

 新世纪高等院校精品教材

潘正权 诸葛向彬 编著

工程物理

习题指导



浙江大学出版社

工程物理

习题指导

清华大学出版社

● 新世纪高等院校本科精品教材 • 公共基础类

工程物理 习题指导

潘正权 诸葛向彬 编 著

浙江大学出版社

内容提要

本书按照《工程物理学》各章顺序编写,覆盖整个大学物理内容。每章分为3部分:基本概念和规律、解题指导、习题解答。在基本概念和规律中简练概括了该章必须掌握的物理概念及规律。在每章的解题指导中归纳和总结了求解有关物理习题的解题方法和各种技巧。所有习题解答突出物理图像和解题思路的分析,习题选择强调典型性,解题过程规范性、示范性和灵活性并重,融会了作者长期教学实践中的经验和体会。

本书可作为使用《工程物理学》(第二版)教材的师生的参考书,也可作为其他高等学校理工科学生复习和迎考各种大学物理考试的参考书,对从事大学物理教学的教师也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

工程物理习题指导 / 潘正权, 诸葛向彬编著. —杭州:
浙江大学出版社, 2004.8
ISBN 7-308-03887-4

I. 工... II. ①潘... ②诸... III. 工程物理学—高等学校—解题 IV. TB13-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 090909 号

出版发行: 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

责任编辑: 陈晓嘉

排版者: 浙江大学出版社电脑排版中心

印刷: 德清第二印刷厂

经销: 浙江省新华书店

开本: 787mm×1092mm 1/16

印张: 14

字数: 349 千

版次: 2004 年 8 月第 1 版

印次: 2004 年 8 月第 1 次印刷

印数: 0001—3000

书号: ISBN 7-308-03887-4/TB·033

定价: 22.00 元

前 言

在物理教学中,解答习题始终是教学的一个重要环节。它对于学生深入理解和巩固物理概念,掌握基本规律和基本方法,培养分析物理问题和解决物理问题的能力,都是非常重要的。

本书主要是根据诸葛向彬教授主编的浙江省高等教育重点建设教材《工程物理学》(第二版)编写的习题指导书,内容包括每章的基本概念和规律、解题指导和习题解答。在基本概念和规律中简练概括了各章必须掌握的物理概念及规律。在习题指导中,根据长期教学实践的经验 and 体会,作者归纳和总结了求解大学物理习题的解题思路、解题方法和各种解题技巧;并着重指出各章习题的解答运用哪些基本概念和基本规律,解题中的难点和容易犯错误的地方,以及应该注意的主要问题等。相信这些对读者学习或复习大学物理有较好的借鉴作用。在习题解答过程中,注意解题的规范性和示范性,同时强调解题的灵活性和解题技巧,并力争做到简明扼要,突出物理图像和解题思路,以便提高读者分析问题和解决问题的能力。

本书由潘正权编写原《工程物理学》第一版中的所有习题解答;诸葛向彬编写各章的基本概念和规律、解题指导以及第二版新增习题的解答。全书最后由潘正权统稿。

本书既可作为使用《工程物理学》(第二版)教材的师生的参考书,也可作为其他高等学校理工科学生复习和迎考各种大学物理考试的参考书。因为《工程物理学》(第二版)在习题配置过程中进行了深入的调查和研究,使得其习题不仅内容覆盖面广、类型典型,而且与科学、技术和社会联系紧密,较好地吸收和运用了多种国内外教材的优点和特色,同时也融会了浙江大学多年来开展物理习题讨论课的经验 and 成果。

本书的讲义从1999年开始配合《工程物理学》教材在浙江大学等高校作为师生内部参考书使用,并经过3次修订。期间汲取了许多使用过《工程物理学》教材的高校教师和学生提供的大量反馈意见。作者在此对他们表示衷心的感谢。

限于作者的教学经验和学术水平,书中一定还存在不少缺点和错误,敬请读者批评指正。

作者

2004年2月于杭州浙大求是园

目 录

第 1 章	绪 论	1
第 2 章	质点运动学	3
第 3 章	动量 • 动量守恒定律	10
第 4 章	能量 • 能量守恒定律	21
第 5 章	角动量 • 角动量守恒定律	28
第 6 章	刚体力学	32
第 7 章	万有引力	46
第 8 章	相对论	50
第 9 章	机械振动	58
第 10 章	机械波	70
第 11 章	气体动理论	81
第 12 章	热力学基础	91
第 13 章	静电场	105
第 14 章	静电场中的导体和电介质	120
第 15 章	电流和磁场	131
第 16 章	物质中的磁场	145
第 17 章	电磁感应	149
第 18 章	麦克斯韦方程 • 电磁波	161
第 19 章	带电粒子在电场和磁场中的运动	166
第 20 章	光的干涉	171
第 21 章	光的衍射	179
第 22 章	光的偏振	186
第 23 章	量子光学基础	192
第 24 章	原子的玻尔理论	197
第 25 章	量子力学基础	202
第 26 章	凝聚态物理	209
第 27 章	核物理和粒子物理简介	213
第 28 章	天体和宇宙	217

【基本概念和规律】

1. 国际单位制(SI)

国际单位制(SI)作为国际通行的单位制,以七个基本量的单位作为物理量的基本单位。

2. 量纲

任何一个物理量通过物理关系与基本量联系起来的关系式称为量纲式,简称为量纲。一个力学量 Q 的量纲式可表示为

$$[Q] = L^p M^q T^r$$

式中 p, q, r 为量纲指数,可以为正、为负或者为零。

只有量纲相同的物理量才能进行加减和用等号联接。

3. 科学计数法

科学计数法是用 1 与 10 之间的数乘以 10 的幂次表示极大或极小数的方法。

【解题指导】

- 学会写物理量的量纲表达式。
- 用量纲校核法估算物理公式和检验结果的正确性。
- 学会科学计数法和有效数字的选取。

【习题解答】

1-1 试写出物理量:速度 v 、加速度 a 、力 F 、功 W 、动能 E_k 、势能 U 、力矩 M 、功率 P 、动量 p 、冲量 I 的量纲表达式。

$$\begin{aligned} \text{解 } [v] &= \frac{[l]}{[t]} = LT^{-1}, & [a] &= \frac{[v]}{[t]} = LT^{-2} \\ [F] &= [m][a] = MLT^{-2}, & [W] &= [F][l] = ML^2T^{-2} \\ [E_k] &= [m][v][v] = ML^2T^{-2}, & [U] &= [m][a][l] = ML^2T^{-2} \\ [M] &= [l][F] = ML^2T^{-2}, & [P] &= \frac{[W]}{[t]} = ML^2T^{-3} \\ [p] &= [m][v] = MLT^{-1}, & [I] &= [F][t] = MLT^{-1} \end{aligned}$$

1-2 试用量纲方法导出质点作匀速圆周运动时所需向心力的表达式。

解 质点作圆周运动时所需的向心力主要决定于三个方面:质点的质量 m , 运动速度 v

及圆周运动的半径 r , 所以

$$F_{\text{向}} \propto m^a v^b r^c$$

其中 a, b, c 均为待定的指数。

力的量纲为 MLT^{-2} , 同时 $[F_{\text{向}}] = [m^a][v^b][r^c]$, 所以

$$\text{MLT}^{-2} = \text{M}^a (\text{L}/\text{T})^b \text{L}^c = \text{M}^a \text{L}^{b+c} \text{T}^{-b}$$

令两边量纲相应的指数相等, 则有

$$a=1 \quad b+c=1 \quad b=2, \quad \text{解之得} \quad c=-1$$

$$\therefore F_{\text{向}} \propto \frac{mv^2}{r}$$

牛顿力学中向心力的精确表达式为 $F_{\text{向}} = m \frac{v^2}{r}$ 。

量纲分析能告诉我们某个物理量跟哪些因素变化有关, 公式前的常数因为没有量纲, 只能由实验来测定。

1-3 某同学算得一习题答案为 $F = \frac{1}{3} \rho v^2$ (式中 F 和 ρ 分别表示力和密度, v 表示速度), 试判断该结果是否正确?

解 力 F 的量纲为 MLT^{-2} , 密度 ρ 的量纲为 ML^{-3} , 速度 v 的量纲为 LT^{-1} , 则 $\frac{1}{3} \rho v^2$ 的量纲为

$$(\text{ML}^{-3})(\text{LT}^{-1})^2 = \text{ML}^{-1} \text{T}^{-2}$$

此结果与力的量纲不等, 故上述结果是错误的。

1-4 试确定万有引力常量 G 在 SI 中的单位。

解 由万有引力定律有

$$G = \frac{Fr^2}{m_1 m_2} \quad [G] = (\text{MLT}^{-2})(\text{L}^2)(\text{M}^{-1})^2 = \text{M}^{-1} \text{L}^3 \text{T}^{-2}$$

因此 G 在 SI 中的单位为 $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

1-5 一质量为 m 的物体悬挂在劲度系数为 k 的弹簧下面作竖直振动, 不考虑空气阻力时, 物体在振动过程中所受的合力为 $F = -kx$, x 为物体离开平衡位置的位移。试用量纲分析来确定物体的振动周期 T 与 k, m 的关系式。

解 振动周期 T 与劲度系数 k 和物体质量 m 有关, 设关系式为

$$T \propto k^p m^q$$

两边的量纲相等, 则

$$T = (\text{MLT}^{-2} \text{L}^{-1})^p \text{M}^q = \text{M}^{p+q} \text{T}^{-2p}$$

令两边的有关指数相等, 则

对于 M : $0 = p + q$; 对于 T : $1 = -2p$; 解之得到 $p = -\frac{1}{2}$, $q = \frac{1}{2}$, 代入关系式得

$$T \propto \sqrt{\frac{m}{k}}$$

标准的计算公式应为 $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$, 这里仅差一个常数因子 2π 。

第 2 章

质点运动学

【基本概念和规律】

1. 参考系

参考系是描述物体运动时选作参照的物体或系统。

2. 描述质点运动的四个基本物理量

(1) 位置矢量: 又叫矢径, 是用来确定物体位置的矢量。

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

(2) 位移矢量: 质点在 Δt 时间内位置的改变。

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

(3) 速度矢量: 质点位置矢量对时间的导数。

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

(4) 加速度矢量: 质点速度矢量对时间的导数。

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

【解题指导】

在微积分和矢量代数运算的基础上进行解题, 而不是重复中学的解题方式做题。

● 学会解运动学的第一类问题, 即已知运动方程 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$, 通过矢量代数运算和微分求质点运动的位移、速度和加速度。

● 学会解运动学的第二类问题, 即已知速度或加速度通过积分求运动方程。

● 用解析法处理曲线运动, 即选取适当的坐标系将运动加以分解。例如, 对于平面曲线运动可采用直角坐标系和自然坐标系加以分解。

$$\begin{array}{l} \text{直角坐标系} \left\{ \begin{array}{l} a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \end{array} \right. \quad \text{自然坐标系} \left\{ \begin{array}{l} \text{切向} \quad a_t = \frac{dv}{dt} \\ \text{法向} \quad a_n = \frac{v^2}{\rho} \end{array} \right. \end{array}$$

式中 ρ 为曲率半径。自然坐标系是大学里引入的, 对处理曲线运动特别有用。同时应重点理解各种加速度的物理含义。

● 同一物体在相对平动的两个参考系中, 速度和加速度之间的变换关系为

$$\mathbf{v}_{\text{人对车}} = \mathbf{v}_{\text{人对地}} - \mathbf{v}_{\text{车对地}} \quad \mathbf{a}_{\text{人对车}} = \mathbf{a}_{\text{人对地}} - \mathbf{a}_{\text{车对地}}$$

上述式中是用车厢里的人(研究对象)、地面和车厢(两个参考系)来加以表示的。

● 研究质点运动应注意位置矢量,位移,速度和加速度的相对性、瞬时性和矢量性。

【习题解答】

2-1 一架小型运输机至少要达到 $360\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度才能从跑道上起飞,假定飞机加速度恒定且跑道长为 1.8km ,试问飞机至少要有多大的加速度才能从静止开始起飞?

解 因为飞机作匀加速直线运动,则

$$v_t^2 = v_0^2 + 2as \quad v_0 = 0, \quad v_t = \frac{360 \times 10^3}{3600} = 100 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$s = 1.8 \times 10^3 \text{m} \quad a = \frac{v_t^2}{2s} = 2.78 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

2-2 一汽车正以 $45\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度向某交叉路口驶去,当汽车离交叉路口还有 20m 时,交叉路口的红灯突然闪亮。设驾驶员的反应(从看见红灯到开始刹车)时间为 0.7s ,刹车的加速度为 $-7.0\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。试通过计算判断该驾驶员会不会闯红灯?(设红灯亮的时间足够长)

解 刹车前汽车速度为 $v_0 = 45\text{km/h} = 12.5\text{m/s}$,驾驶员从看见红灯到开始刹车的时间内,汽车驶过的距离为

$$\Delta s_1 = v_0 t = 12.5 \times 0.7 = 8.75 (\text{m})$$

驾驶员刹车后汽车驶过的距离为

$$\Delta s_2 = \frac{0 - v_0^2}{2a} = \frac{-(12.5)^2}{2 \times (-7)} = 11.16 (\text{m})$$

驾驶员从看见红灯到最后汽车停下来期间,汽车驶过的距离为

$$\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2 = (8.75 + 11.16)\text{m} = 19.91\text{m} < 20\text{m}$$

故该驾驶员不会闯红灯。

2-3 已知一质点的运动方程为 $\mathbf{r} = 2t\mathbf{i} + (2 - t^2)\mathbf{j} (\text{SI})$,求:

(1) 质点轨迹;

(2) 从 $t = 1\text{s}$ 到 $t = 2\text{s}$ 的位移;

(3) $t = 1\text{s}$ 和 $t = 2\text{s}$ 时的速度和加速度。

解 (1) 由已知运动方程,知 $x = 2t, y = 2 - t^2$,故轨道方程为

$$y = 2 - \frac{x^2}{4} \quad (\text{即运动轨迹为抛物线})$$

(2) $t = 1\text{s}$ 时, $\mathbf{r}_1 = 2\mathbf{i} + \mathbf{j}$; $t = 2\text{s}$ 时, $\mathbf{r}_2 = 4\mathbf{i} - 2\mathbf{j}$ 。从 $t = 1\text{s}$ 到 $t = 2\text{s}$ 的位移为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = (2\mathbf{i} - 3\mathbf{j}) (\text{m})$$

$$(3) \quad \because \mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = 2\mathbf{i} - 2t\mathbf{j}, \quad \mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -2\mathbf{j}$$

$$\therefore t = 1\text{s} \text{ 时, } \mathbf{v}_1 = (2\mathbf{i} - 2\mathbf{j}) (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}), \quad \mathbf{a}_1 = -2\mathbf{j} (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$$

$$t = 2\text{s} \text{ 时, } \mathbf{v}_2 = (2\mathbf{i} - 4\mathbf{j}) (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}), \quad \mathbf{a}_2 = -2\mathbf{j} (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$$

2-4 一质点在 $X-Y$ 平面内运动,其运动方程分别为 $x = 3\cos 4t, y = 3\sin 4t (\text{SI})$,试求:

(1) 质点任一时刻的速度和加速度的表达式;

(2) 质点的切向加速度和法向加速度的大小。

解 (1)
$$v_x = \frac{dx}{dt} = -12\sin 4t, \quad v_y = \frac{dy}{dt} = 12\cos 4t$$
$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = -48\cos 4t, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = -48\sin 4t$$

故任一时刻速度和加速度分别为

$$\mathbf{v} = -12\sin 4t \mathbf{i} + 12\cos 4t \mathbf{j} \quad (\text{SI})$$

$$\mathbf{a} = -48\cos 4t \mathbf{i} - 48\sin 4t \mathbf{j} \quad (\text{SI})$$

(2) 速度 v 的大小为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 12 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

由质点运动轨迹方程

$$x^2 + y^2 = 3^2 (\cos^2 4t + \sin^2 4t) = 3^2$$

可知质点作半径 $R=3\text{m}$ 的圆周运动, 故切向加速度 a_τ 和法向加速度 a_n 分别为

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = 0 \quad a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(12)^2}{3} = 48 (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$$

2-5 一质点沿 x 轴运动, 其加速度 a 与位置坐标 x 的关系为 $a=4+3x^2$ (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。

解 设质点在任一位置 x 处的速度为 v , 则

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{v dv}{dx} = 4 + 3x^2$$

由初始条件 $\int_0^v v dv = \int_0^x (4 + 3x^2) dx$ 得

$$v = \sqrt{8x + 2x^3}$$

2-6 如图所示, 手球运动员以初速度 v_0 与水平方向成 α 角抛出一球。当球运动到 M 点处, 它的速度与水平方向成 θ 角, 若忽略空气阻力, 求:

- (1) 球在 M 点处速度的大小;
- (2) 球在 M 点处切向加速度和法向加速度的大小;
- (3) 抛物线在该点处的曲率半径。

解 手球的运动可分解为水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上的匀变速直线运动。

(1) 水平方向上, $v_x = v_0 \cos \alpha = v \cos \theta$, 球在 M 处的速度为

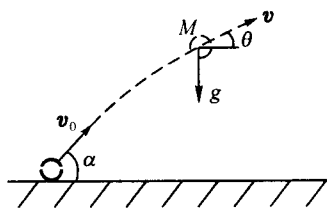
$$v = \frac{v_0 \cos \alpha}{\cos \theta}$$

(2) $a_y = -g$, 在 M 点将 g 分解可得

$$a_\tau = -g \sin \theta, \quad a_n = g \cos \theta$$

(3) 因为 $a_n = \frac{v^2}{\rho}$, 故有

$$\rho = \frac{v^2}{a_n} = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g \cos^3 \theta}$$



习题 2-6 图

2-7 一滑块以加速度 $a = -\pi^2 \sin \frac{\pi}{2}t$ (SI) 沿直线运动。设滑块初速度 $v_0 = 2\pi$, 且以滑块中心与坐标原点重合时为起始位置, 求:

(1) 滑块任意时刻的速度;

(2) 滑块的运动方程。

解 滑块作匀变速直线运动。

$$(1) \quad \because a = \frac{dv}{dt} = -\pi^2 \sin \frac{\pi}{2}t, \quad \therefore \int_{v_0}^v dv = \int_0^t -\pi^2 \sin \frac{\pi}{2}t dt$$

$$\therefore v = 2\pi \cos \frac{\pi}{2}t$$

$$(2) \quad \because v = \frac{dx}{dt} = 2\pi \cos \frac{\pi}{2}t, \quad \therefore \int_0^x dx = \int_0^t 2\pi \cos \frac{\pi}{2}t dt$$

$$\therefore x = 4 \sin \frac{\pi}{2}t$$

2-8 一人造卫星在地球表面上方 640km 的圆形轨道上运动, 今测得它绕地球一周的时间为 98min, 求它在轨道上的向心加速度。(取地球半径 $R = 6400\text{km}$)

解 $T = 98 \times 60\text{s} = 5.88 \times 10^3\text{s}$, 人造卫星的向心加速度为

$$a = \frac{v^2}{(R+h)} = \frac{[2\pi(R+h)/T]^2}{(R+h)} = \frac{4\pi^2}{T^2}(R+h) = \frac{4\pi^2 \times (6400+640) \times 10^3}{(5.88 \times 10^3)^2} = 8.03 (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$$

2-9 一汽车沿半径 50m 的圆形公路行驶, 任意时刻经过的路程 $s = 10 + 10t - 0.5t^2$ (SI)。求 $t = 5\text{s}$ 时, 汽车的速率以及切向加速度、法向加速度和总加速度的大小。

解 由已知路程 s 方程得 $v = \frac{ds}{dt} = 10 - t$, 当 $t = 5\text{s}$ 时, $v = 5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = -1\text{m} \cdot \text{s}^{-2}, \quad a_n = \frac{v^2}{R} = 0.5\text{m} \cdot \text{s}^{-2}, \quad a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = 1.1\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

2-10 一车技演员在半径为 R 的圆形轨道内进行车技表演, 其速率与时间的关系为 $v = ct^2$ (式中 c 为常量), 求:

(1) 其运动的路程与时间的关系;

(2) t 时刻的切向加速度和法向加速度。

$$\text{解 } (1) \quad v = \frac{ds}{dt} = ct^2, \quad \int_0^s ds = \int_0^t ct^2 dt, \quad s = \frac{1}{3}ct^3$$

$$(2) \quad a_\tau = \frac{dv}{dt} = 2ct, \quad a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{c^2 t^4}{R}$$

2-11 一质点由静止沿半径 $R = 3\text{m}$ 的圆周运动, 切向加速度为 $a_\tau = 3\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, 问:

(1) 经过多少时间它的总加速度与径向成 45° ?

(2) 在上述时间内, 质点所经过的路程为多少?

解 (1) 因 $a_\tau = 3\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 为常量, 故由任一时刻的速率 $v = a_\tau t$, 得

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{a_\tau^2 t^2}{R}$$

当总加速度 a 与径向成 45° 时, $a_n = a_\tau$, 即

$$\frac{a_\tau^2 t^2}{R} = a_\tau \quad t = \sqrt{\frac{R}{a_\tau}} = 1\text{s}$$

(2)在上述 0 到 1s 内,质点经过的路程为

$$s = \frac{1}{2}at^2 = 1.50\text{m}$$

2-12 一队战士以 $1.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度前进,一个通讯员从队伍末尾骑马到队伍前面,传令后又返回到队伍末尾,共计 10min。若队伍长为 1 200m,求通讯员骑马的速度。

解 设队伍前进速度为 v_1 ,队伍长为 s ,通讯员骑马速度为 v_2 ,则通讯员从队尾赶到队首所用的时间

$$t_1 = \frac{s}{v_2 - v_1} \quad (1)$$

通讯员从队首返回队尾所用的时间

$$t_2 = \frac{s}{v_2 + v_1} \quad (2)$$

$$t_1 + t_2 = 10\text{min} = 600\text{s} \quad (3)$$

将(1)、(2)代入(3)式可解得

$$v_2 = 4.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{或} \quad -0.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1} (\text{不合理,舍去})$$

2-13 一只小船在河中逆水划行,刚好在经过某座桥时,从船上掉下一个木箱,30min 后被发觉,立即掉头追赶,终于在该桥的下游 5.0km 处赶上木箱。假设小船顺流和逆流时相对水流的划行速度不变,试求小船回程追赶所需时间,并求水流速度。

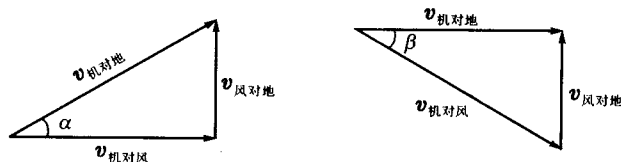
解 因小船顺流和逆流时相对水流的划行速度不变,而水箱又随水漂流,故小船回程追赶所需时间

$$t = 30\text{min} = 0.5\text{h} \quad v_{\text{水}} = \frac{s}{2t} = 5\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$$

2-14 某飞机在飞行中遇到方向稳定向北、大小为 $65\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的风,同时飞机上的罗盘指出飞机的飞向向东(相对空气),飞机速率指示器显示为 $215\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$,试求:

(1)飞机相对于地面的速度;

(2)如果要求飞机向东飞行,它应朝向何方飞行? 相对于地面的速率大小如何?



解 2-14 图

解 由已知,有 $v_{\text{机对地}} = v_{\text{机对风}} + v_{\text{风对地}}$ 。

(1)如图有

$$v_{\text{机对地}} = \sqrt{v_{\text{机对风}}^2 + v_{\text{风对地}}^2} = \sqrt{215^2 + 65^2} = 225(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$$

$$\therefore \tan \alpha = \frac{v_{\text{风对地}}}{v_{\text{机对风}}} = \frac{65}{215} = 0.3023, \quad \therefore \alpha = 16.82^\circ = 16^\circ 49'$$

即飞机向正东偏北 16.82° 方向飞行。

(2)如图,有 $\sin\beta = \frac{v_{\text{风对地}}}{v_{\text{机对风}}} = \frac{65}{215} = 0.3023$, 所以

$$\beta = 17.60^\circ = 17^\circ 36'$$

即飞机应指向正东偏南 17.60° , 其相对于地面的速率为

$$v'_{\text{机对地}} = \sqrt{v_{\text{机对风}}^2 - v_{\text{风对地}}^2} = \sqrt{215^2 - 65^2} = 205 (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$$

2-15 一人骑自行车在风中向东而行。当车速为 $10 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,觉得有南风;当车速为 $15 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,觉得有东南风,求风的速度。

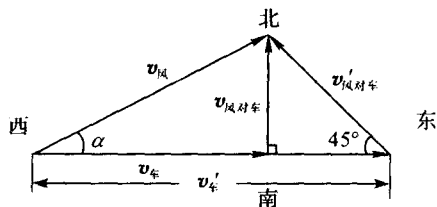
解 这是一个相对运动问题。以风为研究对象,以地面(静)和人(动)为参考系,题意如图所示。已知 $v_{\text{车}} = 10 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, $v'_{\text{车}} = 15 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 所以

$$v_{\text{风对车}} = v'_{\text{车}} - v_{\text{车}} = 15 - 10 = 5 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

$$v_{\text{风}} = \sqrt{v_{\text{车}}^2 + v_{\text{风对车}}^2} = \sqrt{(10)^2 + 5^2} = 11.2 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

风向与朝东方向夹角为

$$\alpha = \arctan \frac{v_{\text{风对车}}}{v_{\text{车}}} = \arctan \frac{5}{10} = 26.6^\circ \approx 27^\circ$$



解 2-15 图

2-16 一升降机以加速度 $1.22 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 上升,当上升速度为 $2.44 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,有一螺帽自升降机的顶板上落下,升降机顶板与升降机的底面相距 2.74m ,问:

(1)螺帽相对于升降机作什么运动? 其加速度为多少? 螺帽相对于地面作什么运动? 其加速度为多少?

(2)螺帽从升降机顶板落到升降机底面需多少时间?

(3)螺帽相对于升降机外固定柱子下降多少距离?

解 (1)螺帽相对于升降机向下作匀加速直线运动, $a' = 11.02 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; 相对于地面作竖直上抛运动, $a'' = g = 9.8 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ (取竖直向下为正)。

(2)取升降机为参考系, $v_0' = 0$, 则

$$h = \frac{1}{2} a' t^2$$

$$\therefore t = \sqrt{\frac{2h}{a'}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.74}{11.02}} = 0.71 (\text{s})$$

(3)取地面为参考系, $v_0 = -2.44 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 下降距离为

$$h' = v_0 t + \frac{1}{2} a'' t^2 = [(-2.44) \times 0.71 + \frac{1}{2} \times 9.8 \times (0.71)^2] \text{m} = 0.74 \text{m}$$

2-17 如图所示,在离水面高度为 h 的岸边上,有人用绳子拉船靠岸,收绳的速率恒为 u ,求船与岸的水平距离为 x 时,船的速度和加速度的大小。(提示:绳长 $s^2 = h^2 + x^2$, $u = \frac{ds}{dt}$)

解

$$\because s^2 = h^2 + x^2, \quad 2s \frac{ds}{dt} = 2x \frac{dx}{dt}$$

$$\therefore v = \frac{u}{\cos\theta} = u \sqrt{1 + \left(\frac{h}{x}\right)^2}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = u \frac{d}{dt} \sqrt{1 + \left(\frac{h}{x}\right)^2} = \frac{h^2 u^2}{x^3}$$

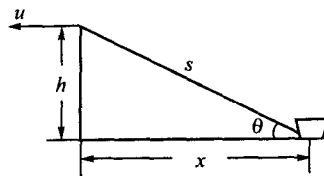
2-18 某一雨滴在下落时受到空气阻力的作用,其运动方程为

$$\frac{dv}{dt} = g - cv$$

式中 g 为重力加速度, c 是与空气黏滞性有关的常量。请设计一个计算机程序来计算任意时刻雨滴的速度,并画出相应的 $v-t$ 图。要求程序能输入 g, c 等值,讨论 c 取 0, 0.1, 0.15 和 0.30 等值时的各种情形,并进行分析总结。

[提示:方程变换后, $v = \frac{g}{c}(1 - e^{-ct})$, 并设雨滴离地面足够高]

解 程序略。



习题 2-17 图

第3章

动量·动量守恒定律

【基本概念和规律】

1. 惯性系

惯性系是牛顿第一定律成立的参考系。一切相对于惯性系作匀速直线运动的参考系都是惯性系。

2. 动量

动量 $p = mv$ 是一个守恒量。

动量守恒定律:当质点系所受合外力为零时, $\sum_i p_i = \text{常量}$ (它是在惯性系中成立的)。

3. 力

力定义为物体动量的时间变化率,即在单位时间内物体在相互作用中传递的动量。

$$F = \frac{dp}{dt}$$

4. 冲量

$$I = \int_{t_1}^{t_2} F dt$$

上式表明冲量是在一段时间内力对时间的累积作用。

$$\text{动量定理: } \int_{t_1}^{t_2} F dt = p_2 - p_1$$

式中 F 是物体在一段时间内所受的合外力,常用平均冲力 $\bar{F}$ 表示。

$$\bar{F} \cdot \Delta t = P_2 - P_1$$

5. 牛顿定律(只能在惯性系中成立)

第一定律:又称惯性定律(表述略)。

第二定律: $F = ma$ 。

第三定律:两个质点之间的作用力和反作用力大小相等,方向相反,在同一直线上。

注意:作用力和反作用力作用在不同的物体上,不能相互抵消。

6. 惯性力

惯性力是惯性在非惯性系中的反映。在平动非惯性系中, $F_{\text{惯}} = -ma$ 。

【解题指导】

● 应用动量定理 $F\Delta t = m v_2 - m v_1$ 解题时,首先应注意 F 是合外力。若力是变力,可用 Δt 时间内的平均冲力代替。由于冲量和动量都是矢量,解题时可用分量式,并规定一个正方向。

向。其次应注意该定理仅适用于单个物体的问题。在解决碰撞、冲击等问题中非常有用。

● 应用动量守恒定律解题时,应注意:

(1)研究对象是系统,要分清系统的内力和外力;只要系统合外力等于零,系统的动量就守恒。

(2)若系统内力 $\gg$ 外力,也可以近似看作为系统动量守恒。

(3)动量守恒定律是个矢量式。由于矢量的各个分量的独立性,即使系统合外力不等于零,只要某一个方向上的合外力分量等于零,尽管系统总动量不守恒,但该方向上的动量分量保持守恒。

(4)动量守恒定律是在惯性系中成立的。因此,系统中各个物体的速度都只能相对于同一个惯性系,一般都选地球为惯性系。

● 应用牛顿定律解题的基本思路:

(1)确定研究对象(一个物体或几个物体)。

(2)画隔离体图,分析物体受力。

(3)看物体运动的物理过程,列方程,一般用分量式。

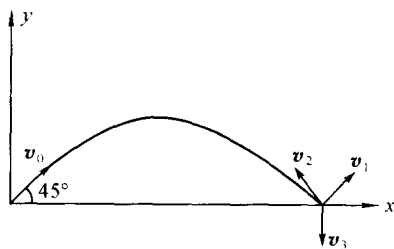
(4)注意求出各个物体加速度之间的关系。

(5)检查方程的个数是否等于未知量的个数,最后求解,分析结果的物理意义。

● 在非惯性系中求解力学问题的方法是在牛顿第二定律中加上一个惯性力 $F_{\text{惯}}$ 。惯性力是一种虚拟力,既没有施力者,也没有反作用力,其大小等于受力物体质量 m 乘以非惯性系相对于惯性系的加速度 a ,方向与 a 相反,即 $F_{\text{惯}}=-ma$ 。惯性力只出现在非惯性系中,其本质是物体的惯性在非惯性系中的反映。

【习题解答】

3-1 如图所示,一手榴弹投出的方向与水平面成 45° 角,投出的速率为 $25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。若它在刚要接触与投射点在同一水平面的目标时爆炸,并分成质量相等的三块:一块以速度 v_3 竖直向下,一块顺爆炸处的切线方向以速度 $v_2=15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 飞出,一块沿轨道法线方向以速度 v_1 飞出,求 v_1 和 v_3 。(不计空气阻力)



习题 3-1 图

解 因为不计空气阻力,故当手榴弹到达与投射点在同一水平面的目标时,其速度大小仍为 $25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,只不过方向变成与水平面成 45° 斜向下(即沿轨迹切线向前)。

设手榴弹质量为 m ,爆炸前速度为 v_0 ,爆炸过程中动量守恒,则

$$x \text{ 方向} \quad mv_0\cos 45^\circ = \frac{m}{3}v_1\cos 45^\circ - \frac{m}{3}v_2\cos 45^\circ \quad (1)$$

$$y \text{ 方向} \quad -mv_0\sin 45^\circ = \frac{m}{3}v_1\sin 45^\circ + \frac{m}{3}v_2\sin 45^\circ - \frac{m}{3}v_3 \quad (2)$$

联立上二式并代入 v_0, v_2 可解得

$$v_1 = 90\text{m}\cdot\text{s}^{-1}, \quad v_3 \approx 127\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$