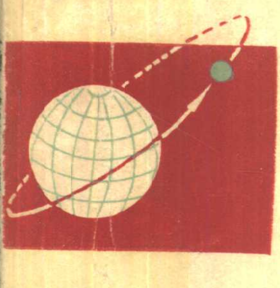
物理学

上册

南京工学院等七所工科院校编



人民教育出版社

物　理　学

上　册

南京工学院等七所工科院校编

人民教育出版社

1977·北京

本书是在江苏省七所工科院校73年编写的《物理》的基础上，按照目前工科院校对物理基础的要求而改编的。

本书按讲授130—150学时编写，分上、中、下三册。上册内容为力学、分子物理和热力学；中册为电学；下册为振动与波、物理光学和近代物理基础。

本书可作为高等工科院校的教学用书，也可供理科非物理专业选用。

物 理 学

上 册

南京工学院等七所工科院校编

*

人民教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海中华印刷厂印刷

*

1977年12月第1版 1978年9月第4次印刷

书号 13012·089 定价 0.58 元

编者的话

物理课是高等工科院校的一门重要基础理论课。通过本课程的学习，使学生较系统地掌握物质运动的基本规律，培养学生运用基本规律对一般问题进行理论分析和计算的能力。充分发挥物理学在培养学生辩证唯物主义世界观方面的作用。

在本书的编写过程中，我们努力运用辩证唯物主义观点来阐明物理学的基本规律；按照理论与实践相统一的原则，从学生易于理解的实际问题中提出问题，引出概念和规律，并指出应用这些概念和规律去解决问题的途径，同时注意培养学生抽象思维的能力；在经典物理与近代物理的关系方面，本书在系统地阐述经典物理的基本规律的同时，指出经典概念的局限性和近代物理的发展。

本书是在一九七三年江苏省工科院校《物理》编写组编写的《物理》的基础上改编成的。在改编中，注意了与现有高中水平相衔接，并作了必要的增补和修改。本书按讲授 130—150 学时编写，有些内容用小字排印，以供选择。

由于我们对马列著作和毛主席著作学习不够，业务水平有限，加之改编时间仓促，因此本书定有不少缺点和错误，衷心希望使用本书的教师和读者，多提出宝贵意见和建议。

参加本书编写工作的院校和人员有：南京工学院（柯景风、马文蔚、曹恕、宋玉亭、李士澂）、南京航空学院（兰信悌、桂永蕃）、华东工程学院（张粉）、华东水利学院（蒋澄华）、南京林产工业学院（王明馨）、无锡轻工业学院（葛元欣）、镇江农机学院（周遥生），并由张粉、马文蔚、王明馨负责定稿。在编写过程中，兄弟院校也给予了大力的支持和帮助。

编　者

1977.12.

目　　录

第一章　矢量的加减法

在研究物理学的过程中，会遇到许多物理量，如质量、力、速度、加速度等等。不仅它们的物理意义不同，而且，就数学运算的法则而言也不尽相同，一般可分为标量、矢量等。本章主要讨论矢量的概念和矢量的加减法运算。

1-1　矢量　标量

在实践中会遇到这样的问题：使用同样大小的力，作用于同一物体上，所产生的效果却不相同。如图 1-1 所示，若由大小为 500 牛顿的力 F 竖直作用于一物体，刚好能把该物体从地面上提起（图 1-1a），而用大小同为 500 牛顿的力去斜拉此物体时，却只可能使其在地面上移动（图 1-1b）。因此，要反映作用在物体上的力，不仅要指明它的大小，而且还必须指明它的方向。又如，使用两个大小均为 250 牛顿的力 F' 作用于上述物体，在图 1-1c 所示的情况下，这两个力的作用效果和一个方向与它们相同、大小为 500 牛顿的力作用的效果相同，同样刚好能把物体提起；而在图 1-1d 所示的情况下，这两个力却不能提起此物体。这说明，在计算两个力的合力时，不能用

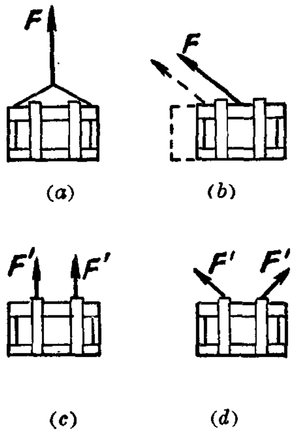


图 1-1　矢量

简单的代数加法，而必须运用新的运算法则。像力这样的物理量，不仅有大小，而且有方向，相加时还必须符合一定的运算法则（平行四边形法则），这种物理量叫做矢量。位移、速度、加速度等也都是矢量。此外，还有一些物理量，只有数值大小，没有方向，而且相加时服从代数法则。这种物理量叫做标量。如质量、时间等都是标量。

矢量通常用带有箭号的字母$\vec{A}$或黑体字母 **A** 来表示[①]，在作图时，常用带箭头的线段来表示。线段的长短按一定比例表示矢量的大小，箭头的指向表示矢量的方向。例如，一列高速火车以 40 米/秒的速度向东行驶，则其速度矢量 **v** 可用图 1-2 中的有向线段表示。

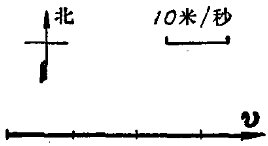


图 1-2　速度矢量的图象表示

矢量的大小叫做矢量的模。矢量 **A** 的模常用符号|**A**|或 A 表示。

1-2　矢量加减的几何法

一　矢量的加法

矢量的运算不同于标量的运算。例如，一物体同时受到几个力的作用，在计算合力时，不能简单地运用代数相加，而必须运用矢量的加法运算。那么，矢量的加法遵守什么规律呢？让我们先看一个实验。如图 1-3*a* 所示，AB 是一弹簧，A 端固定，B 端连接两根细线，分别通过定滑轮挂上 0.3 千克和 0.4 千克的砝码，两细线之间的夹角为 90°。当弹簧的 B 端静止在 O 点时，两根细线

① 本书中一律用黑体字母表示。

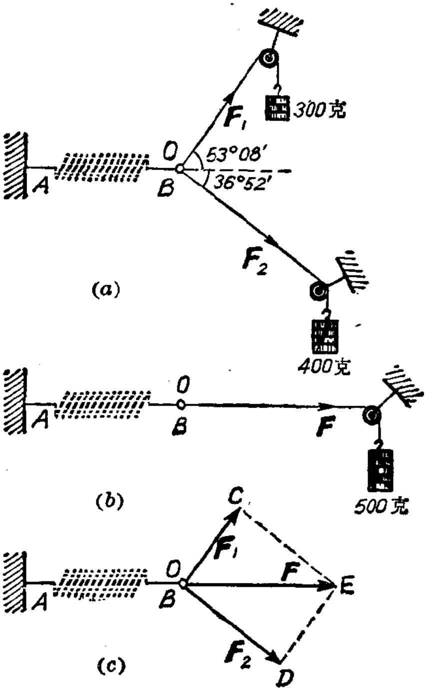


图 1-3　两力的合成

对 B 端的作用力 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 的大小分别为 2.94 牛顿和 3.92 牛顿。如采用图 1-3b 所示的装置，在 B 端连接一根细线，通过定滑轮后，挂上砝码，则当所加砝码为 0.5 千克时，弹簧的 B 端恰好静止于 O 点，此时，细线对 B 端的作用力 $\boldsymbol{F}$ 的大小为 4.9 牛顿。实验表明，力 $\boldsymbol{F}$ 使弹簧伸长的效果与 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 两个力共同作用时的效果相同，我们把 $\boldsymbol{F}$ 叫做 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 两个力的合力。

根据上述实验所表现的合力 $\boldsymbol{F}$ 与 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 之间的关系，我们按一定的比例用线段 BC 和 BD 分别表示力 $\boldsymbol{F}_1$ 和 $\boldsymbol{F}_2$ 的大小，并以它们为邻边作平行四边形，如图 1-3c 所示，用相同比例量出此平行四边形的对角线 BE，就等于合力 $\boldsymbol{F}$ 的大小，对角线与某一邻

边的夹角给出了合力$\boldsymbol{F}$的方向。由此我们可以得出矢量合成(或加法)的平行四边形法则：两矢量$\boldsymbol{A}$与$\boldsymbol{B}$相加的合矢量是以这两矢量为邻边的平行四边形的对角线矢量$\boldsymbol{C}$(图1-4)，写成

$$\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}=\boldsymbol{C} \tag{1-1}$$

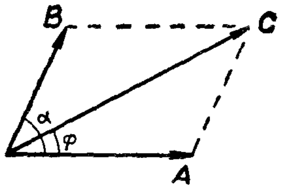


图 1-4　两矢量合成的平行四边形法则

两矢量合成的平行四边形法则可简化为两矢量合成的三角形法则。如图 1-5 所示，自矢量$\boldsymbol{A}$的末端起画出矢量$\boldsymbol{B}$，则自矢量$\boldsymbol{A}$的始端到矢量$\boldsymbol{B}$的末端画出的矢量$\boldsymbol{C}$，就是$\boldsymbol{A}$和$\boldsymbol{B}$的合矢量。由于矢量$\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$与合矢量$\boldsymbol{C}$构成一个三角形，故这种方法叫做矢量合成的三角形法则。对于多矢量的合成，原则上可以逐次采用三

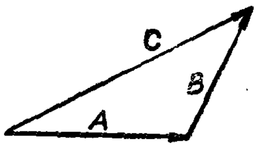


图 1-5　矢量合成的三角形法则

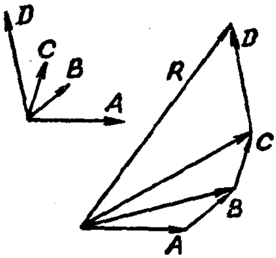


图 1-6　多矢量的合成

角形法则进行，先求出其中两个矢量的合矢量，然后，将该合矢量再与第三个矢量相加，求得三个矢量的合矢量，……，依此类推，即得到多个矢量合成时的多边形法则。如图 1-6 所示，若要求出$\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$、$\boldsymbol{C}$、$\boldsymbol{D}$四个矢量的合矢量时，可从$\boldsymbol{A}$矢量出发，首尾相接地依次画出$\boldsymbol{B}$、$\boldsymbol{C}$、$\boldsymbol{D}$各矢量，然后由第一个矢量$\boldsymbol{A}$的始端到最后一个矢量$\boldsymbol{D}$的末端，作一矢量$\boldsymbol{R}$，这个矢量$\boldsymbol{R}$就是$\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$、$\boldsymbol{C}$、$\boldsymbol{D}$等四个矢

量的合矢量。

合矢量的大小和方向，除了上述几何作图法外，还可根据计算求得。

设矢量 **A** 和 **B** 的夹角为 α，合矢量 **C** 与矢量 **A** 的夹角为 φ（图 1-7），由图可知

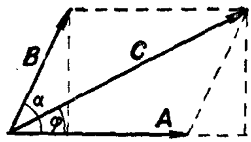


图 1-7　两矢量合成的计算

$$|\mathbf{C}|^2=(B\sin\alpha)^2+(A+B\cos\alpha)^2$$
$$=A^2+B^2+2AB\cos\alpha$$

$$\mathrm{tg}\,\varphi=\frac{B\sin\alpha}{A+B\cos\alpha}$$

故
$$|\mathbf{C}|=\sqrt{A^2+B^2+2AB\cos\alpha}\tag{1-2a}$$

$$\varphi=\mathrm{arc\,tg}\frac{B\sin\alpha}{A+B\cos\alpha}\tag{1-2b}$$

式(1-2a)及(1-2b)给出合矢量的大小 C 及方向 φ。

例　一飞机由某地起飞，向东飞行 50 千米后，又向东偏北 60° 的方向飞行 40 千米，求此时飞机的位置。

解　飞机在飞行中位置的移动，可以用自始端指向末端的有向线段表示，通常叫做位移，位移也是一个矢量。飞机向东飞行 50 千米，可用矢量 **A** 表示，又向东偏北 60° 的方向飞行 40 千米，可用矢量 **B** 表示，而飞机终了的位置则可用矢量 **C** 的终端表示（图 1-8）。由图可知，矢量 **C** 就是 **A** 和 **B** 的矢量和，而两矢量 **A**、**B** 的夹角为 $\alpha=60°$，利用式(1-2a)及(1-2b)即可分别求得矢量 **C** 的大小和方向为

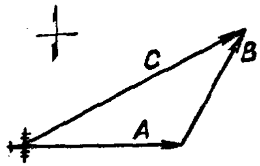


图　1-8

$$|\mathbf{C}|=\sqrt{A^2+B^2+2AB\cos\alpha}$$
$$=\sqrt{50^2+40^2+2\times50\times40\times\cos 60}$$

$$=78.1 \text{ 千米}$$

$$\varphi=\operatorname{arctg}\frac{B\sin\alpha}{A+B\cos\alpha}$$

$$=\operatorname{arctg}\frac{40\times\sin 60^\circ}{50+40\cos 60^\circ}$$

$$=\operatorname{arctg}\frac{40\times 0.866}{50+40\times 0.5}=\operatorname{arctg} 0.495$$

$$=26^\circ 20'$$

二　矢量的减法

两个矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 之差也是一个矢量，可用 $\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}$ 表示。因为

$$\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}+(-\boldsymbol{B}) \tag{1-3}$$

其中 $-\boldsymbol{B}$ 表示与矢量 $\boldsymbol{B}$ 的大小相等而指向相反的另一矢量。所以，矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 之差就可以看成矢量 $\boldsymbol{A}$ 与矢量 $-\boldsymbol{B}$ 之和，同样可以采用平行四边形法则。从图 1-9 中也可以看出，自 $\boldsymbol{B}$ 末端向 $\boldsymbol{A}$ 末端作一矢量，就是矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 之差 $\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}$。

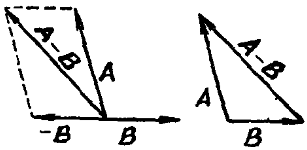


图 1-9　两矢量相减

求矢量差的大小和方向，仍可用式(1-2a)及(1-2b)进行计算，但必须注意这时角 α 不是矢量 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 之间的夹角，而是这个夹角的补角。

1-3　矢量合成的解析法

一　矢量的分量表示法

设矢量 $\boldsymbol{A}$ 在平面直角坐标系 xOy 上，$\boldsymbol{A}$ 与 x 轴的夹角为 α，其始端位于原点 O (图 1-10)。矢量 $\boldsymbol{A}$ 的分量就是该矢量在 x 轴

和 y 轴上的两个投影。由图 1-10 可以看出，矢量在 x 方向的分量 A_x 和在 y 方向的分量 A_y 分别为

$$\left.\begin{aligned}A_x&=A\cos\alpha\\A_y&=A\sin\alpha\end{aligned}\right\}\qquad(1\text{-}4)$$

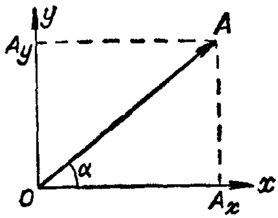


图 1-10 矢量的正交分解

显然，矢量 $\boldsymbol{A}$ 的模与分量 A_x、A_y 之间的关系为

$$|\boldsymbol{A}|=\sqrt{A_x^2+A_y^2}$$

矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 x 轴的夹角 α 和分量之间的关系为

$$\alpha=\operatorname{arctg}\frac{A_y}{A_x}$$

由式(1-4)可见，当 $\boldsymbol{A}$ 与 x 轴的夹角 $\alpha=0$ 时，$A_x=A$；当 $\alpha=\pi$ 时，$A_x=-A$。在讨论直线运动时要用到这个结论。

二 矢量合成的解析法

运用矢量的分量表示法，可以使矢量加减的运算简化。设平面直角坐标内有矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$，它们与 x 轴的夹角分别为 α 和 β（图 1-11），求合矢量 $\boldsymbol{C}$。

根据式(1-4)，矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 在两坐标轴上的分量可分别表示为

$$\begin{cases}A_x=A\cos\alpha\\A_y=A\sin\alpha\end{cases}\quad\text{及}\quad\begin{cases}B_x=B\cos\beta\\B_y=B\sin\beta\end{cases}$$

由图 1-11 可以看出，合矢量 $\boldsymbol{C}$ 在两坐标轴上的分量 C_x 和 C_y 与矢量 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 的分量之间的关系为

$$\begin{cases}C_x=A_x+B_x\\C_y=A_y+B_y\end{cases}\qquad(1\text{-}5)$$

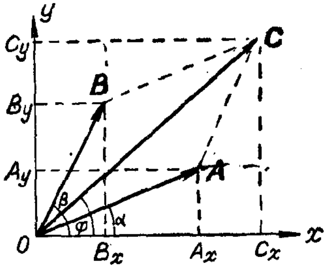


图 1-11 两矢量合成的解析法

矢量 $\boldsymbol{C}$ 的大小及方向由下列二式确定

$$\left.\begin{aligned} |\boldsymbol{C}| &= \sqrt{C_x^2 + C_y^2} \\ \varphi &= \operatorname{arc\,tg} \frac{C_y}{C_x} \end{aligned}\right\} \tag{1-6}$$

例 设一小船在静水中以每秒 1.5 米的速度向东偏北 30° 的方向划行，若不划行而任风吹动，则船将以每秒 0.5 米的速度向南偏西 30° 的方向飘移，试求小船同时参与这两种运动时速度的大小和方向。

解 小船所参与的两种不同速度的运动可在平面直角坐标系中以 $\boldsymbol{v}_1$ 和 $\boldsymbol{v}_2$ 表示，小船实际运动的速度 $\boldsymbol{v}$ 应是 $\boldsymbol{v}_1$ 和 $\boldsymbol{v}_2$ 的矢量和(图 1-12)，即

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_1 + \boldsymbol{v}_2$$

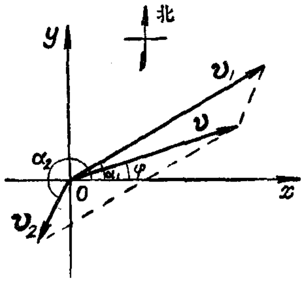


图 1-12　两速度的合成

根据式(1-5)有

$$v_x = v_{1x} + v_{2x}$$
$$v_y = v_{1y} + v_{2y}$$

因为 $v_1 = 1.5$ 米/秒，$\alpha_1 = 30°$，故

$$v_{1x} = 1.5 \times \cos 30° = 1.5 \times \sqrt{3}/2 \approx 1.3$$
$$v_{1y} = 1.5 \times \sin 30° = 1.5 \times 1/2 = 0.75$$

又因为 $v_2 = 0.5$ 米/秒，$\alpha_2 = 240°$，故

$$v_{2x} = 0.5 \times \cos 240° = 0.5 \times (-1/2) = -0.25$$
$$v_{2y} = 0.5 \times \sin 240° = 0.5 \times (-\sqrt{3}/2) \approx -0.43$$

于是

$$v_x = v_{1x} + v_{2x} = 1.3 + (-0.25) = 1.05$$
$$v_y = v_{1y} + v_{2y} = 0.75 + (-0.43) = 0.32$$

根据式(1-6)可以分别求得合速度 $\boldsymbol{v}$ 的大小及方向为

$$|\boldsymbol{v}|=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$$
$$=\sqrt{(1.05)^2+(0.32)^2}\approx 1.1 \text{ 米/秒}$$
$$\varphi=\operatorname{arc\,tg}\frac{0.32}{1.05}\approx 17^\circ$$

本 章 小 结

本章叙述了矢量的基本概念、矢量加减的几何法以及矢量合成的解析法。

一 矢量的概念

既具有数值大小、又有方向，合成时符合平行四边形法则的物理量叫做矢量，如力、速度、加速度等都是矢量。只具有数值大小，加法运算时遵守代数法则的物理量叫做标量。

矢量可以用一带箭头的有向线段来表示。矢量 $\boldsymbol{A}$ 的大小与它的分量 A_x、A_y 间的关系为

$$|\boldsymbol{A}|=\sqrt{A_x^2+A_y^2}$$

矢量 $\mathbf{A}$ 与 x 轴的夹角 α 和分量 A_x、A_y 间的关系为

$$\alpha=\operatorname{arc\,tg}\frac{A_y}{A_x}$$

二 矢量合成

两个或两个以上的矢量合成时，得到的仍是一个矢量。

两矢量合成的平行四边形法则：两矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 相加的合矢量，是以这两矢量为邻边的平行四边形的对角线矢量 $\boldsymbol{C}$，可写为

$$\mathbf{A}+\mathbf{B}=\mathbf{C}$$

按照矢量的正交分解，合矢量 $\boldsymbol{C}$ 在平面直角坐标系上的分量为

$$C_x=A_x+B_x$$

$$C_y = A_y + B_y$$

所以合矢量 C 的大小为

$$|C| = \sqrt{C_x^2 + C_y^2}$$

合矢量 C 与 x 轴的夹角为

$$\varphi = \operatorname{arc\,tg}\frac{C_y}{C_x}$$

思 考 题

1-1 标量和矢量的区别是什么？一个量仅有大小和方向而其他性质一概不知，你能否确定该量一定是矢量？

1-2 有人说“合力一定大于分力”。对吗？为什么？

1-3 两矢量的合矢量的模是否一定大于它们各自的模？

1-4 如果一矢量的分量中有一个不为零，该矢量可不可能为零？用分量表示时，一矢量为零矢量的充分必要条件是什么？

1-5 矢量合成的几何法和解析法各有什么优点？

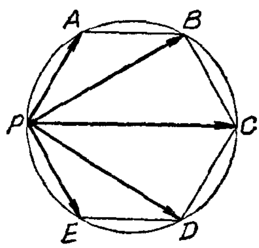
1-6 在平面直角坐标系内，若矢量的起点在坐标原点，你能否从它分量的正负判断该矢量处于第几象限？

习 题

1-1 两个互成150°角的力，其大小均为120牛顿，求合力的大小和方向。

1-2 两个互成60°角的力，一个等于4牛顿，另一个等于3牛顿，求合力的大小和方向。

1-3 如图所示，设有5个力作用于一点 P，这5个力的大小与方向，相当于每边等于 b 的正六角形的两个边和三个对角线，求这5个力的合力。



题1-3图

1-4 轮船为了要垂直横过河流到达对岸，沿着与河岸成一定角度的方向以2米/秒的速率航行，已知水流的速率为1米/秒，求合速度的大小和轮船航向与河岸的夹角。