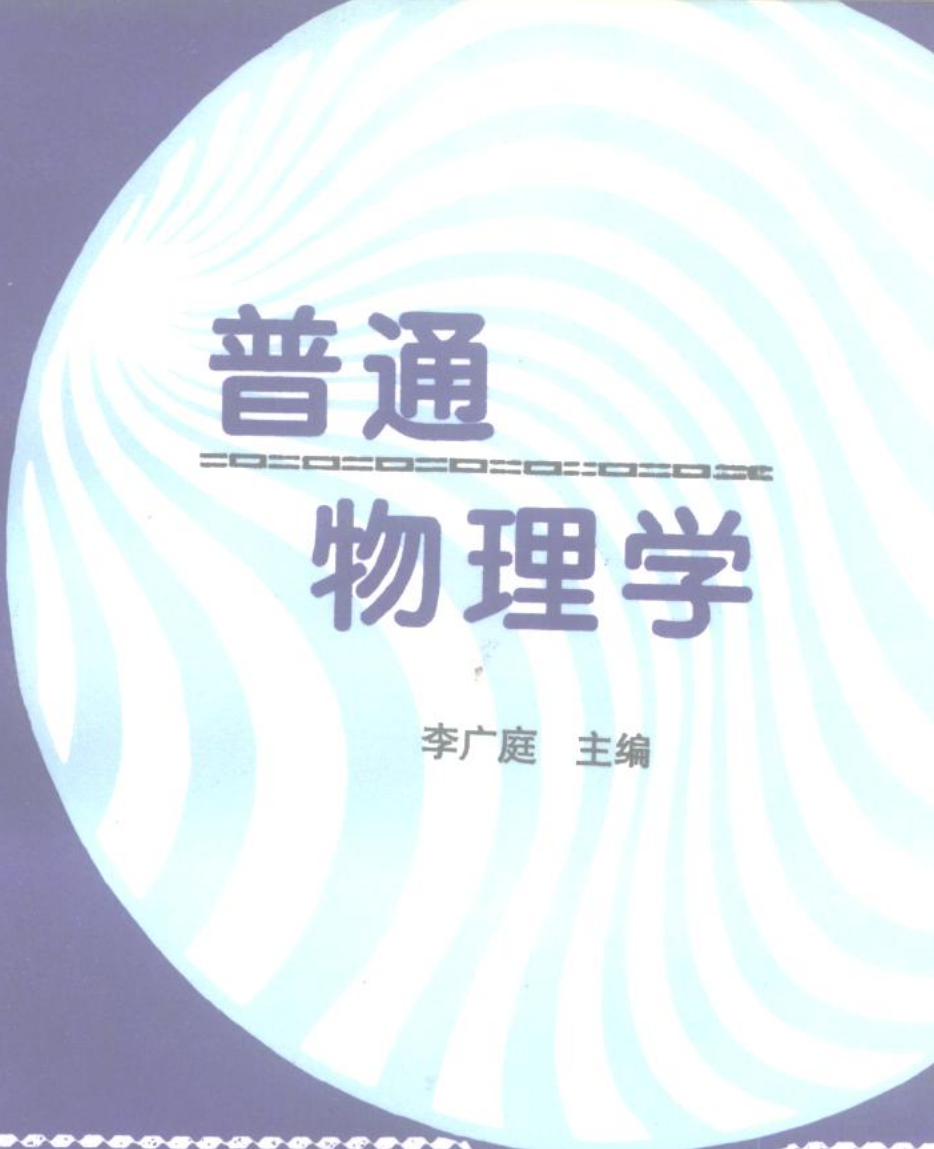




普通 物理学

李广庭 主编



北京航空航天大学出版社

499140

普通物理学

李广庭 张自嘉 主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是为适应工业管理类各专业少学时物理课程的需求编写的。内容包括质点力学、刚体力学、振动和波、相对论力学、气体动理论和热力学、电磁学、物理光学、量子物理基础。

本书语言通俗易懂,内容多篇幅短,并力求用较少的文字表述出物理学的主要内容;在保持基础物理学自身的系统性和科学性的同时,注意引进现代物理知识与物理思想,力求开阅读者的视野和思路。

本书可作为工科院校少学时(100~120学时)物理课程的教材,也可作中学物理教师教学或自学的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学/李广庭主编. —北京:北京航空航天大学出版社,1997.9

ISBN 7-81012-697-0

I. 普… II. 李… III. 普通物理学 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 04296 号

普通物理学

PUTONG WULIXUE

主 编 李广庭

责任编辑 娄铁军 齐桂森

责任校对 张韵秋

北京航空航天大学出版社出版发行

北京学院路 37 号(100083) 62015720(发行科电话)

各地新华书店经售

朝阳科普印刷厂印装

850×1168 1/32 印张:20.5 字数:547.68 千字

1997 年 9 月第一版 1997 年 9 月第一次印刷 印数:4000 册

ISBN 7-81012-697-0/O·036 定价:25.50 元

前言

物理学是工科大学生必修的基础课。随着科学技术的发展,物理学内容也在不断更新。但是,我校以前的物理课因学时少,内容多,又要保持物理学内容的系统性和完整性,使得近代物理内容得不到应有的反映,一些内容又与中学简单重复。

我们在讲授工业管理各专业的物理课的实践中,针对这些问题编写了物理学讲义,在以《讲义》形式多次使用的基础上编写了这本教材。

本书首先注意与中学物理课内容的衔接,凡是中学教学大纲列出的内容,都认为学生基本掌握,除讲述系统需要外,一般不再重复。

其次注意内容的深广度、基本内容与非基本内容、理论与应用的关系。根据工业管理人才知识面要宽的特点,本书放低了深度,尽量拓宽内容。但对非基本内容,特别是扩展性内容,冠以“*”号,供选讲或阅读,删去这些内容并不影响全书的系统性。通过例题、习题介绍基本理论的应用,培养学生理论联系实际,解决实际问题的能力。

第三是在保证基本经典内容的基础上,开“窗口”、专题介绍等形式,引进现代物理知识和物理思想,介绍物理发展前沿,使物理课程内容现代化。

全书共分十六章,第一章~七章由李广庭执笔,第八章~十二章由韩明执笔,第十三章~十六章由张自嘉执笔,最后由李广庭统编定稿。在本书的编写过程中,参阅了国内外不少教材,特别是马文蔚改编的《物理学》和程永洙、江之永编的《普通物理学》。对于这些书的作者,特别致以谢意。

本书以《讲义》形式使用时,是在 120 学时(含 20 学时的习题课)内讲授完的,可作为讲授学时在 100~120 的一般工科专业的大学物理课程的教材,也可供理科非物理专业的普通物理课程使用。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误,敬请读者批评指正。

编者

1996 年 12 月

目 录

第一章 质点运动的基本规律	1
1-1 质点运动的描述	1
1-2 几个典型的质点运动问题	9
1-3 牛顿运动定律	18
1-4 国际单位制和量纲	24
1-5 牛顿运动定律的应用	26
习 题	32
第二章 机械运动中的能量和动量	39
2-1 功 动能 动能定理	39
2-2 保守力 势能 功能原理	45
2-3 机械能守恒定律 能量转换和守恒定律	51
2-4 动量 动量定理 动量守恒定律	55
2-5 碰撞	63
习 题	67
第三章 刚体的定轴转动	76
3-1 刚体的运动	76
3-2 力矩 转动定律 转动惯量	81
3-3 力矩的功 刚体定轴转动中的动能定理	90
3-4 角动量 角动量守恒定律	95
习 题	101
第四章 机械振动和机械波	108
4-1 简谐振动	108
4-2 简谐振动的合成	120
4-3* 阻尼振动 受迫振动 共振	128

4-4	机械波的产生及其描述	133
4-5	波的能量 能流	141
4-6	波动遵从的基本原理 驻波	146
4-7*	多普勒效应	155
	习 题	157
第五章	狭义相对论基础	164
5-1	力学相对性原理 狭义相对论的基本原理	164
5-2	狭义相对论的时空观	168
5-3	洛伦兹变换	176
5-4*	狭义相对论动力学基础	181
	习 题	186
第六章	气体动理论	189
6-1	平衡态 理想气体状态方程	189
6-2	理想气体的压强和温度的微观本质	194
6-3	能量按自由度均分定理	199
6-4	气体分子的速率分布规律	204
6-5	气体分子的碰撞和平均自由程	211
6-6*	气体内的迁移现象	215
	习 题	221
第七章	热力学基础	225
7-1	热力学第一定律	225
7-2	热力学第一定律对理想气体的应用	229
7-3	循环过程 卡诺循环	238
7-4	热力学第二定律	244
7-5	熵 熵增加原理	252
	习 题	258
第八章	静电场	264
8-1	电荷 库仑定律	264

8-2	电场 电场强度	269
8-3	电场线 电场强度通量 真空中的高斯定理	279
8-4	静电力所作的功 电势能 电势	291
8-5	电势的叠加原理 电势的计算	296
8-6	等势面 场强与电势的微分关系	301
8-7	静电场中的导体	306
8-8	电容 电容器	315
8-9	静电场中的电介质	321
8-10	电位移 有电介质时的高斯定理	328
8-11	静电场的能量 能量密度	332
	习 题	335
第九章 稳恒电流		341
9-1	电流强度 电流密度矢量	341
9-2	导体的电阻和电阻率 欧姆定律的微分形式	345
9-3	电源 电动势	349
9-4	闭合电路的欧姆定律和一段含源电路的欧姆定律	351
9-5*	基尔霍夫定律	354
	习 题	356
第十章 稳恒磁场		359
10-1	磁场 磁感强度	359
10-2	毕奥-萨伐尔定律	361
10-3	磁通量 磁场中的高斯定理	366
10-4	安培环路定理	369
10-5	磁场对运动电荷的作用	375
10-6	磁场对电流的作用	383
	习 题	389
第十一章 磁场中的磁介质		395
11-1	磁介质 磁化强度	395
11-2	磁场强度 有磁介质时的环路定理	397

11-3 铁磁质	404
习 题	411
第十二章 电磁感应 电磁场	413
12-1 电磁感应定律	413
12-2 动生电动势和感生电动势	418
12-3 自感和互感	428
12-4 磁场的能量	435
12-5 位移电流 电磁场基本方程的积分形式	439
习 题	447
第十三章 光的干涉	453
13-1 相干光源	454
13-2 杨氏双缝干涉实验	457
13-3 光程 薄膜干涉	463
13-4 劈尖的干涉 牛顿环	473
13-5 迈克耳逊干涉仪	481
习 题	485
第十四章 光的衍射	489
14-1 光的衍射现象 惠更斯—菲涅耳原理	489
14-2 单缝的夫琅和费衍射	492
14-3 衍射光栅	497
14-4 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	505
14-5 X射线的衍射	509
习 题	511
第十五章 光的偏振	516
15-1 自然光和偏振光	516
15-2 起偏与检偏 马吕斯定律	518
15-3 反射和折射时光的偏振	521

15-4	光的双折射现象	523
15-5*	偏振光的干涉	528
15-6*	人为双折射	532
15-7*	旋光现象	534
习 题		534
第十六章 量子物理基础		539
16-1	黑体辐射 普朗克量子假设	540
16-2	光电效应	545
16-3	康普顿效应	553
16-4	粒子的波动性	557
16-5	不确定性关系	562
16-6	波函数 薛定谔方程	564
16-7*	氢原子	573
16-8*	多电子原子的电子分布	583
16-9*	激光	585
16-10*	固体的能带结构	596
16-11*	超导电性	605
16-12*	原子核和放射性	610
习 题		615
附 录		619
附录 I	常用基本物理常量	619
附录 II	有关地球、月球、太阳的数据	620
附录 III	国际单位制(SI)	620
附录 IV	主要参考书目	624
习题答案		625

第一章 质点运动的基本规律

物理学是研究物质运动最基本最普遍的运动形式的,包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核的运动等。机械运动是最简单、最常见的运动形式,是指物体之间或物体各部分之间相对位置的变化,如行星绕太阳的转动,机器的运转,车辆的行驶等。热运动、电磁运动、原子及原子核运动等较为复杂的运动形式,都和机械运动密不可分。因此,物理学首先研究机械运动,这部分内容称为力学。

在研究机械运动时,有时物体的形状和大小可以忽略,如汽车在平直的公路上行驶,当确定某时刻它所到达的位置时,汽车的形状和大小可以不计,以一个点来代替它。在一定问题中,忽略物体的形状和大小,把物体当作一个具有一定质量的几何点,这种理想模型称为质点。把一个复杂的具体的物体用简单的模型来代替,可以简化条件,突出主要矛盾,便于找出其中的规律,这是一种科学的研究方法。

本章主要讨论质点运动的描述及其运动的基本规律。

1-1 质点运动的描述

一、参照系和坐标系

自然界中的一切物体,大至天体,小至电子、中子等基本粒子,都在不停地运动着,绝对静止的物体是不存在的。这就是运动的绝对性。显然,一个物体的位置及其变动,总是相对于其他物体而言的。因此,要描述一个物体的运动情形,必须选择另一个物体或几个相对静止的物体群作为参考,这个被选作参考的物体或物体群,

称为参照系。

在运动学中,参照系的选择不是唯一的,原则上可以任意选择。但是,对同一物体的运动,选择不同的参照系,描述的结论一般不相同。例如人造地球卫星的运动,以地心为参照系,运动轨道是圆或椭圆;若以太阳为参照系,运动轨道是以地球公转轨道为轴线的螺旋线。这一事实,称做运动描述的相对性。描述物体的运动,究竟如何选择参照系?这要根据问题的性质及处理上的方便来决定。一般说来,研究地面上物体的机械运动,常以地球为参照系。在本书中,如果不特别指明,就是以地球为参照系。

为了定量地描述物体的运动,需要在参照系上建立适当的坐标系。坐标系有直角坐标系、柱坐标系、球坐标系等,通常多用直角坐标系。坐标系是固结在参照系上的,是参照系的代表,因此,常常只说明坐标系,而不说明参照系。

二、位置矢量和运动方程

描述一个质点的运动,首先要确定质点在任意时刻的空间位置,为此,先以参照系上一固定点 O 为坐标原点,建立坐标系。由点 O 引向质点所在位置点 P 的有向线段 $\overrightarrow{OP} = \mathbf{r}$ 就确定了质点的空间位置(见图 1-1)。矢量 $\mathbf{r}$ 称为质点的位置矢量。简称位矢。位矢在三个坐标轴上的投影,等于质点所在位置点 P 的坐标值 x, y, z , 所以

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

式中 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别为沿 x, y, z 轴正方向的单位矢。位置矢量 $\mathbf{r}$ 的数值为

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

位置矢量 $\mathbf{r}$ 的方向余弦为

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

质点运动时,位矢 $\mathbf{r}$ 随时间变化,因此 $\mathbf{r}$ 是时间 t 的函数,即

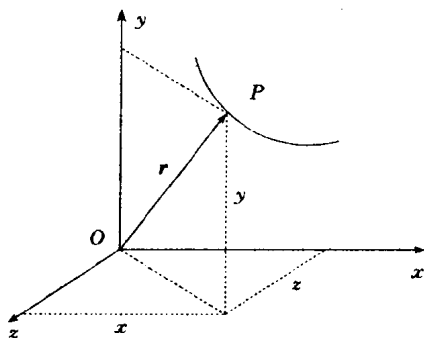


图1-1 位置矢量

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

上式叫做质点的运动方程, $x(t)$ 、 $y(t)$ 和 $z(t)$ 是以 t 为参数的质点运动的轨道方程。质点作不同的运动, $\mathbf{r}$ 与 t 的函数关系不同, 运动学的重要任务之一就是找出各种具体运动所遵循的运动方程。

三、位移和路程

研究质点的运动, 不仅要知道它的位置, 更重要的是要知道它的位置变化。图 1-2 中, 如果质点在 Δt 时间内由 A 点沿曲线 $\widehat{AB}$ 运动到点 B , 则它的位置变化可用 A 到 B 的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 来表示, 称为质点的位移。位移 $\overrightarrow{AB}$ 反映了质点在 Δt 时间内位置矢量 $\mathbf{r}_A$ 的变

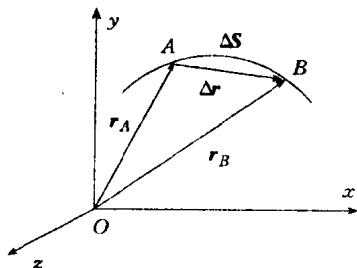


图1-2 位移矢量

化, 如把 $\overrightarrow{AB}$ 记作 $\Delta \mathbf{r}$, 由图 1-2 可以看出

$$\mathbf{r}_B = \mathbf{r}_A + \Delta \mathbf{r}$$

从而有

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

由式(1-1)可得

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = (x_B - x_A)\mathbf{i} + (y_B - y_A)\mathbf{j} + (z_B - z_A)\mathbf{k} \quad (1-3b)$$

$\Delta \mathbf{r}$ 既表示了质点位置变化的大小(A 、 B 两点间的距离),又表示了质点位置变动的方向(B 点相对 A 点的方位),但不表示质点从 A 到 B 经历的实际路径。质点由 A 到 B 是沿着曲线 $\widehat{AB}$ 运动的,曲线 $\widehat{AB}$ 的长度 ΔS 称为路程。路程和位移是两个完全不同的物理量,路程是标量,从图 1-2 中看出 $|\Delta \mathbf{r}| < \Delta S$ 。仅当 B 点十分接近点 A 时,位移才与相应的弧重合,此时 $|\mathrm{d}\mathbf{r}| = \mathrm{d}S$ 。

四、速度和速率

位移描述了质点位置变动的大小和方向,但不能反映质点位置变动的快慢,描述质点位置变动快慢和方向的物理量叫做速度矢量。

在图 1-2 中,质点由 A 运动到 B 经历的时间 Δt 越大,运动就越慢; Δt 越小,运动就越快。所以在位移一定时,运动的快慢与时间成反比。另一方面,当运动时间一定时,经过的位移越长,运动越快;经过的位移越短,运动越慢。显然,在运动时间一定时,运动的快慢与位移成正比。因此,可以用一段时间内的位移与该段时间的比来描述质点运动的快慢和方向,称为这段时间的平均速度,用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示:

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-4a)$$

考虑到式(1-3b),则有:

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}\mathbf{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t}\mathbf{j} + \frac{\Delta z}{\Delta t}\mathbf{k} = \bar{v}_x\mathbf{i} + \bar{v}_y\mathbf{j} + \bar{v}_z\mathbf{k} \quad (1-4b)$$

显然,用平均速度描述质点运动的快慢和方向是比较粗略的。因为一般情况下,在 Δt 时间内质点的运动快慢和方向往往是不断变化着的, $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 只是 Δt 时间内位置的平均变化率。如果要精确地反映质点在某时刻 t (或某一位置) 的运动情况,应使 Δt 尽量减小,可用平均速度的极限值来描述,即

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

$\mathbf{v}$ 称为质点在时刻 t 的瞬时速度,简称速度。式(1-5)表明,质点运动的瞬时速度等于质点的位置矢量对时间的一阶导数。

速度的方向是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向。由图 1-3 可知,质点在点 A 的瞬时速度方向,是沿着轨道上点 A 的切线指向质点前进的方向。

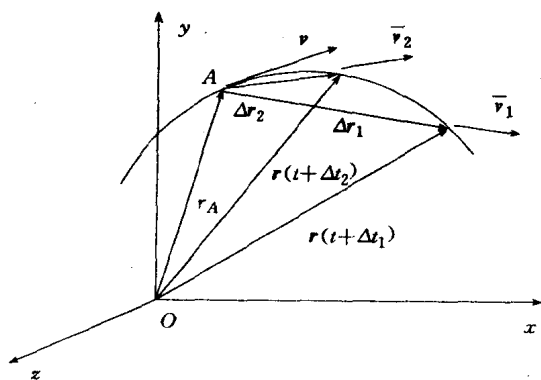


图1-3 速度矢量

在直角坐标系中,由式(1-1)知速度矢量可表示为

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k} \quad (1-6)$$

速度的大小为

$$|\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

在描述质点运动时,有时还用到“速率”这个物理量。把质点运动经过的路程 ΔS 与所需时间 Δt 的比值

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-7)$$

称为质点在 Δt 时间内的平均速率。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速率的极限值即为质点运动的瞬时速率(简称速率):

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-8)$$

由于质点沿曲线运动时 $\Delta s \neq |\Delta \mathbf{r}|$, 故 $\bar{v} \neq |\bar{\mathbf{v}}|$ 。但 $ds = |d\mathbf{r}|$, 所以 $v = |\mathbf{v}|$ 。

速度和速率具有相同的单位, 在国际单位制中为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (米/秒)。

五、加速度

质点运动时, 速度的大小和方向都可能随时间变化, 如抛体运动、圆周运动等。描述质点运动速度变化情况的物理量称为加速度。

设质点沿图 1-4 所示的曲线运动, 在时刻 t 位于 A 点, 速度为 $\mathbf{v}_A$ 。在时刻 $t + \Delta t$ 位于 B 点, 速度为 $\mathbf{v}_B$ 。在 Δt 时间内速度的增量为 $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A$ 。定义

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A}{\Delta t} \quad (1-9)$$

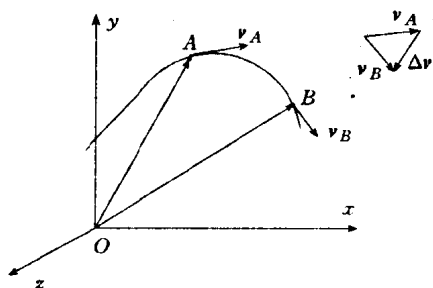


图1-4 速度的增量

为质点在 Δt 时间内的平均加速度。平均加速度一般也是随 Δt 取

值不同而变化的,为了精确地描述质点在某一时刻速度变化的情况,像定义瞬时速度一样定义瞬时加速度为

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (1-10)$$

上式表明,加速度等于速度对时间的一阶导数,或等于位置矢量对时间的二阶导数。

在直角坐标系下,加速度矢量可表示为

$$\mathbf{a} = \frac{dv_x}{dt} \mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt} \mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt} \mathbf{k} = \frac{d^2 x}{dt^2} \mathbf{i} + \frac{d^2 y}{dt^2} \mathbf{j} + \frac{d^2 z}{dt^2} \mathbf{k} \quad (1-11a)$$

它的三个分量为

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} \quad (1-11b)$$

且

$$|\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

加速度的方向是 Δt 趋向零时, $\Delta \mathbf{v}$ 的极限方向。 $\Delta \mathbf{v}$ 的极限方向一般与 $\mathbf{v}$ 的方向不同,所以加速度的方向与同一时刻速度的方向一般不相一致。在曲线运动中加速度的方向指向曲线凹的一侧。

在国际单位制中,加速度的单位是 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ (米/秒²)。

例 1 质点的运动方程为 $x = 5 + 6t - 3t^2$ 。式中各量皆为 SI 单位(无特别说明时,全书同),试求:①质点在第一秒内和第三秒内的平均速度;②质点在第一秒末和第三秒末的速度。

解 质点沿 x 轴运动,位移、平均速度和瞬时速度都沿 x 轴,其矢量方向可以正、负号表示,因此只要求各量的数值就够了。

(1) 由运动方程可求得 $t \sim t + \Delta t$ 时间内的位移:

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_{t+\Delta t} - x_t = 5 + 6(t + \Delta t) - 3(t + \Delta t)^2 - (5 + 6t - 3t^2) \\ &= 6\Delta t - 6t\Delta t - 3\Delta t^2 \end{aligned}$$

质点在 Δt 时间内的平均速度为