



# University Physics

# 大学物理 (上册)

主编 邓文基 郑立贤

高等教育出版社

Daxue Wuli

# 大学物理

主编 邓文基 郑立贤

(上册)

参编 李绍新 邓柏昌 罗仁俊 韩光泽

## 内容提要

本书根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)并结合作者多年的教学经验编写而成。书中涵盖了《基本要求》中的核心内容,并精选了相当数量的拓展内容。全书行文流畅,深入浅出,物理图像清晰,难易程度适中,强调理论与实验的紧密联系,关注物理概念的演变过程,注重对学生科学素质的培养。

本书分上、下两册。上册包括力学、振动与波动、波动光学以及热学,下册包括电磁学、相对论以及量子物理等。各章均配有习题,供学生练习以加深对知识的理解。学生可通过扫描书中二维码等方式获取相关电子资源。

本书可作为高等学校理工科非物理类专业的大学物理课程教材,也可供社会读者阅读及自学。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理.上册/邓文基,郑立贤主编.--北京:  
高等教育出版社,2017.2

ISBN 978-7-04-046823-6

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第281846号

策划编辑 李颖  
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 程福平  
责任校对 高歌

封面设计 张志奇  
责任印制 赵义民

版式设计 杜微言

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印刷 北京市白帆印务有限公司  
开本 787mm×1092mm 1/16  
印张 25.75  
字数 550千字  
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>  
<http://www.hepmall.com>  
<http://www.hepmall.cn>  
版次 2017年2月第1版  
印次 2017年2月第1次印刷  
定价 46.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 46823-00

# 序

“大学物理”是高等学校理工科类专业开设的公共基础课,旨在指导学生学习和掌握必要的物理学基础知识,帮助学生成长为训练有素的科学工作者和工程技术人员。

大学物理教学内容涉及力学、机械振动和机械波、热力学和统计物理、光学、电磁学和近代物理六大部分,包含物理学的一些基本概念、重要原理和典型方法,为继续学习和研究物理学或其他相关学科打下必要的基础。与物理类专业的“普通物理”系列课程不同,非物理类专业的大学物理理论课通常只有大约 120 学时,在这十分有限的教学时间里如何为学生打开通向广阔物理世界的门窗始终是大学物理教学面临的主要挑战。

物理学是研究物质的基本结构、相互作用和普遍运动形式及其相互转化规律的科学,并已渗透到人类知识的各个领域,应用于生产技术的许多部门,是自然科学和工程技术的共同基础,甚至对人文和社会科学也产生了重要影响。

物理学并非一个已经完成的封闭系统。新的实验结果、新的创造发明甚至新的社会思潮都会改变和丰富我们对物质世界的认识,更新物理学的知识体系。大学物理课程不仅要循序渐进地传授和掌握物理学的基本知识,而且还要适当地关心和了解物理学的研究前沿与最新进展。

物理学是实验和理论相互依存的开放体系。对任何物理概念和原理的正确理解最终都依赖于物理实验,而缺乏理论诠释的观察结果和实验数据只是凌乱的感觉和印象。研究和创新总是意味着对现有理论更全面与深刻的理解和阐述。

编写教材是教学活动的重要环节,也是我们的悠久传统。早在 1988 年,周勇志教授(已故)就主持编写了《大学物理》教材,由华南理工大学出版社出版并多次再版,于 1992 年获得“国家教委优秀教材二等奖”。邓法金教授(已故)全面总结了多年从事大学物理教学的丰富经验,独自编著了《大学物理学》教材,并于 2001 年在科学出版社出版。2009 年,我们组织编写的《大学物理》教材由华南理工大学出版社出版,至今已使用近八年。这些教材各有特色,编排合理,受众面广,口碑良好。此次新编《大学物理》,我们在保留原教材精华的基础上,广泛吸收教师和学生的使用反馈意见,查缺补漏,充实完善,特别是对机械振动与机械波、波动光学以及近代物理等章节做了大幅度的修订和改写,力争为广大师生提供一部精品教材。全书共分上、下两册,参加编写工作的教师有李绍新(第 1—5 章),邓柏昌(第 6,7 章),郑立贤、罗仁俊(第 8—10 章),韩光泽(第 11—13 章),王琴惠(第 14,15 章),李仁英(第 16—20 章),文德华(第 21,26 章),邓文基、汪红翎(第 22,23 章),汪红翎(第 24,25 章)。邓文基和郑立贤主持编写。

新编《大学物理》教材获得高等教育出版社与华南理工大学的青睐与支持。高等教育出版社出版过众多优秀的大学物理教材,拥有丰富的大学物理电子资源,编辑力量雄厚,为教材质量提供了重要保证。

虽然如此,我们也清楚地意识到书中的缺点和错漏仍然在所难免,真诚地希望能够得到读者的批评与指正。若能将您的意见和建议发到电子邮箱 [phwjden@scut.edu.cn](mailto:phwjden@scut.edu.cn),我们不胜感激。

编者

2016年6月16日

# 目 录

## 第一篇 力 学

<b>第 1 章 质点运动学</b> .....	003
1.1 参考系和坐标系 时间 .....	004
1.2 位置矢量 位移 速度 .....	004
1.3 加速度 .....	008
1.4 时间和空间的测量 .....	014
1.5 质点运动学中的两类基本问题 .....	016
1.6 伽利略变换 相对运动 .....	019
习题 .....	022
<b>第 2 章 质点动力学基础</b> .....	027
2.1 生活中常见的力和基本自然力 .....	028
2.2 牛顿三大运动定律 .....	032
* 2.3 单位制和量纲 .....	035
2.4 牛顿运动定律应用举例 .....	037
* 2.5 伽利略相对性原理 非惯性参考系 .....	043
习题 .....	047
<b>第 3 章 三大守恒定律</b> .....	051
3.1 冲量 质点和质点系的动量定理 .....	052
3.2 动量守恒定律 .....	057
3.3 质心运动定理 .....	061
3.4 功 动能和动能定理 .....	063
3.5 势能 功能原理 机械能守恒 .....	068
3.6 角动量定理 角动量守恒定律 .....	080
3.7 两体碰撞 质点力学定律的综合应用 .....	086
* 3.8 对称性 守恒定律 .....	091
习题 .....	094
<b>第 4 章 刚体力学</b> .....	101
4.1 刚体运动学 .....	102
4.2 刚体的定轴转动定律 .....	103
4.3 刚体定轴转动中的功和能 .....	110
4.4 刚体定轴转动的角动量守恒定律 .....	113

4.5 回转运动 .....	119
习题 .....	121
* 第5章 流体力学 .....	127
5.1 流体中的压强 .....	128
5.2 关于理想流体的几个基本概念 .....	130
5.3 理想流体的连续性原理 .....	131
5.4 伯努利方程式 .....	131
5.5 伯努利方程式的应用 .....	133
习题 .....	136

## 第二篇 机械振动 机械波

第6章 机械振动 .....	139
6.1 简谐振动 .....	140
6.2 描述简谐振动的三个物理量——振幅、周期、初相 .....	144
6.3 简谐振动的旋转矢量表示 .....	146
6.4 简谐振动的合成 .....	152
6.5 阻尼振动 受迫振动 共振 .....	159
习题 .....	162
第7章 机械波 .....	167
7.1 机械波的几个概念 .....	168
7.2 平面简谐波波函数 .....	171
7.3 机械波的能量 .....	179
7.4 惠更斯原理 波的衍射、反射和折射 .....	186
7.5 波的干涉 .....	189
7.6 驻波 .....	192
7.7 多普勒效应 .....	197
* 7.8 声波与超声技术 .....	202
习题 .....	210

## 第三篇 波动光学

第8章 光的干涉 .....	219
8.1 光的本性 .....	220
8.2 光的相干性 .....	224
8.3 杨氏双缝干涉实验 .....	226
8.4 分波阵面干涉法的其他实验 .....	232
* 8.5 光源宽度对干涉条纹对比度的影响 空间相干性 .....	233
8.6 光程 薄透镜的等光程性 .....	235
8.7 薄膜干涉 .....	240

* 8.8	迈克耳孙干涉仪	249
* 8.9	光的单色性对干涉条纹的影响 时间相干性	250
	习题	252
第 9 章	光的衍射	257
9.1	光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	258
9.2	单缝的夫琅禾费衍射	261
9.3	圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	267
9.4	双缝的干涉和衍射	270
9.5	光栅衍射	271
9.6	晶体的 X 射线衍射 布拉格公式	277
	习题	279
第 10 章	光的偏振	283
10.1	自然光和偏振光	284
10.2	偏振片 马吕斯定律	287
10.3	反射和折射光的偏振 布儒斯特定律	289
* 10.4	双折射现象	290
* 10.5	椭圆偏振光和圆偏振光 波片	294
* 10.6	偏振光的干涉	296
* 10.7	人为双折射现象	298
* 10.8	旋光现象	300
	习题	301

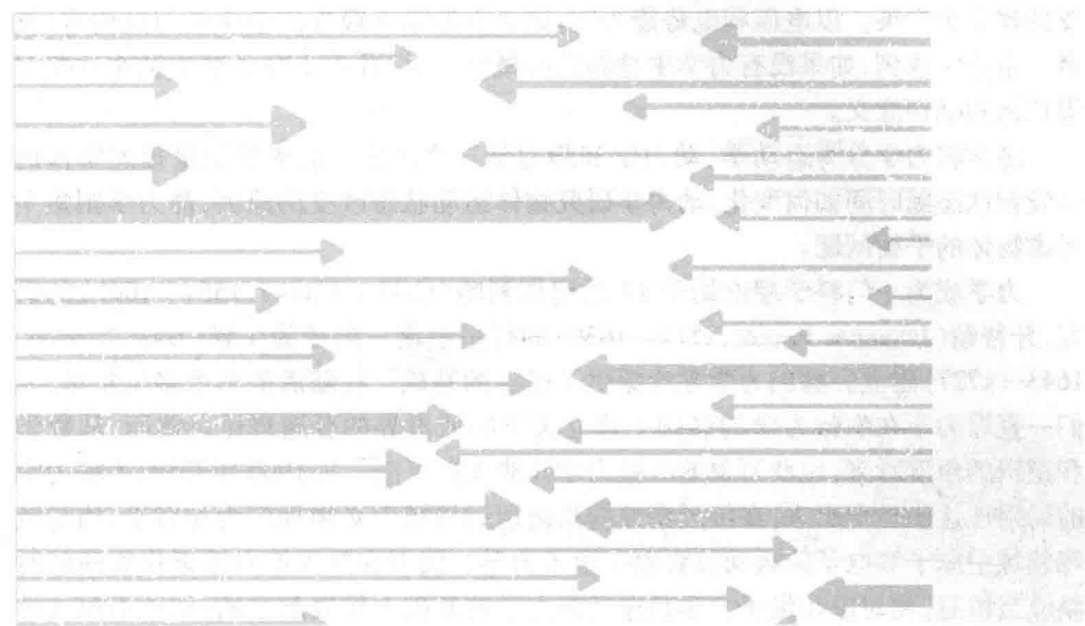
## 第四篇 热 学

第 11 章	气体动理论	307
11.1	分子热运动	308
11.2	理想气体物态方程	309
11.3	气体分子的统计规律	312
11.4	气体分子的平均自由程	317
11.5	理想气体的温度	319
11.6	理想气体的压强	321
11.7	理想气体的热力学能	323
* 11.8	非平衡态下的输运过程	326
	习题	330
第 12 章	热力学第一定律	333
12.1	热力学第零定律	334
12.2	准静态过程 功 热量	335
12.3	热力学第一定律	338
12.4	热力学第一定律对理想气体等值过程的应用	339

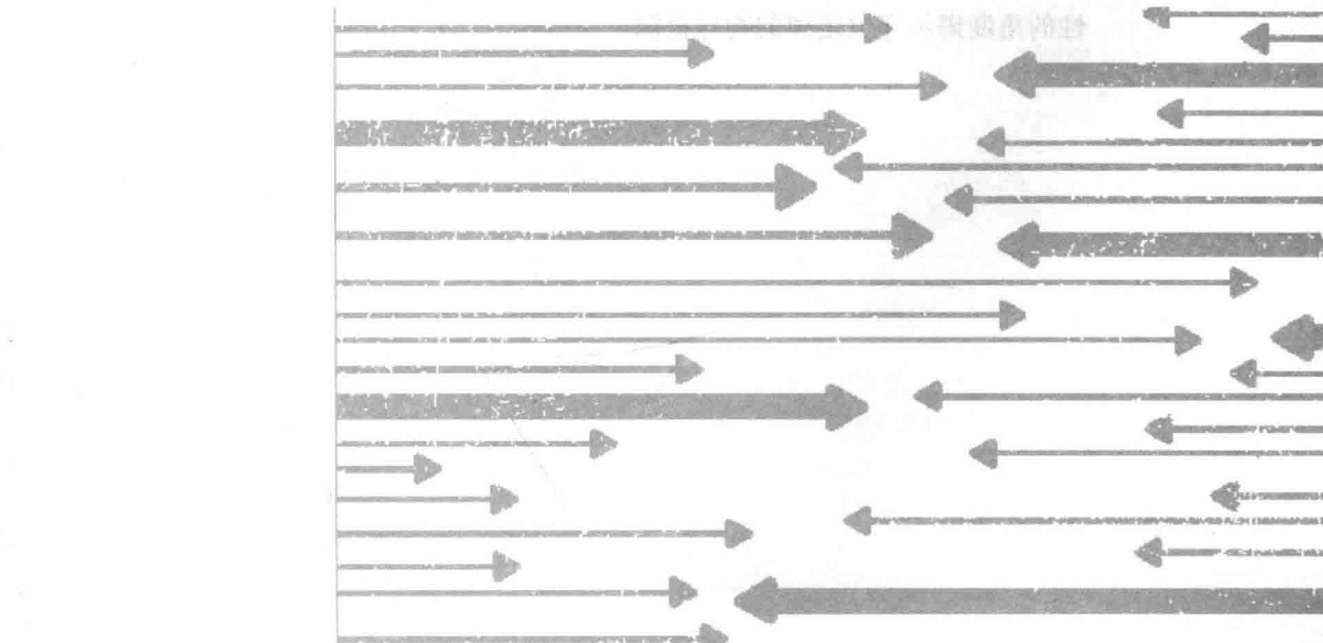


12.5 气体的热容 .....	343
12.6 绝热过程 多方过程 .....	346
12.7 循环过程与卡诺循环 .....	352
习题 .....	359
<b>第 13 章 热力学第二定律</b> .....	<b>363</b>
13.1 热力学第二定律 .....	364
13.2 可逆过程和不可逆过程 卡诺定理 .....	366
13.3 熵 .....	368
习题 .....	378
<b>附录 A 矢量 (向量) 简介</b> .....	<b>381</b>
A.1 矢量(向量)及其表示 .....	382
A.2 矢量的加减 .....	383
A.3 矢量的标积 .....	384
A.4 矢量的矢积 .....	384
A.5 矢量的导数与积分 .....	385
<b>部分习题参考答案</b> .....	<b>389</b>

# 第一篇 力学



力学是研究物体运动规律的一门科学。它包括静力学、运动学和动力学三个部分。静力学研究物体在力的作用下保持平衡的条件；运动学研究物体运动的规律；动力学研究物体运动的原因。力学在工程、物理、天文学等领域都有广泛的应用。



物换星移,寒暑交替,生老病死,世间万物都在运动变化。在千姿百态的运动形态中,物体位置的变化最为常见。物体相对位置的改变称为机械运动。

力学研究物体的机械运动,它的概念、方法和原理深刻地影响了其他物理学分支的建立和发展。以电压和电势能为例,这是下册第五篇电磁学中学习的内容,读者一定会注意到,如果没有力学中功和能的概念,人们并不十分了解生活中这些习惯用语的确切意义。

通常将力学分为运动学、动力学和静力学三个部分。运动学定量描述物体的位置和状态随时间如何变化,动力学研究物体运动状态改变的原因,静力学则集中考虑物体的平衡问题。

力学成为一门科学理论始于17世纪伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)的研究,开普勒(Johannes Kepler, 1571—1630)的行星运动三定律为牛顿(Issac Newton, 1643—1727)建立完整的力学理论提供了坚实的基础。在随后的两个多世纪里,人们一直致力于在牛顿力学的基础上建立关于物质世界的普遍理论。然而,从数学和逻辑的角度看来,包罗万象的牛顿力学并非无懈可击。从1900年开始,牛顿力学的局限性逐步显现出来,在接近光速的高速运动领域中必须推广为相对论,描写微观领域中原子和电子的运动需要创建量子力学。读者在学习第六篇近代物理的时候应当留意,相对论和量子力学是在经典力学的基础上发展起来的;如果不深入学习经典力学的概念、原理和方法,就不可能真正理解量子力学和相对论。不仅如此,在许多技术领域,如土木建筑、机械制造、交通运输等,甚至在航空航天这样一些高新技术领域里,牛顿力学仍然是强有力的主要工具,应用广泛。

值得指出的是,从20世纪70年代开始,力学的世界观还受到内部的巨大冲击,那就是混沌性问题。在许多重要的非线性系统中,运动演化过程敏感地依赖于它的初始状态,微小的偏差将随时间推移越来越大,牛顿定律描述的决定论系统包含了某种不确定性。混沌运动的不可预测性已经在理论和实际应用中受到广泛关注。

本篇主要介绍力学的一些基础知识,包括质点(质点系)力学、刚体力学和流体力学,力图阐明动量、能量和角动量等重要概念及相应的守恒定律,并从时空对称性的角度揭示守恒定律的物理根源。

# >>> 第1章

## ●● 质点运动学

运动学是定量描述物体运动状态和过程的数学理论,尚未涉及运动状态变化的原因。中学物理已经初步介绍了本章的某些内容,我们将采用矢量和微积分等高等数学工具对它们作更准确的定义,并推广到更普遍的形式。对于位置矢量、速度和加速度等物理量则强调它们的瞬时性、相对性和矢量性。关于曲线运动,我们还讨论切向和法向加速度。

各种形式的机械运动中最简单的是质点的运动。忽略大小和形状的物体就是一个质点。本章将集中讨论如何定量描述质点的位置及其变化过程。

## 1.1 参考系和坐标系 时间

物体的机械运动总是相对于其他某些物体而言的,这些参照物(或物体系)称为参考系(reference system)。例如,研究交通车辆的运动时,选用固定在地面上的一些物体(如车站、路碑、地标等)作为参考系,称为地面参考系。在物理实验中,常常选用固定于实验室的物体作为参考系,称为实验室参考系。

运动是物质的根本属性,但物体的运动在不同的参考系中可以表现出完全不同的形式。例如,在匀速运动的火车车厢的天花板上悬挂一个小球,将悬线剪断,火车上的乘客看到小球沿直线自由下落,但月台上的人却看到小球做平抛运动,这是因为乘客选火车为参考系而月台上的人选地面为参考系,这种现象称为运动的相对性(relativity)。因此,我们描写物体运动时,必须标明所用的参考系。

为了定量地描述物体相对于参考系的位置,还需要在参考系上建立坐标系(coordinates)。最常用的坐标系是如图1-1所示的直角坐标系,质点 $P$ 的位置可由直角坐标 $(x, y, z)$ 确定。为了方便起见,分析问题时还可采用极坐标系、球坐标系和自然坐标系等其他坐标系。

描述物体运动的快慢还要涉及时间的概念。运动学中的时间有时是指某时刻,用 $t$ 表示;有时是指一段时间间隔,用 $\Delta t$ 表示,它是该时间段的终点时刻 $t_2$ 和初始时刻 $t_1$ 之差,即 $\Delta t = t_2 - t_1$ 。

时间还包含复杂的物理意义。第六篇近代物理将介绍狭义相对论,对时间测量的相对性的深入分析。

## 1.2 位置矢量 位移 速度

### 1.2.1 位置矢量

如图1-1所示,质点 $P$ 的位置可由直角坐标的三个分量 $(x, y, z)$ 确定,也可以不用不依赖具体坐标系统的矢量表示。我们可以由坐标原点 $O$ 向 $P$ 点作有向直线段 $\overrightarrow{OP}$ ,并记作 $\boldsymbol{r}$ 。 $\boldsymbol{r}$ 就是定量描写质点所在空间位置的位置矢量(position vector),简称

位矢。参考本书附录 A, 请读者验证, 位置矢量满足线性代数定义的矢量性质。

位矢  $r$  与它在坐标轴上的分量  $(x, y, z)$  是一一对应的, 分量又称投影量。如图 1-1 所示, 以  $i, j, k$  分别表示  $x, y, z$  轴方向上的单位矢量, 则

$$r = xi + yj + zk \quad (1-1)$$

矢量  $r$  的大小与分量的关系为

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-2)$$

位矢与各坐标轴  $x, y, z$  的夹角  $\alpha, \beta, \gamma$  可以完全确定位矢的方向。位矢的三个分量决定它的方向角余弦, 即

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{r} \quad (1-3)$$

当质点在空间运动时, 位置矢量或者它的直角坐标分量  $(x, y, z)$  都是时间  $t$  的函数, 即

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1-4)$$

或者

$$r = r(t) \quad (1-5)$$

公式(1-4)和公式(1-5)都称为质点的运动方程, 前者是运动方程的分量形式, 后者为矢量形式。显然, 质点运动方程的分量形式和矢量形式等效地描述质点的位置随时间改变的过程和具体方式。

质点在空间中连续经过的各点连成的曲线称为质点运动的轨迹, 表示质点运动轨迹的方程称为轨迹方程。运动轨迹不涉及时间, 如果消除方程(1-4)中的时间参量  $t$ , 就得到质点的轨迹方程, 即

$$f(x, y, z) = 0 \quad (1-6)$$

例如, 在太阳参考系中, 地球的运动轨迹近似为一个椭圆。读者可以尝试以太阳为坐标原点建立直角坐标系, 写出地球运动的轨迹方程。

### 1.2.2 位移

在一段时间内质点位矢的增量(我们规定增量是末量减去初量)称为它在该段时间内的位移(displacement)。两个矢量加减运算的结果仍然是一个矢量, 所以位移也常常称为位移矢量。如图 1-2 所

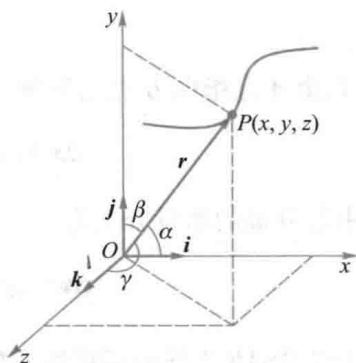


图 1-1 位置矢量

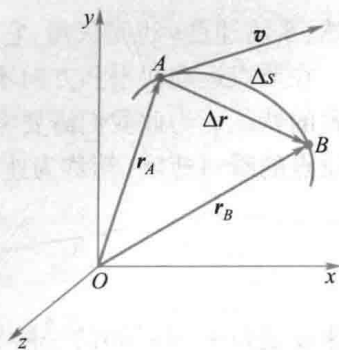


图 1-2 位移与速度

示,在某时刻  $t$ ,质点位于  $A$  点,其位矢为  $\boldsymbol{r}_A$ ;在  $t+\Delta t$  时刻,质点移动到了  $B$  点,其位矢记为  $\boldsymbol{r}_B$ 。则质点在  $\Delta t$  时间内的位移为

$$\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_B - \boldsymbol{r}_A \quad (1-7)$$

$\Delta \boldsymbol{r}$  是由  $A$  点指向  $B$  点的矢量。在直角坐标系中

$$\Delta \boldsymbol{r} = (x_B - x_A)\boldsymbol{i} + (y_B - y_A)\boldsymbol{j} + (z_B - z_A)\boldsymbol{k} \quad (1-8)$$

其中各分量的增量分别为

$$\Delta x = x_B - x_A, \quad \Delta y = y_B - y_A, \quad \Delta z = z_B - z_A \quad (1-9)$$

图 1-2 中  $AB$  连线的长度表示位移的大小,  $|\Delta \boldsymbol{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$ 。

### 1.2.3 速率和速度

在日常生活中,人们习惯用“速度”(velocity)的大小来描述物体运动的快慢;但严格说来,这并不是物理学中定义的速度矢量,而是速率(speed)。质点运动经历的路程  $\Delta s$  与耗费的时间  $\Delta t$  的比值就是它在该时段内的平均速率,用  $\bar{v}$  表示,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-10)$$

平均速率还不足以描述质点每时每刻运动的快慢。按照微积分的思想,上式中  $\Delta t$  趋近于零时  $\bar{v}$  的极限值定义为质点在该时刻  $t$  的瞬时速率(简称速率),即

$$v(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-11)$$

质点运动的路程  $\Delta s$  和它的速率都未说明质点运动的方向。为了更完整地描述质点的运动状态,我们把质点位移  $\Delta \boldsymbol{r}$  与时间间隔  $\Delta t$  的比值称为质点在这段时间内的平均速度,以  $\bar{\boldsymbol{v}}$  表示,即

$$\bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} \quad (1-12)$$

显然,平均速度  $\bar{\boldsymbol{v}}$  也是矢量,它的方向就是位移的方向。

在质点运动快慢和方向不断改变的情况下,平均速度还不能描述质点运动的细致的特征。为此我们需要考虑时间间隔  $\Delta t \rightarrow 0$  时平均速度的极限值,它称为  $t$  时刻质点的瞬时速度(简称为速度)

$$\boldsymbol{v}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \quad (1-13)$$

即速度是位矢对时间的一阶导数。速度是矢量,其方向就是  $\Delta t$  趋近于零时  $\Delta \boldsymbol{r}$  的方向。如图 1-2 所示,通过  $A$  点时的速度的方向就是质点运动轨迹在该点的切线



方向。

将式(1-1)代入式(1-13),由于  $i, j, k$  为常矢量,可得

$$\boldsymbol{v}(t) = \frac{dx}{dt} \boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt} \boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt} \boldsymbol{k} \quad (1-14)$$

质点速度沿  $x, y, z$  坐标轴的三个分量都是代数量,且

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt} \quad (1-15)$$

则速度的大小可表示为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \quad (1-16)$$

如果长度和时间分别以 m(米)和 s(秒)为单位,则速率和速度的单位都是  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

必须指出,位移矢量  $\Delta \boldsymbol{r}$  的大小  $|\Delta \boldsymbol{r}|$  不能写成  $\Delta r$ , 我们定义  $\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t)$ , 它是位矢的模的增量。因而一般来讲,  $v \neq dr/dt$ 。如图 1-3 所示,地球绕太阳做椭圆运动,  $t$  时刻位于 A 点,  $t + \Delta t$  时刻运动至 B 点, 则  $\widehat{AB}$  为路程  $\Delta s$ ,  $|AB|$  为位移大小, 而以太阳为圆心, 以  $|r(t)|$  为半径画圆弧交  $OB$  于 C 点, 则  $|CB|$  为位矢的模的增量  $\Delta r$ 。在图 1-3 中,  $\Delta s > |\Delta \boldsymbol{r}| > \Delta r$ 。

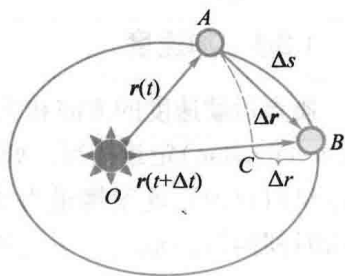


图 1-3  $\Delta s, |\Delta \boldsymbol{r}|, \Delta r$  的区别

另外,请读者自行证明:虽然平均速度的大小通常都小于同一运动过程的平均速率,但是速度的大小却严格等于该时刻的速率。

最后,表 1-1 给出了一些实际运动过程速度大小的典型值,建议读者自己补充这些数据,以加深对运动世界的直觉认识。

表 1-1 一些实际运动过程速度大小的典型值 单位:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

	单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
光在真空中的传播	$2.997\ 924\ 58 \times 10^8$
北京正负电子对撞机中电子的运动	99.999 998% 光速
原子中电子绕核运动	约 $10^6$
太阳绕银河系中心的运动	$3.0 \times 10^5$
地球公转	$3.0 \times 10^4$
人造地球卫星	$7.9 \times 10^3$
现代歼击机(最大)	约 $9 \times 10^2$
步枪子弹离开枪口时	约 $7 \times 10^2$



续表

地球赤道上一点自转速率	$4.6 \times 10^2$
空气分子热运动的平均速率(0℃)	$4.5 \times 10^2$
空气中的声速(0℃)	$3.3 \times 10^2$
机动赛车(最大)	$1.0 \times 10^2$
猎豹	$2.8 \times 10$
人百米跑世界顶尖水平	$1.205 \times 10$
大陆板块移动	约 $10^{-9}$

## 1.3 加速度

### 1.3.1 加速度

质点运动速度的方向和大小随时间改变的快慢是质点运动的重要特征,以加速度(acceleration)定量描写。如图1-4所示,设 $t$ 和 $t+\Delta t$ 时刻质点运动的速度分别是 $\boldsymbol{v}(t)$ 和 $\boldsymbol{v}(t+\Delta t)$ ,速度增量为 $\Delta\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}(t+\Delta t)-\boldsymbol{v}(t)$ ,则这段时间内质点运动的平均加速度定义为

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta\boldsymbol{v}}{\Delta t} \quad (1-17)$$

进一步取极限 $\Delta t \rightarrow 0$ ,平均加速度将过渡为 $t$ 时刻质点运动的瞬时加速度,简称加速度,以 $\boldsymbol{a}$ 表示,即

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} \quad (1-18)$$

速度大小或方向的改变都是加速过程,可以给出非零的加速度,参见下一节中式(1-25)。利用速度的定义式(1-13),加速度还可表示为位置矢量随时间变化的二阶导数,即

$$\boldsymbol{a} = \frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2} \quad (1-19)$$

由式(1-14)和式(1-19)还可得到直角坐标系中加速度的表达式,即

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dv_y}{dt}\boldsymbol{j} + \frac{dv_z}{dt}\boldsymbol{k} = \frac{d^2x}{dt^2}\boldsymbol{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\boldsymbol{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\boldsymbol{k} \quad (1-20)$$

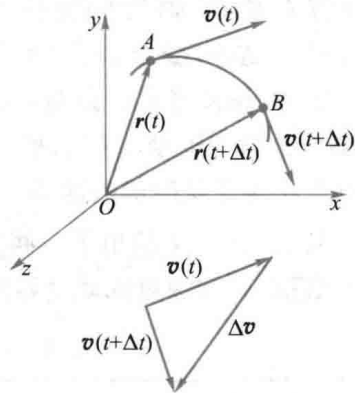


图1-4 加速度矢量