

21 世纪高等学校教材

# 大学物理学习指导

戴兵 主编 高景 主审



DAXUE WULI XUEXI ZHIDAO

上海交通大学出版社

21 世纪高等学校教材

---

# 大学物理学习指导

戴 兵 主编

高 景 主审

上海交通大学出版社

## 内 容 提 要

本书根据 21 世纪高等学校教材《大学物理学》(上、下册)的主要内容,结合大批资深教师的长期教学经验编写而成。

全书分为三个部分。第一部分按教材篇章次序编写,每章由“目的与要求”、“内容提要”、“疑难点分析与问题讨论”及“例题选解”组成;第二部分为 14 套练习题;第三部分为 4 套模拟测试题。书后附有练习题和模拟测试题答案。

本书内容由浅入深,难度适宜,重点突出。

本书可作为高等学校非物理专业学生的辅导书或自学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导/戴兵主编. —上海:上海交通大学出版社,2006

21 世纪高等学校教材

ISBN 7-313-04173-X

I. 大... II. 戴... III. 物理学—高等学校—教学参考资料 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 002843 号

### 大学物理学习指导

戴 兵 主 编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:18 字数:336 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—7050

ISBN 7-313-04173-X/O·193 定价:25.00 元

---

版权所有 侵权必究

## 21 世纪高等学校教材 编审委员会

顾 问： 韩正之

执行主任： 百 文

|        |     |     |      |     |
|--------|-----|-----|------|-----|
| 副 主 任： | 胡敬群 | 高 景 | 靳全勤  | 张华隆 |
|        | 蒋凤瑛 | 冯 颖 | 普杰信  | 程全洲 |
|        | 潘群娜 | 杨裕根 | 徐祖茂  | 曹天守 |
|        | 宓一鸣 | 姜献峰 | 李 敏  | 李湘梅 |
|        | 闫洪亮 | 陈树平 | 包奇金宝 | 刘克成 |
|        | 白丽媛 | 戴 兵 | 张占山  | 张红梅 |

# 前 言

物理学是高等院校理工科学生的一门重要的基础理论课,在培养学生的科学素质中具有不可替代的作用。

全书分为三个部分。第一部分按教材篇章次序编写,每章由“目的与要求”、“内容提要”、“疑难点分析与问题讨论”及“例题选解”组成;第二部分为14套练习题;第三部分为4套模拟测试题。书后附有练习题和模拟测试题答案。

在学习物理学的过程中,做习题可以加深对基本概念、基本规律的理解,是一个不可或缺的环节,本书通过对典型例题的求解,帮助学生加强对教学内容的理解,提高学习效果。学生通过所附习题的练习,可以检查自己的学习效果。

本书的编写者都是长期从事大学物理教学的教师,本书是他们多年教学经验的总结。本书由戴兵任主编,孙炳华、成鸣飞、孙越胜任副主编。各章的编写人员分别为:成鸣飞(第1~5章)、袁国秋(第6章)、孙蕾蕾(第7章)、孙越胜(第8章)、龚云国(第9章)、李保源(第10章)、孙炳华(第11、12、13、16、17章)、戴兵(第14、15章)、曹前(第18、19、29章)、卞临斌(第21、22、23章)。全书由戴兵、孙炳华统稿。

高景教授百忙中抽空审阅了本书,在此深表感谢。

由于时间和水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2005年10月

# 目 录

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第一部分 .....               | 1   |
| 第一章 质点运动学 .....          | 1   |
| 第二章 质点运动定律 .....         | 9   |
| 第三章 机械能和功 .....          | 14  |
| 第四章 动量和角动量 .....         | 21  |
| 第五章 刚体力学基础 .....         | 27  |
| 第六章 狭义相对论基础 .....        | 35  |
| 第七章 机械振动 .....           | 43  |
| 第八章 机械波 .....            | 55  |
| 第九章 平衡态与分子热运动的统计规律 ..... | 70  |
| 第十章 热力学定律 .....          | 77  |
| 第十一章 静电场 .....           | 85  |
| 第十二章 导体电学 .....          | 93  |
| 第十三章 电介质 .....           | 98  |
| 第十四章 稳恒磁场 .....          | 103 |
| 第十五章 磁介质 .....           | 111 |
| 第十六章 变化的电磁场 .....        | 114 |
| 第十七章 电磁波 .....           | 122 |
| 第十八章 光的干涉 .....          | 125 |
| 第十九章 光的衍射 .....          | 136 |
| 第二十章 光的偏振 .....          | 144 |
| 第二十一章 量子光学基础 .....       | 149 |
| 第二十二章 量子力学基础 .....       | 155 |
| 第二十三章 固体的量子理论 .....      | 164 |
| 第二部分 .....               | 168 |
| 练习题一 .....               | 168 |
| 练习题二 .....               | 172 |

|                   |            |
|-------------------|------------|
| 练习题三 .....        | 177        |
| 练习题四 .....        | 181        |
| 练习题五 .....        | 185        |
| 练习题六 .....        | 188        |
| 练习题七 .....        | 192        |
| 练习题八 .....        | 196        |
| 练习题九 .....        | 199        |
| 练习题十 .....        | 204        |
| 练习题十一 .....       | 211        |
| 练习题十二 .....       | 218        |
| 练习题十三 .....       | 222        |
| 练习题十四 .....       | 226        |
| <b>第三部分</b> ..... | <b>230</b> |
| 模拟测试一 .....       | 230        |
| 模拟测试二 .....       | 234        |
| 模拟测试三 .....       | 238        |
| 模拟测试四 .....       | 243        |
| <b>答案</b> .....   | <b>248</b> |

# 第一部分

## 第一章 质点运动学

### 一、目的与要求

- (1) 了解描述运动的三个必要条件:参考系(坐标系)、物理模型(质点、刚体)、初始条件。
- (2) 理解描述质点运动的基本物理量:位置矢量、位移、速度、加速度的定义和性质,明确这些物理量的矢量性、相对性和速度、加速度的瞬时性。
- (3) 掌握质点运动学两类问题:用微分方法由已知的运动学方程求速度、加速度;用积分的方法由已知质点的速度或加速度求质点的运动学方程。
- (4) 掌握圆周运动的角量表示、角量描述以及角量和线量之间的关系。
- (5) 理解相对运动的有关概念,并学会应用变换式进行质点相对运动的基本计算。

### 二、内容提要

#### 1. 描述物体运动的三个条件,学会质点位置确定的方法

(1) 参考系:由于自然界物体的运动是绝对的,所以讨论物体的运动情况只能在相对的意义中,这就是参考系的建立。同时,如果要定量描述物体的运动还必须建立坐标系,比较常用的坐标系有笛卡儿坐标系(直角坐标系)、极坐标系、球面坐标系和柱面坐标系等。

(2) 物理模型:即理想化的模型,本章主要介绍质点和刚体两个物理模型。

质点:当研究马路上的汽车时,通常不需要将整个汽车画下来,因为汽车上每一点的运动此时均可代表汽车的运动。我们就可以将其简化为一个仅有质量而无大小和形状的点。一般要求满足以下两个条件之一的方可以称为质点:物体作平动,各点具有相同的速度和加速度;或者运动物体的形状、大小与其运动的空间相比可以忽略。

质点组:如果上述两个条件都不满足,此时可以将此物体分成许多小部分,每一部分又足够的小,可以看成一质点,此时物体就变成了许多质点构成的质点组。刚体是各质点元之间无相对位移的质点组。

(3) 初始条件:指开始计时时刻物体位置和速度(或角位置、角速度),它会影响下面物体的运动状态。

## 2. 描述质点运动的基本物理量

(1) 位矢和位移(如图 1-1):

位置矢量:用  $\mathbf{r}$  表示由坐标原点引向质点所在处的有向线段,有

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

其大小为

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

方向为

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \cos \beta = \frac{y}{r}, \cos \gamma = \frac{z}{r}.$$

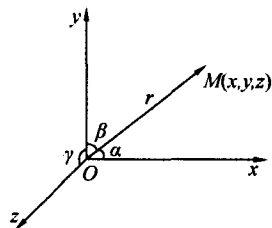


图 1-1

位移  $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$  是由起点指向终点的有向线段,是一个矢量,只与始末位置有关。而路程是质点在空间运动所经历的轨迹的长度,恒为正,是标量,用  $s$  表示。位移和路程的区别在于两点间的路程是不唯一的,可以是多种情况,而位移是唯一的,并且在一般情况下,位移大小不等于路程。

运动方程  $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$  表示质点位置随时间变化的情况。

(2) 速率和速度:位矢变化的快慢用速度来表示。速度的定义为

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k}.$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{平均速度} & \bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}, \\ \text{平均速率} & \bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}. \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{ll} \text{速度} & \mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}, \\ \text{速率} & v = \frac{ds}{dt}. \end{array} \right.$$

(3) 加速度:为了表示速度变化的快慢,引入加速度的概念,用  $\mathbf{a}$  表示:

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}.$$

在直角坐标系的加速度可表示为

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k}.$$

(4) 运动的独立性原理或运动的叠加原理:任意曲线运动都可以视为沿  $xyz$  轴的三个独立的直线运动的叠加(矢量加法)。

### 3. 质点运动学两类问题

一是由运动方程求质点的各物理量以及运动轨迹,比如给出运动方程,通过消参数来求轨道方程,求导来得到速度和加速度的情况,判断其运动。

二是由某个物理量和初始条件求运动方程。比如给出速度或加速度的方程,以及初始条件,通过积分来求位置矢量的表达式。

### 4. 圆周运动的角量表示

(1) 平面极坐标系中的径向速度和横向速度:

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(r\mathbf{e}_r) = \frac{dr}{dt}\mathbf{e}_r + r\frac{d\mathbf{e}_r}{dt} = \frac{dr}{dt}\mathbf{e}_r + r\frac{d\theta}{dt}\mathbf{e}_\theta.$$

加速度的乘性方程:  $\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n = \frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau} + \frac{v^2}{\rho}\mathbf{n}$ 。

(2) 圆周运动的切向加速度:  $a_t = dv/dt$ , 反映了速度大小的改变;法向加速度:  $a_n = v^2/R$ , 反映了速度方向的改变。

(3) 圆周运动的角量表示:

在前面已经知道描述质点的运动用线量:  $r$ 、 $\Delta r$ 、 $\mathbf{v}$ 、 $\mathbf{a}$ 。那么对于圆周运动,对应地引入以下的概念即角量:  $\theta$ 、 $\Delta\theta$ 、 $\omega$ 、 $\beta$ 。

角位置  $\theta$ : 质点做圆周运动时的位置用角度来表示,它的单位是弧度(rad),一般以逆时针转动的  $\theta$  为正,顺时针转动的  $\theta$  为负。

角位移  $\Delta\theta$ : 在  $t$  时刻,质点在  $A$  处( $\theta_A$ ),在  $t + \Delta t$  时刻,质点到达  $B$  点( $\theta_B$ ),所以  $\theta_B = \theta_A + \Delta\theta$ ,此时  $\Delta\theta = \theta_B - \theta_A$  就定义为角位移。

角速度  $\omega$ : 表示圆周运动快慢的物理量,  $\omega = d\theta/dt$ 。

角加速度  $\beta$ : 表示圆周运动变化快慢的物理量,  $\beta = d^2\theta/dt^2 = d\omega/dt$ 。

角量表示的运动方程:  $\theta = \theta(t)$ 。

(4) 角量和线量的关系:

$\omega$  与  $v$  之间的关系:

$$v = R\omega, \text{ 推导如下: } v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} = \frac{Rd\theta}{dt} = R\omega;$$

$\beta$  与  $a$  之间的关系:

$$a_t = R\beta, \text{ 推导如下: } a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{Rd\omega}{dt} = R\beta;$$

$$a_n = R\omega^2, \text{ 推导如下: } a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2.$$

## 5. 相对运动的有关概念

(1) 质点运动时,在不同的参照系中,看到的效果不同,这里只讨论两个参考系的相对运动是平动,并且是在低速状态之下的相对位移、相对速度和相对加速度的概念。

分别建立两坐标系  $K$  和  $K'$ ,  $K-Oxyz$ ,  $K'-O'x'y'z'$ , 其中  $R$  是  $O'$  在  $K$  系中的位矢。质点  $P$  在空间运动,在  $K$  系中的位矢、速度、加速度分别用  $r$ 、 $v$ 、 $a$  来表示,而在  $K'$  系中的位矢、速度、加速度分别用  $r'$ 、 $v'$ 、 $a'$  来表示。当  $K'$  相对于  $K$  系以速度  $u$  沿着  $x$  轴做平动时,它们之间的关系如下:

$$r = r' + R.$$

对上式一次求导得  $v = v' + u$ 。

对上式二次求导得  $a = a' + a_0$ ,

其中  $v$  称为绝对速度;  $v'$  称为相对速度;  $u$  称为牵连速度。

(2) 在日常解决三个物体的相对运动时,可用字母  $A$ 、 $B$ 、 $C$  来表示三个质点,使用下式来解决相对运动的问题:  $v_{AB} = -v_{BA}$ ,  $v_{AC} = v_{AB} + v_{BC}$ 。

## 三、疑难点分析与问题讨论

### 1. 描述运动物理量的矢量性

质点的运动的变化常常随着大小和方向的变化而变化,因此描述质点运动的物理量——位置矢量、位移、速度、加速度都是矢量。它们的运算遵循矢量的运算法则。并且要注意位移和路程、平均速度和平均速率的区别。

[问题 1-1] 在曲线运动中,  $|\Delta r|$  与  $\Delta r$  是否相同?  $|\Delta v|$  与  $\Delta v$  是否相同?  $\frac{dr}{dt}$  与  $\frac{dr}{dt}$  有何区别?  $\frac{dv}{dt}$  和  $\frac{dv}{dt}$  有何区别? 请举例说明。

要点与分析 本题测试的是关于位移、速度、加速度的矢量性概念,针对于学

生对矢量符号容易漏掉或理解不深的问题展开的。

解 (1)  $|\Delta r|$  与  $\Delta r$  不相同,  $\Delta r$  是两矢量之差, 即  $\Delta r = r_2 - r_1$ , 而  $\Delta r$  是两个矢量的模之差, 即  $\Delta r = |r_2| - |r_1|$ , 由图 1-2(a) 可见, 两者是不同的概念。

(2) 同理  $|\Delta v|$  与  $\Delta v$  也不相同, 由图 1-2(b) 可见。

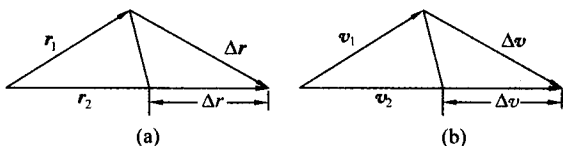


图 1-2

(3)  $\frac{dr}{dt}$  表示质点运动的速度, 是矢量, 有大小和方向; 而  $\frac{dr}{dt}$  是矢径大小的变化率, 只有大小, 没有方向。

(4)  $\frac{dv}{dt} = a$  是质点运动的加速度; 而  $\frac{dv}{dt} = a_t$  是质点运动的切向加速度, 只负责改变速度的大小。

〔问题 1-2〕 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)  $2\pi R/T$ ,  $2\pi R/T$

(B) 0,  $2\pi R/T$

(C) 0, 0

(D)  $2\pi R/T$ , 0

**要点与分析** 本题测试的概念是平均速率和平均速度的区别: 平均速度是位移除以时间, 平均速率是路程除以时间。本题中, 在  $2T$  时间内的位移是 0, 在  $2T$  时间内的路程是  $4\pi R$ , 所以对应的平均速度是 0, 平均速率是  $2\pi R/T$ 。应选 B。

**错误分析** 选 A 的同学把平均速度和平均速率认为是同一个定义; 选 C 和 D 的同学不确切知道平均速度和速率的定义。

## 2. 运动的相对性

物体运动的描述在不同的参考系中是不一样的, 因此在对物体的运动进行描述之前要选择合适的坐标系, 弄清楚有关物理量在各个参考系中的数值和方向, 在解题中要特别注意运算时的物理量的矢量性。

〔问题 1-3〕 在相对地面静止的坐标系内, A、B 两船都以  $2 \text{ m/s}$  速率匀速行驶, A 船沿  $x$  轴正向, B 船沿  $y$  轴正向。今在 A 船上设置与静止坐标系方向相同的坐标系( $x$ 、 $y$  方向单位矢量用  $i$ 、 $j$  表示), 那么在 A 船上的坐标系中, B 船的速度(以  $\text{m/s}$  为单位)为\_\_\_\_\_。

$$(A) 2i + 2j$$

$$(B) -2i + 2j$$

$$(C) -2i - 2j$$

$$(D) 2i - 2j$$

**要点与分析** 本题测试的是相对速度的概念： $v_{AB} = v_{BC} + v_{CA}$ 。

**解** 在本题中， $v_{A对地} = 2i$  (即  $v_{地对A} = -2i$ )， $v_{B对地} = 2j$ ， $v_{BA} = v_{B对地} + v_{地对A} = 2j - 2i$ 。故选 B。

## 四、例题选解

**[例题 1-1]** 一质点在  $Oxy$  平面内运动，运动方程为  $x = 2t$ ， $y = 19 - 2t^2$ ，式中  $x$ 、 $y$  以 m 计， $t$  以 s 计。

(1) 计算并图示质点的运动轨道；

(2) 写出  $t = 1$  s 时刻和  $t = 2$  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) 计算 1 s 末和 2 s 末质点的瞬时速度和加速度；

(4) 在什么时刻，质点的位置矢量与其速度矢量恰好垂直？这时，它们的  $x$ 、 $y$  分量各为多少？

(5) 在什么时刻，质点离原点最近？算出这一距离。

**要点与分析** 本题测试的是关于运动方程、轨道方程、位置矢量和速度、加速度的定义。

**解** (1) 质点的运动方程：在参数方程  $\begin{cases} x = 2t, \\ y = 19 - 2t^2 \end{cases}$  中约掉参数即可得到

$$y = 19 - 2\left(\frac{x}{2}\right)^2 = 19 - \frac{x^2}{2}$$

是一条抛物线(图示略)。

(2) 将参数方程写成运动矢量表达式，即： $r = 2ti + (19 - 2t^2)j$ ，要求位置矢量，只要直接代入时间即可： $t = 1$  s 时， $r = 2i + 17j$ ； $t = 2$  s 时， $r = 4i + 11j$ 。平均速度为： $v = \frac{r_2 - r_1}{\Delta t} = 2i - 6j$ ，大小为 6.32 m/s，方向与  $x$  轴成  $-71^\circ 33' 54''$ 。

(3) 速度是位矢的一阶导数，加速度是位矢的两阶导数。所以

$$v = \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j = 2i - 4tj, a = \frac{dv_x}{dt}i + \frac{dv_y}{dt}j = -4j.$$

$t = 1$  s 时， $v = 2i - 4j$  的大小为 4.47 m/s，方向与  $x$  轴成  $-63^\circ$  角。

$t = 2$  s 时， $v = 2i - 8j$  的大小为 8.85 m/s，方向与  $x$  轴成  $-75^\circ$  角。

加速度  $\mathbf{a} = -4\mathbf{j}$  的大小为  $4 \text{ m/s}^2$ , 方向指向  $y$  轴负向。

(4) 要使质点的位置矢量与其速度矢量恰好垂直, 即两矢量的点乘为 0, 即

$$\mathbf{r} \cdot \mathbf{v} = 0, [2ti + (19 - 2t^2)\mathbf{j}] \cdot [2i - 4t\mathbf{j}] = 0,$$

可得:  $t_1 = 0, t_2 = 3 \text{ s}$ 。

$$t_1 = 0, \mathbf{r} = 19\mathbf{j}, \mathbf{v} = 2\mathbf{i}.$$

$$t_2 = 3 \text{ s}, \mathbf{r} = 6\mathbf{i} + \mathbf{j}, \mathbf{v} = 2\mathbf{i} - 12\mathbf{j}.$$

(5) 要求质点离原点最近, 即要求质点位置矢量的最小值

$$|\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(2t)^2 + (19 - 2t^2)^2}.$$

令它对时间的一阶导数等于 0, 可求得:  $t = 3 \text{ s}$ , 此时  $|\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(6)^2 + (19 - 2 \times 3^2)^2} = \sqrt{37} \text{ m}$ 。

读者常见的错误是: 关于矢量的计算很容易出错, 可通过本题进行多重练习。

[例题 1-2] 一质点沿半径为  $0.1 \text{ m}$  的圆周做运动, 其角位置  $\theta$  (以弧度表示) 可用下式表示:  $\theta = 2 + 4t^3$ , 式中  $t$  以  $\text{s}$  计。问:

(1)  $t = 2 \text{ s}$  时, 它的法向加速度和切向加速度各为多少?  $t = 4 \text{ s}$  时又如何呢?

(2) 当切向加速度的大小恰好是总加速度大小的一半时,  $\theta$  的值是多少?

(3) 在哪一时刻, 切向加速度和法向加速度恰好有相等的值?

**要点与分析** 本题测试的是角量的有关概念。角速度是角位置的一阶导数

$\omega = \frac{d\theta}{dt}$ , 角加速度是角位置的二阶导数  $\beta = \frac{d^2\theta}{dt^2}$ ; 角量和线量之间的关系为

$$v = \omega R, a_\tau = R\beta, a_n = \omega R^2.$$

**解** 由  $\theta = 2 + 4t^3$ , 可得  $\omega = 12t^2, \beta = 24t$ 。

(1)  $a_n = R\omega^2, a_\tau = dv/dt = R\beta$ 。

$$a_n = R\omega^2 = 0.1 \times (12t^2)^2, a_\tau = dv/dt = R\beta = 0.1 \times 24t.$$

当  $t = 2 \text{ s}$  时,  $a_n = 230.4 \text{ m/s}^2, a_\tau = 4.8 \text{ m/s}^2$ 。

当  $t = 4 \text{ s}$  时,  $a_n = 3686.4 \text{ m/s}^2, a_\tau = 9.6 \text{ m/s}^2$ 。

(2) 当切向加速度的大小恰好是总加速度大小的一半时, 即  $a_\tau = \frac{1}{2}a, t = 0.66 \text{ s}$  时,  $\theta = 3.15 \text{ rad}$ 。

(3)  $a_n = a_\tau$  时, 可得  $t = 0.55 \text{ s}$ 。

[例题 1-3] 当一列火车以  $10 \text{ km/h}$  的速率水平向东行驶时, 相对于地面匀速竖直下落的雨滴, 在列车的窗子上形成的雨迹与竖直方向成  $30^\circ$  角。求:

(1) 雨滴相对于地面的水平分速度有多大? 相对于列车的水平分速度有多大?

(2) 雨滴相对于地面的速率如何? 相对于列车的速率如何?

**要点与分析** 本题测试的是相对速度的概念,如图 1-3 所

示:  $\boldsymbol{v}_{AB} = \boldsymbol{v}_{BC} + \boldsymbol{v}_{CA}$ 。

**解** (1) 题给雨滴相对于地面竖直下落,故相对于地面的水平分速为零。雨滴相对于列车的水平分速与列车速度等值反向为 10 m/s,正西方向。

(2) 设下标 W 指雨滴, t 指列车, E 指地面,则有

$$\boldsymbol{v}_{WE} = \boldsymbol{v}_{Wt} + \boldsymbol{v}_{tE}, \quad \boldsymbol{v}_{tE} = 10 \text{ m/s}。$$

$\boldsymbol{v}_{WE}$  竖直向下,  $\boldsymbol{v}_{Wt}$  偏离竖直方向  $30^\circ$ , 由图求得:

雨滴相对于地面的速率为  $v_{WE} = v_{tE} \cot 30^\circ = 17.3 \text{ m/s}$ 。

雨滴相对于列车的速率  $v_{Wt} = \frac{v_{tE}}{\sin 30^\circ} = 20 \text{ m/s}$ 。

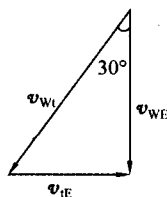


图 1-3

## 第二章 质点运动定律

### 一、目的与要求

- (1) 理解牛顿运动定律的内容和实质,明确牛顿运动定律的使用范围及条件。
- (2) 掌握用隔离法分析质点受力和解题的基本方法,能用微积分求解一维变力作用下简单的质点动力学问题。
- (3) 了解惯性力的概念和特点,以及在非惯性系中运用牛顿定律求解质点动力学的方法。

### 二、内容提要

#### 1. 牛顿运动定律

(1) 惯性定律:任何物体都保持静止或匀速直线运动的状态,直到受到力的作用迫使它改变这种状态为止。它包含了两个重要的概念,即惯性:质点保持原来速度不变的性质;力:质点受其他物体的作用,是改变速度的原因。

(2) 牛顿第二定律:在受到外力作用时,物体所获得的加速度的大小与外力成正比,与物体的质量成反比;加速度的方向与外力的矢量和的方向相同,表达式为  $F = ma$ 。

(3) 第三定律:两个物体之间的相互作用总是相等的,而且指向相反的方向。即作用力与反作用力,有  $F_1 = -F_2$ 。且①它们总是成对出现,它们之间一一对应。②它们分别作用在两个物体上,绝不是平衡力。③它们一定是属于同一性质的力。

#### 2. 常用的力

(1) 万有引力和重力:任何两个物体之间都要相互吸引,其大小为

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}。$$

方向为两质点连线方向,因为  $G$  很小,所以一般万有引力也很小,只有当质量很大时,才要考虑它。

(2) 弹力:也称弹性力,是指弹性物体受外力作用发生形变后产生的一种回复力。比如:弹簧伸长或压缩产生的力、绳子的拉力、桌面的支持力等。弹力的性质有:

①本质:物体产生形变后,企图恢复原来的形状所产生的。②产生条件:两物体接触,接触物体产生形变。③方向:沿接触面的法向。

(3) 摩擦力:两接触的物体沿接触面发生的阻止相对运动或相对运动趋势的力。可将摩擦力分成滑动摩擦力和静摩擦力。

滑动摩擦力的大小为  $f_k = \mu_k N$ , 其中  $\mu_k$  是滑动摩擦系数,与两物体材料特性及接触面的状态有关。它的方向与两物体相对运动的方向相反。

静摩擦力的大小为  $f_s = \mu_s N$ , 其中  $\mu_s$  是静摩擦系数,与两物体材料特性及接触面的状态有关。它的大小介于 0 和某个最大值之间。它的方向与两物体相对运动趋势的方向相反。

### 3. 牛顿运动定律的应用

牛顿运动定律只在惯性系中成立,所以在运用牛顿定律解题时,首先要确认所选的参考系是惯性系,然后按照下列的一般步骤来进行解题:

- (1) 确定研究对象进行受力分析(隔离物体,画受力图);
- (2) 取坐标系;
- (3) 列方程(一般用分量式);
- (4) 利用其他的约束条件列补充方程;
- (5) 先用文字符号求解,后代入数据计算结果。

## 三、疑难点分析与问题讨论

### 1. 弹性力和摩擦力的问题

在受力分析时,比较复杂的是弹性力和摩擦力,弹性力的大小和物体所受的其他力及运动状态有关,比较容易判断的是力的方向,它总是垂直于物体接触面的切面,而它们的大小则往往需要通过牛顿定律求出。同样在解题时要注意的是在实际问题中静摩擦力往往也是未知的,并且不能随意套用公式计算出来,只能根据物体的运动情况和受力分析得到。静摩擦力的方向可先假设,再由计算结果来给予检验,如果计算结果是正值,那么它的方向就与假设相同;如果计算结果是