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）

全国新华书店经销

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

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 $A$、$B$、$m$、$t$、$\rho$ 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 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$、$\boldsymbol{F}$、$\boldsymbol{E}$ 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 $\boldsymbol{F}$，图1-1($b$)给出了矢量 $\boldsymbol{V}$ 的图示。

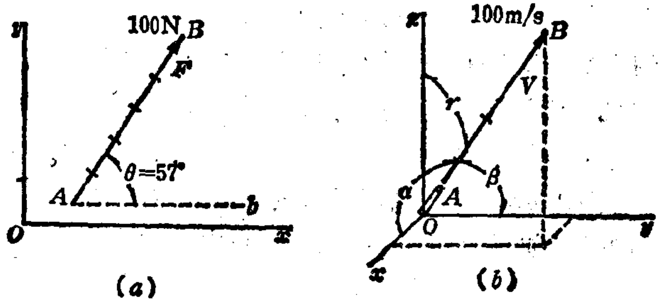


图　1-1

**例 1-1** 图 1-1($a$)中的有向线段$\overline{AB}$,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 $\overline{AB}$ 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 $\overline{AB}$ 表示抛射体以 100m/s 的速度 $\boldsymbol{v}$ 运动。$\overline{AB}$ 的长度表示 $\boldsymbol{v}$ 的大小,角 $\alpha$, $\beta$ 和 $\gamma$ 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 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 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$\boldsymbol{F}_1$和 $\boldsymbol{F}_2$ 为平行四边形的两邻边,则对角线 $\boldsymbol{R}$ 给出合矢量的大小和方向。可以写成

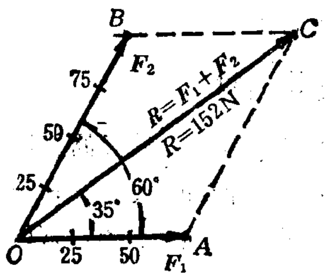


图 1-2

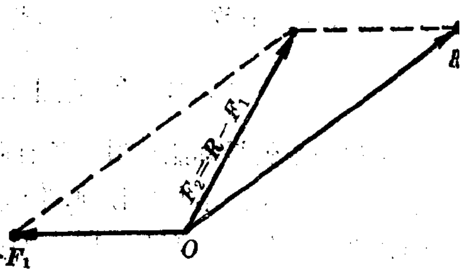


图 1-3

$$\boldsymbol{R}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2。$$

**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 $\boldsymbol{R}$,它的大小约为 $R=152$N,与 $OA$ 方向成 $\alpha\approx35°$。也可以通过计算的方法求得 $\boldsymbol{R}$ 和 $\alpha$。

**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 $m=0.2$kg,求在力 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 的作用下获得的加速度是多少?

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

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

加速度的方向与 $\boldsymbol{R}$ 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 $\boldsymbol{R}$ 和 $\boldsymbol{F}_1$，求 $\boldsymbol{F}_2$。

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

**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 4m/s，船相对水的速度是 6m/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 $\boldsymbol{v}_水$ 的大小和方向，船相对水的速度 $\boldsymbol{V}_{船水}$ 的大小，船沿 $AB$ 方向的速度 $\boldsymbol{v}_{AB}$ 方向及 $AB$ 线段的大小和方向，要求的是 $\boldsymbol{v}_{AB}$ 的大

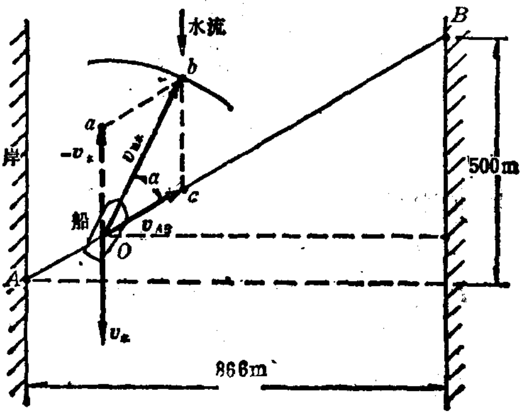


图 1-4

小和 $v_{AB}$ 与 $v_{船水}$ 的夹角 $\alpha$。)

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 $-v_水$; $ab$ 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 $\alpha$ 都可以确定,经大致测量可得 $v_{AB}=3.0\text{m/s}$, $\alpha=35°$,

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 $\boldsymbol{F}$ 的分量 $F_x$ 和 $F_y$ 的大小。前面的图 1-2 中的 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 分别表示矢量 $\boldsymbol{R}$ 沿斜线 $OA$ 和 $OB$ 方向上的分矢量。图 1-6 中的 $\boldsymbol{F}_x$、$\boldsymbol{F}_y$ 和 $\boldsymbol{F}_z$ 是矢量 $\boldsymbol{F}$ 的直角坐标分矢量,分量写成 $F_x$、$F_y$ 和 $F_z$。

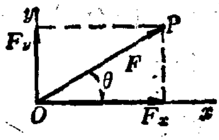


图 1-5

图 1-5 中,很明显

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

图 1-6 中,$\boldsymbol{F}$ 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 $\boldsymbol{F}$ 的方向余弦。可以证明

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1。$$

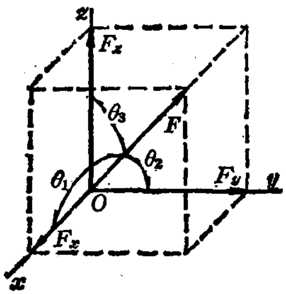


图　1-6

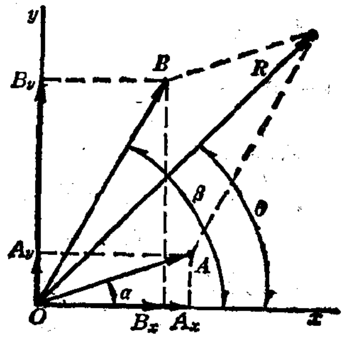


图　1-7

**例 1-7**　($a$)设图 1-5 中的 $\boldsymbol{F}$，大小为 300N，$\theta = 30°$，则有

$F_x = 300\cos 30° = 259.8\text{N}$　　$F_y = 300\sin 30° = 150\text{N}$

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

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

$F_y = 300\sin 145° = 300(+0.5736) = 172.07\text{N}$。

**例 1-8**　若图 1-6 中 $\boldsymbol{F}$ 的大小是 200N，$\theta_1 = 60°$，$\theta_2 = 40°$，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 $n = -0.404$)。$\boldsymbol{F}$ 的直角坐标分量是

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

$\theta_3 = 66.17°$

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 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 相加可以写成 $\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B} = \boldsymbol{R}$，$\boldsymbol{R}$ 是 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 矢量之和。$\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 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 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 用它们的分量来表示，

则 $\boldsymbol{R}$ 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

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

$\boldsymbol{R}$ 的方向余弦为

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

共点的三个矢量 $\boldsymbol{F}_1$、$\boldsymbol{F}_2$ 和 $\boldsymbol{F}_3$，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 $\boldsymbol{F}_1$ 的 $x$ 分量，其余类推。$\boldsymbol{R}$ 的方向余弦为

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

$$n = \frac{F_{1z} + F_{2z} + F_{3z}}{R}$$

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 $\boldsymbol{A}$ 表示 50N 的力，与 $x$ 方向成 $\alpha = 20°$，$\boldsymbol{B}$ 表示 80N 的力，与 $x$ 方向成 $\beta = 60°$，求矢量和

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

$\quad\quad B_x = 40\text{N} \qquad\qquad B_y = 69.28\text{N}$

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

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

由于 $\quad \operatorname{tg}\theta = \dfrac{17.1 + 69.28}{46.98 + 40} \approx 1$

所以 $\quad \theta \approx 45°$。

## §1.4 单 位 矢 量

任何一个矢量都可以写成

$$\boldsymbol{F}=F\boldsymbol{e}$$

的形式。式中 $F$ 是矢量 $\boldsymbol{F}$ 的大小，$\boldsymbol{e}$ 是 $\boldsymbol{F}$ 方向上的单位矢量。$\boldsymbol{F}$ 和 $F$ 的单位相同，$\boldsymbol{e}$ 的大小为 1，是一个无量纲的矢量。这样 $\boldsymbol{F}$ 可以用 $F$ 和 $\boldsymbol{e}$ 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。$\boldsymbol{F}$ 的分矢量式可以写成 $F_x\mathbf{i}$，$F_y\mathbf{j}$，$F_z\mathbf{k}$。由于 $\boldsymbol{F}$ 是它分矢量求和的结果，故矢量 $\boldsymbol{F}$ 沿坐标轴分解的表达式为

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

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 $\boldsymbol{F}$ 能写成

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

$\boldsymbol{F}$ 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

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

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

省掉矢量分量的单位是为了简化表示形式。

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

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

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