求此火箭的加速度表示式;

(3) 设  $u = 3.0 \times 10^3 \text{ m/s}$ ,  $b = 7.5 \times 10^{-3} / \text{s}$ , 并设燃料在 120 s 内燃烧完, 求  $t = 0 \text{ s}$  和  $t = 120 \text{ s}$  时的速度;

(4) 求在  $t = 0 \text{ s}$  和  $t = 120 \text{ s}$  时的加速度。

**【解】** 本题由运动函数求瞬时速度与加速度。

$$(1) v = \frac{dx}{dt} = u + u \left( \frac{1}{b} - t \right) \frac{-b}{1 - bt} - u \ln(1 - bt) = -u \ln(1 - bt)$$

$$(2) a = dv/dt = bu/(1 - bt)$$

$$(3) \text{ 当 } t = 0 \text{ 时, } v = 0$$

$$\text{当 } t = 120 \text{ s 时, } v = -3.0 \times 10^3 \ln(1 - 7.5 \times 10^{-3} \times 120) \text{ m/s} = 6.91 \times 10^3 \text{ m/s}$$

$$(4) \text{ 当 } t = 0 \text{ 时, } a = bu = 7.5 \times 10^{-3} \times 3.0 \times 10^3 \text{ m/s}^2 = 22.5 \text{ m/s}^2$$

$$\text{当 } t = 120 \text{ s 时, } a = \frac{7.5 \times 10^{-3} \times 3.0 \times 10^3}{1 - 7.5 \times 10^{-3} \times 120} \text{ m/s}^2 = 225 \text{ m/s}^2$$

**【1-10】** 一质点在  $xy$  平面上运动, 运动函数为  $x = 2t, y = 4t^2 - 8$ 。

(1) 求质点运动的轨道方程并画出轨道曲线;

(2) 求  $t_1 = 1 \text{ s}$  和  $t_2 = 2 \text{ s}$  时, 质点的位置、速度和加速度。

**【解】** 本题为二维问题。

$$(1) \text{ 消去 } t, \text{ 可得轨道方程 } y = 4(x/2)^2 - 8 = x^2 - 8$$

轨道曲线为抛物线, 如图 1-1 所示。

$$(2) \text{ 位置矢量为 } r = xi + yj = 2ti + (4t^2 - 8)j$$

$$\text{速度为 } v = dr/dt = 2i + 8tj$$

$$\text{加速度为 } a = dv/dt = 8j$$

$$\text{当 } t_1 = 1 \text{ s 时, } r_1 = 2i - 4j, v_1 = 2i + 8j, a_1 = 8j$$

$$\text{当 } t_2 = 2 \text{ s 时, } r_2 = 4i + 8j, v_2 = 2i + 16j, a_2 = 8j$$

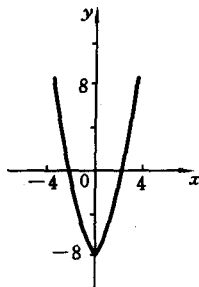


图 1-1

**【1-11】** 如图1-2所示,在离水面高度为 $h$ 的岸边上,有人用绳子拉船靠岸,收绳的速率恒为 $v_0$ ,求船在离岸边的距离为 $s$ 时的速度和加速度。

**【解】** 本题注意应用约束条件。

在运动中始终有  $l^2 = h^2 + s^2$

两边对时间求导得  $2l(dl/dt) = 2s(ds/dt)$

因为  $dl/dt = -v_0, ds/dt = v$

所以  $v = -\frac{l}{s}v_0 = -\frac{\sqrt{s^2+h^2}}{s}v_0, a = \frac{dv}{dt} = -\frac{h^2v_0^2}{s^3}$

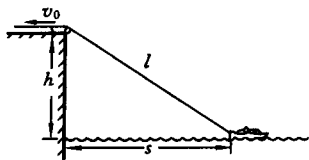


图 1-2

**【1-12】** 滑雪运动员离开水平滑雪道飞入空中时的速率 $v = 110 \text{ km/h}$ ,着陆的斜坡与水平面夹角 $\theta = 45^\circ$ (见图1-3)。

(1) 计算滑雪运动员着陆时沿斜坡的位移 $L$ 是多大?(忽略起飞点到斜面的距离。)

(2) 在实际的跳跃中,滑雪运动员所达到的距离 $L = 165 \text{ m}$ ,这个结果为什么与计算结果不符?

**【解】** 本题为平抛运动。

(1) 以离开水平滑道处为坐标原点建立直角坐标系,水平方向为 $x$ 轴,沿运动方向为正,竖直向下为 $y$ 轴正向,则由

$$L_x = L\cos 45^\circ = vt, L_y = L\sin 45^\circ = \frac{1}{2}gt^2$$

图 1-3

$$\text{可得 } L = \frac{2v^2 \sin 45^\circ}{g \cos^2 45^\circ} = \frac{2 \times (110 \times 10^3 / 3600)^2 \times (\sqrt{2}/2)}{9.81 \times (\sqrt{2}/2)^2} \text{ m} = 269 \text{ m}$$

(2) 实际跳跃中由于有空气阻力,因而较计算所得结果小。

**【1-13】** 一个人扔石头的最大出手速率 $v = 25 \text{ m/s}$ ,他能击中一个与他的手水平距离 $L = 50 \text{ m}$ ,高 $h = 13 \text{ m}$ 处的一个目标吗?在这个距离内他能击中的目标的最高高度是多少?

**【解】** 本题为斜抛运动问题。

设出手速度与水平方向夹角为 $\alpha$ ,则有

$$L = v \cos \alpha \cdot t, h = v \sin \alpha \cdot t - gt^2/2$$

$$\text{消去 } t, \text{ 可得轨道方程为 } \frac{gL^2}{2v^2} \tan^2 \alpha - L \tan \alpha + \frac{gL^2}{2v^2} + h = 0$$

$$\text{解得 } \tan \alpha = \frac{v^2}{gL} \left[ 1 \pm \sqrt{1 - \frac{2g}{v^2} \left( h + \frac{gL^2}{2v^2} \right)} \right]$$

代入 $L = 50 \text{ m}, h = 13 \text{ m}$ ,有

$$1 - \frac{2g}{v^2} \left( h + \frac{gL^2}{2v^2} \right) = 1 - \frac{2 \times 9.8}{25^2} \left( 13 + \frac{9.8 \times 50^2}{2 \times 25^2} \right) = 1 - 1.02 = -0.02 < 0$$

故方程无解,亦即不能击中目标。

由 $1 - \frac{2g}{v^2} \left( h + \frac{gL^2}{2v^2} \right) \geq 0$ , 可得  $h \leq \frac{v^2}{2g} - \frac{gL^2}{2v^2} = \left( \frac{25^2}{2 \times 9.8} - \frac{9.8 \times 50^2}{2 \times 25^2} \right) \text{ m} = 12.3 \text{ m}$   
即能击中目标的最高高度为 $12.3 \text{ m}$ 。

**【1-14】** 为迎接香港回归,柯受良1997年6月1日驾车飞越黄河壶口。东岸跑道长

265 m,柯驾车从跑道东端起,到达跑道终端时速度为150 km/h,他随即以仰角 $5^\circ$ 冲出,飞越跨度为57 m,安全落到西岸木桥上。

(1) 按匀加速运动计算,柯在东岸驱车的加速度和时间各是多少?

(2) 柯跨越黄河用了多长时间?

(3) 若起飞点高出河面10.0 m,柯驾车飞行的最高点离河面几米?

(4) 西岸木桥桥面和起飞点的高度差是多少?

**【解】** 本题视为斜抛运动。

(1) 对初速为零的匀加速运动,有  $v = at$ ,  $s = at^2/2$

$$\text{解得 } a = \frac{v^2}{2s} = \frac{(150 \times 10^3/3600)^2}{2 \times 265} \text{ m/s}^2 = 3.28 \text{ m/s}^2, t = \frac{v}{a} = 12.7 \text{ s}$$

$$(2) \text{ 对水平匀速运动,有 } t_2 = \frac{s_2}{v \cos 5^\circ} = \frac{57}{(150 \times 10^3/3600) \cos 5^\circ} \text{ s} = 1.37 \text{ s}$$

$$(3) \text{ 起飞点到最高点的高度 } h = \frac{(v \sin 5^\circ)^2}{2g} = \frac{(150 \times 10^3/3600)^2 \sin^2 5^\circ}{2 \times 9.8} \text{ m} = 0.67 \text{ m}$$

$$\text{高出河面 } H = (10.0 + 0.67) \text{ m} = 10.67 \text{ m}$$

(4) 以起飞点为原点建立直角坐标;水平向西为 $x$ 轴正向,竖直向上为 $y$ 轴正向。由题意有

$$x = v \cos 5^\circ \cdot t, \quad y = v \sin 5^\circ \cdot t - gt^2/2$$

$$\text{解得 } y = x \tan 5^\circ - \frac{1}{2} g \left( \frac{x}{v \cos 5^\circ} \right)^2$$

$$\text{代入 } x = 57 \text{ m, 可得 } y = \left[ 57 \times \tan 5^\circ - \frac{1}{2} \times 9.81 \left( \frac{57}{\cos 5^\circ \times 150/3.6} \right)^2 \right] \text{ m} = -4.26 \text{ m}$$

**【1-15】** 在生物物理实验中用来分离不同种类的分子的超级离心机的转速是 $6 \times 10^4 \text{ r/min}$ 。在这种离心机的转子内,问离轴10 cm远的一个大分子的向心加速度是重力加速度的几倍?

**【解】** 本题为匀速圆周运动。

$$\text{由向心加速度 } a_n = R\omega^2 \text{ 可得 } \frac{a_n}{g} = \frac{R\omega^2}{g} = \frac{0.1 \times (2\pi \times 6 \times 10^4/60)^2}{9.8} = 4 \times 10^5$$

**【1-16】** 北京天安门所处纬度为 $39.9^\circ$ ,求它随地球自转的速度和加速度。

**【解】** 本题可视为匀速圆周运动。

将地球作为球体,其半径 $R = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$ ,天安门处离转轴距离 $r = R \cos 39.9^\circ$ ,自转周期 $T = 8.616 \times 10^4 \text{ s}$ 。由 $\omega = 2\pi/T$ 代入得

$$v = r\omega = r \cdot \frac{2\pi}{T} = 6.37 \times 10^6 \times \cos 39.9^\circ \times \frac{2\pi}{8.616 \times 10^4} \text{ m/s} = 356 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} a_n &= r\omega^2 = r \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 = 6.37 \times 10^6 \times \cos 39.9^\circ \times \left( \frac{2\pi}{8.616 \times 10^4} \right)^2 \text{ m/s}^2 \\ &= 2.60 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

**【1-17】** 按匀速圆周运动计算,地球公转的速度和加速度各是多少?

**【解】** 查教材数值表,地球公转周期 $T = 1 \text{ a} = 3.16 \times 10^7 \text{ s}$ ,地球半径 $R = 1.50 \times 10^{11} \text{ m}$ 。

$$v = R\omega = R \frac{2\pi}{T} = 1.50 \times 10^{11} \times \frac{2 \times 3.14}{3.16 \times 10^7} \text{ m/s} = 2.98 \times 10^4 \text{ m/s}$$

$$a_n = R\omega^2 = R(2\pi/T)^2 = 5.92 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

【1-18】 太阳在我们的银河系中离银河系中心(银心)的距离为  $2.9 \times 10^4 \text{ L. y.}$  ( $1 \text{ L. y.} = 9.46 \times 10^{15} \text{ m}$ )。它绕银河系中心运动的速度和加速度各是多少?

【解】 查教材数值表,太阳绕银心作圆周运动周期  $T = 2.5 \times 10^8 \text{ a}$ , 半径  $R = 2.9 \times 10^4 \text{ L. y.}$ 。

$$v = R \cdot \frac{2\pi}{T} = 2.9 \times 10^4 \times 9.46 \times 10^{15} \times \frac{2 \times 3.14}{2.5 \times 10^8 \times 3.16 \times 10^7} \text{ m/s} = 2.2 \times 10^5 \text{ m/s}$$

$$a_n = R \cdot (2\pi/T)^2 = 1.7 \times 10^{-10} \text{ m/s}^2$$

【1-19】 按玻尔模型,氢原子处于基态时,它的电子围绕原子核做圆周运动。电子的速率为  $2.2 \times 10^6 \text{ m/s}$ , 离核的距离为  $0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ , 求电子绕核运动的频率和向心加速度。

【解】 本题为匀速圆周运动问题。

据频率定义,有 
$$\nu = \frac{v}{2\pi r} = \frac{2.2 \times 10^6}{2 \times 3.14 \times 0.53 \times 10^{-10}} \text{ Hz} = 6.6 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

向心加速度则为 
$$a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{(2.2 \times 10^6)^2}{0.53 \times 10^{-10}} \text{ m/s}^2 = 9.1 \times 10^{22} \text{ m/s}^2$$

【1-20】 北京正负电子对撞机的储存环的周长为  $240 \text{ m}$ , 电子要沿环以非常接近光速的速率运行, 这些电子运动的向心加速度是重力加速度的几倍?

【解】 由题意有  $v \approx c$ ,  $s = 2\pi R = 240 \text{ m}$ 。由  $a_n = v^2/R = 2\pi\nu^2/s$ , 可得

$$\frac{a_n}{g} = \frac{2\pi\nu^2}{gs} = \frac{2 \times 3.14 \times (3 \times 10^8)^2}{9.8 \times 240} = 2.4 \times 10^{14}$$

【1-21】 汽车在半径  $R = 400 \text{ m}$  的圆弧弯道上减速行驶。设在某一时刻, 汽车的速率为  $v = 10 \text{ m/s}$ , 切向加速度的大小为  $a_t = 0.2 \text{ m/s}^2$ 。求汽车的法向加速度和总加速度的大小和方向?

【解】 本题应用加速度的自然坐标表示。

法向加速度为 
$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{10^2}{400} \text{ m/s}^2 = 0.25 \text{ m/s}^2$$

设总加速度  $a$  与  $v$  的夹角为  $\alpha$ , 则

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} = \sqrt{0.25^2 + 0.2^2} \text{ m/s}^2 = 0.32 \text{ m/s}^2$$

$$\alpha = 90^\circ + \arctan(a_t/a_n) = 90^\circ + \arctan(0.2/0.25) = 128^\circ 40'$$

由于减速,  $\alpha$  大于  $90^\circ$ 。

【1-22】 一个半径  $R = 1.0 \text{ m}$  的圆盘, 可以绕一水平轴自由转动。一根轻绳绕在盘子的边缘, 其自由端拴一物体  $A$  (见图1-4)。在重力作用下, 物体  $A$  从静止开始匀加速地下降, 在  $\Delta t = 2.0 \text{ s}$  内下降的距离  $h = 0.4 \text{ m}$ 。求物体开始下降后  $3 \text{ s}$  末, 轮边缘上任一点的切向加速度与法向加速度。

【解】 本题注意切向加速度等于物体下落加速度。

由  $h = \frac{1}{2} a_t (\Delta t)^2$  可得 
$$a_t = \frac{2h}{(\Delta t)^2} = \frac{2 \times 0.4}{2.0^2} \text{ m/s}^2 = 0.2 \text{ m/s}^2$$

法向加速度为 
$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(a_t \times t)^2}{R} = \frac{(0.2 \times 3)^2}{1.0} \text{ m/s}^2 = 0.36 \text{ m/s}^2$$

【1-23】 一张致密光盘(CD)音轨区域的内半径  $R_1 = 2.2 \text{ cm}$ , 外半

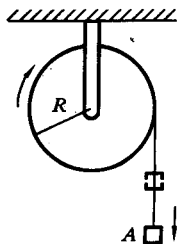


图1-4

径为  $R_2 = 5.6 \text{ cm}$  (见图1-5), 径向音轨密度  $N = 650 \text{ 条/mm}$ 。在CD唱机内, 光盘每转一圈, 激光头沿径向向外移动一条音轨, 激光束相对光盘是以  $v = 1.3 \text{ m/s}$  的恒定线速度运动的。

(1) 这张光盘的全部放音时间是多少?

(2) 当激光束到达离盘心  $r = 5.0 \text{ cm}$  处时, 光盘转动的角速度和角加速度各是多少?

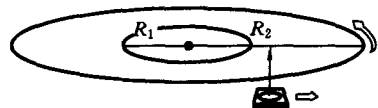


图 1-5

【解】 本题注意径向运动与圆周运动的关系。

(1) 由题意知音轨是均匀的, 转一圈径向过一音轨, 而激光束对光盘是恒定线速度, 所以, 在半径  $r_1$  处转一圈所需时间为

$$t_1 = 2\pi r_1 / v$$

在  $r_2, r_3, \dots, r_n$  处转一圈所需时间分别为

$$t_2 = 2\pi r_2 / v = 2\pi(r_1 + \Delta r) / v = t_1 + 2\pi\Delta r / v$$

$$t_3 = t_2 + 2\pi\Delta r / v$$

⋮

$$t_n = t_{n-1} + 2\pi\Delta r / v$$

此为一等差数列。根据等差数列求和公式  $\frac{a_1 + a_n}{2}n$ , 取  $t_1 = \frac{2\pi R_1}{v}$ ,  $t_n = \frac{2\pi R_2}{v}$ , 项数  $n = N(R_2 - R_1)$ , 有

$$\begin{aligned} t &= \frac{1}{2} \frac{2\pi}{v} (R_1 + R_2) \times N(R_2 - R_1) \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{2 \times 3.14}{1.3} \times 7.8 \times 10^{-2} \times 650 \times 10^3 \times 3.4 \times 10^{-2} \text{ s} \\ &= 4164 \text{ s} = 69.4 \text{ min} \end{aligned}$$

(2) 因为  $v = r\omega$ , 所以  $\omega = \frac{v}{r} = \frac{1.3}{5.0 \times 10^{-2}} \text{ rad/s} = 26 \text{ rad/s}$

又由  $\omega = v/r$  可得  $d\omega/dt = -vr^{-2}(dr/dt)$

据题意取  $dr = 1/N = \frac{10^{-3}}{650} \text{ m} = 1.538 \times 10^{-6} \text{ m}$ ,  $dt = 2\pi r/v$

所以角加速度

$$\begin{aligned} \alpha = \frac{d\omega}{dt} &= -vr^{-2} \frac{dr}{dt} = -\frac{v^2}{2\pi r^3} dr = -\frac{1.3^2}{2 \times 3.14 (5.0 \times 10^{-2})^3} \text{ rad/s}^2 \\ &= -3.31 \times 10^{-3} \text{ rad/s}^2 \end{aligned}$$

【1-24】 一电梯以  $1.2 \text{ m/s}^2$  的加速度下降, 其中一乘客在电梯开始下降后  $0.5 \text{ s}$  时用手在离电梯底板  $1.5 \text{ m}$  高处释放一小球。求此小球落到底板上所需的时间和它对地面下落的距离。

【解】 本题为相对运动问题。注意选取合适的参照系。

取电梯为参照系。设球对电梯的加速度为  $a'$ , 球对地的加速度为  $a$ , 则有  $a' = g - a$ 。又因为

$$v' = a't, \quad v'^2 = 2a'h'$$

所以

$$t = v'/a' = \sqrt{2h'/a'} = \sqrt{2 \times 1.5 / (9.8 - 1.2)} \text{ s} = 0.59 \text{ s}$$

取地面为参照系, 因为  $v_0 = at_1 = 1.2 \times 0.5 \text{ m/s} = 0.6 \text{ m/s}$   
 所以  $s = v_0 t + gt^2/2 = [0.6 \times 0.59 + 9.8 \times (0.59)^2/2] \text{ m} = 2.06 \text{ m}$

**【1-25】** 当速率为  $30 \text{ m/s}$  的西风正吹时, 相对于地面, 向东、向西和向北传播的声音的速率各是多大? 已知声音在空气中传播的速率为  $344 \text{ m/s}$ 。

**【解】** 本题为相对运动问题。

设声音对空气的速度为  $v'$ , 空气对地的速度为  $u$ , 声音对地的速度为  $v$ 。

据题意  $u = 30 \text{ m/s}$ ,  $v' = 344 \text{ m/s}$ , 由  $v = v' + u$

可得 向东  $v = v' + u = (344 + 30) \text{ m/s} = 374 \text{ m/s}$

向西  $v = v' - u = (344 - 30) \text{ m/s} = 314 \text{ m/s}$

向北  $v = \sqrt{v'^2 - u^2} = \sqrt{344^2 - 30^2} \text{ m/s} = 343 \text{ m/s}$

**【1-26】** 一个人骑车以  $18 \text{ km/h}$  的速率自东向西行进时, 看见雨点垂直下落, 当他的速率增至  $36 \text{ km/h}$  时看见雨点与他前进的方向成  $120^\circ$  角下落, 求雨点对地的速度。

**【解】** 本题为相对运动问题。

根据  $v_{\text{雨对地}} = v_{\text{雨对人}} + v_{\text{人对地}}$  作出矢量图如图1-6所示。由题中数据知  $\alpha = 60^\circ$ 。

所以  $v_{\text{雨对地}} = \frac{v_{\text{地对人1}}}{\cos \alpha} = \frac{18}{\cos 60^\circ} \text{ km/h} = 36 \text{ km/h}$   
 $\theta = (\pi/2) - \alpha = 30^\circ$

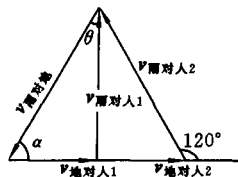


图 1-6

即速度方向竖直向下偏西  $30^\circ$ 。

**【1-27】** 飞机 A 以  $v_A = 1000 \text{ km/h}$  的速率(相对地面)向南飞行, 同时另一架飞机 B 以  $v_B = 800 \text{ km/h}$  的速率(相对地面)向东偏南  $30^\circ$  方向飞行。求 A 机相对于 B 机的速度与 B 机相对于 A 机的速度。

**【解】** 本题为相对运动问题。

由  $v_A = v_{AB} + v_B$

作出矢量图如图 1-7 所示。图中  $\alpha = 30^\circ$ 。根据余弦定理有

$$\begin{aligned} v_{AB} &= \sqrt{v_A^2 + v_B^2 - 2v_A v_B \cos(90^\circ - \alpha)} \\ &= \sqrt{1000^2 + 800^2 - 2 \times 1000 \times 800 \times \cos 60^\circ} \text{ km/h} \\ &= 917 \text{ km/h} \end{aligned}$$

又由  $v_A - v_B \sin \alpha = v_{AB} \sin \beta$

可得  $\sin \beta = (v_A - v_B \sin \alpha) / v_{AB}$

则  $\beta = \arcsin \left( \frac{1000 - 800 \times \sin 30^\circ}{917} \right) = 40^\circ 52'$

即西偏南  $40^\circ 52'$ 。

因为  $v_{AB} = -v_{BA}$

所以  $v_{BA} = 917 \text{ km/h}$ , 方向为东偏北  $40^\circ 52'$ 。

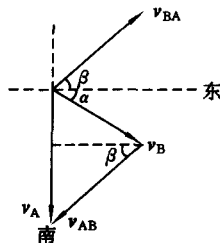


图 1-7

**【1-28】** 一架预警飞机在速率为  $150 \text{ km/h}$  的西风中心巡航, 机头指向正北, 相对于空气的航速为  $750 \text{ km/h}$ 。飞机中雷达员在荧光屏上发现一目标正相对于飞机从东北方向以  $950 \text{ km/h}$  的速率逼近飞机。求该目标相对于地面的速率和方向。

【解】 本题为相对运动问题,注意速度合成。

根据  $v_{\text{目对地}} = v_{\text{目对空气}} + v_{\text{空气对地}} = v_{\text{目对机}} + v_{\text{机对空气}} + v_{\text{空气对地}}$   
由题意作出速度合成矢量图,如图1-8所示。由余弦定理有

$$\begin{aligned} v_{\text{目对空气}} &= \sqrt{v_{\text{目对机}}^2 + v_{\text{机对空气}}^2 - 2v_{\text{目对机}}v_{\text{机对空气}}\cos 45^\circ} \\ &= \sqrt{950^2 + 750^2 - 2 \times 950 \times 750 \cos 45^\circ} \text{ km/h} = 676 \text{ km/h} \end{aligned}$$

又用正弦定理有  $\sin \alpha / 950 = \sin 45^\circ / 676$

可得  $\alpha = \arcsin \left( \frac{950 \times \sin 45^\circ}{676} \right) = 83.57^\circ$

再次应用余弦定理,有

$$\begin{aligned} v_{\text{目对地}} &= \sqrt{v_{\text{目对空气}}^2 + v_{\text{空气对地}}^2 - 2v_{\text{目对空气}}v_{\text{空气对地}}\cos \theta} \\ &= \sqrt{676^2 + 150^2 - 2 \times 676 \times 150 \sin \alpha} \text{ km/h} = 527 \text{ km/h} \end{aligned}$$

再次应用正弦定理,有

$$\begin{aligned} \sin \theta / 527 &= \sin (180^\circ - \gamma) / 676 = \sin \gamma / 676 \\ \gamma &= \arcsin \left( \frac{676 \sin \theta}{527} \right) = \arcsin \left( \frac{676 \cos \alpha}{527} \right) = 8.26^\circ \end{aligned}$$

即西偏北  $8.26^\circ$ 。

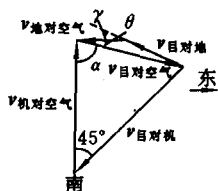


图 1-8