



世纪普通高等教育基础课规划教材

大学物理学

上册

赵丽萍 李红艳 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪普通高等教育基础课规划教材

大学物理学

上 册

主 编 赵丽萍 李红艳
副主编 蔡传锦 庞岩涛 谭金凤



机械工业出版社

本书是根据教育部最新制定的《理工科类大学物理课程教学基本要求》编写的。本书体系合理、思路清晰、表述精练,循序渐进,继承了国内教材的传统特色。在写作风格和插图设计等方面借鉴了国外优秀物理教材的特点,突出物理思想和物理图像,使教材内容通俗易懂。书中对经典物理内容进行了精简和深化,对近代物理内容进行了精选和普化,适当介绍了现代科学技术的发展与应用。全书分上、下两册,共14章。上册主要内容为力学、相对论基础、电磁学;下册主要内容为热学、振动与波动、光学和量子物理基础等。本书可作为普通高等院校非物理类理科、工科等专业的大学物理课程教材,亦可供其他专业学生和社会读者阅读。

与本教材同步出版的教学辅导书《大学物理全程辅导与思考题、习题详解》对教师备课、授课和学生学习、复习以及巩固本教材的教学效果大有裨益。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册/赵丽萍,李红艳主编. —北京:机械工业出版社,2010.2

21世纪普通高等教育基础课规划教材

ISBN 978-7-111-28921-0

I. 大… II. ①赵…②李… III. 物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第220721号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张金奎 责任编辑:张金奎 版式设计:张世琴

封面设计:马精明 责任校对:李秋荣 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷

2010年1月第1版第1次印刷

170mm×227mm·18.5印张·336千字

标准书号:ISBN 978-7-111-28921-0

定价:27.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是由长期从事大学物理教学工作的一线教师，结合多年的教学经验和教学研究成果，依据教育部最新制定的《理工科类大学物理课程教学基本要求》编写的一套实用、现代的大学物理教材。

“大学物理”课程是高等院校理工科各专业的一门重要必修基础课。学习这门课程不仅能使学生对物理学的基本概念、基本理论和基本方法有比较系统的认识和理解，增强他们分析问题和解决问题的能力，而且能使學生树立科学的世界观，培养其探索精神和创新意识，提高他们的科学素养。物理教材是學生与物理学前辈和当代物理学家展开对话的途径之一，本书的编写者集合物理学的精华，博采众长，站在学生的角度上，充分考虑學生学习物理知识的认知规律，采用朴实流畅、通俗易懂的语言阐述物理现象、物理规律，应用基础的数学知识与基础理论来分析、推导物理原理、定理和引入物理定律，构建了合理的知识框架，带领读者由浅入深、系统地学习大学物理的基本内容和科学方法。本书所选的例题和习题都是经过精心挑选的，既注意避免应用到较繁、较深的数学理论，又能较好地配合理解核心内容。书中适当增加了例题数量，给教师讲课留有较大的选择余地，給學生拓宽思路、自主学习、更好地理解物理规律建立了一个平台。

在经典内容和近代内容中如何取舍，一直是大学物理课程面临的问题。在本书的编写中，我们从内容上适当地对经典物理学部分进行了压缩，同时又适当加强了近代物理学的比重，并在近代物理学内容的叙述上力求做到通俗、生动，重点突出近代物理思想、物理图像，尽量减少复杂的数学运算，努力使近代物理趋于普物化，使读者在阅读这部分内容时能够产生一些新鲜感。

出版与主教材配套的《大学物理全程辅导与思考题、习题详解》辅导书，其作用一是归纳总结各章内容，指导學生掌握重点、难点；二是精选典型例题，开阔學生思路，训练解题技能和技巧；三是为教师提供习题课教学资料；四是为學生给出所有思考题、习题详解，以方便读者自学和参考。

本书中带“*”号的内容，教师可自行取舍，不影响教材的整体性。

书中小字部分是相关章节的延伸内容，不作要求。

承担本书编写工作的有：赵丽萍、李红艳、蔡传锦、庞岩涛、谭金凤、刘

桂媛、张剑. 各章的习题答案由王婕、张宝金编写. 全书由赵丽萍、李红艳统稿并定稿.

由于编者水平有限, 书中难免会有疏漏和不妥之处, 恳请广大教师和读者不吝批评指正, 以使我们的教材在使用中不断完善.

编 者

2009 年 10 月

目 录

前言

第 1 章 质点运动学	1
1.1 质点运动的描述	1
1.1.1 质点 参考系	1
1.1.2 位置矢量与运动方程	2
1.1.3 位移与路程	3
1.1.4 速度	4
1.1.5 加速度	6
1.1.6 自然坐标系中的速度与加速度	10
1.2 圆周运动及其角量描述	11
1.3 相对运动	15
思考题	17
习题	18
第 2 章 质点动力学	21
2.1 牛顿定律及其应用	21
2.1.1 牛顿定律	21
2.1.2 几种常见的力	23
2.1.3 牛顿定律的应用	26
*2.1.4 非惯性系 惯性力	30
2.2 动量及动量守恒定律	30
2.2.1 动量 动量定理	31
2.2.2 动量守恒定律	35
*2.2.3 火箭飞行原理	37
2.3 机械能及机械能守恒定律	38
2.3.1 功	38
2.3.2 动能 动能定理	40
2.3.3 保守力与非保守力 势能	43

2.3.4 功能原理 机械能守恒定律	47
*2.3.5 宇宙速度	50
2.4 碰撞	52
2.5 质点的角动量定理及角动量守恒定律	55
2.5.1 质点的角动量	55
2.5.2 力对参考点的力矩	56
2.5.3 角动量定理及角动量守恒定律	57
*2.6 质心 质心运动定律	59
2.6.1 质心	59
2.6.2 质心运动定律	60
*2.7 对称性与守恒定律	62
2.7.1 对称性与物理学	62
2.7.2 守恒律与对称性	63
思考题	65
习题	67
第3章 刚体的转动	72
3.1 刚体及其运动规律	72
3.1.1 刚体	72
3.1.2 刚体的平动和转动	72
3.1.3 定轴转动刚体的运动学描述	73
3.2 转动定律 转动惯量	77
3.2.1 对定轴的力矩	77
3.2.2 转动定律	78
3.2.3 转动惯量	80
3.2.4 平行轴定理	80
3.3 刚体定轴转动的角动量及角动量守恒定律	85
3.3.1 刚体定轴转动的角动量	85
3.3.2 刚体定轴转动的角动量定理及角动量守恒定律	86
3.4 力矩的功 刚体绕定轴转动的动能定理	89
3.4.1 力矩的功	89
3.4.2 刚体的定轴转动动能和动能定理	90
*3.5 刚体的平面平行运动	92
思考题	95
习题	96

第 4 章 相对论基础	100
4.1 伽利略变换 经典力学的相对性原理	100
4.1.1 经典力学的绝对时空观	100
4.1.2 伽利略变换 经典力学的相对性原理	101
4.2 狭义相对论基本原理 洛伦兹变换	102
4.2.1 迈克尔孙-莫雷实验	102
4.2.2 狭义相对论基本原理	103
4.2.3 洛伦兹变换	104
4.2.4 相对论速度变换	106
4.3 狭义相对论的时空观	108
4.3.1 同时的相对性	108
4.3.2 时间的延缓	110
4.3.3 长度的收缩	111
4.4 狭义相对论力学	113
4.4.1 相对论力学的基本方程	113
4.4.2 相对论能量	114
4.4.3 动量和能量的关系	117
*4.5 广义相对论简介	117
4.5.1 等效原理 广义相对性原理	118
4.5.2 广义相对论的时空特性	120
4.5.3 广义相对论的实验验证	122
思考题	124
习题	126
第 5 章 真空中的静电场	129
5.1 电荷 库仑定律	130
5.1.1 电荷	130
5.1.2 库仑定律	131
5.2 电场 电场强度	132
5.2.1 电场	132
5.2.2 电场强度	133
5.2.3 电场强度的计算	134
5.3 真空中静电场的高斯定理	139
5.3.1 电场线 电场强度通量	139

5.3.2 高斯定理	141
5.3.3 高斯定理的应用	144
5.4 静电场的环路定理 电势	149
5.4.1 静电场力的功 静电场的环路定理	149
5.4.2 电势能	151
5.4.3 电势 电势差	151
5.4.4 电势的计算	152
5.5 等势面 电场强度与电势的微分关系	157
5.5.1 等势面	157
5.5.2 电场强度与电势的微分关系	158
思考题	161
习题	162
第6章 静电场中的导体和电介质	166
6.1 静电场中的导体	166
6.1.1 导体的静电平衡条件	166
6.1.2 静电平衡时导体上的电荷分布	167
6.2 静电场中的电介质	174
6.2.1 电介质的极化	175
6.2.2 电极化强度	177
6.3 电位移 有电介质时的高斯定理	178
6.4 电容 电容器	182
6.4.1 孤立导体的电容	182
6.4.2 电容器	183
6.4.3 电容器的串联和并联	185
6.5 静电场的能量	188
6.5.1 电容器的能量	188
6.5.2 静电场的能量	189
思考题	191
习题	193
第7章 恒定磁场	197
7.1 恒定电流 电动势	197
7.1.1 电流 电流密度	197
7.1.2 电源 电动势	198

7.2 磁场 磁感应强度	200
7.3 毕奥-萨伐尔定律及其应用	202
7.3.1 毕奥-萨伐尔定律	202
7.3.2 毕奥-萨伐尔定律的应用	203
7.3.3 运动电荷的磁场	207
7.4 磁感应线 磁通量 磁场的高斯定理	208
7.4.1 磁感应线	208
7.4.2 磁通量	209
7.4.3 磁场的高斯定理	209
7.5 安培环路定理及其应用	210
7.5.1 安培环路定理	210
7.5.2 安培环路定理的应用	212
7.6 磁场对运动电荷的作用	215
7.6.1 带电粒子在磁场中的运动	215
7.6.2 带电粒子在电磁场中运动的实例	217
7.7 磁场对载流导线的作用	220
7.7.1 载流导线在磁场中所受的磁力	220
7.7.2 载流线圈在磁场中所受的磁力矩	222
7.8 磁介质	224
7.8.1 磁介质 磁介质的磁化	224
7.8.2 磁化强度与磁化电流	226
7.8.3 磁场强度 有磁介质时的安培环路定理	228
*7.8.4 铁磁质	231
思考题	233
习题	235
第8章 电磁感应 电磁场	240
8.1 电磁感应定律 楞次定律	240
8.1.1 电磁感应定律	240
8.1.2 楞次定律	242
8.2 动生电动势和感生电动势	244
8.2.1 动生电动势	244
8.2.2 感生电动势 感生电场	246
*8.2.3 电子感应加速器	248
*8.2.4 涡电流	250

8.3 自感和互感	252
8.3.1 自感 自感电动势	252
8.3.2 互感 互感电动势	254
8.4 磁场的能量	256
8.5 位移电流 麦克斯韦方程组	258
8.5.1 位移电流 全电流安培环路定理	258
8.5.2 电磁场 麦克斯韦方程组的积分形式	261
思考题	262
习题	264
附录	269
附录 A 常用基本物理量	269
附录 B 国际单位制	269
附录 C 希腊字母	271
习题参考答案	272
参考文献	283

第1章 质点运动学

宇宙万物无不在运动变化之中，风雨雷电、春夏秋冬、飞禽走兽、车水马龙……正是万物皆动，永无静止，这便是运动的绝对性。在纷繁多样的运动形式中，最简单但又是最普遍的一种运动形式是一个物体相对于另一个物体的空间位置（或者一个物体的某一部分相对于其另一部分的位置）随时间而发生变化的过程，即机械运动。机械运动的基本形式有平动和转动。在力学中，运动学就是描述物体的空间位置随时间而改变的规律，即机械运动的规律。

本章的主要任务就是掌握物体运动的描述方法。首先介绍力学中一个基本的物理模型——质点，引入描述质点运动的物理量——位置矢量、位移、速度和加速度及其与运动方程的关系，继而讨论曲线运动的切向加速度和法向加速度，最后介绍相对运动。

1.1 质点运动的描述

1.1.1 质点 参考系

1. 质点

由于客观物体的多样性和运动形式的复杂性，需要建立一个可供数学描述的理想模型来替代实际的研究对象，这些理想模型可以凸显主要规律，也可使处理问题得以简化。

一般说来，物体的大小和形状的变化，对物体运动的影响是很大的。但在有些问题中，如能忽略这些影响，就可以将有形有状的实际物体抽象为一个具有质量的几何点，称为质点。所以说，质点是一个理想模型。物体是否可以抽象为一个质点，关键不在于物体的大小，而是看它的形状与大小因素在特定的力学问题中是否可以忽略或不起作用。例如，研究地球绕太阳公转时，由于地球与太阳间的距离为地球平均半径的 10^4 倍，地球上各点相对于太阳的运动近似相同，这时，就可以把地球当做一个质点。

当所研究的物体不能视为质点时，原则上可把整个物体看成是由无数个质点的集合。因此，弄清了质点的运动规律，也就描述了整个物体的运动规律。

像质点组力学、刚体力学、弹性力学以及流体力学，就是质点运动规律予以推广发展起来的。

2. 参考系

在自然界里，所有的物体都处于永恒不息的运动之中。运动虽然具有绝对性，但对一个物体运动的描述却是相对的，在描述机械运动时，只有选择另一物体或一组彼此相对静止的物体作为参考，这个物体在空间的位置及其位置的变化才有确切的意义。这个被选定的参考物体称为参考系。同一物体的运动，选取不同的参考系，对它的运动的描述是不同的。例如，在作匀速直线运动的车厢中，自由下落的物体相对于车厢是作直线运动；相对于地面却是作抛体运动；若以太阳或其他天体为参考系，其运动的描述将更为复杂。因此，描述物体运动时，必须指明运动是相对哪个参考系而言的。

在运动学中，原则上参考系的选取是任意的，主要看问题的特征和研究的方便而定。例如，研究地面上物体的运动，通常选取地面或地面上静止的物体作为参考系，而在研究行星绕太阳的运动时，可以取太阳作为参考系。

参考系选定以后，为了能够定量地确定物体相对参考系的位置，描述其运动过程，还要在参考系上选用一个固定的坐标系，以便实现对物体运动作定量化的解析描述。我们可以根据具体问题的需要，选定合适的坐标系。常用的坐标系有直角坐标系、自然坐标系、极坐标系和球坐标系等。

1.1.2 位置矢量与运动方程

质点作机械运动时，为了定量地描述质点在每一时刻的空间位置、反映物体位置的变化及其规律，我们将引入描述物体运动的几个基本的物理量。

1. 位置矢量

如图 1-1 所示的直角坐标中，描述运动质点在空间的瞬时位置用位置矢量（简称位矢）表示，位置矢量是从坐标原点指向质点所在位置的有向线段，用 $\mathbf{r}(t)$ 表示，设质点 P 所在位置的坐标为 x 、 y 、 z ，那么，坐标 x 、 y 、 z 就是位矢 $\mathbf{r}$ 在三个坐标轴上的投影。所以，位矢大小可由

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

确定。如果令 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 分别表示沿 x 、 y 、 z 三轴正方向的单位矢量，那么，可把位矢 $\mathbf{r}$ 写成

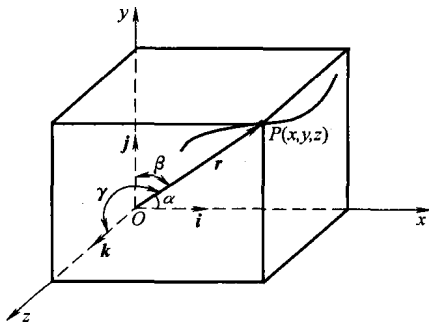


图 1-1 位矢

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

位矢 $\mathbf{r}$ 的方向由下式确定:

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

式中, α 、 β 、 γ 分别是位矢 $\mathbf{r}$ 与 Ox 轴、 Oy 轴、 Oz 轴之间的夹角.

2. 运动方程

质点作机械运动的过程中, 它的位矢 $\mathbf{r}$ 将随时间 t 作相应的改变, 所以, 质点位矢随时间的变化可由 $\mathbf{r}(t)$ 函数来描述, 即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-2a)$$

上式叫做质点的运动方程, 它给出了任意时刻质点所在的空间位置.

运动方程也可以表示为坐标的分量形式, 即

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1-2b)$$

从式 (1-2b) 中消去时间参数 t , 就可以得到运动质点的轨道方程, 或称为轨迹方程.

1.1.3 位移与路程

1. 位移

在质点运动的过程中, 曲线 AB 是其运动轨迹的一部分, 如图 1-2a 所示. 设 t 时刻质点位于 A 点处, 位矢为 $\mathbf{r}_A$, $t + \Delta t$ 时刻质点运动到 B 点处, 位矢为 $\mathbf{r}_B$. 在 Δt 时间内, 质点位置的变化可用从 A 指向 B 的有向线段 $\Delta\mathbf{r}$ 来表示, $\Delta\mathbf{r}$ 称为质点的位移. 由图 1-2a 可得

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \quad (1-3a)$$

根据式 (1-2a), A 、 B 两点的位矢 $\mathbf{r}_A$ 与 $\mathbf{r}_B$ 分别写成

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_A &= x_A\mathbf{i} + y_A\mathbf{j} + z_A\mathbf{k} \\ \mathbf{r}_B &= x_B\mathbf{i} + y_B\mathbf{j} + z_B\mathbf{k} \end{aligned}$$

则位移 $\Delta\mathbf{r}$ 可表示为

$$\begin{aligned} \Delta\mathbf{r} &= \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = (x_B - x_A)\mathbf{i} + (y_B - y_A)\mathbf{j} + (z_B - z_A)\mathbf{k} \\ &= \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-3b)$$

位移的大小为

$$|\Delta\mathbf{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (1-4)$$

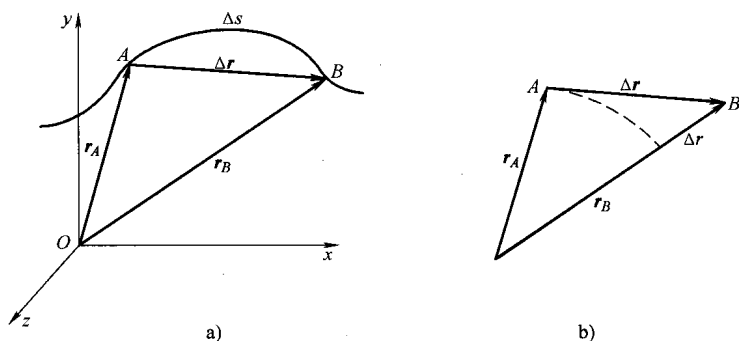


图 1-2 位移

位移的方向由起点 A 指向终点 B .

位移的模 (大小) 只能记作 $|\Delta \mathbf{r}|$, 不能写成 Δr , Δr 通常表示位置矢量大小的增量. 如图 1-2b 所示, 有

$$\Delta r = |\mathbf{r}_B| - |\mathbf{r}_A|$$

2. 路程

路程是质点实际运动轨迹的长度, 用 Δs 表示. 要注意位移和路程的区别, 位移是矢量, 表示质点位置的变化, 并非质点所经历的路程. 在图 1-2a 中, 位移的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 为 A 、 B 两点间的直线距离, 路程是标量, 它是 A 、 B 两点间的弧长 Δs . 一般情况下, $|\Delta \mathbf{r}| \leq \Delta s$, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 有 $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta s = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} |\Delta \mathbf{r}|$, 即 $|\mathrm{d}\mathbf{r}| = \mathrm{d}s$.

位移和路程的单位均是长度的单位, 国际单位制 (SI) 单位为 m .

1.1.4 速度

1. 平均速度

速度是反映质点运动快慢和运动方向的物理量. 如图 1-3 所示, 当质点在时间 Δt 内, 完成了位移 $\Delta \mathbf{r}$ 时, 为了表示质点在这段时间内运动的快慢和方向, 我们把质点的位移与通过这段位移所经历时间的比值, 称作质点在这段时间内的平均速度 (average velocity), 用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示, 即

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

平均速度是矢量, 它的方向与位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同, 它的大小为 $|\bar{\mathbf{v}}| = \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$.

显然, 平均速度不能反映质点运动的真实细节, 只能粗略地描述 Δt 时间内

质点运动的快慢和方向.

2. 瞬时速度

为了解质点在某一时刻(或某一位置)的实际运动情况,我们将时间间隔 Δt 尽量减小,参见图 1-3 点 A 附近,时间间隔 Δt 取得越小,质点的平均速度就越接近于 t 时刻它在 A 点的速度. 因此,在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,质点平均速度的极限定义为质点在 t 时刻的瞬时速度 $\boldsymbol{v}$ (简称速度),数学表示式为

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \quad (1-5a)$$

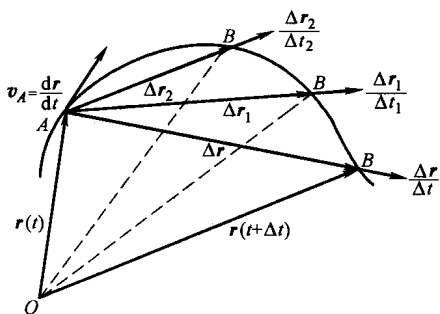


图 1-3 平均速度和瞬时速度

上式表明,质点在 t 时刻的瞬时速度 $\boldsymbol{v}$ 等于位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 对时间 t 的一阶导数.

在直角坐标中速度矢量可表示为

$$\boldsymbol{v} = \frac{dx}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt}\boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt}\boldsymbol{k} = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} + v_z\boldsymbol{k} \quad (1-5b)$$

速度的大小由下式确定:

$$\begin{aligned} v = |\boldsymbol{v}| &= \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \\ &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \end{aligned} \quad (1-6)$$

它的方向就是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的极限方向,也就是质点所在处轨迹曲线的切线方向并指向质点前进的一方.

另外,在描述质点运动快慢时,还常用到平均速率和速率两个概念.它们都是标量,只反映质点运动的快慢程度,而不考虑运动的方向.若质点在时间间隔 Δt 内,通过的路程为 Δs ,则平均速率定义为

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

平均速率与平均速度不能等同看待,例如,质点在一段时间内环行了一个闭合路径,质点的位移等于零,平均速度也为零,然而质点的平均速率不等于零.

同样,平均速率极限值定义为质点在 t 时刻的速率 v ,即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-7)$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $ds = |d\boldsymbol{r}|$, 所以 $v = |\boldsymbol{v}|$, 即速率等于速度的大小,今后,我们

对速率和速度的大小这两个概念不再区分。

1.1.5 加速度

在质点运动轨迹上的不同位置质点的速度一般也是不相同的, 加速度就是反映质点的速度矢量随时间变化的物理量。

设质点在 Δt 时间内沿着如图 1-4 所示的路径由 A 点运动到 B 点, 其速度由 $\boldsymbol{v}_A$ 变为 $\boldsymbol{v}_B$, 质点速度的增量为 $\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_B - \boldsymbol{v}_A$, 则在时间间隔 Δt 内, 它的平均加速度 (average acceleration) 定义为

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}$$

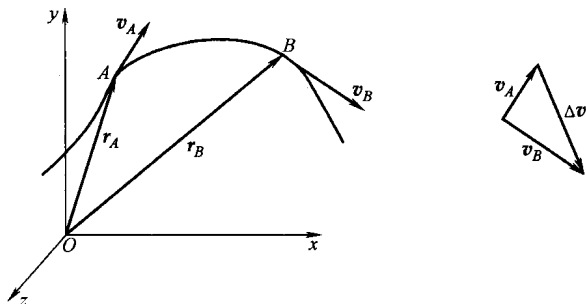


图 1-4 速度增量

平均加速度只能粗略地反映 Δt 时间内质点速度的变化情况. 为准确地描述质点在某一时刻 (或某一位置) 的速度变化率, 需引入瞬时加速度. 类似速度的讨论, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均加速度的极限值定义为质点在 t 时刻的瞬时加速度 (instantaneous acceleration), 简称加速度, 用 $\boldsymbol{a}$ 表示, 即

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d^2 \boldsymbol{r}}{dt^2} \quad (1-8a)$$

上式表明, 加速度 $\boldsymbol{a}$ 等于速度 $\boldsymbol{v}$ 对时间 t 的一阶导数, 或等于位置矢量 $\boldsymbol{r}$ 对时间 t 的二阶导数.

在直角坐标系中, 加速度可表示为

$$\boldsymbol{a} = \frac{dv_x}{dt} \boldsymbol{i} + \frac{dv_y}{dt} \boldsymbol{j} + \frac{dv_z}{dt} \boldsymbol{k} = a_x \boldsymbol{i} + a_y \boldsymbol{j} + a_z \boldsymbol{k} \quad (1-8b)$$

加速度的大小为

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1-9)$$

加速度的方向是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 速度增量 $\Delta \boldsymbol{v}$ 的极限方向. 应当注意, 由于加速