物理学

张振瀛
薛淑贞 编

陕西科学技术出版社

物 理 学

张 振 瀛
薛 淑 贞
编

陕西科学技术出版社

物　理　学

张振瀛
薛淑贞　编

陕西科学技术出版社出版
（西安北大街131号）

陕西省新华书店发行　西安新华印刷厂印刷

开本 787×1092　1/16　印张 20.5　字数 480,000

1985年8月第1版　　1985年8月第1次印刷

印数 1—15,000

统一书号：7202·102　　定价：3.80元

前　言

本书是在我们原编写的农科类专业用《物理学讲义》的基础上，根据1982年12月修订的"高等农业院校生物类专业物理学教学大纲"，经三次修改后而定稿的。考虑到农业院校物理课学时少，以及农科类专业的特点，本书主要介绍物理学基础理论，并以热学和光学两部分为重点。原讲义经十七所农业院校试用后，普遍认为内容基本符合大纲要求，叙述简洁，选材适当，理论联系实际，易教易学，适合计划学时为100—110学时的专业使用。

本书在修改和试用过程中，曾得到江苏农学院、北京农学院、甘肃农业大学、云南农业大学、山西农业大学、宁夏农学院、青海工农学院、黑龙江八一农垦大学、延边农学院、安徽皖北农学院、新疆塔里木农垦大学、新疆石河子农学院、苏州蚕桑专科学校、四川绵阳农业专科学校、河南百泉农业专科学校、西藏农牧学院等院校物理教研室同志们的支持和帮助，特别是西北农学院物理教研组的同志们，对本书的编写和修改提出过许多宝贵的意见，给予了大力的支持和帮助，西北农学院徐有恕技师和王安英同志为本书绘制了插图，在此一并表示衷心地感谢。

由于编者水平所限，本书可能还有错误和不足之处，恳切希望读者指正。

编　者　1984年 9 月

目　　录

第二篇　分子物理学与热力学

第三篇　电　磁　学

第四篇 振动和波动

第五篇　光　　学

第六篇　近代物理学基础

〔注〕凡加"*"部分可根据授课学时掌握。

绪　论

物理学是自然科学的基础学科之一，是研究自然界物质运动基本规律的科学。

整个自然界是由各种各样运动着的物质组成的。一切物质，从基本粒子、原子、分子到宇宙天体，从核力场、电磁场到引力场，从蛋白质、细胞到人，都处于永无休止的运动和变化中，正如革命导师恩格斯所说："运动，就其一般的意义来说，就它被理解为存在的方式、被理解为物质的固有属性来说，它包括宇宙中发生的一切变化和过程，从单纯的位置移动起直到思维"①。

物质运动的形式是多种多样的，它们既服从共同的普遍规律，又各自有其独特的规律，对各种不同的物质运动形式的研究，形成了自然科学的各个分科。

物理学研究的对象是最基本、最普遍的运动形式，包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内的运动等等。它虽不能包括或代替高级的、复杂的运动形式（例如生物学中研究的生命现象等等），但是它所研究的运动都无一例外地存在于其他高级的、复杂的运动形式之中。因此物理学所研究的规律具有极大的普遍性，这使物理学成为科学技术的重要基础之一。可以认为，物理学是除数学以外，一切自然科学，包括工程技术科学和基础科学的基础，是现代工程技术的重要支柱。

物理学和其他自然科学一样，是由于生产和科学实验的需要而产生和发展起来的。反过来，物理学本身的发展，又大大地推动了生产和科学技术的发展。如果仔细考察一下现代的科学技术，就可发现，它的很大部分发源于物理学的实际应用。现代物理学已成为基础学科中发展最快、影响最深的一门学科。本世纪以来，它一方面向认识的深度进军，另一方面又向应用的广度发展。它在发掘新能源、新材料以及革新工艺过程、检测方法等方面，都提供了丰富的实验资料和理论根据，促进了生产力的发展。现代科学技术正在经历一场伟大的革命，人类已经进入了原子能、电子计算机、自动化、半导体、激光、空间技术、遗传工程等新技术的时代。

物理学与农业科学技术的关系也十分密切。现代物理学的成就，已越来越多地应用到农业科学技术中去，其深度和广度都是前所未有的。物理学和农业的关系主要表现在以下几个方面：

（1）农作物生长在土壤及近地面大气中，其中的物理因素，如太阳辐射、温度、湿度、空气以及土壤的物理性质等等，是影响农作物生长发育的基本外界环境因素。运用物理学的原理和方法，研究和改造这些外界环境因素，使之更有利于农作物生长发育，能够加速农业生产的发展。

---

①恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社，1971年版，第53页。

（2）近年来，大量新兴的科学技术被引进农业科学技术中来，如电离辐射、超声波、电子技术、电子计算机、微波技术、激光技术、红外遥感技术和光电技术等，已在农业生产和科研中得到了广泛的应用，如农作物生长环境因素的检测、分析研究和控制；农作物、果树、蔬菜和家禽的品种选育；产量的预测预报；病虫害的预测预报及防治；农畜产品加工，农畜产品贮藏中的灭菌、灭虫以及仓库环境条件的检测与控制；农畜产品品质分析；家畜疾病防治；农田水利和土壤改良以及农业机械等各方面。而在农业生产和农业科学研究中应用这些新技术，必须具备一定的物理学基础。

（3）作为农业科学技术的理论基础的生物科学，近年来有了突飞猛进的发展。生物科学和物理学的紧密结合和互相渗透，产生了一系列新兴的边缘学科，如分子生物学、分子遗传学、量子生物学、仿生学等等。其特点：一方面是不断向微观世界前进；另一方面则是实验方法和手段的现代化，广泛采用如电子计算机、电子显微镜、超速离心机、光谱和色谱仪器、质谱仪、顺磁共振波谱仪等现代化实验工具和仪器。而研究和掌握现代生物学的理论和实验技术，必须有坚实的物理学基础。

高等农业院校肩负着培养又红又专的农业科学技术工作者的重任。实现农业现代化，需要大批掌握现代农业科学技术的专门人才，要使我们培养的农业科技工作者适应现代科学技术的发展，又能有所独创、有所前进，必须加强基础理论的学习，特别是物理基础更为重要。

由于物理学所研究的规律具有极大的普遍性，因此，它与哲学的关系十分密切。物理学的许多重大发现，为辩证唯物主义提供了有力的证据，而辩证唯物主义认识论又促进了物理学的发展。学习物理学，有助于确立辩证唯物主义世界观。

物理学的研究方法一般是在观察和实验的基础上，对物理现象进行分析、抽象和概括，从而建立物理定律，进而形成物理理论，再回到实践中去经受检验。因而学习物理学，必须贯彻理论联系实际的原则。脱离实际的理论是空洞的理论，而缺乏理论指导的实践则是盲目的实践，二者相辅相成，不可偏废。

学好物理学，必须有明确的学习目的，除了掌握物理学的基本概念、基本原理以及研究问题的方法外，还要在科学实验能力、计算能力和抽象思维能力等方面受到严格训练，提高分析问题和解决问题的能力。同时，由于物理学是一门论理性强、逻辑性强、实践性强的学科，所以，学好物理学还必须有严肃认真的学习态度和理论联系实际的学习方法。

第一篇　力　学

力学是研究物体机械运动的客观规律的。所谓机械运动是指一个物体相对于另一个物体位置的变化以及一个物体的某些部分相对于其他部分的位置变化。它是物质各种运动形式中最简单而又最基本的一种运动。在这一篇里，我们不打算对力学规律进行系统地阐述，考虑到已有的基础和需要，除了对像瞬时速度、瞬时加速度、牛顿第二定律、动量守恒定律等重要的基本概念和基本定律加深理解外，着重讨论刚体转动和流体力学规律。

第一章　矢　量

物理学的研究对象是物质运动最基本的规律，描述这些基本规律是通过许多物理量之间的相互关系来实现的。这些物理量有标量也有矢量。在课程的开头，先学习一些矢量的基本运算法则，同时对于一些已学过的重要的定律和概念进一步加深理解，以利于今后的学习。

§1-1　矢量和标量

有些物理量，例如质量、时间、能量、密度、温度和电势等，只有数值大小，用一个数和一个单位即可描述。这些量叫做**标量**。它的运算遵从代数法则。另外一些物理量与之不同，它不仅有数值，还有方向，并且按照一定的加法法则相加。这些量叫做**矢量**。例如位移、力、速度、加速度、动量、电场强度和磁感强度等。

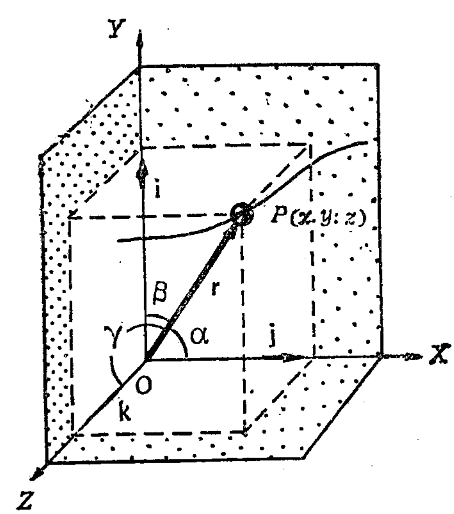

图1-1　位置矢量

矢量的表示方法与标量不同。作图时，矢量用一有向线段表示，线段的长度按一定比例画出，代表矢量的大小；而有向线段的方向则表示矢量的方向。书写时，矢量通常用黑体字或在字母上加一横向箭头表示。例如 $\vec{A}$ 或 **A**，如果只考虑矢量的大小，可把矢量**A**写作 $|\mathbf{A}|$ 或 A，这叫做矢量的"模"。

这里我们以位置矢量和位移为例来说明矢量的特点。描述物体的位置以及位置的改变，只用数值是不完全的。在确定坐标之后，只说明距离坐标原点多么远并不能确切说明一个物体在某时刻的位置，还必须指明它的方位角。这就要用一个叫做**位置矢量**（也叫**矢径**）的物理量 **r** 来描述（图 1-1）。当物体从位置 A（位置

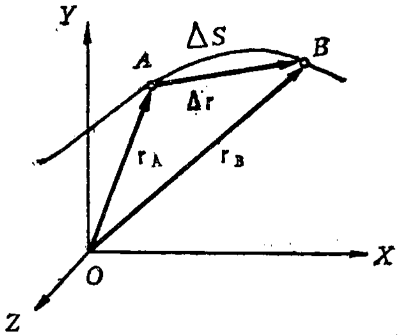

图1-2 位 移

矢量为r_A）运动到位置B（位置矢量为r_B）时，质点位置的变化叫做**位移**，它是从起点A引向终点B的一条有向线段。一般情况下，它与质点从A到B经过的路径不重合（图1-2）。通常所说的路程是指从起点到终点之间沿着路径走过的长度，没有方向，它与位移是两个不同的概念。

位移与位置矢量的关系不遵从代数法则，即$r_B - r_A \neq \Delta r$，而是符合几何法则，写作$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A$或$\mathbf{r}_B = \mathbf{r}_A + \Delta \mathbf{r}$。

§1-2 矢量加法

从图1-2看出，矢量相加可用三角形法则进行。如果$\mathbf{r}_B = \mathbf{r}_A + \Delta \mathbf{r}$，即$\mathbf{r}_B$是$\mathbf{r}_A$和$\Delta \mathbf{r}$的合矢量，可先画出分矢量$\mathbf{r}_A$，再以$\mathbf{r}_A$的终端为起点画出另一分矢量$\Delta \mathbf{r}$，那么，由$\mathbf{r}_A$的起点到$\Delta \mathbf{r}$的终端的矢量就是二者的合矢量$\mathbf{r}_B$，如图1-3所示。由于矢量$\mathbf{r}_A$、$\Delta \mathbf{r}$和$\mathbf{r}_B$围成一三角形，所以把这种法则叫做三角形法则。

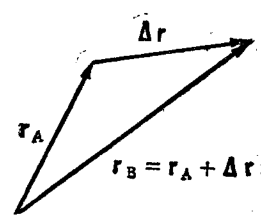

图1-3 矢量合成的三角形法则

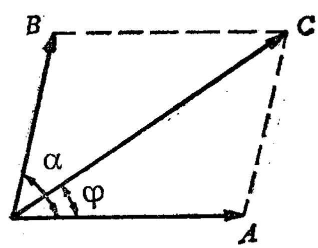

图1-4 矢量合成的平行四边形法则

矢量相加也可以用平行四边形法则进行。对于任意矢量$\mathbf{A} + \mathbf{B} = \mathbf{C}$，在已知**A**和**B**求二者之合矢量**C**时，用**A**和**B**为两邻边作一平行四边形（图1-4），从二者交点引出的平行四边形的对角线即为合矢量**C**。根据几何关系，可以导出合矢量的大小

$$|\mathbf{C}| = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\alpha} \qquad (1-1)$$

其中α为**A**与**B**的夹角。合矢量的方向用**C**与**A**的夹角φ表示，

$$\varphi = \mathrm{tg}^{-1}\frac{B\sin\alpha}{A + B\cos\alpha} \qquad (1-2)$$

平行四边形法则和三角形法则没有什么本质区别。因为互相平行且长度相等、方向一致的有向线段（例如平行四边形的两对边）所表示的矢量相等，所以这两个法则可互相演变。

多个矢量相加时，可用多边形法则。如图1-5所示就是用多边形法则求**A**、**B**、**C**、**D**的合矢量**R**的作图法。它是以每一矢量的终端为后一矢量的起点，顺次画出所有分矢量来，则由第一个分矢量的起点引向最后一个分矢量的末端的有向线段就是所有这些分矢量的合矢

量。这个结论不难从三角形法则推证而来。由于 $E=A+B$，$F=E+C=A+B+C$，所以$R=F+D=A+B+C+D$。

矢量减法是矢量加法的逆运算，它也可用三角形法则或平行四边形法则求解。与一个矢量等值反向的另一个矢量规定为这一矢量的负矢量，因此矢量相减就包括在矢量加法之中。$A-B=A+(-B)$，求出A与$-B$之和即为A与B之差，如图1-6所示。

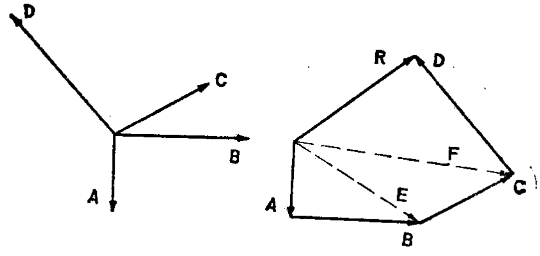

图1-5　矢量合成的多边形法则

由位置矢量 r_A 和 r_B 计算位移 Δr 就是矢量减法问题。由于 $\Delta r=r_B-r_A=r_B+(-r_A)$，用作图法求解：先画 r_B，以其终端为起点画$(-r_A)$，则从 r_B 的起点指向 $-r_A$ 的终端的有向线段即为r_B与r_A之差Δr如图1-7所示。

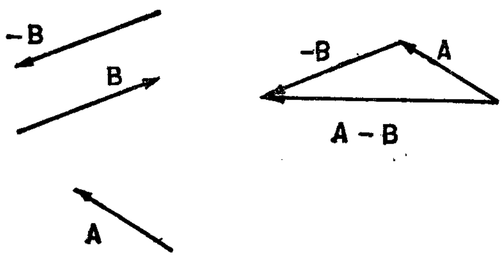

图1-6　矢量减法

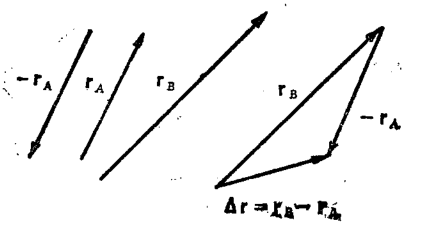

图1-7　从位置矢量计算位移

§1-3　矢量解析法

已知分矢量求合矢量叫矢量合成，反之，已知合矢量求分矢量叫矢量分解。上节所述求解矢量相加和相减的几何法则，对于三维空间矢量很不好用，即是平面矢量（两维情况）也往往不太方便。因此在求解矢量合成和分解的问题时，经常采用解析法，即把矢量在特定坐标系分解成分量，而在同一坐标轴上就可用代数法则进行运算，使问题得到简化。

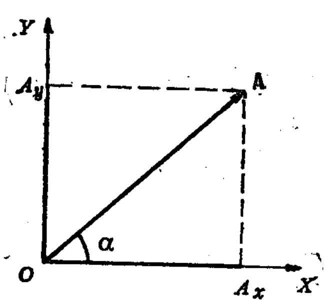

图1-8　平面矢量的正交分解

例如一个平面矢量A，它的起点位于一平面直角坐标的原点，那么它在坐标轴上的分量分别为

$$A_x=A\cos\alpha \text{和} A_y=A\sin\alpha$$

（图1-8）。这时，

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

$$\alpha=\mathrm{tg}^{-1}\frac{A_y}{A_x}$$

又如一个空间矢量（三维情况）B，它在空间直角坐标轴上的分量分别为

$B_x=B\cos\alpha$，$B_y=B\cos\beta$和$B_z=B\cos\gamma$（图1-9），而B的大小为

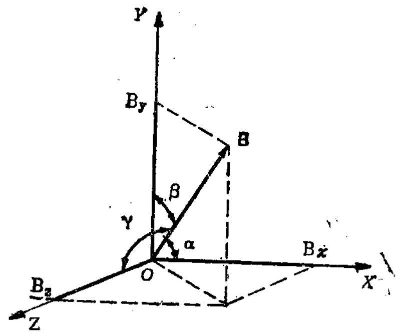

图1-9　空间矢量的正交分解

$$B=\sqrt{B_x^2+B_y^2+B_z^2}$$

其方向由α、β、γ来确定，

$$\cos\alpha=\frac{B_x}{|\mathbf{B}|}$$

$$\cos\beta=\frac{B_y}{|\mathbf{B}|}$$

$$\cos\gamma=\frac{B_z}{|\mathbf{B}|}$$

利用矢量解析法求几个矢量的合矢量时，例如计算**A**+**B**=**C**，可先求出每一个分矢量在坐标轴上的投影A_x、A_y、A_z和B_x、B_y、B_z，然后用代数运算求出合矢量在坐标轴上的分量

$$\left.\begin{aligned}C_x&=A_x+B_x\\C_y&=A_y+B_y\\C_z&=A_z+B_z\end{aligned}\right\}\tag{1-3}$$

那么，合矢量**C**的大小为

$$|\mathbf{C}|=\sqrt{C_x^2+C_y^2+C_z^2}\tag{1-4}$$

方向由α、β、γ来确定，它们分别满足式

$$\left.\begin{aligned}\cos\alpha&=\frac{C_x}{|\mathbf{C}|}\\\cos\beta&=\frac{C_y}{|\mathbf{C}|}\\\cos\gamma&=\frac{C_z}{|\mathbf{C}|}\end{aligned}\right\}\tag{1-5}$$

如用**i**、**j**、**k**分别表示沿x、y、z各轴的单位矢量，那么矢量**A**和矢量**B**的坐标表示式就可写作

$$\mathbf{A}=A_x\mathbf{i}+A_y\mathbf{j}+A_z\mathbf{k}$$
$$\mathbf{B}=B_x\mathbf{i}+B_y\mathbf{j}+B_z\mathbf{k}$$

它们相加减的坐标表示式为

$$\mathbf{A}\pm\mathbf{B}=(A_x\pm B_x)\,\mathbf{i}+(A_y\pm B_y)\,\mathbf{j}+(A_z\pm B_z)\,\mathbf{k}\tag{1-6}$$

对于任何矢量，无论是力、速度、加速度，还是冲量、动量，都可用解析法表示为分量，使矢量的加减运算得到简化。例如，牛顿第二运动定律Σ**F**=m**a**，如果**F**是空间矢量，用分量式表示可写为

$$\left.\begin{aligned}\Sigma F_x&=ma_x\\\Sigma F_y&=ma_y\\\Sigma F_z&=ma_z\end{aligned}\right\}\tag{1-7}$$

在求出a_x、a_y、a_z之后，即可计算出加速度**a**的大小为

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2+a_z^2}$$

方向由α、β、γ确定，它们分别满足式

$$\cos\alpha = \frac{a_x}{|a|}$$

$$\cos\beta = \frac{a_y}{|a|}$$

$$\cos\gamma = \frac{a_z}{|a|}$$

又如动量原理：$\mathbf{F}\cdot\Delta t=\Delta m\mathbf{v}$，写作分量式为

$$\left.\begin{aligned} F_x\cdot\Delta t&=\Delta mv_x\\ F_y\cdot\Delta t&=\Delta mv_y\\ F_z\cdot\Delta t&=\Delta mv_z \end{aligned}\right\} \tag{1-8}$$

动量守恒定律：当 $\Sigma\mathbf{F}_i=0$ 时，$\Sigma m_i\mathbf{v}_i=$ 恒矢量，写成分量式为

$$\left.\begin{aligned} \Sigma m_iv_{ix}&=\text{恒量(在}\Sigma F_{ix}=0\text{ 的条件下)}\\ \Sigma m_iv_{iy}&=\text{恒量(在}\Sigma F_{iy}=0\text{ 的条件下)}\\ \Sigma m_iv_{iz}&=\text{恒量(在}\Sigma F_{iz}=0\text{ 的条件下)} \end{aligned}\right\} \tag{1-9}$$

现在我们仅对式（1-9）进行讨论。有时，系统所受合外力并不为零，但在某一方向上的分量却为零。显然，系统的总动量不守恒，但是总动量在合外力的分量为零的那个方向上的分量却是守恒的，这样就为我们处理问题提供了方便。

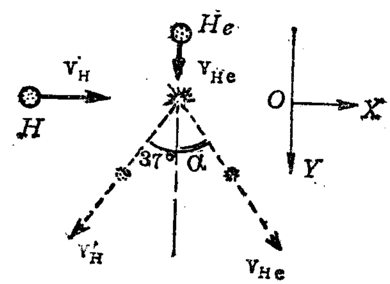

图1-10

〔**例题1-1**〕 如图1-10所示，一质子（$v_H=6\times10^5$m/s，$m_H=1u=1.66057\times10^{-27}$kg）和一氦核（$v_{He}=4\times10^5$m/s，$m_{He}=4u$）相碰撞，若在碰撞后质子的速率 $v'_H=6\times10^5$m/s，求碰撞后氦核的速度。

解：选坐标如图所示，设碰撞后氦核的速率为 v'_{He}，它与y轴成α角。根据动量守恒定律有

$$\begin{cases} m_Hv_H=-m_Hv'_H\sin37°+m_{He}v'_{He}\sin\alpha & (1)\\ m_{He}v_{He}=m_Hv'_H\cos37°+m_{He}v'_{He}\cos\alpha & (2) \end{cases}$$

从式（1）解得

$$\begin{aligned} v'_{He}\sin\alpha&=\frac{m_H}{m_{He}}(v_H+v'_H\sin37°)\\ &=\frac{1}{4}(6\times10^5+6\times10^5\times0.6)\\ &=2.4\times10^5\ \text{(m/s)} \end{aligned} \tag{3}$$

从式（2）解得

$$v'_{He}\cos\alpha=v_{He}-\frac{m_H}{m_{He}}v'_H\cos37°$$

$$=4\times10^5-\frac{1}{4}\times6\times10^5\times0.8=2.8\times10^5\text{(m/s)} \tag{4}$$

解（3）、（4）式可求得

$$V'_{He} = 3.7\times10^5\,\mathrm{m/s},\ \alpha = 40°33'$$

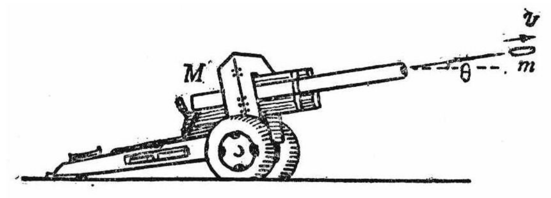

图1-11

〔例题1－2〕 设炮身以仰角θ发射一炮弹，炮身和炮弹的质量分别为M和m，炮弹出口时的速率为v（图1-11），求炮身的反冲速度V，炮车与地面之间的摩擦力略去不计。

解：把炮车和炮弹看成一个系统，在忽略与地面摩擦力的情况下，系统受到的外力有重力G和地面支撑力N。发射前G＝－N。发射过程中|G|≠|N|，系统所受合外力不为零，因而总动量不守恒。但在水平方向上，系统所受合外力的分量为零，所以总动量的水平分量守恒。选炮弹前进时的水平方向为x轴正方向，按动量守恒定律列方程如下：

$$-MV + mv\cos\theta = 0$$

求得炮身的反冲速度的大小为

$$V = \frac{m}{M}v\cos\theta$$

方向沿x轴负方向。

§1-4 矢量乘法

物理学中经常遇到两个矢量相乘的问题。例如功是力和位移相乘的结果，力矩是力和力臂相乘而得。虽然同是两个矢量相乘，但是结果却不一样，功是标量而力矩是矢量。可见两矢量相乘有两种结果：两矢量相乘得到一个标量，这叫做标积（或称点积），用**A**·**B**表示；两矢量相乘得到一个矢量，这叫做矢积（或称叉积），用**A**×**B**表示。

设**A**、**B**为任意两个矢量，二者的夹角为θ，则它的标积定义为

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{B} = AB\cos\theta \tag{1-10}$$

引入标积后，功和力、位移之间的关系可以表示为

$$A = \mathbf{f}\cdot\mathbf{s} \tag{1-11}$$

根据标尺的定义，可以得到如下结论：

（1）当θ＝0时，cosθ＝1，即**A**与**B**平行，这时$\mathbf{A}\cdot\mathbf{B} = AB$；

（2）当$\theta = \frac{\pi}{2}$时，cosθ＝0，即**A**与**B**垂直，这时$\mathbf{A}\cdot\mathbf{B} = 0$；

（3）由于直角坐远系的单位矢量**i**、**j**、**k**互相垂直，即

$$\mathbf{i}\cdot\mathbf{j} = \mathbf{j}\cdot\mathbf{j} = \mathbf{k}\cdot\mathbf{k} = 1$$

$$\mathbf{i}\cdot\mathbf{j} = \mathbf{j}\cdot\mathbf{k} = \mathbf{k}\cdot\mathbf{i} = 0$$

所以

$$\begin{aligned}\mathbf{A}\cdot\mathbf{B} &= (A_x\mathbf{i} + A_y\mathbf{j} + A_z\mathbf{k})\cdot(B_x\mathbf{i} + B_y\mathbf{j} + B_z\mathbf{k})\\ &= A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z\end{aligned} \tag{1-12}$$

矢积$\mathbf{A}\times\mathbf{B} = \mathbf{C}$，定义**C**的大小为

$$C = AB\sin\theta \tag{1-13}$$