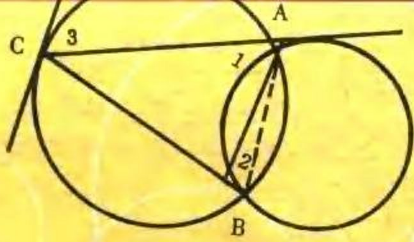
数理化基础知识



物理

(一)

山东科学技术出版社

数理化基础知识

物　　理

（一）

周长贺　　　欧阳玲君
任兰亭　田均复　章云台

山东科学技术出版社

一九八〇年·济南

内 容 提 要

本书是《数理化基础知识》中的一本。它系统地介绍了运动学、动力学、功和能、冲量和动量等力学方面的基本理论，以及圆周运动、刚体平衡、流体力学、振动和波等运动的特殊规律。书中还选用了各种类型的例题和习题，对解答物理问题的规律也作了适当的说明，以利于读者提高分析问题和解决问题的能力。

本书可供中等业余学校作教材用，也可作为知识青年和干部的自学用书，还可供考大学的青年和在校学生学习参考。

数理化基础知识

物 理

（一）

周长贺　　欧阳玲君

任兰亭　田均复　章云台

·

山东科学技术出版社出版

山东省新华书店发行

山 东 人 民 印 刷 厂 印 刷

·

787×1092毫米 32开本 15.75印张 335千字

1980年10月第1版　1980年10月第1次印刷

印数：1—34,600

书号 13195·37　定价 1.35 元

编者的话

数学、物理、化学是重要的基础学科。它已经渗透到人们的全部实践活动。纵览宇宙，运算天体，探索粒子之微，揭示生命之谜，从高深抽象的科学理论，到人们丰富繁杂的日常生活无处不用数理化。今天，在向四化进军中，越来越显示出学好数学、物理、化学的重要作用。

从提高整个中华民族的科学文化水平出发，为配合业余教育的全面开展，满足广大读者自学的急切需要，特别是为了帮助考大学的青年和在校学生加深对课本知识的理解，提高分析问题和解决问题的能力，我们编写了这套《数理化基础知识》。其中，《代数》3 册，《几何》、《三角》、《解析几何》、《微积分》各一册；《物理》4 册；《化学》2 册。

在编写过程中，我们根据成人和速成的特点，参照教育部现行中学教学大纲的内容，由浅入深，循序渐进，着重讲清数学、物理、化学的基本概念和基本知识，对每一章中的关键性问题都做了重点介绍，并重视了运算技巧的训练和分析总结解题规律。每册书都选有一定数量的综合性习题，在选习题时还注意了习题的典型性，以培养读者举一反三的能力。每章后有小结，难度大的习题有提示，每册书末有答案备查。

这套基础知识丛书，可供中等业余学校作教材用，也可作为知识青年和干部的自学用书，还可供考大学的青年和在校学生学习参考。

目　录

第一章　运动学……1
§1·1　机械运动……1
§1·2　位移矢量与矢量的加减法……4
§1·3　直线运动的描述方法……11
§1·4　速　度……15
§1·5　匀加速直线运动……20
§1·6　自由落体运动……28
§1·7　竖直上抛物体的运动……34
§1·8　平抛物体的运动……40
§1·9　运动的合成与分解……44
§1·10　斜抛物体的运动……49
小　结……56
复习题一……59
第二章　动力学……63
§2·1　牛顿第一运动定律……63
§2·2　牛顿第二运动定律……66
§2·3　牛顿第三运动定律……73
§2·4　重　力……75
§2·5　弹　力……81
§2·6　摩擦力……85
§2·7　惯性力……90
§2·8　牛顿运动定律的应用……94

小　结 …… 103
复习题二 …… 104
第三章　物体的平衡 …… 113
§3·1　物体的受力分析 …… 113
§3·2　在共点力作用下物体的平衡 …… 117
§3·3　有固定转轴物体的平衡 …… 129
§3·4　平行力的平衡 …… 134
§3·5　物体的一般平衡条件 …… 137
§3·6　物体的重心和稳度 …… 144
小　结 …… 148
复习题三 …… 149
第四章　功和能 …… 159
§4·1　功和功率 …… 159
§4·2　动能，动能定理 …… 171
§4·3　重力所作的功 …… 178
§4·4　势　能 …… 180
§4·5　机械能转换与守恒定律，功能原理 …… 186
§4·6　能量的转换和守恒定律 …… 199
小　结 …… 200
复习题四 …… 203
第五章　动量与动量守恒定律 …… 212
§5·1　动量和冲量，动量原理 …… 212
§5·2　动量守恒定律 …… 222
§5·3　碰　撞 …… 232
§5·4　中子的发现 …… 242
§5·5　反冲运动与火箭的推进原理 …… 244
小　结 …… 250
复习题五 …… 251

第六章　圆周运动与万有引力 …… 260
§6·1　匀速圆周运动，线速度，角速度 …… 260
§6·2　向心加速度 …… 264
§6·3　向心力和惯性离心力 …… 267
§6·4　水平圆周运动 …… 270
§6·5　竖直圆周运动 …… 274
§6·6　离心运动与离心机械 …… 282
§6·7　开普勒行星运动定律 …… 284
§6·8　万有引力定律 …… 290
§6·9　万有引力定律的应用 …… 294
§6·10　地球上物体重量的变化 …… 296
§6·11　人造卫星和宇宙速度 …… 300
小　结 …… 304
复习题六 …… 306
第七章　刚体的定轴转动 …… 311
§7·1　刚体的平动 …… 311
§7·2　刚体的定轴转动 …… 312
§7·3　力矩，转动惯量和转动定律 …… 322
§7·4　动量矩与动量矩守恒定律 …… 331
§7·5　力矩的功，刚体的转动动能 …… 334
小　结 …… 339
复习题七 …… 341
第八章　机械振动 …… 344
§8·1　简谐振动 …… 344
§8·2　无阻尼自由振动，单摆振动定律 …… 358
§8·3　简谐振子的能量 …… 366
§8·4　阻尼振动，受迫振动，共振 …… 369
§8·5　振动的合成 …… 374

小　结 …………………………………………………………… 377
复习题八 ………………………………………………………… 380
第九章　机械波 ………………………………………………… 383
§9·1　机械波的产生和传播 ……………………………… 383
§9·2　描写波动的物理量 ………………………………… 388
§9·3　平面简谐波的方程 ………………………………… 392
§9·4　惠更斯原理，波的衍射 …………………………… 399
§9·5　波的迭加原理，干涉和驻波 ……………………… 402
§9·6　声波及其特性，多普勒效应 ……………………… 412
§9·7　超声波及其应用 …………………………………… 421
小　结 …………………………………………………………… 423
复习题九 ………………………………………………………… 425
第十章　流体力学 ……………………………………………… 429
§10·1　压强、密度、重度和比重 ………………………… 429
§10·2　液体内部的压强 …………………………………… 431
§10·3　大气压强与液体内部压强的传递 ………………… 434
§10·4　阿基米德原理 ……………………………………… 440
§10·5　连续性原理 ………………………………………… 448
§10·6　伯努利方程 ………………………………………… 452
§10·7　伯努利方程的应用 ………………………………… 455
小　结 …………………………………………………………… 459
复习题十 ………………………………………………………… 460
总复习题 ………………………………………………………… 464
习题答案 ………………………………………………………… 473

第一章 运 动 学

运动学是从几何的观点，来研究物体的运动规律，也就是研究物体在空间的相对位置如何随着时间而发生变化。

本章主要讨论匀变速直线运动，对于转动和曲线运动只略作说明。

§1·1 机 械 运 动

一、机械运动

物体之间或物体内各部分之间相对位置发生改变的过程，称为**机械运动**。机械运动是物体最简单、最基本的运动形式。各种复杂的、高级的运动形式，都包含着这种最基本的运动形式。所以，在研究各种复杂的、高级的运动形式以前，首先讨论这种最简单的运动形式。力学中所讨论的物体的运动只限于机械运动，因而通常把机械二字省略，简称为运动。例如，火箭在天空中飞行，潜艇在水下游弋，工件在车床上旋转，琴弦在柱码间振动，这些都是机械运动的例子。而象火炉变热、电灯发光、原子弹爆炸等，则不属于机械运动，因为它们没有发生位置的变化，或者位置的变化不起主要作用。

二、运动的相对性

由机械运动的定义可以看出，物体的运动包含两个因素：一是相对位置的改变；二是改变相对位置所用的时间，即任何物质的运动都离不开空间和时间。为了研究物体运动的规律，首先应明确空间位置和时间间隔的意义。

怎样确定一个物体在空间的位置呢？假如有人处在漆黑的旷野里，他除了能够知道自己在地面上以外，对其所处的位置是无法了解得更清楚的。可见，如果只有一个物体存在，再无别的物体，那么，人们便无法谈论它的位置。这就是说，要想说明某个物体A的位置，必须首先选择另外一个物体B作为标准，然后才可以描述A相对于B的位置怎样。这个被选定的用来作为标准的物体B，称为**参照物**。离开了参照物，便无法讨论物体的位置。因此，位置的概念只有相对的意义。

既然物体的位置具有“相对”的含意，那么，由于相对位置的改变而形成的运动也就具有相对的意义了。因此，力学中所研究的每个具体运动都是相对于一定的参照物而言的。通常把这个论断称为**运动的相对性**。

物体运动的相对性还有另一层含意，即对物体运动状况的具体描述，取决于参照物的选择。对于某个物体的运动，如果选取各种不同的参照物，则可得到各种不同的描述。例如，对于地面而言，路旁的树木是静止的，路上行进的车辆是不断移动的。然而，在车上的乘客看来，同车的乘客是不动的，路旁的树木先向眼前扑来，后又疾驶而去，这是因为他选择了汽车作参照物的缘故。由此可知，宇宙中并无所谓绝对的不动的东西，通常我们所说的运动和静止都是相对于某一参照物而言。实际上，参照物也不是绝对静止的，而是时刻在运动着的。因为世界上并无一种东西是绝对静止的，一

切物体都处于永恒的运动之中。例如，最初人们认为地球是绝对静止的，后来通过对天体的研究，发现地球不但绕着太阳公转，而且还绕着自己的对称轴不停地自转（图1·1），同时太阳也带着它的行星一起在银河系中运行。

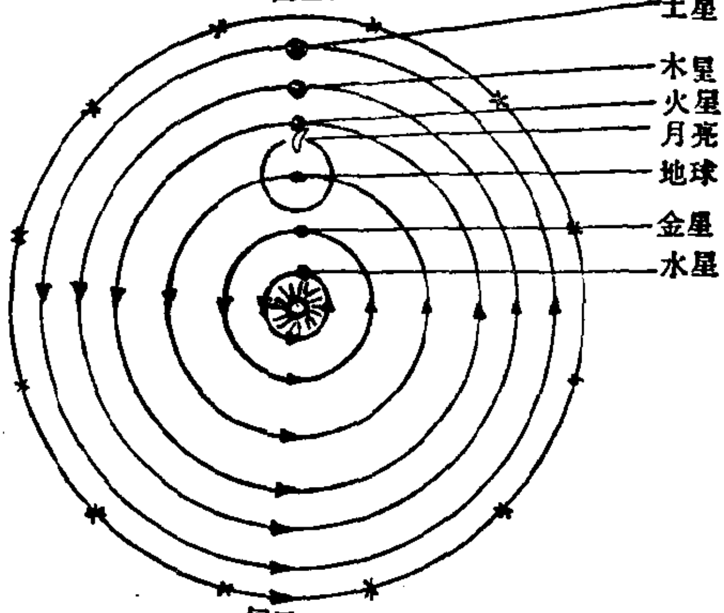


图 1·1

三、平动和转动

如果物体在其运动过程中，物体上任意两点连成的直线，始终保持与它原来平行，这样的运动叫**平动**。例如，活塞相对于汽缸的运动，刨刀相对于工件的运动，抽屉相对于桌面的运动等等，都属于平动。

如果物体在其运动过程中，物体上各个点通过的路径都在某一个圆周上，这种运动叫**转动**。例如，车轮、电风扇、纺纱绽的运动都是转动的例子。关于转动的问题在第七章中讨论。

由于物体在平动过程中，所有各点的运动情况都一样，所以物体上任何一点的运动，都可以代表整个物体的运动。

这样，在研究物体平动时，可以不必考虑它的大小和形状，把整个平动的物体抽象地当作一个点来看待. **这种用来代表物体的点，称为质点. 质点代表着一种只具有质量而没有大小和形状的理想物体.**

一般说来，物体运动时，其内部各点的位置变化常常是各不相同的，而且物体的大小和形状也可能发生变化.但是，如果在我们研究的问题中，物体的大小和形状不起作用，或者所起的作用并不显著又可以忽略不计时，可近似地把物体当作质点. 例如，在研究地球绕太阳公转时，由于地球的平均半径（约为6.4×10^3千米）比地球与太阳间的距离（约为1.50×10^8千米）小得多，地球上各点相对于太阳的运动可以看成是相同的. 这时，就可以忽略地球的大小，把它当作一个质点. 但是，在研究地球的自转时，如果仍把地球当作一个质点，显然是没有实际意义的. 由此可知，一个物体是否可以当作一个质点来处理，应根据问题的具体情况而定.

习 题 1

1. 何谓机械运动？何谓平动？何谓转动？试分别举出只平动而不转动、只转动而无平动以及既平动又转动的例子.

2. 公路上有两辆汽车，以相同的速度沿着相同的方向行驶. 试说明，用什么物体作参照物时，这两辆汽车相对于参照物都是静止的；用什么物体作参照物时，它们又都是运动着的？

§1·2 位移矢量与矢量的加减法

一、坐标系

为了描写质点的位置和运动，需要选择一个适当的参照

物．但是，只选择参照物是不够的，还必须在参照物上建立一种坐标系，才能完全确定物体在空间的相对位置．

在确定一个质点的空间位置时，通常采用直角坐标系．质点在各个时刻的位置用三个坐标数x、y、z来表示．假若质点总是在同一个平面上运动，则可采用平面直角坐标系，质点在各个时刻的位置用x、y表示．如果质点只沿一条固定直线运动，则可在该直线上建立数轴似的直线坐标系．

直角坐标系虽然是常用的坐标系，但在某些问题中，采用直角坐标系将使某些计算显得繁杂．如果采用其他适当的坐标系，就方便得多．在平面问题中，多采用平面极坐标系．在平面极坐标系中，质点的位置可以用极径r和极角θ来表示（图1·2）．

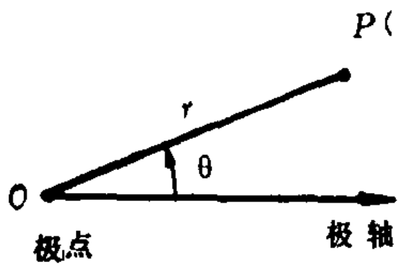


图 1·2

关于坐标原点的位置和坐标轴的方向，可视具体情况，根据便于计算的原则而选取．

二、位置和位移

建立了坐标系之后，质点在坐标系中的位置就可以用它所对应的坐标值表示出来．例如，在讨论活塞相对于汽缸的运动时，通常选取汽缸的中心线为坐标轴，选取活塞顶部中心（代表活塞）上行的最高点（上死点）为原点，取毫米作长度单位．这样，活塞的位置和它的坐标就有了一一对应的

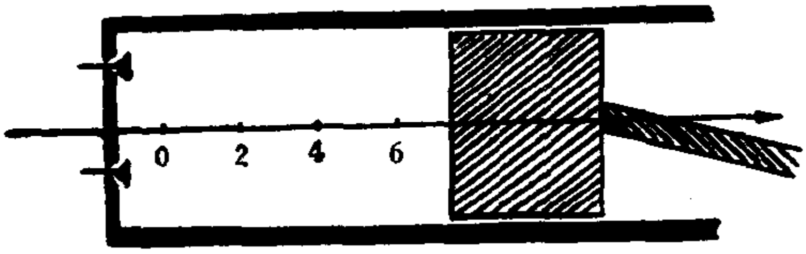


图 1·3

关系。若活塞的坐标为7，就表明活塞顶部位于上死点以下7厘米处（图1·3）。

在坐标系中，质点的位置除了用它所对应的坐标值表示以外，也可以用所谓位置矢量来表示。从坐标系的原点到某个点的有向线段称为该点的**位置矢量**。位置矢量也叫矢径，通常记作 $\mathbf{r}$。

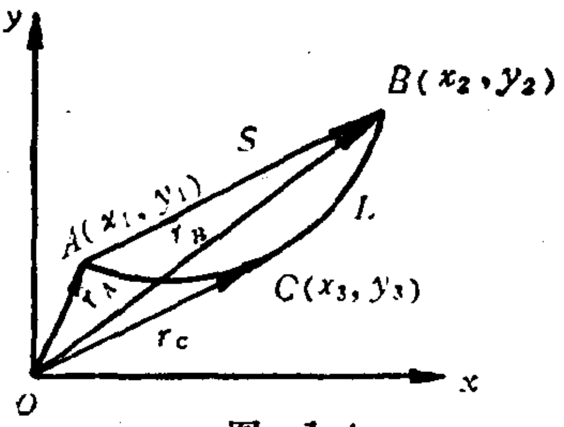


图 1·4

在图1·4中，$\mathbf{r}_A$、$\mathbf{r}_B$和$\mathbf{r}_C$分别表示xoy平面内的A、B、C各点的位置矢量，且

$$\mathbf{r}_A=\mathbf{OA};\quad \mathbf{r}_B=\mathbf{OB};\quad \mathbf{r}_C=\mathbf{OC}. \qquad (1\cdot1)$$

位置矢量的方向从原点指向质点，位置矢量的大小等于从原点到质点的距离，也称为**位置矢量的模**，记作$|\mathbf{r}|$。$|\mathbf{r}|=\sqrt{x^2+y^2}$。

在物体运动过程中，质点的位置是随着时间的改变而改变的。为了描述质点位置的改变情况，通常把在给定时间内，连接从始点到终点的有向线段称为质点在该运动过程中的**位移**，常用符号S表示。例如，在图1·4中，质点从A开始，沿着曲线L，经过C点到达B点，其位移为

$$\mathbf{S}=\mathbf{AB}. \qquad (1\cdot2)$$

值得注意的是，位移和位置矢量这两个概念是不相同的。位移的方向由初位置指向末位置，其大小等于初、

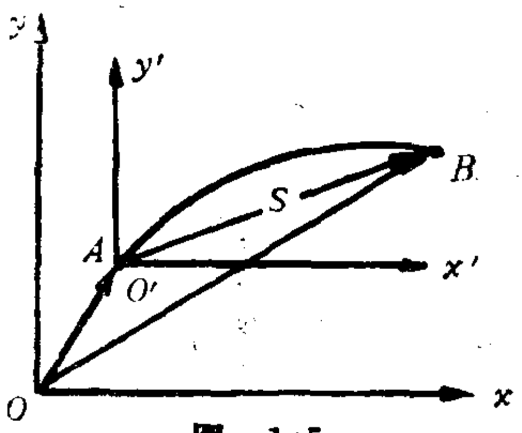


图 1·5

末位置之间的距离．而位置矢量的方向总是由坐标原点指向观察点的．只有当初始位置选为坐标系的原点时（如图1·5中的$x'o'y'$坐标系），两者才是统一的．

位移的大小也称为**位移的模**，记作S或$|\mathbf{S}|$．由图1·4所示的情况可得：

$$S=|\mathbf{S}|=\overline{\mathbf{AB}}=\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2}$$
$$=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}. \qquad (1\cdot3)$$

三、矢量的加减运算

上面已经谈到，在质点运动的过程中，其位移的大小和方向，可以根据始点和终点的坐标来确定，而在处理某些具体问题时，往往只需要根据质点所完成的几个已知位移，来计算它在整个运动过程中的总位移．例如，一侦察卫星探知，某核潜艇在白天向东北移动的距离为$S_1=200$公里，在夜晚向正东移动的距离为$S_2=150$公里（图1·6）．怎样根据$\mathbf{S}_1$和$\mathbf{S}_2$求出它在一昼夜间的总位移呢？总位移$\mathbf{S}$应等于两个连续位移$\mathbf{S}_1$与$\mathbf{S}_2$的矢量和，即

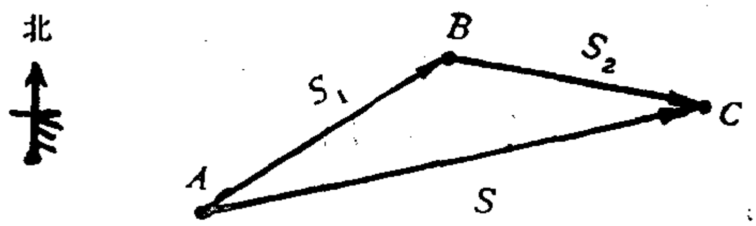


图　1·6

$$\mathbf{S}=\mathbf{S}_1+\mathbf{S}_2. \qquad (1\cdot4)$$

由图1·6可看出，一昼夜之内的总位移$\mathbf{S}$就是有向线段$\mathbf{AC}$．它的求法是：自某点起画出矢量$\mathbf{S}_1$，从$\mathbf{S}_1$的末端起画矢量$\mathbf{S}_2$，则由$\mathbf{S}_1$的始端至$\mathbf{S}_2$的末端所画出的矢量$\mathbf{S}$，就是$\mathbf{S}_1$与$\mathbf{S}_2$的合位移．由于矢量$\mathbf{S}_1$、$\mathbf{S}_2$与$\mathbf{S}$构成一个三角形，因此，这种方

法被称为**矢量合成（相加）的三角形法则**。

在求解矢量$\mathbf{S}_1$与$\mathbf{S}_2$的和时，也可以由同一点分别画出矢量$\mathbf{S}_1$和$\mathbf{S}_2$，然后以$\mathbf{S}_1$和$\mathbf{S}_2$为邻边作平行四边形，在此四边形中，以始点所作的对角线矢量，就是$\mathbf{S}_1$与$\mathbf{S}_2$的合矢量（图1·7）。**这种求解合矢量的方法称为平行四边形法则**。

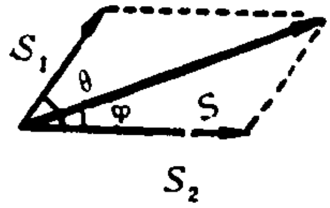


图 1·7

在应用三角形或平行四边形法则求矢量和的时候，通过作图求解往往不够准确。这时可根据两矢量的大小及夹角θ，利用余弦定理来计算合矢量的大小和方向。

$$S=\sqrt{S_1^2+S_2^2+2S_1S_2\cos\theta},\tag{1·5}$$

$$\varphi=\mathrm{tg}^{-1}\frac{S_1\sin\theta}{S_2+S_1\cos\theta}.\tag{1·6}$$

在求解多个矢量的和时，可以先任意选取两个矢量求和，然后再把求得的和与第三个矢量求和，依此类推，直求到最后一个矢量为止。此外，也可以将各个已知矢量依次首尾相连作图。由第一个矢量的始端到最后一个矢量的末端所作出的矢量就是这些矢量之和（图1·8）。这种方法称为**矢量合成的多边形法则**。

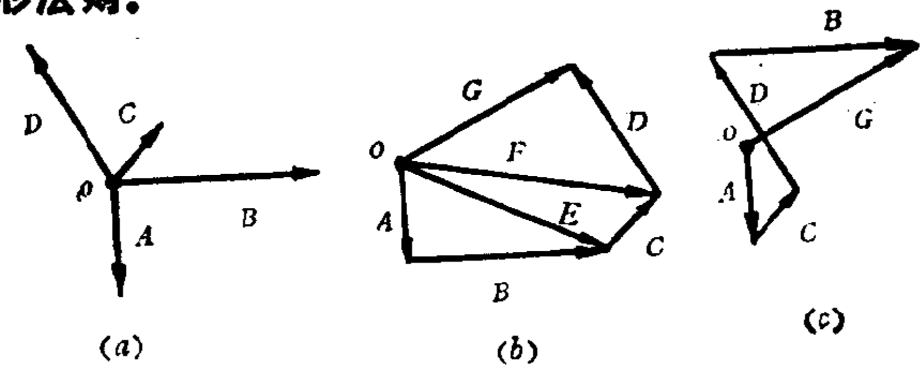


图 1·8

几个矢量的和称为**合矢量**，每个参与相加的矢量称为**分矢量**。由分矢量求合矢量叫做**矢量的合成**；由合矢量求分矢量叫做**矢量的分解**。

求合矢量的方法，还有一种经常使用的**正交分解法**。它是把每一个参与合成的矢量都投影到两个互相垂直的坐标轴上，然后用简单的加减法求出合矢量的两个分矢量，再根据矢量加法求得合矢量。

【例1】 如图1·9所示的三矢量$\mathbf{A}_1$、$\mathbf{A}_2$、$\mathbf{A}_3$，已知$|\mathbf{A}_1|=12$米，$|\mathbf{A}_2|=20$米，$|\mathbf{A}_3|=15$米，$\alpha=60°$，$\beta=135°$，试用正交分解法求$\mathbf{A}_1$、$\mathbf{A}_2$和$\mathbf{A}_3$的合矢量。

解 取直角坐标系的x轴与$\mathbf{A}_1$方向相同〔图1·9(b)〕，这时，

$$\begin{cases}A_{1x}=12,\\A_{1y}=0;\end{cases}\qquad\begin{cases}A_{2x}=20\cos60°=10,\\A_{2y}=20\sin60°\approx17.3;\end{cases}$$

$$\begin{cases}A_{3x}=-15\cos45°\approx-10.6,\\A_{3y}=-15\sin45°\approx-10.6;\end{cases}$$

所以，

$$A_x=12+10-10.6=11.4\text{米},$$
$$A_y=0+17.3-10.6=6.7\text{米}.$$

由此可得〔图1·9(c)〕

$$A=\sqrt{A_x^2+A_y^2}=\sqrt{11.4^2+6.7^2}=13.2\text{米},$$

$$\theta=\operatorname{tg}^{-1}\frac{A_y}{A_x}=\operatorname{tg}^{-1}\frac{6.7}{11.4}=30°26'37''.$$