



21世纪高等学校公共基础课规划教材
教育部世行贷款国家重大教改项目

大学物理学

(第一卷 工程基础物理)

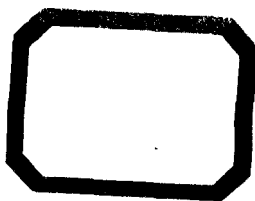
王建邦 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



世纪高等学校公共基础课规划教材
教育部世行贷款国家重大教改项目



大学物理学

(第一卷 工程基础物理)

主编 王建邦
参编 张旭峰 杨 军
刘兴来 闫仕农



机械工业出版社

本书是根据教育部国家教学改革项目的要求编写的教材，其特点是将经典物理（即工程基础物理）和近代物理（即近代工程物理）分为第一和第二卷，分别安排在2个学期开设，在内容上有深有浅，有简有繁，既适用于不同层次的学生，也便于教师在教学上有相当的回旋余地。本卷为第一卷，内容包括质点力学、质点系力学、连续体力学、场物理学、波动学和热物理学。本教材在叙述上尽量采用一种与读者进行广义对话的方式，并用黑体字来突出各种问题，吸引读者的注意力，引导读者思考。

本教材适用于高等院校理工科非物理专业学生和教师。

图书在版编目（CIP）数据

大学物理学. 第一卷, 工程基础物理/王建邦主编. —北京: 机械工业出版社, 2003.2

21世纪高等学校公共基础课规划教材

ISBN 7-111-11450-7

I. 大... II. 王... III. 工程物理学—高等学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第109055号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:李永联 版式设计:冉晓华 责任校对:韩晶

封面设计:张静 责任印制:付方敏

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003年2月第1版第1次印刷

1000mm×1400mm B5·15.875印张·619千字

0 001—5 000册

定价:35.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

据不完全统计, 目前全国工科类大学物理课本有一百多种, 其中不乏许多精品。为何还要编写本教材? 主要是因为我们从1997年开始, 介入了工科物理教学改革, 曾承担过原山西省教委教学重点课题“工科大学物理教学内容改革的探索与实践”(1997.1—1999.12)以及正在承担教育部世行贷款资助课题“物理课程与相关课程交叉、渗透的研究与实践”(2000.8—2003.6)。在多年的教学改革实践中, 我们不断地从全国各兄弟院校借鉴了许多宝贵的经验, 不断地从许多大学的优秀教材中吸取了丰富的营养, 为了延伸、拓展与加大大学物理教学改革的力度, 为了在高校扩招的新形势下, 探讨如何提高地方性工科院校大学物理教学质量的新途径, 我们感到有必要依据多年教学改革实践与探索的点滴收获与经验, 为地方性工科院校的学生编写一本新的大学物理教材。既然如此, 这本教材又具有哪些特点呢? 第一, “雅俗共赏”。这里提出的“雅”与“俗”, 指的是不同层次的读者, “共赏”是期望他(她)们都能喜欢。因此, 本书涉及的基础物理内容及例题与习题, 有深有浅, 有简有繁, 任读者自行选择; 针对不同层次的学生, 教师也有相当的回旋余地; 第二, “师生对话”。因为本书是对地方性工科院校学生撰写的, 由于读者的知识基础与认识能力有限, 因此在撰稿过程中, 我们尽量采用一种与读者进行广义对话的方式, 展开全书的内容, 不时地提出问题, 并且在本书中用黑体字来突出各种问题, 以期吸引读者的注意力, 激发读者的兴趣, 引导读者思考, 这也是我们编写本书的一种新的思路, 能不能起到预期的效果, 还要在实践中检验; 第三, “工程基础”。目前, 我国高校有24个工科大类, 68个专业, 在各种专业教学计划中, 学时数均不到总学时的5%的大学物理课程中, 作为工程基础的物理内容究竟是些什么? 应当选哪一些? 这也许还是目前一个没有定论的问题。为此, 我们在编写过程中, 基本上仍然遵循传统教材框架, 但尝试着将内容次序调整为: 质点力学, 质点系力学, 连续体力学, 场物理学(以真空电磁场为主, 适度提引力场与标量场), 波动学(含机械振动, 机械波与光波), 热学(热力学与分子动理论); 第四, “一分为二”。为了加强近代物理学内容的教学, 为了突出基础物理教学在工科科学素质教育中的核心作用, 我们从1997年开始教改试点时, 就将大学物理课程中的经典物理(我们称为工程基础物理)与近代物理(我们称近代工程物理)分别在二个学期开设, 即第二学期开经典物理, 第三学期开近代物理。从99级以后, 我们进而将近代工程物理安排在第五学期开出, 而第三学期和第四学期开物理实验。因此, 本卷自成体

系，又与第二卷互相呼应；第五，“时数匹配”。教学内容与教学时数是一对矛盾，在处理这一对矛盾时，我们注意了既要解放思想又要实事求是，在本卷的教学组织中，教学内容与教学时数安排如下：力学 12 学时（质点力学 4 学时，质点系力学 2 学时，连续体力学 6 学时），场物理学 20 学时（静电学 6 学时，静磁学 6 学时，变化电磁场 6 学时，引力场与标量场 2 学时），波动学 14 学时（机械振动 2 学时，机械波 4 学时，波动光学 8 学时），热学 14 学时（热力学 6 学时，分子动理论 8 学时）。

参加本卷编写的教师有：张旭峰（第一章、第二章、第三章），刘兴来（第四章、第五章、第六章），王建邦（第七章、第八章、第十六章、第十七章），阎仕农（第九章、第十章），杨军（第十一章、第十二章、第十三章、第十四章、第十五章）。

张三慧先生通读全书，认真修改，并对全书的取材与布局，提出了宝贵的意见，使我们受益匪浅，在此向张先生表示衷心感谢。

编 者

目 录

前 言		
绪 论	.....	1
第一部分 力学	.....	3
第一章 质点力学	.....	4
第一节 质点运动学	.....	4
一、位置矢量	.....	5
二、运动学方程	.....	5
三、速度矢量	.....	6
四、加速度矢量	.....	10
五、坐标系的运用	.....	13
六、运动学的两类问题	.....	14
第二节 牛顿运动定律	.....	16
一、牛顿运动定律的内容	.....	17
二、牛顿定律的应用	.....	22
第三节 质点的基本运动		
定理	.....	26
一、质点动量定理	.....	26
二、质点动能定理	.....	31
三、质点角动量定理	.....	35
习题	.....	41
第二章 质点系统的守恒定律	.....	45
第一节 动量守恒定律	.....	46
一、质点系的动量定理	.....	46
二、质心	.....	47
三、动量守恒定律	.....	49
四、火箭飞行原理	.....	52
第二节 机械能守恒定律	.....	53
一、质点系动能定理	.....	54
二、质点系内力的功	.....	55
三、质点系统的内势能	.....	56
四、机械能守恒定律	.....	59
第三节 质点系角动量守恒		
定理	.....	60
一、质点系角动量定义	.....	60
二、质点系角动量定理	.....	61
三、质点系角动量守恒条件	.....	62
习题	.....	64
第三章 连续体力学	.....	65
第一节 刚体定轴转动	.....	65
一、刚体运动的类型	.....	66
二、刚体定轴转动运动学	.....	67
三、定轴转动动力学	.....	70
四、定轴转动刚体的角动量守恒		
定理	.....	79
第二节 固体的形变和弹性	.....	82
一、弹性体中的应变和应力	.....	82
二、胡克定律	.....	86
三、弹性体中的波速	.....	92
第三节 理想流体及其运动	.....	96
一、理想流体的定常流动	.....	96
二、流体运动的描述方法	.....	98
三、连续性方程	.....	102
四、伯努利方程	.....	105
习题	.....	111
第二部分 场物理学基础	.....	114
第四章 真空中的静电场	.....	115
第一节 库仑定律	.....	115
一、电荷	.....	115
二、库仑定律	.....	117
三、静电力叠加原理	.....	119
第二节 电场、电场强度	.....	120

一、静电场·····	120	二、运动电荷的磁场·····	182
二、电场强度矢量·····	121	第六节 磁场的高斯定理·····	185
三、点电荷电场的电场强度·····	122	一、磁场的几何描述·····	185
四、点电荷系电场的电场强度·····	123	二、磁通量·····	186
五、连续分布电荷电场的电场强度·····	124	三、磁场的高斯定理·····	187
第三节 高斯定理·····	131	第七节 安培环路定理·····	188
一、电场线·····	131	习题·····	195
二、电通量·····	132	第六章 变化的电磁场·····	198
三、高斯定理·····	134	第一节 电磁感应定律·····	198
四、高斯定理的物理意义·····	136	一、电磁感应现象的发现·····	198
五、高斯定理的应用·····	138	二、法拉第电磁感应定律·····	199
第四节 静电场的环路定理 电势·····	141	三、楞次定律·····	203
一、静电场是保守力场·····	141	第二节 电路中的电磁感应	
二、静电场的环路定理·····	143	互感与自感·····	208
三、电势能、电势差和电势·····	144	一、互感·····	208
四、电势的计算·····	148	二、自感·····	210
习题·····	152	三、磁场能量·····	211
第五章 真空中的稳恒磁场·····	155	第三节 动生电动势·····	213
第一节 磁现象·····	155	一、电源电动势·····	213
一、电流的磁效应·····	155	二、动生电动势·····	215
二、磁力·····	156	三、动生电动势过程中的能量转换·····	219
第二节 磁场 磁感应强度·····	158	第四节 感生电动势 涡旋电场·····	221
第三节 磁场对运动电荷的作用·····	160	一、涡旋电场·····	221
一、磁场对运动电荷的作用·····	160	二、感生电动势·····	222
二、带电粒子在电场和磁场中的运动·····	163	三、感生电动势与动生电动势·····	223
三、霍尔效应·····	165	四、感生电动势的计算·····	226
第四节 磁场对载流导线的作用·····	169	第五节 位移电流·····	231
一、安培定律·····	169	一、恒定电流的连续性·····	232
二、磁场对载流平面线圈的作用·····	172	二、电流连续性方程·····	234
第五节 毕奥-萨伐尔定律·····	175	三、电流恒定条件·····	235
一、毕奥-萨伐尔定律·····	175	四、电容器的充、放电·····	236
		五、位移电流假设·····	238
		第六节 麦克斯韦电磁场方程组·····	240
		习题·····	242

第七章 引力场简介	244	描述	290
第一节 牛顿万有引力定律	244	一、机械波的产生	290
第二节 引力场强	245	二、机械波波方程	291
第三节 保守力场的图示		第二节 平面简谐波	291
——势能曲线	247	一、波的几何描述	291
习题	254	二、简谐波波函数	292
第八章 标量场	255	三、波场中的相位分布与传播	294
第一节 势函数与场强度	255	第三节 波场中的能量与	
一、等势面	255	能流	300
二、电势梯度	257	一、介质中任一质元的能量	300
第二节 标量场的研究方法	261	二、波的能流密度 波的强度	302
一、等值面与等值线	261	第四节 波的叠加与干涉	303
二、梯度矢量	262	一、波的叠加原理	304
习题	263	二、波的干涉	304
第三部分 波动学基础	264	第五节 驻波	307
第九章 机械振动	265	一、从波的干涉看驻波的形成	308
第一节 简谐振动	265	二、从固有振动的角度看驻波	310
一、质点振动系统	265	习题	315
二、简谐势	266	第十章 光的干涉	319
三、简谐振动的运动学特征	267	第一节 光波及其相干性	320
四、描述简谐振动的特征量	268	一、光波的相干条件	320
五、简谐振动的几何表示	271	二、非相干叠加	322
六、简谐振动的能量	277	三、获得相干光的方法	323
第二节 简谐振动的叠加	278	第二节 分波前干涉	323
一、同一直线上两个同频率谐		一、杨氏实验	324
振动的合成	278	二、光程	326
二、多个同方向、同频率谐振		第三节 分振幅薄膜干涉	330
动的合成	281	一、物像之间的等光程性	330
三、二维振动的合成	283	二、等倾干涉	331
第三节 阻尼振动与受迫振动		三、等厚干涉	338
简介	284	习题	344
一、阻尼振动	285	第十二章 光的衍射	346
二、受迫振动	287	第一节 光的衍射和惠更斯-菲	
习题	288	涅耳原理	346
第十章 机械波	290	一、衍射现象的分类	346
第一节 机械波的形成与		二、惠更斯-菲涅耳原理	347
		第二节 单缝衍射	349

一、实验装置与光路·····	349	第五节 理想气体的热力学	
二、光强分布公式·····	349	过程·····	395
第三节 圆孔衍射·····	355	一、等体过程·····	395
第四节 光学仪器的分辨		二、等压过程·····	396
本领·····	357	三、等温过程·····	396
第五节 光栅衍射·····	359	四、绝热过程·····	396
一、平面透射光栅的强度分布		五、绝热线与等温线·····	397
公式·····	359	第六节 热力学循环·····	401
二、光栅衍射图样的特点·····	361	一、循环过程·····	401
三、光栅光谱·····	364	二、制冷机·····	402
习题·····	369	习题·····	405
第十三章 光的偏振·····	371	第十五章 热力学第二定律·····	407
第一节 光的偏振态·····	371	第一节 卡诺循环·····	407
一、自然光·····	371	一、卡诺循环的 4 个过程·····	407
二、线偏振光·····	373	二、卡诺循环的效率·····	408
三、椭圆偏振光和圆偏振光·····	373	第二节 可逆过程与不可逆	
四、部分偏振光·····	374	过程·····	410
第二节 偏振片 马吕斯		一、热力学过程的不可逆性·····	411
定律·····	375	二、热力学过程的可逆性·····	412
第三节 光在反射和折射时的		第三节 热力学第二定律·····	415
偏振·····	378	一、不可逆过程与热力学第二	
第四节 晶体的双折射现象·····	380	定律的表述·····	415
习题·····	382	二、熵和热力学第二定律的	
第四部分 热物理学基础·····	384	数学表述·····	416
第十四章 热力学第一定律·····	385	习题·····	426
第一节 热力学中的基本		第十六章 热平衡态的气体分子	
概念·····	385	运动理论·····	428
一、热力学系统·····	385	第一节 理想气体的压强	
二、系统状态与状态参量·····	385	公式·····	428
三、准静态过程·····	387	一、气体分子热运动的基本	
第二节 功、热量和内能·····	389	特点·····	428
一、功·····	389	二、理想气体的微观模型·····	431
二、系统的内能·····	392	三、大量分子集体的统计性	
三、热量·····	393	假设·····	431
第三节 热力学第一定律·····	393	四、理想气体压强公式的导出·····	432
第四节 气体的摩尔热容·····	394	五、关于导出压强公式的几点	
		说明·····	435

第二节 理想气体温度的统计		习题.....	456
意义	435	第十七章 气体中的输运现象 ...	458
一、理想气体的温度公式.....	435	第一节 气体的黏滞现象.....	459
二、温度的统计意义.....	436	一、实验现象.....	459
第三节 能量均分定理	438	二、黏滞力的实验规律.....	459
一、自由度.....	438	第二节 气体的扩散与气体的	
二、能量按自由度均分定理.....	440	热传导现象	461
三、理想气体的内能.....	441	一、局域平衡假设.....	461
四、理想气体的热容.....	442	二、实验规律与微观机制.....	461
五、经典理论的缺陷.....	442	习题.....	463
第四节 气体分子速率分		习题答案	464
布律	444	附录	473
一、麦克斯韦速率分布律的实验		附录 A 量纲.....	473
测定.....	445	附录 B 我国法定计量单位和国际	
二、实验结果分析.....	447	单位制 (SI) 单位	474
三、速率分布函数的物理意义.....	450	附录 C 希腊字母.....	474
四、用速率分布函数求分子速率的		附录 D 物理量的名称、符号和单	
统计平均值.....	451	位 (SI)	475
第五节 玻尔兹曼分布简介 ...	454	附录 E 基本物理常数表 (1986 年	
一、重力场中微粒按高度的		国际推荐值)	478
分布.....	455	索引	479
二、玻尔兹曼密度分布律.....	456	参考文献	498

绪 论

物理学是一门重要的基础科学。物理学的发展不仅推动了整个自然科学的发展,而且对人类的物质观、时空观、宇宙观,对整个人类文化都产生了而且还将继续产生极其深刻的影响。物理教育不但有助于培养一个人处理复杂事物和探索未知领域的能力,而且对所有人都是提高文化素质的一个重要手段。很难设想,一个缺乏基本物理学知识的工科院校的毕业生,会是一个“综合性复合型”的高素质人才。

一、物理学是近代科学技术的基础

物理学经过数百年的发展,是一个拥有十几个二级学科、近一百个三级学科的大系统。物理学与其他自然科学及其技术的广泛结合和应用,对整个人类文明将产生深远的影响,如当代自然科学重大的基本问题:揭示物质结构之谜、宇宙的起源和演化、地球起源和演化、生命与智力起源、非线性科学和复杂性研究等以及当今技术发展的重要前沿:微电子与计算机技术、通信技术、生物技术、新材料技术、激光技术、航天技术与空间资源开发等,无一不与物理学息息相关。大学物理课程虽不是物理学中的一个子学科,但教学内容中有不少是经过千锤百炼的基本知识的精华,课程体系完整,层次分明,十分有利于给学生打下扎实的基础。当今,随着科学技术日新月异的发展,人类已步入知识经济时代,作为新世纪从事产业工作的工程技术人才,需要适应科学技术迅猛发展及世界市场上产业竞争日益加剧的新形势,物理基础不是削弱而应进一步加强。

二、物理教育在培养学生正确的时空观、宇宙观、物质观方面有不可替代的作用

众所周知,物理学以极其丰富的事例揭示出物理现象中的对立统一及互相转化、量变到质变、局部与整体、现象与本质、特殊与一般、主要矛盾与次要矛盾、矛盾的主要方面与次要方面等等,对引导学生建立辩证唯物主义的世界观有积极作用。

三、物理概念、定义、假说与理论的形成与发展本身可以激发学生的求知欲,启迪创新精神

从物理学的发展历史及近代物理学的进展来看,一个物理理论的形成与发展均要经历一个漫长而艰苦的不断探索、不断创新的过程。其中,许多年轻人富于

幻想, 很少框框, 对新鲜事物具有强烈的好奇心和兴趣, 在学习前人所积累知识的过程中或实验与理论的探索中, 往往敢于大胆的推测、猜想, 容易迸发出新鲜物理思想的火花, 在关键时刻敢于摆脱传统束缚与非议, 敢于创立新学说。虽然在工科院校中, 由于大学物理课程涉及面广, 教学时数却不多, 不容易把学生引导到物理学的发展规律中去把握每一个概念与定律的实质, 但配合教学内容精选若干典型事例, 给学生展现一副活生生的物理学图像, 定能使学生受到很多启发和教育, 可以激发学生的探索与创新精神。

四、丰富的物理方法论在培养学生能力上有其重要的作用

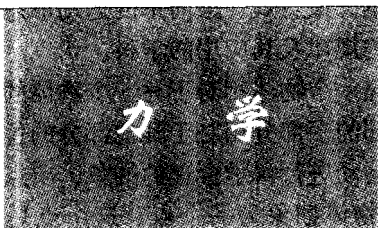
如前所述, 物理学经过几百年的发展, 已经能够说明小到分子、原子、原子核、粒子, 大到恒星、星系、宇宙种种物理现象, 并正在深入研究细小到粒子内部, 广阔到宇宙整体以及种种非线性的复杂问题。与此同时, 物理学发展了多种多样的研究方法。可以说, 在物理学这个大系统中, 物理学理论与物理学方法论是相互依存与相互作用的两个子系统。在一定意义上讲它们之间的配合与协调, 推动着物理学的发展。有人说, 所有科学大师都是他那学科的方法论专家, 就包含着这一层意思。从另一个角度看, 物理学理论本身也具有方法论功能。这些由文字、符号、图像、公式组成的表象是人类对客观规律的正确反映, 反之, 它又是人类改造客观世界的工具。大学物理课程涉及物理学许多基础知识的精华, 学生在学习物理知识的同时, 能不同程度地受到方法论的熏陶。

五、物理学在培养学生思维能力、发展学生智力方面也有独特的作用

人类在认识世界、获取知识的过程中, 思维起着重要的作用。人脑是思维的器官, 人的思维是大脑活动的产物, 近代脑科学的研究表明, 人的两个大脑半球是用根本不同的方式进行思维的。左脑思维具有单线性, 是串联式的, 擅长逻辑思维, 所谓思路清晰, 逻辑性强是左脑功能的表现; 而右脑思维具有平行性, 是并联式的, 右脑是直觉判断的场所, 直觉思维是与逻辑思维截然不同的另一种非逻辑思维方式, 类似于灵感、顿悟, 极富创造性。学生在学习大学物理课程中, 不仅要进行抽象思维、逻辑推理、数字运算及分析等, 即要运用和发展左脑功能; 同时也要处理总体形象、空间概念、鉴别几何图形、记忆、模仿等, 即也要运用和发展右脑功能, 某些学生在学习大学物理时遇到困难, 原因之一也许是左脑或右脑功能发挥得不充分。充分认识与发挥大学物理在发展学生智力中的独特作用也是非常重要的。

总之, 在科学素质教育中, 物理学有无可替代的独特作用。对于为振兴中华、报效国家与社会的所有读者, 学好物理学, 应用物理学, 发展物理学都将具有非同寻常的意义和价值。

第一部分



力学是工程基础物理课程中的一个重要组成部分，不仅与中学物理有着密切的关系，而且其中的物理概念、物理规律和研究方法又是整个大学物理的基础。

学习本部分时，要求读者能应用高等数学中的矢量和微积分概念，描写质点运动的矢量性和瞬时性；在牛顿定律的基础上，学习用演绎的方法，研究在质点运动中，力的时间积累与力的空间积累的作用规律；并了解在质点及质点系力学的基础上，如何对刚体、弹性体和流体等连续介质的基本力学规律展开讨论。读者在学习中除需运用中学物理的基础知识外，还要注意在本部分中对中学物理的延伸与拓展，特别是通过对理想体流体定常流动的分析，学习场论的思想和方法。

第一章 质点力学

在大量的生活实际与工程实际问题中，如读者参与的各项体育运动、机器的旋转、平移、交通工具的行驶等等是最基本、最直观、最简单的运动形态——机械运动。牛顿力学就是研究物体机械运动的规律及其应用的学科。

为了研究物体的机械运动，即为了研究一个物体相对于另一个物体的位置随时间的变化规律，或为了研究一个物体内部的一部分相对于其他部分的位置随时间的变化过程，我们需要对复杂的物体的运动进行科学合理的抽象，质点就是一个被简化了的模型，即将有形有貌的实际物体抽象为一个点，这个点是含有质量、仅占据空间位置，却无表观形貌、无内部结构的模型。当然，实际生活中，没有任何一个物体与质点完全等价。但是在描述诸如地球绕太阳公转这样的运动时，由于地球半径（约为 6400 公里）比地球与太阳的距离（约 1.49×10^8 公里）小得多，把地球视作质点是相当好的近似。一般来说，只要当物体运动的尺度远大于物体本身的线度时，就可以采用质点模型，或者在不考虑物体的转动和内部运动时，也可以采用质点模型。在第三章读者将会看到，即使研究刚体、弹性体、流体等质量连续分布的物体的运动时，还是可以把它们分割成无限多个质点进行讨论，这也是质点模型的一种实际应用。

本章主要内容可概括为以下几个方面：

1. 质点运动学

质点运动学是力学中仅从几何的观点研究运动的学科，即如何描述质点运动。

2. 质点动力学

质点动力学是研究产生物体运动千差万别的原因的学科。如研究物体与物体之间属于机械运动范畴的相互作用及这类相互作用过程中物体运动量的交换和变化的规律。

3. 质点系力学

质点系动力学研究两个或两个以上质点系统的运动规律，寻求质点系运动过程中或相互作用过程中的守恒量及相应的守恒条件。

第一节 质点运动学

实践和理论研究表明，在一切宏观自然现象中，不论运动形态多么复杂，从物质的粒子性来看，最基本的运动形式就是质点的运动。

一、位置矢量

质点相对参考系的位置可以在坐标系中定量描述，而要描写质点的运动，首先要确定质点的位置。为此，取一参考系并在其中确定一个参考点 O ，见图 1-1。由参考点 O 引向质点所在瞬时位置 P 的矢量 \mathbf{r} ，称之为质点的位置矢量，简称位矢（或矢径）。

读者也许要问，为什么要用矢量来描写质点的位置呢？

首先，位置矢量既然是矢量，就一定包含了质点位置的两方面的信息，一是质点相对参考系固定点 O 的方位，二是质点相对参考系固定点 O 的距离大小，这也正是矢量所具有的两个基本特征。

其次，任何物理量都是用一组数表示的，这组数的值一般与坐标的选择有关，但矢量与所选坐标系无关。而且不论坐标系如何旋转，位置矢量是不变的，见图 1-2。

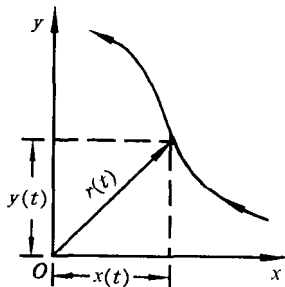


图 1-1

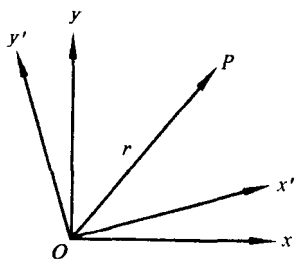


图 1-2

二、运动学方程

质点在运动，位置在变化，则表示质点位置的位置矢量 \mathbf{r} 必定随时间在改变。也就是说，位置矢量 \mathbf{r} 是时间的函数，即

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

上式称为质点的运动学方程或质点运动的轨道参量方程。无论从运动学意义上还是从动力学意义上看，物体的运动轨道问题都应当是一个首要问题，因为知道了质点运动解析表达为时间的函数式 (1-1)，就等于知道了此质点运动的一切情况。

在直角坐标系中也可以用坐标系中三个坐标分量来描述运动：

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1-2)$$

此式亦称位矢的分量式，质点在直角坐标系中任意时刻的位矢又可表为：

$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-3)$$

【例 1-1】斜抛小球运动的运动轨道见图 1-3。设小球从坐标原点以初速度 v_0 沿与水平方向成 θ_0 角的方向被抛出。在不计空气阻力的情况下，由式 (1-2) 得它的运动学方程分量式是

$$x = v_0 \cos \theta_0 t$$

$$y = v_0 \sin \theta_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

由此两式消去 t ，即得小球运动的轨道方程

$$y = \operatorname{tg} \theta_0 x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0} x^2$$

图 1-3 中画出的是以相同的 v_0 、不同的 θ_0 抛出的小球的一系列运动轨道。

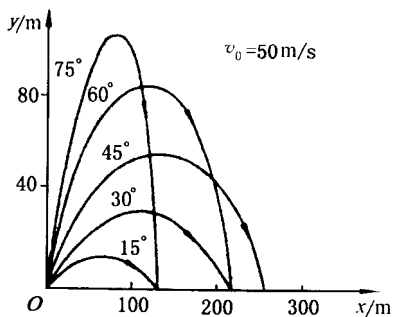


图 1-3

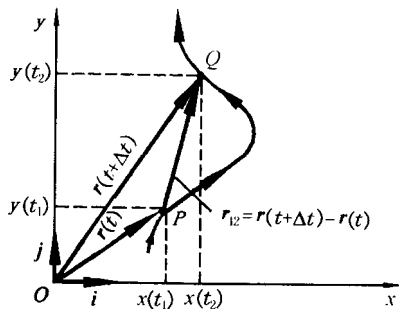


图 1-4

三、速度矢量

速度是为了描述物体运动快慢而引入的物理量。如何利用位矢引入速度矢量的定义呢？

首先描写质点位置的变动，可以采用位移 $\Delta \mathbf{r}$ 这一物理量，位置变动有两方面的含义：其一是向何方向变动；其二是在一定时间内变动了多大距离。由图 1-4 可知，设 $\mathbf{r}(t)$ 表示 t 时刻质点的位置矢量，下一时刻 $(t + \Delta t)$ 质点位置矢量为 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$ ，则由 P 点指向 Q 点的矢量 $\Delta \mathbf{r}$ ，被称作位移矢量，它反映了在 Δt 内质点位置的变动。由矢量运算规则可知

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

注意，位移矢量除了具有方向性之外，还有如下性质：

(1) 位移不同于位矢。位移与坐标原点的选择无关。不过，读者可想一想，位移与参照系的选择有没有关系呢？

(2) 位移不同于路程。从 t 到 $t + \Delta t$ 内质点所经历的路程是由 P 到 Q 的曲线的实际长度，是一个标量，表示为 Δs 或 Δl ，位移的大小通常也不等于路程，即

$$|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta l$$

当所考察的时间间隔 Δt 趋向于零时， Q 点趋近于 P 点，根据微分学

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta \mathbf{r} = d\mathbf{r}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta l = dl$$

即

$$|d\mathbf{r}| = dr = dl \quad (1-5)$$

$d\mathbf{r}$ 叫做元位移，它是质点位矢的微分，也是一个矢量。任一时刻元位移的方向就是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向，也就是该时刻质点运动轨迹的切线方向。因此，只有在直线运动的情况下，矢量改变量的大小等于矢量大小的改变量。

在 t_0 到 t 的有限时间间隔内，质点的总位移是一系列元位移的矢量和，由积分学知：

$$\Delta \mathbf{r} = \int_{t_0}^t d\mathbf{r} \quad (1-6)$$

(3) 位移并不反映初位置到终位置中间的细节，也不反映初位置或终位置本身，仅反映两者相对位置的变化。

位移描述了质点位置的变化，但同样的位移却可以在不同的时间中完成。所以，一般来说，一个质点的位矢是时间的函数 $\mathbf{r}(t)$ ，一个运动质点的位移也是时间的函数 $\Delta \mathbf{r}(t)$ 。速度矢量是描写质点运动状态的物理量，在质点运动的每个时空点上，均有一个速度矢量 $\mathbf{v}(t)$ ，称之为瞬时速度矢量，如图 1-5 所示。为了精确地刻画质点在不同时刻运动的快慢和方向，需分两步做，先对质点的运动进行粗略描述，即引入平均速度的概念；然后利用由近似到精确的数学工具——取极限。读者需十分注意这种研究方法。可以想一想，为什么要先计算平均速度？

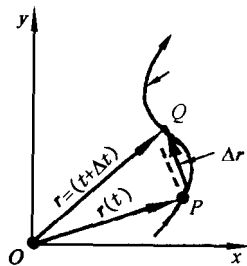


图 1-5

我们把在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内质点位移对时间的变化率定义为质点在这段时间内的平均速度，记为

$$\langle \mathbf{v} \rangle = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-7)$$

由定义式可看出，它实际上是增量比，是一个矢量，其大小为 $|\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}|$ ，方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 同向。同时，平均速度与位移一样，也与时间 Δt 有关，只能粗略描述质点在这段时间间隔 Δt 内运动的快慢程度，它并不能为我们提供具体细节。从式(1-7)还可