

高等学校
物理学习指导用书

大学物理 精讲精练

与程守洙、江之水主编的《普通物理学》(第五版)同步

主编 梁 红

系统梳理知识体系
全面总结方法技巧
细致解答疑惑难点
精心配置分层练习



北京师范大学出版社

04/10=5C5

2007

高等学校
物理学习指导用书

大学物理 精讲精练

与程守洙、江之水主编的《普通物理学》
(第五版)同步

主编 梁 红
编著 史建华 李洪涛 丁晓红
邓岩浩 王振美



北京师范大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理精讲精练/梁红主编. —北京: 北京师范大学出版社, 2007. 7

(高等学校物理学习指导书)

ISBN 978-7-303-08725-9

I. 大… II. 梁… 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 (2007) 第 098330 号

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 唐山市润丰印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 184mm × 260 mm

印 张: 17.25

字 数: 450 千字

印 数: 1~3 000

版 次: 2007 年 8 月第 1 版

印 次: 2007 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 21.50 元

责任编辑: 余娟平 装帧设计: 孙 琳

责任校对: 李 菡 责任印制: 董本刚

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

本书如有印装质量问题, 请与出版部联系调换。

出版部电话: 010-58800825

前言

物理学是一门重要的基础科学,大学物理是高等院校非物理专业的理工科专业的重要基础理论课之一。由于学生在学习大学物理过程中普遍存在困难,为了帮助学生掌握好物理学的基本概念、基本规律,提高学生分析问题和解决问题的能力,编者在总结多年教学经验的基础上编写了本书。

本书为目前高校中普遍使用的程守洙、江之水主编的《普通物理学》(第五版)的同步辅导教材,与众多辅导教材不同之处在于,本书不是对该教材后各章习题简单的题解,而是按教材内容重新编写习题,每章(第十章和第十九章除外)均由以下四部分组成:

一、学习要求:按照理工科大学物理教学的基本要求,将每章知识分为了解、理解、掌握和熟练掌握四个层次,使学生对所学知识的掌握程度做到心中有数。

二、知识要点梳理:对本章知识简明扼要地归纳、概括和总结,使知识系统化、条理化。帮助学生理清知识脉络,为课后复习提供方便、清晰的系统资料。

三、典型例题分析:通过典型问题的求解,注重建立清晰的物理图像,突出解题方法和技巧,强调物理方法和数学方法的灵活运用,培养科学的思维方式和提高分析问题和解决问题的能力。

四、练习与自测

1. 基础练习:包括单项选择题和填空题,是反映各章基本要求的测试习题。

2. 综合练习:反映综合解决问题能力的习题。

练习与自测的所有习题书后均有详解,解题中针对不同问题有解题技巧点拨、解题方法总结、一题多解、常见错误分析等。

另外书中还有四套模拟试题,供学生在每学期期中、期末同步复习使用。

全书共使用各类大学普通物理题库近 600 道典型习题,类型丰富,知识点全面,难易程度层次分明,能满足不同层次的学生要求。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和错误,敬请广大读者和同行指正。

成书过程中,北京师范大学出版社理科室的编辑们认真负责的工作作风、精益求精的科学态度使作者受益匪浅,他们对本书出版给予了热情的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

目 录

第一篇 力 学	(1)
第一章 质点的运动	(1)
一、学习要求	(1)
二、知识要点梳理	(1)
三、典型例题分析	(4)
四、练习与自测	(8)
第二章 牛顿运动定律	(10)
一、学习要求	(10)
二、知识要点梳理	(10)
三、典型例题分析	(12)
四、练习与自测	(16)
第三章 运动的守恒定律	(19)
一、学习要求	(19)
二、知识要点梳理	(19)
三、典型例题分析	(23)
四、练习与自测	(29)
第四章 刚体的转动	(34)
一、学习要求	(34)
二、知识要点梳理	(34)
三、典型例题分析	(36)
四、练习与自测	(42)
第五章 相对论基础	(45)
一、学习要求	(45)
二、知识要点梳理	(45)
三、典型例题分析	(47)
四、练习与自测	(50)
第二篇 热 学	(53)
第六章 气体动理论	(53)
一、学习要求	(53)
二、知识要点梳理	(53)
三、典型例题分析	(55)

四、练习与自测	(57)
第七章 热力学基础	(59)
一、学习要求	(59)
二、知识要点梳理	(59)
三、典型例题分析	(61)
四、练习与自测	(64)
第三篇 电磁学	(69)
第八章 真空中的静电场	(69)
一、学习要求	(69)
二、知识要点梳理	(69)
三、典型例题分析	(73)
四、练习与自测	(76)
第九章 导体和电介质中的静电场	(81)
一、学习要求	(81)
二、知识要点梳理	(81)
三、典型例题分析	(83)
四、练习与自测	(87)
第十章 恒定电流和恒定电场	(90)
一、学习要求	(90)
二、知识要点梳理	(90)
三、典型例题分析	(91)
模拟试卷 (1)	(92)
模拟试卷 (2)	(95)
第十一章 真空中的恒定磁场	(98)
一、学习要求	(98)
二、知识要点梳理	(98)
三、典型例题分析	(101)
四、练习与自测	(105)
第十二章 磁介质中的磁场	(110)
一、学习要求	(110)
二、知识要点梳理	(110)
三、典型例题分析	(111)
四、练习与自测	(112)
第十三章 电磁感应	(114)
一、学习要求	(114)
二、知识要点梳理	(114)
三、典型例题分析	(116)
四、练习与自测	(120)
第十四章 麦克斯韦方程组 电磁场	(124)

一、学习要求	(124)
二、知识要点梳理	(124)
三、典型例题分析	(125)
四、练习与自测	(125)
第四篇 振动和波动	(127)
第十五章 机械振动和电磁振荡	(127)
一、学习要求	(127)
二、知识要点梳理	(127)
三、典型例题分析	(130)
四、练习与自测	(134)
第十六章 机械波和电磁波	(138)
一、学习要求	(138)
二、知识要点梳理	(138)
三、典型例题分析	(141)
四、练习与自测	(145)
第十七章 波动光学	(152)
(一) 光的干涉	(152)
一、学习要求	(152)
二、知识要点梳理	(152)
三、典型例题分析	(156)
四、练习与自测	(158)
(二) 光的衍射	(162)
一、学习要求	(162)
二、知识要点梳理	(162)
三、典型例题分析	(165)
四、练习与自测	(167)
(三) 光的偏振	(169)
一、学习要求	(169)
二、知识要点梳理	(169)
三、典型例题分析	(172)
四、练习与自测	(174)
第五篇 量子物理	(176)
第十八章 早期量子论和量子力学基础	(176)
一、学习要求	(176)
二、知识要点梳理	(176)
三、典型例题分析	(180)
四、练习与自测	(182)
第十九章 激光和固体的量子理论	(187)



一、学习要求	(187)
二、知识要点梳理	(187)
模拟试卷 (3)	(188)
模拟试卷 (4)	(192)
答案与解析	(196)

第一篇

力学

第一章

质点的运动

一、学习要求

1. 掌握位置矢量、位移、速度、加速度等描述质点运动及运动变化的物理量,理解这些物理量的矢量性、瞬时性和相对性.
2. 理解运动方程的物理意义及作用. 熟练掌握运用运动方程确定质点的位置、位移、速度和加速度的方法,以及已知质点运动的加速度和初始条件求速度、运动方程的方法.
3. 能计算质点在平面内运动时的速度和加速度,以及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.
4. 理解伽利略速度变换式,并会用它求简单的质点相对运动问题.

二、知识要点梳理

1. 位置矢量与运动方程

(1) 位置矢量(以下简称位矢),如图 1-1 所示.

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

大小: $r = |\boldsymbol{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$;

方向: $\cos \alpha = x/r, \cos \beta = y/r, \cos \gamma = z/r$,

且 $\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$.

(2) 运动方程: 位矢随时间变化的方程.

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

$$\text{分量式为} \begin{cases} x = x(t), \\ y = y(t), \\ z = z(t). \end{cases}$$

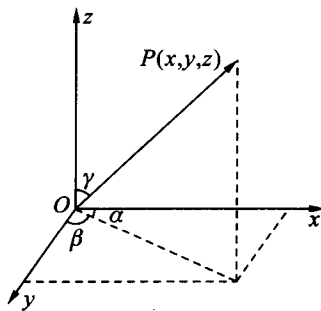


图 1-1

2. 位移、速度和加速度

(1) 位移: 如图 1-2 所示.

$$\Delta \boldsymbol{r} = \overline{AB} = \boldsymbol{r}_B - \boldsymbol{r}_A = \Delta x\boldsymbol{i} + \Delta y\boldsymbol{j} + \Delta z\boldsymbol{k}$$



(2)速度、速率

①速度

平均速度: $\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$, Δt 时间内位移与时间的比值.

$$\begin{aligned} \text{瞬时速度: } \boldsymbol{v} &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt}\boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt}\boldsymbol{k} \\ &= v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k} \end{aligned}$$

为位矢对时间的一阶导数.

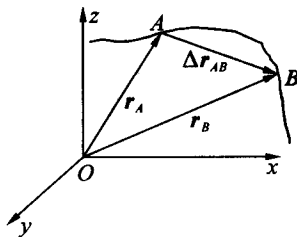


图 1-2

②速率

平均速率: $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, Δt 时间内路程与时间 Δt 的比值.

瞬时速率: $v = \frac{ds}{dt}$, 路程对时间的一阶导数.

(3)加速度

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

$$\text{瞬时加速度: } \boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dv_y}{dt}\boldsymbol{j} + \frac{dv_z}{dt}\boldsymbol{k} = a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j} + a_z\boldsymbol{k}$$

3 对位矢、位移、速度、加速度的说明

矢量性: 四个量都是矢量, 有大小和方向, 代数运算遵循平行四边形法则;

瞬时性: $\boldsymbol{r}, \boldsymbol{v}, \boldsymbol{a}$, 某一时刻的瞬时量, $\Delta \boldsymbol{r}$ 为过程量;

相对性: 不同参照系中, 同一质点运动描述不同.

【问题 1】若质点的运动方程为 $x=x(t), y=y(t)$, 在计算速度时, 有两种计算方法, 一种是先求出 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, 然后根据 $v = \frac{dr}{dt}$ 求得结果; 另一种是先计算速度的分量, 再合成求结果, 即 $v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$, 两种方法结果不同, 哪种正确呢?

【授业解惑】后一种方法正确. $\frac{dr}{dt}$ 仅仅计算的是位矢的大小对时间的变化率, 因为速度是矢量, 按照定义 $\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}$, 应该是位矢对时间的变化率, 必须按照矢量的运算规则计算, 即首先求出各方向的分量, 然后合成.

4 运动学的两类问题

(1) 已知运动方程 $\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$, 求解质点在任意时刻的速度和加速度.

$$\text{求导法: } \boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}; \quad \boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2}$$

(2) 已知加速度或速度与时间的关系以及初始条件, 求解在任意时刻的速度和位矢.

$$\text{积分法: } \int d\boldsymbol{v} = \int \boldsymbol{a} dt, \quad \int d\boldsymbol{r} = \int \boldsymbol{v} dt$$

5 圆周运动

(1) 角速度: 角速度等于角位移对时间的一阶导数.

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$$

(2) 角加速度: 角加速度等于角速度对时间的一阶导数或角位移对时间的二阶导数.

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$$

如匀速圆周运动: $\beta = 0, \omega = \text{恒量}$; 匀变速圆周运动: $\alpha = \text{恒量}$.

(3) 角量和线量的关系

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{d\theta \cdot R}{dt} = \omega R$$

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega R)}{dt} = \beta R$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

6. 曲线运动

(1) 切向加速度 $a_t = \frac{dv}{dt}$, 由于速度大小的变化而产生的, 方向: 沿轨道的切线方向.

(2) 法向加速度 $a_n = \frac{v^2}{R}$, 由于速度方向的变化而产生的, 方向: 沿轨道的法线指向.

(3) 总加速度

$$a = a_t + a_n$$

大小: $a = |a| = \sqrt{(a_t)^2 + (a_n)^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{R}\right)^2}$; 方向: 总是指向曲线的凹侧.

【问题 2】质点做曲线运动, 元位移 dr 、元路程 ds 、位移 Δr 及路程 Δs 之间有什么关系呢?

【授业解惑】这个问题常有两种错误概念, 一种认为 $|\Delta r| = \Delta s$, 即位移的大小就是路程, 还有一种认为 $dr = ds$. 如图 1-2 中位移的大小为 AB 直线的长度, 路程为 AB 曲线的长度, 当 B 点无限接近 A 点时, 位移的大小和路程相等, 因此正确的关系是 $|dr| = ds$.

7. 伽利略变换

(1) 坐标变换, 如图 1-3 所示.

$$r = r' + r_{oo'}, \quad t = t'$$

$$\text{分量式为} \begin{cases} x' = x - ut, \\ y' = y, \\ z' = z, \\ t' = t. \end{cases}$$

说明: 对空间的测量与相对运动无关.

(2) 速度变换

$$v = v' + v_{oo'}, \quad \Delta t = \Delta t'$$

$$\text{分量式为} \begin{cases} v'_x = v_x - u, \\ v'_y = v_y, \\ v'_z = v_z. \end{cases}$$

说明: 对时间的测量与相对运动无关.

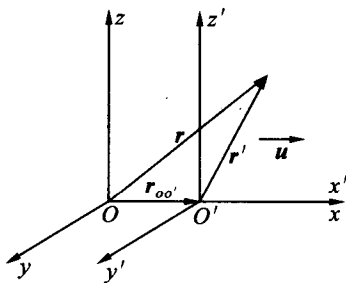


图 1-3

(3) 加速度变换

$$a = a'$$

说明:彼此做匀速直线运动的惯性系,其力学规律是完全相同的。(伽利略相对性原理)

三、典型例题分析

例 1 一质点的运动方程为 $x=2t, y=19-2t^2$ (SI:国际单位制), 试求:

(1) 质点的运动轨迹;

(2) $t=2$ s 时刻质点的速度和加速度;

(3) 在何时, 质点的位矢与其速度矢量恰好垂直? 写出此时质点的位矢.

解 (1) 由运动方程 $x=2t, y=19-2t^2$ (SI) 消去参数 t 得轨迹方程为

$$y=19-\frac{x^2}{2}$$

此为抛物线方程, 即质点的运动轨迹为抛物线.

(2) 解法 1 对运动方程求一阶导数, 得速度的分量为

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 2, \quad v_y = \frac{dy}{dt} = -4t$$

$$t=2 \text{ s 时}, \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{2^2 + (-4 \times 2)^2} = 8.26 \text{ m/s}$$

$$\text{与 } x \text{ 轴的夹角 } \alpha \text{ 满足: } \alpha = \arccos \frac{v_x}{v} = \arccos \frac{2}{\sqrt{68}}$$

对速度的分量式求导, 得加速度的分量为

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 0 \text{ m/s}^2, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = -4 \text{ m/s}^2$$

$$t=2 \text{ s 时}, a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 4 \text{ m/s}^2, \text{ 方向: 沿 } y \text{ 轴负向.}$$

解法 2 矢量运算法

先将运动方程写成位置矢量形式

$$r = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} = 2t\mathbf{i} + (19 - 2t^2)\mathbf{j}$$

由速度及加速度定义知

$$v = \frac{dr}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} = 2\mathbf{i} - 4t\mathbf{j}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = -4\mathbf{j}$$

所以 $t=2$ s 时, $v=2\mathbf{i}-8\mathbf{j}$ (m/s), $a=-4\mathbf{j}$ (m/s²).

接下来求解大小及方向的过程与解法 1 相同.

(3) 当质点的位置矢量与其速度矢量恰好垂直时有 $r \cdot v=0$, 即

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

整理得 $2t^2 - 18 = 0$, 解得 $t_1 = 0, t_2 = 3$.

将所求代入位置矢量表达式: $r = 2t\mathbf{i} + (19 - 2t^2)\mathbf{j}$

$$\text{得 } \begin{cases} x_0 = 0, \\ y_0 = 19 \end{cases} \text{ 和 } \begin{cases} x_3 = 6, \\ y_3 = 1. \end{cases}$$

【技巧点拨】此题为质点的二维运动,应熟练地将运动方程的分量式写为矢量式(或将矢量式写为分量式),直接进行矢量的运算;本题也可以先求速度和加速度的各分量,然后合成.中学常用后一种方法,大学阶段应掌握用矢量式直接运算.

例 2 设某质点沿 x 轴运动,在 $t=0$ 时的速度为 v_0 ,其加速度与速度的大小成正比且方向相反,比例系数为 $k(k>0)$,试求速度随时间变化的关系式.

解 直线运动中可用标量代替矢量,由题意及加速度的定义式,可知 $a = -kv = \frac{dv}{dt}$.

因而

$$\frac{dv}{v} = -k dt$$

积分

$$\int_{v_0}^v \frac{dv}{v} = \int_0^t -k dt$$

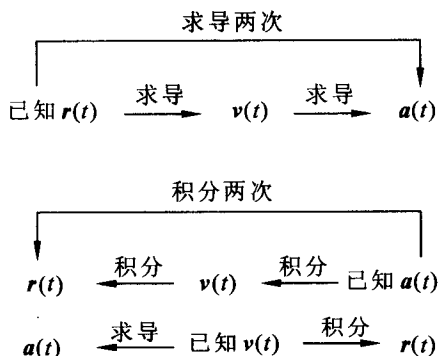
得

$$\ln \frac{v}{v_0} = -kt$$

所以

$$v = v_0 e^{-kt}$$

求解运动学两类问题简单图示如下:



例 3 如图 1-4 所示,在离水面高为 H 的岸边,有人用绳拉船靠岸,船在离岸边 S 处,当人以 v_0 的速率收绳时,求:船的速度和加速度.

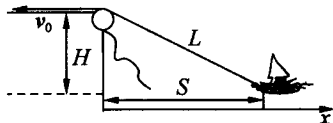


图 1-4

解法 1 建立坐标系如图,根据几何关系有

$$L^2 = H^2 + S^2$$

注意上式中除岸高是常量外,绳长 L 、船离山脚的距离 S 均为随时间变化的变量.方程两边同时对时间求导,得

$$2L \frac{dL}{dt} = 2S \frac{dS}{dt}$$

式中, $\frac{dL}{dt} = -v_0$, $\frac{dS}{dt}$ 为船的速率.

所以船的速率为: $v = \frac{dS}{dt} = -\frac{L}{S}v_0$, 方向:沿 x 轴负向.

解法 2 速度求解的中学方法

船的实际运动方向即为合运动方向,故沿绳的方向为分运动方向,即

$$\frac{v_0}{v} = \cos \alpha, v = \frac{v_0}{\cos \alpha} = \frac{L}{S}v_0$$

船的加速度为
$$a = \frac{dv}{dt} = -\frac{\frac{dL}{dt}S - L\frac{dS}{dt}}{S^2}v_0 = -\frac{v_0S - Lv}{S^2}v_0$$

将 $v = -\frac{L}{S}v_0$ 代入上式得
$$a = -\frac{L^2 - S^2}{S^3}v_0^2 = -\frac{H^2}{S^3}v_0^2$$

【易犯错误】 $a = \frac{dv}{dt} = \frac{L'}{S}v_0 = \frac{v_0^2}{S}$

【追根溯源】错误的根源在于忽略了 S 也是变量。解决该类问题的关键是根据题意建立运动方程，明确方程中的常量和变量，这是同学们常常忽视的问题。一旦建立了运动方程，根据速度和加速度的定义就可以很快地求出结果。

例 4 一质点做半径为 $R=0.5\text{ m}$ 的圆周运动，其运动方程为 $\theta=t^3+3t$ (SI)，试求：质点在 $t=2\text{ s}$ 时的角位置、角速度、角加速度、切向加速度、法向加速度和总加速度。

解 根据角速度、角加速度的定义有

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = 3t^2 + 3, \quad \beta = \frac{d\omega}{dt} = 6t$$

将 $t=2\text{ s}$ 代入可得
$$\begin{cases} \theta = 14 \text{ rad} \\ \omega = 15 \text{ rad/s} \\ \beta = 12 \text{ rad/s}^2 \end{cases}$$

根据角量、线量关系有 $v=\omega R$ ，将 $t=2\text{ s}$ 代入可得 $v=7.5\text{ m/s}$ 。

而
$$\begin{cases} a_n = R\omega^2 = 112.5 \text{ m/s}^2 \\ a_t = R\beta = 6 \text{ m/s}^2 \end{cases}$$

则加速度大小为
$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} = 112.7 \text{ m/s}^2$$

方向为
$$\alpha(a_t, a) = \arctan \frac{a_t}{a_n} = \arctan \frac{6}{112.5} = 3^\circ 3' 10''$$

例 5 一张 CD 光盘音轨区域的内半径 $R_1=2.2\text{ cm}$ ，外半径 $R_2=5.6\text{ cm}$ ，径向音轨密度 n 为每毫米 650 条。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。求，(1) 这张光盘的全部放音时间是多少？(2) 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为多少？

解 (1) 在距离中心为 r 、宽度为 dr 内音轨的长度为 $2\pi r n dr$ ，激光划过这些音轨所需的时间 $dt = \frac{2\pi r n dr}{v}$ ，则整张 CD 的放音时间为

$$t = \int dt = \int_{R_1}^{R_2} \frac{2\pi r n dr}{v} = \frac{\pi n}{v} (R_2^2 - R_1^2) = \frac{\pi \times 6\ 500}{130} (5.6^2 - 2.2^2) = 4\ 164\text{ s}$$

(2) $\omega = \frac{v}{r}$ ， $r=5.0\text{ cm}$ 时， $\omega = \frac{130}{5.0} = 26\text{ rad/s}$ ，而

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = -\frac{v}{r^2} \frac{dr}{dt} = -\frac{v}{r^2} \frac{v}{2\pi r n} = -\frac{v^2}{2\pi r^3 n}$$

$r=5.0\text{ cm}$ 时，
$$\beta = -\frac{130^2}{2\pi \times 5^3 \times 6\ 500} = -3.31 \times 10^{-3} \text{ rad/s}^2$$

【总结述评】以上例题充分体现了微积分在物理中的应用，很多同学学习大学物理时感到困难，原因之一在于不能灵活运用数学知识。而另有些同学微积分学得不错，但不会解决物理

实际问题,这是因为数学是高度的概括和抽象,通常是给定一个函数关系式,用 x 表示变量, y 表示函数,直接积分或求导即可.但物理问题中的函数关系式需要根据物理规律来建立,因此学习物理必须掌握物理概念的物理意义,明确物理规律的适用条件,这样才能根据物理规律建立正确的数学关系式.之后要分析关系式中哪些物理量是常量,哪些是变量,有时会有多个变量出现,为了减少计算的麻烦,通常要将其统一.在大学学习阶段,经常是用微积分的方法来解决物理问题,在以后的学习中同学们逐渐去体会.

例 6 河水自西向东流动,速度为 10 km/h. 一轮船在水中航行,船相对于河水的航向为北偏西 30° ,相对于河水的航速为 20 km/h. 此时风向为由东向西,风速为 10 km/h. 试求在船上观察到的烟囱冒出的烟缕的飘向(设烟离开烟囱后很快就获得与风相同的速度).

解法 1 解析法

如图 1-5(a)所示建立坐标系,由题意可知

$$v_{水地} = 10i \text{ km/h}$$

$$v_{风地} = -10i \text{ km/h}$$

$$v_{船水} = -20\sin 30^\circ i + 20\cos 30^\circ j \text{ (km/h)}$$

根据相对速度公式

$$\begin{aligned} v_{烟船} &= v_{风船} = v_{风地} + v_{地水} + v_{水船} \\ &= v_{风地} - v_{水地} - v_{船水} \\ &= (-10)i - 10i - (-20\sin 30^\circ i + 20\cos 30^\circ j) \\ &= -10i - 17.3j \text{ (km/h)} \end{aligned}$$

$$v_{烟船} = \sqrt{(-10)^2 + (-17.3)^2} = 20 \text{ km/h}$$

$$\theta = \arctan \frac{10}{17.3} = 30^\circ$$

解法 2 图解法

根据相对速度公式,作图如图 1-5(b),知

$$\begin{aligned} v_{烟船} &= v_{风船} \\ &= v_{风地} + v_{地水} + v_{水船} \\ &= v_{风地} + (-v_{水地}) + (-v_{船水}) \end{aligned}$$

其中, $v_{风地} + (-v_{水地}) = 20 \text{ km/h}$, $v_{水船} = 20 \text{ km/h}$.

可知图 1-5(b)中 $\triangle ABC$ 为等边三角形,所以 $v_{烟船} = 20 \text{ km/h}$, $\theta = 30^\circ$.

即在船上观察,烟以 20 km/h 的速率向南偏西 30° 飘去.

【技巧点拨】解相对运动问题首先要明确哪个物体是 K 系、哪个物体是 K' 系、被研究对象是什么.按照速度变换公式 $v_K = v_{K'} + v_{K'K}$,其中 v_K 为被研究对象在 K 系中的速度; $v_{K'}$ 为被研究对象在 K' 系中的速度; $v_{K'K}$ 为 K' 系相对 K 系的速度,如果还有中间参照系 K'' 、 K''' 等系,速度变换公式的特点是下脚标字母首尾相接,明确了每个物理量的意义,便可以按照速度变换公式求解相对运动问题.

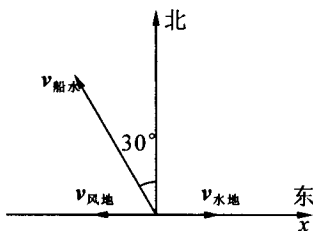


图 1-5(a)

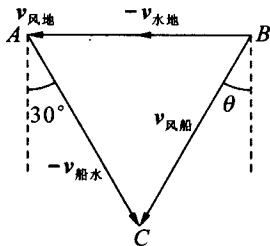


图 1-5(b)

四、练习与自测

A. 单项选择题

1. 质点做半径为 R 的变速圆周运动的加速度大小为 (v 为任一时刻质点的速率) ().

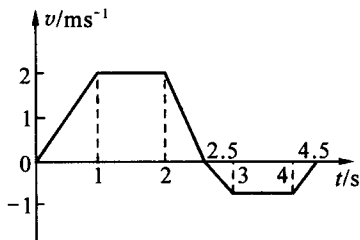
- A. $\frac{dv}{dt}$ B. $\frac{v^2}{R}$ C. $\frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{R}$ D. $\left[\left(\frac{dv}{dt} \right)^2 + \left(\frac{v^4}{R^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$

2. 一质点做直线运动, 某时刻的瞬时速度 $v=2 \text{ m/s}$, 瞬时加速度 $a=-2 \text{ m/s}^2$, 则 1 s 后质点的速度 ().

- A. 等于零 B. 等于 -2 m/s C. 等于 2 m/s D. 不能确定

3. 质点沿 x 轴做直线运动, 其 $v-t$ 图如题 1-3 图所示, 当 $t=0$ 时, 质点位于坐标原点, 当 $t=4.5 \text{ s}$ 时, 质点在 x 轴的位置为 ().

- A. 0 B. 5 m C. 2 m D. -2 m E. -5 m



题 1-3 图

4. 对于沿曲线运动的物体, 以下几种说法中哪一种是正确的? ()

- A. 切向加速度必不为零
 B. 法向加速度必不为零 (拐点处除外)
 C. 由于速度沿切线方向, 法向分速度必为零, 因此法向加速度必为零
 D. 若物体做匀速率运动, 其总加速度必为零
 E. 若物体的加速度为恒矢量, 它一定做匀变速运动

5. 下列说法哪一条正确? ()

- A. 加速度恒定不变时, 物体的运动方向也不变
 B. 平均速率等于平均速度的大小
 C. 不管加速度如何, 平均速率总可以写成 $\bar{v} = (v_1 + v_2)/2$ (v_1, v_2 分别为初、末速率)
 D. 运动物体速率不变时, 速度可以变化

6. 某人骑自行车以速率 v 向西行驶, 风以相同速率从北偏东 30° 吹来, 人感到风从哪个方向吹来? ()

- A. 北偏西 30° B. 北偏西 60° C. 南偏西 30° D. 南偏西 60°

7. 质点运动方程为 $\mathbf{r} = at^2 \mathbf{i} + bt^2 \mathbf{j}$, 则该质点 ().

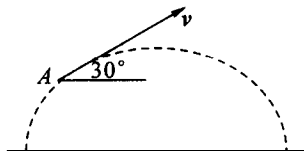
- A. 做匀速直线运动 B. 做变速直线运动
 C. 做变速曲线运动 D. 运动行为无法判定

B. 填空题

8. 一质点做半径为 0.1 m 的圆周运动, 其角位置的运动学方程为: $\theta = 2 + 4t^3 \text{ (SI)}$, 当 $t = 2 \text{ s}$ 时, 则其切向加速度为 $a_\tau =$ _____.

9. 两条直路交叉成 α 角, 两辆汽车分别以速率 v_1 和 v_2 沿两条路同侧行驶, 则一车相对于另一车的速度大小为 _____.

10. 一物体做如题 1-10 图所示的斜抛运动, 测得物体在轨道 A 点处的速度大小为 v , 其方向与水平方向夹角成 30° , 则物体在



题 1-10 图

A 点的切向加速度 a_t 为 _____, 轨道的曲率半径为 _____.

11. 一质点沿半径为 R 的圆周运动, 其路程 S 随时间变化的规律为 $S = bt - \frac{1}{2}ct^2$, 式中 b, c 为大于零的常量, 且 $b^2 > Rc$, 则此质点运动的切向加速度 $a_t =$ _____; 法向加速度 $a_n =$ _____.

12. 设质点运动方程为 $r = R\cos \omega t i + R\sin \omega t j$ (R, ω 为常量), 则质点的速度大小为 _____; 切向加速度为 _____.

13. 一质点从静止出发沿半径 $R = 1$ m 的圆周运动, 其角加速度随时间 t 的变化规律是 $\beta = 12t^2 - 6t$ (SI), 则质点的角速度 $\omega =$ _____ rad/s.

14. 一飞机以速度 v_0 水平飞行, 并相对飞机以水平速度 v 向前发射炮弹, 不计空气阻力和发射对飞机速度的影响. 则对站在地面上的观察者, 炮弹的轨迹方程是 _____, 对飞机上的观察者其轨迹方程是 _____.

15. 一冰块由静止开始沿与水平方向成 30° 倾角的光滑斜屋顶下滑 10 m 后到达屋缘. 若屋缘高出地面 10 m. 则冰块从脱离屋缘到落地过程中越过的水平距离为 _____. (g 取 10 m/s^2)

C. 计算题

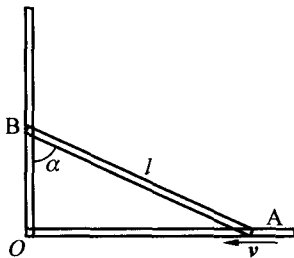
16. 一个质点在 x 轴上做直线运动, 运动方程为 $x = 2t^3 + 4t^2 + 8$ (SI), 求 (1) 任意时刻的速度和加速度; (2) 在 $t = 2$ s 和 $t = 3$ s 时刻, 物体的位置、速度和加速度; (3) 在 $t = 2$ s 到 $t = 3$ s 时间内, 物体的平均速度和平均加速度.

17. 一质点在 xOy 平面内运动, 初始时刻位于 $x = 1$ m, $y = 2$ m 处, 它的速度方程为 $v_x = 10t$, $v_y = t^2$ (SI), 试求 2 s 时质点的位置矢量和加速度矢量.

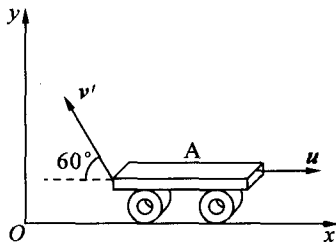
18. 一质点沿 x 轴运动, 其加速度 a 与位置坐标 x 的关系为 $a = 3 + 6x^2$ (SI), 若质点在原点处的速度为零, 试求其在任意位置处的速度.

19. 质点从静止开始做直线运动, 初始加速度为 a , 此后加速度随时间均匀增加, 经过时间 τ 后, 加速度为 $2a$, 经过 2τ 后, 加速度为 $3a$, 求经过时间 $n\tau$ 后, 该质点的速度和走过的距离.

20. 如题 1-20 图所示, A, B 两物体由一长为 l 的刚性细棒固定相连, A, B 两物体可在光滑轨道上滑行. 如物体 A 以恒定的速率 v 向左滑行. 当 $\alpha = 60^\circ$ 时, 物体 B 的速度为多少?



题 1-20 图



题 1-21 图

21. 如题 1-21 图所示, 一实验者 A 在以 10 m/s 的速率沿水平轨道前进的平板车上控制一台射弹器, 此射弹器以与车前进的相反方向呈 60° 角斜向上射出一弹丸. 此时站在地面上的另一实验者 B 看到弹丸铅直向上运动, 求弹丸上升的高度.