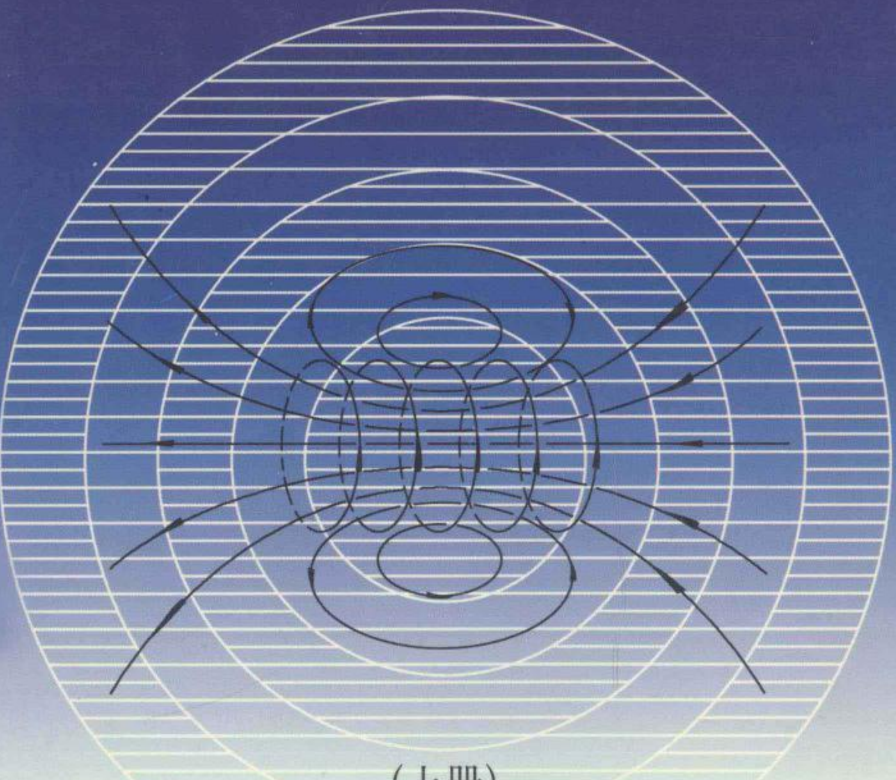
中学生物理高阶论坛丛书

大学物理学

（专科本）

甘承泰　谢兴盛　袁心平　编



（上册）

电子科技大学出版社

中学生物理高阶论坛丛书

大学物理学

(专科本)

(上册)

甘承泰　谢兴盛　袁心平　编

电子科技大学出版社

大 学 物 理 学

（专科本）

（上册）

甘承泰　谢兴盛　袁心平　编

出　　版：电子科技大学出版社（成都建设北路二段四号）
责任编辑：肖士璋　周　敏
发　　行：电子科技大学出版社
印　　刷：北京市朝教印刷厂
开　　本：850mm×1168mm　1/32　印张：9　字数：240 千字
版　　次：1994 年 1 月第一版
印　　次：2005 年 10 月第二次印刷
书　　号：ISBN 7－81016－993－9/O・30
定　　价：23.50 元

前　　言

为适应工科专科各专业培养高级工程技术应用型人才的需要，本教材贯彻“以应用为目的，以必需、够用为度”的原则，内容简练，深广度适当，选材注重结合实际，加强了对新技术物理基础的介绍，力求突出应用特色。

本书是大学三年（或二年）制工科专科的物理教材，也可供专科层次的成人教育工科类各专业采用。考虑到某些学校第一学期开设物理课的教学计划需要，本书增编了第零章（数学预备知识），增用6~8学时即可基本满足物理课程对微积分知识的要求。

本书采用国际单位制（**SI**），并统一采用全国自然科学名词审订委员会1988年公布的物理学名词，如原气体分子运动论现订正为气体动理论等。

全书分上、下两册。上册内容有绪论、力学、机械振动和机械波、气体动理论和热力学基础；下册内容有电磁学、波动光学和新技术物理基础。其中绪论、第零~三章和第十三章由谢兴盛编写，第四~七章和第十二章由袁心平编写，甘承泰编写第八~十一章并负责全书的组织与统稿。

本教材在编写与试用中，得到了电子科技大学基础物理教研室老师们的关心与协助，校教务处也给予了大力支持，在此向他们一并深表谢意。

本教材经四川大学物理系郭士堃教授审查，并对书稿提出了许多宝贵的意见，编者在此谨致以深切的谢意。

由于编者水平有限，本书难免有缺点和错误，诚恳希望使用本教材的师生提出宝贵意见，以便再版时修改。

编　　者

绪　论

物理学是一门探索自然奥秘，改造自然的基础科学。物理学研究的是物质运动最一般的规律和物质的基本结构，它涉及我们生活着的物质世界的一切领域。

物理学所研究的物质运动形式，包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等等。这些运动形式存在于一切高级运动形式（化学运动、生命运动……）之中。因此，物理学所研究的物质运动规律，具有最大的普遍性。例如，宇宙间任何物体，不论其化学性质如何，或有无生命，都遵从物理学中的万有引力定律；又如，能量转换与守恒定律存在于自然界一切运动过程之中，不论它们是简单的或复杂的，有生命的或无生命的，概莫能外。当然，各种运动形式各有自己独特的规律，揭开宇宙之谜、物质之谜和生命之谜需要物理学与自然科学各学科，生产技术部门乃至社会科学的进一步发展。在人识自然，改造自然的过程中，有更多的生产实践问题、科技问题等待我们去解决，去探索，这些问题的解决越来越离不开物理学的基本知识、基本规律和基本方法。

物理学的研究方法

物理学是一门实验性的科学，物理学的基本研究方法是观察、实验与抽象思维相结合，即从观察和实验事实出发，经过科学抽象，形成科学理论。再进一步指导实践，并改进和完善物理理论，发现新问题和新理论，以至无穷。

实验就是人们根据研究的目的，利用科学仪器设备，人为地控制模拟自然现象，排除干扰，突出主要因素、在合适的条件下去研究自然规律的一种方法，实验方法对科学的发展有其重要的作用。

物理学中常用的一些抽象思维方法主要是：比较、分类、类比、归纳与演绎、分析综合、模型与假说等。科学方法是打开知识宝库

的钥匙,在学习知识的同时,必须十分重视学习、发现和研究问题的方法。

物理学与技术科学、生产实践的关系

物理学与其它自然科学是互相渗透、互相促进的。物理学与技术是互相推动的,生产的需要推动技术进步,技术进步促进科学发展。反过来科学发展又促进技术进步和生产力的提高。目前科学技术已成为第一生产力。

在17,18世纪,由于牛顿力学的建立和热力学的发展,使得蒸汽机得以研制和使用,引起了第一次工业革命。

19世纪,电磁感应的发现,为制造发电机奠定了基础;麦克斯韦电磁理论为无线电技术的发展创造了条件,这时科学研究已走到实际应用和技术进步的前面,电磁理论在能量转换与传递、电气照明和通讯方面的应用,把人类推进到电力时代,迎来了第二次工业革命。

20世纪以来,由于相对论和量子力学的建立,人们对原子、原子核结构的认识日益深化。今天,核能、生物工程、信息技术和计算机技术,都是在原子结构、遗传物质基础的研究,半导体晶体的发现等物理学的伟大成就的指导下形成的,这些技术的应用预示着一场新的技术革命的到来,新技术革命将使社会物质生产的各个领域面貌一新。

物理学是大学理工科各专业的一门重要基础课,学生应该牢固地掌握物理学的基本理论和基本知识,深刻理解物理规律的意义,并在实验技能和运用能力以及独立钻研能力等方面,受到严格训练,为今后学习专业知识及近代科学技术打下必要的物理基础。

目　录

第二章 质点动力学

第三章 刚体的转动

第四章 机械振动

第五章　机械波

第六章　气体动理学理论

第七章　热力学基础

附录

思考题与习题答案

第零章　数学预备知识

本章是学习本课程的数学预备知识,主要内容有两个方面,一是矢量,二是微积分。安排这部分内容的目的是为了使未学过微积分的读者在学习物理课前补习一下本课程所需的最基本的数学知识,从而提高学习起点,以便读者对物理学的基本概念有较深入的理解。本章讲述方法上,不求严格和完整,而是较多地结合物理课的需要,强调运算方法。这部分知识的系统学习,将在高等数学课程中完成。

本章基本要求

1. 掌握矢量的概念和矢量正交分解与合成法则;了解矢量的标积和矢积的意义。

2. 掌握导数、微分、积分的基本概念及其简单的计算方法。

§0－1　矢　量

在物理学中,经常遇到一类物理量,如力、位移、速度、加速度和电场强度等,它们不但有大小,而且有方向,并遵守矢量的运算法则。这类量叫做矢量。只有大小而无方向的量叫做标量,如路程、质量和温度等。

矢量的表示法　矢量可以用一根画有箭头的直线段来表示,线段的长度以一定的比例代表矢量的大小,箭头的方向表示矢量的方向。图0－1表示从p点到Q点的矢量$\boldsymbol{A}$,也可以写成$\overrightarrow{PQ}$。矢量$\boldsymbol{A}$的大小叫矢量的模,常用A或$|\boldsymbol{A}|$表示。

大小等于零的矢量叫做零矢量。

一个矢量$\boldsymbol{A}$乘(或除)以一个数m,结其果仍为矢量,可以写成

$$\boldsymbol{B} = m\boldsymbol{A} \quad 和 \quad \boldsymbol{C} = \frac{\boldsymbol{A}}{m}$$

其大小和方向视 m 的数值和正负以及矢量 $\boldsymbol{A}$ 的大小和方向共同来决定。

矢量 $\boldsymbol{A}$ 可表示成

$$\boldsymbol{A} = A\boldsymbol{A}_0$$

$\boldsymbol{A}_0$ 表示与矢量 $\boldsymbol{A}$ 同方向，其模为一个单位的矢量，称为 $\boldsymbol{A}$ 的单位矢量，以 $\boldsymbol{A}_0$ 表示。物理上常用 $\boldsymbol{i}$ 和 $\boldsymbol{j}$ 表示沿平面直角坐标系 x 轴和 y 轴正方向的单位矢量。例如沿 x 轴正方向有一个长度为 3 的矢量 $\boldsymbol{A}$，可以表示成

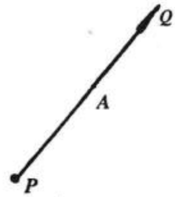


图 0-1 矢量

$$\boldsymbol{A} = 3\boldsymbol{i}$$

在 y 轴的负方向有一矢量 $\boldsymbol{B}$ 其长度为 4 个单位，可以表示成

$$\boldsymbol{B} = -4\boldsymbol{j}$$

§0－2 矢量的加法和减法

矢量的加法 两个矢量相加，叫做矢量的合成，合成后的矢量叫做合矢量或矢量和。

设 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 是两个矢量如图 0－2(a)，$\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 之和可用如图 0－2(b)的平行四边形对角线表示出来

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

等效地，$\boldsymbol{C}$ 也可以由三角形法则得到：P 和 Q 是矢量 $\boldsymbol{A}$ 的始点和终点，将 $\boldsymbol{B}$ 平行地移动，直至 $\boldsymbol{B}$ 的始端和 $\boldsymbol{A}$ 的终点 Q 重合，从 $\boldsymbol{A}$ 的始点 P 到 B 的终点 R 的矢量就是 $\boldsymbol{C}$，如图 0－2(c)。推广这种方法，可以求出多个矢量的和，如图 0－3，这种方法称为多边形法则。

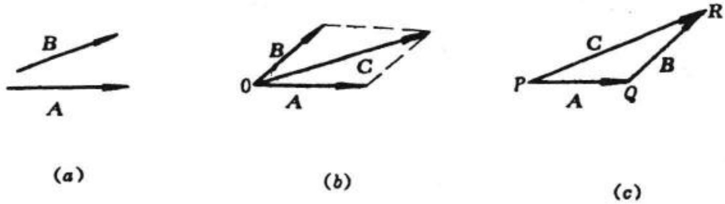


图 0-2　矢量的加法

矢量的减法　矢量的减法可以包含在矢量的加法之中,即

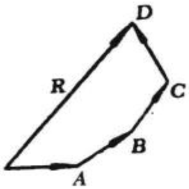


图 0-3　多矢量加法

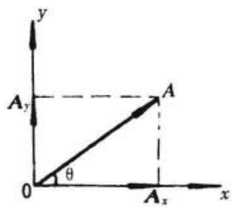


图 0-4　矢量的正交分解

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

矢量$(-\boldsymbol{B})$是和矢量$\boldsymbol{B}$等值反向的矢量。请读者自己归纳出矢量差的三角形法则。

矢量的正交分解和合成　把一个矢量分解成几个矢量的问题,就是已知平行四边形对角线求两个邻边,显然可以有各种不同的解答,但在附加了一些条件之后,这个问题的解可以是唯一的。在物理学中,经常把一个已知矢量分解在两个互相垂直的坐标轴方向上,在图 0－4 中可以看出

$$\boldsymbol{A}=\boldsymbol{A}_x+\boldsymbol{A}_y$$

$\boldsymbol{A}_x$、$\boldsymbol{A}_y$,称为矢量A在x、y轴上的分矢量。如果用i,j分别代表沿x、y轴正向的单位矢量,那么有

$$\boldsymbol{A}_x=A_x\boldsymbol{i}\qquad \boldsymbol{A}_y=A_y\boldsymbol{j}$$

A_x、A_y称为矢量A在x、y轴上的投影和分量,它们是标量。这样

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

由图 0－4 得

$$A_x = A\cos\theta \qquad A_y = A\sin\theta$$

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

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

θ 是矢量 $\boldsymbol{A}$ 与 x 轴间的夹角。

矢量的正交合成法 运用矢量的分量表示法,可以使矢量加减法的运算简化。如图 0-5 所示,设矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 它们分别与 x 轴的夹角为 a 和 β,求合矢量 $\boldsymbol{C}$。

由图 0-5 可得

$$\left.\begin{aligned} A_x &= A\cos a \\ A_y &= A\sin a \end{aligned}\right\} \qquad \left.\begin{aligned} B_x &= B\cos\beta \\ B_y &= B\sin\beta \end{aligned}\right\}$$

合矢量 $\boldsymbol{C}$ 的两坐标轴上的 C_x 和 C_y 与矢量 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 的分量之间的关系为

$$\left.\begin{aligned} C_x &= A_x + B_x \\ C_y &= A_y + B_y \end{aligned}\right\}$$

矢量 $\boldsymbol{C}$ 的大小及方向由下列二式确定

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

$$\theta = \mathrm{tg}^{-1}\frac{C_y}{C_x}$$

例 0-1 一个从 O 点出发,向正东走 30.0m 又向正北走 10.0m,然后向北走 20.0m,求合位移的大小和方向。

解 以 O 为坐标原点,向东为 x 的正方向,向北为 y 轴的正方向,此人走的路线如图 0-6 所示。

$$\overrightarrow{OA} = 30.0\boldsymbol{i}(\mathrm{m}) \qquad \overrightarrow{AB} = 10.0\boldsymbol{j}(\mathrm{m})$$

$$\overrightarrow{BC} = 20.0\cos45°\boldsymbol{i} + 20.0\sin45°\boldsymbol{j}(\mathrm{m})$$

合矢量 $\overrightarrow{OC}$ 的分量表达式为

$$\begin{aligned} \overrightarrow{OC} &= (30.0 + 20.0\cos45°)\boldsymbol{i} + (10.0 + 20.0\sin45°)\boldsymbol{j} \\ &= 44.1\boldsymbol{i} + 24.1\boldsymbol{j}(\mathrm{m}) \end{aligned}$$

这是合位移的矢量式,如果不要求求出它的大小和方向,已是完整

的结果。$\overrightarrow{OC}$的大小为

$$|\overrightarrow{OC}| = \sqrt{44.1^2 + 24.1^2} = 50.3(\mathrm{m})$$

$$a = \mathrm{tg}^{-1}\frac{24.1}{44.1} = 28.7°$$

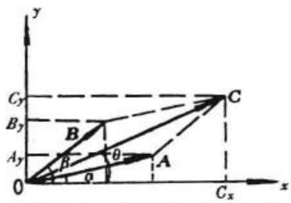


图 0-5　矢量的正交合成

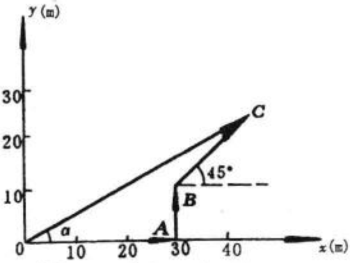


图 0-6　例 0-1 解图

即合位移的大小 50.3m,方向为东偏北 28.7°

§0-3　矢量的乘法

矢量的标积　矢量的标积(也叫内积或数性积)是一个标量,其数值等于两矢量间夹角 θ(小于 180°)的余弦之积。

例如,矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 的标积用符号 $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}$ 表示,写作

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B} = AB\cos\theta$$

标积还可以有另外一种定义:矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 的标积是矢量 $\boldsymbol{B}$ 的大小和矢量 $\boldsymbol{B}$ 方向上分量的乘积。如图 0-7(a)所示,即

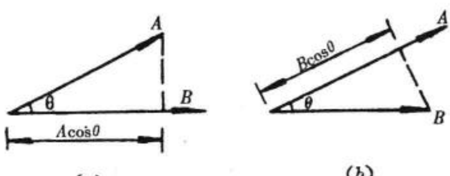


图 0-7　矢量的标积

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B} = B(A\cos\theta)$$

因为 $B\ (A\cos\theta)\ =A(B\cos\theta)$ 如图 0-7(a)、(b) 所示,按标积的第二种定义可得

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{A}$$

即标积遵守交换律。

标积还遵守分配律(证明从略),即

$$\boldsymbol{C}\cdot(\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B})=\boldsymbol{C}\cdot\boldsymbol{A}+\boldsymbol{C}\cdot\boldsymbol{B}$$

若 $\boldsymbol{A}/\!/\boldsymbol{B}$, $\theta=0$,则

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=AB$$

若两个反向平行矢量 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$,其 $\theta=180°$, $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=-AB$;对同一矢量, $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{A}=A^2$;对两个相互垂直矢量 $\theta=90°$, $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=0$。如果 $0<\theta<90°$,标积是正值;若 $90°\leqslant\theta\leqslant180°$ 标积是负值。

直角坐标轴单位矢量的标积有如下关系:

$$\left.\begin{aligned}\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{j}=1\\ \boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{j}=0\end{aligned}\right\}$$

矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 的标积可以用其在坐标轴上的分量来表示

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=(A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j})(B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j})$$

考虑到单位矢量的标积关系,可得

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=A_xB_x+A_yB_y$$

常常把 $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}$ 读作 $\boldsymbol{A}$ 点乘 $\boldsymbol{B}$。

例 0-2　$\boldsymbol{A}=2\boldsymbol{i}+3\boldsymbol{j}$ 和 $\boldsymbol{B}=-\boldsymbol{i}+\boldsymbol{j}$,求两矢量间的夹角。

解　$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=2\times(-1)+3\times1=1$

又

$$A=\sqrt{A_x^2+A_y^2}=\sqrt{2^2+3^2}=\sqrt{13}$$

$$B=\sqrt{B_x^2+B_y^2}=\sqrt{(-1)^2+1^2}=\sqrt{2}$$

$$\cos\theta=\frac{\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}}{AB}=\frac{1}{\sqrt{13}\cdot\sqrt{2}}\approx0.196$$

$$\theta=79°$$

矢量的矢积　矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 的矢积(也叫外积或矢性积)是一矢量,用符号 $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}$ 表示,其大小为两矢量的大小 A、B 和两矢量间夹角 θ(小于 180°)的正弦之积,即

$$|\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}| = AB\sin\theta$$

矢积的方向垂直于 **A** 和 **B** 组成的平面，其指向由右手螺旋法则确定：除拇指以外四指从 **A** 方向经小于 180°角度转向 **B** 方向时，其拇指指向就是矢积的方向。

由矢积的定义，可得

$$\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{A} = -\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}$$

即矢积不遵交换律，矢量前后次序不能颠倒，如图 0-8 所示。可以证明，矢积遵守分配律，即

$$\boldsymbol{A}\times(\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C}) = \boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}+\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{C}$$

坐标轴单位矢量的矢积，有

$$\left.\begin{array}{l}\boldsymbol{i}\times\boldsymbol{j} = -\boldsymbol{j}\times\boldsymbol{i} = \boldsymbol{k}\\ \boldsymbol{i}\times\boldsymbol{i} = \boldsymbol{j}\times\boldsymbol{j} = 0\end{array}\right\}$$

式中 **k** 为沿 z 轴的单位矢量。

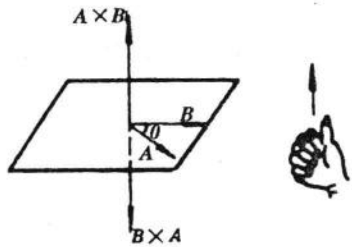


图 0-8 矢量的矢积

常常把 **A** × **B** 读作 **A** 叉乘 **B**。例如力矩这个物理量就是两个矢量的矢积。

对于两个平行矢量或反平行矢量（$\theta = 0°$ 或 $\theta = 180°$），$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B} = 0$；对于两个相互垂直矢量（$\theta = 90°$），$|\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}| = AB$。

§0-4 导数的概念

瞬时速度和瞬时加速度 曲线的切线 研究一个质点 M 沿一直线运动，最简单的方法是在这直线上建立如图 0-9 所示的坐标，以出发点为原点，在时间 t，它的位置便是 t 的函数

$$s = s(t)$$

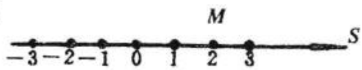


图 0-9 坐标

为了找出这质点存时间 t 的速度，熟知的办法是取一个绝对值很小的数 Δt（称为变量 t 增量），求出它在 t 到 $t+\Delta t$ 的一段时间内的平均速度