



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理

(第四版)

上册

主 编 王纪龙 周希坚

副主编 杨毅彪 郝玉英 崔彩娥



科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理

(第四版)

上册

主 编 王纪龙 周希坚
副主编 杨毅彪 郝玉英 崔彩娥

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是根据《非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求(正式报告稿)》,按照 21 世纪人才培养模式的需要和课程体系、教学内容改革的要求,在广泛吸取了近年来出版的国内外一些较为优秀的同类教材的成功经验后,在第三版基础上编写而成的.全书分上、下两册.上册包括力学、热物理学和电磁学;下册包括振动和波动、光学和近代物理基础;配套的《学习指导与习题选解》另行出版.

本书可作为高等工科学校各专业和其他类院校非物理类专业本、专科学生的大学物理教材,也可用作成人教育的大学物理教材和教学参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理.上册/王纪龙,周希坚主编. —4 版. —北京:科学出版社,2011
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-03-030171-0

I. 大… II. ①王… ②周… III. 物理学-高等学校-教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 016392 号

责任编辑:昌 盛/责任校对:陈丽珠

责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002 年 2 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2003 年 1 月第 二 版 印张: 44 1/2

2007 年 8 月第 三 版 字数: 844 000

2011 年 1 月第 四 版 2011 年 3 月第十三次印刷

印数: 60 001—61 000

定价: 57.00 元(含上、下册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书自第一版到第三版出版发行以来,已经被多所院校的大学物理课程选为教材,根据广大教师与读者反映的情况和提出的建议,对原书的内容进行了进一步修订,形成了《大学物理(第四版)》。在此,衷心感谢多年来使用并关心本教材的广大师生,并欢迎继续对本书中的不足或错误提出批评指正。

第四版内容的撰写仍保持原有的体系和风格,涵盖了2006年教育部新颁布的“非物理类理工学科大学物理课程基本要求”,反映了教学改革和精品课程建设的最新成果,并考虑了当前学生的实际,加强了基础理论的叙述,加强对学生分析问题和解决问题能力的培养。

参加本书编写与修订的人员均为太原理工大学教师。分工如下:李孟春编写第一章;黄平编写第二章;张叶编写第三章;邓霄编写第四章;刘红利编写第五章;杨跃俊编写第六章;张绪树编写第七章;朱林彦编写第八章;郝玉英编写第九章;薛萍编写第十章;乔记平编写第十一章;王丽平编写第十二章;贺晓红编写第十三章;王冰洁编写第十四章;武媛编写第十五章;张彩霞编写第十六章;刘瑞萍编写第十七章;崔彩娥编写第十八章;杨毅彪编写第十九章及附录。王纪龙、周希坚、陈世杰负责全书统校工作。

全书论述力求语言准确、简洁,例题、习题围绕教学内容,力争经典、难度与数量适当。若有不当之处,恳请使用本书的同行与读者提出宝贵的批评意见。

王纪龙

2010年12月于太原

本书中涉及的物理量和单位

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	量 纲	备 注
长 度	l, s	米	m	L	
面 积	S	平方米	m^2	L^2	
体 积	V	立方米	m^3	L^3	1L(升)= $10^{-3}m^3$
时 间	t, τ	秒	s	T	
位 移	$s, \Delta r$	米	m	L	
速 度	v, u	米每秒	$m \cdot s^{-1}$	LT^{-1}	
加 速 度	a	米每二次方秒	$m \cdot s^{-2}$	LT^{-2}	
角 位 移	θ	弧度	rad	1	
角 速 度	ω	弧度每秒	$rad \cdot s^{-1}$	T^{-1}	
角 加 速 度	β	弧度每二次方秒	$rad \cdot s^{-2}$	T^{-2}	
质 量	m	千克	kg	M	
力	F	牛顿	N	LMT^{-2}	$1N=1kg \cdot m \cdot s^{-2}$
重 力	G	牛顿	N	LMT^{-2}	
功	A	焦耳	J	L^2MT^{-2}	$1J=1N \cdot m$
能 量	$E(W)$	焦耳	J	L^2MT^{-2}	
动 能	E_k	焦耳	J	L^2MT^{-2}	
势 能	E_p	焦耳	J	L^2MT^{-2}	
功 率	P	瓦特	W	L^2MT^{-3}	$1W=1J \cdot s^{-1}$
摩 擦 系 数	μ	—	—	—	
动 量	p	千克米每秒	$kg \cdot m \cdot s^{-1}$	LMT^{-1}	
冲 量	I	牛顿秒	$N \cdot s$	LMT^{-1}	
力 矩	M	牛顿米	$N \cdot m$	L^2MT^{-2}	
转 动 惯 量	J	千克二次方米	$kg \cdot m^2$	L^2M	
角动量(动量矩)	L	千克二次方米每秒	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$	L^2MT^{-1}	
压力(压强)	p	帕斯卡	Pa	$L^{-1}MT^{-2}$	$1Pa=1N \cdot m^{-2}$
热力学温度	T	开尔文	K	Θ	
摄氏温度	t	摄氏度	$^{\circ}C$	Θ	$t^{\circ}C=(T-273.15)K$
摩尔质量	M_{mol}	千克每摩尔	$kg \cdot mol^{-1}$	MN^{-1}	
分子质量	m	千克	kg	M	

续表

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	量 纲	备 注
分子有效直径	d	米	m	L	
分子平均自由程	$\bar{\lambda}$	米	m	L	
分子平均 碰撞次数	Z	次每秒	$1 \cdot s^{-1}$	T^{-1}	
碰 撞 截 面	σ	平方米	m^2	L^2	1 b(靶恩) $=10^{-28} m^2$
体积分子数	n	每立方米	$1 \cdot m^{-3}$	L^{-3}	
热 量	Q	焦耳	J	L^2MT^{-2}	
比 热 容	c	焦耳每千 克开尔文	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	
热 容	C	焦耳每 开尔文	$J \cdot K^{-1}$	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	
摩尔定体热容	$C_{V,m}$	焦耳每摩尔 开尔文	$J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$	$L^2MT^{-2} \cdot \Theta^{-1}N^{-1}$	
比 热 容 比	γ	—	—	—	
黏 度	η	帕秒	$Pa \cdot s$	$L^{-1}MT^{-1}$	
热 导 率	$\kappa, (\lambda)$	瓦每米开尔文	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	$LMT^{-3}\Theta^{-1}$	
扩 散 系 数	D	二次方米每秒	$m^2 \cdot s^{-1}$	L^2T^{-1}	
熵	S	焦耳每开尔文	$J \cdot K^{-1}$	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	
电 流	I	安培	A	I	
电 荷 量	Q, q	库仑	C	TI	
电荷线密度	λ	库仑每米	$C \cdot m^{-1}$	$L^{-1}TI$	
电荷面密度	σ	库仑每平方米	$C \cdot m^{-2}$	$L^{-2}TI$	
电荷体密度	ρ	库仑每立方米	$C \cdot m^{-3}$	$L^{-3}TI$	
电 场 强 度	E	伏特每米	$V \cdot m^{-1}$ 或 $N \cdot C^{-1}$	$LMT^{-3}I^{-1}$	$1V \cdot m^{-1} = 1N \cdot C^{-1}$
电场强度通量	Ψ_E	伏特米	$V \cdot m$	$L^3MT^{-3}I^{-1}$	
电 势	V	伏特	V	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	
电势差、电压	U	伏特	V	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	
电 容 率	ϵ	法拉每米	$F \cdot m^{-1}$	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$	
真空电容率	ϵ_0	法拉每米	$F \cdot m^{-1}$	$L^{-3}M^{-1}T^4I^2$	
相对电容率	ϵ_r	—	—	—	
电 偶 极 矩	p_e	库仑米	$C \cdot m$	LTI	
电极化强度	P	库仑每平方米	$C \cdot m^{-2}$	$L^{-2}TI$	
电 极 化 率	χ_e	—	—	—	

续表

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	量 纲	备 注
电 位 移	D	库仑每平方米	$C \cdot m^{-2}$	$L^{-2}TI$	
电位移通量	Ψ_D	库仑	C	TI	
电 容	C	法拉	F	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	$1F=1C \cdot V^{-1}$
电 流 密 度	j	安培每平方米	$A \cdot m^{-2}$	$L^{-2}I$	
电 动 势	$\mathcal{E}$	伏特	V	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	
电 阻	R	欧姆	Ω	$L^2T^{-3}I^{-2}$	$1\Omega=1V \cdot A^{-1}$
电 阻 率	ρ	欧姆米	$\Omega \cdot m$	$L^3MT^{-3}I^{-2}$	
电 导 率	γ	西门子每米	$S \cdot m^{-1}$	$L^{-3}M^{-1}T^3I^2$	$1S=1A \cdot V^{-1}$
磁感应强度	B	特斯拉	T	$MT^{-2}I^{-1}$	$1T=1Wb \cdot m^{-2}$
磁 导 率	μ	亨利每米	$H \cdot m^{-1}$	$LMT^{-2}I^{-2}$	
真空磁导率	μ_0	亨利每米	$H \cdot m^{-1}$	$LMT^{-2}I^{-2}$	
相对磁导率	μ_r	—	—	—	
磁 通 量	Φ_m	韦伯	Wb	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	$1Wb=1V \cdot s$
磁化强度	M	安培每米	$A \cdot m^{-1}$	$L^{-1}I$	
磁 化 率	χ_m	—	—	—	
磁 场 强 度	H	安培每米	$A \cdot m^{-1}$	$L^{-1}I$	
磁 矩	p_m	安培平方米	$A \cdot m^2$	L^2I	
自 感	L	亨利	H	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	$1H=1Wb \cdot A^{-1}$
互 感	M	亨利	H	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	
电 场 能 量	W_e	焦耳	J	ML^2T^{-2}	
磁 场 能 量	W_m	焦耳	J	ML^2T^{-2}	
电磁能密度	w	焦耳每立方米	$J \cdot m^{-3}$	$ML^{-1}T^{-2}$	

目 录

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	3
1-1 质点运动的描述	3
1-2 曲线运动	12
1-3 相对运动	20
习题	24
中外物理学家简介(一)	27
第二章 质点动力学	28
2-1 牛顿运动定律 力	28
2-2 牛顿定律的适用范围	40
2-3 动量定理 动量守恒定律	42
2-4 质心 质心的运动定律	52
2-5 角动量定理 角动量守恒定律	55
2-6 功 动能 动能定理	59
2-7 势能 机械能守恒定律	66
2-8 碰撞	79
习题	84
中外物理学家简介(二)	91
第三章 刚体的定轴转动	92
3-1 刚体运动学	92
3-2 定轴转动定理	96
3-3 定轴转动刚体的角动量守恒定律	105
3-4 转动中的功和能	108
习题	114
中外物理学家简介(三)	117

第二篇 热 物 理 学

第四章 气体动理论	121
------------------------	-----

4-1 热力学平衡的基本概念	121
4-2 压强和温度的微观解释	124
4-3 能量按自由度均分定理	129
4-4 麦克斯韦速率分布律	134
* 4-5 玻尔兹曼分布律	138
* 4-6 真实气体的范德瓦尔斯方程	139
4-7 气体分子的平均自由程	141
* 4-8 输运过程	143
习题	148
中外物理学家简介(四)	151
第五章 热力学基础	152
5-1 热力学第一定律	152
5-2 热容量	155
5-3 第一定律对于气体热力学过程的应用	159
5-4 循环过程 卡诺循环	169
5-5 热力学第二定律	176
* 5-6 卡诺定理	179
* 5-7 熵与熵增加原理	182
5-8 热力学第二定律的微观意义	186
习题	190
中外物理学家简介(五)	194
第三篇 电 磁 学	
第六章 真空中的静电场	197
6-1 电荷 库仑定律	197
6-2 电场 电场强度	202
6-3 电场线 高斯定理	212
6-4 静电场的环路定理 电势	222
6-5 等势面 电势梯度	229
习题	233
中外物理学家简介(六)	237
第七章 静电场中的导体和电介质	238
7-1 静电场中的导体	238
7-2 电容和电容器	246
7-3 电介质的极化	252

7-4 电介质中的静电场	257
7-5 静电场的能量	262
习题	265
中外物理学家简介(七)	268
第八章 真空中的稳恒磁场	269
8-1 稳恒电流 电流密度	269
8-2 电源 电动势	271
8-3 磁场 磁感应强度矢量	273
8-4 毕奥-萨伐尔定律	277
8-5 磁场的高斯定理和安培环路定理	286
8-6 安培定律	293
8-7 带电粒子在电场和磁场中的运动	300
习题	306
中外物理学家简介(八)	310
第九章 介质中的磁场	311
9-1 磁介质的磁化	311
9-2 磁介质中的磁场	315
9-3 铁磁质	318
习题	323
中外物理学家简介(九)	325
第十章 变化电磁场的基本规律	326
10-1 电磁感应定律	326
10-2 动生电动势 感生电动势	329
10-3 自感 互感 磁场能量	341
10-4 麦克斯韦电磁场理论	349
10-5 电磁振荡 电磁波	356
习题	363
附录 I 矢量运算	368
附录 II 重要的物理常量和数据	380
附录 III 国际单位制(SI)	381
附录 IV 常用的能量、功、热量的单位互换表	383

第一篇 力 学

力学是一门古老的学问。在我国,公元前 5 世纪的《墨经》中已有关于杠杆原理的论述;在西方也可追溯到公元前 4 世纪亚里士多德(Aristotle)关于力产生运动的论述。但是力学作为一门科学理论的建立则已到了公元 17 世纪。公元 16 世纪末至 17 世纪初,伽利略(G. Galilei)用实验的方法发现了落体定律,其后牛顿(I. Newton)提出了以他名字命名的三个运动定律和万有引力定律,从而奠定了古典力学的基础。现在把以牛顿定律为基础的古典力学称为牛顿力学,或经典力学。经典力学理论是物理学中发展最早、最成熟的理论,它有严谨的理论体系和完备的研究方法。因而,从建立到 20 世纪初,牛顿力学兴盛了约 300 年。虽然在 20 世纪初发现了经典力学的局限性(局限于宏观物体的低速运动),因而在宏观物体的高速运动领域建立了相对论,在微观物体的低速运动领域建立了量子力学,但是在一般技术领域,更多的只涉及宏观低速问题,因此,经典力学是各工程技术(包括机械、建筑、水利、造船、航空、航天等)的理论基础。力学研究的对象是机械运动。机械运动是指物体间或物体内部各部分之间相对位置的变化。机械运动是存在于自然界中最普遍和最基本的运动形式。力学中提出的许多物理概念和物理原理适用于整个物理学。所以经典力学也是物理学和自然科学的基础。物体的运动总是在一定的空间和时间进行的,所以时空观问题也属力学研究的范畴。

本篇共 3 章。第一章质点运动学,主要研究质点运动的描述;第二章质点动力学,主要研究物体间的相互作用以及它们对物体运动的影响,着重介绍动量、角动量、能量等概念及相应的守恒定律;第三章介绍刚体定轴转动的运动学和动力学问题。

第一章 质点运动学

质点运动学侧重用几何学的观点研究质点机械运动状态随时间变化的关系. 本章主要内容为:位置矢量、位移、速度和加速度等基本概念及质点的曲线运动和相对运动等.

1-1 质点运动的描述

一、参考系、坐标系、质点

自然界中所有的物体都在不停地运动,绝对静止不动的物体是不存在的. 运动是物质存在的形式,是物质的固有属性,运动和物质是不可分割的. 这就是运动的绝对性. 例如在地面上相对静止的高楼都随地球一起以 $3.0 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度绕太阳运动,而太阳又以 $3.0 \times 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度在银河系中运动. 但是,要描述一个物体的机械运动,必须选择另一个运动物体或几个虽在运动而相互间相对静止的物体作为参考,然后再研究这个运动物体是如何相对于参考物体运动的. 以上在描述物体运动时被选作参考的物体称为参考系.

在运动学中,参考系的选择可以是任意的. 在实际问题中,参考系选择既要考虑问题的性质和需要,又要力求使对运动的描述变得简单. 例如,确定交通车辆的位置时,可选用固定于地面上的房子或路牌作参考系,这样的参考系通常叫地面参考系. 在实验室中确定某一物体的位置时,可选实验室的墙壁或固定的实验桌作参考系,这样的参考系就叫实验室参考系. 经验表明,对同一物体的运动选择不同的参考系,对物体运动描述的结果是不相同的. 例如,加速上升的升降机天花板上—松动螺钉的下落过程,以升降机为参考系,螺钉的初速为零,作加速下落的直线运动;以地面为参考系,螺钉以脱落时升降机速度为初速作竖直上抛运动. 在不同参考系中,对同一物体的运动具有不同的描述,叫做运动描述的相对性. 运动描述的相对性表明,参考系的选择对描述一个物体的运动具有重要的意义. 当我们研究一个物体的运动时,必须明确地选择恰当的参考系,只有选定了参考系,运动的描述才有意义. 以后还会看到,凡是描述物体运动状态的物理量都具有相对性,如位置矢量、速度矢量等.

参考系选定之后,为了定量地描述一个物体相对于此参考系的位置,需在此参考系上建立固定的坐标系. 最常用的坐标系是笛卡儿坐标系.

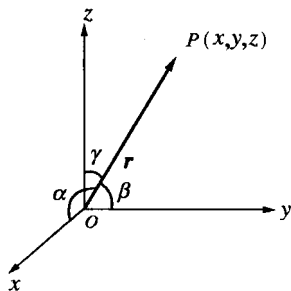
任何物体都有一定的大小、形状和内部结构. 通常情况下,物体运动时,内部

各点的运动情况常常是不相同的. 因此要精确描写一般物体的运动并不是一件简单的事. 为使问题简化, 可以采用抽象的办法: 如果物体的大小和形状在所研究的问题中不起作用, 或所起的作用可以忽略不计, 我们就可以近似地把此物体看作一个没有大小和形状的理想物体, 称为质点. 质点是一个理想化模型, 质点仍然是一个物体, 它具有质量, 同时它已被抽象化为一个几何点. 质点是实际物体在一定条件下的抽象. 理想化模型的引入在物理学中是一种常见的重要的科学分析方法, 在以后的课程中还将引入一系列理想模型, 例如刚体、理想气体、点电荷等. 把物体抽象为质点的方法具有很大的实际意义和理论价值. 如在天文学中把庞大的天体抽象为质点的方法已获得极大的成功. 从理论上讲, 我们可以把整个物体看成由无数个质点所组成的质点系, 从分析研究这些最简单的质点入手, 就可能把握整个物体的运动, 所以质点运动是研究物体运动的基础. 物体抽象为质点需要注意: ①同一个物体在一个问题中可抽象为质点, 在另一个问题中则不能简化为质点. 例如研究地球绕太阳公转时, 由于地球至太阳的平均距离(约 1.5×10^8 km)比地球的半径(约为 6370 km)大得多, 地球上各点相对于太阳的运动可以看作是相同的, 可以把地球当作质点; 但研究地球自转时, 地球上各点的运动情况大不相同, 地球就不能当作质点处理了. ②注意区别质点与小物体. 物体再小(原子核的线度约为 10^{-15} m)也有大小、形状, 而质点为一几何点, 它没有大小, 在空间占有确切的位置.

二、位置矢量、位移

1. 位置矢量

空间任一点 P 的位置, 在直角坐标系中可以用一组坐标 (x, y, z) 来表示, 也可以用从坐标原点向 P 点引一有方向的线段 $\mathbf{r}$ 来表示, 如图 1-1 所示. $\mathbf{r}$ 称为位置矢量, 简称位矢, 也叫矢径.



矢径的端点就是质点的位置, 矢径在笛卡儿坐标系坐标轴上的投影分别为 x, y, z . 位置矢量可表示为

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

式中 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别为沿 x, y, z 轴的单位矢量. 位置矢量的大小为

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

图 1-1 质点的位置表示 位置矢量的方向余弦为

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

式中 α, β 和 γ 分别是 $\mathbf{r}$ 与 x 轴、 y 轴和 z 轴之间的夹角。

质点运动时, 质点的空间位置随时间的变化关系可用矢径或坐标表示为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1.1)$$

或
$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1.2)$$

当质点在 Oxy 平面内运动时, 式(1.2)简化为

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

知道了运动方程, 质点的整个运动情况也就清楚了, 所以运动学的主要任务之一就是根据各种问题的具体条件, 求解质点的运动方程。

运动质点在空间所经过的径迹称为轨道。轨道为直线的运动, 称为直线运动; 轨道为曲线的运动, 称为曲线运动。从式(1.2)中消去 t 后可得轨道方程, 而式(1.2)是轨道的参数方程。例如一运动质点的运动方程为

$$\mathbf{r} = a \cos \omega t \mathbf{i} + a \sin \omega t \mathbf{j}$$

由 $x = a \cos \omega t, y = a \sin \omega t$ 消去 t 便得其轨道方程为

$$x^2 + y^2 = a^2$$

位置矢量具有大小、方向, 服从几何加法。位置矢量具有瞬时性, 质点在运动过程中, 不同时刻的位置矢量不同。位置矢量描述质点的运动状态, 前面已经讲过, 它具有相对性。运动质点的某一空间位置, 用不同的坐标系来描写, 表达式是不一样的。

式(1.1)表明: 质点的实际运动是各分运动的矢量合成, 这个由空间的几何性质所决定的各分运动 and 实际运动的关系叫运动的叠加(或合成)原理。

2. 位移

设曲线 AB 是质点轨道的一部分, 如图 1-2 所示。 t 时刻质点在 A 点处, $t + \Delta t$ 时刻质点到达 B 点处。 A, B 两点的位置分别由 $\mathbf{r}_A$ 和 $\mathbf{r}_B$ 来表示。在 Δt 时间内, 质点位置的变化可以用由 A 到 B 的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 来表示, 称为质点的位移。显然

$$\overrightarrow{AB} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = \Delta \mathbf{r} \quad (1.3)$$

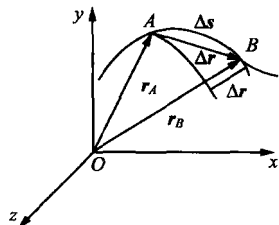


图 1-2 位移矢量

$\mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A$ 表示矢径 $\mathbf{r}$ 在 Δt 时间内的增量, 所以用 $\Delta \mathbf{r}$ 表示。 $\Delta \mathbf{r}$ 即质点在 $t \sim t + \Delta t$ 这一段时间内的位移。

应该注意: ①位移表示质点位置的改变, 并非质点所经历的路程。如图 1-2 所

示, $\Delta \mathbf{r}$ 为矢量, 它的量值 $|\Delta \mathbf{r}|$ 即割线 AB 的长度, 而路程 Δs 是标量, 即曲线 $\widehat{AB}$ 的长度. 只有在时间 Δt 趋近于零时 Δs 和 $|\Delta \mathbf{r}|$ 方可视为相等. 即使在直线运动中, 位移和路程也是两个截然不同的概念.

② $|\Delta \mathbf{r}|$ 不等于 Δr . $\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t)$, 它反映 Δt 时间内质点相对于原点的径向长度变化. 一般地说 $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta r$, 如图 1-2 所示.

③ 位置矢量和位移在量值上都表示长度, 常用单位为米(m)、千米(km)和厘米(cm).

三、速度、加速度

1. 速度

位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和发生这段位移所经历的时间 Δt 的比称为质点在这一段时间内的平均速度. 以 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示平均速度, 则

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.4)$$

平均速度是矢量, 它的方向就是位移的方向.

当 Δt 趋于零时式(1.4)的极限, 即质点位置矢量对时间的变化率, 称为质点在时刻 t 的瞬时速度, 也叫即时速度, 简称速度. 用 $\mathbf{v}$ 表示速度, 则

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.5)$$

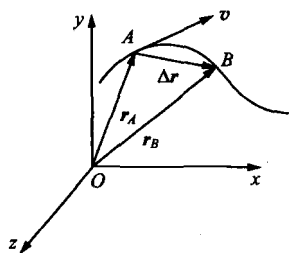


图 1-3 速度矢量

速度为矢量, 速度的方向就是 Δt 趋于零时 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向, 如图 1-3 所示, 即质点运动轨道在 A 点的切线方向. 因此, 质点在 t 时刻的速度的方向就沿着该时刻质点所在处运动轨道的切线而指向运动的前方.

速度的大小叫速率, 以 v 表示, 则有

$$v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| \quad (1.6)$$

若以 Δs 表示在 Δt 时间内质点沿轨道所经过的路程, 当 Δt 趋于零时, $|\Delta \mathbf{r}| = \Delta s$, 由此可得

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.7)$$

上式表明速率的大小又等于质点所走过的路程对时间的变化率. 一般地,

$$v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| \neq \frac{dr}{dt}$$

将式(1.1)代入式(1.5), 由于 i, j, k 不随时间改变, 所以有

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k} \quad (1.8)$$

速度沿三个坐标轴的分量 v_x, v_y, v_z 分别为

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (1.9)$$

速度的大小为

$$v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1.10)$$

速度是矢量, 既有大小, 又有方向, 服从几何加法; 速率是标量, 只有大小, 没有方向. 速度是描述质点运动状态的物理量, 对于不同的参考系, 质点速度的大小、方向是不同的, 速度具有相对性.

在国际单位制即 SI 制中, 速度的单位是米·秒⁻¹ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

一些物体运动速度大小: 如光在真空中速度为 $3.0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 北京正负电子对撞机中电子速度为 0.999 999 98 倍的光速, 空气中声速 (0°C) 为 $3.3 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 人跑步(最大)速度约为 $11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. 加速度

在变速运动中, 质点的运动速度是随时间变化的, 而质点速度的变化情况要用加速度来表示.

若以 $\mathbf{v}(t)$ 和 $\mathbf{v}(t+\Delta t)$ 分别表示质点在 t 时刻和 $t+\Delta t$ 时刻的速度, 如图 1-4 所示, 则在这段时间内的平均加速度 $\bar{\mathbf{a}}$ 由下式定义:

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\mathbf{v}(t+\Delta t) - \mathbf{v}(t)}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \quad (1.11)$$

当 Δt 趋于零时, 此平均加速度的极限, 即速度对时间的变化率, 称为质点在时刻 t 的瞬时加速度, 简称加速度, 以 $\mathbf{a}$ 表示加速度, 则有

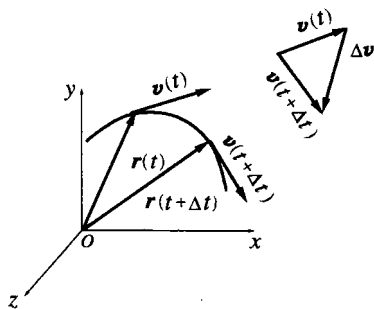


图 1-4 加速度矢量

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (1.12)$$