

大学物理学习指导

University Physics
Student's Guide



主 编 李贤丽 白永强
副主编 张 雨 张义勇 张秀龙

高等教育出版社

大学物理学习指导

Daxue Wuli Xuexi Zhidao

主 编 李贤丽 白永强
副主编 张 雨 张义勇 张秀龙
主 审 王明吉

内容简介

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材的配套辅导书,符合教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),覆盖了大学物理的全部内容。本书共分15章,每章以基本要求、基本概念及规律、解题指导为主要内容,并配备了一定数量的练习题。通过对近170个典型题的分析、解答和讨论,指导学生掌握正确的解题思路和方法,精选了460多个练习题供学生学习和课后训练。选题难易程度层次分明,能够满足不同程度学生的学习需要。

本书可作为普通高校理工科学生学习大学物理的参考书,同时可为大学物理教师提供教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导/李贤丽,白永强主编.--北京:高等教育出版社,2015.2

ISBN 978-7-04-041878-1

I. ①大… II. ①李… ②白… 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(2015)第015169号

策划编辑 缪可可	责任编辑 缪可可	封面设计 杨立新	版式设计 张杰
插图绘制 杜晓丹	责任校对 李大鹏	责任印制 韩刚	

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街4号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	涿州市星河印刷有限公司	网上订购	http://www.landraco.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.landraco.com.cn
印 张	11.5	版 次	2015年2月第1版
字 数	280千字	印 次	2015年2月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	18.60元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 41878-00

前 言

物理学是研究物质基本运动规律的科学,是自然科学的基础,是社会发展的原动力。物理学的发展日新月异,影响深远,与其他学科和工程技术的交叉和融合日趋深入,当代大学生必须了解和掌握物理学的基本知识和前沿理论,因此教育部组织专家编写了多套“面向 21 世纪课程”的物理教材。

为适应人才培养的需要,我校较早选用了马文蔚等编写的教材,经过多年的使用,基于教师对教材的理解,我校组织教师编写了本书。该书符合教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010 年版),对学生在学习过程中普遍感到概念多、题目难、抓不住重点等问题的解决有较好的启发和引导作用。能够帮助学生理清基本概念、基本规律,提高学生分析问题、解决问题的能力。本书也可作为大学物理教师的教学参考书,有助于教师较好地掌握教学基本要求,更好地领会和讲授大学物理课程,对提高教学质量将起到十分有益的作用。

本书共分 15 章,覆盖了大学物理的全部教学内容,并且习题内容和数量选择与教材内容相匹配。各章分为基本要求、基本概念及规律、解题指导、习题四部分内容。基本要求中明确了教学要求,指出各部分知识的掌握程度;基本概念及规律中总结了各章的基本概念和规律;解题指导中精选教材中典型习题进行分析和解答。习题中以选择题、填空题、计算题为主,题目的数量及知识点分布与教学要求吻合。选题难易程度层次分明,能够满足不同程度学生的需要。

本书由李贤丽、白永强、张雨、张义勇、张秀龙编写,全书由李贤丽、白永强负责统稿,由王明吉教授审阅。在本书的编写过程中,得到了许多教师的大力协助,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中不足和错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2014 年 8 月

目 录

第一章 质点运动学	1
一、基本要求	1
二、基本概念及规律	1
三、解题指导	2
四、习题	5
五、习题答案	7
第二章 牛顿定律	8
一、基本要求	8
二、基本概念及规律	8
三、解题指导	9
四、习题	14
五、习题答案	16
第三章 动量守恒定律和能量守恒定律	17
一、基本要求	17
二、基本概念及规律	17
三、解题指导	18
四、习题	21
五、习题答案	26
第四章 刚体的转动	27
一、基本要求	27
二、基本概念及规律	27
三、解题指导	28
四、习题	32
五、习题答案	37
第五章 静电场	38
一、基本要求	38
二、基本概念及规律	38
三、解题指导	38

四、习题	44
五、习题答案	50
第六章 静电场中的导体与电介质	51
一、基本要求	51
二、基本概念及规律	51
三、解题指导	51
四、习题	55
五、习题答案	59
第七章 恒定磁场	60
一、基本要求	60
二、基本概念及规律	60
三、解题指导	61
四、习题	68
五、习题答案	75
第八章 电磁感应	76
一、基本要求	76
二、基本概念及规律	76
三、解题指导	77
四、习题	84
五、习题答案	91
第九章 振动	92
一、基本要求	92
二、基本概念及规律	92
三、解题指导	94
四、习题	99
五、习题答案	103
第十章 波动	104
一、基本要求	104
二、基本概念及规律	104
三、解题指导	106
四、习题	111
五、习题答案	118
第十一章 波动光学	119
一、基本要求	119
二、基本概念及规律	119
三、解题指导	121
四、习题	126

五、习题答案 132

第十二章 气体动理论 133

一、基本要求 133

二、基本概念及规律 133

三、解题指导 134

四、习题 137

五、习题答案 140

第十三章 热力学基础 141

一、基本要求 141

二、基本概念及规律 141

三、解题指导 143

四、习题 148

五、习题答案 154

第十四章 相对论 155

一、基本要求 155

二、基本概念及规律 155

三、解题指导 156

四、习题 160

五、习题答案 162

第十五章 量子物理 163

一、基本要求 163

二、基本概念及规律 163

三、解题指导 165

四、习题 169

五、习题答案 173

第一章 质点运动学

一、基本要求

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,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. 掌握并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,了解一般曲线运动中的加速度.
4. 明确位移和路程、速度和速率,以及运动方程和轨道方程的区别.
5. 理解伽利略速度变换式,并会求解简单的质点相对运动问题.

二、基本概念及规律

1. 位置矢量:用来确定质点位置的矢量.

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

运动方程:位置矢量随时间变化的关系式.

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

位移矢量:质点在一段时间 Δt 内的位置矢量的改变.

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

其中 $x(t)$ 、 $y(t)$ 、 $z(t)$ 是参数方程,消去 t 便得到质点运动的轨迹方程.

2. 速度:质点位置矢量对时间的变化率.

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}, \quad \mathbf{v} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j}, \quad \mathbf{j} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j}$$

3. 加速度:质点速度对时间的变化率.

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}, \quad \mathbf{a} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j}, \quad \mathbf{j} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j}$$

4. 运动的叠加原理:一种复杂运动可以分成几种相互独立简单运动的叠加,这个结论亦称为运动的独立性原理.

5. 直线运动.

位置:
$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \int_0^t \mathbf{v}(t) dt$$

速度:
$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \int_0^t \mathbf{a}(t) dt$$

6. 圆周运动:角坐标为 θ , 运动方程为 $\theta(t)$. 角速度为 $\omega = \frac{d\theta}{dt}$, 角加速度为 $\beta = \frac{d\omega}{dt}$, 角速度与线速度的关系是 $v = r\omega$.

加速度常用自然坐标系表示为 $\mathbf{a} = \mathbf{a}_t + \mathbf{a}_n = a_t \mathbf{e}_t + a_n \mathbf{e}_n$, 法向加速度 $a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$, 方向指向圆心; 切向加速度 $a_t = \frac{dv}{dt}$, 方向沿轨道切线, 式中 v 是速率 ($v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$).

7. 相对运动.

位置矢量变换:

$$\mathbf{r}_{PO} = \mathbf{r}_{PO'} + \mathbf{r}_{O'O}$$

速度变换:

$$\mathbf{v}_{PO} = \mathbf{v}_{PO'} + \mathbf{v}_{O'O}$$

加速度变换:

$$\mathbf{a}_{PO} = \mathbf{a}_{PO'} + \mathbf{a}_{O'O}$$

“ PO ”为质点 P 相对 O 系; “ PO' ”为质点 P 相对 O' 系; “ $O'O$ ”为 O' 系相对 O 系.

三、解题指导

例 1-1 已知质点沿 x 轴做直线运动, 其运动方程为 $x = 2 + 6t^2 - 2t^3$ (SI 单位), 求: (1) 质点在运动开始后 4.0 s 内的位移的大小; (2) 质点在该时间内所通过的路程.

解: (1) 开始后 4.0 s 内的位移就是 $t=0$ 时的位矢和 $t=4$ s 时位矢的差.

$$t=0 \text{ 时}, x_1 = 2 \text{ m}.$$

$$t=4 \text{ s 时}, x_2 = (2 + 6 \times 4^2 - 2 \times 4^3) \text{ m} = -30 \text{ m}.$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = -32 \text{ m}$$

质点在运动开始后 4.0 s 内位移的大小为 32 m.

(2) 由于质点做直线运动, 如果质点运动方向改变, 路程应不等于位移的绝对值. 因此需要从 v 的正负来判明运动过程.

$$\text{令 } v = \frac{dx}{dt} = 12t - 6t^2 = 0, \text{ 得 } t=0 \text{ 和 } t=2 \text{ s}.$$

当 $0 < t < 2$ 时, $v > 0$, 质点向右运动.

当 $t > 2$ 时, $v < 0$, 质点向左运动.

$$t=0, x_1 = 2 \text{ m}.$$

$$t=2 \text{ s}, x_2 = 10 \text{ m}.$$

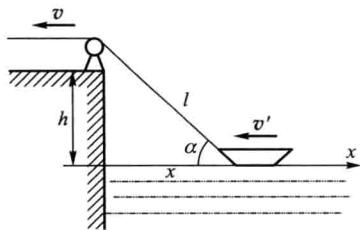
$$t=4 \text{ s}, x_3 = -30 \text{ m}.$$

$$s = |x_2 - x_1| + |x_3 - x_2| = 48 \text{ m}$$

例 1-2 如例 1-2 图所示, 湖中有一小船. 岸上有人用绳跨过定滑轮拉船靠岸. 设滑轮距水面高度为 h , 滑轮到原船位置的绳长为 l_0 , 试求: 当人以匀速 v 拉绳, 船运动的速率 v' 为多少?

解: 设 t 时刻绳长为 l , 船到滑轮边缘的垂线距离为 x , 如图所示.

$$v' = -\frac{dx}{dt}$$



例 1-2 图

由 $l^2 = h^2 + x^2$, 两端对时间 t 求导, 得

$$2l \frac{dl}{dt} = 2x \frac{dx}{dt}$$

其中 $v = -\frac{dl}{dt}$, $\frac{x}{l} = \cos \alpha$, $v' = \frac{v}{\cos \alpha}$.

在 t 时刻 $l = l_0 - vt$, $\sin \alpha = \frac{h}{l_0 - vt}$, $\cos \alpha = \sqrt{1 - h^2 / (l_0 - vt)^2}$, 所以

$$v' = \frac{v}{\sqrt{1 - h^2 / (l_0 - vt)^2}}$$

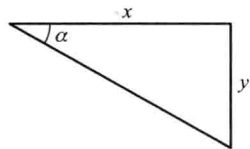
例 1-3 飞机以 $100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度沿水平直线飞行, 在离地面高 100 m 时, 驾驶员要把物品空投到前方某一地面目标处, 问: (1) 此时目标在飞机下方前多远? (2) 投放物品时, 驾驶员看目标的视线和水平线成何角度? (3) 物品投出 2.0 s 后, 它的法向加速度和切向加速度各为多少?

解: (1) 设目标在飞机下方前 x 处, 则

$$y = \frac{1}{2}gt^2, \quad x = v_0 t$$

解得 $t = 4.52 \text{ s}$, $x = 452 \text{ m}$.

(2) 如例 1-3 图 (a) 所示, $\tan \alpha = \frac{y}{x} = \frac{100}{452}$, $\alpha = 12.5^\circ$.



(a)

(3) 求出 $t = 2.0 \text{ s}$ 时 v_x 、 v_y , 从而确定 v 的方向, 如例 1-3 图 (b) 所示.

g 在 v 方向的分量为 a_t , g 在 e_n 方向上的分量为 a_n . $t = 2.0 \text{ s}$ 时,

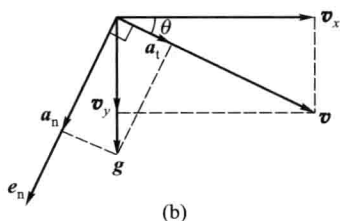
$$v_y = gt = 19.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_x = 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x}, \quad \theta = 11.1^\circ$$

$$a_t = g \sin \theta = 1.89 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$a_n = g \cos \theta = 9.62 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$



(b)

例 1-3 图

例 1-4 一质点沿半径为 R 的圆周按规律 $s = v_0 t - \frac{1}{2}bt^2$ 而运动, v_0 、 b 都是常量. (1) 求 t 时刻质点的总加速度. (2) t 为何值时总加速度在数值上等于 b ? (3) 当加速度达到 b 时, 质点已沿圆周运行了多少圈?

解: s 表示的是某一时刻到开始时刻质点走过的弧长, 则

$$v = \frac{ds}{dt}, \quad a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$$

(1)

$$v = \frac{ds}{dt} = v_0 - bt$$

$$\begin{aligned}
 a_t &= \frac{dv}{dt} = -b \\
 a_n &= \frac{v^2}{R} = \frac{(v_0 - bt)^2}{R} \\
 a &= \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \frac{\sqrt{R^2 b^2 + (v_0 - bt)^4}}{R}
 \end{aligned} \tag{1}$$

a 的方向可用 a_t 与 a 之间的夹角 θ 表示, 则有

$$\tan \theta = \frac{a_n}{a_t} = -\frac{(v_0 - bt)^2}{bR}, \quad \theta = \arctan \left[-\frac{(v_0 - bt)^2}{bR} \right]$$

(2) 由(1)式可知当 $v_0 - bt = 0$ 时, 即 $t = \frac{v_0}{b}$ 时, $a = b$.

(3) 质点运行速率匀速减小, 当总加速度达到 b 时, 速率刚好为零, 此过程中没有反向运动

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} b t^2$$

把 $t = \frac{v_0}{b}$ 代入, 则 $s = \frac{v_0^2}{2b}$.

设 N 为运行圈数, 则

$$N = \frac{s}{2\pi R} = \frac{v_0^2}{4\pi R b}$$

例 1-5 一半径为 0.50 m 的飞轮在启动时, 其角速度与时间的平方成正比. 在 $t = 2.0$ s 时测得轮缘一点的速度值为 $4.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. 求: (1) 该轮在 $t' = 0.5$ s 的角速度, 轮缘一点的切向加速度和总加速度; (2) 该点在 2.0 s 内所转过的角度.

解: 由已知条件可设 $\omega = kt^2$.

$t = 2.0$ s 时,

$$v = 4.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \quad R = 0.5 \text{ m}, \quad v = R\omega$$

可得 $\omega = 8.0 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, $k = 2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-3}$.

(1) $t' = 0.5$ s 时, $\omega' = 2 \times 0.5^2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} = 0.5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

角加速度 $\beta = \frac{d\omega}{dt} = 4t \text{ rad} \cdot \text{s}^{-3}$, $t' = 0.5$ s 时, $\beta = 2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$.

$$a'_t = R\beta = 1.00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$a'_n = R\omega'^2 = 0.125 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$a' = \sqrt{a'^2_t + a'^2_n} = 1.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

(2) 由 $\omega = 2t^2$, 则 $\frac{d\theta}{dt} = 2t^2$.

$$d\theta = 2t^2 dt$$

对两边积分 $\int_0^\theta d\theta = \int_0^t 2t^2 dt$, 得 $\theta = \frac{2}{3}t^3$.

当 $t = 2.0 \text{ s}$ 时, $\theta = 5.33 \text{ rad}$.

例 1-6 如例 1-6 图 (a) 所示, 一汽车在雨中沿直线行驶, 其速率为 v_1 , 下落雨滴的速度方向偏于竖直方向之前 θ 角, 速率为 v_2 , 若车后有一长方形物体, 问车速 v_1 为多大时, 此物体正好不会被雨水淋湿?

解: 如例 1-6 图 (b) 所示

$$\mathbf{v}_2 = \mathbf{v}_1 + \mathbf{u}$$

$$u_y = v_2 \cos \theta$$

$$u_x = v_1 - v_2 \sin \theta$$

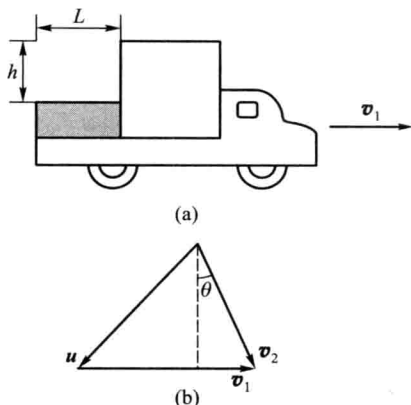
当车后长方形物体正好不会被水淋湿时

$$\frac{u_y}{u_x} = \frac{h}{L}$$

$$\frac{h}{L} = \frac{v_2 \cos \theta}{v_1 - v_2 \sin \theta}$$

解得

$$v_1 = v_2 \left(\frac{L}{h} \cos \theta + \sin \theta \right)$$



例 1-6 图

例 1-7 人能在静水中以 $1.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度划船前进. 今欲横渡一宽 $L = 1.00 \times 10^3 \text{ m}$ 、水流速度为 $0.55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大河. (1) 他若要从出发点横渡该河而到达正对岸的一点, 那么应该如何确定划行方向? 到达正对岸需多少时间? (2) 如果希望用最短的时间过河, 那么应该如何确定划行方向? 船到达对岸的位置在什么地方?

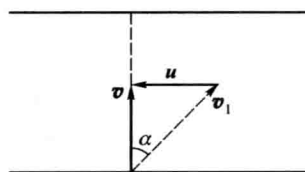
解: (1) 如例 1-7 图所示, 船相对于水的速度 $\mathbf{v}_1$ 为相对速度, 其大小为 $1.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 水流速度 $\mathbf{u}$ 为牵连速度, 船相对于岸的速度 $\mathbf{v}$ 为绝对速度. 若要横渡到正对岸一点, 绝对速度必须垂直于岸边.

由例 1-7 图可知

$$\sin \alpha = \frac{u}{v_1} = \frac{1}{2}, \quad \alpha = 30^\circ$$

$$v = v_1 \cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 1.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 0.95 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$t = \frac{L}{v} = \frac{1 \times 10^3}{0.95} \text{ s} = 1.05 \times 10^3 \text{ s}$$



例 1-7 图

(2) 如果希望用最短时间过河, 应向正对岸划行, 横向速度为 $v_1 = 1.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 他到达对岸的位置将比正对岸点向下游漂移河宽的一半, 即 $u \frac{L}{v_1} = 5 \times 10^2 \text{ m}$.

四、习题

1-1 一运动质点在某一瞬时位于径矢 $\mathbf{r}(x, y)$ 的端点处, 其速度大小为().

- (A) $\frac{dr}{dt}$ (B) $\frac{d\mathbf{r}}{dt}$ (C) $\frac{d|\mathbf{r}|}{dt}$ (D) $\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$

1-2 质点在平面上运动,已知其位置矢量的表达式为 $\mathbf{r} = at^2\mathbf{i} + bt^2\mathbf{j}$ (式中 a, b 为常量),则质点做()。

- (A) 匀速直线运动 (B) 变速直线运动 (C) 抛物线运动 (D) 一般曲线运动

1-3 某物体的运动规律为 $\frac{dv}{dt} = kv^2t$, 式中 k 为大于零的常量. 当 $t=0$ 时, 其初速度为 v_0 , 则速度 v 和时间 t 的函数的关系是()。

- (A) $v = \frac{1}{2}kt^2 + v_0$ (B) $v = -\frac{1}{2}kt^2 + v_0$ (C) $\frac{1}{v} = \frac{1}{2}kt^2 + \frac{1}{v_0}$ (D) $\frac{1}{v} = -\frac{1}{2}kt^2 + \frac{1}{v_0}$

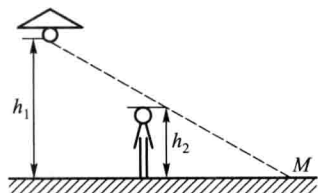
1-4 一质点在平面上做一般曲线运动, 其瞬时速度为 $\mathbf{v}$, 瞬时速率为 v , 某一时间内的平均速度为 $\bar{\mathbf{v}}$, 平均速率为 $\bar{v}$, 它们之间的关系必定有()。

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

1-5 某人骑自行车以速率 v 向正西方行使, 遇到由北向南刮的风 (设风速大小也为 v), 则他感到风是从()。

- (A) 东北方向吹来 (B) 东南方向吹来 (C) 西北方向吹来 (D) 西南方向吹来

1-6 灯距地面的高度为 h_1 , 一个人身高为 h_2 , 在灯下以匀速率 v 沿水平直线行走, 如题 1-6 图所示, 则他的头顶在地上的影子 M 点沿地面移动的速度 $v_M =$ _____。

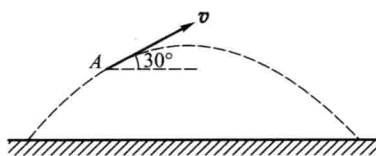


题 1-6 图

1-7 一质点沿 x 轴做直线运动, 它的运动学方程为 $x = 3 + 5t + 6t^2 - t^3$ (SI 单位), 则:

- (1) 质点在 $t=0$ 时刻的速度 $v_0 =$ _____;
(2) 加速度为零时, 该质点的速度 $v =$ _____。

1-8 一物体做如题 1-8 图所示的斜抛运动, 测得在轨道 A 点处速度 $\mathbf{v}$ 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 $\rho =$ _____。



题 1-8 图

1-9 在半径为 R 的圆周上运动的质点, 其速率与时间的关系为 $v = ct^2$ (c 为常量), 则从 $t=0$ 到 t 时刻质点走过的路程 $s(t) =$ _____; t 时刻质点的切向加速度 $a_t =$ _____; t 时刻质点的法向加速度 $a_n =$ _____。

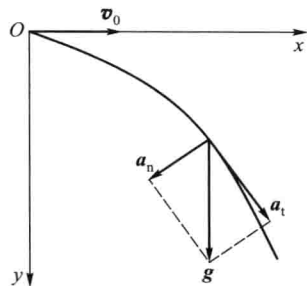
1-10 在 xy 平面内有一运动的质点, 其运动方程 $\mathbf{r} = 10\cos 5t\mathbf{i} + 10\sin 5t\mathbf{j}$ (SI 单位), 则 t 时刻其速度 $\mathbf{v} =$ _____, 其切向加速度的大小 $a_t =$ _____; 该质点运动的轨迹是_____。

1-11 一质点沿半径 $R = 0.1$ m 的圆周运动, 其角位移随时间 t 的变化规律是 $\theta = 2 + 4t^2$ (SI 单位), 在 $t = 2$ s 时它的法向加速度 $a_n =$ _____; 切向加速度 $a_t =$ _____。

1-12 以一定初速度斜向上抛出一个物体,如果忽略空气阻力,当该物体的速度 v 与水平面的夹角为 θ 时,它的切向加速度的大小为 $a_t = \underline{\hspace{2cm}}$,法向加速度的大小为 $a_n = \underline{\hspace{2cm}}$.

1-13 一质点沿 x 轴运动,其加速度 a 与位置坐标 x 的关系为 $a = 2 + 6x^2$ (SI 单位),如果质点在原点处的速度为0,试求其在任意位置处的速度.

1-14 如题 1-14 图所示,由楼窗口以水平初速度 v_0 射出一发子弹,取枪口为原点,沿 v_0 方向为 x 轴,竖直向下为 y 轴,并取发射时 t 为0,试求:(1) 子弹在任意时刻 t 的位置坐标及轨迹方程;(2) 子弹在 t 时刻的速度、切向加速度和法向加速度.



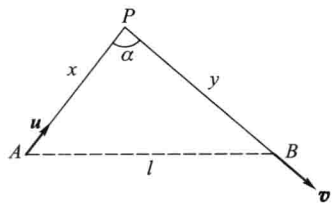
题 1-14 图

1-15 一无风的下雨天,一列火车以 $v_1 = 20.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度匀速前进,在车内的旅客看见玻璃窗外的雨滴和垂线成 75° 角下降.求雨滴下落的速度 v_2 . (设下降的雨滴做匀速运动.)

1-16 质点的运动方程为 $x = -10t + 30t^2$ (SI 单位) 和 $y = 15t - 20t^2$ (SI 单位),试求:(1) 初速度的大小和方向;(2) 加速度的大小和方向.

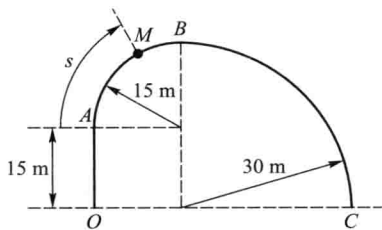
1-17 一艘正在沿直线行驶的汽艇,发动机关闭后,其加速度方向与速度方向相反,大小与速度平方成正比,即 $dv/dt = -kv^2$,式中 k 为常量.试证明汽艇在关闭发动机后又行驶 x 距离时的速度为 $v = v_0 e^{-kx}$,其中 v_0 是发动机关闭时的速度.

1-18 如题 1-18 图所示,一艘船以速率 u 驶向码头,另一艘以速率 v 自码头离去,设航路为直线, α 为两直线的夹角.试证当两船的距离最短时,两船与码头的距离之比为 $(v + u \cos \alpha) : (u + v \cos \alpha)$.



题 1-18 图

1-19 质点 M 在水平面内运动轨迹如题 1-19 图所示, OA 段为直线, AB 、 BC 段分别为不同半径的两个 $1/4$ 圆周.设 $t=0$ 时, M 在 O 点,已知运动方程为 $s = 30t + 5t^2$ (SI 单位),求 $t=2 \text{ s}$ 时刻,质点 M 的切向加速度和法向加速度.



题 1-19 图

五、习题答案



第一章习题答案

第二章 牛 顿 定 律

一、基本要求

1. 掌握牛顿三定律的基本内容及其适用条件.
2. 熟练掌握用隔离体法分析物体的受力情况,能用微积分方法求解变力作用下的简单质点动力学问题.
3. 了解惯性力的物理意义及在非惯性系中运用牛顿定律求解动力学问题的方法.

二、基本概念及规律

1. 牛顿第一定律:任何物体都要保持静止或匀速直线运动状态直到外力迫使它改变这种状态为止.
2. 牛顿第二定律:物体在力的作用下做加速运动,其加速度的方向与所受合力的方向相同,加速度的大小与合力的大小成正比,与物体的质量成反比.

数学表达式为

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad \text{或} \quad \mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

笛卡儿坐标表示法

$$F_x = m \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad F_y = m \frac{d^2 y}{dt^2}$$

自然坐标表示法

$$F_t = ma_t = m \frac{dv}{dt}, \quad F_n = ma_n = m \frac{v^2}{\rho}$$

3. 牛顿第三定律:当物体 A 以力 $\mathbf{F}$ 作用于物体 B 时,物体 B 必定同时以大小相等、方向相反的同性质力 $\mathbf{F}'$,沿同一直线作用于物体 A 上.

数学表达式为

$$\mathbf{F} = -\mathbf{F}'$$

4. 惯性系与非惯性系:凡是牛顿定律成立的参考系称为惯性参考系,简称惯性系;而牛顿定律不成立的参考系则称为非惯性系(相对惯性系做加速直线运动、转动等).

5. 非惯性系中的惯性力.

质量为 m 的物体,在相对于惯性系以加速度 $\mathbf{a}$ 平动的非惯性系中所受的惯性力为

$$\mathbf{F}_i = -m\mathbf{a}$$

在相对于惯性系以角速度 ω 转动的非惯性系中所受的惯性力为

$$\mathbf{F}_i = -m\mathbf{r}\omega^2 \mathbf{e}_n$$

在非惯性系中牛顿第二定律数学表达式为

$$\mathbf{F} + \mathbf{F}_i = m\mathbf{a}$$

三、解题指导

例 2-1 一木块能与与水平面成 α 角的斜面上匀速下滑. 若使它以速率 v_0 沿此斜面向上滑动, 试证明它能沿该斜面向上滑动的距离为 $\frac{v_0^2}{4g\sin\alpha}$.

解: 下滑时匀速, 则说明摩擦力与重力在斜面上的分力相等, 即

$$F_f = mg\sin\alpha$$

当木块向上滑动时, 木块受力沿斜面上的分量为

$$F = F_f + mg\sin\alpha = 2mg\sin\alpha$$

$$a = \frac{F}{m} = 2g\sin\alpha$$

$$s = \frac{\frac{v_0^2}{2a}}{2a} = \frac{v_0^2}{4g\sin\alpha}$$

所以木块沿该斜面向上滑动的距离为 $\frac{v_0^2}{4g\sin\alpha}$.

例 2-2 如例 2-2 图 (a) 所示, 已知两物体 A、B 的质量均为 $m = 3.0 \text{ kg}$, 物体 A 以加速度 $a = 1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 向下运动, 求物体 B 与桌面间的摩擦力. (滑轮与连接绳的质量不计.)

解: 分别对物体 A、B 进行受力分析, 如例 2-2 图 (b) 所示,

$$mg - 2F_T = ma$$

$$F'_T - F_f = 2ma$$

$$F_T = F'_T$$

可得

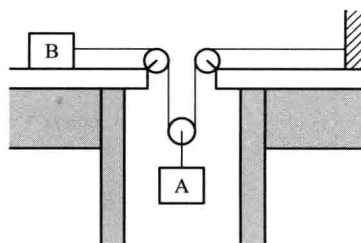
$$mg - 2F_f = 5ma$$

$$F_f = \frac{mg - 5ma}{2} = 7.2 \text{ N}$$

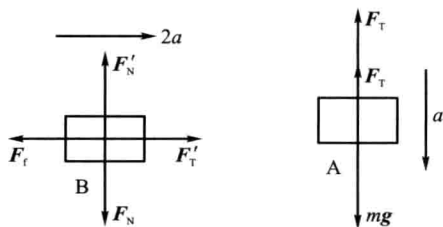
所以物体 B 与桌面间的摩擦力为 7.2 N.

例 2-3 如例 2-3 图所示, 质量为 m' 的长平板以速度 v' 在光滑平面上做直线运动, 现将质量为 m 的木块轻轻平稳地放在长平板上, 板与木块之间的动摩擦因数为 μ , 求木块在长平板上滑行多远才能与板取得共同速度?

解: 设木块在长板上滑行距离为 s 时与木板取得共



(a)



(b)

例 2-2 图



例 2-3 图

同速度 v , 而此过程中木板相对于光滑平面滑行距离为 L . 当木块与木板同速时, 由动量守恒得

$$m'v' = (m+m')v,$$

即

$$v = \frac{m'}{m+m'}v'$$

在此过程中摩擦力对木块做正功, 由动能定理得

$$(L-s)\mu mg = \frac{1}{2}mv^2$$

摩擦力对木板做负功

$$-L\mu mg = \frac{1}{2}m'v^2 - \frac{1}{2}m'v'^2$$

解得

$$s = \frac{m'v'^2}{2\mu g(m'+m)}$$

例 2-4 在一只半径为 R 的半球形碗内, 有一粒质量为 m 的小钢球, 当小球以角速度 ω 在水平面内沿碗内壁做匀速圆周运动时, 它距碗底有多高?

解: 对小球受力分析如例 2-4 图所示, 小球只受重力和支持力, 在竖直方向上合外力为零, 即

$$F_N \cos \alpha - mg = 0$$

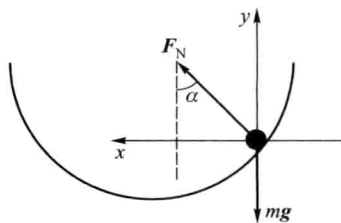
水平方向合外力为向心力

$$F_N \sin \alpha = m\omega^2 R \sin \alpha$$

解得

$$\cos \alpha = \frac{g}{\omega^2 R}$$

$$h = R - R \cos \alpha = R - \frac{g}{\omega^2}$$



例 2-4 图

小球距碗底高度为 $R - \frac{g}{\omega^2}$

例 2-5 一质量为 m 的小球最初位于如例 2-5 图所示的 A 点, 然后沿半径为 r 的光滑圆轨道 $ABCD$ 下滑. 试求小球到达点 C 时的角速度和对圆轨道的作用力有多大?

解: 小球在该过程中机械能守恒, 设 OA 面处的势能为零, 则

$$0 = -mg r \cos \alpha + \frac{1}{2}mv^2$$

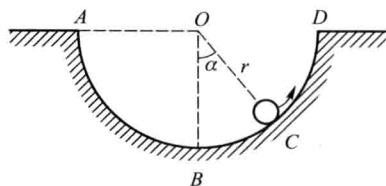
$$v = \sqrt{2gr \cos \alpha}$$

$$\omega = \frac{v}{r} = \sqrt{\frac{2g \cos \alpha}{r}}$$

小球的向心力为

$$F_N - mg \cos \alpha = \frac{mv^2}{r}$$

$$F_N = 3mg \cos \alpha$$



例 2-5 图