



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



物理学

第二版

● 徐建中 主编
● 马文蔚 主审



化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

物 理 学

第二版

徐建中 主 编

黄 斌 副主编

马文蔚 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书根据教育部 1999 年组织修订的《高职高专教育物理课程教学基本要求》，结合近几年中国高职生源现状编写。全书共九章，主要介绍了：质点力学、刚体力学、流体力学和热力学；静电场、静磁场和电磁感应；机械振动与机械波、光的产生与应用。在内容选取上体现以素质教育为宗旨，以培养高等技术应用型人才为目标，以必须够用为原则，着重讲解物理学基本规律。注重物理概念、结论及其意义的阐述，淡化数学推导和论证；注重物理原理在工程技术中的应用，淡化技术细节；注意与中学物理知识的衔接，避免不必要的重复；注意与现代高新技术的结合，适当渗透近代物理思想。并以阅读材料和小字体扩充必要知识。

本书可以作为高职高专工科类各专业的物理教材，也可作为职大、电大专科层次工科类各专业物理课教学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学/徐建中主编. —2 版. —北京：化学工业出版社，2009.9
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-122-06641-1

I. 物… II. 徐… III. 物理学-高等学校-教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 156784 号

责任编辑：张建茹 陈有华
责任校对：蒋 宇

文字编辑：吴开亮
装帧设计：郑小红

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15¼ 字数 378 千字 2010 年 1 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888(传真：010-64519686) 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：24.00 元

版权所有 违者必究

出版说明

高职高专教材建设是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

第二版前言

本教材自 04 年出版发行以来,得到物理学同行的关注与关心,经连续多届学生使用,普遍反映良好,认为教材较好地体现了编写的指导思想,即“以素质教育为宗旨,以培养技术应用型人才为目标,以必须够用为原则”。教材注重了物理学基本规律的描述和基本原理的阐述,在讲清物理学概念的基础上突出其在工程技术中的应用;教材注重介绍物理思维方法,突出物理思想与物理模型,淡化了数学推导与论证;教材注意了与中学物理的衔接、与高新技术的结合、与近代物理思想的融合。本教材 2007 年被江苏省教育厅评为精品教材,并被列入“十一五”国家级规划教材建设目录。

本次修订继续保留了“全书按运动形式组织经典物理学知识,以运动的描述、基本规律、主要应用来呈现各章内容”的结构和框架,继续保持文字简练的风格。修订工作主要依据高职物理课程教改的最新理念以及教材使用中提出的意见和建议,吸取国内外同类教材的优点,结合教师的教学经验进行。教材修订进一步体现高等教育大众化条件下高中后三年制高职物理课程的特点,更好地为专业教学服务,更好地为培养高级技术应用型人才服务,更好地发挥物理教学在培养人的科学素养方面的独特作用。

本次修订删除了理论性较强、难度较大的习题,新增了部分结合工程和技术应用的习题,突出职业教育的实践性和应用型;调整了部分章节内容的编排次序,使知识结构更加科学合理;改写了部分内容,使重点更加突出,方便教学。根据部分专业需要及学生的物理基础,第四章增加了“热能的有效利用”;第九章增加了光产生的理论模型、光谱、光谱分析和光电效应等内容。新增混沌简介、波粒二象性两个阅读材料,使内容更加丰富和新颖;重新绘制了部分插图,提高了插图质量;更正了印刷错误。

与本教材中列出的“大学物理实验目录”配套的由葛宇宏主编、徐建中主审的《物理学实验》已正式出版发行,本次修订是在广泛听取意见的基础上由主编提出修订意见,范凤萍负责第一、二、三、四章的修订;黄斌负责第五、六、七章的修订;徐建中负责第八、九章,绪论及附录的修订。葛宇宏、毛全宁、郑其明、魏英、郝杰等老师为教材修订提出了许多宝贵意见,并为习题的遴选和新增内容的编写做了大量基础工作,还有许多读者提出了本教材建设的新理念、新思路,在此一并表示衷心感谢。愿第二版教材能较好地反映出大家的良好愿望,也愿高职战线上的物理学同仁们继续关心这本教材的建设。

编者 2009.8

第一版前言

近几年来,中国高等教育的发展取得了长足的进步,改革取得了令人瞩目的成绩,初步形成了适应经济建设和社会发展需要的多层次、多形式的社会主义高等教育体系。高等职业教育作为高等教育的重要组成部分,近年来也得到了迅速发展,呈现良好态势。高等职业技术学院为培养生产、建设、管理和服务一线的高级技术应用型人才进行了不懈探索,同样,作为物理教学工作者都在思索着,如何改革物理教学,为培养适应新世纪需要的高素质劳动者和专门人才服务。高等教育大众化条件下的高职高专教育培养目标与原有的高等专科学校教育培养目标相比,已发生了相当大变化,原高等工程专科学校开设的《普通物理》课已不适用于高职高专教学需要。国家教委1994年组织修订的《高等学校工程专科物理课程教学基本要求》也已不适应当前大众化条件下的高职教育实际。一个不容忽视的现实是实行3+x高考模式后,许多高中生因高考未选物理科目而实际未完成高中阶段物理课程的学习。鉴于上述原因,组织编写一本符合高职培养目标和适应当前高职生源的教材尤为重要。本教材在内容选取上,体现以素质教育为宗旨,以培养技术应用型人才为目标,以必须够用为原则。注重物理学概念的理解和突出物理规律的描述;注意物理基本原理的阐述和突出其在工程技术中的应用。注意与中学物理的衔接和与高新技术的结合;注重介绍物理思维方法和渗透近代物理思想。淡化数学推导与论证,突出物理思想与物理图像。全书按运动形式组织经典物理学知识,以运动的描述基本规律、主要应用来呈现各章内容,并提供了参考实验目录和习题参考答案。为了体现双语教学思想,在主要物理学名词首次出现时加注了英文。

本教材由徐建中拟定编写提纲。范凤萍编写一、二、三、四章,黄斌编写五、六、七章,徐建中编写第八、九章、绪论和附录,并负责全书的统稿。东南大学马文蔚教授任主审,南京工程学院王铁平副教授、南京信息职业技术学院赵志芳副教授参加了审定,对教材提出了许多宝贵的建议。本教材在编写中参考了许多已出版的教材和资料,在此一并致谢。

本书可作为高职工科类各专业的物理教材,也可供职业大学、电视大学专科层次工科类专业物理课参考。

鉴于编者学识水平所限,有不妥和错误之处,敬请同行和读者批评、指正。

编者

目 录

绪论	1
第一章 质点的运动	4
第一节 质点模型	4
第二节 质点运动的矢量描述	5
第三节 牛顿第二定律	8
第四节 变力的功 弹性势能	10
第五节 功能原理 机械能守恒定律	13
第六节 动量定理 动量守恒定律	14
阅读材料 混沌简介	17
本章小结	20
练习题	21
第二章 刚体定轴转动	24
第一节 刚体转动的描述	24
第二节 刚体转动定律	27
第三节 刚体转动动能定理	30
*第四节 角动量和角动量守恒定律	32
阅读材料 三大守恒定律	33
本章小结	37
练习题	38
第三章 流体运动	41
第一节 流体运动模型	41
第二节 理想流体的运动规律	42
第三节 流体的测量	44
*第四节 牛顿黏滞定律	47
阅读材料 伯努利方程与日常生活	49
本章小结	50
练习题	51
第四章 热运动 热力学定律	54
第一节 热运动的特点和研究方法	54
第二节 理想气体的统计描述	56
第三节 热力学第一定律	59
第四节 热力学第一定律在理想气体几个过程中的应用	62
第五节 循环过程	66
*第六节 热力学第二定律	69

	*第七节 传导 对流 辐射	71
	第八节 热能的有效利用	75
	阅读材料 温室效应	77
	本章小结	79
	练习题	81
第五章	静电场	85
	第一节 库仑定律 电场强度	85
	第二节 电势能 电势	90
	第三节 静电场中的叠加原理	92
	第四节 静电场的基本规律	98
	第五节 高斯定理的应用	101
	第六节 电介质中的静电场	103
	第七节 电容 静电场的能量	105
	阅读材料 电容式传感器	108
	本章小结	110
	练习题	112
第六章	磁场	116
	第一节 描述磁场的基本物理量	117
	第二节 磁场的基本规律	121
	第三节 安培环路定理的应用	124
	第四节 磁场对运动电荷的作用	126
	第五节 霍尔效应	130
	第六节 磁场中的磁介质	132
	本章小结	135
	练习题	137
第七章	电磁感应	144
	第一节 电磁感应的基本规律	144
	第二节 感应电动势 涡旋电场	147
	第三节 互感 自感	150
	第四节 磁场能量	156
	阅读材料 电感式传感器	158
	本章小结	160
	练习题	161
第八章	机械振动与机械波	167
	第一节 简谐振动的描述	167
	第二节 简谐振动的合成	172
	第三节 平面简谐振动的描述	174
	第四节 振动与波动的能量	177
	阅读材料 超声波 次声波 地震波	180
	本章小结	182

	练习题	183
第九章	光的产生及应用	187
	第一节 光产生的理论模型	187
	第二节 线光谱、带光谱和连续光谱	191
	第三节 光谱分析	193
	第四节 杨氏双缝干涉 光程和光程差	195
	第五节 薄膜等厚干涉 光学薄膜	198
	第六节 单缝衍射 光栅衍射	202
	第七节 圆孔衍射 光学仪器分辨率	206
	第八节 光的偏振及其应用	208
	第九节 光电效应	211
	阅读材料 波粒二象性	213
	本章小结	215
	练习题	217
附录 A	大学物理实验目录 (供参考)	221
附录 B	矢量代数基本知识	222
附录 C	练习题答案	225
参考文献		231

绪 论

物理学是研究物质的基本结构，相互作用，物质最基本、最普遍的运动形式及其转化规律的学科。物理学研究的对象具有极大的普遍性，它的基本理论渗透于一切科学领域，应用于生产技术的各个部门，是自然科学和工程技术的基础。高职高专物理课，一方面在于为技术应用型人才将来从事专业技术工作打好必要的物理基础，培养独立获取知识的能力，同时也对学生建立辩证唯物主义世界观，激发探索和创新精神，增强适应能力，提高人才素质起着重要作用。

一、物理学与自然科学

物理学一词最早出自古希腊文中，含义是“自然 (physic)”，在古代欧洲则是自然科学的总称，早期的科学家把整个自然作为研究对象。随着科学的发展，自然科学逐渐分为天文学、物理学、数学、生物学、地质学。物理学本身也向专业化纵深发展，如力学又分为流体力学、弹性力学、材料力学、工程力学等分支。当代物理学已发展成为一个相当庞大的学科群。包括高能物理、原子核物理、等离子体物理、凝聚态物理、理论物理等主体学科以及难以计数的分支学科。物理学在其他学科的广泛应用，又陆续形成了许多交叉学科，如化学物理、地球物理、天体物理、生物物理等，这些学科又推动了材料科学、空间科学、生命科学的蓬勃发展。

物理运动是宇宙中最普遍、最基本的运动形式，大到宇宙天体的运行，小到微观粒子的相互作用，从由分子、原子等实物粒子组成的物质到看不见摸不着的“场”，没有物理不涉足之处。物理学研究对象的普遍性，使得它成为自然科学的基础。化学与物理学交汇于原子和分子结构的领域；现代生物学发展到分子生物学水平，已经离不开物理理论和物理学所提供的现代化仪器设备；而天文学则是关于天体的物理学，可以说是关于宇宙的实验物理学。物理学的发展为自然科学的发展打下基础，自然科学的发展推进了技术进步，而技术进步又为物理学的研究提供更先进的仪器设备和创造更好的条件，进一步促进物理学的发展。因此物理学的发展与工程技术的发展紧密相关、相辅相成。如 20 世纪以来，随着相对论和量子力学的建立，人类取得了一系列具有划时代意义的技术突破，产生了原子核技术、微电子技术、计算机和信息技术、激光技术、光纤通信技术、卫星通信技术、超导技术、红外技术、生物工程技术等。如果把自然科学比作一座金碧辉煌的殿堂，那么物理学则是这座殿堂的基石。物理学揭示了自然界物质运动的基本规律，是人类认识世界和改造世界的武器。物理学的方法，包括它的物理实验方法、物理学中的数学方法、物理学中的理论思维方法，不仅适用于物理学各专门领域，而且广泛渗入、移植到各个含有物理过程和以物理为基础的科学领域，深刻地影响了其他学科的发展。物理学的成果不仅应用于工程技术，而且渗透到了人文科学，影响了哲学、艺术和宗教的发展。当今的物理学已经成为生气勃勃地向一切科学技术领域渗透的一种力量。科学家预言，21 世纪将会得到重点开发的高科技领域的信息技术、生物技术、空间技术、新能源技术、新材料技术和海洋技术，都是以物理学为基础的科学。当人们在惊叹世界变化如此之快时，已深刻体会到了“知识就是力量”，而物理学作为自然科学基础研究中最前沿的学科之一，对改变这个世界作出了不可磨灭的贡献。

二、物理学与人类文明

科学技术是第一生产力。物理学作为自然科学的基础,在人类认识世界和改造世界的过程中发挥了极其重要的作用。“科学发现-技术发明-产业革命”这是人类认识世界和改造世界的三部曲。物理学基本规律的重大发现和基本理论的重大突破孕育了科技革命,而科技革命又引发了产业革命。每次产业革命不仅推动了社会生产力的飞跃发展,提高了生产的社会化程度,而且影响到世界经济和政治格局,影响到历史的进程。18世纪热力学理论的发现和热力学定律的建立孕育了第一次科技革命,引发了以蒸汽机的使用为代表的第一次产业革命,人类从此进入机械化时代。第一次产业革命冲破了人类自给自足的自然经济,形成了世界经济市场。19世纪电磁感应现象的发现和电磁理论的建立孕育了第二次科技革命,引发了以“电”的使用为代表的第二次产业革命,从此电力取代了蒸汽,为大工业生产提供了前所未有的强大动力,并促进了一系列重大的发明和新兴工业的诞生,人类开始进入“电气化时代”,电走入了千家万户。电的使用,使电机、电力、电信、电法炼钢、电化学等一系列新兴工业从此诞生,并极大地促进了内燃机、汽车和飞机等新兴工业的发展。第二次科技革命,不仅使生产力实现了又一次新的飞跃,使人类的社会生活和世界的面貌发生了巨大变化,而且国际生产关系也因此发生了新的变化,国际垄断资本的出现瓜分了世界市场,使发生科技革命的国家逐步取得了对世界经济和世界政治的控制权。20世纪50年代以来发生的第三次科技革命是人类历史上影响最为深刻的一场技术综合创新的科技革命,使人类社会进入了以原子能、电子计算机和激光等新技术为标志的时代,它极大地改变了世界的面貌和人类生活。人类许多美丽的梦想、幻想甚至以前根本无法想象或连想都不敢想的事情都已经或正在变成现实。而这些都是与物理学的发展无法分开。第三次科技革命也同样在影响着世界经济和政治格局。第一次科技革命后形成的以英国为核心的国际分工随着第二次科技革命的推进,由英国转入了欧美。美国一直引领着世界科技的前沿,至今仍保持头号强国的地位。二战后日本、德国抓住了第三次科技革命的机遇,经济实力迅速崛起。新中国成立后特别是改革开放以来,中国的科技发展正在不断赶超世界先进水平,第三次科技革命为中国经济腾飞,实现跨越式发展提供了难得的历史机遇。

物理学特别是近代物理学取得如此辉煌的成就,能够在认识自然界、认识宇宙、推动科技进步、推动经济发展和历史前进上发挥如此巨大的作用,显示出物理学作为整个自然科学和现代工程技术的基础的强大社会功能。

“知识就是力量”。物理学的发现一方面为科技革命提供了原动力,由此引发的产业革命创造了人类的物质文明;另一方面物理学的发展还为科学的世界观和方法论的创立打下基础,推动了人文科学的发展和人类的精神文明。古代人类对自然界的认识常有浓厚的直观、猜测的性质,形成了朴素的自然观,在无法抗拒的大自然面前,人们创造了“神”和“上帝”。在中世纪,基督教统治着欧洲,它的理论基础是托勒密的地心说。哥白尼(Copernicus, Nicolaus 1473~1543)举起了自然科学向宗教神学反叛的大旗提出了地动日心说,他揭穿了教会的迷信,从根本上动摇了中世纪欧洲的思想结构和基督教神学的基础,从此自然科学开始从神学的禁锢中解放出来。17世纪,伽利略-牛顿建立了经典力学体系,确立了以空间、时间、质点和力等基本概念来描述自然界的总体概念,这些概念被引入了哲学,机械论的自然观和方法论便应运而生,伽利略的两个铁球同时着地的实验和牛顿发现万有引力,把天上的力与人间的力统一起来,使人类对自然界的认识深化了一大步。纵观人文科学的发展历史,不难看出物理学取得的成果对思想家和理论家们思想的影响。物理学是一门实验科学,强调一切定理和定律都必须经受实践的检验,而这正是唯物论的思想基础。

三、物理学研究方法

物理学的发展历史是一部“实践-认识-再实践-再认识”的历史。深入地观察现象,对影响现象的各种因素进行有控制的实验,对实验结果进行分析、综合和归纳,找出主要因素,提出假设,建立模型,然后应用数学工具形成理论,再对理论进行检验和修正。这就是物理学研究方法。它也是科学研究的一般方法。

自然界和生产实践中的物理现象,往往同时受多种因素影响,为了揭示现象的本质,必须抓主要矛盾,并用仪器设备,有选择、有控制地再现物理现象,以便掌握其中规律性的联系。这一过程就是实验。实验结果可以定量描述,可以在相同的条件下由任何人重新实现,这是物理实验的显著特征,也是物理理论令人信服的力量所在。物理学研究方法符合认识论的一般规律。这从光学的发展史中可见一斑。17世纪,牛顿在大量观察和实验的基础上,从质点力学的角度出发提出了光的微粒说,认为光是由大量微粒组成的粒子流,成功地解释了光的反射和折射现象,使人们第一次接触到光的客观的和定量的特征,但它无法解释光的干涉和衍射现象。18世纪90年代惠更斯提出光的波动说,认为光是一种机械弹性波,其传播媒介是一种称作“以太”的弹性介质,它充满整个宇宙,且绝对静止,它既无质量,却极具刚性。经菲涅耳补充后的惠更斯-菲涅耳原理很好地解释了包括干涉与衍射在内的光现象。但整个18世纪,两种矛盾的理论都不能自圆其说,虽然19世纪60年代,麦克斯韦提出光的电磁波学说,支持了光的波动说,但是该理论建立的基础,神秘的“以太”一直无法找到,而且光的波动说无法解释光电效应。1887年,迈克耳逊用干涉仪测“以太风”否定了“以太”的存在,光的波动说又陷入了困境。20世纪初爱因斯坦提出光子假说,为粒子和波之间建起一座桥梁,近代物理观点认为,光是一种电磁波,它具有波粒二象性,相对论和量子论的建立,使人们对光的本性的认识又前进了一大步。对光的本性的认识是一个由表及里、由浅入深、由现象到本质不断接近客观真理的过程。这是人类认识自然规律的一个典型。

物理学由于其自身的特点,它既是实践性很强的科学,又是思想性、理论性、系统性很强的科学,并长期处在学科领先地位。因此物理学成为自然辩证法研究最多的学科,并成为自然辩证法方法论的基础。物理学发展中形成的科学方法、科学精神成为其他学科的典范。因而物理学在培养人的科学素养方面有着许多其他学科难以比拟的特殊教育功能和文化价值。物理学理论的每次重大突破,都是一次创新。物理学的创新思维和实践不仅可以教给人们知识和技能,启发人们的聪明才智,更重要的是使人们受到科学思想、科学精神的教育与熏陶,从而促进人的各种能力和全面素质的提高。

学习指南

1. 通过质点模型,初步了解物理模型的建立方法。
2. 掌握位矢 $\mathbf{r}$ 、位移 $\Delta\mathbf{r}$ 、速度 $\mathbf{v}$ 、加速度 $\mathbf{a}$ 等物理量的概念,并会用矢量进行相应的运算。
3. 加深对牛顿运动定律的理解,能用正确的方法求解有关简单的问题。
4. 理解功、能量及动能定理的意义。会计算一维情况下变力的功。
5. 理解势能的概念与保守力做功的特点,会正确计算有关重力势能与弹性势能的问题。
6. 理解动量、冲量和动量定理的意义,会进行简单的计算。
7. 掌握动量守恒与机械能守恒的条件,并会求解有关平面运动的简单力学问题。
8. 了解守恒定律在工程技术上的应用。

宇宙中的一切物体都处于永恒的运动之中,为了研究物体的运动,必须选择另外一个物体作为参照系。为了定量地描述物体的位置及其变化,还要在参照系上规定一个坐标系。一般最常用的是直角坐标系。

自然界里有各种各样的物体,各物体的运动也不尽相同。为了简化问题,突出运动物体的主要特征,使讨论的问题具有普遍意义,常把客观物体简化为物理模型来研究。质点就是力学中最简单的物理模型。

第一节 质点模型

质点 (material point) 是指具有一定质量而可以忽略其大小和形状的物体。

物体都有一定的大小和形状,在运动时,物体上各点的位置变化在一般情况下是各不相同的,所以要精确地描述物体的运动,不是一件容易的事。但在有些情况下,由于物体的大小和形状与所研究的问题关系很小,因而在研究这类问题时,可以忽略物体的大小和形状,把物体当作质点来处理。例如,地球是一个平均直径为 12742km 的星体,它以 29.8km/s 的速率,沿半径为 1.5×10^8 km 的轨道绕太阳公转,以角速度 7.3×10^{-5} rad/s 绕地轴自转,加上潮汐、地震等引起的变形运动,它的运动十分复杂。假若只研究地球的公转时,由于地球的直径与地球与太阳之间的距离相比要小得多,因而可以忽略地球的大小和形状,把它当作质点。

在什么情况下可把物体看成质点，要根据所研究问题的性质而定。当研究地球的自转时，显然不能忽略地球的大小和形状，就不能把它当作质点了。

当物体不能被看成质点时，仍可把物体上每一小部分看成质点，于是，该物体就被看成由许多质点组成的“质点系”。分析这些质点的运动，就可以搞清楚整个物体的运动。

质点是力学中最基本、最简单的理想模型。它是从研究真实物体运动时抽象出来的，它突出实际物体的主要特征：物体的质量和物体的空间位置。这种科学的抽象能在一定程度上准确、深刻地反映事物的本质。后文将会介绍更多的理想模型，如弹簧振子、刚体、理想流体、理想气体、点电荷等，在具体应用这些模型时，应理解它们是如何建立的，并注意它们的适用条件。

第二节 质点运动的矢量描述

一、位矢与位移 (position vector and displacement)

当质点相对于某一参考系运动时，为了描述质点的运动，首先要确定质点的位置。如图 1-1 所示，在参考系上任取一点 O 作为参考点，从点 O 指向质点在某一时刻所处的位置 P 作一矢量 $\mathbf{r}$ ，称为质点在该时刻的位置矢量，简称位矢。位矢的大小表示 P 到参考点的远近；位矢的方向自 O 指向 P ，表示 P 点相对于参考点 O 的方位。

在图 1-1 所示的空间直角坐标系中，质点 P 位矢的三个分量为直角坐标 x 、 y 、 z ，通常以 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 代表沿三个方向的单位矢量，将 $\mathbf{r}$ 表示为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1-1)$$

如果质点在平面上运动，那么在该平面上取直角坐标系 xOy ，质点的位矢可表示为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} \quad (1-2)$$

如果质点在一直线上运动，那么在该直线上取坐标轴 Ox ，质点的位矢可表示为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} \quad (1-3)$$

如果图 1-1 中质点相对于参考系是静止的，则位矢 $\mathbf{r}$ 的大小和方向都不变；当质点相对于参考系在运动，那么，它的位矢 $\mathbf{r}$ 将随时间变化。也就是说， $\mathbf{r}$ 是时间 t 的函数

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-4)$$

上式称为质点的运动学方程。显然，这时，质点的坐标 x 、 y 、 z 也是时间 t 的函数

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

上式称为质点运动学方程在直角坐标系下的分量式。当然，对于平面运动，需用上述两个分量式；对于直线运动，只需用其中的一个分量式。

研究质点的运动，不仅要知道它在任一时刻的位置，还要知道它在一段时间内位置的变化。如图 1-2 所示，质点沿一曲线运动，在 t 时刻位于 A 处，在 $t + \Delta t$ 时刻位于 B 处，则 Δt 时间内物体位置的变化是由 A 指向 B 的有向线段 $\Delta \mathbf{r}$ 来表示。把 $\Delta \mathbf{r}$ 称为质点在 Δt 时间内的位移矢量，简称位移。位移是描述一段时间内质点位置变动的物理量。它的大小表示质点位

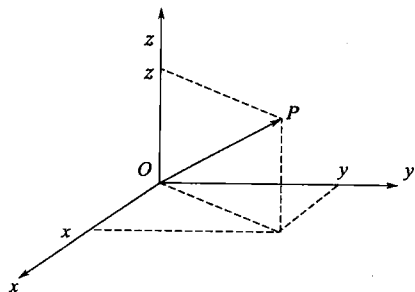


图 1-1 位矢

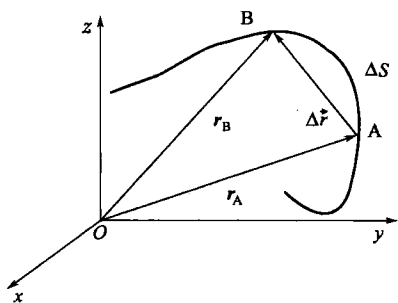


图 1-2 位移

置变动的直线距离，其方向反映质点位置变动的方向。显然位移只与物体的始、末位置有关，而与所经过的路径无关。

根据矢量的运算规则，由图 1-2 可知

$$\mathbf{r}_A + \Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_B \quad (1-6)$$

它表示的物理意义是：质点初位置为 $\mathbf{r}_A$ ，经过位移 $\Delta\mathbf{r}$ 后，到达末位置 $\mathbf{r}_B$ 。式(1-6)可写成 $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A$ ，因此，通常称位移为位矢的增量。

在平面直角坐标系中，位移为

$$\Delta\mathbf{r} = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} \quad (1-7)$$

式中

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= x_B - x_A \\ \Delta y &= y_B - y_A \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

是 Δt 时间内质点坐标的增量。

应注意，位移 $\Delta\mathbf{r}$ 和路程 ΔS 不同。首先， $\Delta\mathbf{r}$ 是矢量， ΔS 是标量；其次， $\Delta\mathbf{r}$ 的大小 $|\Delta\mathbf{r}|$ 一般情况下也不等于 ΔS ，因为 $|\Delta\mathbf{r}|$ 表示位置变化的直线距离，所以，总有 $\Delta S \geq |\Delta\mathbf{r}|$ 。只有当 $\Delta t \rightarrow 0$ 的情况下，它们是相等的，即 $|\mathrm{d}\mathbf{r}| = \mathrm{d}S$ 。

二、速度 (velocity)

图 1-2 中，为了描述质点运动的方向和快慢，可以计算质点在 Δt 时间内的平均速度 (mean velocity)，它等于 $\Delta\mathbf{r}$ 与 Δt 的比值

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-9)$$

平均速度是矢量，它的方向与 $\Delta\mathbf{r}$ 的方向相同。 $\bar{\mathbf{v}}$ 的大小反映质点在 Δt 的平均快慢程度。显然，它不能反映质点在各个时刻的运动情况，用它来描述质点的运动是粗略的。

怎样才能精确地描述质点在各个时刻的运动情况呢？从式(1-9)可以看出， Δt 越小，描述就越精确，这里不妨令 $\Delta t \rightarrow 0$ ，于是

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{r}}{\mathrm{d}t} \quad (1-10)$$

$\mathbf{v}$ 称为质点在时刻 t 或质点处于点 A 的瞬时速度 (instantaneous velocity)，简称速度。它是位矢对时间的一阶导数，它的大小表示质点位置变化的快慢程度，它是矢量，它的方向与 $\Delta\mathbf{r}$ 在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时的极限方向相同。从图 1-2 可见，当质点作曲线运动时，它在某一点的速度方向就是沿该点曲线的切线方向。

在国际单位制中，速度的单位是米/秒，用符号 m/s 表示。

在平面直角坐标系中，若质点的位移为

$$\Delta\mathbf{r} = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j}$$

由速度的定义可得

$$\mathbf{v} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\mathbf{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\mathbf{j} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} \quad (1-11)$$

式中

$$\left. \begin{aligned} v_x &= \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} \\ v_y &= \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

分别为速度沿 Ox 轴与 Oy 轴的分量。

如果已知 v_x 和 v_y , 可求得速度的大小 (速率)

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (1-13)$$

和方向 (用速度与 Ox 轴正方向的夹角 α 表示)

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} \quad (1-14)$$

【例题 1-1】 一质点作直线运动, 其运动方程是 $x = 1 + 4t - t^2$, t 是时间。求质点的速度公式和速率公式。

解 由公式 $v_x = \frac{dx}{dt}$ 得此质点的速度公式

$$v_x = 4 - 2t$$

由上式可知此质点作变速运动, 而且, 当 $t < 2s$ 时, 速度 $v_x > 0$, 质点沿 x 轴正方向运动; 当 $t > 2s$ 时, 速度 $v_x < 0$, 质点沿 x 轴负方向运动。所以此质点的速率公式是

$$v = |v_x| = \begin{cases} 4 - 2t & (t < 2s) \\ 2t - 4 & (t > 2s) \end{cases}$$

三、加速度 (acceleration)

在一般情况下, 质点运动速度的大小和方向经常随时间变化, 故常用加速度来描述这种变化。加速度是速度矢量随时间的变化率。

图 1-3 中, 质点作曲线运动。在 t 时刻, 质点位于 A 处, 速度为 v_A ; 在 $t + \Delta t$ 时刻, 质点位于 B 处, 速度为 v_B 。则 Δt 时间内质点速度的增量为 $\Delta v = v_B - v_A$ 。

Δv 与 Δt 之比称为质点在 Δt 时间内的平均加速度, 用符号 $\bar{a}$ 表示

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1-15)$$

$\bar{a}$ 是矢量, 它的方向与 Δv 的方向一致。显然, 它与平均速度一样, 是一个粗略的概念。同理, 为了精确地描述质点在任一时刻 (或任一位置) 的速度变化率, 取当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均加速度的极限, 即

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (1-16)$$

a 称为质点的瞬时加速度, 简称加速度。

在国际单位制 (SI) 中, 加速度的单位为米/秒², 用符号 m/s^2 表示。

将式(1-11)和式(1-12)代入式(1-16)可得加速度在平面直角坐标系下的表达式

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv_x}{dt}i + \frac{dv_y}{dt}j = \frac{d^2x}{dt^2}i + \frac{d^2y}{dt^2}j \quad (1-17)$$

用符号 a_x 和 a_y 表示沿 Ox 轴和 Oy 轴方向的加速度分量, 则

$$\left. \begin{aligned} a_x &= \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \\ a_y &= \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

如果已知 a_x 和 a_y , 可求得加速度的大小和方向 (用 a 与 Ox 轴的正方向的夹角 α 表示)

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (1-19)$$

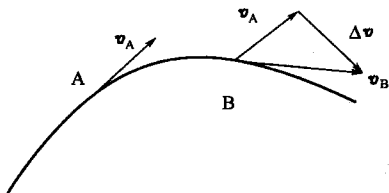


图 1-3 速度增量

$$\tan\alpha = \frac{a_y}{a_x} \quad (1-20)$$

【例题 1-2】 质点沿直线的运动学方程为 $x=10t+3t^2$ 。求质点的速度和加速度。

解 此质点是沿着 Ox 轴运动, 它的速度

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 10 + 6t$$

即

$$\boldsymbol{v} = v_x \boldsymbol{i} = (10 + 6t)\boldsymbol{i}$$

它的加速度

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 6$$

即

$$\boldsymbol{a} = a_x \boldsymbol{i} = 6\boldsymbol{i}$$

【例题 1-3】 已知质点在平面直角坐标系下的运动方程为 $\left. \begin{matrix} x=2t \\ y=4-t^2 \end{matrix} \right\}$, t 为时间。求①当 $t=1\text{s}$ 和 $t=2\text{s}$ 时质点的速度; ②当 $t=1\text{s}$ 和 $t=2\text{s}$ 时质点的加速度。

解 ① 由速度公式得

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 2$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = -2t$$

当 $t=1\text{s}$ 时,

$$v_{1x} = 2 \quad v_{1y} = -2$$

速度的大小

$$v_1 = \sqrt{v_{1x}^2 + v_{1y}^2} = 2\sqrt{2}\text{m/s}$$

速度的方向

$$\tan\alpha_1 = \frac{v_{1y}}{v_{1x}} = -1 \quad \text{即 } \alpha_1 = -45^\circ \text{ (} v_1 \text{ 与 } Ox \text{ 轴的夹角)}$$

当 $t=2\text{s}$ 时,

$$v_{2x} = 2 \quad v_{2y} = -4$$

速度的大小

$$v_2 = \sqrt{v_{2x}^2 + v_{2y}^2} = \sqrt{20}\text{m/s}$$

速度的方向

$$\tan\alpha_2 = \frac{v_{2y}}{v_{2x}} = -2 \quad \text{即 } \alpha_2 = -63.43^\circ \text{ (} v_2 \text{ 与 } Ox \text{ 轴的夹角)}$$

② 由加速度公式得

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 0$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = -2$$

由上可知, 加速度的大小始终为 2m/s^2 , 方向沿 Oy 轴的负方向。

第三节 牛顿第二定律

一、牛顿第二定律的矢量表示

牛顿 (I. Newton 1643—1727) 在 1687 年指出: 质点所获得的加速度 $\boldsymbol{a}$ 的大小与它所受的合力 $\boldsymbol{F}$ 的大小成正比, 与质点的质量 m 成反比; 加速度 $\boldsymbol{a}$ 的方向与合力 $\boldsymbol{F}$ 的方向相同。这就是牛顿第二定律 (Newton's second law of motion)。牛顿第二定律的矢量形式为

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} \quad (1-21)$$

如果作用于质点的力有 n 个, 为 $\boldsymbol{F}_1$ 、 $\boldsymbol{F}_2$ 、 $\boldsymbol{F}_3$ 、 $\cdots$ 、 $\boldsymbol{F}_n$, 其合力 $\boldsymbol{F}$ 为