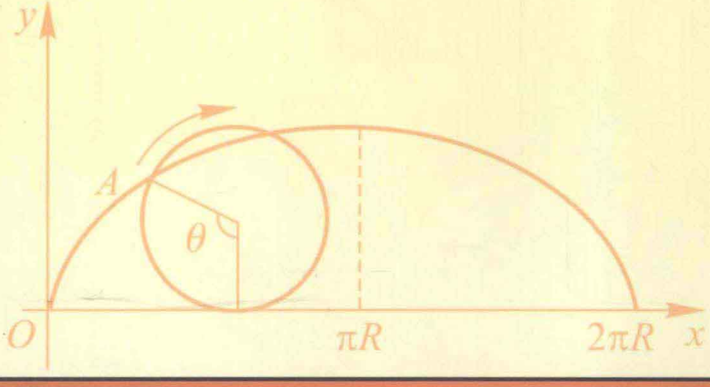
普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

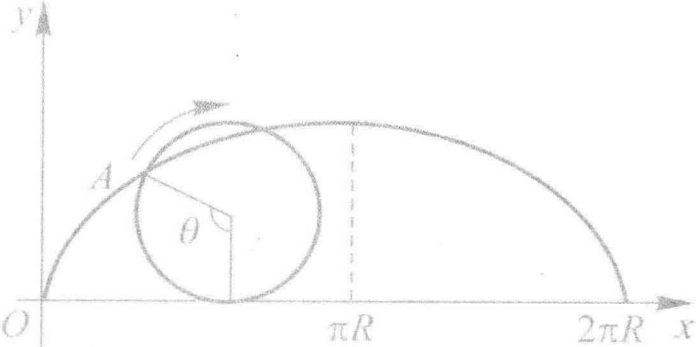


大学物理教程习题分析与解答

夏兆阳　王雪梅　主编

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书



大学物理教程习题分析与解答

DAXUE WULI JIAOCHENG XITI FENXI YU JIEDA

夏兆阳　王雪梅　主编

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS　BEIJING

内容简介

本书是与夏兆阳主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《大学物理教程》相配套的习题分析与解答。全书按主教材的章节顺序编排，对教材中全部习题给出了分析、解题思路和答案，特别注重对解题思路的分析，可以帮助学生加强对所学知识的理解，巩固和提高学习效果。

本书适合于高等学校工科各专业和成人教育的师生，特别是使用夏兆阳主编的《大学物理教程》的师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

大学物理教程习题分析与解答/夏兆阳，王雪梅主编.—北京：高等教育出版社，2011.6

ISBN 978-7-04-031671-1

Ⅰ.①大… Ⅱ.①夏…②王… Ⅲ.①物理学-高等学校-题解

Ⅳ.①O4-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 112996 号

策划编辑 郭亚嫘　责任编辑 程福平　封面设计 张雨微　版式设计 王艳红
插图绘制 黄建英　责任校对 殷 然　责任印制 刘思涵

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	国防工业出版社印刷厂	网上订购	http://www.landraco.com
开　本	787×960 1/16		http://www.landraco.com.cn
印　张	10.75	版　次	2011 年 6 月第 1 版
字　数	200 000	印　次	2011 年 6 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定　价	16.40 元

物 料 号 31671-00

前　言

本书是与夏兆阳主编的《大学物理教程》相配套的习题集。本书的主教材是经全国高等学校教学研究中心批准立项,全国教育科学"十五"国家规划课题"21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践"的研究成果,同时也是普通高等教育"十一五"国家级规划教材。

本书可供工科院校各专业及成人教育学院相关专业师生使用。本书在选题上,除了普通物理学所涉及的内容,即力学、热学、振动与波、波动光学、电磁学、相对论以及量子力学部分的习题外,还增加了20世纪新发展起来的包括对称与守恒、混沌、信息熵、耗散结构理论等物理学知识的相关习题,并按照各部分内容的教学学时数成比例地确定了相应的习题量。

本书所选习题力求内容丰富,题意新颖,覆盖的知识面广且难度适中,不追求习题的难、偏、怪。有些习题还适当地加入了分析过程,以期帮助学生对所研究的物理问题建立一个清晰的图像,使学生更容易建立起自己的解题思路,并进一步锻炼学生分析问题、解决问题的能力,从而加深对物理学基本概念及规律的理解与掌握。

书中新增内容,旨在开阔学生眼界,拓宽解题思路,突破经典物理的"理想化"模型的束缚,认识客观世界比较真实的物理图景,有助于学生建立科学的物质观、时空观和宇宙观。

本书由夏兆阳和王雪梅主编,由夏兆阳、王雪梅、母小云、孙会娟、吴萍编写,全书由王雪梅统稿。其中第一、第二、第十三章由母小云编写;第三、第六章由夏兆阳编写;第四、第十二章由吴萍编写;第五、第十四、第十五章由孙会娟编写;第七、第八、第九、第十、第十一章由王雪梅编写。

王美霞、倪苏敏、邱平、高兴茹、张东、张丹海等老师审阅了本书,并提出了许多中肯的修改意见,在此编者致以衷心的感谢。

本书在出版过程中得到了高等教育出版社高建、郭亚嫘、程福平编辑的大力支持,在此一并表示诚挚的感谢。

因编者水平有限,书中难免有错误和不足之处,敬请读者批评指正。

编　者

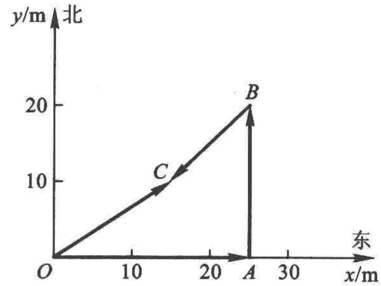
2010.11

目　录

第一章　质点力学 …… 1
第二章　刚体的定轴转动 …… 14
第三章　力学新进展 …… 22
第四章　气体动理论 …… 23
第五章　热力学基础 …… 31
第六章　热学新进展　熵 …… 42
第七章　振动 …… 45
第八章　波动 …… 57
第九章　波动光学 …… 70
第十章　静电场 …… 89
第十一章　静电场中的导体和电介质 …… 108
第十二章　恒定磁场 …… 115
第十三章　电磁感应　电磁场 …… 132
第十四章　相对论基础 …… 140
第十五章　量子物理基础 …… 149
附录　矢量与微积分的基本知识 …… 161

第一章　质点力学

1.1　一人自坐标原点出发,经过 20 s 向东走了 25 m,又用 15 s 向北走了 20 m,再经过 10 s 向西南方向走了 15 m,求:(1) 全过程的位移和路程;(2) 整个过程的平均速度和平均速率.



题解图 1.1

解:(1) 以人为研究对象,建立如图所示的直角坐标系,由图可见全过程的位移为

$$\begin{aligned}\Delta \boldsymbol{r}_{OC} &= \Delta \boldsymbol{r}_{OA} + \Delta \boldsymbol{r}_{AB} + \Delta \boldsymbol{r}_{BC} \\ &= (x_A - x_O)\boldsymbol{i} + (y_B - y_A)\boldsymbol{j} + \\ &\quad (x_C - x_B)\boldsymbol{i} + (y_C - y_B)\boldsymbol{j} \\ &= (25\boldsymbol{i} + 20\boldsymbol{j} - 15\cos 45°\boldsymbol{i} - 15\sin 45°\boldsymbol{j})\ \mathrm{m} \\ &= (14.4\boldsymbol{i} + 9.4\boldsymbol{j})\ \mathrm{m}\end{aligned}$$

合位移的大小为

$$|\Delta \boldsymbol{r}_{OC}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} = \sqrt{14.4^2 + 9.4^2}\ \mathrm{m} = 17.2\ \mathrm{m}$$

与 x 轴的夹角为

$$\theta = \arctan\frac{9.4}{14.4} = 33.1°(\text{沿东偏北})$$

全过程的路程为

$$s = (25 + 20 + 15)\ \mathrm{m} = 60\ \mathrm{m}$$

(2) 平均速度为

$$\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}_{OC}}{\Delta t}$$

平均速度的大小为

$$\bar{v} = \frac{|\Delta \boldsymbol{r}_{OC}|}{\Delta t} = \frac{17.2}{45}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}} = 0.38\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

方向沿东偏北 33.1°,平均速率为

$$\bar{v}=\frac{s}{\Delta t}=\frac{60}{45}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}=1.33\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

1.2 一物体做直线运动，运动方程为 $x=6t^2-2t^3$，式中各量均采用 SI 单位. 求：(1) 第二秒内的平均速度；(2) 第三秒末的速度；(3) 第一秒末的加速度；(4) 物体运动的类型.

解：由式(1.2.4)和式(1.2.8)可知速度及加速度分别为

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=12t-6t^2;\quad a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=12-12t$$

(1) 第二秒内的平均速度

$$\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}$$

$$=\frac{(6t^2-2t^3)\big|_{t=2}-(6t^2-2t^3)\big|_{t=1}}{2-1}=4\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

(2) 第三秒末的速度大小为

$$v_{t=3}=(12t-6t^2)\big|_{t=3}=-18\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

(3) 第一秒末的加速度大小为

$$a_{t=1}=(12-12t)\big|_{t=1}=0$$

(4) 从加速度公式可以看出 a 是 t 的函数，而且位移仅限制在 x 方向，y 及 z 方向无位移，所以这个运动是一般的变速直线运动.

1.3 已知质点的运动方程为 $x=2t$，$y=2-t^2$，式中各量均采用 SI 单位. 求：(1) 质点的轨道方程；(2) $t=1$ s 和 $t=2$ s 时质点的位置矢量以及 $t=1$ s 和 $t=2$ s 之间质点的位移；(3) 第二秒末的速度；(4) 质点在任意时刻的加速度.

解：(1) 消去已知运动方程组中的时间 t，即可求得轨道方程

$$y=2-(x/2)^2=2-x^2/4\quad(\mathrm{m})$$

(2) 将 $t_1=1$ s 和 $t_2=2$ s 分别代入已知运动方程，可得

$$\begin{cases}x_1=2\ \mathrm{m}\\ y_1=1\ \mathrm{m}\end{cases}\quad 及\quad \begin{cases}x_2=4\ \mathrm{m}\\ y_2=-2\ \mathrm{m}\end{cases}$$

所以质点在 $t_1=1$ s 时的位置矢量

$$\boldsymbol{r}_1=(2\boldsymbol{i}+\boldsymbol{j})\ \mathrm{m}$$

质点在 $t_1=2$ s 时的位置矢量

$$\boldsymbol{r}_2=(4\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j})\ \mathrm{m}$$

所以 1 s 到 2 s 之间质点位移

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

(3) 由式(1.2.4)得出

$$v_x = 2, \quad v_y = -2t$$

将 $t = 2$ s 代入得

$$v_{2x} = 2\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}, \quad v_{2y} = -4\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

所以质点在 2 s 末时的速度为

$$\boldsymbol{v}_2 = (2\boldsymbol{i} - 4\boldsymbol{j})\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

(4) 再由式(1.2.8),即得加速度的两个分量:$a_x = 0$,$a_y = -2\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$,所以质点加速度

$$a = 2\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

方向沿 y 轴负向,大小为常量,所以质点做匀变速曲线运动.

1.4 质点的运动方程为 $\boldsymbol{r}(t) = 8\cos(2t)\boldsymbol{i} + 8\sin(2t)\boldsymbol{j}$,式中各量均采用 SI 单位.求:(1) 质点在任意时刻的速度和加速度的大小;(2) 质点的法向加速度和运动轨迹.

解:(1) 根据式(1.2.4)有

$$\boldsymbol{v} = \mathrm{d}\boldsymbol{r}/\mathrm{d}t = -16\sin(2t)\boldsymbol{i} + 16\cos(2t)\boldsymbol{j}$$

则速度的大小为

$$v = |\boldsymbol{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 16\sqrt{2}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

根据式(1.2.8)有

$$\boldsymbol{a} = \mathrm{d}\boldsymbol{v}/\mathrm{d}t = -32\cos(2t)\boldsymbol{i} - 32\sin(2t)\boldsymbol{j}$$

则加速度的大小为

$$a = |\boldsymbol{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 32\sqrt{2}\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

(2) 由运动方程得

$$\begin{cases} r_x = x = 8\cos(2t) \\ r_y = y = 8\sin(2t) \end{cases}$$

消 t 得运动轨迹方程为

$$x^2 + y^2 = 64$$

由式(1.3.1)可知法向加速度大小为

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{16^2}{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-2}} = 32\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

1.5 质点作半径 $R=0.20$ m 的圆周运动，其运动方程为 $\theta=\pi+\frac{1}{4}t^2$，式中各量均采用 SI 单位. 求：(1) 质点在任意时刻的角速度 ω；(2) 质点在任意时刻的切向加速度.

解：(1) 根据式(1.3.6)知

$$\omega = \mathrm{d}\theta/\mathrm{d}t = t/2 \ (\mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1})$$

(2) 根据式(1.3.8)知

$$a_t = R\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = 0.20\times(1/2)\ \mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2} = 0.10\ \mathrm{m}\cdot\mathrm{s}^{-2}$$

1.6 质点作圆周运动的运动方程为 $\theta=50\pi t+\frac{1}{2}\pi t^2$，式中各量均采用 SI 单位. 求：(1) 第三秒末的角速度和角加速度；(2) 第三秒内的角位移.

解：根据式(1.3.6)、(1.3.8)可知角速度与角加速度分别为

$$\omega = \frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = 50\pi+\pi t, \quad \alpha = \frac{\mathrm{d}^2\theta}{\mathrm{d}t^2} = \frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t} = \pi$$

(1) 第 3 秒末的角速度与角加速度的大小分别为

$$\omega_{t=3} = (50\pi+\pi\times 3)\ \mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1} = 53\pi\ \mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-1}, \quad \alpha_{t=3} = \pi\ \mathrm{rad}\cdot\mathrm{s}^{-2}$$

(2) 第 3 秒内是指 $t=2$ s 到 $t=3$ s 这个时间间隔，根据运动方程可得

$$\theta_{t=2} = 102\pi\ \mathrm{rad}, \quad \theta_{t=3} = 154.5\pi\ \mathrm{rad}$$

所以，第 3 秒内的角位移大小为

$$\Delta\theta = \theta_{t=3}-\theta_{t=2} = 52.5\pi\ \mathrm{rad}$$

1.7 质点沿半径为 R 的圆周按规律 $s=v_0t-\frac{1}{2}bt^2$ 运动. 式中 v_0 和 b 均为常量，各量均采用 SI 单位. 求：(1) 任意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，质点已经运行了多少圈.

解：(1) 由式(1.2.7)知质点做圆周运动的速率为

$$v = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = v_0 - bt$$

由式(1.3.1)、式(1.3.3)知切向加速度与法向加速度大小分别为

$$a_t = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = -b, \quad a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(v_0-bt)^2}{R}$$

故总加速度 $\boldsymbol{a}$ 的大小为

$$a=\sqrt{a_t^2+a_n^2}=\frac{\sqrt{b^2+(v_0-bt)^4}}{R^2}=\frac{\sqrt{R^2b^2+(v_0-bt)^4}}{R}$$

$\boldsymbol{a}$ 与 $\boldsymbol{v}$ 间的夹角为

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

（2）要使 $a=b$，即要求

$$\frac{\sqrt{R^2b^2+(v_0-bt)^4}}{R}=b$$

所以

$$v_0-bt=0,\quad t=\frac{v_0}{b}$$

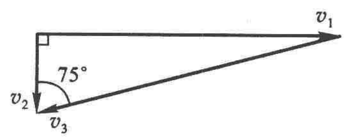
（3）由（2）问可知，$a=b$ 时 $t=v_0/b$，故在此时间内质点的运动路程为

$$s=v_0t-\frac{1}{2}bt^2=\frac{v_0^2}{2b}$$

则质点运行圈数为

$$n=\frac{s}{2\pi R}=\frac{v_0^2}{4\pi Rb}$$

1.8 在一个无风的雨天，一火车以 20 m · s^{-1} 的速度前进，车内旅客看见玻璃上雨滴的下落方向与竖直方向成 75°角，求雨滴下落的速度（设雨滴做匀速运动）.



题解图 1.8

解： 以地面为参考系，火车相对地面的速度为 $\boldsymbol{v}_1$，雨滴相对地面竖直下落的速度为 $\boldsymbol{v}_2$，旅客看到雨滴的下落速度为 $\boldsymbol{v}_3$. 根据式（1.4.1）可得

$$\boldsymbol{v}_{雨对地}=\boldsymbol{v}_{雨对车}+\boldsymbol{v}_{车对地}\Rightarrow\boldsymbol{v}_2=\boldsymbol{v}_1+\boldsymbol{v}_3$$

如题解图 1.8 所示，则

$$v_2=\frac{v_1}{\tan 75°}=\frac{20\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}}{\tan 75°}=5.36\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

1.9 在一只半径为 R 的半球形碗内，有一质量为 m 的小钢球，当小钢球以角速度 ω 在水平面内沿碗的内壁做匀速圆周运动时，它距碗底有多高？

解： 钢球所受的作用力为重力 $\boldsymbol{P}$ 和碗壁对球的支持力 $\boldsymbol{F}_N$，其合力就是钢球

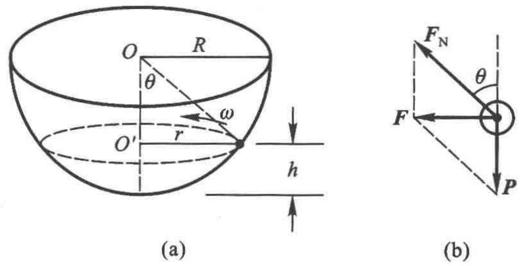
做匀速圆周运动所需的向心力 $\boldsymbol{F}$. 钢球的向心加速度为

$$a = r\omega^2 = R\omega^2 \sin\theta$$

由题图 1.9(b),有

$$F = F_N \sin\theta = ma$$

$$= mR\omega^2 \sin\theta$$



题解图 1.9

则

$$F_N = mR\omega^2 \tag{1}$$

在竖直方向上,有

$$F_N \cos\theta = P = mg \tag{2}$$

由式(1)、式(2)得

$$\cos\theta = g/R\omega^2$$

由题图 1.9 (a)知

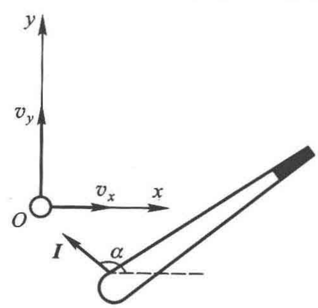
$$\cos\theta = (R - h)/R$$

则有

$$h = R - g/\omega^2$$

1.10 用棒打击质量 0.3 kg,速率 20 m · s^{-1}的水平飞来的球,球飞到竖直上方 10 m 的高度,求棒给予球的冲量多大?设球与棒的接触时间为 0.02 s,求球受到的平均冲力.

解: 如题解图 1.10 所示,根据动量定理公式(1.7.2)可知



题解图 1.10

$$I_x = 0 - mv_x$$

$$I_y = mv_y - 0$$

又因为

$$v_y = \sqrt{2gh}$$

解得

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$$

$$= 0.3 \times \sqrt{20^2 + 2 \times 9.8 \times 10}\ \text{N} \cdot \text{s} = 7.32\ \text{N} \cdot \text{s}$$

$$\tan\alpha = I_y/I_x = -\sqrt{2 \times 9.8 \times 10}/20 = -0.70$$

$$\alpha = 145°$$

$$\overline{F}\Delta t = I \Rightarrow \overline{F} = \frac{7.32}{0.02}\ \mathrm{N} = 366\ \mathrm{N}$$

1.11 一粒子弹由枪口飞出的速度是300 m·s^{-1},在枪管内子弹受合力为

$$F = 400 - \frac{4 \times 10^5}{3}t$$

式中各量均采用SI单位. 求:(1) 子弹行经枪管所需时间(假定子弹到枪口时受力变为零);(2) 求该力的冲量;(3) 子弹的质量.

解:(1) 因为子弹到枪口时受力变为零,即

$$0 = 400 - \frac{4 \times 10^5}{3}t$$

解得

$$t = 3 \times 10^{-3}\ \mathrm{s}$$

(2) 根据冲量的定义式(1.7.1b)可知该力的冲量大小为

$$I = \int_{t_1}^{t_2} F\mathrm{d}t = \int_0^{3\times10^{-3}} \left(400 - \frac{4 \times 10^5}{3}t\right)\mathrm{d}t$$

$$= 6 \times 10^{-1}\ \mathrm{N \cdot s}$$

(3) 根据动量定理公式(1.7.2)

$$I = mv_2 - mv_1$$

可求得子弹的质量为

$$m = 6 \times 10^{-1}/300\ \mathrm{kg} = 2 \times 10^{-3}\ \mathrm{kg}$$

1.12 已知作用在质量为10 kg的物体上的力为$\boldsymbol{F} = (10 + 2t)\boldsymbol{i}$,式中$F$的单位是N,$t$的单位是s. 设开始时物体的初速度为$-6\boldsymbol{i}$ m·s^{-1},求:(1) 在开始的4 s内,力的冲量有多大?(2) 在第4 s末物体的速度?

解:(1) 根据冲量的定义式(1.7.1b),4 s内力的冲量大小为

$$\boldsymbol{I} = \int_0^4 \boldsymbol{F}\mathrm{d}t = \int_0^4 (10 + 2t)\boldsymbol{i}\mathrm{d}t = 56\boldsymbol{i}\ \mathrm{N \cdot s}$$

(2) 根据动量定理公式(1.7.2)

$$\boldsymbol{I} = m\boldsymbol{v}_1 - m\boldsymbol{v}_0$$

可得4 s末的物体速度

$$\boldsymbol{v}_1 = \frac{\boldsymbol{I} + m\boldsymbol{v}_0}{m} = \frac{56 - 10 \times 6}{10}\boldsymbol{i}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} = -0.4\boldsymbol{i}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

1.13 一子弹具有0.05 kg的质量,以400 $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$的速度运动,穿入与地面牢固连接的木块中0.1 m,设阻力不变.求:(1) 子弹的加速度;(2) 子弹所受的阻力;(3) 减速运动的时间;(4) 碰撞的冲量.

解:(1) 子弹的加速度

$$a = -\frac{v_0^2}{2s} = -8 \times 10^5\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

(2) 子弹所受的阻力

$$F = ma = -0.05 \times 8 \times 10^5\ \mathrm{N} = -4 \times 10^4\ \mathrm{N}$$

(3) 减速运动的时间

$$t = \frac{m(v - v_0)}{F}$$

$$= \frac{0.05 \times (-400)}{-4 \times 10^4}\ \mathrm{s} = 5 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}$$

(4) 碰撞的冲量为

$$Ft = (-4 \times 10^4) \times 5 \times 10^{-4}\ \mathrm{N \cdot s} = -20\ \mathrm{N \cdot s}$$

而子弹的初动量为20 $\mathrm{N \cdot s}$,说明子弹所受的冲量与其初动量大小相等而方向相反.

1.14 质量为0.2 kg的垒球,如果投出时速度值为30 $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$,被棒击回的速度值为50 $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$,方向相反.(1) 求球的动量变化和打击力的冲量;(2) 如果棒与球接触时间为0.002 s,则打击的平均冲力为多少?

解:(1) 球的动量变化为

$$\Delta p = mv - mv_0 = m(v - v_0)$$

$$= 0.2 \times (-50 - 30)\ \mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-1}} = -16\ \mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-1}}$$

打击时的冲量为

$$\overline{F}\Delta t = m(v - v_0) = -16\ \mathrm{N \cdot s}$$

方向与投出速度方向相反.

(2) 平均打击力大小为

$$\overline{F} = \frac{m(v - v_0)}{\Delta t} = \frac{-16}{2 \times 10^{-3}}\ \mathrm{N} = -8 \times 10^3\ \mathrm{N}$$

方向与投出速度方向相反.

1.15 一球以 $v_0=6\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$ 的水平速度撞在墙上距地面 1.2 m 高处的一点，从墙面弹回后落在地板上距墙 2.4 m 远处的一点.（1）求恢复系数；（2）设球质量为 2.0 kg，则它和墙碰撞后损失多少动能？

解：（1）设 v_0 和 v 是球碰撞前后的速度，墙的碰后速度仍为零. 则恢复系数为

$$e=\frac{0-v}{v_0-0} \tag{1}$$

所以

$$v=-ev_0 \tag{2}$$

碰后球以 v 做平抛运动，有

$$H=\frac{1}{2}gt^2 \tag{3}$$

$$s=vt \tag{4}$$

式(2)、(3)、(4)联立，代入已知数据求得

$$e=0.81$$

（2）动能损失为

$$E_0-E=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}m(ev_0)^2$$

$$=\frac{1}{2}mv_0^2(1-e^2)=12\ \mathrm{J}$$

1.16 用力推地面上的石块，石块质量为 20 kg，力的方向与地面平行. 当石块运动时，推力随位移的增加而线性增加，即 $F=6x$，其中 F 的单位为 N，x 的单位为 m. 求石块从 $x_1=16$ m 移到 $x_2=20$ m 的过程中，推力所做的功.

解：由于推力在做功过程中是一变力，按功的定义式(1.10.3a)知

$$A=\int_{x_1}^{x_2}\boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{x}=\int_{16}^{20}6x\mathrm{d}x$$

$$=3x^2\Big|_{16}^{20}=3(20^2-16^2)\ \mathrm{J}=432\ \mathrm{J}$$

1.17 一物体按 $x=ct^3$ 的规律做直线运动，设媒质对物体的阻力正比于速度的平方，比例系数为 k. 求：物体从 $x_0=0$ 运动到 $x=l$ 时，阻力所做的功.

解：根据速度的定义式(1.2.4)可得到物体在 t 时刻的速度大小为

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=3ct^2$$

因此,按题中所给条件可知物体受到的阻力大小为

$$F = kv^2 = 9kc^2t^4 = 9kc^{\frac{2}{3}}x^{\frac{4}{3}}$$

由式(1.10.3a)知阻力对物体所做的功为

$$A = \int_0^l \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{x} = \int_0^l F\cos 180^\circ \mathrm{d}x$$

$$= -9kc^{\frac{2}{3}}\int_0^l x^{\frac{4}{3}}\mathrm{d}x$$

$$= -\frac{27}{7}kc^{\frac{2}{3}}l^{\frac{7}{3}}$$

1.18 一人从 10 m 深的井中提水,开始时桶中装有 10 kg 的水,由于桶漏水,每提升 1 m 要漏去 0.2 kg 的水.求水被匀速地提升到井口时人所做的功.

解: 水桶从井中被匀速提起时,人对水桶的拉力 $\boldsymbol{F}$ 应始终与水桶的重力 $\boldsymbol{P}$ 相平衡,即

$$\boldsymbol{F} + \boldsymbol{P} = 0 \tag{1}$$

由于水桶漏水,$\boldsymbol{P}$ 随上升高度而改变.选取开始时井中水平面上一点为坐标原点,竖直向上为 y 轴正向,则桶在某一高度 y 处有

$$P = P_0 - 0.2gy = mg - 0.2gy \tag{2}$$

由式(1)、(2)可求得人在提水过程中对水桶所做的功为

$$A = \int \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{y} = \int_0^{10}(mg - 0.2gy)\mathrm{d}y$$

$$= (mgy - 0.1gy^2)\Big|_0^{10} = 10 \times 9.8 \times 10\ \mathrm{J} - 0.1 \times 9.8 \times 10^2\ \mathrm{J} = 882\ \mathrm{J}$$

1.19 一颗速率为 700 $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ 的子弹,打穿第一木块后速率为 500 $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$,如果让它继续穿过与第一块完全相同的第二块木块,求子弹的速率降为多少?

解: 由动能定理公式(1.12.1a)可知,子弹穿过第一块和第二块木板时克服阻力所做的功分别为

$$A_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$A_2 = \frac{1}{2}mv_3^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$$

式中 v_1 为子弹初速率,v_2 为穿过第一块木板后的速率,v_3 为穿过第二块木板的速率.由题意知两木板完全相同,因此子弹穿过木板过程中克服阻力所做的功,

可以认为相等，即 $A_1 = A_2$，故有

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_3^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$$

由此得出子弹穿过第二块木板后的速率

$$v_3 = \sqrt{2v_2^2 - v_1^2} = \sqrt{2\times 500^2 - 700^2}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}} = 100\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

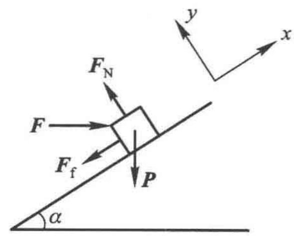
1.20 用一水平恒力，将一个 50 kg 的木箱匀速推上 30°斜坡 6 m，斜面与木箱间的摩擦系数为 0.20. 求：(1) 外力所做的功；(2) 摩擦力所做的功；(3) 重力所做的功.

解： 隔离木箱，分析受力如题解图 1.20 所示. 因物体等速推上斜坡，根据牛顿第二定律有

$$F\cos\alpha - F_f - mg\sin\alpha = 0$$

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

$$F_f = \mu F_N$$



题解图 1.20

代入数据，联立解得

$$F = mg(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)/(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)$$

$$= 430.64\ \mathrm{N}$$

根据功的定义式(1.10.3a)知，对于恒力 $\boldsymbol{F}$、$\boldsymbol{F}_f$、$\boldsymbol{P}$ 有

$$A_F = \boldsymbol{F}\cdot\boldsymbol{s} = Fs\cos\alpha$$

$$= 430.64\times 6\times\cos 30°\ \mathrm{J} = 2\ 237.58\ \mathrm{J}$$

$$A_f = \boldsymbol{F}_f\cdot\boldsymbol{s} = \boldsymbol{F}_f s$$

$$= -\mu(F\sin\alpha + mg\cos\alpha)s = -767.58\ \mathrm{J}$$

$$A_P = \boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{s} = -mgs\sin\alpha = -1\ 470\ \mathrm{J}$$

1.21 质量为 4.0 kg 的物体在 $F = 4 + 8t$(式中各量均采用 SI 单位)的力作用下，由静止出发沿一直线运动，求在 2 s 的时间内该力所做的功.

解： 由牛顿第二定律可得

$$a = \frac{F}{m} = 1 + 2t \quad (\mathrm{m\cdot s^{-2}})$$

所以，在 2 s 末物体的速度大小为

$$v = \int_0^2 a\,\mathrm{d}t = \int_0^2 (1 + 2t)\,\mathrm{d}t = 6\ (\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

根据质点的动能定理公式(1.12.1a),在 2 s 的时间内,该力对物体所做的功为

$$A = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = \frac{1}{2} \times 4 \times 6^2\ \mathrm{J} = 72\ \mathrm{J}$$

1.22 将一个质量为 $m = 2.0 \times 10^{-3}$ kg 的砝码放在竖直放置的轻弹簧顶端,然后向下压缩弹簧,使其压缩量为 1.0×10^{-2} m,已知弹簧的劲度系数 $k = 40\ \mathrm{N \cdot m^{-1}}$,求弹簧释放后,砝码将被上抛的高度.

解: 设将要被释放的位置为零势能点,由机械能守恒式(1.12.4)有

$$\frac{1}{2}kx^2 = mgh$$

代入数据得出

$$h = 0.102\ \mathrm{m}$$

1.23 质量 $m_1 = 2.0 \times 10^{-2}$ kg 的子弹,击中质量为 $m_2 = 10$ kg 的冲击摆,使摆在竖直方向升高 $h = 7 \times 10^{-2}$ m,子弹嵌入其中.求:(1) 子弹的初速 v_0 是多少?(2) 击中后的瞬间,系统的动能为子弹初动能的多少倍?

解:(1) 子弹击中冲击摆的过程满足动量守恒条件,击中后一起升高 h 过程满足机械能守恒条件,故由式(1.8.4)及式(1.12.4)可列方程如下:

$$m_1 v_0 = (m_1 + m_2)v \tag{1}$$

$$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 = (m_1 + m_2)gh \tag{2}$$

由式(1)有

$$v_0 = \frac{m_1 + m_2}{m_1}v$$

由式(2)有

$$v = \sqrt{2gh}$$

代入式(1),得

$$v_0 = \frac{m_1 + m_2}{m_1}\sqrt{2gh}$$

$$= \frac{0.02 + 10}{0.02} \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.07}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} = 587\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$