

工科物理学

GONGKEWULIXUE (上)

刘志光 黎国辉 华德明 等编著



04
249-上

“高等学校教材”

04

249-上

工 科 物 理 学

(上册)

刘志光 黎国辉 华德明 等编著

化 学 工 业 出 版 社

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

工科物理学/刘志光等编著

北京:化学工业出版社,1994.3

ISBN 7-5025-1355-8

I. 工...

II. 刘...

III. 物理学—高等学校

IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 00949 号

工科物理学(上册)

刘志光 黎国辉 华德明等编著

责任编辑:张津睿

封面设计:吴 歌

化学工业出版社出版

(北京市朝阳区惠新里 3 号)

空军电讯工程学院印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张:19.5 字数:499 千字

1994 年 10 月第 1 版 1994 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—3,500

ISBN 7-5025-1355-8/G · 345

定 价:11.80 元

前言

物理学既是一门古老科学,又是一门现代科学;既是一门理论科学,又是一门实验科学;既是一门以数学为工具研究的科学,形成理论物理学,又是一门以实验为手段,形成实验物理学。不论怎么划分,物理学研究的对象是:构成自然界所有物质的结构、它们之间的相互作用以及运动规律的一门学科。

自然界物质形态包罗万象,相互作用极为复杂,运动状态千变万化,涉及的内容丰富多彩。科学家们在研究探索的艰辛道路上,每前进一步都要付出相当大的代价,但总会伴随丰硕的成果给予慰藉。

如在伽利略以前还没有天文望远镜,自从伽利略用两块透镜制造出第一架天文望远镜,并发现了绕木星公转的四颗卫星之后,就有更多更好的望远镜问世,从此开创了天体物理研究的新领域,而且又促进了力学的发展,从而也带动了机械工业的发展。后来,大约又经过半个多世纪,科学家们开始了对原子的研究,导致了新型真空泵的出现。采用这种泵获得了高真空。人们利用高真空技术开始了对电子、原子性质的深层次的研究,结果出现了高真空电子技术,于是电子管、显象管等真空器件相继出现,各种各样的收音机,甚至浓缩饮料进入千家万户。

又如,麦克斯韦在安培、法拉第等人关于电磁理论与应用研究的基础上提出了两个著名的假设——涡旋电场和位移电流,从而把电磁基本理论统一起来,建立了电磁场方程,揭示了电磁运动是以波的形式传播,并预言了光是一种电磁波。这一理论研究成果分别被赫兹和杨氏用实验所证明,导致了无线电和波动光学的深入研究与广泛应用。

但是《工科物理学》不可能将读者引入更广更深的物理学学科研究中去。实验表明,不论那一门具体的工程技术和科学研究,都离不开物理学所研究的基本内容。这就对《工科物理学》这门课程的内容提出了具体的要求,即《工科物理学》应是主要以物质(具体说是宏观物体、微观粒子以及电磁场等)及其相互作用为基础,研究与这些物质运动有关的基本概念、理论以及一般的、普遍的、基本的运动规律为内容的一门课程,因此,它是工科学生必修的基础理论课。实践又表明,不论技术怎么发展,这个基础是不可动摇的,也不论物理学科本身将来如何发展变化,牛顿力学等基础理论在现代社会的各个方面应用最广,含量最高,仍然是不可缺少的基础理论。

《工科物理学》属大学物理的范围,在大学物理基本要求的基础上,除了考虑到高等学校工程类专业对物理基础知识的需要外,同时必须注重学生的物理思维,应用意识,以及科学研究能力、精神与方法等方面的训练。由于学时有限,所以在整体内容上就不可能做到一般理科大学物理课要求的那样全面、细致和深入。

对于这门课程的学习,往往一些读者提出了“在中学已经学过物理课,为什么大学还要开设物理课”的问题。作者认为中学物理是针对中学生的认识实践水平与接受能力等因素编写的物理学,因而不可能将有关问题讲得很深很透,更不可能把它们紧密地结合起来,形成更为系统而又抽象的理论体系。所以只能一个一个概念,一条一条定律(包括定理、原理)地阐述,目的是理解基本概念,掌握基本定律,求解一定形式的问题,培养学生的科学幻想与兴趣等。大学物理则要偏重于理论的提高与系统性的加强,强调物质运动之间的内在联系与相互作用产生的

效应。从认识论的角度讲,还要培养提高学生的物理思维(包括抽象、综合、分析、归纳、演绎等)能力和训练科学研究的基本方法,并为后续课(如力学、电子电工学等)打基础为目的。

基于上述的认识,我们对教材从内容体系上作了大胆的调整,以相互作用为主线建立物理概念、理论和物理量的定义。如在力学的物理基础中,把牛顿定律、冲量与动量、冲量矩与动量矩等都归结为相互作用效应,建立动力学理论体系。同时,把质点力学与刚体力学结合起来,使学生了解到质点与刚体这两个概念并不是那么独立的、绝对的,而是针对不同的机械运动特点抽象出来的形象化的研究模型。既如是同一物体,到底应抽象成那一种模型,可由学生根据运动特点及性质的分析,最后才能确定被研究对象的抽象化模型。在静电场中,以点电荷的相互作用为基础,建立静电场理论体系;在稳恒电流的磁场中,以电流元的相互作用为基础建立稳恒磁场的理论体系。同时,又将真空场与介质场结合起来,而将真空场看成介质场的一个特殊情况进行处理。这样,就可以将电场与磁场的描述对应起来,为以后统一电磁场理论作了准备,实现了“电”与“磁”,“静”与“变”的合理衔接,使读者不感到突然。这样做的目的在于加强理论的系统性与内在联系,减少不必要的重复,促使学生能够综合研究、判定问题的性质,掌握系统的基本理论知识,提高求解问题的能力。

在习题和思考题的编选上,注意了题目的适用性、多样性、综合性、可操作性以及与国家教委推荐的试题库的题型相适应的原则。选编了清华大学编制的《大学物理试题库》用过的部分题目,在此特予以说明。

另外在理论学习的基础上,我们认为应该使学生了解一些物理科学的具体应用,而且这种应用应该是通用型的,与所学内容相关联。为此,我们又编了“物理检测基础”一篇供读者选学。在现代技术中,物理检测技术显得越来越重要。但是,目前我国工科各专业的教学中,除了个别与物理相接近的专业外,物理检测基本上是个空白,大多数物理测量只限于物理实验中的几个基本量的测定,如加速度、温度、转动惯量、电阻等。又因为物理检测技术所要求的知识的广泛性,我们只限于工科物理中的有关内容在测量中的应用,如双光束干涉测长等。同时还考虑到物理基本测量实际上是将其他众多的技术参数通过一定的方式转换成电量的测定。而要实现这一转换,就需要有相应的转换器——即传感元(部)件,所以我们又介绍了几种以本教材理论为原理的传感器,如开关型、电容型、互感型、霍尔元件等传感器。目前在一些发达国家,如日本等,将传感器作为企业管理人员的必修课来要求,相比之下,我国目前管理水平上不去,不能说与人才培养中知识面的狭窄缺陷(只去学习一些管理理论,缺乏管理必要的通用技术知识)无关。物理课的教学有条件,也有必要在这方面作出应有的贡献。

正如前面所说,物理学是一门实验科学,为了使建立起这样一个概念,我们还选编了在物理学发展过程中起过重大影响的少量实验,同时又使学生可以体会到科学家们坚韧不拔、顽强进取的精神。在编排方式上尽量与有关内容接轨,以促使学生主动去阅读。

《工科物理学》是我们在多年的教学实践中对教材内容、体系改革与探索的一种尝试,由于缺乏经验,水平有限,且目前在体系上作较大变动可作借鉴的教材不多,所以错漏之处在所难免,恳求各方提出宝贵意见。

本书由刘志光、黎国辉、华德明、杨思信四位同志研究了内容体系,制定了编写大纲,具体分工是:刘志光第二(机械作用效应)、五(光干涉)、七(光偏振)、十四(电磁场与电磁波)、十五(相对论)章,以及上册思考题、习题,黎国辉第三(功和能)、九(分子运动论)、十(热力学)、十三(电磁感应)章,华德明第一(物体运动描述)、四(机械波)、八(计量光学基础)、十一(静电场)、

本书中采用的物理量的名称、符号和单位(SI)(要求统一使用)

名 称	符 号	单位名称	单位符号	常用单位的换算
长度	$L(l), H(h)$	米	m	$1\text{m} = 10\text{dm} = 10^2\text{cm}$ $= 10^3\text{mm} = 10^6\mu\text{m} =$ $10^9\text{nm} = 10^{12}\text{pm}$
位移	$\Delta \vec{r}(\Delta \vec{S})$	米	m	
面积	S, A	平方米	m^2	
体积(容积)	V	立方米	m^3	$1\text{m}^3 = 10^3\text{l} = 10^6\text{ml}$
时间	t	秒	s	
(平面)角	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	弧度	rad	
立体角	Ω	球面度	sr	
角速度	ω	弧度每秒	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	
角加速度	β	弧度每二次方秒	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$	
速度	$\vec{V}, \vec{U}, \vec{C}(v, u, c)$	米每秒	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	
加速度	$\vec{a}(a)$	米每二次方秒	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	
周期	T	秒	s	
转速	n	每秒	s^{-1}	
频率	ν, f	赫[兹]	$\text{Hz}(1\text{Hz} = 1\text{s}^{-1})$	
圆频率(角频率)	ω	弧度每秒	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	
波长	λ	米、埃	m, Å	$1\text{m} = 10^{10}\text{Å}, 1\text{nm} =$ 10^9Å
波数	$\tilde{\nu}$	每米	m^{-1}	
振幅	A	米	m	
初相位	φ	弧度	rad	
波速	$\vec{u}, \vec{c}(u, c)$	米每秒	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	
光速	$\vec{C}(c)$	米每秒	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	
质量	m	千克(公斤)	kg	
质量密度(体密度)	ρ	千克每立方米	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	
质量面密度	ρ_s, ρ_A	千克每平方米	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$	
质量线密度	ρ_l	千克每米	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$	
动量	$\vec{P}, (p)$	千克米每秒	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	
冲量	$\vec{I}(I)$			
动量矩(角动量)	$\vec{L}(L)$	千克二次方米每秒	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	
冲量矩(角冲量)	$\vec{I}_Q(I_Q)$			
转动惯量	I	千克二次方米	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	
力	$\vec{F}, \vec{f}(F, f)$	牛[顿]	N	
力矩	$\vec{M}(M)$	牛[顿]米	$\text{N} \cdot \text{m}$	
压强(压力)	P	帕[斯卡]	$\text{Pa}(\text{N} \cdot \text{m}^{-2})$	1 标准大气压 = 1.01325 × 10 ⁵ Pa = 76cmHg(在标准温度、海平面处)
功	A, W	焦[耳] 电子伏[特] 瓦[特]	J	电子能量 1eV = 1.602 × 10 ⁻¹⁹ J
能量(能)	E, W		eV	
动能	E_k, ϵ			
势能	E_p, V			
功率	P	瓦[特]	W	

本书中采用的物理量的名称、符号和单位(SI)(要求统一使用)

名 称	符 号	单位名称	单位符号	常用单位的换算
热力学温度	T	开[尔文]	K	
摄氏温度	t	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	$t = T - 273.15^{\circ}$
热量	Q	焦[耳]	J	$1\text{J} \approx 0.24\text{卡}$
热导率(导热系数)	k	瓦[特]每米开[尔文]	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	
热容	C	焦[耳]每开[尔文]	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$	
比热容	c	焦[耳]每千克开[尔文]	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	
摩尔质量	μ_m	千克每摩尔	$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$	
粒子质量	m	千克	kg	
定压摩尔热容	C_p	焦[耳]每摩尔开[尔文]	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	
定容摩尔热容	C_v			
内能	E, ϵ	焦[耳]	J	
熵	S	焦[耳]每开[尔文]	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$	
平均自由程	$\bar{\lambda}$	米	m	
平均碰撞次数 (平均碰撞频率)	$\bar{Z}$	每秒	s^{-1}	
扩散系数	D	二次方米每秒	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	
电量(电荷)	Q, q	库[仑]	C	
电流强度(电流)	I, i	安[培]	A	$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$
电流密度	$\vec{j}, \delta(j, \delta)$	安[培]每平方米	$\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$	
电荷密度(体密度)	ρ	库[仑]每立方米	$\text{C} \cdot \text{m}^{-3}$	
电荷面密度	σ	库[仑]每平方米	$\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$	
电荷线密度	λ	库[仑]每米	$\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$	
(直流)电阻	R, r	欧[姆]	$\Omega (1\Omega = 1\text{V} \cdot \text{A}^{-1})$	
电阻率	ρ	欧[姆]米	$\Omega \cdot \text{m}$	
电场强度	$\vec{E}(E)$	伏[特]每米	$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$	
电势(电位)	U, V	伏[特]	V	
电动势	$\mathcal{E}$			

本书中采用的物理量的名称、符号和单位(SI)(要求统一使用)

名 称	符 号	单位名称	单位符号	常用单位的换算
电位移	$D(D)$	库[仑]每平方米	$C \cdot m^{-2}$	
电通量(电位移通量)	Φ_e	库[仑]	C	
电容	C	法[拉]	F($1F=1C \cdot V^{-1}$)	$1F=10^6\mu F=10^{12}pF$
介电常数(电容率)	ϵ, ϵ_0	法[拉]每米	$F \cdot m^{-1}$	
相对介电常数	ϵ_r	(无量纲)		
电偶极矩	$\vec{P}, (P_e)$	库[仑]米	$C \cdot m$	
磁场强度	$\vec{H}(H)$	安[培]每米	$A \cdot m^{-1}$	
磁感应强度	$\vec{B}(B)$	特[斯拉]	T($1T=1Wb \cdot m^{-2}$)	$1T=10^4G$
磁 通 量 (磁感应强度通量)	Φ_m	韦[伯]	Wb($1Wb=1V \cdot S$)	
自感	L	亨[利]	H($1H=1Wb \cdot A^{-1}$)	$1H=10^3mH=10^6\mu H$
互感	M			
磁导率	μ, μ_0	亨[利]每米	$H \cdot m^{-1}$	
相对磁导率	μ_r	(无量纲)		
(面)磁矩	$\vec{p}_m, \vec{m}(p_m, m)$	安[培]平方米	$A \cdot m^2$	
电磁能密度	w	焦[耳]每立方米	$J \cdot m^{-3}$	
坡印廷矢量	$\vec{S}$	瓦[特]每平方米	$W \cdot m^{-2}$	
位移电流	I_d	安[培]	A	
位移电流密度	$\vec{S}_d$	安[培]每平方米	$A \cdot m^{-2}$	
光强	I	瓦[特]每平方米	$W \cdot m^{-2}$	
折射率	n	(无量纲)		
发光强度	I	坎[德拉]	cd	
辐[射]出[射]度	M_λ	瓦[特]每平方米	$W \cdot m^{-2}$	
辐[射]照度	I			
声强级	L_s	分贝	dB	
核的结合能	E_B	焦[耳]	J	
半衰期	τ	秒	s	

矢量简介

一、标量和矢量

在物理学中,对于所描述的物理概念和规律,往往要以某种量度的方法严格地规定下来,这种以量度的方法规定的量称做物理量。有的物理量只用它的数值大小(也包含其正负)和单位,就可以完整地描述某种物理属性,如:时间、温度、功、电流、能量等,将这些量称为标量物理量,简称标量。另一些物理量除了大小外,还必须有方向,才能完整地描述某种物理属性,如:位移、速度、动量、场强等,将这些量称为矢量物理量,简称矢量(注意:在纯数学中,也有标量和矢量之分,但一般并不表示具体的物理概念)。而称为矢量的物理量必须遵从矢量的一般运算法则,即平行四边形运算法则,否则,尽管某种量有它的大小和方向,但不能称为矢量。

二、矢量的表示法

在问题的论述过程和公式表示中,常用轻写体字母表示标量,用重写体字母表示矢量,也可以用符号 $\vec{A}$ 、 $\vec{C}$ 、 $\vec{E}$ ……表示矢量,本书采用重写体(黑体)字母,且在字母的上方加箭头表示矢量。在图中,既要表示出矢量的大小,也要表示出方向,通常用一带箭头的直线段($\rightarrow$)来表示。箭头应指向矢量的实际方向。在矢量大小的表示中,要先规定出单位矢量(即它的大小为1)或者一个数量级的长度,再按倍数(或比例关系)画出矢量的表示符号。如3N的力、30N的力,可以用图1的方法表示出来。在熟练的基础上,实际应用中不画出分段线。注意:对同一问题的同一量,作图时选取的标准应是统一的。如一个物体受了几个力的作用,在画受力图时,一定要采用同一个基准长度,这样才可避免在矢量作图中出现差错,而导致对问题性质的判断错误。

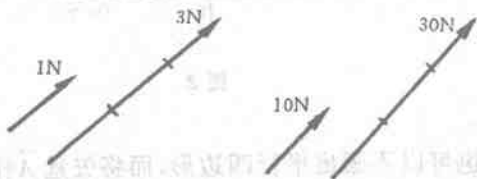


图1

矢量的大小称为矢量的模,简称模。在本书中,用轻写体字母表示模。模为1的矢量称为单位矢量。一般单位矢量用重写体字母,且在字母的右下角加“o”表示,即 $\vec{A}_o$ 、 $\vec{n}_o$ 等。在直角坐标系中,三个坐标轴的单位矢量常用符号 $\vec{i}$ 、 $\vec{j}$ 、 $\vec{k}$ 表示,且 $i=j=k=1$ 。显然

$$\vec{A}_o = \frac{\vec{A}}{A}, \text{ 即 } \vec{A} = A\vec{A}_o.$$

这表示任意一个矢量,都可以用它的模与它指向相同的单位矢量之积来表示。

矢量在平移过程中,不改变其大小和方向。

矢量的正负,只表示与所要比较的矢量(或某一坐标)的方向相同还是相反。如牛顿第三定律表示为 $\vec{f}_{12} = -\vec{f}_{21}$, 即相互作用的力的方向相反,大小相等。

三、矢量与标量之积

用一个标量 k 乘以矢量 $\vec{A}$, 可以得到一个新的矢量 $k\vec{A}$, 而且 $k\vec{A} = \vec{A}k$ 。

当 $k > 0$ 时, 矢量 $k\vec{A}$ 的模为 kA , 方向与 $\vec{A}$ 相同; 当 $k < 0$ 时, $k\vec{A}$ 的模为 $|kA|$, 方向与 $\vec{A}$ 相反;

当 $k = -1$ 时, $k\vec{A} = -\vec{A}$, 其模为 A , 方向与 $\vec{A}$ 的方向相反。

四、矢量的加减法

1、矢量的加法(合成)

如一个物体受几个力的作用, 求其合力, 就是一个矢量加法问题, 也称力的合成。

一般来说, 如果有两个矢量 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$, 求它们的合矢量, 可表示为

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

它遵从平行四边形运算法则, 如图 2 所示。 $\vec{C}$ 称为 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 的矢量和, $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 称为 $\vec{C}$ 的分矢量。从图 2 中可以看出

$$C = \sqrt{(B + A\cos\theta)^2 + (A\sin\theta)^2}$$

$$= \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\theta},$$

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

其中, φ 为和矢量 $\vec{C}$ 与矢量 $\vec{B}$ 之间的夹角, 当 $\vec{B}$ 的方向一定, 则 $\vec{C}$ 的方向就被确定。

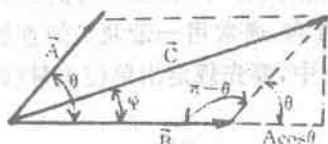


图 2

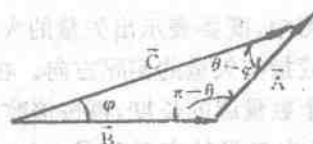


图 3

也可以不画出平行四边形, 而将矢量 $\vec{A}$ 作平移, 使其矢根与矢量 $\vec{B}$ 的矢尖重合, 再由 $\vec{B}$ 的矢根向移动后 $\vec{A}$ 的矢尖引一矢量 $\vec{C}$, 则 $\vec{C}$ 就是 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 的合矢量, 如图 3 所示。于是, 由正弦定理

$$\frac{A}{\sin\varphi} = \frac{B}{\sin(\theta - \varphi)} = \frac{C}{\sin(\pi - \theta)}$$

可以求出矢量 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 合矢量 $\vec{C}$ 的大小。

2、矢量的减法

两个矢量 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 相减, 可以写成

$$\vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B}),$$

可见, 两个矢量相减, 实际上可以看成矢量 $\vec{A}$ 和 $-\vec{B}$ 之和, 从而仍可以用矢量加法来处理减法问题, 如图 4 所示。

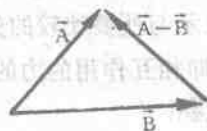
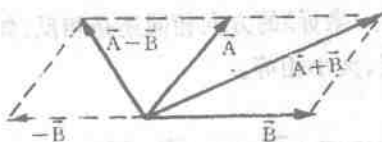


图 4

应指出,

(1) 矢量求和只能是同一性质的矢量才能相加(或相减),如力和力矢量可以相加,而力和速度矢量就不能相加。

(2) 矢量求和遵从交换律和结合律,即

$$\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A} \text{ 和 } (\vec{A} + \vec{B}) + \vec{C} = \vec{A} + (\vec{B} + \vec{C})$$

(3) 两个以上矢量的加法,原则上可以逐次采用平行四边形法则或三角形法则,先求其中两个矢量的合矢量,再将结果与第三个矢量求和,依次进行,就可以求得多个矢量的合矢量。

五、矢量的正交分解与合成(解析法)

几个同一性质的矢量,可以根据平行四边形法则即可得到一个唯一的矢量,这就称做矢量的合成。相反,一个矢量也可以分解成若干个分矢量,这称做为矢量的分解。但是合成与分解一般并不一定是可逆的。分解的矢量对数并不是唯一的,而可以有若干个,如图5所示。这就是说,当分矢量一定时,合矢量是唯一的,而由该合矢量再进行分解时,可以有若干对分矢量,一般不一定为原来的分矢量。因此,在对矢量进行分解时,一定要注意方法。一般是根据问题的性质和研究问题的需要与可能,进行分解。分解后的分矢量,有的只是为了分析和计算的需要,而不一定是实际存在的。如在斜面问题中,往往要将置于斜面上的物体的重力矢量分解成沿斜面和垂直斜面两个方向的分矢量,但实际上重力的方向总是垂直于水平面指向地心的,并不存在沿着斜面和垂直斜面的重力作用。

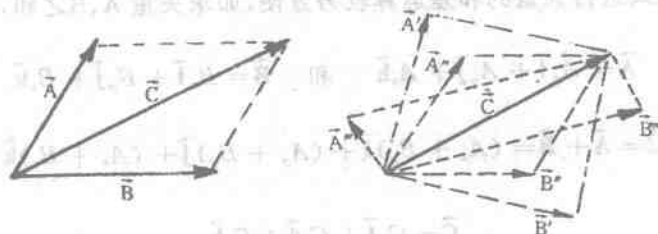


图5

在实际中,最常用的是将矢量沿平面或空间的直角坐标系的坐标轴方向进行分解,这种方法称为正交分解法。如图6所示。图6中的 A_x 、 A_y 和 A_z 、 A_y 、 A_z 分别是矢量 $\vec{A}$ 在两个坐标系中沿各个坐标轴的分量或称做投影。显然,对于空间直角坐标系分解,有

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

矢量 $\vec{A}$ 的方向由方向角 α 、 β 、 γ 的余弦表示为

$$\cos \alpha = \frac{A_x}{A}, \quad \cos \beta = \frac{A_y}{A}, \quad \cos \gamma = \frac{A_z}{A}$$

对于平面直角坐标系分解,可将 $A_z = 0$ 代入以上各式即可。矢量 $\vec{A}$ 与坐标轴之间的夹角余弦之间满足

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

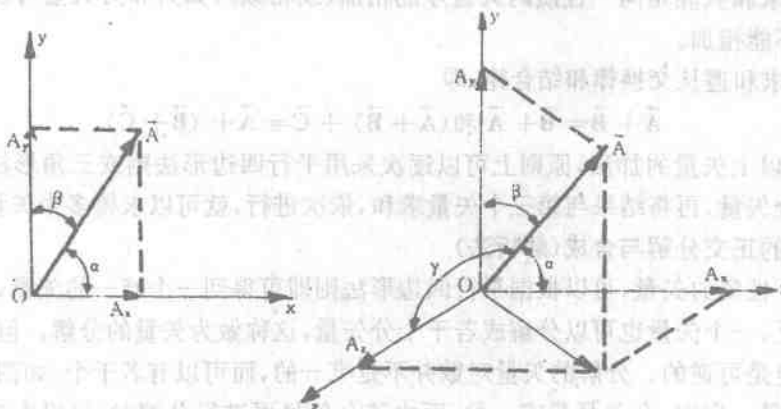


图 6

如果知道了 A_x, A_y, A_z , 则矢量 $\vec{A}$ 的大小和方向也就完全确定了。若令 $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 分别为沿 x, y, z 三个坐标轴的单位矢量, 则矢量 $\vec{A}$ 可以用分矢量之和表示, 即

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

此式称做矢量 $\vec{A}$ 在 $oxyz$ 直角坐标系中的正交分解式。

利用正交分解式进行矢量的和差运算较为方便, 如求矢量 $\vec{A}, \vec{B}$ 之和, 可先将 $\vec{A}, \vec{B}$ 分别写成

$$\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k} \quad \text{和} \quad \vec{B} = B_x \vec{i} + B_y \vec{j} + B_z \vec{k}$$

则有合矢量

$$\vec{C} = \vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x) \vec{i} + (A_y + B_y) \vec{j} + (A_z + B_z) \vec{k},$$

矢量 $\vec{C}$ 也可以写成

$$\vec{C} = C_x \vec{i} + C_y \vec{j} + C_z \vec{k},$$

因此, 有

$$C_x = A_x + B_x, \quad C_y = A_y + B_y, \quad C_z = A_z + B_z.$$

C_x, C_y, C_z 分别为合矢量 $\vec{C}$ 沿 x, y, z 轴的分量。

这表明, 两个矢量的和在一坐标轴上的投影等于这两矢量在同一轴上的投影之和(它们的差也为分投影之差)。因此, 就可以把求矢量和(或差)的矢量计算, 转化为求矢量分投影的代数运算, 然后再按矢量的标准式就可写出合矢量的表达式。

六、矢量的标积(点积)和矢积(叉积)

在物理概念和规律的描述中, 常出现矢量的相乘。但由于所描述对象的性质不同, 因此, 又出现相乘的方式不同。

1. 两矢量的标积(又称数量积或点积)

标积是指矢量与矢量相乘得到一个标量, 其值等于两矢量的模 A, B 与它们之间夹角 θ 的余弦之积, 如功的定义就是这样。一般表示为

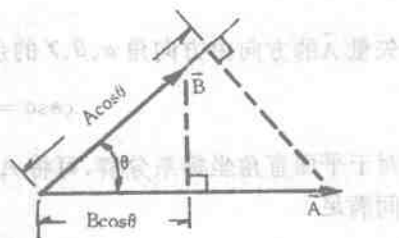


图 7

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

如图 7 所示。可见，两个矢量的标积，等于一个矢量的模乘以另一个矢量在该矢量方向上的投影。应该指出：

(1) 两矢量的标积是一个标量，但有正负之分，当 $\theta < \frac{\pi}{2}$ 时， $\cos \theta > 0$ ，故 $\vec{A} \cdot \vec{B}$ 为正，当 $\theta > \frac{\pi}{2}$ 时， $\cos \theta < 0$ ，故 $\vec{A} \cdot \vec{B}$ 为负。

(2) 从图 7 中可以看到， $\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \theta = BA \cos \theta = \vec{B} \cdot \vec{A}$ ，这表明矢量标积遵从乘法的交换律。

(3) 两正交矢量的标积，由于 $\theta = \frac{\pi}{2}$ ， $\cos \theta = 0$ ，故 $\vec{A} \cdot \vec{B} = 0$ 。

(4) 两相互平行矢量的标积，由于 $\theta = 0$ 或 π ， $\cos \theta = +1$ 或 -1 ，故 $\vec{A} \cdot \vec{B} = \pm AB$ 。

(5) 如果 $\vec{A} = \vec{B}$ ，则 $\vec{A} \cdot \vec{B} = A^2 = B^2$

(6) 对于直角坐标系各轴的单位矢量之积，由上述标积规律可得到

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

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

(7) 矢量标积又遵从乘法分配律，即

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

利用上述性质，对矢量 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 求标积，有

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = (A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}) \cdot (B_x \vec{i} + B_y \vec{j} + B_z \vec{k})$$

$$= A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

2、两矢量的矢积(又称矢量积或叉积)

矢积是指矢量与矢量相乘得到一个矢量，其值等于两个矢量模之积，与它们之间夹角 θ 的正弦绝对值相乘，如力矩的定义就是这样。一般表示为

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

应该指出：

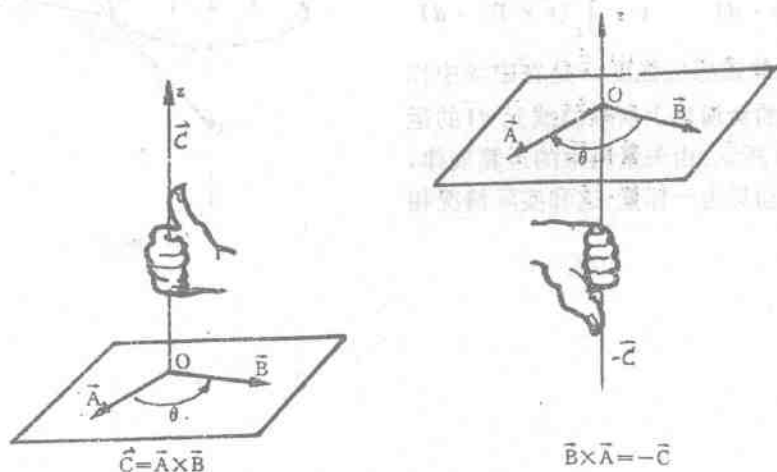


图 8

(1) 两矢量的矢积是一个矢量, 其方向垂直于矢量 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 构成的平面, 并由右手螺旋法则确定其指向。具体方法是, 设想通过 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 的矢根汇聚点 O 有一轴线 z , 且垂直于 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 构成的平面; 然后以右手去握轴线 z , 同时四指尖从前一个矢量经小于 180° 的那个夹角 θ , 转向后一个矢量, 这时拇指沿轴 z 的指向就是矢积 $\vec{C}$ 的方向。如图 8 所示。

(2) 从图 8 中可以看到, 矢量 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 的矢积, 与它们的前后顺序有关, 当两矢量交换位置时, 则矢积的方向与交换前相反, 即

$$\vec{A} \times \vec{B} = -(\vec{B} \times \vec{A})$$

这表明矢量的矢积不遵从乘法的交换律。

(3) 两正交矢量的矢积, 由于 $\theta = \frac{\pi}{2}$, $\sin\theta = 1$, 故 $|\vec{A} \times \vec{B}| = AB$, 为矢积的最大值。

(4) 两相互平行矢量的矢积, 由于 $\theta = 0$ 或 π , $\sin\theta = 0$, 故 $\vec{A} \times \vec{B} = 0$ 。

(5) 如果矢量 $\vec{A} = \vec{B}$, 由于 $\theta = 0$, 故 $\vec{A} \times \vec{B} = 0$ 。

(6) 在直角坐标系中, 单位矢量之间的矢积, 由上述矢积规律可得到,

$$\vec{i} \times \vec{i} = \vec{j} \times \vec{j} = \vec{k} \times \vec{k} = 0$$

$$\vec{i} \times \vec{j} = \vec{k}, \quad \vec{j} \times \vec{k} = \vec{i}, \quad \vec{k} \times \vec{i} = \vec{j}$$

$$\vec{j} \times \vec{i} = -\vec{k}, \quad \vec{k} \times \vec{j} = -\vec{i}, \quad \vec{i} \times \vec{k} = -\vec{j}$$

利用上述性质, 对矢量 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 求矢积, 有

$$\begin{aligned} \vec{A} \times \vec{B} &= (A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}) \times (B_x \vec{i} + B_y \vec{j} + B_z \vec{k}) \\ &= (A_y B_z - A_z B_y) \vec{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \vec{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \vec{k} \end{aligned}$$

3. 矢量的混合积

在有的物理概念和规律中, 也出现三个矢量的标积与矢积的混乘积, 如动生电动势的定义就是这样, 即

$$d\varepsilon = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} \quad \varepsilon = \int_L (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l}$$

其中, $\vec{B}$ 为磁场的磁感应强度, $\vec{v}$ 是在磁场中作切割力线运动的金属棒上所取的线元 $d\vec{l}$ 的运动速度, 如图 9 所示。由矢量相乘的运算规律, 很显然动生电动势为一标量, 这和实际情况相符合。

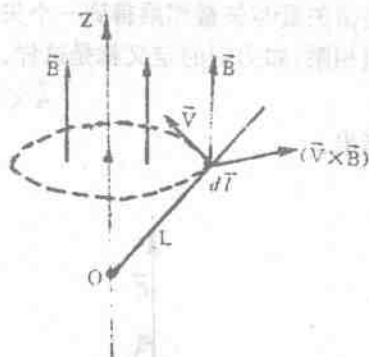


图 9

上册内容简介

《物理学》上册,包括工科物理教学大纲所要求的基本内容:力学的物理基础(质点力学、刚体力学、机械振动)、波动与光学、分子运动论与热力学基础。本教材特别注重物质相互作用的内在联系,因而系统性强,基本概念清晰,使用方便。

本教材可作各类工科院校工程类专业的物理学教材,也可作电大、夜大、函授、职大非物理类专业的教材和自学参考书。

(上册)

黄建豪 周耀华 鞠国章 光泳敏

《工科物理学》上册

目 录

第一篇 力学的物理基础	
* 实验物理始祖——伽利略	(1)
第一章 机械运动的描述	(4)
§ 1—1 参照系 位置矢量 物体运动方程	(4)
§ 1—2 物体的速度和加速度	(8)
§ 1—3 质点的谐振动	(25)
§ 1—4 谐振动的合成	(29)
思考题	(38)
第二章 物体之间相互作用的机械运动效应	(39)
§ 2—1 牛顿运动定律	(39)
§ 2—2 机械振动的动力学基础	(45)
§ 2—3 刚体动力学基础	(51)
§ 2—4 冲量和动量 动量守恒定律	(58)
§ 2—5 冲量矩和动量矩 动量矩守恒定律	(66)
思考题	(69)
第三章 功和机械能 能量守恒与转换定律	(71)
§ 3—1 功和动能 动能定理	(71)
§ 3—2 保守力的功 势能	(78)
§ 3—3 谐振子的动能和势能	(79)
§ 3—4 功能原理 机械能守恒定律	(81)
§ 3—5 碰撞及碰撞过程中的能量	(85)
附:伯努力方程	(90)
思考题	(91)
第二篇 波动学基础 波动光学	
第四章 机械波	(93)
§ 4—1 机械波的产生及其基本概念	(93)
§ 4—2 波动的描写 波的能量	(96)
§ 4—3 惠更斯原理	(101)
§ 4—4 波的叠加 波的干涉	(102)
§ 4—5 声波	(109)
§ 4—6 多普勒效应	(112)