



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教辅

大学物理学习指导 与习题解答

少学时

第2版

张宇 孟庆鑫 张伶俐 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS





普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教辅

大学物理学习指导 与习题解答(少学时)

第2版

(配套《大学物理(少学时)》第3版)

主 编 张 宇 孟庆鑫 张伶俐
参 编 刘丽萍 甄丽娟 姚凤凤
主 审 赵 远 杨学栋



机械工业出版社

本书结合编者 2011 年在机械工业出版社出版的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《大学物理(少学时)》(第 3 版)编写而成,对该教材中各个章节的内容按框图形式进行了总结,并且结合教学及学生自学需要针对所有章节给出了相关的思考题及其解答;对于教材各章中所有习题给出了详细的解题步骤;同时还结合各个章节的重点难点补充了一些习题及解答.

本书可作为工科大学管理类专业及其他对基础物理学内容要求学时较少专业的大学物理辅助参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导与习题解答(少学时)/张宇等主编. —2 版.
—北京:机械工业出版社, 2012. 1
普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教辅
ISBN 978-7-111-36482-5

I. ①大… II. ①张… 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(2011)第 281058 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张金奎 责任编辑:张金奎

版式设计:霍永明 责任校对:胡艳萍

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2012 年 1 月第 2 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·18.5 印张·356 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-36482-5

定价:29.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

普通高等教育“十一五”国家级规划教材《大学物理(少学时)》的配套学习辅导书《大学物理学习指导与习题解答》自出版以来,国内已有数十所高校的师生使用.在使用过程中,许多读者提出了一些良好的建议,相应于《大学物理(少学时)》教材第3版在习题等方面所做的修改,《大学物理学习指导与习题解答》的大部分内容也做了相应的修改,以便于读者使用.

本次修订主要做了三方面工作:其一,删减了部分重复性的思考题;其二,给出了书后全部习题的解答;其三,增加了附加习题的数量,并全部给出解答,使附加习题的知识点涵盖面更加完整.

参加本书编写工作的有孟庆鑫、张伶俐、甄丽娟、刘丽萍、姚凤凤、张宇等,由张宇、孟庆鑫、张伶俐任主编.本书由赵远、杨学栋审定.张宇负责最后的统稿工作.

本次修订出版工作得到了机械工业出版社高等教育分社的积极支持和大力帮助,同时得到了哈尔滨工业大学优秀教学团队计划的支持,作者对此深表感谢.此外,作者衷心地感谢在本学习辅导书第1版使用过程中向我们提出意见和建议的读者.

编者

2011年10月 于哈尔滨

第 1 版前言

普通高等教育“十一五”国家级规划教材《大学物理(少学时)》(第2版)自2007年出版以来,已被全国10余个省市的部分高校师生使用,大多数使用本书的院校向出版社或作者建议,为便于教学和学生自学,应该出一本与教材配套的习题解题指导,为此,作者编写了本书.

本书对教材各章中有代表性的习题给出了必要的解题步骤,同时还结合各章节的重点难点补充了一些习题及解答.

哈尔滨工业大学唐光裕教授对本书编写大纲的制订提出了许多建设性意见,并针对具体内容做了大量细致的工作.参加本书编写工作的有张宇、甄丽娟、唐光裕、孙凯霞、吴琦、孟庆鑫、姜向前、黄义春等.本书由张宇、甄丽娟、唐光裕负责统稿和定稿,由赵远、杨学栋主审.

本书的出版工作得到了普通高等教育项目、哈尔滨工业大学“十一五”规划教材项目的资助,并得到机械工业出版社高等教育分社等各方面的大力支持和帮助,编者在此表示深深的感谢.

由于编者的学识水平所限,书中难免有不当之处,敬请广大读者指正.

编 者
2009年5月 于哈尔滨

目 录

第2版前言

第1版前言

第一章 质点运动学	1
一、主要内容框图及教学基本要求	1
二、思考题及其解答	2
三、教材习题解答	5
四、补充习题及其解答	11
第二章 质点动力学	17
一、主要内容框图及教学基本要求	17
二、思考题及其解答	19
三、教材习题解答	25
四、补充习题及其解答	39
第三章 刚体的定轴转动	51
一、主要内容框图及教学基本要求	51
二、思考题及其解答	52
三、教材习题解答	54
四、补充习题及其解答	61
第四章 狭义相对论基础	68
一、主要内容框图及教学基本要求	68
二、思考题及其解答	69
三、教材习题解答	72
四、补充习题及其解答	76
第五章 气体动理论	81
一、主要内容框图及教学基本要求	81
二、思考题及其解答	82
三、教材习题解答	86
四、补充习题及其解答	91
第六章 热力学基础	96
一、主要内容框图及教学基本要求	96
二、思考题及其解答	98

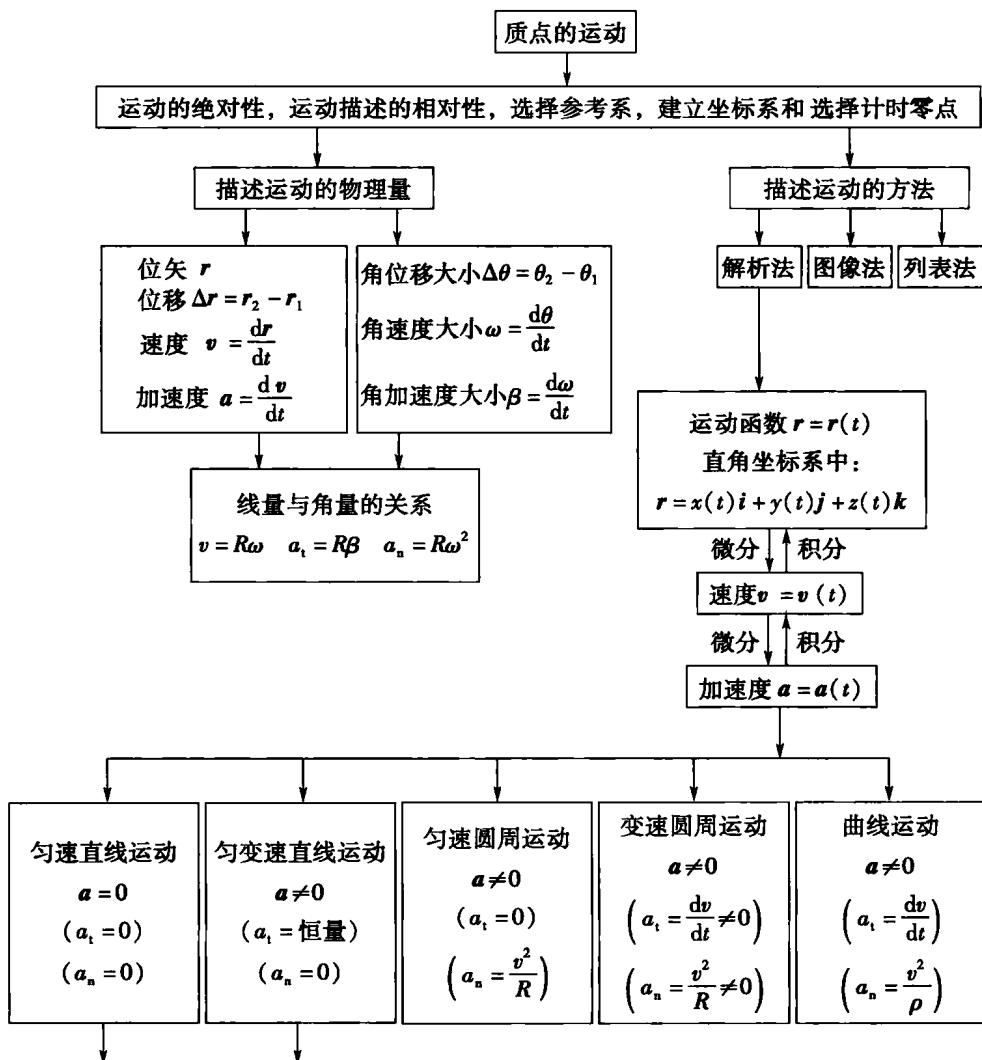
三、教材习题解答	102
四、补充习题及其解答	110
第七章 静电场	118
一、主要内容框图及教学基本要求	118
二、思考题及其解答	119
三、教材习题解答	125
四、补充习题及其解答	137
第八章 稳恒磁场	146
一、主要内容框图及教学基本要求	146
二、思考题及其解答	148
三、教材习题解答	150
四、补充习题及其解答	161
第九章 电磁感应与电磁场	170
一、主要内容框图及教学基本要求	170
二、思考题及其解答	171
三、教材习题解答	176
四、补充习题及其解答	183
第十章 机械振动	191
一、主要内容框图及教学基本要求	191
二、思考题及其解答	192
三、教材习题解答	196
四、补充习题及其解答	203
第十一章 机械波	211
一、主要内容框图及教学基本要求	211
二、思考题及其解答	212
三、教材习题解答	216
四、补充习题及其解答	222
第十二章 波动光学	228
一、主要内容框图及教学基本要求	228
二、思考题及其解答	230
三、教材习题解答	236
四、补充习题及其解答	249
第十三章 量子物理学基础	260
一、主要内容框图及教学基本要求	260
二、思考题及其解答	262

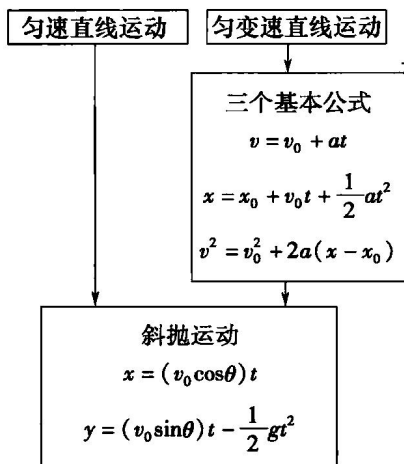
三、教材习题解答	266
四、补充习题及其解答	278
参考文献	286

第一章 质点运动学

一、主要内容框图及教学基本要求

1. 主要内容框图





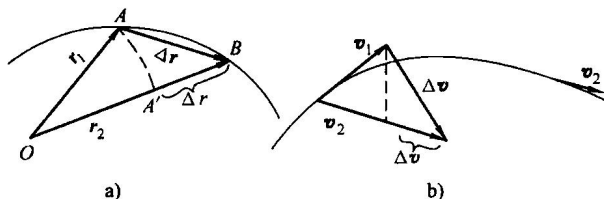
2. 教学基本要求

- (1) 理解质点、参考系、坐标系、时刻和时间等物理概念.
- (2) 掌握位矢、位移、速度和加速度等描述运动及其变化的一些物理量的定义, 理解它们的相对性、瞬时性、矢量性.
- (3) 掌握运动函数的物理意义, 学会并熟练地运用矢量代数和微积分等数学工具求解质点运动学中的两类基本问题, 即已知质点的运动函数求速度、加速度和已知质点的加速度或速度及其初始条件求运动函数.
- (4) 掌握用角量描述圆周运动的规律, 并理解圆周运动中角量和线量的关系. 能熟练计算角速度、角加速度以及切向加速度和法向加速度.
- (5) 了解相对运动的位移关系和速度关系, 并会计算简单的相对运动问题.

二、思考题及其解答

1-1 在曲线运动中, $\Delta \boldsymbol{r}$ 与 $\Delta r = \Delta |\boldsymbol{r}|$, $\Delta \boldsymbol{v}$ 与 $\Delta v = \Delta |\boldsymbol{v}|$ 有何区别, 试作图说明之.

【解】 $\Delta \boldsymbol{r}$ 是两位置矢量之差, 即 $\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1$, 而 Δr 是两位置矢量的大小之差(矢量模之差), 即 $\Delta r = |\boldsymbol{r}_2| - |\boldsymbol{r}_1|$, 见思考题 1-1 解图 a, $\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{AB}$, 而 $\Delta r =$



思考题 1-1 解图

A'B. 同理 $\Delta v = v_2 - v_1$, $\Delta v = |v_2| - |v_1|$, 见题 1-1 解图 b.

1-2 一质点作抛体运动(忽略空气阻力), 如思考题 1-2 图所示. 试分析质点在运动过程中: (1) $\frac{dv}{dt}$ 是否变化? (2) $\frac{dv}{dt}$ 是否变化? (3) 法向加速度是否变化? (4) 轨道何处曲率半径最大? 其数值是多少?

【解】 (1) $\frac{dv}{dt}$ 不变化. $\frac{dv}{dt}$ 是质点作抛体运动时的加速度矢量, 即等于重力加速度 g , 为一恒矢量. $\frac{dv}{dt}$ 表示速度矢量(速度的大小和方向)对时间的变化率.

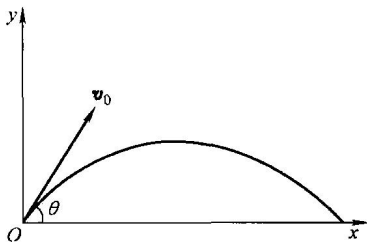
(2) $\frac{dv}{dt}$ 变化. $\frac{dv}{dt}$ 表示速率(速度的大小)对时间的变化率, 是加速度 g 在抛物线轨迹上各点切线方向的分量大小, 即切向加速度 a_t 的大小, $a_t = \frac{dv}{dt} = g \sin \alpha$, 其中 α 是 g 与轨迹内法线 n 的夹角, 见思考题 1-2 解图. 由于轨迹上不同点 α 角不同, 故 $\frac{dv}{dt}$ 变化.

(3) 法向加速度变化. 法向加速度 a_n 是质点加速度 g 在轨迹上各点沿法向的分量, 即法向加速度 a_n 的大小 $a_n = g \cos \alpha$, 由于 α 角变化, 所以法向加速度的大小也变化.

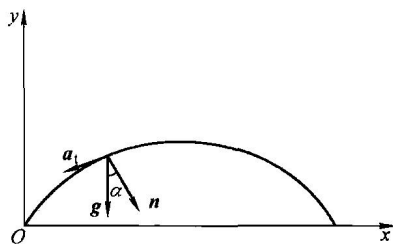
(4) 因 $a_n = v^2/\rho = g \cos \alpha$, 故 $\rho = v^2/a_n$. 在轨道起点和终点处($\alpha = \theta$), a_n 值最小; 在最高点, $\alpha = 0$, $a_n = g$, 其值最大. 而在起点和终点 $v = v_0$ 为最大; 在最高点 $v = v_0 \cos \theta$ 为最小. 由 $\rho = v^2/a_n$ 可以看出, 在起点和终点曲率半径 ρ 值一定最大, 在最高点 ρ 值最小. 考虑在起点(或终点)的 ρ 值, $|\rho_{\max}| = v_0^2/g \cos \theta$.

1-3 作图表示下述几种运动情况中的加速度 a 和速度 v 的方向, 并用 θ 角表示两者方向之间的夹角. a. 铅直上抛及下抛; b. 抛体运动上升和下落; c. 匀速率圆周运动. 作图过程中有何领会?

【解】 见思考题 1-3 解图. 一般地说, 速度和加速度的方向并不一定相同, 这一点与直觉的想法不一致. 从作图过程中应体会到, 速度的方向就是物体运动的方向, 而加速度的方向是速度改变的方向, 即在时间趋向于零时的速度增量的

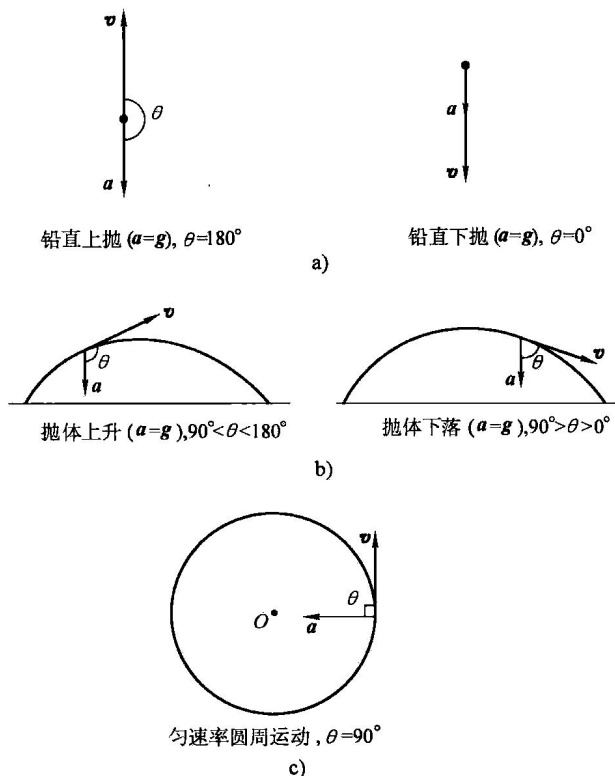


思考题 1-2 图



思考题 1-2 解图

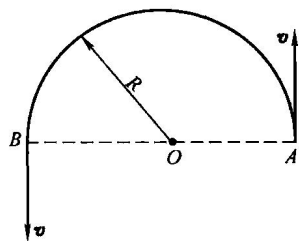
极限方向.



思考题 1-3 解图

1-4 如思考题 1-4 图所示, 质点沿半径为 R 的圆作匀速圆周运动, 从 A 点出发, 经半圆到达 B 点, 试问下列叙述中哪一个是不正确的? [A]

- (A) 速度增量的大小为 $|\Delta \boldsymbol{v}| = 0$;
- (B) 速率增量 $\Delta v = 0$;
- (C) 位移大小 $|\Delta \boldsymbol{r}| = 2R$;
- (D) 路程 $s = \pi R$.



思考题 1-4 图

1-5 一质点作曲线运动, 其瞬时速度为 \boldsymbol{v} , 瞬时速率为 v , 平均速度为 $\bar{\boldsymbol{v}}$, 平均速率为 \bar{v} , 试问下列四种关系中哪一种是正确的? [C]

- (A) $|\boldsymbol{v}| = v$, $|\bar{\boldsymbol{v}}| = \bar{v}$;
- (B) $|\boldsymbol{v}| \neq v$, $|\bar{\boldsymbol{v}}| = |\bar{v}|$;
- (C) $|\boldsymbol{v}| = v$, $|\bar{\boldsymbol{v}}| \neq \bar{v}$;
- (D) $|\boldsymbol{v}| \neq v$, $|\bar{\boldsymbol{v}}| \neq \bar{v}$.

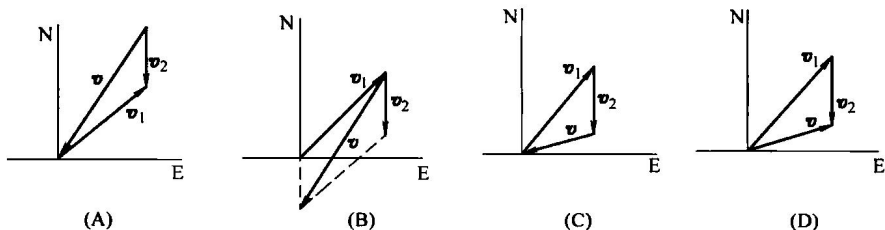
1-6 一小球沿斜面向上运动, 其运动函数为 $s = s_0 + 4t - t^2$ (SI), 则小球将在何时从斜面往下运动? [C]

- (A) 4s; (B) 6s; (C) 2s; (D) 3s.

1-7 一质点作半径为 R 的变速圆周运动, v 为任一时刻质点的速率, 下式中哪一个正确表示了加速度 a 的大小? [D]

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

1-8 小船以速度 v_1 向东北方向行驶, 船上乘客测得风从北方以速度 v_2 吹来, 则风相对于地面的速度 v 应由思考题 1-8 图的四个图中哪一个矢量合成图确定? [D]



思考题 1-8 图

三、教材习题解答

1-1 一质点作直线运动, 其坐标 x 与时间 t 的关系曲线如题 1-1 图所示. 问该质点在第几秒时, 其速度为零? 在哪段时间内, 速度和加速度的方向相同?

【解】 由速度的定义可知 $v = \frac{dx}{dt} i$

$v = 0$ 处应是 $\frac{dx}{dt} = 0$ 的位置, 即曲线斜

率为零的位置. 所以 $t = 3\text{s}$ 时的速度 $v = 0$.

由题 1-1 图可知, $x-t$ 的关系是抛物线,

假设

$$x = at^2 + bt + c$$

$t = 0$ 时, $x = 0$, 则

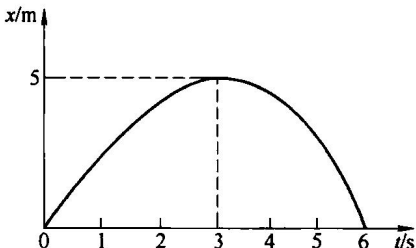
$$c = 0 \quad (1)$$

$t = 3$ 时, $x = 5$, 则

$$5 = 9a + 3b \quad (2)$$

$t = 6$ 时, $x = 0$, 则

$$0 = 36a + 6b \quad (3)$$



题 1-1 图

联立以上三式, 得 $a = -\frac{5}{9}$, $b = \frac{10}{3}$, $c = 0$

即 $x = -\frac{5}{9}t^2 + \frac{10}{3}t$

由 $x-t$ 方程, 可知

$$v = \frac{dx}{dt}i = \left(-\frac{10}{9}t + \frac{10}{3}\right)i$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2}i = \frac{dv}{dt}i = -\frac{10}{9}i$$

要使速度与加速度方向相同, 要求

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{10}{9}t + \frac{10}{3} < 0$$

所以, 在 $3\text{s} < t < 6\text{s}$ 区间内, 速度和加速度的方向相同.

1-2 小球沿斜面向上运动, 其运动函数为 $s = 8 + 8t - t^2$ (SI), 求小球运动到最高点的时刻.

【解】 由速度和加速度的定义可知

$$v = \frac{ds}{dt} = 8 - 2t \quad (\text{SI})$$

$$a = \frac{d^2s}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = -2\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

小球速度大小减至零时, 小球到达斜面最高点, 即

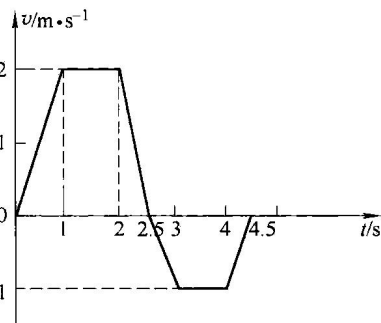
$$v = 8 - 2t = 0$$

所以 $t = 4\text{s}$

小球在 $t = 4\text{s}$ 时运动到斜面的最高点.

1-3 一质点沿 x 轴作直线运动, 其 $v-t$ 曲线如题 1-3 图所示. 设 $t = 0$ 时, 质点位于坐标原点, 则求 $t = 4.5\text{s}$ 时, 质点在 x 轴上的位置.

【解】 由 $v-t$ 曲线的物理意义可知, 质点的位移应等于速度曲线与时间轴所包围的面积. 由题 1-3 图可以看出, 在 $0 \leq t \leq 2.5\text{s}$ 时间段, 位移为正. 在 $2.5\text{s} < t \leq 4.5\text{s}$ 时间段, 位移为负. 故总位移



题 1-3 图

$$\Delta x = \left(\frac{(1+2.5) \times 2}{2} - \frac{(1+2) \times 1}{2} \right) \text{m} = 2\text{m}$$

又 $t=0$ 时, $x_0=0$, 所以 $t=4.5\text{s}$ 时, 位置 $x=2\text{m}$.

1.4 一质点沿 x 轴运动, 其加速度 a 与位置坐标 x 的关系为 $a = 3 + 9x^2$ (SI). 如果质点在原点处的速度为零, 试求其在任意位置处的速度.

【解】 由加速度的定义可知

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = v \cdot \frac{dv}{dx}$$

故
$$\int_0^v v dv = \int_0^x a dx = \int_0^x (3 + 9x^2) dx = 3x + 3x^3$$

$$\frac{1}{2}v^2 = 3x + 3x^3$$

所以

$$v^2 = 6x + 6x^3$$

即

$$v = \sqrt{6x + 6x^3} \quad (\text{SI})$$

1.5 有一质点沿 x 轴作直线运动, t 时刻的坐标为 $x = 4.5t - 2t^3$ (SI), 试求 (1) 第二秒内的平均速度; (2) 第二秒末的瞬时速度; (3) 第二秒内的路程.

【解】 (1) 由位移的定义可知, 质点在第二秒内的位移

$$\Delta x = x(2) - x(1) = (4.5 \times 2 - 2 \times 8)\text{m} - (4.5 \times 1 - 2 \times 1)\text{m} = -9.5\text{m}$$

质点在第二秒内的平均速度

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = -9.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

(2) 由瞬时速度定义可知

$$v = \frac{dx}{dt} = 4.5 - 6t^2 = (4.5 - 6 \times 2^2)\text{m} \cdot \text{s}^{-1} = -19.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

(3) 因为速度为零时

$$v = 0 = 4.5 - 6t^2, \quad t = 0.866\text{s}$$

所以在 $t=1 \sim 2\text{s}$ 时间内, 质点将沿 x 轴负方向作单向运动. 这段时间内路程即为位移. 所以第 2s 内的路程

$$|\Delta x| = |(4.5 \times 2 - 2 \times 2^3) - (4.5 \times 1 - 2 \times 1^3)|\text{m} = 9.5\text{m}$$

1.6 一艘正在行驶的快艇, 在发动机关闭后, 有一个与它速度方向相反的加速度, 其大小与它的速度平方成正比, 即 $\frac{dv}{dt} = -kv^2$, 其中 k 为恒量. 试证明: 快艇在关闭发动机后又行驶 x 距离时的速度为 $v = v_0 e^{-kx}$, 其中 v_0 是发动机关闭时的速度.

【证明】 因为

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} v = -kv^2$$

所以

$$\int_{v_0}^v \frac{1}{v} dv = \int_0^x (-k) dx$$

得

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

即

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

1-7 在 Oxy 平面内有一个运动的质点, 其运动函数为 $\mathbf{r} = 3t\mathbf{i} + 10t^2\mathbf{j}$ (SI), 求:

- (1) t 时刻的速度.
- (2) 切向加速度和法向加速度的大小.
- (3) 该质点运动的轨迹方程.

【解】 (1)
$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = 3\mathbf{i} + 20t\mathbf{j} \quad (\text{SI})$$

(2) 因为
$$v = \sqrt{3^2 + (20t)^2}$$

所以

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{400t}{\sqrt{3^2 + (20t)^2}}$$

而

$$\mathbf{a} = 20\mathbf{j}$$

故

$$a_n = \sqrt{a^2 - a_t^2} = \frac{600}{\sqrt{3^2 + (20t)^2}}$$

(3) 由

$$\begin{cases} x = 3t \\ y = 10t^2 \end{cases}$$

得

$$y = \frac{10}{9}x^2$$

1-8 一物体以速度 v_0 开始下落, 该物体可视为质点, 其加速度与速度关系为 $a = A - Bv$, 这里 A 、 B 为常量. 从物体开始下落时计时, 并设开始下落点为坐标原点. 求物体运动方程.

【解】 物体下落为一维运动, $t=0$ 时, $x=0$, $v=v_0$.

$$a = A - Bv = \frac{dv}{dt}$$

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

则

$$v = \frac{A}{B} - \frac{A - Bv_0}{B} e^{-Bt}$$

又

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{A}{B} - \frac{A - Bv_0}{B} e^{-Bt}$$

$$\int_{x_0}^x dx = \int_0^t \left(\frac{A}{B} - \frac{A - Bv_0}{B} e^{-Bt} \right) dt$$

所以

$$x = x_0 + \frac{At}{B} + \frac{A - Bv_0}{B^2} e^{-Bt} - \frac{A - Bv_0}{B^2}$$

1-9 如题 1-9 图所示, 以一定初速度斜向上抛出一物体. 若忽略空气阻力, 求当物体的速度 v 与水平面的夹角为 θ 时的切向加速度和法向加速度的大小.

【解】 将 g 沿着 v 和垂直于 v 方向进行投影, 有

$$a_t = -g \sin \theta$$

$$a_n = g \cos \theta$$

1-10 小船从岸边 A 点出发渡河, 如果它保持与河岸垂直向前划, 则经过时间 t_1 到达对岸下游 C 点; 如果小船以同样速率划行, 但垂直河岸横渡到正对岸 B 点, 则需要与 A 、 B 两点连成的直线成 α 角逆流划行, 经时间 t_2 到达 B 点. 若 B 、 C 两点间距为 s , 求此河的宽度及 α 的数值.

【解】 如题 1-10 图所示, 设河水速度为 u , 河宽为 l , 船速为 v , 则

$$l = v t_1, \quad s = u t_1$$

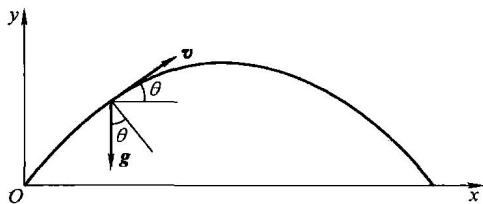
和

$$l = (v \cos \alpha) t_2, \quad l \tan \alpha = u t_2$$

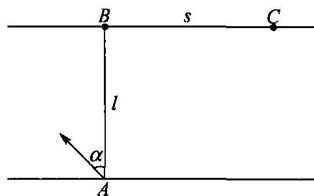
由以上四个方程解得

$$\alpha = \arccos \frac{t_1}{t_2} \quad \text{或} \quad \alpha = \arcsin \frac{\sqrt{t_2^2 - t_1^2}}{t_2}$$

$$l = v t_1 = \frac{t_2 s}{\sqrt{t_2^2 - t_1^2}}$$



题 1-9 图



题 1-10 图

1-11 一质点沿半径为 R 的圆周轨迹运动 (题 1-11 图) 任意时刻走过的路程与 t 的关系为 $s = v_0 t - \frac{1}{2} b t^2$, 这里 v_0 和 b 均为常量. 求: (1) 任意时刻质点的加速度; (2) t 为何值时, 质点的加速度大小为 b .

【解】 (1)
$$v_t = \frac{ds}{dt} = v_0 - bt$$