



SPT 21世纪高等院校教材

工科类

大学物理

上册

山东理工大学

陈钦生 武步宇 编

科学出版社

21 世纪高等院校教材

大学物理

上册

山东理工大学

陈钦生 武步宇 编

科学出版社

2002

内 容 简 介

本书是编者在多年教学实践和教学研究的基础上,按系统论的观点整合经典物理、近代物理和现代物理的内容,形成了具有合理逻辑体系的、适应 21 世纪物理教学的崭新教材。全书分上、下两册出版。上册以三大守恒定律和相对论为核心,涉及力学、热学和电磁学;下册以波粒二象性和量子力学为核心,涉及振动、波动、波动光学、量子光学、量子力学以及物理学前沿与高新技术的联系等内容。

本书可作为高等学校工科各专业、理科非物理专业的教科书或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理.上册/陈钦生,武步宇编. —北京:科学出版社,2002.2

21 世纪高等院校教材

ISBN 7-03-010047-6

I. 大… II. ①陈…②武… III. 物理学—高等学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 000717 号

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>

双青印刷厂 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· 720×1000 1/16

2002 年 2 月第一次印刷 印张· 20 1/2

印数· 1—8 000 字数· 391 000

定价: 45.00 元(全两册)

(如有印装质量问题,我社负责调换〈杨中〉)

前 言

大学物理在高等工程教育体系中,位于基础学科这一等级。首先,它应在该等级上充分发挥作用,并与同一体系的技术学科和工程学科建立有机的联系。其次大学物理作为一个子系统,应该随着物理学科的发展,不断更新,成为具有自身组织的动态系统。只有这样,才能很好地发挥大学物理在培养学生科学素质和创新能力等方面的功能。

因此,我们从体系结构和教学内容两方面进行改革,按照逻辑关系构建大学物理的教学体系。该体系的特点是:融会贯通经典物理和近代物理的内容,用近代物理的观点诠释经典物理,构成一个有机的整体。第一,以三大守恒定律为主线,揭示了自然界的普遍规律和时空对称性;第二,用相对论的观点,以电磁场的基本理论为纲,将电场与磁场的内容有机融合在一起,充分体现了电磁场的统一性和对称性;第三,由波粒二象性,将实物粒子和光子统一起来;第四,以量子力学为核心,全面深入地开展近代物理的教学。摆脱对半经典物理的依赖,更新教学中的概念,倡导近代物理的科学思维方式,形成自洽的概念体系。对近代物理学中的重要概念和内容,从不同角度进行两次巩固式教学,以利于学生的学习和掌握

在教学内容上进行了更新。补充近代物理和现代物理的内容,如非线性振动、非线性波和混沌,以及隧道效应等;加强与物理学前沿和高新技术的联系,如激光与捕陷原子、超导与超导量子干涉仪、态叠加原理与量子计算机等;适当处理游离于近代物理主线外的内容,如玻尔理论不再是量子力学的入口环节,而成为量子力学有关结论的附加说明。

由于水平有限,如有不妥之处,敬请专家和使用本书的师生批评指正。

编 者

2001年7月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 力 学

第一章 力学的基本概念	4
§ 1-1 时间和空间	4
§ 1-2 物体运动的一般描述	4
§ 1-3 圆周运动的角量描述	14
§ 1-4 惯性和质量	18
§ 1-5 经典及相对论时空观	22
思考题	34
习 题	35
第二章 动量守恒定律	38
§ 2-1 动量和力	38
§ 2-2 动量守恒定律	43
§ 2-3 相对论动量与质量	46
思考题	49
习 题	49
第三章 角动量守恒定律	53
§ 3-1 角动量和力矩	53
§ 3-2 质点的角动量守恒定律	55
§ 3-3 刚体的角动量及其守恒定律	57
思考题	66
习 题	66
第四章 能量守恒定律	69
§ 4-1 功和能	69
§ 4-2 能量守恒定律	80
§ 4-3 相对论能量	84
§ 4-4 相对论能量与动量的关系	86

思考题	89
习 题	90
第五章 大量粒子系统	95
§ 5-1 理想气体分子速率分布律 温度	95
§ 5-2 理想气体压强 状态方程	100
§ 5-3 理想气体内能	103
§ 5-4 热力学第一定律及其应用	106
§ 5-5 熵 热力学第二定律	122
思考题	127
习 题	129
 第二篇 电磁学 	
第六章 电荷的电现象和磁现象	134
§ 6-1 静止电荷的电现象 静电场	134
* § 6-2 运动电荷的电场	145
* § 6-3 电场对电荷的作用	152
§ 6-4 运动电荷的磁场	158
思考题	162
习 题	163
第七章 静电场和恒定磁场的性质	165
§ 7-1 静电场的高斯定理和环路定理	165
§ 7-2 恒定电流的电场	184
§ 7-3 恒定电流的磁场	189
§ 7-4 磁场的高斯定理和环路定理	194
§ 7-5 磁场对运动电荷和电流的作用	200
思考题	215
习 题	217
第八章 涡旋电场和位移电流的磁场	225
§ 8-1 电磁感应现象和涡旋电场	225
§ 8-2 自感和互感	241
§ 8-3 位移电流及其磁场	246
思考题	251
习 题	253

第九章 电磁场理论·····	257
§ 9-1 电介质和导体 ·····	257
§ 9-2 磁介质 ·····	279
§ 9-3 电磁场的边界条件 ·····	294
§ 9-4 麦克斯韦方程组 ·····	297
思考题·····	299
习 题·····	302
习题答案·····	308

绪 论

世界是由物质构成的。存在于我们周围、独立于我们意识之外的客观存在都是物质。一切物质都在不断地运动着、变化着。物质可分为实物物质和场两大类,大至各类天体,小到分子、原子、电子和夸克,以及电磁场、重力场和引力场都是物质。物质的运动形式多种多样,它们既具有共同的普遍规律,又有各自独特的规律。

自然科学的各个分支就是按所研究的物质运动形式来区分的。一般说来,自然科学分为基础科学和应用科学。基础科学有天文、地学、生物、化学、数学和物理六门。从严密的综合科学体系来讲,六门基础科学中,最基础的科学之一是物理,它是研究物质的基本结构、相互作用和物质最基本、最普遍的运动形式(如机械运动、热运动、电磁运动和量子运动)及其相互转化规律的科学。天体物理学是宇宙范围内的物理学;地学研究也要依赖物理学;现代生物学发展到研究分子的水平,也会与物理学密切相关;20 世纪 30 年代后,人们用量子力学原理来解决化学问题,使化学有了极大的发展。所以天文、地学、生物和化学四门基础科学,用现代科学技术体系的观点看,都离不开物理。建筑在基础科学之上的现代工程技术,也是以物理作为主要支柱。

根据物理学的发展历史,可大致把物理学分为经典物理学和近代物理学。17 世纪至 19 世纪末的物理学成果,称为经典物理学。经典物理学经历了三次综合,达到了辉煌的盛世,当今的许多工程学科都是植根于经典物理学的某一分支而发展起来的。第一次综合是 17 世纪牛顿力学体系的构建,该体系具有解决具体问题的能力,还导致弹性力学、流体力学、空气动力学和航空技术的形成和发展。力学和热力学的发展,适应了研制蒸汽机和发展机械工业的需要,引起了第一次工业革命,极大地改变了工业生产的面貌。第二次综合是麦克斯韦的电磁学,使电学,磁学和光学得到了统一。电磁学是研究物质过程的必要基础,也是电工学、无线电工学、遥控和自动控制学、固态电子学和无线电技术的必备基础知识。人们成功地研制了电机、电器和电讯设备,引起了工业自动化,这就是第二次工业革命。第三次综合是从热学开始的,涉及宏观和微观两个层次,形成了气体动理论、热力学与统计物理,建立了物理化学这一交叉学科。

物理学在 19 世纪至 20 世纪初,实现了重大转折与突破,形成了近代物理学,

其两大理论支柱是相对论和量子力学。爱因斯坦创立的相对论,消除了经典物理学的内在矛盾并推广其应用范围,可广泛应用于天体物理学,构成了现代宇宙理论的基础。海森伯和薛定谔分别完成了量子力学的两种表述,狄拉克将非相对论的薛定谔方程推广到(狭义)相对论的情形,建立了狄拉克方程,为量子力学作了重要的补充。这样,微观世界的物理规律终于确立,促进了粒子物理学、量子化学和凝聚态物理学等学科的建立和发展。量子物理促成了半导体技术、激光技术、核磁共振技术的发展。例如半导体技术出现后,以极快的速度更新换代,不仅使各种电子设备体积缩小,功能提高,寿命延长,而且使电子计算机得以小型化,实用化,智能机器人得以开发。如果说热机、电机大大加强了人类的力量,各种机械延长了人类的双手,那么计算机则分担了人类的智力劳动。因此,可以说,是量子物理引发了又一次工业革命,使人类进入到原子能、电子计算机、半导体、激光、空间科学等新技术的时代。不仅每次物理学理论上的重大突破,要引起各个学科和工程技术的重大变革,而且物理学上每一个实验中的新发现,都将给社会带来很大的变化。例如目前物理学工作者们竞相研究的高温超导材料,正引起科技界的瞩目。高温超导材料的研制成功,将会极大地改变目前的电能生产、传输和存储的状况,在交通、医学、计量和能源等各个领域都将产生深远的影响。

物理学一直是一门具有高度开放性和生机勃勃的科学,它和技术以及其他自然科学之间没有截然的分界线。未来的生产技术,将继续从物理学这片广阔肥沃的科学土壤中汲取营养,结出硕果。物理学的前沿主要是探索更加细微尺度(也就是更高能量)物质结构的规律,追求相互作用的进一步统一;对宇宙进行考古学的研究,追溯到更早期的宇宙;以及探讨复杂物质的结构与物性。

以物理学基础知识为内容的大学物理课程,它所包括的经典物理、近代物理和物理学在科学技术上的应用的初步知识,都是一个高级工程技术人员所必备的。所以大学物理学在高等工科院校中是一门重要的基础理论课。通过对大学物理的学习,一方面较系统地打好必要的物理基础,另一方面初步学习科学的思想方法和研究问题的方法。这些都起着开阔思路,激发探索和创新精神,增强适应能力,提高自身素质的作用。学好大学物理课,不仅为学习后继专业课打好基础,而且对今后的工作和进一步学习新理论、新技术,不断更新知识,都是大有益处的。

第一篇 力 学

自然界的一切物质都处于永恒的运动之中。物质的运动形式是多种多样的,其中最简单、最常见的运动形式是物体空间位置的变化,称为机械运动。天体的运行,机器的运转,奔驰的列车,咆哮的大海,变幻的大气等都是机械运动的例子。力学就是研究物体机械运动的客观规律及其应用的学科。

宏观物体做低速运动(相对于光速而言)的时候,其运动规律由经典力学给出,而当高速运动时,其规律须由狭义相对论才能得到,微观粒子的运动,属量子力学的研究范围。尽管经典力学、相对论力学、量子力学所研究的对象不同,物体的运动规律有差异。但它们的研究对象也有共同遵循的规律,——动量守恒定律、角动量守恒定律、能量守恒定律。

现代物理学认为,动量、角动量、能量是与自然界的普遍属性——时空对称性联系在一起的。具体地说,物质系统空间的均匀性,要求该系统必须遵从动量守恒定律。物质系统空间的各向同性,要求该系统遵从角动量守恒定律。物质系统时间均匀性要求该系统必须遵从能量守恒定律。因此,三个守恒定律是自然界最普遍的规律。它不仅适用于孤立系统的任何物理过程,也适用于孤立系统的化学、生物等其他过程,自然界至今还没有发现违反它的事例。可以说守恒定律是自然规律最深刻、最简洁的陈述。它比物理学中的其他定律更重要、更基本。

本篇主要介绍三个守恒定律及其在力学和热学中的应用。

第一章 力学的基本概念

本章主要介绍时间与空间的测量,惯性与质量,以及质点运动的描述等力学中的基本概念和一些力学量。

§ 1-1 时间和空间

长期以来,人们在对事物的观察和描述中,产生了时间与空间的概念。时间反映物理事件的先后顺序性和持续性,空间则反映物体位置的变化和物体的大小。

牛顿认为,时间和空间是不依赖于物质的独立的客观存在,物体虽然是在时间和空间中运动,但是时间和空间的性质与物质的运动没有任何联系。牛顿曾说:“绝对空间,就其本性而言,与外界任何事物无关,而永远相同的和不动的。”这种与物质和运动毫不联系的“绝对”时空观,在经典力学研究的范围内是正确的,与人们的经验是一致的。但当我们接触到高速运动物体时,会发现这种时空观是错误的。在 § 1-5 中我们将较为详细地介绍经典力学时空观与狭义相对论时空观。

在国际单位制(SI)中,时间的单位是秒。以前曾规定 1 秒是平均太阳日的 $1/86400$ 。为了提高时间测量的精度,现在 SI 中 1 秒(s)的定义是:铯-133(^{133}Cs)原子基态的两超精细能级之间跃迁辐射周期的 9 192 631 770 倍的持续时间。

“米”是 SI 的长度单位,以前把保存在巴黎国际度量衡局中的“米原器”上两刻线之间的距离规定为 1 米(m)。为了提高长度的测量精度和保证标准的稳定性及易于复制,后来规定:氪-86(^{86}Kr)原子的 $2p_{10}$ 和 $5d_5$ 能级之间跃迁辐射在真空中波长的 1 650 763.73 倍为 1m。由于激光技术的发展使长度测量的精度进一步提高了,1983 年起又采用了下面(最后)的规定:1m 是光在真空中在 $1/299\,792\,458\text{s}$ 内通过的距离。

§ 1-2 物体运动的一般描述

实际的物体都有一定的大小、形状和内部结构。一般说来,物体运动时,它内部各点的位置变化是各不相同的,而且物体的形状和大小也可能发生变化。因此

要精确地描写一般物体的运动并不是一件简单的事情。但当仅考察物体的整体运动,物体的形状和大小不起作用或所起作用可以忽略不计时,就可近似地把物体看作是一个具有质量(质量的概念将在 §1-4 中讨论)而没有大小和形状的理想物体。这样的物体称为质点。下面我们将讨论如何来描述质点的运动。

位置矢量

研究质点的运动时,首先应表示出它在空间的位置。在选定的参考系里,质点的位置可以用矢量的概念更简洁清楚地表示出来。

在如图 1-1 所示的直角坐标系中,质点在时刻 t 的位置 P ,可由 P 点的三个坐标 x 、 y 、 z 来确定。也可由原点 O 指向 P 点的矢量 $\mathbf{r}$ 来表示。 $\mathbf{r}$ 的方向表明了 P 点相对于坐标轴的方位, $\mathbf{r}$ 的大小(即它的模)表明了原点到 P 点的距离。显然,方位和距离都知道了, P 点的位置就确定了。用来确定质点位置的这一矢量 $\mathbf{r}$ 叫作位置矢量,简称位矢,在三维直角坐标系中表示为

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

式中 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 分别表示沿 x 、 y 、 z 轴正方向的单位矢量。

位矢 $\mathbf{r}$ 的大小为

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

位矢 $\mathbf{r}$ 的方向可由其方向余弦确定

$$\left. \begin{aligned} \cos\alpha &= \frac{x}{r} \\ \cos\beta &= \frac{y}{r} \\ \cos\gamma &= \frac{z}{r} \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式中 α 、 β 、 γ 分别表示 $\mathbf{r}$ 与 x 、 y 、 z 轴正方向的夹角,它们满足以下关系式:

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$$

故三个方向余弦中,只有两个是独立的。

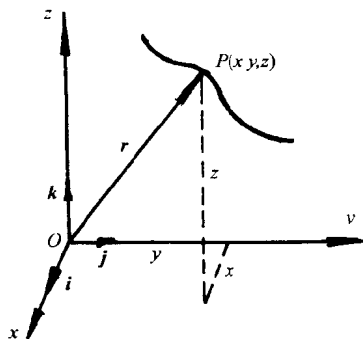


图 1-1

质点运动时,它的位置矢量 $\mathbf{r}$ 是随时间变化的,因此 $\mathbf{r}$ 是时间的函数,即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-4)$$

这个 $\mathbf{r}$ 随时间变化的关系式叫作质点的运动方程。

在直角坐标系中,质点运动时,它的坐标 x, y, z 都是时间的函数,可写为

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

这个方程组即是质点的运动方程(1-4)在直角坐标 中的分量表示式。由式(1-1)运动方程又可写为

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-6)$$

当质点在空间运动时,位置矢量 $\mathbf{r}$ 不断地改变其大小和方向,其末端在空间描绘出一条曲线,该曲线称为质点运动的轨迹。

从质点的运动方程(1-5)中,消去参变量时间 t , 就得到质点的轨迹方程

$$\left. \begin{aligned} f_1(x, y, z) &= 0 \\ f_2(x, y, z) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

轨迹为直线就称为直线运动,轨迹为曲线则称为曲线运动。

例 1-1 已知质点在 xy 平面内运动,运动方程的分量形式为

$$x = R \sin \frac{\pi}{6} t, \quad y = R \cos \frac{\pi}{6} t$$

求任一时刻的位置矢量及轨迹方程。

解 由式(1-1),质点在任一时刻的位置矢量为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} = (R \sin \frac{\pi}{6} t)\mathbf{i} + (R \cos \frac{\pi}{6} t)\mathbf{j}$$

由题给运动方程中消去时间 t , 得到轨迹方程为

$$x^2 + y^2 = R^2$$

可见,此质点在 xy 平面内,作以原点为圆心、 R 为半径的圆周运动。

位移

设质点在如图 1-2 所示的曲线上运动。在时刻 t , 质点位于 P 点,位矢为 $\mathbf{r}_1$; 在时刻 $t + \Delta t$, 质点运动到 Q 点,位矢为 $\mathbf{r}_2$ 。在 Δt 时间内,质点位置的变

化可用矢量 $\Delta \mathbf{r} = \overrightarrow{PQ}$ 来表示, 叫作质点的位移矢量(简称位移)。显然, 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 是由初位置 P 指向末位置 Q 的有向线段, 它只与质点的始末位置有关, 与始末两位置间质点运动的路径无关。它是描述质点位置变动的大小和方向的物理量。由矢量加法可得

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \quad (1-8)$$

在直角坐标系里, 上式可表示为

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r} &= (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k} \\ &= \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-9)$$

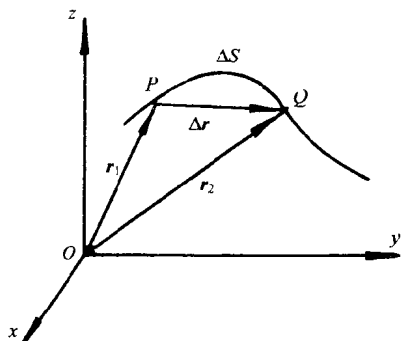


图 1-2

位移矢量的大小和方向, 可参照式(1-2)和(1-3)类似地给出。

应当注意, 位移与路程是两个不同的概念。位移是矢量, 表示质点位置矢量的改变, 并不是质点实际经历的路径; 路程是标量, 是指质点在其轨道上实际经过的路径的长度, 是曲线 $\widehat{PQ}$ 的长度 ΔS 。一般情况下, ΔS 与 $|\Delta \mathbf{r}|$ 并不相等, 只有在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, ΔS 和 $|\Delta \mathbf{r}|$ 才可视为相等。

即使在直线运动中, 位移和路程也是截然不同的两个概念。例如, 一质点沿直线从 A 点到 B 点又折回到 A 点, 显然路程等于 A 、 B 之间距离的两倍, 而位移却为零。

例 1-2 某人由 O 点出发, 先向东走 30m, 后向南走 10m, 再向西北走 18m, 求合位移的大小和方向。

解 由题意, 建立坐标系 xOy , 并作出各位移 $\Delta \mathbf{r}_1$ 、 $\Delta \mathbf{r}_2$ 、 $\Delta \mathbf{r}_3$ 和合位移 $\Delta \mathbf{r}$, 如图 1-3 所示。由矢量加法知

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r} &= \Delta \mathbf{r}_1 + \Delta \mathbf{r}_2 + \Delta \mathbf{r}_3 \\ &= \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} \end{aligned}$$

由于

$$\begin{aligned} \Delta x &= \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 = 30 + 0 + (-18 \times \cos 45^\circ) \\ &= 17.3\text{m} \\ \Delta y &= \Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3 = 0 + (-10) + (18 \times \sin 45^\circ) \\ &= 2.7\text{m} \end{aligned}$$

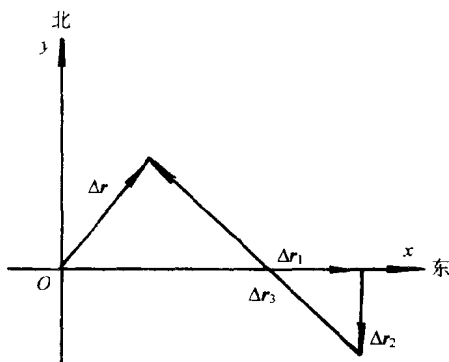


图 1-3

所以,合位移为

$$\Delta \mathbf{r} = 17.3\mathbf{i} + 2.7\mathbf{j} \text{ m}$$

其大小为

$$|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{(17.3)^2 + (2.7)^2} = 17.5 \text{ m}$$

$\Delta \mathbf{r}$ 与 x 轴正方向间的夹角为

$$\theta = \arctan \frac{\Delta y}{\Delta x} = \arctan \frac{2.7}{17.3} = 8.9^\circ$$

速度

设质点在如图 1-4 所示的曲线上运动。在时间 Δt 内,质点的位移为 $\Delta \mathbf{r}$,则比值 $\Delta \mathbf{r}/\Delta t$ 表示质点在 Δt 时间内位置矢量的平均变化率,称为质点在 Δt 时间内的平均速度,用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示,即

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

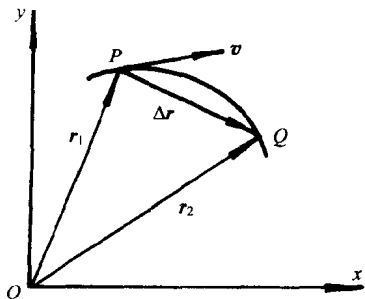


图 1-4

平均速度是矢量,其大小等于 $|\Delta \mathbf{r}|/\Delta t$,其方向就是位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向。平均速度只是粗略地描述了质点从 P 到 Q 的过程中运动的快慢和方向,它未能描述在此过程中质点运动快慢和方向的细微差别。但是,只要考察的时间间隔

足够小,在此间隔内质点运动的快慢和方向可能存在的差别就必然非常小以至可以忽略不计。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,式(1-10)的极限就可精确地表示质点在时刻 t 运动的快慢和方向,称为质点的瞬时速度矢量,简称速度,用 $\mathbf{v}$ 表示,即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-11)$$

即速度等于质点的位置矢量 $\mathbf{r}(t)$ 对时间 t 的一阶导数。

速度的方向为 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向。显然,这就是沿运动轨迹上质点所在点的切线方向,并指向质点前进的方向。

在直角坐标系中,速度可写成

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}) \\ &= \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} \\ &= v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-12)$$

其中

$$\left. \begin{aligned} v_x &= \frac{dx}{dt} \\ v_y &= \frac{dy}{dt} \\ v_z &= \frac{dz}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

分别为速度矢量在三个坐标轴上的投影。这就是说,速度在直角坐标系中的三个分量分别等于相应坐标分量对时间的一阶导数。

速度的大小,即 $\mathbf{v}$ 的模为

$$|\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-14)$$

速度的方向余弦可类比式(1-3)确定。

描述质点的运动,有时也采用“速率”的概念。路程 Δs 与时间 Δt 的比值 $\Delta s/\Delta t$ 称为质点在 Δt 时间内的平均速率,用 $\bar{v}$ 表示,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1-15)$$

平均速率是标量,它等于质点在单位时间内所通过的路程。因此,平均速率和平均速度是两个不同的概念。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速率的极限称为质点的瞬时速率,简称为速率,用 v 表示,即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-16)$$

瞬时速率是标量,它与瞬时速度不同。但在 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情况下,因路程 Δs 和位移的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 相等,所以瞬时速度的大小和瞬时速率相等,即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} = |\mathbf{v}| \quad (1-17)$$

加速度

在一般情况下,质点的运动速度是随时间变化的。加速度就是描述速度变化情况的物理量。在图 1-5 中,以 $\mathbf{v}_1$ 和 $\mathbf{v}_2$ 分别表示质点在时刻 t 和时刻 $t + \Delta t$ 时的速度。则在时间 Δt 内的平均加速度 $\bar{\mathbf{a}}$ 定义为

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \quad (1-18)$$

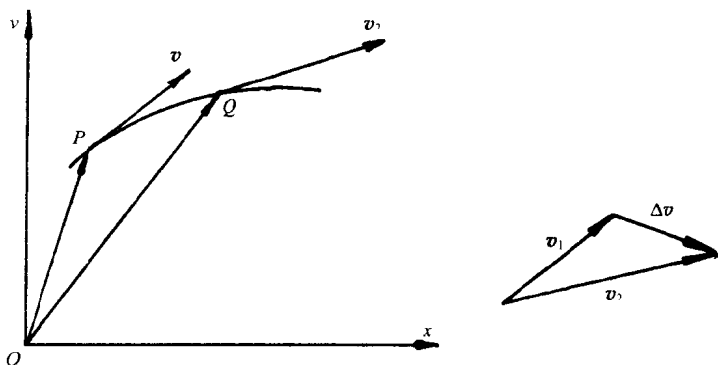


图 1-5

平均加速度 $\bar{\mathbf{a}}$ 是矢量。它的大小等于 $|\Delta \mathbf{v}|$ 和 Δt 的比值,方向与 $\Delta \mathbf{v}$ 相同。但 $\Delta \mathbf{v}$ 的方向一般与 $\mathbf{v}(t)$ 的方向并不相同。

平均加速度仅粗略地描述了质点速度在 Δt 时间内的大致变化情况。为了精确地描述这种变化,也应让 $\Delta t \rightarrow 0$ 。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均加速度的极限称为瞬时加速度,简称加速度,用 $\mathbf{a}$ 表示,即