

高等学校教材

大学物理 上册

钟江帆 主编

28



高等教育出版社

高等学校教材

大学物理

上册

钟江帆 主编

高等教育出版社

内容简介

本书在课程体系和教学内容方面做了较大改革. 全书从物理学的发展和需求出发, 加强了经典物理学内容的现代化, 加强了量子力学和相对论等近代物理学内容, 建立了一个新的课程体系. 本书还特别注重物理学在工程技术中的应用, 并有计算实例. 全书按 100~120 学时设计, 共计 15 章, 分上、下两册出版, 上册包括力学、电磁学, 下册包括振动与波、狭义相对论、光学、量子力学和热学, 每章有小结、设置了习题并附有答案. 本书可作为高等学校工科各专业的教材, 也可供理科非物理类专业及电视大学、函授大学相关专业选用.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理. 上册/钟江帆主编. —北京: 高等教育出版社, 2004. 1

ISBN 7-04-013634-1

I. 大... II. 钟... III. 物理学—高等学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 099537 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京奥隆印刷厂		
开 本	787×960 1/16	版 次	2004 年 1 月第 1 版
印 张	13.25	印 次	2004 年 1 月第 1 次印刷
字 数	240 000	定 价	15.70 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

序 言

近几年来科学技术的飞速发展对人才培养提出了更高、更新的要求,这就迫切需要对工科物理课程在体系和教学内容等方面进行改革.我们在原吉林大学各工科专业使用的物理教材的基础上重新编写了本书.在编写过程中,遵循精选内容、加强基础、提高素质、利于教学的原则,注意学习和吸收兄弟院校的宝贵经验,总结了教学实践中的改革成果,特别对校外专家对原教材提出的诸多宝贵的意见和建议,我们组织参编人员进行了多次讨论和学习,使编写工作受益匪浅.

物理学是整个自然科学的基础,是科学技术的基础学科和带头学科.大学物理是工科各专业的重要基础课程,它所阐述的物理学基本概念、基本思想、基本规律和基本方法不仅是学生学习后续专业课的基础,而且也是全面提高学生的综合素质和创新能力的重要内容.物理学在帮助学生建立科学的世界观和方法论上将起着极大的促进作用,从这一点来讲,物理课程将使学生受益终生.

工科物理教材内容的现代化以及与现代化相适应的课程体系的改革和更新是此次编写工作的主要依据.在编写过程中主要做了下述几个方面的工作:

一、加强经典物理学内容的现代化建设

在经典力学部分,以微积分为手段,以牛顿定律和三大守恒定律为核心,加强了动量、角动量、刚体定轴转动定律等内容,论述了守恒与对称的关系,在振动中增加了傅里叶变换等内容.适量地增加了经典物理学在工程技术中的应用实例和计算.在电磁学部分以场论为基础讲解电磁运动基本定律,使教材有“理工兼有”的特点.

二、加强近代物理学的教学内容

过去工科物理主要是讲授经典物理学部分,对于反映当代物理学水平的近代物理学内容很少涉及.针对这一点,我们加强了相对论和量子力学部分.增加了势垒贯穿和隧道效应的应用等内容.重新改写了量子统计一章.把经典统计和量子统计合并,也是本书一个特点,这有助于学生掌握统计的基本方法和规律,也避免了不必要的重复.

三、重视物理学在工程技术中的应用

作为大部分工科学生,大学物理是其物理的“终结”课程,因此本书无论在经典部分还是在量子部分,都十分重视物理学在工程技术中的应用实例,通过这些内容的介绍,有助于提高学生的学习兴趣和了解当代物理的发展概况.改写中重

写了激光原理及应用这一部分.考虑到这一部分集波动光学、量子光学等众多基础知识以及在工程技术中的广泛应用,有关专业可适当选用.

四、选好例题和习题

考虑到工科学生的数学教学要求,本书选择了数量较大的典型例题.这些例题有助于学生掌握每章的教学内容并有利于自学;在习题的选编上,本着“难度适中,题量不大”的原则,选编了300余道习题并附有答案.

书中约有15%的内容以“*”标出,这部分内容无论讲授与否都不破坏本书的连贯性,教师可视具体情况选用.全书教学学时为100~120学时,除去标记“*”部分外可在100学时内完成.

本书编写过程中始终得到吉林大学教务处的资助和支持,副校长赵继教授多次参加编审会议并给予指导,我们还要特别感谢高等教育出版社的胡凯飞高级策划,他多次往返于北京和长春之间,带来了校外专家的宝贵修改意见并与参编人员一起讨论.在此,谨向校内外关心和支持本书编写工作的专家表示由衷的谢意.

本书由教育部非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会委员张铁强教授担任主审,编写工作由吉林大学四校区教师合作完成.编委分工如下:

主编钟江帆教授(第4~6章,第9章,全书统稿).编委:唐洪学教授(第8章);王国光副教授(第12~13章);何丽桥副教授(第1~3章);郑咏梅副教授(第10章);张成宝副教授(第7章);王素文副教授(长春理工大学,第11章);李跃副教授(第15章);郭欣和倪卉翠合作完成经典统计和量子统计部分(第14章).

由于编者水平有限,书中难免有错误和不当之处,敬请使用本书的教师、学生和其他读者,提出宝贵意见.

钟江帆

2003年6月

策划编辑 刘 伟
责任编辑 刘 伟
封面设计 李卫青
责任绘图 郝 林
版式设计 马静如
责任校对 王效珍
责任印制 陈伟光

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581698/58581879/58581877

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn 或 chenrong@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

目 录

第一章 机械运动的描述	1
§ 1.1 描述质点运动的线量	1
一、位置矢量和轨道方程	1
二、位移矢量	2
三、速度矢量	3
四、加速度矢量	5
五、匀变速直线运动方程	9
六、抛体运动	10
§ 1.2 描述刚体转动的角量	11
一、角位置	12
二、角位移	12
三、角速度	13
四、角加速度	13
五、角量与线量的关系	15
小结	16
习题	17
第二章 质点动力学	20
§ 2.1 牛顿运动定律	20
一、牛顿三定律	20
二、牛顿定律的适用范围	22
§ 2.2 伽利略相对性原理和非惯性系	23
一、伽利略相对性原理	23
二、伽利略变换	24
三、非惯性系	25
§ 2.3 动量定理与动量守恒定律	27
一、质点的动量定理	28
二、质点系的动量定理 动量守恒定律	30
三、运载火箭的运动	32
§ 2.4 功 动能 动能定理	33
一、变力的功	33
二、质点的动能定理	34

§ 2.5 保守力 势能	35
一、保守力的功	35
二、势能	38
§ 2.6 功能原理与机械能守恒定律	39
一、质点系的功能原理	39
二、机械能守恒定律	41
三、能量守恒定律	42
小结	43
习题	44
第三章 刚体定轴转动的基本定律	47
§ 3.1 转动动能与转动惯量	47
一、转动动能	47
二、转动惯量	47
§ 3.2 角动量 力矩	51
一、角动量	51
二、力矩	53
§ 3.3 力矩的功与刚体定轴转动的动能定理	56
一、力矩的功	56
二、力矩的功率	56
三、刚体定轴转动的动能定理	57
§ 3.4 转动定律	59
§ 3.5 角动量定理与角动量守恒定律	62
一、质点角动量定理	62
二、质点角动量守恒定律	62
三、刚体角动量定理	64
四、刚体对定轴的角动量守恒定律	64
五、进动	65
§ 3.6 对称性与三大守恒定律	66
一、对称性	66
二、守恒律与对称性	67
小结	69
习题	70
第四章 静电场	74
§ 4.1 点电荷 库仑定律	74
一、电荷的量子化	74
二、点电荷和电荷密度	75
三、库仑定律	76

§ 4.2 电场 电场强度	77
一、电场	77
二、电场强度	77
三、场强叠加原理	78
四、场强的计算	78
§ 4.3 高斯定理	85
一、电场线	85
二、电通量	85
三、高斯定理	87
四、高斯定理的应用	89
§ 4.4 电场力的功 电势	94
一、电场力的功	94
二、电势 电势差	96
三、电势的计算	97
§ 4.5 电场强度与电势的关系	100
一、等势面	101
二、场强与电势的关系	101
§ 4.6 静电场中的电介质	104
一、电介质的极化	104
二、电介质存在时的高斯定理	107
三、静电场的基本方程	107
§ 4.7 静电场中的导体	108
一、导体的静电平衡条件	108
二、导体上电荷的分布	109
三、静电屏蔽	110
§ 4.8 电容器的电容	112
一、电容器的电容	112
二、电容器电容的计算	112
§ 4.9 电场的能量	115
一、带电体的能量	115
二、电场的能量	116
§ 4.10 静电现象的应用	118
一、静电除尘	118
二、石英晶体振荡器	119
小结	120
习题	121
第五章 恒定电流与稳恒磁场	126

§ 5.1 恒定电流	126
一、电流和电流密度	126
* 二、电流的连续性方程和恒定电流的条件	128
三、欧姆定律	129
四、电动势	131
§ 5.2 磁场和磁感应强度	132
一、磁现象	132
二、磁场	134
三、磁感应强度	134
§ 5.3 磁通量 磁场中的高斯定理	135
一、磁感应线	135
二、磁通量	136
§ 5.4 毕奥-萨伐尔定律	137
一、毕奥-萨伐尔定律	137
二、运动电荷的磁场	138
三、毕奥-萨伐尔定律的应用	139
§ 5.5 安培环路定律	144
一、安培环路定律	144
二、安培环路定律的应用	146
§ 5.6 安培定律及其应用	150
一、安培定律	150
二、磁场对载流线圈的作用	150
§ 5.7 洛伦兹力	154
一、洛伦兹力	154
二、带电粒子在磁场中的运动	155
三、霍尔效应	156
四、磁流体发电机	158
五、磁聚焦现象	158
* § 5.8 磁介质的磁化	160
一、物质的磁性	160
二、磁化强度矢量	161
三、磁场强度矢量	162
四、铁磁质的磁化规律	163
小结	165
习题	167
第六章 电磁感应与电磁场	171
§ 6.1 电磁感应基本定律	171

一、法拉第电磁感应定律	171
二、楞次定律	172
§ 6.2 动生电动势与洛伦兹力	173
一、动生电动势	173
二、动生电动势的计算	174
§ 6.3 感生电场与感生电动势	176
一、感生电场 E_k	176
二、感生电场的性质	177
§ 6.4 自感和互感	180
一、自感现象	180
二、互感现象	183
§ 6.5 涡流和趋肤效应	184
一、涡流	184
二、趋肤效应	185
§ 6.6 磁场的能量	186
§ 6.7 位移电流	188
§ 6.8 麦克斯韦方程组	190
小结	192
习题	193
主要参考书目	198

第一章 机械运动的描述

在物质多种多样的运动形式中,最简单最基本的运动是物体的位置随时间的改变,称为机械运动. 力学的研究对象就是机械运动的客观规律及应用. 本章首先给出描述质点运动的物理量(位置矢量、位移、速度、加速度等)随时间变化的规律,但不涉及变化的原因,称为质点运动学;其次给出描述刚体定轴转动的物理量(角位置、角位移、角速度、角加速度等)随时间的变化规律,称为刚体运动学.

§ 1.1 描述质点运动的线量

在研究的问题中,如果物体的线度和形状不起作用或所起的作用可忽略不计,我们就可把物体近似地看成是一个没有大小和形状的几何点,称为质点. 本节将要介绍的位置矢量、位移矢量、速度矢量和加速度矢量是描述质点运动的基本物理量,统称为线量.

一、位置矢量和轨道方程

为了描述运动质点的位置,如图 1-1 所示,我们选定一直角坐标系. 质点的位置 P 可用该点的三个坐标表示,也可用从原点 O 到 P 点的有向线段 r 表示,矢量 r 叫位置矢量,简称位矢或矢径. 坐标 x 、 y 、 z 就是位矢 r 在三个坐标轴的投影. 因而有

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

位矢的大小即 r 的模,为

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

位矢的方位可用方向余弦来确定,即

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

且有 $\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$, 可见方向余弦仅有两个是独立的.

位矢随时间变化的函数关系称为运动方程,可写成

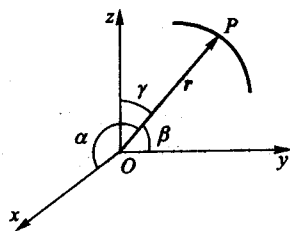


图 1-1

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

其分量式可写成

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t) \quad (1-5)$$

运动质点在空间经过的路径称为轨道. 从运动方程消去时间 t , 可得轨道方程.

例 1-1 一质点的运动方程为

$$x = 2\sin 5t \text{ (SI 单位)} \textcircled{1}$$

$$y = 2\cos 5t \text{ (SI 单位)}$$

求质点的轨道方程.

解 由以上两式可得

$$x^2 + y^2 = 4 \text{ m}^2$$

可见, 该质点是在 xy 平面作以原点为圆心, 半径为 2 m 的圆周运动.

二、位移矢量

如图 1-2 所示, 设 t 时刻质点位于 P 点, 其位矢为 $\boldsymbol{r}(t)$, 经过时间 Δt 后, 即 $t + \Delta t$ 时刻, 质点沿轨道运动到 Q 点, 相应的位矢用 $\boldsymbol{r}(t + \Delta t)$ 表示. 那么, 在 Δt 时间内, 质点的位置变化可用 P 到 Q 的有向线段 \overrightarrow{PQ} 表示, 称为质点的位移矢量, 简称位移. 位移矢量是由初位置 P 指向末位置 Q 的矢量.

由矢量的减法法则, 有

$$\overrightarrow{PQ} = \Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t + \Delta t) - \boldsymbol{r}(t)$$

若 P 、 Q 两点的位矢分别为

$$\boldsymbol{r}(t) = x_1 \boldsymbol{i} + y_1 \boldsymbol{j} + z_1 \boldsymbol{k}$$

$$\boldsymbol{r}(t + \Delta t) = x_2 \boldsymbol{i} + y_2 \boldsymbol{j} + z_2 \boldsymbol{k}$$

则位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 可表示为

$$\begin{aligned} \Delta \boldsymbol{r} &= (x_2 - x_1) \boldsymbol{i} + (y_2 - y_1) \boldsymbol{j} + (z_2 - z_1) \boldsymbol{k} \\ &= \Delta x \boldsymbol{i} + \Delta y \boldsymbol{j} + \Delta z \boldsymbol{k} \end{aligned} \quad (1-6)$$

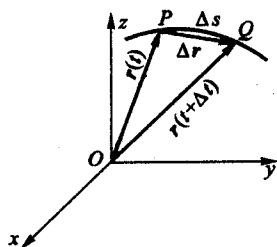


图 1-2

必须强调的是, 位移表示物体位置的改变, 是矢量. 它的大小为 $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 即 \overrightarrow{PQ} 的长度, 它的方向用 P 至 Q 的方位来表示. 而质点通过的路程 Δs 是标量, 它等

① 本书中, 凡方程之后括注“SI 单位”的, 表示方程中的各物理量采用的单位为 SI 单位. 大家知道 SI 单位包括 SI 基本单位 (米 (m), 千克 (kg), 秒 (s), 安培 (A), 开尔文 (K), 摩尔 (mol), 坎德拉 (cd), 共 7 个) 以及 SI 导出单位 (例如弧度 (rad), 球面度 (sr), 赫兹 (Hz), 牛顿 (N), 帕斯卡 (Pa), 焦耳 (J), 瓦特 (W), 库仑 (C), 伏特 (V), 法拉 (F), 欧姆 (Ω), 西门子 (S), 韦伯 (Wb), 特斯拉 (T), 亨利 (H), 摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$), 流明 (lm), 勒克斯 (lx) 等) 以及由这些单位与基本单位组合成的 SI 导出单位, 例如 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. 也就是说, SI 单位是国际单位制中由基本单位和导出单位构成一单位制的那些单位, 这些单位除质量的单位外, 均不带 SI 词头 (质量的 SI 单位为千克 (kg)).

于曲线 \widehat{PQ} 的长度.一般情况下,二者的大小并不相等.位矢和位移都是长度量,在国际单位制(SI)中的单位为米(m).

三、速度矢量

位移矢量仅反映了质点位置的变化,为描述质点位置变化的快慢和方向,我们引入速度矢量.

1. 平均速度

在图1-2中,如果质点在 Δt 时间内发生的位移为 Δr ,则 Δr 与 Δt 的比值称为质点在 Δt 时间内的平均速度,用 \bar{v} 表示,即

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

平均速度是矢量,其方向为 Δr 的方向,其大小为 $\frac{|\Delta r|}{\Delta t}$.平均速度是对质点速度的一种近似描述.

2. 瞬时速度

质点在某一时刻或某一位置的速度称为瞬时速度,简称速度,用 v 表示.由图1-3可见,当 Δt 逐渐减小而趋近于零时, Q 点逐渐趋近于 P 点.相应 \overrightarrow{PQ} 的方向趋于 P 点切线的方向,并指向质点运动的方向.用数学式表示为

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

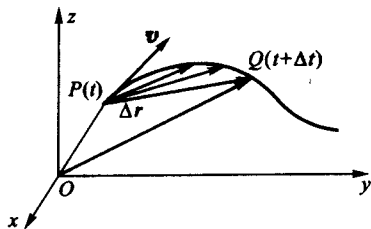


图1-3

即某时刻的瞬时速度等于时间趋于零时平均速度的极限值,它等于位矢对时间 t 的一阶导数.在直角坐标系中,速度矢量可表为

$$\begin{aligned} v &= \frac{dr}{dt} = \frac{d}{dt}(xi + yj + zk) \\ &= \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j + \frac{dz}{dt}k \\ &= v_x i + v_y j + v_z k \end{aligned} \quad (1-9)$$

其中 $v_x = \frac{dx}{dt}$, $v_y = \frac{dy}{dt}$, $v_z = \frac{dz}{dt}$. 速度的大小, 即 v 的模

$$|\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-10)$$

速度是矢量, 既有大小, 又有方向, 所以无论是速度的大小发生变化, 还是方向发生变化, 速度都发生了变化. 还应该指出的是, 同一运动质点对不同的参考系将有不同的速度, 这就是速度的相对性.

在描述质点的运动时, 我们常采用“速率”这个物理量. 速率是标量, 它等于质点在单位时间内通过的路程. 如图 1-2 所示, 质点在 Δt 时间内的平均速率为

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

由于曲线 \widehat{PQ} 的长度不等于线段 \overline{PQ} 的长度, 一般而言, 平均速率在数值上与平均速度不相等. 但在 Δt 趋近于零的极限条件下, 曲线 \widehat{PQ} 的长度 ds 与位移 \overline{PQ} 的长度 $|d\mathbf{r}|$ 相等, 所以瞬时速率就是瞬时速度的大小, 可表示为

$$v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} \quad (1-11)$$

速度和速率的单位相同, 在 SI 中, 均为米每秒 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

我们常把位矢 \mathbf{r} 和速度 \mathbf{v} (或动量 $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$) 称为描述质点运动的状态参量.

例 1-2 质点的运动方程为 $\mathbf{r} = 3t\mathbf{i} + 2t^2\mathbf{j} + 5\mathbf{k}$ (SI 单位), 试求:

- (1) 从 $t_1 = 1$ s 到 $t_2 = 2$ s 之间质点的位移大小;
- (2) 这段时间内质点的平均速度大小;
- (3) t_1, t_2 时刻质点的瞬时速度大小.

解 (1) 由运动方程知

$$\mathbf{r} \Big|_{t_1=1} = 3\mathbf{i} + 2\mathbf{j} + 5\mathbf{k}$$

$$\mathbf{r} \Big|_{t_2=2} = 6\mathbf{i} + 8\mathbf{j} + 5\mathbf{k}$$

所以

$$\Delta\mathbf{r} = 3\mathbf{i} + 6\mathbf{j}$$

$$|\Delta\mathbf{r}| = \sqrt{3^2 + 6^2} \text{ m} = 6.71 \text{ m}$$

$$(2) |\bar{\mathbf{v}}| = \left| \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} \right| = \frac{3\sqrt{5}}{2-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 6.71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$(3) \mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = 3\mathbf{i} + 4t\mathbf{j}$$

当 $t_1 = 1$ s 和 $t_2 = 2$ s 时, 速度矢量和速度大小分别为

$$\mathbf{v}_1 = 3\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$$

$$|\mathbf{v}_1| = \sqrt{3^2 + 4^2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\boldsymbol{v}_2 = 3\boldsymbol{i} + 8\boldsymbol{j}$$

$$|\boldsymbol{v}_2| = \sqrt{3^2 + 8^2} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} = 8.54 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

四、加速度矢量

当质点作曲线运动时,一般来讲,速度的大小和方向总是在不断地变化,为了定量描述各时刻速度矢量的变化,引入加速度的概念.

1. 平均加速度

设质点沿曲线轨道运动, t 时刻到达 P 点,速度为 $\boldsymbol{v}(t)$, $t + \Delta t$ 时刻到达 Q 点,速度为 $\boldsymbol{v}(t + \Delta t)$.如图1-4所示,在 Δt 时间内速度的增量为 $\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}(t + \Delta t) - \boldsymbol{v}(t)$.与平均速度的定义相似,定义 $\Delta \boldsymbol{v}/\Delta t$ 为 Δt 时间内的平均加速度 $\bar{\boldsymbol{a}}$,即

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

平均加速度只反映了 Δt 时间内速度的平均变化率.

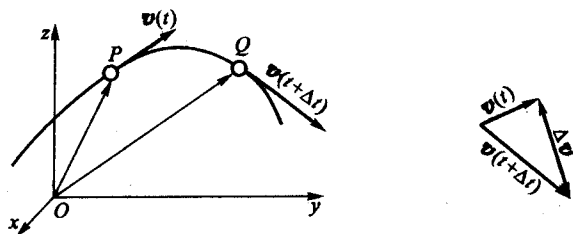


图 1-4

2. 瞬时加速度

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均加速度的极限值叫做瞬时加速度,用 \boldsymbol{a} 表示,有

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d^2 \boldsymbol{r}}{dt^2} \quad (1-13)$$

由式(1-13)可见,加速度 \boldsymbol{a} 是速度矢量对时间的一阶导数,或等于位置矢量对时间的二阶导数.它是某时刻质点(运动)速度变化程度的精确描述,一般可表示为

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}(t)$$

这恰好是其瞬时性的反映.

加速度也是一个矢量,它既反映了速度数值的变化,又反映了速度方向的变化.由于不同时刻速度的方向一般不同,所以速度增量 $\Delta \boldsymbol{v}$ 的方向与速度的方向一般不在同一直线上,即加速度方向不沿曲线的切线方向.由图1-4可以看出,