

普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理教程 学习指导

王海威◎主 编

普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理教程学习指导

主 编 王海威
参 编 刘浩广
主 审 易江林



机械工业出版社

本书是机械工业出版社出版的《大学物理教程》(严导淦、易江林主编)教材的配套辅导书。全书各章由基本内容、习题解答和章节训练三部分组成。基本内容部分简要以学习要点与重要公式的形式给出各章的基本概念、基本规律和重要结论,使知识全面系统,便于掌握;习题解答部分对《大学物理教程》中的习题逐一给出详细解答(其中带“*”号的习题与教材中带“*”号的内容配套),解题过程突出物理概念和物理模型,注重解题方法的介绍;章节训练部分针对本章内容进行训练,有助于读者自学,同时也可以帮助读者自觉地掌握大学物理知识,提高分析问题与解决问题的能力。

本书可作为高等院校工科各专业学生的辅导书或自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程学习指导/王海威主编. —北京:机械工业出版社, 2016. 12
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-55671-8

I. ①大… II. ①王… 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(2016)第 302655 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:李永联 责任编辑:李永联 王 良 姜 凤

责任校对:刘 岚 封面设计:马精明

责任印制:李 洋

河北鑫宏源印刷包装有限责任公司印刷

2016 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 9.5 印张 · 223 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-55671-8

定价:22.00 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

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmpl952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金 书 网:www.golden-book.com

前 言

在学习大学物理课程的过程中，做习题是一个重要的学习环节，它不仅能检查学生对课程基本内容的理解和掌握的程度，还能巩固所学的知识，拓展并深化对基本概念和基本规律的理解，有助于学生提高分析问题和解决问题的能力。为了帮助学生掌握正确的解题方法，根除不求甚解地乱套公式、拼凑答案的不良习惯，我们配合严导淦、易江林主编的《大学物理教程》教材，编写了这本《大学物理教程学习指导》教学参考书。本书给出了《大学物理教程》全部习题的分析和解答。我们在解题中注重分析解题的思路和方法，旨在启迪思维，提高学生分析问题和解决问题的能力。为了方便读者使用本书，我们把每章的习题进行分类，并指出本章的基本要求。

本书题目类型灵活，难易适中，重点考查学生对基础知识、基本技能的掌握和运用能力。本书在正式出版之前，已在南昌航空大学科技学院多次试用，并对其进行不断完善。

与同类教材或参考书相比，本书具有难度较低、题量适中、知识块式练习突出的特点，适合一般普通本科院校学生使用。在以后的教学实践中，我们会通过不断完善，努力将本书打造成为一本适合我国高校，尤其是一般普通本科院校使用的大学物理学习指导书。

编 者

部分物理常量

引力常量	$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
重力加速度	$g = 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
阿伏伽德罗常量	$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
摩尔气体常量	$R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
标准大气压	$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$
玻耳兹曼常量	$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
真空中光速	$c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$
电子质量	$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
中子质量	$m_n = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
质子质量	$m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$
元电荷	$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$
真空电容率	$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
真空磁导率	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1} = 1.26 \times 10^{-6} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$
普朗克常量	$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
维恩常量	$b = 2.897 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$
斯特藩-玻耳兹曼常量	$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$

目 录

前言

部分物理常量

第 1 章 质点运动学与牛顿定律	1
1.1 学习要点与重要公式	1
1.2 习题解答	4
1.3 质点运动学与牛顿定律章节训练	8
第 2 章 力学中的守恒定律	10
2.1 学习要点与重要公式	10
2.2 习题解答	11
2.3 力学中的守恒定律章节训练	14
第 3 章 刚体力学基础	17
3.1 学习要点与重要公式	17
3.2 习题解答	18
3.3 刚体力学基础章节训练	22
第 4 章 狭义相对论	25
4.1 学习要点与重要公式	25
4.2 习题解答	26
4.3 狭义相对论章节训练	28
第 5 章 静电学	32
5.1 学习要点与重要公式	32
5.2 习题解答	35
5.3 静电学章节训练	40
第 6 章 恒定电流的稳恒磁场	43
6.1 学习要点与重要公式	43
6.2 习题解答	45
6.3 恒定电流的稳恒磁场章节训练	49
第 7 章 变换的电磁场	53
7.1 学习要点与重要公式	53
7.2 习题解答	55
7.3 变换的电磁场章节训练	58
第 8 章 机械振动	61
8.1 学习要点与重要公式	61
8.2 习题解答	63
8.3 机械振动章节训练	66
第 9 章 机械波	68
9.1 学习要点与重要公式	68

9.2 习题解答	70
9.3 机械波章节训练	73
第10章 波动光学	76
10.1 学习要点与重要公式	76
10.2 习题解答	79
10.3 波动光学章节训练	83
第11章 热力学基础	86
11.1 学习要点与重要公式	86
11.2 习题解答	88
11.3 热力学基础章节训练	92
第12章 气体动理论	95
12.1 学习要点与重要公式	95
12.2 习题解答	97
12.3 气体动理论章节训练	99
第13章 量子物理基础	102
13.1 学习要点与重要公式	102
13.2 习题解答	105
13.3 量子物理基础章节训练	107
* 附录 2011—2016 年我校大学物理期末试卷真题	109
附录 A 2011—2012 学年第二学期期末考试	109
附录 B 2012—2013 学年第二学期期末考试	113
附录 C 2012—2013 学年第一学期期末考试	117
附录 D 2013—2014 学年第二学期期末考试	122
附录 E 2014—2015 学年第一学期期末考试	126
附录 F 2014—2015 学年第二学期期末考试	131
附录 G 2015—2016 学年第一学期期末考试	135
附录 H 2015—2016 学年第二学期期末考试	140

第1章 质点运动学与牛顿定律

本章内容与教材第1章内容相对应。

1.1 学习要点与重要公式

1. 参考系与坐标系

描述物体运动时用做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, 需要在该参考系建立固定的坐标系。常用的坐标系有直角坐标系和自然坐标系。

2. 描述质点运动的物理量

(1) 位矢

$$\mathbf{r}$$

(2) 位移

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$$

(3) 速度

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

(4) 加速度

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

3. 描述质点运动的坐标系

(1) 直角坐标系

① 位矢

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

大小:

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

方向:

$$\cos\alpha = \frac{x}{|\mathbf{r}|} = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{|\mathbf{r}|} = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{|\mathbf{r}|} = \frac{z}{r}$$

② 位移

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

大小:

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

方向:

运动的起点指向终点

③ 速度

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

大小:

$$v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

方向:

运动轨迹的切线方向

④ 加速度

$$\mathbf{a} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k}$$

大小:

$$a = |\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

方向:

$\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向

(2) 自然坐标系 (一般针对曲线运动)

① 速度

$$\mathbf{v} = \frac{ds}{dt}\boldsymbol{\tau} \quad (\text{方向沿轨道的切线方向})$$

② 加速度

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n = \frac{dv}{dt}\boldsymbol{\tau} + \frac{v^2}{\rho}\mathbf{n}$$

大小:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$

方向:

切向加速度的大小 $a_t = \frac{dv}{dt}$ 表示质点速度大小改变的快慢, 方向沿切线方向;

法向加速度的大小 $a_n = \frac{v^2}{\rho}$ (ρ 为曲率半径) 表示质点速度方向改变的快慢, 方向沿曲率半径指向瞬时圆心。

4. 运动方程

质点的位矢随时间变化的函数关系 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ 称为质点的运动方程。在直角坐标系中, 运动方程可表示为

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

其分量式为

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t)$$

从运动方程中消去 t , 便可得到质点的轨道方程。

5. 质点运动学的两类基本问题

- (1) 已知质点的运动方程, 求质点的状态参量→用微分的方法求解;
- (2) 已知质点的状态参量和初始条件, 求质点的运动方程→用积分的方法求解。

6. 圆周运动的角量描述

(1) 角位置

$$\theta$$

(2) 角位移

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

(3) 角速度

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

工程上: $\omega = 2\pi n$ (n 为转速)。

(4) 角加速度

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

(5) 角量与线量的关系

$$v = R\omega, a_n = R\omega^2, a_t = R\beta$$

7. 几种典型的质点运动

(1) 匀速直线运动

$$a = 0, v = \text{常量}, \Delta x = x - x_0 = vt$$

(2) 匀变速直线运动

$$a = \text{常量}, \Delta x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2, v = v_0 + at, v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x$$

(3) 抛体运动

$$a_x = 0, a_y = -g, v_x = v_0 \cos\theta, v_y = v_0 \sin\theta - gt$$

$$x = v_0 \cos\theta t, y = v_0 \sin\theta t - \frac{1}{2}gt^2$$

(4) 匀速圆周运动

$$\beta = 0, \omega = \text{常量}, \Delta\theta = \omega t$$

(5) 匀变速圆周运动

$$\beta = \text{常量}, \Delta\theta = \theta - \theta_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2, \omega = \omega_0 + \beta t, \omega^2 - \omega_0^2 = 2\beta\Delta\theta$$

8. 相对运动

在两个做相对平动的参考系间存在的变换关系为

$$(1) \text{ 坐标变换} \quad \mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{r}'$$

$$(2) \text{ 速度变换} \quad \mathbf{v} = \mathbf{u} + \mathbf{v}'$$

$$(3) \text{ 加速度变换} \quad \mathbf{a} = \mathbf{a}_0 + \mathbf{a}'$$

式中, $\mathbf{r}$ 、 $\mathbf{v}$ 和 $\mathbf{a}$ 分别为质点相对于静止参考系的绝对位矢、绝对速度和绝对加速度; $\mathbf{r}'$ 、 $\mathbf{v}'$ 、 $\mathbf{a}'$ 分别为质点相对于运动参考系的相对位矢、相对速度和相对加速度; $\mathbf{r}_0$ 、 $\mathbf{u}$ 、 $\mathbf{a}_0$ 分别为运动参考系相对静止参考系的牵连位矢量、牵连速度和牵连加速度。

9. 牛顿运动定律

$$(1) \text{ 第一运动定律} \quad \mathbf{F} = 0 \text{ 时}, \quad \mathbf{v} = \text{常量}$$

$$(2) \text{ 第二运动定律} \quad \mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\mathbf{a}$$

在具体应用中, 通常采用其分量式。以平面运动为例, 在直角坐标系及自然坐标系中, 其分量式分别为

$$\text{对于直角坐标系, 有} \quad F_x = ma_x, \quad F_y = ma_y$$

$$\text{对于自然坐标系, 有} \quad F_t = m \frac{dv}{dt}, \quad F_n = m \frac{v^2}{R}$$

$$(3) \text{ 第三运动定律} \quad \mathbf{F} = -\mathbf{F}'$$

牛顿运动定律是物体做低速运动 ($v \ll c$) 时所遵循的动力学基本规律, 是经典力学的基础。

10. 力学中常见的三种力

(1) 万有引力 两物体 (质点) 间相互吸引的作用力。

$$\mathbf{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \mathbf{r}_0 \quad (G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2})$$

地球对地面附近物体的万有引力称为重力, 用 $\mathbf{W}$ 表示

$$\mathbf{W} = m\mathbf{g} \quad (g = 9.8 \text{ m/s}^2)$$

(2) 弹性力 属电磁力, 具有多种形式, 常见的有弹簧的弹力 ($F = -kx$)、正压力、绳子的张力等。

(3) 摩擦力 两个相互接触的物体间有相对滑动或相对滑动趋势时, 在接触面上产生的阻碍物体相对滑动或相对滑动趋势的力。

① 滑动摩擦力 (有相对滑动)

$$F = \mu F_n$$

② 静摩擦力 (有相对滑动趋势)

$$F_s = \mu_s F_n$$

式中, μ 为滑动摩擦因数; μ_s 为静摩擦因数; F_n 为物体的正压力。

11. 非惯性系中的力学定律

$$\mathbf{F} + \mathbf{F}^* = m\mathbf{a}'$$

$$\mathbf{F}^* = -m\mathbf{a}_0$$

式中, m 为物体质量; $\mathbf{a}_0$ 为非惯性系相对惯性系的加速度; $\mathbf{a}'$ 为物体相对于非惯性系的加速度; $\mathbf{F}$ 为物体受到的合外力; $\mathbf{F}^*$ 为假想的惯性力 (此力无相应的作用力)。

1.2 习题解答

1-1 某质点做直线运动的运动学方程为 $x = 3t - 5t^3 + 6$ (SI), 则该质点做:

- (A) 匀加速直线运动, 加速度沿 x 轴正方向;
 (B) 匀加速直线运动, 加速度沿 x 轴负方向;
 (C) 变加速直线运动, 加速度沿 x 轴正方向;
 (D) 变加速直线运动, 加速度沿 x 轴负方向。 [D]

1-2 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 1s 后质点的速度:

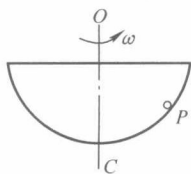
- (A) 等于零; (B) 等于 -2m/s ;
 (C) 等于 2m/s ; (D) 不能确定。 [D]

1-3 质点沿半径为 R 的圆周做匀速率运动, 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) $2\pi R/t, 0$ 。 [B]

1-4 在相对地面静止的坐标系内, A 、 B 两条船都以 2m/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 方向单位矢用 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 表示), 那么在 A 船上的坐标系中, B 船的速度 (以 m/s 为单位) 为:

- (A) $2\mathbf{i} + 2\mathbf{j}$; (B) $-2\mathbf{i} + 2\mathbf{j}$;
 (C) $-2\mathbf{i} - 2\mathbf{j}$; (D) $2\mathbf{i} - 2\mathbf{j}$ 。



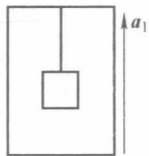
习题 1-5 图

1-5 一光滑的内表面半径为 10cm 的半球形碗如习题 1-5 图所示, 以匀角速度 ω 绕其对称 OC 旋转。已知放在碗内表面上的一个小球 P 相对于碗静止, 其位置高于碗底 4cm , 则由此可推知碗旋转的角速度约为:

- (A) 10rad/s ; (B) 13rad/s ;
 (C) 17rad/s ; (D) 18rad/s 。

1-6 在升降机天花板上拴有轻绳, 如习题 1-6 图所示, 其下端系一重物, 当升降机以加速度 a_1 上升时, 绳中的张力正好等于绳子所能承受的最大张力的一半, 问升降机以多大加速度上升时, 绳子刚好被拉断?

- (A) $2a_1$; (B) $2(a_1 + g)$;
 (C) $2a_1 + g$; (D) $a_1 + g$ 。



习题 1-6 图

1-7 质点沿半径为 R 的圆周运动, 运动学方程为 $\theta = 3 + 2t^2$ (SI),

则 t 时刻质点的法向加速度大小为 $a_n =$ _____, 角加速度 $\beta =$ _____。

答案: $16Rt^2$; 4rad/s^2

1-8 灯距地面高度为 h_1 , 一个人身高为 h_2 , 在灯下以匀速 v 沿水平直线行走, 如习题 1-8 图所示。他的头顶在地上的影子 M 点沿地面移动的速度为:

$v_M =$ _____。答案: $h_1 v / (h_1 - h_2)$

1-9 一物体做如习题 1-9 图所示的斜抛运动, 测得在轨道 A 点处速度 v 的大小为 v , 其方向与水平方向夹角成 30° 。则:

物体在 A 点的切向加速度 $a_t =$ _____,

轨道的曲率半径 $\rho =$ _____。

答案: $-g/2$; $2\sqrt{3}v^2/(3g)$

1-10 质量为 m 的小球, 用轻绳 AB 、 BC 连接, 如习题 1-10 图所示, 其中 AB 水平。剪断绳 AB 前后的瞬间, 绳 BC 中的张力比 $F:F' =$ _____。

答案: $1/\cos^2\theta$

1-11 一质点沿 x 轴运动, 其加速度 a 与位置坐标 x 的关系为

$$a = 2 + 6x^2 \quad (\text{SI})$$

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: 设质点在 x 处的速度为 v ,

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = 2 + 6x^2$$

$$\int_0^v v dv = \int_0^x (2 + 6x^2) dx$$

$$v = 2(x + x^3)^{1/2}$$

1-12 有一质点沿 x 轴做直线运动, t 时刻的坐标为 $x = 4.5t^2 - 2t^3$ (SI)。试求:

(1) 第 2s 内的平均速度;

(2) 第 2s 末的瞬时速度;

(3) 第 2s 内的路程。

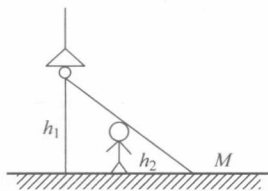
解: (1) $\bar{v} = \Delta x / \Delta t = -0.5\text{m/s}$

(2) $v = dx/dt = 9t - 6t^2$ $v(2) = -6\text{m/s}$

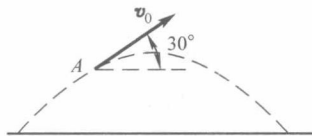
(3) $S = |x(1.5) - x(1)| + |x(2) - x(1.5)| = 2.25\text{m}$

1-13 为了估测上海市杨浦大桥桥面离黄浦江正常水面的高度, 可在静夜时从桥栏旁向水面自由释放一颗石子, 同时用秒表大致测得经过 3.3s 在桥面听到石子击水声。已知声音在空气中传播速度为 330m/s, 试估算桥面离江面有多高?

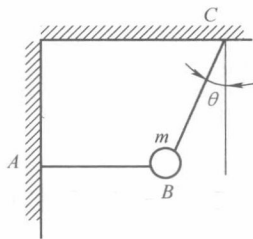
解: 根据题意, 石子自由下落到水面时间为 t_1 , 声音从水面匀速传回桥面时间为 t_2 , 列方程



习题 1-8 图



习题 1-9 图



习题 1-10 图

$$h = \frac{1}{2}gt_1^2, \quad g \text{ 取 } 10\text{m/s}^2, \quad h = vt_2, \quad t_1 + t_2 = 3.3\text{s}$$

求出: $t_1 = 3.15\text{s}$, $t_2 = 0.15\text{s}$; $h \approx 49.5\text{m}$

1-14 如习题 1-14 图所示, 一飞机驾驶员想往正北方向航行, 而风以 60km/h 的速度由东向西刮来, 如果飞机的航速 (在静止空气中的速率) 为 180km/h , 试问驾驶员应取什么航向? 飞机相对于地面的速率为多少? 试用矢量图说明。

解: 设下标 A 指飞机, F 指空气, E 指地面, 由题可知:

图 1 分

$v_{FE} = 60\text{km/h}$ 正西方向

$v_{AF} = 180\text{km/h}$ 方向未知

v_{AE} 大小未知, 正北方向

由相对速度关系有

$$\mathbf{v}_{AF} = \mathbf{v}_{AE} + \mathbf{v}_{FE}$$

$\mathbf{v}_{AE}$ 、 $\mathbf{v}_{AF}$ 、 $\mathbf{v}_{FE}$ 构成直角三角形, 可得

$$|\mathbf{v}_{AE}| = \sqrt{(\mathbf{v}_{AF})^2 - (\mathbf{v}_{FE})^2} = 170\text{km/h}$$

$$\theta = \arctan(v_{FE}/v_{AE}) = 19.4^\circ$$

飞机应取向北偏东 19.4° 的航向。

1-15 如习题 1-15 图所示, 质量为 m 的摆球 A 悬挂在车架上。求在下述各种情况下, 摆线与竖直方向的夹角 α 和线中的张力 F_T 。

(1) 小车沿水平方向做匀速运动;

(2) 小车沿水平方向做加速度为 a 的运动。

解: (1) $\alpha = 0$

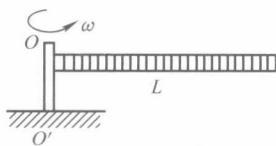
$$F_T = mg$$

(2) $F_T \sin \alpha = ma$, $F_T \cos \alpha = mg$

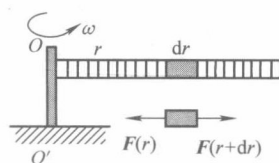
$$\tan \alpha = a/g \quad [\text{或 } \alpha = \arctan(a/g)]$$

$$F_T = m \sqrt{a^2 + g^2}$$

1-16 如习题 1-16 图所示, 一条质量分布均匀的绳子, 质量为 m 、长度为 L , 一端拴在竖直转轴 OO' 上, 并以恒定角速度 ω 在水平面上旋转。设转动过程中绳子始终伸直不打弯, 且忽略重力, 求距转轴为 r 处绳中的张力 $F_{(r)}$ 。



a)



b)

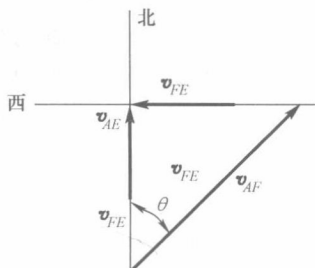
习题 1-16 图

解: 取距转轴为 r 处, 长为 dr 的小段绳子, 其质量为 $(m/L)dr$ 。

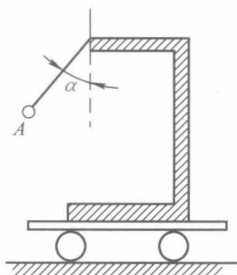
(取元, 画元的受力图) 2 分

由于绳子做圆周运动, 所以小段绳子有径向加速度, 由牛顿定律得

$$F(r) - F(r+dr) = (m/L)dr\omega^2$$



习题 1-14 图



习题 1-15 图

令
得

$$F(r) - F(r + dr) = -dF(r)$$

$$dF = -(m\omega^2/L)rdr$$

由于绳子的末端是自由端

$$F(L) = 0$$

有

$$\int_{F(r)}^0 dF = - \int_r^L (M\omega^2/L)rdr$$

所以

$$F(r) = M\omega^2(L^2 - r^2)/(2L)$$

1-17 一艘正在沿直线行驶的电瓶，在发动机关闭后，其加速度方向与速度方向相反，大小与速度二次方成正比，即 $dv/dt = -Kv^2$ ，式中 K 为常量。试证明电瓶在关闭发动机后又行驶 x 距离时的速度为

$$v = v_0 \exp(-Kx)$$

其中 v_0 是发动机关闭时的速度。

证：

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

所以

$$dv/v = -Kdx$$

$$\int_{v_0}^v \frac{1}{v} dv = - \int_0^x K dx, \ln \frac{v}{v_0} = -Kx$$

所以

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

1-18 如习题 1-18 图所示，质量为 m 的小球，在水中受的浮力为常力 F ，当它从静止开始沉降时，受到水的黏滞阻力为 $F_r = kv$ (k 为常数)。证明小球在水中竖直沉降的速度 v 与时间 t 的关系为

$$v = \frac{mg - F}{k} (1 - e^{-kt/m})$$

式中 t 为从沉降开始计算的时间。

证：小球受力如图所示，根据牛顿第二定律

$$mg - kv - F = ma = m \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dv}{(mg - kv - F)/m} = dt$$

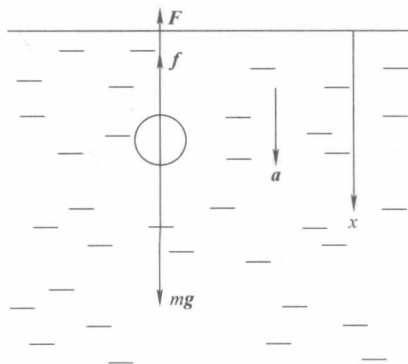
初始条件：

$$t = 0, v = 0.$$

$$\int_0^v \frac{dv}{(mg - kv - F)/m} = \int_0^t dt$$

所以

$$v = (mg - F)(1 - e^{-kt/m})/k$$



习题 1-18 图

1.3 质点运动学与牛顿定律章节训练

1. 选择题

1-1 下列说法正确的是：

① $A \times B \cdot C = -B \times A \cdot C$

② $(A \cdot B)(A \cdot B) = (A \cdot A)(B \cdot B)$

③ $(\mathbf{A} \cdot \mathbf{B})\mathbf{C} = \mathbf{A}(\mathbf{B} \cdot \mathbf{C})$

④ $\mathbf{A} \times \mathbf{B} \times \mathbf{C} = \mathbf{A} \times (\mathbf{B} \times \mathbf{C})$

⑤ 若 $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = 0$ 则 $\mathbf{A} = 0$ 或 $\mathbf{B} = 0$ ⑥ 若 $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = 0$, 且 $\mathbf{A} \neq 0$, $\mathbf{B} \neq 0$ 则 $\mathbf{A}$ 与 $\mathbf{B}$ 平行。

(A) ①②③④⑤⑥

(B) ①②③④

(C) ②⑥

(D) ①⑥

[]

1-2 以下四种运动形式中, 加速度保持不变的运动是:

(A) 抛体运动;

(B) 匀速圆周运动;

(C) 变加速直线运动;

(D) 单摆的运动。

[]

1-3 一质点在平面上运动, 已知质点的运动方程为 $\mathbf{r} = at^2\mathbf{i} + bt^2\mathbf{j}$, 其中 a 和 b 为常数, 则该质点做:

(A) 匀速直线运动;

(B) 变速直线运动;

(C) 抛体运动;

(D) 一般曲线运动。

[]

1-4 某质点做直线运动的运动学方程为 $x = 5t - 2t^3 + 8$, 则该质点做:(A) 匀加速直线运动, 加速度沿 x 轴正方向;(B) 匀加速直线运动, 加速度沿 x 轴负方向;(C) 变加速直线运动, 加速度沿 x 轴正方向;(D) 变加速直线运动, 加速度沿 x 轴负方向。

[]

1-5 一质点以速度 $v = 4 + t^2$ (SI) 做直线运动, 沿质点运动直线作 Ox 轴。已知 $t = 3\text{s}$ 时质点位于 $x = 9\text{m}$ 处, 则该质点的运动学方程为:

(A) $x = 2t$;(B) $x = 4t + t^3/2$;(C) $x = 4t + t^3/3 - 12$;(D) $x = 4t + t^3/3 + 12$ 。

[]

1-6 质量为 0.25kg 的质点受到力 $\mathbf{F} = t\mathbf{i}$ 的作用。 $t = 0$ 时, 该质点以 $\mathbf{v} = 2\text{jm/s}$ 的速度通过坐标原点, 则该质点在任意时刻的位置矢量是:

(A) $2t^2\mathbf{i} + 2\mathbf{j}$;(B) $\frac{2}{3}t^3\mathbf{i} + 2t\mathbf{j}$;(C) $\frac{3}{4}t^4\mathbf{i} + \frac{2}{3}t^3\mathbf{j}$;

(D) 不能确定。

[]

2. 填空题

1-1 一质点做半径为 R 的匀速圆周运动, 在此过程中质点的切向加速度的方向_____, 法向加速度的大小_____。(填“改变”或“不变”)

1-2 一质点沿直线运动, 其运动方程为 $x = 6t - t^2$ (SI), 则在 t 由 0 至 4s 的时间间隔内, 质点的位移的大小为_____; 质点所走过的路为_____。

1-3 一质点在 xOy 平面内运动, 其运动方程为 $x = 2t$, $y = 19 - 2t^2$, 则质点在任意时刻的速度表达式为_____, 加速度表达式为_____。

1-4 一质点沿 x 轴运动, 其运动方程为 $x = 3t^2 - 2t^3$ (SI)。当质点的加速度为 0 时, 其速度的大小 $v =$ _____。

1-5 沿 x 轴正方向做直线运动的物体, 已知 $a = 3x^2 - 1$, 当 $x = 0$ 时, 初速度 $v_0 = 2\text{m/s}$, 当其运动到 $x = 2\text{m}$ 处时, 其速率变为_____。

1-6 一质点从静止出发沿半径 $R = 1\text{m}$ 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 $\omega =$ _____; 切向加速度 $a_t =$ _____。

1-7 一飞轮边缘上一点所经过的路程与时间的关系为 $s = v_0 t - bt^2/2$, v_0 、 b 都是正的常量。

(1) 求该点在时刻 t 的加速度 $\mathbf{a} =$ _____; (写出 $\mathbf{a}$ 的矢量表达式即可)

(2) $t =$ _____ 时, 该点的切向加速度与法向加速度的大小相等? 已知飞轮的半径为 R 。

3. 计算题

1-1 已知质点的运动方程 $\mathbf{r} = 2t\mathbf{i} + (2 - t^2)\mathbf{j}$, 求:

(1) 质点的轨迹;

(2) $t = 0\text{s}$ 及 $t = 2\text{s}$ 时, 质点的位置矢量;

(3) $t = 0\text{s}$ 到 $t = 2\text{s}$ 时间内的位移;

(4) $t = 2\text{s}$ 内的平均速度;

(5) $t = 2\text{s}$ 末的速度及速度大小;

(6) $t = 2\text{s}$ 末加速度及加速度大小。

1-2 一质点沿 x 轴运动, 其加速度为 $a = 4t$ (SI), 已知 $t = 0$ 时, 质点位于 $x_0 = 10\text{m}$ 处, 初速度 $v_0 = 0$ 。试求其位置和时间的关系式。

1-3 以初速度 v_0 竖直向上抛出一质量为 m 的小球, 小球除受重力外, 还受一个大小为 $\alpha m v^2$ 的黏滞阻力。求小球上升的最大高度。

第2章 力学中的守恒定律

本章内容与教材第2章内容相对应。

2.1 学习要点与重要公式

1. 动力学的基本物理量

(1) 功 (力的空间积累)

① 元功
$$dA = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$$

② 总功
$$A = \int_a^b \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$$

(2) 功率
$$P = \frac{dA}{dt} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v}$$

(3) 动能 (运动状态的函数)
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

(4) 势能 (位置的函数)

① 重力势能 $E_p = mgh$, 以计算高度的起点为势能零点。

② 引力势能 $E_p = -G_0 \frac{Mm}{r}$, 以 M 、 m 相距无穷远处为势能零点。

③ 弹性势能 $E_p = \frac{1}{2}kx^2$, 以弹簧的原长位置为势能零点。

(5) 保守力的功与势能的关系

① 保守力的功等于相关势能增量的负值, 即

$$A_{ab} = -(E_{pb} - E_{pa}) = -\Delta E_p$$

② 由势能函数求保守力
$$F_x = \frac{dE_p(x)}{dx}$$

(6) 冲量 (力的时间积累)
$$\mathbf{I} = \int_{t_1}^{t_2} \mathbf{F} dt$$

(7) 动量 (运动状态的函数)
$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}$$

(8) 角动量 (运动状态的函数)
$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times m\mathbf{v}$$