

# 大学物理简明教程

梁励芬 蒋平 编著

## 内 容 提 要

本书以一卷本的形式简明介绍普通物理学的基本知识,兼顾物理学在当代其他自然科学和生命医学以及工程技术领域内的应用。内容覆盖经典物理的力学、热学、电磁学与光学以及近代量子物理的基本规律,同时以阅读材料的形式有选择地介绍近年物理学的重要进展以及杰出物理学家的生平。

本书可作为理工医农以及师范等各类高等院校基础物理课程的教材,亦可作中等学校教师的教学参考书。

## 前 言

编写本书的意向萌动于3年之前,初衷是要为非物理专业的本科生提供一本适用于新世纪伊始的物理学基础课教材。编者长期在复旦大学从事非物理专业的物理课教学,讲授对象包括理科数、化、生,医学及电子工程等系科、专业的学生,编者从中积累了丰富的教学经验。在实际的教学实践中,编者深切体会到如何使基础物理的教学适应学生对后续课程的学习以及毕业后从事新世纪建设的要求是一个亟待解决的紧迫问题。这一矛盾突出表现在过去沿用的教材已显陈旧,越来越难以满足教学的要求。一方面,现代科学和工程的发展使其同物理学的关系更为密切,物理学实际上已渗透到当代科学技术的各个领域,从研究方法、检测设备与技术等方面给以基础性的支持,无疑要求在新世纪工作的科学家、医生和工程师具备必需的物理学知识。另一方面,近年来物理学本身也有许多重要的发展,有的重大成就甚至已对当代人类的进步和社会发展表现出积极的影响,相关的知识已相当普及,作为常识也应使学生有所了解,但这些内容都是原有教材未能包括的。同时,新世纪的建设者在知识结构方面有其区别于以往的特点,这自然也要求教材的内容、结构、教学方式与课时都要作相应的调整。正是基于这样的认识,我们才决定重新编写一本适用本世纪之初的基础物理教材。

在着手编写前后,上海市医科大学与复旦大学正式合并,现在复旦大学又已启动全学分制计划,基础物理的教学分成基础学科、技术学科与医学院三大片,这又对教材的适用性提出了新的要求。因此在实际编写过程中,我们尽量注意使教材有最广的适用面。

近年来,国内出版了不少适用于理、工科的大学物理教材,但鲜见适用于医学及生命科学类系科的基础物理教材。本教材恰好在一定的程度上适应了这一需求。在这些已出版的教材中相对于传统的教材而言,大多数作了许多革新,包括教材的体系和知识结构。在仔细研究权衡利弊的基础上,本书仍保留经典物理在前、近代物理在后的顺序,以适应大多数读者的需求与使用习惯。此外书中以阅读材料的形式介绍了若干物理学的最新进展及其在技术上的应用,以扩大读者的视野。同时附加了若干著名科学家的简介,以期学生在培养自己严谨的工作作风和科学的思维方式方面能获得有益的启示。

在编写过程中除借鉴国外发达国家的最新教材外,广泛参考了国内新近出版的基础物理教材,在本书最后专门以附录形式列出,以志谢忱。

编 者

2002年春

# 目 录

## 第一篇 力 学

第一章 运 动 学.....	3
§ 1.1 参照系和坐标系 .....	3
§ 1.2 质点和刚体 .....	4
§ 1.3 位矢、速度和加速度.....	5
一、位置、位矢和位移 .....	5
二、速度和加速度 .....	6
三、速度、加速度的直角坐标分量表示式 .....	7
四、质 心 .....	7
§ 1.4 曲线运动、切向加速度和法向加速度.....	8
一、曲线运动、已知加速度求速度和位矢 .....	8
二、切向加速度和法向加速度 .....	10
三、圆周运动、角位移、角速度和角加速度 .....	12
四、角量和线量的关系 .....	13
五、刚体绕固定轴的转动 .....	14
§ 1.5 相 对 运 动 .....	15
§ 1.6 力 学 单 位 制、量 纲 .....	17
一、力学单位制 .....	17
二、量 纲 .....	18
思考题与习题 .....	18
阅 读 材 料.....	21
科学家介绍——伽利略 .....	21
附录 1.1 微积分简介 .....	23
附录 1.2 矢 量 .....	29
第二章 动 力 学 .....	33
§ 2.1 牛 顿 三 定 律.....	33
一、牛顿三定律 .....	33
二、四种基本相互作用 .....	34
三、接 触 力 .....	35
四、牛顿三定律的应用 .....	36
五、伽利略相对性原理 .....	43

六、非惯性系中的惯性力 .....	43
§ 2.2 动量和动量守恒定律 .....	46
一、动量、冲量和动量定理 .....	46
二、动量守恒定律 .....	47
三、质心运动定理 .....	48
* 四、变质量体系运动方程、火箭 .....	50
§ 2.3 角动量和角动量守恒定律 .....	52
一、质点的角动量和刚体定轴转动的角动量 .....	52
二、平行轴定理 .....	54
三、力 矩 .....	55
四、质点和定轴转动刚体的角动量定理、转动定律 .....	56
五、角动量守恒定律 .....	58
思考题与习题 .....	61
阅 读 材 料 .....	67
A. 科学家介绍——牛顿 .....	67
B. 引 力 波 .....	68
第三章 功与能、机械能守恒定律 .....	71
§ 3.1 功 和 功 率 .....	71
一、力的功和功率 .....	71
二、力矩的功和功率 .....	72
§ 3.2 几种力的功、势能 .....	73
一、保守力的功 .....	73
二、摩擦力的功 .....	75
三、功和参照系的关系 .....	75
四、势 能 .....	77
§ 3.3 动 能 定 理 .....	77
一、质点的动能和动能定理 .....	77
二、刚体定轴转动的动能定理 .....	78
§ 3.4 机 械 能 守 恒 定 律 .....	79
一、功 能 原 理 .....	79
二、机械能守恒定律 .....	80
* 三、功和能的定理与参照系的关系 .....	80
四、刚体的平面运动 .....	83
§ 3.5 碰 撞 .....	87
一、碰撞与守恒定律 .....	87
二、弹性碰撞和完全非弹性碰撞 .....	87
* § 3.6 进 动 .....	89
思考题与习题 .....	90

第四章 狭义相对论基础 .....	97
§ 4.1 狭义相对论的基本假设 .....	97
一、爱因斯坦的基本假设 .....	97
二、洛伦兹变换 .....	97
三、狭义相对论的时空性质 .....	99
§ 4.2 相对论速度变换 .....	101
§ 4.3 相对论质量、动量和能量 .....	103
一、相对论质量和动量 .....	103
二、相对论能量 .....	105
思考题与习题 .....	107
阅 读 材 料 .....	109
A. 科学家介绍——爱因斯坦 .....	109
B. 宇宙大爆炸理论和实验证据 .....	110
C. 黑 洞 .....	114
D. 正、负电子对撞机 .....	116
第五章 流 体 力 学 .....	119
§ 5.1 流体运动的描述 .....	119
一、流场、流线和流管 .....	119
二、定常流动和不定常流动 .....	119
§ 5.2 定常流动的连续性方程 .....	120
§ 5.3 伯努利方程及其应用 .....	121
一、理 想 流 体 .....	121
二、伯努利方程 .....	121
三、伯努利方程的应用举例 .....	122
§ 5.4 实际流体的运动规律 .....	125
一、粘滞流体的能量方程 .....	125
二、湍流和雷诺数 .....	127
三、泊肃叶定律 .....	127
思考题与习题 .....	129
阅 读 材 料 .....	131
血液的流动和血压 .....	131

## 第二篇 热 学

第六章 气体分子运动论 .....	135
§ 6.1 理想气体状态方程 .....	135
一、状 态 参 量 .....	135
二、理想气体状态方程 .....	136
§ 6.2 理想气体的压强公式 .....	137
一、理想气体的微观模型和等概率假说 .....	137

二、理想气体的压强公式 .....	138
三、温度的统计意义 .....	139
§ 6.3 麦克斯韦速率分布律 .....	140
一、统计规律性与分布函数 .....	140
二、麦克斯韦速率分布律 .....	141
三、最概然速率、平均速率和方均根速率 .....	142
* 四、验证麦克斯韦速率分布律的实验 .....	144
§ 6.4 玻耳兹曼分布律 .....	144
一、重力场中大气密度和压强随高度的分布 .....	144
* 二、麦克斯韦-玻耳兹曼分布律 .....	146
§ 6.5 能量按自由度均分定理 .....	147
一、自由度 .....	147
二、能量按自由度均分定理 .....	147
三、理想气体的内能及热容量 .....	148
§ 6.6 气体的输运过程 .....	150
一、气体分子碰撞频率和平均自由程 .....	150
二、气体的输运过程 .....	151
* § 6.7 物质透过生物膜的输运 .....	154
一、物质透过生物膜的输运 .....	154
二、扩散造成膜电位 .....	154
思考题与习题 .....	155
阅 读 材 料 .....	157
A. 血 液 透 析 .....	157
B. 生 物 圈 .....	159
<b>第七章 热 力 学</b> .....	162
§ 7.1 热力学第一定律 .....	162
一、热力学过程 .....	162
二、功 和 热 量 .....	162
三、热力学第一定律 .....	163
§ 7.2 热力学第一定律的应用 .....	164
一、理想气体的等容过程 .....	164
二、理想气体的等压过程 .....	164
三、理想气体的等温过程 .....	165
四、理想气体的绝热过程 .....	165
* 五、人体的新陈代谢 .....	167
§ 7.3 循环过程、卡诺循环 .....	167
一、循环过程和热机的效率 .....	167
二、卡 诺 循 环 .....	169
§ 7.4 热力学第二定律 .....	172

一、自然现象的不可逆性 .....	172
二、热力学第二定律 .....	172
三、卡诺定理 .....	173
四、熵和熵增加原理 .....	173
五、热力学第二定律的统计意义 .....	176
思考题与习题 .....	178
阅 读 材 料 .....	181
A. 耗散结构和自组织现象 .....	181
B. 熵、信息与遗传 .....	182

## 第三篇 电 磁 学

第八章 静 电 场 .....	187
§ 8.1 库 仑 定 律 .....	187
§ 8.2 电 场 强 度 .....	188
一、电场和电场强度 .....	188
二、场强叠加原理 .....	189
§ 8.3 高 斯 定 理 .....	193
一、电 场 线 .....	193
二、电 通 量 .....	194
三、高斯定理及其应用 .....	195
§ 8.4 静电场的环路定理、电势 .....	199
一、静电场的环路定理 .....	199
二、电势差和电势 .....	199
三、场强与电势的关系 .....	201
* 四、关于电势零点的讨论 .....	204
§ 8.5 导体的静电平衡、电容器 .....	205
一、导体的静电平衡条件 .....	205
二、导体表面的电荷分布和电场强度 .....	205
三、尖端效应和静电屏蔽 .....	207
四、电容、电容器 .....	208
§ 8.6 稳恒电流、基尔霍夫定律 .....	212
一、电流的连续性方程、稳恒电流 .....	212
二、欧姆定律、电动势 .....	214
三、基尔霍夫定律 .....	216
思考题与习题 .....	218
阅 读 材 料 .....	225
A. 静电的应用和静电危害的消除 .....	225
B. 电泳与太空制药 .....	228
C. 导电高聚物 .....	230
D. 静电技术在生命科学中的应用 .....	234

第九章 磁 场 .....	237
§ 9.1 磁场的高斯定理 .....	237
一、电流的磁效应 .....	237
二、磁场、磁感应强度和磁感应线 .....	238
三、磁通量和磁场的高斯定理 .....	240
§ 9.2 磁场对电流的作用、磁矩 .....	241
一、安培公式 .....	241
二、磁场对平面载流线圈的作用、磁矩 .....	241
§ 9.3 毕奥-萨伐尔定律及其应用 .....	243
一、毕奥-萨伐尔定律 .....	243
二、毕奥-萨伐尔定律的应用 .....	244
§ 9.4 安培环路定理 .....	247
一、安培环路定理 .....	247
二、安培环路定理的应用 .....	249
§ 9.5 带电粒子在电场和磁场中的运动 .....	250
一、洛伦兹力 .....	250
二、带电粒子在磁场中的运动 .....	250
三、回旋加速器 .....	253
四、质谱仪 .....	254
五、霍尔效应 .....	255
思考题与习题 .....	256
阅读材料 .....	260
磁流体发电 .....	260
第十章 电磁感应 .....	262
§ 10.1 电磁感应定律 .....	262
一、电磁感应现象 .....	262
二、楞次定律 .....	263
三、法拉第电磁感应定律 .....	264
§ 10.2 动生电动势和感生电动势 .....	266
一、动生电动势 .....	266
二、感生电动势和感生电场 .....	268
§ 10.3 自感与互感 .....	271
一、自感 .....	271
二、互感 .....	273
§ 10.4 自感磁能和互感磁能 .....	274
一、自感磁能 .....	274
二、互感磁能 .....	276
思考题与习题 .....	278
阅读材料 .....	282

A. 磁悬浮列车 .....	282
B. 核磁共振 .....	284
第十一章 物质中的电场和磁场 .....	287
§ 11.1 电介质、介质中的高斯定理 .....	287
一、电介质的极化 .....	287
二、极化强度和极化电荷密度 .....	288
三、电位移、电介质中的高斯定理 .....	289
§ 11.2 磁介质、介质中的安培环路定理 .....	292
一、磁介质和磁化强度矢量 .....	292
二、磁化电流 .....	293
三、磁介质中的安培环路定理 .....	294
四、铁磁质 .....	296
§ 11.3 静电场和静磁场的能量 .....	297
一、静电场的能量 .....	297
二、静磁场的能量 .....	299
思考题与习题 .....	300
阅读材料 .....	303
超导体 .....	303
第十二章 电磁场和电磁波 .....	308
§ 12.1 麦克斯韦方程组 .....	308
一、位移电流与感生磁场 .....	308
二、麦克斯韦方程组 .....	312
§ 12.2 电磁波的产生和传播 .....	313
§ 12.3 电磁波的能量和动量 .....	314
一、电磁场的能量密度和能流密度 .....	314
二、电磁波的动量 .....	314
§ 12.4 电磁波的辐射 .....	315
一、辐射电磁波的条件 .....	315
二、电偶极辐射和磁偶极辐射 .....	316
三、韧致辐射 .....	316
四、同步辐射 .....	317
§ 12.5 电磁波谱 .....	318
思考题与习题 .....	319
阅读材料 .....	320
生命系统的超微弱光子辐射 .....	320

## 第四篇 光 学

第十三章 振动与波 .....	325
-----------------	-----

§ 13.1	一维简谐振动.....	325
§ 13.2	阻尼振动、受迫振动与共振 .....	328
§ 13.3	简谐振动的合成.....	334
	一、同方向、同频率简谐振动的合成 .....	334
	二、同方向、频率相近的简谐振动的合成 .....	335
	三、振动的谐波分析 .....	337
	四、两个同频率、沿相互垂直方向的简谐振动的合成 .....	339
§ 13.4	机械波的产生和传播.....	341
§ 13.5	波的干涉、驻波 .....	351
§ 13.6	多普勒效应.....	355
	思考题与习题.....	357
	阅 读 材 料 .....	362
	A. 超声多普勒血流仪 .....	362
	B. 超声波的特性及 B 超原理 .....	364
<b>第十四章</b>	<b>光的衍射与干涉.....</b>	<b>368</b>
§ 14.1	惠更斯-菲涅耳原理 .....	368
§ 14.2	单缝夫琅和费衍射.....	374
§ 14.3	圆孔夫琅和费衍射与光学仪器的分辨本领.....	378
§ 14.4	光 栅 衍 射 .....	381
	一、主极大的位置与光强 .....	384
	二、缺 级 .....	384
	三、光栅的色散 .....	385
§ 14.5	X 光 衍 射 .....	386
§ 14.6	薄 膜 干 涉 .....	387
	一、等厚与等倾薄膜干涉 .....	388
	二、劈 尖 干 涉 .....	389
	三、牛 顿 环.....	390
	四、迈克尔逊干涉仪 .....	391
	五、增 透 膜.....	392
* § 14.7	全 息 照 相 .....	394
	思考题与习题.....	396
<b>第十五章</b>	<b>光 的 偏 振 .....</b>	<b>400</b>
§ 15.1	自然光与偏振光.....	400
§ 15.2	反射光的偏振、布儒斯特角 .....	403
§ 15.3	晶体的双折射.....	404
	一、光轴在入射面内与晶体表面成一夹角、斜入射 .....	406
	二、光轴平行于晶体表面、正入射 .....	407
	三、光轴垂直于晶体表面、正入射 .....	407

§ 15.4 椭圆偏振光.....	409
§ 15.5 偏振光的干涉.....	412
§ 15.6 旋光性.....	414
思考题与习题.....	416
阅 读 材 料 .....	418
光学显微镜的进展.....	418

## 第五篇 近代物理

第十六章 量子物理基础.....	423
§ 16.1 黑体辐射与普朗克的量子假说.....	423
§ 16.2 德布罗意波.....	426
§ 16.3 薛定谔方程.....	430
思考题与习题.....	437
阅 读 材 料 .....	438
抓住原子的“机械手”——扫描隧道显微镜.....	438
第十七章 原子与分子.....	442
§ 17.1 氢原子.....	442
§ 17.2 多电子原子.....	452
§ 17.3 分子结构和分子光谱.....	457
思考题与习题.....	464
第十八章 激 光 .....	465
§ 18.1 激光的产生.....	465
§ 18.2 激光的应用.....	471
阅 读 材 料 .....	473
A. 激光冷却、捕获原子与玻色-爱因斯坦凝聚 .....	473
B. 天文望远镜的进展——激光灯标天文望远镜及哈勃天文望远镜 .....	476
C. 光速的测定及长度单位——米的新定义 .....	479
D. 激光唱片放音机中的光学系统及光学存储器 .....	482
第十九章 凝 聚 态.....	485
§ 19.1 晶体的结构与能带.....	485
§ 19.2 固体的电导.....	491
§ 19.3 准 晶 体.....	497
§ 19.4 介 观 体 系 .....	501
附 录 .....	506
附表 1 基本物理常量 1986 年的推荐值 .....	506
附表 2 保留单位和标准值 .....	506

习题答案 .....	507
主要参考书目 .....	517

# 力学

## 运 动 学

力学研究的是物体的机械运动,分为运动学和动力学两部分,描述物体运动的内容称为运动学,探究引起运动及运动变化的原因则是属于动力学的范畴。

## § 1.1 参照系和坐标系

描述任何物体的空间位置,都必须以另一个物体作为参考,因此,描述由位置变化引起的运动过程就需要选定作参考的物体,这物体就称为参照系。同一运动过程,相对于不同的参照系有不同的描述,例如,在地面附近自由下落的物体,以地球为参照系,它作直线运动,以匀速行驶的火车为参照系,它作曲线运动。在运动学中,参照系的选择是任意的,一般可以视描述的方便来选择参照系。参照系的特殊性在动力学中才会显露出来。

选定参照系后,还必须在其上建立适当的坐标系。坐标系是由固定在参照空间的一组坐标轴和一组坐标组成。

要定量描述物体的运动状态,必须进行时间和长度的测量。目前国际通用的时间单位是秒,1967年国际计量大会决定采用原子的跃迁辐射作为计时标准,并规定1秒是铯133原子基态中两个超精细能级之间跃迁辐射周期的9 192 631 770倍。这样的时间标准称为原子时。

国际通用的长度单位是米,1983年第十七届国际计量大会正式通过了米的新定义:“米是光在真空中,在 $1/299\,792\,458$ 秒的时间间隔内运行距离的长度。”

表 1.1-1 和表 1.1-2 给出了典型物理现象的空间和时间尺度。

表 1.1-1 典型物理现象的空间尺度(单位:米(m))

已观测的宇宙范围	$\sim 10^{27}$
星系团半径	$10^{24}$
星系间的距离	$\sim 2 \times 10^{22}$
银河系的半径	$7.6 \times 10^{20}$
太阳到最近恒星的距离	$4 \times 10^{16}$
日地距离	$1.5 \times 10^{11}$
地球半径	$6.4 \times 10^6$
珠穆朗玛峰高度	$8.8 \times 10^3$
小孩高度	1

尘埃	$10^{-3}$
人类红血球细胞直径	$10^{-6}$
细菌线度	$10^{-9}$
原子线度	$10^{-10}$
原子核线度	$10^{-15}$

表 1.1-2 典型物理现象的时间尺度(单位:秒(s))

宇宙年龄	$10^{18}$
太阳系年龄	$1.4 \times 10^{17}$
原始人诞生至今	$\sim 10^{13}$
人的平均寿命	$10^9$
地球公转(一年)	$3.2 \times 10^7$
地球自转(一天)	$8.6 \times 10^4$
太阳光到地球的传播时间	$5 \times 10^2$
人的心脏跳动周期	1
中频声波周期	$10^{-3}$
中频无线电波周期	$10^{-6}$
原子振动周期	$10^{-12}$

## § 1.2 质点和刚体

实际的物体都有一定大小、形状和内部结构,在运动过程中,物体各部分的运动状况可以不同。为了抓住问题的主要特点,人们提出了种种物理模型来处理各类具体问题。

若在所研究的问题中,物体的形状、大小不起作用,或者物体本身的大小比所考察的线度小很多时,可将物体看成只有质量而没有大小和形状的点,称为质点。质点是力学中一个重要的理想模型。例如,作平动(物体上任意两点的连线在运动过程中始终保持平行的一种运动)的物体,由于其上任一点的运动情况都相同,所以不论其大小和运动线度如何,总可以把它看成质点。

刚体是力学中另一种理想模型,是实际物体(指固体)的抽象,刚体是在外力作用下形状和大小都保持不变的物体。实际物体在外力作用下形状和大小或多或少会有些变化,但只要这种变化与物体的几何线度相比很小,在所讨论的问题中可以忽略,就可以把这物体看成是刚体。刚体可以看成是由许多质点(或质元)组成的,在运动过程中,刚体内任意两点之间的距离始终保持不变。

## § 1.3 位矢、速度和加速度

### 一、位置、位矢和位移

在直角坐标系中,质点的位置可以用三个坐标  $x$ 、 $y$ 、 $z$  来表示,当质点运动时,它的坐标随时间而变,可表示为时间  $t$  的函数。

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t) \quad (1.3-1)$$

此即质点的运动方程,在质点运动过程中,其空间位置所构成的曲线称为轨迹。

质点的位置也可以用一个特殊的矢量  $r$  来表示,以选定的原点  $O$  为起点,作矢量  $\overrightarrow{OP}$ ,方向指向质点所在的  $P$  点,该矢量就给出了质点的位置,因此叫位置矢量,简称位矢,如图 1.3-1 所示。

在直角坐标系中,设  $i$ 、 $j$ 、 $k$  分别为沿  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的单位矢量,则位矢表示为

$$r = xi + yj + zk \quad (1.3-2)$$

位矢  $r$  与一般矢量不同,它与坐标原点的选择有关。

也可以用位矢随时间的变化表示质点的运动过程,即

$$r = r(t) \quad (1.3-3)$$

$r$  的大小(即它的模)表示质点到原点之间的距离, $r$  的方向由方向余弦  $\cos \alpha$ 、 $\cos \beta$ 、 $\cos \gamma$  决定,它们之间满足关系式

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1 \quad (1.3-4)$$

(1.3-2)和(1.3-3)式表明:质点的运动是各分运动的矢量和,这种由空间的几何性质所决定的各分运动和实际运动的关系称为“运动的叠加原理”。

在一段时间内质点位矢的增量叫做它在这段时间内的位移。如图 1.3-2 所示,在时刻  $t$ ,质点位于  $A$  点,在时刻  $t + \Delta t$ ,质点位于  $B$  点,则称

$$\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t) \quad (1.3-5)$$

为质点在此  $\Delta t$  时间间隔内的位移。它是从质点的位置  $A$  指向位置  $B$  的矢量。

位移与路径不同,位移是矢量,是一段有方向的线段,一般情况下这一线段不表示质点运动的实际轨道,而路径则代表了

质点实际运动的轨道;位移的大小为该矢量的长度,记做  $|\Delta r|$ ,一般情况下  $|\Delta r| \neq \Delta r$ ,因为  $\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t)$ ,是位矢的大小在  $\Delta t$  时间间隔内的增量。(1.3-5)式在直角坐标系中的具体表示式为

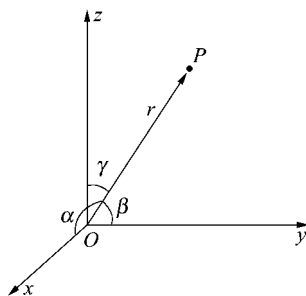


图 1.3-1 位矢

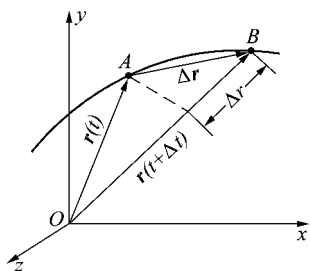


图 1.3-2 位移