高等学校专科教材

工科物理教程

北京化工学院应用数理系

王敏修　苏雁北　主编

中国计量出版社

新登（京）字024号

内 容 提 要

本书是供高等工科院校专科三年制和二年制的普通物理课程使用的教材。全书包括力学、流体力学、分子动理论、热力学、电磁学、振动和波、波动光学、量子物理基础等内容，共十四章。本书具有内容简练，深广度适当，物理概念清晰与实用性广泛等特点，并配有习题和答案，便于参考使用。

本书也可作为电大、职工大学、函授及成人自学等的参考资料。

高等学校专科教材

工 科 物 理 教 程

北京化工学院应用数理系

王敬修　苏耀北　主编

*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

河北永清第一胶印厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本850×1168/82　印张 13.25　字数 353 千字

1994 年 1 月第 1 版　　1994 年 8 月第 2 次印刷

印数 4001－7000

ISBN7-5026-0646-7/G·52

定价 9.40 元

前　言

物理学是工程专科学校各专业必修的一门重要基础课程。为了适应日益发展的高等工程专科教育对物理学教材的需要，编者根据1991年国家教委颁发的《高等工程专科物理学课程教学基本要求》编写了本教材。本教材力求内容简练，深广度适当，物理概念清晰，使学生掌握物理学中最基本的规律和概念，有比较完整的物理图象，并了解物理理论在工程技术上的应用。

本教材可作为教学时数为80学时左右的工科大专院校一般专业试用教材，也可作为广播大学、业大、函授、成人大专自学等物理课参考教材。

本教材由苏耀北（力学、流体力学），王敬修（分子动理论、热力学、量子物理基础），王文科（电磁学），马采宜（振动和波、波动光学）编写，全书插图由王敬修绘制。本书主编由王敬修、苏耀北担承。在编写过程中得到了北京化工学院和应用数理系的领导、物理教研室同仁以及中国计量出版社徐鹅、许宇凌等同志的支持。编者在此表示衷心感谢。

由于编者的学识水平有限，且时间仓促，难免有不足之处，恳请读者指正。

编　者

1993年8月于北京

本课程讲课学时分配参考意见

课　程	学时	课　程	学时
质点运动学	4	电磁感应	6
质点动力学	8	机械振动	5
刚体的转动	4	机械波	5
流体的运动	2	光的干涉	4
气体分子动理论	5	光的衍射	4
热力学基础	5	光的偏振	2
静电学	7	量子物理基础	4
电　流	2	机　动	6
稳恒磁场	7		

总共 80 学时

目　　录

第一章 质点运动学

质点运动学研究质点运动的描述。本章讲述描写质点运动的物理量位置矢量、位移、速度、加速度及其相互关系。作为预备知识介绍矢量的表示方法和运算规则。

§1 矢量的运算

一、标量和矢量

物理学中经常遇到的物理量可分两类。一类如长度、质量、时间、温度等，**只有大小而没有方向，称为标量**。标量的运算遵照代数的运算法则。另一类如力、速度、加速度、电场强度、磁感应强度等，**既有大小，又有方向，称为矢量**。矢量的表示和运算法则都和标量不同。

二、矢量的表示方法

矢量书写时常用上面加箭头的字母表示，如 $\vec{A}$，$\vec{B}$ 等。印刷时常用粗体字母表示，如 $\boldsymbol{A}$，$\boldsymbol{B}$ 等。

矢量的大小称为矢量的模。矢量 $\vec{A}$ 的模表示为 $|\vec{A}|$ 或不加箭头的字母 A。矢量的模是个绝对值。

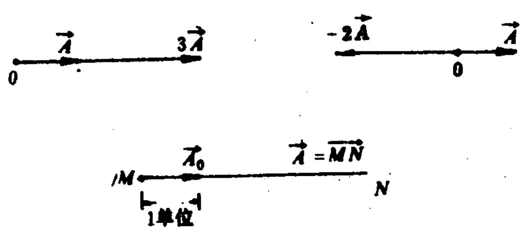

图 1-1

矢量可用一个有向线段图示。线段的方向表示矢量的方向，线段的长度表示矢量的模。有向线段的起点和终点如分别为 M 点和 N 点，此矢量也可以表示为 $\overrightarrow{MN}$（见图 1-1）。

一个数 m 和矢量 $\vec{A}$ 相乘记为 $m\vec{A}$，规定为一个矢量。其模为 $\vec{A}$ 的模的 $|m|$ 倍，即 $|m\vec{A}|=|m|A$。其方向当 m 为正数时（$m>0$）与 $\vec{A}$ 的方向相同；当 m 为负数时（$m<0$）与 $\vec{A}$ 的方向相反。

按此规定，矢量 $\vec{A}$ 可表示为 $\vec{A}=A\vec{A}_0$，其中 A 为 $\vec{A}$ 的模，$\vec{A}_0$ 表示方向与 $\vec{A}$ 相同，大小为一个单位（$|\vec{A}_0|=1$）的矢量，称为 $\vec{A}$ 方向的单位矢量。

如图 1-2 所示，在直角坐标系中，一个空间矢量的方向可以用矢量和三个坐标轴正方向之间的夹角 α、β、γ 表示。它们称为矢量的方向角，只取小于或等于 π 的值，且满足关系

$$\cos^2\alpha+\cos^2\beta+\cos^2\gamma=1$$

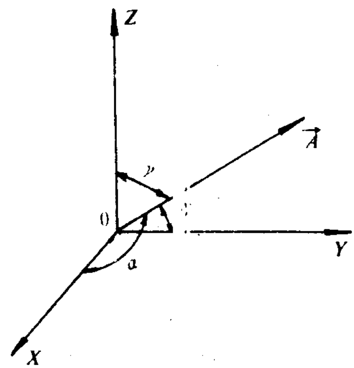

图 1-2

矢量 $\vec{A}$ 在三个坐标轴上的投影

$$\boxed{\begin{aligned} A_x &= A\cos\alpha \\ A_y &= A\cos\beta \\ A_z &= A\cos\gamma \end{aligned}} \tag{1-1}$$

也称为矢量 $\vec{A}$ 在三个坐标轴方向的分量。它们都是可正、可负的数。当矢量 $\vec{A}$ 的大小和方向（A，α，β，γ）确定时，它的三个分量是唯一确定的。反之，若矢量的三个分量已知时，矢量的模和方向通过下面公式也可求出。

$$\boxed{\begin{gathered} A=\sqrt{A_x^2+A_y^2+A_z^2} \\ \cos\alpha=\frac{A_x}{A},\cos\beta=\frac{A_y}{A},\cos\gamma=\frac{A_z}{A} \end{gathered}} \tag{1-2}$$

因此一个空间矢量可以用它的三个分量来表示。

对于一个平面矢量，设所在平面为 $x0y$ 平面，则矢量的 z 分量总等于零。矢量可用其 x，y 方向的两个分量表示（见图 1-3）。又因此时 $\alpha+\beta=\frac{\pi}{2}$，矢量的分量和模、方向之间的关系为

$$\boxed{\begin{cases} A_x = A \quad \cos\alpha \\ A_y = A \quad \sin\alpha \end{cases}} \tag{1-3}$$

$$\boxed{\begin{cases} A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \\ \mathrm{tg}\alpha = \dfrac{A_y}{A_x} \end{cases}} \tag{1-4}$$

若矢量总在一直线上，取此直线为 x 轴，则矢量 $\vec{A}$ 只用一个分量 A_x 就可表示。此时 $\vec{A}$ 只有两个方向。当 $\vec{A}$ 与 x 轴同向时（$\alpha=0$）$A_x=A$；当 $\vec{A}$ 与 x 轴反向时（$\alpha=\pi$）$A_x=-A$。因此分量 A_x 的绝对值就是 $\vec{A}$ 的模。$|A_x|=A$。分量 A_x 的正负就可表示 $\vec{A}$ 的方向。

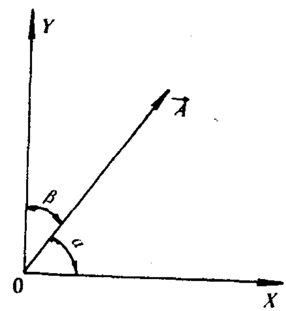

图 1-3

三、矢量的加法

两个矢量 $\vec{A}$ 和 $\vec{B}$ 相加，等于一个新矢量 $\vec{C}$，写成 $\vec{C}=\vec{A}+\vec{B}$

已知矢量 $\vec{A}$，$\vec{B}$ 求其矢量和 $\vec{C}$ 的方法有以下几种。

1. 平行四边形法则：

将表示 $\vec{A}$，$\vec{B}$ 的两有向线段的起点重合，则以 $\vec{A}$，$\vec{B}$ 为邻边所构成的平行四边形的对角线（如图 1-4）表示 $\vec{A}$，$\vec{B}$ 的矢量和 $\vec{C}$。

2. 三角形法则：

如图 1-5 所示，将矢量 $\vec{B}$ 的起点放在矢量 $\vec{A}$ 的终点上，则由矢量 $\vec{A}$ 的起点到矢量 $\vec{B}$ 的终点所作的有向线段表示 $\vec{A}$，$\vec{B}$ 的矢量和 $\vec{C}$。

以上两种方法需通过作图来实现，称为几何法。由 $\vec{A}$，$\vec{B}$ 的大小及两矢量的夹角，利用三角学中的余弦定理就可求出矢量 $\vec{C}$ 的

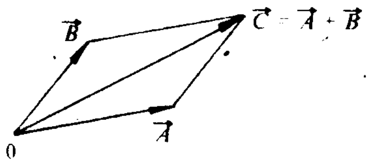

图 1-4

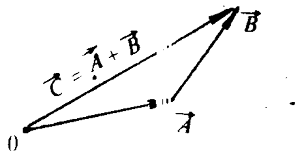

图 1-5

大小和方向。

矢量和 $\vec{C}$ 的大小一般不等于矢量 $\vec{A}$，$\vec{B}$ 的大小之和。只有当 $\vec{A}$ 和 $\vec{B}$ 方向相同时，$C=A+B$ 才是正确的。而在 $\vec{A}$ 和 $\vec{B}$ 方向相反时，$C=|A-B|$。一般情况下，$|A-B|\leqslant C\leqslant A+B$。矢量和 $\vec{C}$ 的模随 $\vec{A}$，$\vec{B}$ 两矢量的夹角不同而变。

3. 解析法：

矢量的正交分解：如图 1-6 所示，根据矢量加法的几何法，一

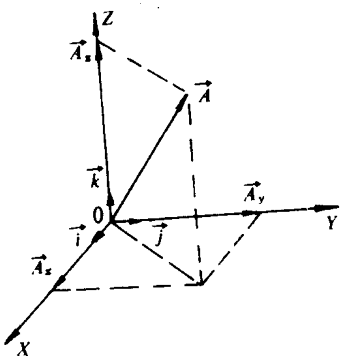

图 1-6

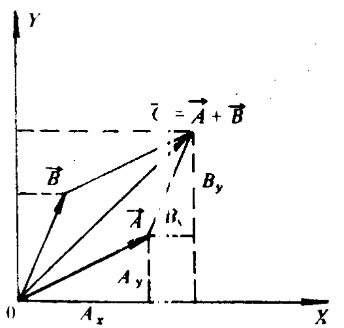

图 1-7

个空间矢量可以分解为三个相互垂直的分矢量的矢量和。

$$\vec{A}=\vec{A}_x+\vec{A}_y+\vec{A}_z$$

式中$\vec{A}_x$，$\vec{A}_y$，$\vec{A}_z$分别平行于 x 轴，y 轴和 z 轴，称为矢量 $\vec{A}$在 x，y，z 方向的分矢量。

若以 $\vec{i}$，$\vec{j}$，$\vec{k}$分别表示沿 x 轴，y 轴，z 轴正方向的单位矢量，则各分矢量又可表示为

$$\vec{A}_x = A_x\vec{i}\text{，}\vec{A}_y = A_y\vec{j}\text{，}\vec{A}_z = A_z\vec{k}$$

式中 A_x，A_y，A_z 就是矢量 $\vec{A}$在 x，y，z 轴方向的分量（投影）。于是空间矢量 $\vec{A}$可正交分解表示为

$$\boxed{\vec{A} = A_x\vec{i} + A_y\vec{j} + A_z\vec{k}} \tag{1-5}$$

$x0y$ 平面中的平面矢量 $\vec{A}$，可正交分解表示为

$$\vec{A} = A_x\vec{i} + A_y\vec{j}$$

x 轴上的一维矢量 $\vec{A}$可表示为

$$\vec{A} = A_x\vec{i}$$

利用分量进行矢量相加的方法称为解析法。为简单起见以平面矢量为例说明。

矢量 $\vec{A}$、$\vec{B}$的矢量和为矢量 $\vec{C}$。如图 1-7 所示，$\vec{C}$的分量应等于$\vec{A}$、$\vec{B}$的分量之和。

$$C_x = A_x + B_x\text{，}C_y = A_y + B_y$$

于是为求 $\vec{A}$，$\vec{B}$的矢量和 $\vec{C}$，可先由 $\vec{A}$，$\vec{B}$的分量求得 $\vec{C}$的分量，再由分量求 $\vec{C}$的大小和方向。

$$C = \sqrt{C_x^2 + C_y^2}\text{，}\quad \mathrm{tg}\alpha = \frac{C_y}{C_x}$$

用正交分解法表示则为

$$\boxed{\begin{aligned}\vec{C} &= \vec{A} + \vec{B} = (A_x\vec{i} + A_y\vec{j}) + (B_x\vec{i} + B_y\vec{j}) \\ &= (A_x + B_x)\vec{i} + (A_y + B_y)\vec{j} = C_x\vec{i} + C_y\vec{j}\end{aligned}} \tag{1-6}$$

四、矢量的减法

矢量 $\vec{A}$减去矢量 $\vec{B}$得一新矢量 $\vec{C}$。表示为

$$\vec{C} = \vec{A} - \vec{B}$$

由矢量 $\vec{A}$，$\vec{B}$求其矢量差 $\vec{C}$的方法如下。

1. 三角形法则：

如图 1-8 所示，将矢量 $\vec{A}$和矢量 $\vec{B}$的起点重合，由矢量 $\vec{B}$的终点到矢量 $\vec{A}$的终点所作的有向线段就表示矢量 $\vec{C}=\vec{A}-\vec{B}$。

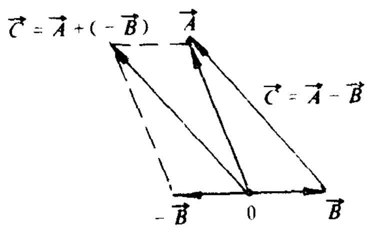

图 1-8

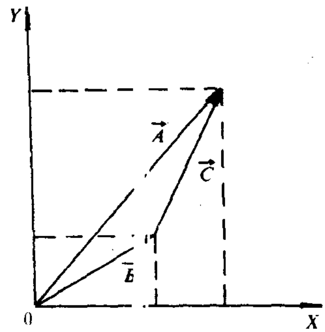

图 1-9

若把 $\vec{A}-\vec{B}$看成 $\vec{A}+(-\vec{B})$，容易看到矢量的几何减法和矢量的几何加法是相一致的。

2. 解析法：

矢量 $\vec{A}$减去矢量 $\vec{B}$得矢量 $\vec{C}$，如图 1-9 所示，$\vec{C}$的分量应等于 $\vec{A}$的分量减去 $\vec{B}$的分量。

$$C_x = A_x - B_x \quad C_y = A_y - B_y$$

于是为求矢量 $\vec{C}$，可先由 $\vec{A}$，$\vec{B}$的分量求得 $\vec{C}$的分量，再由公式求 $\vec{C}$的大小和方向。

$$C = \sqrt{C_x^2 + C_y^2}, \quad \mathrm{tg}\alpha = \frac{C_y}{C_x}$$

用正交分解法表示，则为

$$\boxed{\begin{aligned}\vec{C} &= \vec{A} - \vec{B} = (A_x\vec{i} + A_y\vec{j}) - (B_x\vec{i} + B_y\vec{j}) \\ &= (A_x - B_x)\vec{i} + (A_y - B_y)\vec{j} = C_x\vec{i} + C_y\vec{j}\end{aligned}} \qquad (1\text{-}7)$$

五、矢量的标量积（数量积，点乘）

两矢量 $\vec{A}$，$\vec{B}$的标量积定义为两矢量的模和两矢量方向夹角

（小于或等于 π 的夹角）余弦的乘积。表示为

$$\boxed{\vec{A} \cdot \vec{B} = AB\cos\theta} \tag{1-8}$$

两个矢量的标量积是个标量。当两矢量的夹角为锐角时（$\theta<\frac{\pi}{2}$），$\vec{A}\cdot\vec{B}>0$，矢量的标量积为正值；当两矢量的夹角为钝角时（$\theta>\frac{\pi}{2}$）$\vec{A}\cdot\vec{B}<0$，标量积为负值。$\vec{A}$，$\vec{B}$方向相同（$\theta=0$）$\vec{A}\cdot\vec{B}=AB$；$\vec{A}$，$\vec{B}$方向相反（$\theta=\pi$）$\vec{A}\cdot\vec{B}=-AB$；$\vec{A}$，$\vec{B}$方向相互垂直$\left(\theta=\frac{\pi}{2}\right)\vec{A}\cdot\vec{B}=0$。

由于$\vec{i}\cdot\vec{i}=\vec{j}\cdot\vec{j}=1$，$\vec{i}\cdot\vec{j}=\vec{j}\cdot\vec{i}=0$，矢量的标量积可用解析法表示为

$$\vec{A}\cdot\vec{B}=(A_x\vec{i}+A_y\vec{j})\cdot(B_x\vec{i}+B_y\vec{j})=A_xB_x+A_yB_y \tag{1-9}$$

六、矢量的矢量积（叉乘）

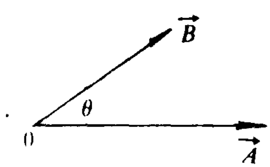

图 1-10

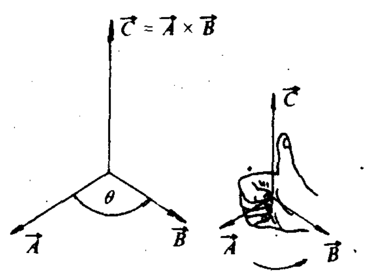

图 1-11

两矢量$\vec{A}$，$\vec{B}$的矢量积为一新矢量$\vec{C}$，表示为

$$\vec{C}=\vec{A}\times\vec{B}$$

如图 1-11 所示。矢量积的模定义为两矢量的模和两矢量方向夹角正弦的乘积

$$C=AB\sin\theta \tag{1-10}$$

矢量$\vec{C}$的方向规定为：

1. $\vec{C}$的方向既垂直于$\vec{A}$的方向，又垂直于$\vec{B}$的方向，即垂直于

$\vec{A}\cdot\vec{B}$两矢量所决定的平面。

2. $\vec{C}$的指向由右手螺旋法则决定。即若右手屈成环状的四指所指为矢量$\vec{A}$经小于π的夹角转向矢量$\vec{B}$的转向，伸直的姆指所指的方向就是矢量$\vec{C}=\vec{A}\times\vec{B}$的方向。

由于$\vec{i}\times\vec{i}=\vec{j}\times\vec{j}=0$，$\vec{i}\times\vec{j}=\vec{k}$，$\vec{j}\times\vec{i}=-\vec{k}$ 矢量积可用正交分解法表示为

$$\vec{C}=\vec{A}\times\vec{B}=(A_x\vec{i}+A_y\vec{j})\times(B_x\vec{i}+B_y\vec{j})$$

$$=(A_xB_y-A_yB_x)\vec{k} \tag{1-11}$$

〔**例题 1**〕 已知两力$\vec{F}_1$和$\vec{F}_2$在同一竖直平面内。力$\vec{F}_1$的大小为 6N（牛顿），方向沿与水平方向的x轴成 30°角的斜上方。力$\vec{F}_2$大小为 8N（牛顿），方向如图 1-12 所示与x轴成 120°角。试求$\vec{F}_1$和$\vec{F}_2$的合力$\vec{F}$。

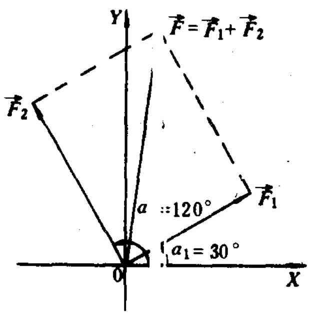

图 1-12

〔**解**〕 由已知条件可求$\vec{F}_1$和$\vec{F}_2$的x，y分量。

$$F_{1x}=F_1\cos\alpha_1=6\cos30°$$
$$=3\sqrt{3}$$
$$F_{1y}=F_1\sin\alpha_1=6\sin30°=3$$
$$F_{2x}=F_2\cos\alpha_2=8\cos120°=-4$$
$$F_{2y}=F_2\sin\alpha_2=8\sin120°=4\sqrt{3}$$

合力$\vec{F}$的x，y分量应为

$$F_x=F_{1x}+F_{2x}=3\sqrt{3}-4=1.20\ \mathrm{N}$$
$$F_y=F_{1y}+F_{2y}=3+4\sqrt{3}=9.93\ \mathrm{N}$$

合力$\vec{F}=1.20\vec{i}+9.93\vec{j}$其大小$F$和其方向与$x$轴正向的夹角$(\vec{F}\cdot\vec{i})=\alpha$，可求得为

$$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}=\sqrt{1.20^2+9.93^2}=10\ \mathrm{N}$$

$$\mathrm{tg}\alpha=\frac{F_y}{F_x}=\frac{9.93}{1.20}=8.28$$

$$\alpha = \mathrm{tg}^{-1}(8.28) = 83.1°$$

〔**例题 2**〕 已知某物体运动速度随时间而变化，可表示为时间的函数 $\vec{v} = (2+3t)\vec{i} + t^2\vec{j}$，式中时间 t 以 s（秒）为单位，速度 v 以 m/s（米/秒）为单位。物体在 t_1 到 t_2 时间内速度增量定义为 t_2 时刻的速度减去 t_1 时刻的速度，记为 $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$，用以表示物体在此时间内速度的变化。试求物体在 $t_1 = 1$s（秒）到 $t_2 = 2$s（秒）时间内的速度增量 $\Delta\vec{v}$。

〔**解**〕 将 $t_1 = 1$ 秒代入 $\vec{v} = (2+3t)\vec{i} + t^2\vec{j}$ 中可得 t_1 时刻物体的速度 $\vec{v}_1 = 5\vec{i} + \vec{j}$

同理将 $t_2 = 2$ s（秒）代入可得 t_2 时刻物体的速度

$$\vec{v}_2 = 8\vec{i} + 4\vec{j}$$

于是速度增量 $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1 = (8\vec{i} + 4\vec{j}) - (5\vec{i} + \vec{j})$

得 $$\Delta\vec{v} = 3\vec{i} + 3\vec{j}$$

速度增量的大小 $|\Delta\vec{v}| = \sqrt{3^2 + 3^2} = 4.24$ m/s

其方向由 $\mathrm{tg}(\Delta\vec{v} \cdot \vec{i}) = \dfrac{(\Delta\vec{v})_y}{(\Delta\vec{v})_x} = \dfrac{3}{3} = 1$

得 $\Delta\vec{v}$ 和 x 轴的夹角 $(\Delta\vec{v} \cdot \vec{i}) = \mathrm{tg}^{-1}(1) = 45°$

§2 位置矢量 运动方程

一、质 点

一个具有一定质量，大小可忽略不计，当作一个点的物体称为质点。

质点是一个理想模型。实际物体都不是几何点，都有一定大小。但以下两种情况下，物体可以当作质点。

1. 物体作平动时。由于平动的物体上各点的运动完全相同。任一点的运动就代表了整个物体的运动。此时完全可以把物体的质量看成集中在其一点上，把物体当作一个质点。

2. 当所研究的物体运动的空间范围比物体本身的大小大得很多，物体上各点的运动相对地说相差甚微。可以近似地把物体当作一个质点。