



全国高职高专教育精品规划教材

应用物理

主编 宋立远



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

全国高职高专教育精品规划教材

应用物理

主 编 宋立远
副主编 薛国芳 赵 茜 贾俐侓 谢歆鑫
主 审 李祥国
参 编 玉 冰 李 华 马 颖 张 蕾
潘泽宏

北京交通大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是全国高职高专教育精品规划教材丛书之一,是根据教育部《高职高专教育物理课程基本要求》编写的。

本书根据高职院校基础课的必需、够用为度,删去繁琐的数学推导,着重介绍物理学在实践中的应用,突出教材现代化和高职物理教育的特色。全书共分6章,内容分别为力学的物理基础、电场与磁场、振动与波、波动光学、热学简介、近代物理学及其应用。

本书可作为高职高专工科专业物理教材,也可供相关人员参考。

版权所有,翻印必究。

图书在版编目(CIP)数据

应用物理/宋立远主编. —北京:北京交通大学出版社,2006.8

(全国高职高专教育精品规划教材)

ISBN 7-81082-803-7

I. 应… II. 宋… III. 物理学-高等学校:技术学校-教材 IV. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第060929号

责任编辑:史鸿飞

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街44号

邮编:100044

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:13.5 字数:304千字

版 次:2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷

书 号:ISBN 7-81082-803-7/O·39

印 数:1~3500册 定价:25.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@center.bjtu.edu.cn。

全国高职高专教育精品 规划教材丛书编委会

主任：曹 殊

副主任：朱光东（天津冶金职业技术学院）
何建乐（绍兴越秀外国语学院）
文晓璋（绵阳职业技术学院）
梅松华（丽水职业技术学院）
王 立（内蒙古建筑职业技术学院）
文振华（湖南现代物流职业技术学院）
叶深南（肇庆科技职业技术学院）
陈锡畴（郑州旅游职业学院）
王志平（河南经贸职业学院）
张子泉（潍坊科技职业学院）
王法能（西安外事学院）
邱曙熙（厦门华天涉外职业技术学院）

委员：黄盛兰（石家庄职业技术学院）
张小菊（石家庄职业技术学院）
邢金龙（太原大学）
孟益民（湖南现代物流职业技术学院）
周务农（湖南现代物流职业技术学院）
周新焕（郑州旅游职业学院）
成光琳（河南经贸职业学院）
高庆新（河南经贸职业学院）
李玉香（天津冶金职业技术学院）
邵淑华（山东德州科技职业学院）
宋立远（广东轻工职业技术学院）
孙法义（潍坊科技职业学院）
刘爱青（山东德州科技职业学院）

出版说明



高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分，其根本任务是培养生产、建设、管理和服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的应用型专门人才，所培养的学生在掌握必要的基础理论和专业知识的基础上，应重点掌握从事本专业领域实际工作的基础知识和职业技能，因此与其对应的教材也必须有自己的体系和特点。

为了适应我国高职高专教育发展及其对教育改革和教材建设的需要，在教育部的指导下，我们在全国范围内组织并成立了“全国高职高专教育精品规划教材研究与编审委员会”（以下简称“教材研究与编审委员会”）。“教材研究与编审委员会”的成员所在单位皆为教学改革成效较大、办学实力强、办学特色鲜明的高等专科学校、成人高等学校、高等职业学校及高等院校主办的二级职业技术学院，其中一些学校是国家重点建设的示范性职业技术学院。

为了保证精品规划教材的出版质量，“教材研究与编审委员会”在全国范围内选聘“全国高职高专教育精品规划教材编审委员会”（以下简称“教材编审委员会”）成员和征集教材，并要求“教材编审委员会”成员和规划教材的编著者必须是从事高职高专教学第一线的优秀教师和专家。此外，“教材编审委员会”还组织各专业的专家、教授对所征集的教材进行评选，对所列选教材进行审定。

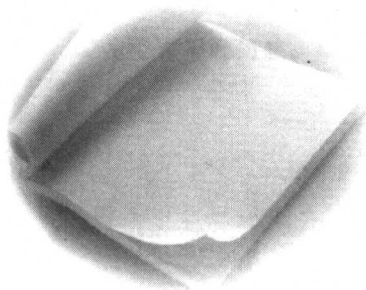
此次精品规划教材按照教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”而编写。此次规划教材按照突出应用性、针对性和实践性的原则编写，并重组系列课程教材结构，力求反映高职高专课程和教学内容体系改革方向；反映当前教学的新内容，突出基础理论知识的应用和实践技能的培养；在兼顾理论和实践内容的同时，避免“全”而“深”的面面俱到，基础理论以应用为目的，以必需、够用为尺度；尽量体现新知识和新方法，以利于学生综合素质的形成和科学思维方式与创新能力的培养。

此外，为了使规划教材更具广泛性、科学性、先进性和代表性，我们真心希望全国从事高职高专教育的院校能够积极参加到“教材研究与编审委员会”中来，推荐有特色的、有创新的教材。同时，希望将教学实践的意见和建议，及时反馈给我们，以便对出版的教材不断修订、完善，不断提高教材质量，完善教材体系，为社会奉献更多更新的与高职高专教育配套的高质量教材。

此次所有精品规划教材由全国重点大学出版社——北京交通大学出版社出版，适应于各类高等专科学校、成人高等学校、高等职业学校及高等院校主办的二级职业技术学院使用。

全国高职高专教育精品规划教材研究与编审委员会

2006年3月



总 序

历史年轮已经跨入了公元 2006 年,我国高等教育的规模已经是世界之最,2005 年毛入学率达到 21%,属于高等教育大众化教育的阶段。与此相对应的是促进了高等教育举办者和对人才培养的多样化。我国从 1999 年高校扩大招生规模以来,经过了 8 年的摸索和积累,当我们回头看时,发现在我国高等教育取得了可喜进步的同时,在毕业生就业方面,部分高职高专院校的毕业生依然稍显不足。近几年来,与本科毕业生相比较,就业率落后将近 20 个百分点,不得不引起我们的思考与重视。

是什么导致高职高专院校的学生就业陷入困境?是什么破坏了高职高专院校的人才培养机制?是哪些因素使得社会给高职高专学生贴上了“压缩饼干”的标签?经过认真分析、比较,我们看到各个高职高专院校培养出来的毕业生水平参差不齐,能力飘忽不定,究其根源,不合理的课程设置、落后的教材建设、低效的教学方法可以说是造成上述状况的主导因素。在这种情况下,办学缺乏特色,毕业生缺少专长,就业率自然要落后于本科院校。

新设高职类型的院校是一种新型的专科教育模式,高职高专院校培养的人才应当是应用型、操作型人才,是高级蓝领。新型的教育模式需要我们改变原有的教育模式和教育方法,改变没有相应的专用教材和相应的新型师资队伍的现状。

为了使高职院校的办学有特色,毕业生有专长,需要建立“以就业为导向”的新型人才培养模式。为了达到这样的目标,我们提出“以就业为导向,要从教材差异化开始”的改革思路,打破高职高专院校使用教材的统一性,根据各高职高专院校专业和生源的差异性,因材施教。从高职高专教学最基本的基础课程,到各个专业的专业课程,着重编写出实用、适用高职高专不同类型人才培养的教材,同时根据院校所在地经济条件的不同和学生兴趣的差异,编写出形式活泼、授课方式灵活、引领社会需求的教材。

培养的差异性是高等教育进入大众化教育阶段的客观规律,也是高等教育发展与社会发展相适应的必然结果。也只有使在校学生接受差异性的教育,才能充分调动学生浓厚的学习兴趣,才能保证不同层次的学生掌握不同的技能专长,避免毕业生被用人单位打上“批量产品”的标签。只有高等学校培养有差异性,毕业生才能够有特色,才会在就业市场具有竞争力,才会使高职高专的就业率大幅提高。

北京交通大学出版社出版的这套高职高专教材,是在教育部“十一五规划教材”所倡导的“创新独特”四字方针下产生的。教材本身融入了很多较新的理念,出现了一批独具匠心的教材,其中,扬州环境资源职业技术学院的李德才教授所编写的《分层数学》,教材立意很新,独具一格,提出以生源的质量决定教授数学课程的层次和级别。还有无锡南洋职业技术学院的杨鑫教授编写的一套《经营学概论》系列教材,将管理学、经济学等不同学科知识融为一体,具有很强的实用性。

此套系列教材是由长期工作在第一线、具有丰富教学经验的老师编写的，具有很好的指导作用，达到了我们所提倡的“以就业为导向培养高职高专学生”和因材施教的目标要求。

教育部全国高等学校学生信息咨询与就业指导中心择业指导处处长
中国高等教育学会毕业生就业指导分会秘书长
曹 殊 研究员

前 言

2005年是爱因斯坦发表狭义相对论等重要论文一百周年，这是物理学史上的一件大事。一百多年来，以狭义相对论和量子力学为代表的近代物理学对社会经济发展、人类文明进步起到了前所未有的作用。在2004年召开的第58次联合国大会上，通过2005年为“国际物理年”的决议。其目的就是通过展示物理学在社会、经济、技术、文化和国家安全等方面所起的重要作用，在全世界唤起人们对物理学的理解、认知，推动物理教育，推动物理学在人才培养上发挥更大的作用，使物理学在21世纪得到新的发展。

物理学是人们认识客观世界，改造客观世界的工具。物理学的每一次飞跃都带来一场新的技术革命。在17世纪至18世纪，伽利略和牛顿建立了牛顿力学和热力学，有力地推进了物理学和其他学科的发展，适应了蒸汽机和机械工业发展的需要，引起了第一次工业革命，即历史上的机械化革命。到了19世纪，法拉第和麦克斯韦建立了电磁场的理论，引起了第二次工业革命，也就是电气化革命。进入20世纪，特别是爱因斯坦对自然界非凡的洞察力，于1905年发表了5篇重要文章，奠定了狭义相对论和量子力学的基础，一系列新技术应运而生，如激光、电子计算机、空间技术、信息技术等，把人类带入了信息化时代、知识经济时代，即第三次工业革命时代。

对于高等职业院校工科学生而言，物理学是必不可少的基础。高职院校的培养目标是生产、建设、管理、服务第一线的高技能的应用型人才。如果不懂物理学，将很难适应高新技术发展的需要。本书本着“够用为度”的原则，突出应用，重点讲清概念，讲懂应用，删去繁琐的理论推导，以适应应用型人才培养的需要。

本书共6章，可作为高等职业院校工科学生教材。本书由宋立远（广东轻工职业技术学院）主编，薛国芳（郑州旅游职业学院）、赵茜（云南农业职业技术学院）、贾俐侓（山西交通职业技术学院）、谢歆鑫（西安航空职业技术学院）担任副主编，李祥国（四川信息职业技术学院）主审。参与编写的人员有：贾俐侓（第1章），李祥国（第2章），谢歆鑫、张蕾（第3、4章），赵茜、玉冰（第5章），薛国芳（第6章）。在编写过程中，潘泽宏同志为校对编排付出了辛勤劳动，在此表示感谢。

由于编者学识和经验所限，书中如有不当甚至错误之处，敬请使用本书的教师、学生指正。

编 者

2006年8月

目 录

第 1 章 力学的物理基础	1
1.1 质点运动的描述	1
1.1.1 参照系、时间和空间的量度	1
1.1.2 运动学方程 位移和路程	3
1.1.3 速度和加速度	4
1.1.4 直线运动的基本概念	6
1.1.5 匀变速直线运动	6
1.1.6 抛体运动	8
1.2 牛顿运动定律及应用	9
1.2.1 牛顿运动定律	9
1.2.2 牛顿运动定律的运用	10
1.2.3 力学的相对性原理	14
1.2.4 经典力学的适用范围	14
1.3 功和能与碰撞问题.....	16
1.3.1 功和功率.....	16
1.3.2 动能定理.....	18
1.3.3 势能	18
1.3.4 机械能守恒定律	19
1.3.5 质点的动量定理	20
1.3.6 动量守恒定律	21
1.3.7 球的对心碰撞	23
1.3.8 火箭的运动	27
1.4 刚体运动的基本概念.....	29
1.4.1 刚体的简单运动	29
1.4.2 转动惯量 定轴转动的转动定律	30
1.4.3 刚体定轴转动的角动量守恒定律	34
1.4.4 回转仪	35
习题 1	36
第 2 章 电场与磁场	38
2.1 电场及其应用.....	38
2.1.1 电荷 电荷守恒定律 库仑定律	38
2.1.2 电场 电场强度	40
2.1.3 电力线 电通量 高斯定理	43

2.1.4	电势 环路定理	47
2.1.5	静电感应 静电屏蔽	48
2.1.6	电容及电容的连接	51
2.1.7	电介质中的电场	52
2.1.8	电场能量	55
2.2	稳恒电流的磁场	56
2.2.1	磁场 磁感应强度	56
2.2.2	磁通量 磁场高斯定理	57
2.2.3	安培环路定律	58
2.2.4	磁介质	60
2.3	电磁感应技术	63
2.3.1	电磁感应的基本规律	63
2.3.2	感应电动势 涡电流	65
2.3.3	自感与互感 磁场能量	69
2.4	电磁振荡和电磁波	73
2.4.1	电磁振荡和电磁波	73
2.4.2	电磁波谱	75
2.4.3	电磁波的传播	76
2.4.4	微波及应用	78
2.5	红外辐射与红外技术	81
	习题 2	85
第 3 章	振动与波	90
3.1	简谐振动	90
3.1.1	振幅	92
3.1.2	周期、频率和角频率	92
3.1.3	相位和初相	93
3.1.4	常量 A 和 φ 的确定	94
3.2	简谐振动的能量	94
3.3	简谐振动的合成	95
3.3.1	两个同方向、同频率简谐振动的合成	96
3.3.2	两个同方向、不同频率简谐振动的合成	96
3.4	阻尼振动 受迫振动 共振	97
3.4.1	阻尼振动	97
3.4.2	受迫振动 共振	98
3.5	机械波	99
3.5.1	机械波的形成	99
3.5.2	横波和纵波	100
3.5.3	波长、波的周期和频率、波速	100
3.5.4	波线 波面 波前	101

3.6	平面简谐波的波动方程	101
3.6.1	平面简谐波的波动方程	101
3.6.2	波动方程的物理意义	103
3.7	波的能量 能量密度	106
3.7.1	波动能量的传播	106
3.7.2	能流和能流密度	107
3.8	惠更斯原理 波的干涉	107
3.8.1	惠更斯原理	107
3.8.2	波的叠加原理	108
3.8.3	波的干涉	108
3.8.4	驻波	110
3.9	声波在科学技术中的应用	111
3.9.1	超声波技术	111
3.9.2	次声波及其应用	112
3.10	噪声及其控制	112
3.10.1	噪声的危害	113
3.10.2	噪声的允许标准	113
3.10.3	噪声的控制原则与方法	114
	习题 3	114
第 4 章	波动光学	118
4.1	光的基本特性	118
4.1.1	原子的发光机理	118
4.1.2	光是电磁波	119
4.2	相干光	120
4.2.1	相干光的获得	120
4.2.2	光干涉的明纹、暗纹条件	121
4.3	光程 半波损失	122
4.3.1	光程	122
4.3.2	光程差和相位差	122
4.3.3	洛埃德镜 半波损失	123
4.4	薄膜干涉	123
4.4.1	劈尖干涉	123
4.4.2	等厚干涉的应用	125
4.5	牛顿环 光学镀膜	127
4.5.1	牛顿环	127
4.5.2	镀膜光学元件	129
4.6	光的衍射 惠更斯-菲涅耳原理	130
4.6.1	光的衍射现象	130
4.6.2	惠更斯-菲涅耳原理	131

4.6.3 衍射的分类	131
4.7 夫琅禾费单缝衍射	131
4.8 夫琅禾费圆孔衍射	136
4.8.1 夫琅禾费圆孔衍射简介	136
4.8.2 光学仪器的分辨率	136
4.9 夫琅禾费光栅衍射	138
4.9.1 光栅	138
4.9.2 光栅的衍射	138
4.9.3 衍射光谱	140
4.10 光的偏振性	141
4.10.1 自然光和偏振光	142
4.10.2 起偏与检偏	143
4.10.3 马吕斯定律	143
4.10.4 布儒斯特定律	144
4.10.5 偏振光的应用	145
4.11 隐形技术	146
习题 4	148
第 5 章 热学简介	152
5.1 温度和气态方程	152
5.1.1 状态参量 平衡状态 平衡过程	152
5.1.2 理想气体状态方程	153
5.2 热力学第一定律	155
5.2.1 内能 功 热量	155
5.2.2 热力学第一定律 准静态过程	155
5.2.3 能量转化与守恒定律	157
5.2.4 热力学第一定律在理想气体各过程中的变化	158
5.2.5 循环过程 卡诺循环	162
5.3 热力学第二定律	166
5.3.1 热力学第二定律的两种表述	166
5.3.2 热力学第二定律的统计意义	167
5.3.3 可逆过程与不可逆过程	168
5.3.4 卡诺定理	168
5.4 21 世纪是太阳能世纪	169
5.4.1 世界能源储量和分布简介	169
5.4.2 我国能源储量和分布简介	169
5.4.3 太阳能利用的现状与前景	172
习题 5	173
第 6 章 物理学及技术应用	174
6.1 原子物理与原子能	174

6.1.1	原子模型	174
6.1.2	核反应的能量	175
6.1.3	原子能释放模式及应用	175
6.1.4	原子的能级	178
6.2	激光及其应用	180
6.2.1	原子的激发	180
6.2.2	自发辐射、受激吸收和受激辐射	180
6.2.3	激光器的工作原理与基本结构	181
6.2.4	激光器	182
6.2.5	激光的特性	183
6.3	低温与超导	185
6.3.1	低温技术进展	185
6.3.2	超导的发现与发展	185
6.3.3	第二类超导体	187
6.3.4	超导的应用	187
6.4	光电技术	189
6.4.1	热辐射	189
6.4.2	绝对黑体的辐射	189
	习题 6	192
	附录 A 常用数学公式	193
	附录 B 基本物理常量	196
	附录 C 国际单位制(SI)基本单位和导出单位	197
	参考文献	200

第1章

力学的物理基础

力学是研究物体机械运动的规律及其应用的学科，也是最早发展的学科之一。力学的发展为自然科学提供了至今人们公认的科学工作方法：深入观察自然现象，进行实验；对观察与实验的结果进行分析、综合，作出必要的假设，建立恰当的模型；然后应用数学工具得出结论；理论结果又受到实践的检验和校正。力学正是循着这条道路不断得到丰富和完善，并发展成为一个独立分支，在科学技术中一直起着重要的作用。

力学通常分为运动学、动力学和静力学。运动学研究物体位置随时间变化的规律，但不涉及变化发生的原因；动力学研究物体的运动和运动物体间相互作用的联系，从而阐明物体运动状态发生变化的原因；静力学研究物体相互作用时的平衡问题。

1.1 质点运动的描述

1.1.1 参照系、时间和空间的量度

物体总是占据一定的空间位置，并且随着时间的推移而发生空间位置的改变，观察者也总是参照本身所处的空间位置去描述物体的运动，即描述物体的位置及其变动，因此用数学方法准确地描述运动，需要3个先决条件：选择参照系、确定时间的量度和确定空间的量度。在人们所讨论的牛顿经典力学的范围内，人们很自然地首先设想：时间是连续的、均匀的、不停息地流逝着的，空间也是连续的、均匀的、各向同性的，而物质、时间和空间彼此是独立无关地存在着。在经典力学建立的时代，这种时空观有利于比较方便地建立时间和空间的实际量度标准，从而对机械运动进行定量的系统描述与分析。下面分别从参照系、时间的量度和空间的量度标准3个方面来进行讨论。

1. 参照系、坐标系

由于机械运动具有相对性，为了确切说明一个物体的位置和运动，就必须选择其他物体作为标准，描述运动时被选为标准的物体(可以是一个不变形的物体，或若干个无相对运动的物体)，称为参照系。参照系的选择完全视分析问题的方便而定。例如，地球上物体的运动问题，常选择地球、房屋等为参照系。

为了定量地描述物体相对于一定参照系的运动，还需要在参照系上固定一种坐标系，例如，考虑到空间的均匀性时，可采用等间隔刻度的直角坐标系，这样就可以用3个坐标描述物体上任一点的位置，并用坐标的改变量描述该点位置的变动。





2. 时刻和时间

物体的机械运动即物体位置随时间的流逝而发生的变动。在这种运动中，物体的每一位置均与一定的时刻相对应。“时刻”指时间流逝中的一刹，又称为“瞬时”。用数字说明时刻，一要规定时间单位，考虑到时间的均匀性，要等间隔地划分时间；二要选择某时刻作为计时起点。例如，以清晨7点为计时起点，以小时(国际代号为h)为单位，早6点可记为 $t=-1\text{ h}$ (负号表示时刻在计时起点之前)，8点半应记为 $t=1.5\text{ h}$ 。如何选择计时起点，依据讨论问题的方便而定，计时起点不一定就是物体开始运动时的时间。

所谓时间间隔，是指自某一初始时刻至终止时刻所经历的时间，物体位置的变动总是与一定的时间间隔相对应的，按照通常的习惯，在不致引起混乱的情况下，“时间”一词有时即指时间间隔，有时则指时间变量。

3. 测量长度和时间的标准

在一定的参照系和坐标系中观察和描述运动，需要用尺子对坐标轴进行刻度，需要用时钟测量时刻和时间。但是，用来量长度的尺子是否准确？用来测时间的时钟是否准确？准确不准确以什么为标准？法定的标准是什么？为了解决生产和科学研究上的这些问题，需要有一整套测量长度、时间及其他基本量的单位标准。特别是近代科学技术的发展，更加要求这些单位标准具有很高的精确度。

4. 质点

当讨论地球公转问题时，并不涉及地球自转所引起的各部分运动的差别，地球的形状、大小无关紧要，因此，可以把地球看作一个点。汽车行驶时，其内部机件进行着使人感兴趣的复杂运动；如果仅关心它开出多远、快慢如何，则其内部机构的运动、刹车时的“前倾”和转弯时“侧倾”等都和所研究的问题无关，同样可把汽车看作一个点。这些例子告诉我们，对于某些问题，的确可不考虑运动物体的形状、大小和结构，而把它们看作点。所谓质点，就是从实际中抽象出来的理想模型，即具有质量的点。一般说来，如果所研究的问题不涉及物体转动或物体各部分的相对运动，往往可将运动物体视为质点。

应当指出，通常认为很小的物体并不一定可以当作质点。在有些问题中，大如恒星亦可视作质点；在另一些问题中，小如分子、原子必须考虑其形状、大小；还有同一个物体，在这个问题中可当作质点，在另一问题却不能作为质点处理。总之，能否将物体视作质点，依问题的性质而定，而不是依物体的大小而定。

质点是力学中最基本、最简单的理想模型，以后还将引入质点组、刚体等理想模型。掌握了质点的运动规律，就能用数学方法推导出质点组、刚体的运动规律。因此，在力学中，首先要研究质点的运动规律。

不仅力学，实际上全部物理学的原理、定律都是对一定的理想模型行为的刻画。可以说，离开了理想模型，物理学寸步难行。许多有成就的物理学家，往往是善于提出新的理想模型的人。

理想模型是由真实物体抽象出来的，它在一定程度上是客观实际的反映。物理学中保留下来的理想模型都经受了实践的检验，这种科学的抽象的确更深刻、更正确、更完全地反映着自然。





1.1.2 运动学方程 位移和路程

本节从质点的一般运动谈起,利用矢量这一数学工具建立描述质点运动的位置矢量、运动学方程和位移等概念。

1. 质点的位置矢量和运动学方程

要讨论质点位置随时间的变化,首先要确切描写质点的位置。图 1.1(a)所示为以雷达站为参照系描写某时刻飞机在飞行中的位置 P 。此时,飞机可视作质点。为此,在雷达站上任选一点 O 作为参考点,参考点和飞机的距离 \overrightarrow{OP} 显然是描述飞机位置的重要因素,但还应指出质点 P 相对于 O 点的方位。为了同时给出质点相对于参考点的距离和方位,可以引入位置矢量,由参照系上的参考点引向质点所在位置的矢量,称为质点的位置矢量,如图 1.1(b)所示,通常记为 r ,即

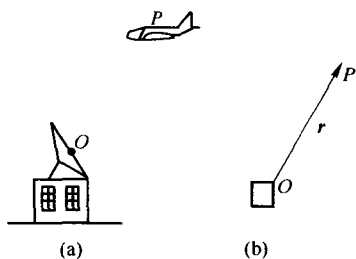


图 1.1 位置矢量

$$\mathbf{r} = \overrightarrow{OP} \quad (1.1)$$

在参照系上建立直角坐标系 $Oxyz$,令原点与参考点重合,位置矢量在直角坐标系 $Oxyz$ 中的正交分解形式为

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

对应于一个位置矢量,可用来描述质点的位置,还可用位置坐标表示矢量的大小和方向,其大小为

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

而位置矢量的方向余弦为

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$

质点运动中的每一时刻,均有一定的位置矢量与之对应,即位置矢量 r 为时间 t 的函数,即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1.2)$$

称为质点的运动学方程,它给出任意时刻质点的位置。如果已知质点的运动学方程,则它的全部运动状况都了如指掌。在直角坐标系 $Oxyz$ 中,其正交分解式为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1.3)$$

若已知 $x(t)$, $y(t)$ 和 $z(t)$, 即知 $\mathbf{r}(t)$ 。反之亦然,因此称标量函数

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t)$$

为质点运动学方程的标量形式。

质点运动时描出的曲线称为质点运动的轨迹;位置矢量的矢端画出的曲线,称为位置矢量的矢端曲线,它正是质点的轨迹。轨迹可用数学形式表示,以质点在平面上的运动为例,设质点在平面直角坐标系 Oxy 中运动,其运动学方程为

$$x = x(t), \quad y = y(t) \quad (1.4)$$

消去 t , 得

$$y = y(x) \quad (1.5)$$





这就是质点的轨迹方程。实际上，式(1.4)也可以看作以时间 t 为参数的质点轨迹的参数方程。

【例 1.1】 一质点的运动学方程为

$$\mathbf{r} = (R \cos t) \mathbf{i} + (R \sin t) \mathbf{j}$$

求以形式 $f(x, y) = 0$ 写出的轨迹方程。

【解】 由运动学方程可知

$$x = R \cos t, \quad y = R \sin t$$

这正是圆的参数方程，知轨迹为圆，消去 t ，得

$$x^2 + y^2 - R^2 = 0$$

2. 位移和路程

位移矢量是描述质点在一定时间间隔内位置的变动，这里的时间间隔也就是时间变量的增量 Δt ，与计时起点无关，参见图 1.2， $\mathbf{r}(t)$ 和 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$ 分别表示时刻 t 和 $t + \Delta t$ 的位置矢量。自质点初位置引向 Δt 时间后末位置的矢量称为质点在这段时间内的位移，记为 $\Delta \mathbf{r}$ ，显然，有

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \quad (1.6)$$

即位移定义为位置矢量的增量。

Δt 始末的位置矢量在直角坐标系中的正交分解式为

$$\mathbf{r}(t + \Delta t) = x(t + \Delta t) \mathbf{i} + y(t + \Delta t) \mathbf{j} + z(t + \Delta t) \mathbf{k}$$

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

两式相减得位移

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r} &= [x(t + \Delta t) - x(t)] \mathbf{i} + [y(t + \Delta t) - y(t)] \mathbf{j} + [z(t + \Delta t) - z(t)] \mathbf{k} \\ &= \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} + \Delta z \mathbf{k} \end{aligned} \quad (1.7)$$

这是位移在直角坐标系中的正交分解式，它表明位移可由位置坐标的增量来决定。

位移刻画出质点在一段时间内位置变动的总效果，但就一般情况而言，并不表示质点在其轨迹上所经路径的长度。一个有趣的例子是：运动员在 400 m 跑道上跑了两圈，但他在这段时间内的位移却是零！于是，又引入路程来描述质点沿轨迹的运动。在一段时间内，质点在其轨迹上经过的路径的总长度称为路程。路程是正的标量，一般说来，在同一时间间隔内，路程和位移的大小并不相等。

1.1.3 速度和加速度

为了全面描述质点的运动状态，还需要瞬时速度、瞬时加速度等概念。

1. 平均速度与瞬时速度

设两质点经历同样位移，其中一质点所用时间为 1 s，另一个质点用了 2 s。显然，它们位置变动的快慢不同，因此，还需引入能够反映位置变动快慢的物理量，它包含了位移和时间两个因素，这就是平均速度。质点位移 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)$ 与发生这一位移的时间间隔 Δt 之比，称为质点在这段时间内的平均速度，记为 $\bar{\mathbf{v}}$ ，即

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)}{\Delta t} \quad (1.8)$$

平均速度是矢量。

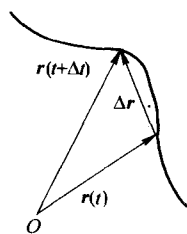


图 1.2 位移矢量

