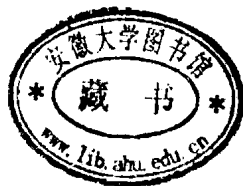


21 世纪高等学校辅导教材

大学物理学学习题详解

清华·《大学物理学·第二版》(张三慧主编)

黄伯坚 周逊选 周述文 编



华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习题详解/黄伯坚 周逊选 周述文 编
武汉:华中科技大学出版社,2002年3月
ISBN 7-5609-2669-X

- I. 大…
II. ①黄… ②周… ③周…
III. 大学物理学-题解
IV. O4-44

大学物理学习题详解 黄伯坚 周逊选 周述文 编

责任编辑:周芬娜 封面设计:潘群
责任校对:陈元玉 责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:850×1168 1/32 印张:18.25 字数:440 000
版次:2002年3月第1版 印次:2002年6月第2次印刷 印数:6 001—12 000
ISBN 7-5609-2669-X/O·253 定价:22.80元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

前 言

物理学是工科大学生必修的基础理论课。它内容丰富、应用广泛,要理解和掌握其基本概念和众多定律的应用,不做习题几乎是不可能的。因而适量的习题运算是学好物理学必不可少的环节。

清华大学张三慧教授主编的《大学物理学》第二版的习题所包含的内容在国内大学物理学教材中是最为完善的。不少联系实际和涉及当代物理内容的题目很有新意,新增的不少理论性较强的题目也有相当难度。

目前我国教育面临的问题之一是全面推进素质教育的任务十分艰巨,学生的课业负担仍然过重。鉴于此,我们编写这本题解的目的是,希望在快速增长的知识和有限学时的矛盾之中能起点有益的作用。

由于编者水平有限,书中难免有不恰当、甚至错误之处,敬请读者不吝指正。

编 者

2001年10月

目 录

第 1 篇 力 学

第 1 章 质点运动学	(2)
知识要点	(2)
习题解答	(3)
第 2 章 牛顿运动定律	(20)
知识要点	(20)
习题解答	(21)
第 3 章 动量与角动量	(40)
知识要点	(40)
习题解答	(41)
第 4 章 功和能	(56)
知识要点	(56)
习题解答	(57)
第 5 章 刚体的定轴转动	(81)
知识要点	(81)
习题解答	(82)
第 6 章 狭义相对论基础	(101)
知识要点	(101)
习题解答	(102)

第 2 篇 热 学

第 7 章 温度	(120)
知识要点	(120)
习题解答	(120)
第 8 章 气体动理论	(130)

知识要点·····	(130)
习题解答·····	(131)
第9章 热力学第一定律·····	(150)
知识要点·····	(150)
习题解答·····	(151)
第10章 热力学第二定律·····	(175)
知识要点·····	(175)
习题解答·····	(175)

第3篇 电 磁 学

第11章 静止电荷的电场·····	(192)
知识要点·····	(192)
习题解答·····	(193)
第12章 电势·····	(223)
知识要点·····	(223)
习题解答·····	(224)
第13章 静电场中的导体·····	(250)
知识要点·····	(250)
习题解答·····	(250)
第14章 静电场中的电介质·····	(264)
知识要点·····	(264)
习题解答·····	(265)
第15章 恒定电流·····	(294)
知识要点·····	(294)
习题解答·····	(295)
第16章 磁力·····	(307)
知识要点·····	(307)
习题解答·····	(307)
第17章 磁场的源·····	(326)

知识要点	(326)
习题解答	(327)
第18章 磁场中的磁介质	(359)
知识要点	(359)
习题解答	(360)
第19章 电磁感应	(372)
知识要点	(372)
习题解答	(373)
第20章 麦克斯韦方程组和电磁辐射	(395)
知识要点	(395)
习题解答	(396)

第4篇 波动与光学

第21章 振动	(412)
知识要点	(412)
习题解答	(413)
第22章 波动	(442)
知识要点	(442)
习题解答	(444)
第23章 光的干涉	(465)
知识要点	(465)
习题解答	(467)
第24章 光的衍射	(484)
知识要点	(484)
习题解答	(485)
第25章 光的偏振	(499)
知识要点	(499)
习题解答	(500)

第5篇 量子物理

第26章 波粒二象性	(510)
知识要点	(510)
习题解答	(511)
第27章 薛定谔方程	(525)
知识要点	(525)
习题解答	(526)
第28章 原子中的电子	(533)
知识要点	(533)
习题解答	(534)
第29章 固体中的电子	(551)
知识要点	(551)
习题解答	(552)
第30章 核物理	(559)
知识要点	(559)
习题解答	(560)

第 1 篇

力

学

第1章 质点运动学

知识要点

1. 参考系和坐标系

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,需要在该参考系上建立固定的坐标系。

2. 位置矢量

在参考系上选一点 O 向质点所在位置 P 所引的有向线段 $r(=\vec{OP})$ 。

运动方程 表示质点位置随时间变化的函数式称为运动方程,可以写作

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t)$$

位移矢量

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

一般

$$|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta r$$

运动叠加 在直角坐标系中

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

3. 速度和加速度

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt}, \quad \boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2}$$

在直角坐标系中

$$\boldsymbol{v} = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k}$$

$$\boldsymbol{a} = a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j} + a_z\boldsymbol{k}$$

在自然坐标系中

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

(1) 匀加速运动

$$\boldsymbol{a} = \text{常矢量}$$

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{a}t, \quad \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_0 + \boldsymbol{v}_0t + \frac{1}{2}\boldsymbol{a}t^2$$

(2) 抛体运动

$$a_x = 0, \quad a_y = -g$$

$$v_x = v_0 \cos \theta, \quad v_y = v_0 \sin \theta - gt$$

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

(3) 圆周运动

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_n + \boldsymbol{a}_t, \quad a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2, \quad a_t = \frac{dv}{dt} = R\alpha$$

(4) 角量描述

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}, \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

4. 相对运动

相对位移 $\Delta \boldsymbol{r}'_{\text{人对车}} + \Delta \boldsymbol{r}_{\text{车对地}} = \Delta \boldsymbol{r}_{\text{人对地}}$

相对速度 $\boldsymbol{v}'_{\text{人对车}} + \boldsymbol{u}_{\text{车对地}} = \boldsymbol{v}_{\text{人对地}}$

习题解答

【1-1】 观察发现：离我们越远的星系正以越大的速率远离我们飞去。例如牧夫座内一星云离我们银河系的距离为 2.74×10^9 l. y. (l. y. 为光年, $1 \text{ l. y.} = 9.46 \times 10^{15} \text{ m}$)，它正以 $3.93 \times 10^7 \text{ m/s}$ 的速率飞离。假定飞离速率是恒定的，试问它是多少年前和我们的银河系分离的？（根据宇宙产生于一次大爆炸的学说，可以认为这一段时间就是宇宙的年龄。）

【解】 匀速运动

$$\begin{aligned}t &= \frac{s}{v} = \frac{2.74 \times 10^9 \times 9.46 \times 10^{15}}{3.93 \times 10^7} \text{ s} \\ &= 6.60 \times 10^{17} \text{ s} = 2.09 \times 10^{10} \text{ a}\end{aligned}$$

【1-2】 一辆卡车为了超车,以 90 km/h 的速度驶入左侧逆行道时,猛然发现前方 80 m 处一辆汽车正迎面驶来。假定该汽车以 65 km/h 的速度行驶,同时也发现了卡车超车。设两司机的反应时间都是 0.70 s(即司机发现险情到实际刹车所经过的时间),他们刹车后的减速度都是 7.5 m/s^2 ,试问两车是否会相撞? 如果会相撞,相撞时卡车的速度多大?

【解】 本题为匀减速运动。

设卡车初速为 v_{01} , 减速到速度为零的时间为 t_1 , 行驶距离为 s_1 ; 汽车相应的量为 v_{02}, t_2, s_2 。由题知

$$v_{01} = \frac{90 \times 10^3}{3600} \text{ m/s} = 25 \text{ m/s}$$

$$v_{02} = \frac{65 \times 10^3}{3600} \text{ m/s} = 18 \text{ m/s}$$

因为
$$v = v_0 - at, \quad s = v_0 t - \frac{1}{2} at^2$$

所以对卡车,有

$$t_1 = \frac{v_{01}}{a} = \frac{25}{7.5} \text{ s} = 3.3 \text{ s}$$

$$\begin{aligned}s_1 &= v_{01} t_1 - \frac{1}{2} a t_1^2 \\ &= \left[25 \times 3.3 - \frac{1}{2} \times 7.5 \times (3.3)^2 \right] \text{ m} = 42 \text{ m}\end{aligned}$$

对汽车,有

$$t_2 = \frac{v_{02}}{a} = \frac{18}{7.5} \text{ s} = 2.4 \text{ s}$$

$$s_2 = v_{02} t_2 - \frac{1}{2} a t_2^2$$

$$= \left[18 \times 2.4 - \frac{1}{2} \times 7.5 \times (2.4)^2 \right] \text{ m} = 22 \text{ m}.$$

又反应时间两车驶过的距离为

$$s_0 = (v_{01} + v_{02})t = (25 + 18) \times 0.70 \text{ m} = 30 \text{ m}$$

因而由

$$s_0 + s_1 + s_2 = (30 + 42 + 22) \text{ m} = 94 \text{ m} > 80 \text{ m}$$

可知两车会相碰。

设刹车后到相碰时时间为 t ，则据题意有

$$v_{01}t - \frac{1}{2}at^2 + v_{02}t - \frac{1}{2}at^2 = 80 - (v_{01} + v_{02}) \times 0.70$$

代值并整理可得 $7.5t^2 - 43t + 50 = 0$

解得 $t = 1.62 \text{ s}$ 、 4.11 s ，后者不合题意，舍去。

碰时卡车速度为

$$\begin{aligned} v_1 &= v_{01} - at = (25 - 7.5 \times 1.62) \text{ m/s} \\ &= 12.8 \text{ m/s} = 46 \text{ km/h} \end{aligned}$$

【1-3】 跳伞运动员从 1200 m 高空下跳，起初不打开降落伞作加速运动。由于空气阻力的作用，会加速到一“终极速率”200 km/h 而开始匀速下降。下降到离地面 50 m 处时打开降落伞，很快速率会变为 18 km/h 而匀速下降着地。若起初加速运动阶段的平均加速度按 $g/2$ 计，此跳伞运动员在空中一共经历了多长时间？

【解】 本题为先匀加速、后匀速运动。注意题中很快的含义。

设加速时间为 t_1 ，通过距离 s_1 ，末速 v_1 ，则由 $v_1 = at_1$ ， $s_1 = \frac{1}{2}at_1^2$ 可得

$$t_1 = \frac{v_1}{a} = \frac{200 \times 10^3 / 3600}{9.8/2} \text{ s} = 11.3 \text{ s}$$

$$s_1 = \frac{1}{2} \times \frac{9.8}{2} \times (11.3)^2 \text{ m} = 313 \text{ m}$$

又设两次匀速运动的时间分别为 t_2 、 t_3 ，通过距离分别为 s_2 、 s_3 ，其速度分别为 v_2 、 v_3 。由 $s_2 = v_2 t_2 = v_1 t_2$ ， $s_3 = v_3 t_3 = 50 \text{ m}$ ， $s_1 + s_2 + s_3 =$

1200 m 可得

$$t_2 = \frac{s_2}{v_1} = \frac{1200 - s_1 - s_3}{v_1} = \frac{1200 - 313 - 50}{200 \times 10^3 / 3600} \text{ s} = 15.0 \text{ s}$$

$$t_3 = \frac{s_3}{v_3} = \frac{50}{18 \times 10^3 / 3600} \text{ s} = 10.0 \text{ s}$$

所以

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = (11.3 + 15.0 + 10.0) \text{ s} = 36.3 \text{ s}$$

【1-4】 一汽艇以速率 v_0 沿直线行驶。发动机关闭后,汽艇因受到阻力而具有与速度 v 成正比且方向相反的加速度 $a = -kv$, 其中 k 为常数。求发动机关闭后,

(1) 在时刻 t 汽艇的速度;

(2) 汽艇能滑行的距离。

【解】 本题注意根据已知条件在计算过程中进行适当的变量变换。

(1) 因为 $a = \frac{dv}{dt} = -kv$, 所以

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

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

(2) 因为 $\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = v \frac{dv}{ds} = -kv$, 所以

$$\int_{v_0}^0 dv = -k \int_0^s ds$$

$$v_0 = ks$$

即

$$s = v_0/k$$

如利用 $ds = vdt$ 进行计算, t 的积分上下限取 ∞ 和 0, 可得同样结果, 想想其合理性。

【1-5】 由消防水龙带的喷嘴喷出的水的流量是 $q = 280$ L/min, 水的流速 $v = 26$ m/s。若这喷嘴竖直向上喷射, 水流上升的高度是多少? 在任一瞬间空中有多少升水?

【解】 本题为竖直上抛运动,注意空中水的含义。

水流上升高度为

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{26^2}{2 \times 9.81} \text{ m} = 34.5 \text{ m}$$

任一瞬间空中水即为水喷出到落回地面这段时间内喷出的水的总质量。由

$$m = \int_0^{2t} q dt = q \cdot 2t \quad \text{和} \quad t = \frac{v}{g}$$

可得
$$m = q \cdot \frac{2v}{g} = \frac{280}{60} \times \frac{2 \times 26}{9.81} \text{ L} = 24.7 \text{ L}$$

【1-6】 在以初速率 $v = 15.0 \text{ m/s}$ 竖直向上扔一块石头后,

(1) 在 1.0 s 末又竖直向上扔出第二块石头,后者在 $h = 11.0 \text{ m}$ 高度处击中前者,求第二块石头扔出时的速率;

(2) 若在 1.3 s 末竖直向上扔出第二块石头,它仍在 $h = 11.0 \text{ m}$ 高度处击中前者,求这一次第二块石头扔出时的速率。

【解】 本题为竖直上抛运动,注意上抛与下落过程。

(1) 设第一、二块石头初始速度分别为 v_1 与 v_2 ,在 h 处相遇,则对第一块石头有

$$h = v_1 t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2$$

解得
$$t_1 = \frac{v_1 \pm \sqrt{v_1^2 - 2gh}}{g}$$
$$= \frac{15.0 \pm \sqrt{(15.0)^2 - 2 \times 9.81 \times 11.0}}{9.81} \text{ s}$$
$$= \begin{cases} 1.84 \text{ s} \\ 1.22 \text{ s} \end{cases}$$

对第二块石头有 $t_2 = t_1 - 1$

$$v_2 = \frac{h}{t_2} + \frac{1}{2} g t_2 = \begin{cases} 17.2 \text{ m/s} \\ 51.1 \text{ m/s} \end{cases}$$

(2) 同前解出 t_1 ,由 $t_2 = t_1 - 1.30$ 可得

$$t_2 = \begin{cases} 0.540 \text{ s} \\ -0.08 \text{ s} < 0 \quad \text{舍去} \end{cases}$$

所以
$$v_2 = \frac{h}{t_2} + \frac{1}{2}gt_2$$

$$= \left(\frac{11.0}{0.540} + \frac{1}{2} \times 9.8 \times 0.540 \right) \text{ m/s} = 23.0 \text{ m/s}$$

【1-7】 一只在星际空间飞行的火箭,当它以恒定速率燃烧它的燃料时,其运动函数可表示为 $x=ut+u\left(\frac{1}{b}-t\right)\ln(1-bt)$,其中 u 是喷出气流相对于火箭体的喷射速度,是一个常量, b 是与燃料速率成正比的一个常量。

(1) 求此火箭的速度表示式;

(2) 求此火箭的加速度表示式;

(3) 设 $u=3.0 \times 10^3 \text{ m/s}$, $b=7.5 \times 10^{-3}/\text{s}$,并设燃料在 120 s 内燃烧完,求 $t=0 \text{ s}$ 和 $t=120 \text{ s}$ 时的速度;

(4) 求在 $t=0 \text{ s}$ 和 $t=120 \text{ s}$ 时的加速度。

【解】 本题由运动函数求瞬时速度与加速度。

$$(1) v = \frac{dx}{dt} = u + u \left(\frac{1}{b} - t \right) \frac{-b}{1-bt} - u \ln(1-bt) = -u \ln(1-bt)$$

$$(2) a = \frac{dv}{dt} = \frac{bu}{1-bt}$$

$$(3) \text{ 当 } t=0 \text{ 时, } v=0$$

$$\text{当 } t=120 \text{ s 时, } v = -3.0 \times 10^3 \ln(1-7.5 \times 10^{-3} \times 120) \text{ m/s}$$

$$= 6.91 \times 10^3 \text{ m/s}$$

$$(4) \text{ 当 } t=0 \text{ 时, } a = bu = 7.5 \times 10^{-3} \times 3.0 \times 10^3 \text{ m/s}^2$$

$$= 22.5 \text{ m/s}^2$$

$$\text{当 } t=120 \text{ s 时, } a = \frac{7.5 \times 10^{-3} \times 3.0 \times 10^3}{1-7.5 \times 10^{-3} \times 120} \text{ m/s}^2 = 225 \text{ m/s}^2$$

【1-8】 一质点在 xy 平面上运动,运动函数为 $x=2t$, $y=4t^2-8$ 。

(1) 求质点运动的轨道方程并画出轨道曲线;

(2) 求 $t_1=1\text{ s}$ 和 $t_2=2\text{ s}$ 时, 质点的位置、速度和加速度。

【解】 本题为二维问题。

(1) 消去 t , 可得轨道方程

$$y = 4\left(\frac{x}{2}\right)^2 - 8 = x^2 - 8$$

轨道曲线为抛物线, 如图 1-1 所示。

(2) 位置矢量为

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} = 2t\boldsymbol{i} + (4t^2 - 8)\boldsymbol{j}$$

速度为
$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = 2\boldsymbol{i} + 8t\boldsymbol{j}$$

加速度为
$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = 8\boldsymbol{j}$$

当 $t_1=1\text{ s}$ 时, $\boldsymbol{r}_1 = 2\boldsymbol{i} - 4\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{v}_1 = 2\boldsymbol{i} + 8\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{a}_1 = 8\boldsymbol{j}$

当 $t_2=2\text{ s}$ 时, $\boldsymbol{r}_2 = 4\boldsymbol{i} + 8\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{v}_2 = 2\boldsymbol{i} + 16\boldsymbol{j}$, $\boldsymbol{a}_2 = 8\boldsymbol{j}$

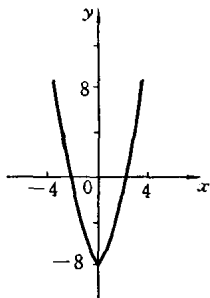


图 1-1

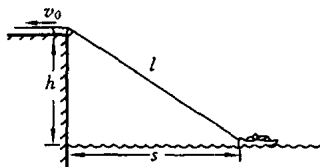


图 1-2

【1-9】 如图 1-2 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 v_0 , 求船在离岸边的距离为 s 时的速度和加速度。

【解】 本题注意应用约束条件。

在运动中始终有
$$l^2 = h^2 + s^2$$

两边对时间求导得
$$2l \frac{dl}{dt} = 2s \frac{ds}{dt}$$