

杨庶宜 陈 炜 易传刚

工程师物理学

的理论和问题



上海科学技术文献出版社

工程师物理学的理论和问题

杨庶宜 陈 炜 易传刚

上海科学技术文献出版社

工程师物理学的理论和问题

杨庶宜 陈 炜 易传刚

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号)

全国各书店经销

商务印书馆上海印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 11 字数 266,000

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

印数: 1—2,000

ISBN 7-80513-757-9/T·187

定 价: 6.80 元

《科技新书目》238-286

前 言

普通物理是理工科大学的一门重要基础课程,能否学好将会直接影响到后继课程的学习。需要强调指出的是,要想学好普通物理,首先应着重于物理概念的理解与掌握,当然也要十分重视解题的训练。实际上,解题本身是对物理知识的应用,所以通过解题能进一步加深对物理概念的理解,因此它也是学习过程中必不可少的一部分。

一般学生在学习普通物理的过程中对解题会感到困难,常听到的反映是,面对题目不知如何思考,无从着手。要解决这个问题,有赖于教师的指导和学生自身的努力,当然如果有一本好的参考书并能正确地使用,那也会起到很好的作用(这对自学者来说就更为重要了)。有鉴于此,本书作者编译了这本“工程师物理学的理论和问题”,力图为广大学习普通物理的学生和自学者提供一本好的参考书。本书的特点是在每章的第一部分对物理概念有提纲挈领的说明,第二部分则是大量精选的例题。这些例题的编排由浅入深,解题过程着重如何思考,分析详尽,而不是简单地给出答案。特别是本书题目新颖,为同类书中少见。因此对从事普通物理教学工作的同志也会有所帮助。

本书针对工科的特点,故名“工程师物理学的理论和问题”,但也兼顾到理科的需要,对自学普通物理的同志和科技工作者来说,尤为适用。相信本书的出版对普通物理的教学工作会有所帮助。

张民生

1990.8

目 录

第一章 矢量方法 单位 量纲分析

§ 1.1 标量和矢量	1
§ 1.2 矢量图示及其运算	1
§ 1.3 矢量的分量	4
§ 1.4 单位矢量	6
§ 1.5 矢量乘法	8
§ 1.6 基本量和导出量	14
§ 1.7 物理方程的量纲分析	15

第二章 质点运动学

§ 2.1 速度和加速度的定义	16
§ 2.2 匀加速直线运动	17
§ 2.3 平面上的匀加速运动	18
解题示例	20
§ 2.4 质点的圆周运动	35
§ 2.5 质点的平面曲线运动	36

第三章 牛顿运动定律

§ 3.1 牛顿运动定律	42
§ 3.2 质量和重量	42
§ 3.3 参照系	43
§ 3.4 力和加速度的计算步骤	43
解题示例	44
§ 3.5 质心运动	50

第四章 动量 相对运动

§ 4.1 动量	65
§ 4.2 冲量	65

§ 4.3 动量守恒	66
§ 4.4 相对运动	66
解题示例	66

第五章 功和能

§ 5.1 功	76
§ 5.2 能	76
§ 5.3 动能定理	77
§ 5.4 功率	77
解题示例	77
§ 5.5 保守力	84
§ 5.6 势能	85
§ 5.7 能量守恒	85
解题示例	85

第六章 刚体力学

§ 6.1 刚体的定轴转动	93
解题示例	94
§ 6.2 刚体的质心	98
§ 6.3 力矩	99
§ 6.4 平衡方程	100
解题示例	100
§ 6.5 转动惯量	112
§ 6.6 刚体运动的动能	113
§ 6.7 力矩和角加速度	113
解题示例	113
§ 6.8 角动量	121
§ 6.9 角动量定理	122
§ 6.10 角动量守恒定律	122
解题示例	122

第七章 引力

§ 7.1 引力场	129
-----------------	-----

§ 7.2 引力	129
§ 7.3 引力势能	129
§ 7.4 行星的开普勒定律	130
§ 7.5 高斯定律	130
解题示例	131

第八章 弹性和谐振动

§ 8.1 弹性和胡克定律	141
§ 8.2 简谐运动	141
§ 8.3 简谐振动方程	142
§ 8.4 阻尼振动	142
§ 8.5 谐振动的势能	143
§ 8.6 单摆运动	143
解题示例	143

第九章 流体力学

§ 9.1 流体中的压强	149
§ 9.2 密度	149
§ 9.3 流体静力学定律	149
解题示例	150
§ 9.4 流线	155
§ 9.5 连续性方程	155
§ 9.6 伯努利方程	155
解题示例	156

第十章 热运动

§ 10.1 状态方程	161
§ 10.2 热运动	161
§ 10.3 热力学第一定律	162
解题示例	163
§ 10.4 热膨胀	170
§ 10.5 热容	170
§ 10.6 热传导	171

解题示例	172
------------	-----

§ 10.7 可逆过程	177
-------------------	-----

§ 10.8 熵	178
----------------	-----

§ 10.9 热机和冷冻机	179
---------------------	-----

§ 10.10 热力学第二定律的两种表述	179
----------------------------	-----

解题示例	180
------------	-----

第十一章 波动

§ 11.1 波函数	186
------------------	-----

§ 11.2 紧张弦上的波	186
---------------------	-----

§ 11.3 正弦波	186
------------------	-----

§ 11.4 波的迭加原理	187
---------------------	-----

§ 11.5 驻波	187
-----------------	-----

解题示例	187
------------	-----

§ 11.6 声波	194
-----------------	-----

§ 11.7 声波的强度	194
--------------------	-----

§ 11.8 多普勒效应	195
--------------------	-----

解题示例	195
------------	-----

第十二章 静电场

§ 12.1 库仑定律	203
-------------------	-----

§ 12.2 点电荷间的相互作用力	203
-------------------------	-----

§ 12.3 电场强度	205
-------------------	-----

§ 12.4 电场强度的迭加原理	206
------------------------	-----

§ 12.5 高斯定律	206
-------------------	-----

§ 12.6 电势能	207
------------------	-----

§ 12.7 电势或电压	208
--------------------	-----

§ 12.8 势函数迭加原理	209
----------------------	-----

§ 12.9 电子伏特	210
-------------------	-----

解题示例	210
------------	-----

第十三章 直流电

§ 13.1 电流和电流密度	225
----------------------	-----

§ 13.2 欧姆定律	226
§ 13.3 电源	227
§ 13.4 电功率	227
§ 13.5 基尔霍夫定律	228
§ 13.6 基尔霍夫定律的应用	229
解题示例	229

第十四章 磁 场

§ 14.1 磁场	240
§ 14.2 作用在载流导线上的力	241
§ 14.3 磁通	243
§ 14.4 运动电荷的磁场	244
§ 14.5 载流导线的磁场	244
§ 14.6 安培环路定律	246
§ 14.7 感应电动势	246
§ 14.8 楞次定律	247
§ 14.9 电感	248
§ 14.10 互感	249
§ 14.11 三个磁矢量	251
§ 14.12 磁化系数 磁导率	251
§ 14.13 磁滞回线	252
§ 14.14 能量密度	252
解题示例	253

第十五章 RLC 电路暂态过程和简单交流电路

§ 15.1 RLC 串联电路	274
§ 15.2 串联交流电路	275
§ 15.3 并联交流电路	277
解题示例	279

第十六章 光 学

§ 16.1 光的反射和折射	287
----------------------	-----

§ 16.2	偏振光	287
§ 16.3	偏振光的强度	288
§ 16.4	透镜公式	288
§ 16.5	光的干涉	289
§ 16.6	光的衍射	291
解题示例		292

第十七章 狭义相对论

§ 17.1	两个基本假设	311
§ 17.2	假设的推论	311
解题示例		314

第十八章 光 子

§ 18.1	光的波粒二象性	320
§ 18.2	光电效应	320
§ 18.3	康普顿散射	321
§ 18.4	电子对湮灭, 电子对产生	321
解题示例		322

第十九章 原子和原子核

§ 19.1	前言	326
§ 19.2	原子的经典能量	326
§ 19.3	玻尔模型的假设	327
§ 19.4	能级	327
§ 19.5	原子光谱	328
解题示例		329
§ 19.6	稳定核的结合能	333
§ 19.7	放射性衰变	333
§ 19.8	核反应	334
解题示例		335

第一章 矢量方法 单位 量纲分析

§ 1.1 标量和矢量

时间、质量、密度、功、温度等这一类只具有大小，而无方向的物理量叫做标量。标量用普通字体表示，如 A, B, m, t, ρ 等。速度、加速度、力、电场强度等既有大小又有方向的物理量叫做矢量。矢量用黑体字表示，如 $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{F}, \mathbf{E}$ 等。在给定的坐标系中，矢量需要三个数表示，而标量只需用一个数表示。

§ 1.2 矢量图示及其运算

任何一个矢量都能够用一条有向线段来表示。线段的长度表示矢量的大小，用与坐标轴，例如直角坐标系的 x, y, z 轴构成的角度表示矢量的方向。图 1-1(a) 给出了矢量 $\mathbf{F}$ ，图 1-1(b) 给出了矢量 $\mathbf{V}$ 的图示。

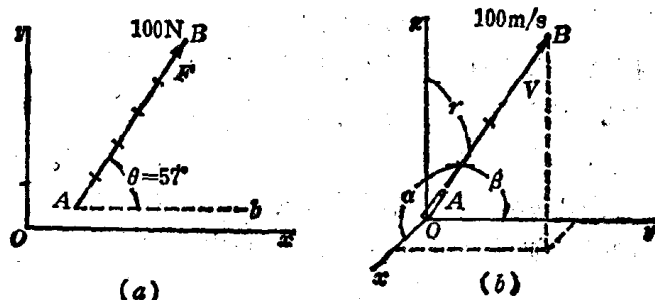


图 1-1

例 1-1 图 1-1(a)中的有向线段 $\overrightarrow{AB}$,表示作用在 A 点的力大小为100牛顿,在 xOy 平面上与 x 轴成 57° 角。注意 $\overrightarrow{AB}$ 既表示了力的大小,又表示了力的方向。图 1-1(b)的三维空间中,线段 $\overrightarrow{AB}$ 表示抛射体以 100m/s 的速度 v 运动。 $\overrightarrow{AB}$ 的长度表示 v 的大小,角 α , β 和 γ 表示了它的方向。注意若 $\cos \alpha$ 和 $\cos \beta$ 的值为已知, $\cos \gamma$ 则由下式给出

$$\cos \gamma = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta}$$

图 1-2 给出了矢量的加法。力 F_1 和 F_2 作用在 O 点,大小和方向均已标出。矢量相加就是要找出能够代替两个单独力的合力,其方法是以 F_1 和 F_2 为平行四边形的两邻边,则对角线 R 给出合矢量的大小和方向。可以写成

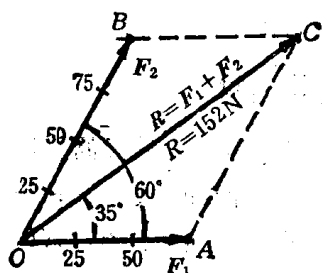


图 1-2

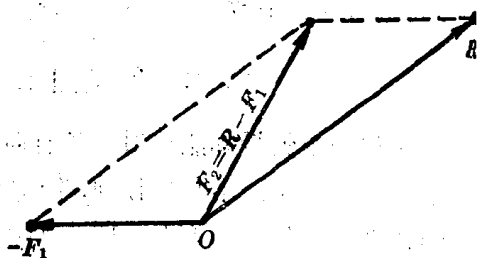


图 1-3

$$R = F_1 + F_2.$$

例 1-2 图 1-2 中一个钉子钉在木板上的 O 点,沿 OA 和 OB 方向套上两根绳子,分别施以 75N 和 100N 的力。钉子感觉到的不是两个作用力,而是一个力 R ,它的大小约为 $R = 152\text{N}$,与 OA 方向成 $\alpha \approx 35^\circ$ 。也可以通过计算的方法求得 R 和 α 。

例 1-3 如果上例中,用一个能自由移动的物体代替钉子,其质量 $m = 0.2\text{kg}$,求在力 F_1 和 F_2 的作用下获得的加速度是多少?

加速度与合力的关系是 $\vec{R} = m\vec{a}$, 因此加速度的大小是

$$a = \frac{152}{0.2} = 760 \text{ m/s}^2$$

加速度的方向与 $\vec{R}$ 方向一致。

例 1-4 如果图 1-2 中是飞机以 152 m/s 的速度沿 OC 方向飞行, 那末在 OA 和 OB 方向上将同时等效有一个 75 m/s 和 100 m/s 的分速度。

矢量减法是上述矢量加法的逆运算。

例 1-5 如果图 1-2 中已知 $\vec{R}$ 和 $\vec{F}_1$, 求 $\vec{F}_2$ 。

我们可以把 $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ 改写成 $\vec{F}_2 = \vec{R} - \vec{F}_1$ 。如图 1-3 所示, 将 $\vec{F}_1$ 的方向倒过来后作加法, 通过作平行四边形可求得 $\vec{F}_2$ 。

例 1-6 图 1-4 中, 一只小船沿直线 AB 方向横渡一条河流。水的流速是 4 m/s , 船相对水的速度是 6 m/s , 求船沿 AB 直线方向的速度及船从 A 到 B 所需的时间? (图中已给出了水流速 $v_{\text{水}}$ 的大小和方向, 船相对水的速度 $v_{\text{船水}}$ 的大小, 船沿 AB 方向的速度 v_{AB} 方向及 AB 线段的大小和方向, 要求的是 v_{AB} 的大

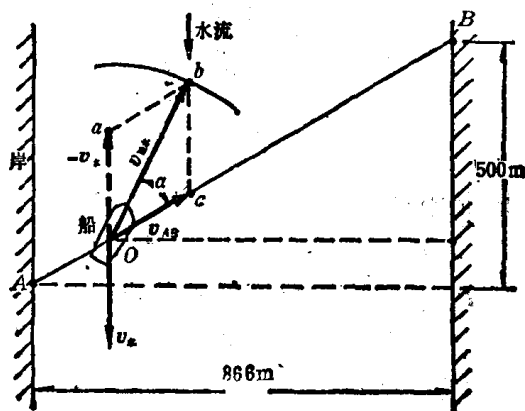


图 1-4

小和 v_{AB} 与 $v_{\text{船水}}$ 的夹角 α 。))

可以用图解法求解。(1)用适当的标度画出河流和 AB ; (2)在 AB 线段上的 O 点,以它为圆心、6 个单位长为半径画弧; (3) Oa 线段为 4 个单位长表示 $-v_{\text{水}}$; ab 线平行 AB 与所画圆弧相交 b 点; (4)作 bc 平行 Oa 。则 $v_{AB} = \overline{Oc}$ 及角 α 都可以确定,经大致测量可得 $v_{AB} = 3.0 \text{ m/s}$, $\alpha = 35^\circ$,

而
$$\overline{AB} = \sqrt{(500)^2 + (866)^2} = 1000 \text{ m}$$

从 A 到 B 所需时间 $t = 1000/3.0 = 333 \text{ s} = 5.6 \text{ min}$ 。

§ 1.3. 矢量的分量

图 1-5 中,我们从 P 点向 x 轴和 y 轴作垂直的虚线以确定矢量 F 的分量 F_x 和 F_y 的大小。前面的图 1-2 中的 F_1 和 F_2 分别表示矢量 R 沿斜线 OA 和 OB 方向上的分矢量。图 1-6 中的 F_x, F_y 和 F_z 是矢量 F 的直角坐标分矢量,分量写成 F_x, F_y 和 F_z 。

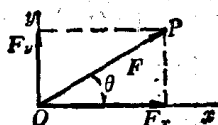


图 1-5

图 1-5 中,很明显

$$F_x = F \cos \theta \quad F_y = F \sin \theta$$

图 1-6 中, F 的分量由下面的形式给出

$$F_x = F \cos \theta_1 \quad F_y = F \cos \theta_2 \quad F_z = F \cos \theta_3$$

也可以简便的写成

$$\cos \theta_1 = l \quad \cos \theta_2 = m \quad \cos \theta_3 = n$$

则有 $F_x = Fl$ $F_y = Fm$ 和 $F_z = Fn$, 式中的 l 、 m 和 n 叫做 F 的方向余弦。可以证明

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1.$$

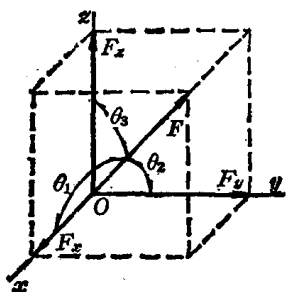


图 1-6

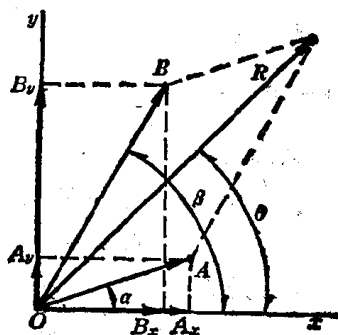


图 1-7

例 1-7 (a) 设图 1-5 中的 F , 大小为 300N, $\theta = 30^\circ$, 则有

$$F_x = 300 \cos 30^\circ = 259.8\text{N} \quad F_y = 300 \sin 30^\circ = 150\text{N}$$

(b) 设 $F = 300\text{N}$, $\theta = 145^\circ$ (F 在第二象限)

$$F_x = 300 \cos 145^\circ = 300(-0.8192) = -247.5\text{N} (x \text{ 轴负向})$$

$$F_y = 300 \sin 145^\circ = 300(+0.5736) = 172.07\text{N}.$$

例 1-8 若图 1-6 中 F 的大小是 200N, $\theta_1 = 60^\circ$, $\theta_2 = 40^\circ$,

则 $l = 0.5$ $m = 0.766$ $n = (1 - l^2 - m^2)^{1/2} = 0.404$

(假定 F_z 是正的, 否则 $n = -0.404$)。 F 的直角坐标分量是

$$F_x = (200)(0.5) = 100\text{N} \quad F_y = 153.2\text{N} \quad F_z = 80.8\text{N}$$

$$\theta_3 = 66.17^\circ$$

由 $(100^2 + 153.2^2 + 80.8^2)^{1/2} = 200\text{N}$, 可知结果是正确的。

图 1-7 中, 矢量 A 和 B 相加可以写成 $A + B = R$, R 是 A 和 B 矢量之和。 A 和 B 的分量分别是 $A_x = A \cos \alpha$, $A_y = A \sin \alpha$, $B_x = B \cos \beta$, $B_y = B \sin \beta$, 如果 A 和 B 用它们的分量来表示,

则 R 的分量可表示为

$$R_x = A_x + B_x \quad R_y = A_y + B_y$$

因为 R_x 和 R_y 相互垂直, 有

$$R = (R_x^2 + R_y^2)^{1/2} = [(A_x + B_x)^2 + (A_y + B_y)^2]^{1/2}$$

R 的方向余弦为

$$l = \cos \theta = \frac{A_x + B_x}{R} \quad m = \sin \theta = \frac{A_y + B_y}{R} \quad n = 0$$

共点的三个矢量 F_1 、 F_2 和 F_3 , 求和的一般方法是

$$R = [(F_{1x} + F_{2x} + F_{3x})^2 + (F_{1y} + F_{2y} + F_{3y})^2 + (F_{1z} + F_{2z} + F_{3z})^2]^{1/2}$$

式中 F_{1x} 是矢量 F_1 的 x 分量, 其余类推。 R 的方向余弦为

$$l = \frac{F_{1x} + F_{2x} + F_{3x}}{R} \quad m = \frac{F_{1y} + F_{2y} + F_{3y}}{R} \\ n = \frac{F_{1z} + F_{2z} + F_{3z}}{R}$$

三个以上的共点矢量求和可用同样的方法进行。

例 1-9 在图 1-7 中设 A 表示 50N 的力, 与 x 方向成 $\alpha = 20^\circ$, B 表示 80N 的力, 与 x 方向成 $\beta = 60^\circ$, 求矢量和

$$\because A_x = 50 \cos 20^\circ = 46.98 \text{ N} \quad A_y = 50 \sin 20^\circ = 17.1 \text{ N}$$

$$B_x = 80 \cos 60^\circ = 40 \text{ N} \quad B_y = 80 \sin 60^\circ = 69.28 \text{ N}$$

$$\therefore R = [(46.98 + 40)^2 + (17.1 + 69.28)^2]^{1/2} = 122.6 \text{ N}$$

$$l = \frac{46.98 + 40}{122.6} = 0.709 \quad m = 0.705 \quad n = 0$$

$$\text{由于} \quad \tan \theta = \frac{17.1 + 69.28}{46.98 + 40} \approx 1$$

$$\text{所以} \quad \theta \approx 45^\circ$$

§ 1.4 单位矢量

任何一个矢量都可以写成

$$\mathbf{F} = Fe$$

的形式。式中 F 是矢量 $\mathbf{F}$ 的大小, $\mathbf{e}$ 是 $\mathbf{F}$ 方向上的单位矢量。 F 和 $\mathbf{F}$ 的单位相同, $\mathbf{e}$ 的大小为 1, 是一个无量纲的矢量。这样 $\mathbf{F}$ 可以用 F 和 $\mathbf{e}$ 的乘积来表示。

在图 1-6 中, 我们分别用 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 表示沿 x, y, z 方向上的单位矢量。 $\mathbf{F}$ 的分矢量式可以写成 $F_x\mathbf{i}, F_y\mathbf{j}, F_z\mathbf{k}$ 。由于 $\mathbf{F}$ 是它分矢量求和的结果, 故矢量 $\mathbf{F}$ 沿坐标轴分解的表达式为

$$\mathbf{F} = F_x\mathbf{i} + F_y\mathbf{j} + F_z\mathbf{k}$$

式中 $F_x = F \cos \theta_1 = Fl$, 同样可得

$$F = (F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)^{1/2}$$

$$l = \frac{F_x}{F} \quad m = \frac{F_y}{F} \quad n = \frac{F_z}{F}$$

例 1-10 参照例 1-8 和图 1-6 有

$$F_x = 100\text{N} \quad F_y = 153.2\text{N} \quad F_z = 80.8\text{N}$$

矢量 $\mathbf{F}$ 能写成

$$\mathbf{F} = 100\mathbf{i} + 153.2\mathbf{j} + 80.8\mathbf{k}$$

$\mathbf{F}$ 的大小是 $F = (100^2 + 153.2^2 + 81^2)^{1/2} = 200\text{N}$, 方向余弦是

$$l = \frac{100}{200} = 0.5 \quad m = 0.766 \quad n = 0.404$$

严格的表示形式应是

$$\mathbf{F} = (100\text{N})\mathbf{i} + (153.2\text{N})\mathbf{j} + (80.8\text{N})\mathbf{k}$$

或者 $\mathbf{F} = (100\mathbf{i} + 153.2\mathbf{j} + 80.8\mathbf{k})\text{N}$

省掉矢量分量的单位是为了简化表示形式。

例 1-11 加速度 $\mathbf{a}$ 的直角分量是 $a_x = 6, a_y = 4, a_z = 9$, 单位为 m/s^2 , 则 $\mathbf{a}$ 可以写成

$$\mathbf{a} = 6\mathbf{i} + 4\mathbf{j} + 9\mathbf{k}$$

$\mathbf{a}$ 的大小是 $a = (6^2 + 4^2 + 9^2)^{1/2} = 11.53\text{m/s}^2$, 方向余弦为