



高等院校物理类规划教材

新编大学物理

上册

• 主 编 桑建平 丁么明 丁世学

• 本 册 主 编 吴铁山

• 本册副主编 卢金军 杨正波



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



高等院校物理类规划教材

新编大学物理

上册

- 主 编 桑建平 丁么明 丁世学
- 本 册 主 编 吴铁山
- 本册副主编 卢金军 杨正波



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

新编大学物理. 上册/吴铁山本册主编;卢金军,杨正波本册副主编. —武汉:武汉大学出版社,2012.1

高等院校物理类规划教材

ISBN 978-7-307-09333-1

I. 新… II. ①吴… ②卢… ③杨… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 238491 号

责任编辑:任仕元

责任校对:黄添生

版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷:湖北金海印务有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 16 字数: 301 千字 插页: 1

版次: 2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-09333-1/O · 464 定价: 29.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用及其转化规律的自然科学。它的基本理论渗透在自然科学的各个领域,应用于生产技术的各个方面,是其他自然科学和工程技术的基础。

在人类追求真理、探索未知世界的过程中,物理学展现了一系列科学的世界观和方法论,深刻影响着人类对世界的基本认识、人类的思维方式和社会生活,是人类文明发展的基石,在人才的科学素养培养中具有重要的地位。

以物理学基础为内容的大学物理课程,是高等学校理工科各专业学生一门重要的通识性必修基础课。该课程所教授的基本概念、基本理论和基本方法是构成学生科学素养的重要组成部分,是一个科学工作者和工程技术人员所必备的。

大学物理课程在为学生系统地打好必要的物理基础,培养学生树立科学的世界观,增强学生分析问题和解决问题的能力,培养学生的探索精神和创新意识等方面,具有其他课程不能替代的重要作用。

本教材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制定的“理工科类大学物理课程教学基本要求”编写。教材注重陈述物理学的基本知识、基本概念、基本原理和定律,突出物理学的主要框架,在讲解经典物理和近代物理基础知识的同时,加强对物理原理在现代工程技术中应用的介绍;同时适度控制篇幅及内容的深度,以适应不同学校和专业在高等教育大众化的新形势下对大学物理课程改革的需要,为普通高等院校提供一套符合当前教学需求和便于实际教学的教材。

全书在编写过程中,主要突出了以下几个方面:

1. 表述力求简明易懂,并辅以生动有趣的事例,尽量避免繁琐的数学推导,以便激发学生的学习兴趣,提高学习效率。
2. 增加“物理沙龙”板块,主要介绍经典物理知识在工程技术中的最新应用以及近代物理发展前沿。
3. 例题和习题的选择以达到基本训练要求为度,避免难题和偏题,在例题选择上,加强了工程应用类及生活类题型的配置,以求加强应用能力的培养。

全书分上、下两册,共计 17 章。上册包括力学、热学、振动与波、狭义相对

论,下册包括电磁学、光学、量子物理初步。

全书还配有《新编大学物理学习指导》,学习指导书按上、下册教材目录的整体顺序,以章为单位编写。每章包括“基本要求”、“本章提要”、“重难点分析”、“典型题解”、“自测题”、“教材习题解答”等几个板块,以更好地方便教师教学和学生复习。

参加本教材编写工作的有吴铁山、张增常、卢金军、杨正波、柯璇、王军延、涂亚芳,全书的统稿工作由桑建平、丁么明和丁世学完成,武大出版社任仕元同志对全书进行编审并付出了辛勤劳动。

由于编者水平有限,加之时间紧迫,书中的疏漏和不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2011年12月

于武昌珞珈山

目 录

第 1 篇 力学

第 1 章 质点运动学	(3)
1.1 参考系 质点	(3)
1.2 质点运动的描述	(4)
1.3 运动学的两类问题	(11)
1.4 圆周运动的自然坐标描述与角量描述	(17)
1.5 相对运动	(26)
习题	(30)
第 2 章 质点动力学	(34)
2.1 牛顿运动定律	(34)
2.2 动量定理 动量守恒定律	(40)
2.3 功和能 机械能守恒定律	(49)
习题	(62)
第 3 章 刚体的定轴转动	(67)
3.1 刚体运动的描述	(67)
3.2 刚体的转动定理	(70)
3.3 刚体定轴转动中的动能定理	(80)
3.4 角动量 角动量守恒定律	(84)
习题	(89)
第 4 章 狭义相对论	(93)
4.1 牛顿力学时空观 狭义相对论产生的科学背景	(93)
4.2 狭义相对论的基本假设和时空观	(98)
4.3 洛伦兹变换	(107)

4.4 狭义相对论动力学基础	(112)
习题	(121)

第2篇 机械振动与波

第5章 机械振动	(127)
5.1 简谐振动	(127)
5.2 简谐振动的合成	(135)
5.3 阻尼振动 受迫振动 共振	(140)
习题	(146)
第6章 机械波	(150)
6.1 机械波的产生和传播	(150)
6.2 简谐波	(153)
6.3 波的能量	(155)
6.4 惠更斯原理 波的衍射	(159)
6.5 波的干涉	(160)
6.6 驻波	(163)
6.7 多普勒效应	(167)
习题	(171)

第3篇 热学

第7章 气体动理论	(177)
7.1 气体动理论的基本概念	(177)
7.2 理想气体的压强和温度的微观意义	(184)
7.3 能量按自由度均分定理	(188)
7.4 麦克斯韦速率分布律	(191)
7.5 分子的平均碰撞频率和平均自由程	(195)
* 7.6 气体内的迁移现象	(198)
习题	(203)
第8章 热力学基础	(206)
8.1 热力学基本概念	(206)
8.2 热力学第一定律	(209)
8.3 循环过程 卡诺循环	(220)

8.4 热力学第二定律	(228)
8.5 热力学第二定律的统计意义 熵	(232)
习题	(237)
 附录一 矢量	 (241)
 附录二 国际单位制(SI)	 (246)
 参考书目	 (248)

第 1 篇 力 学

自然界是由物质组成的,一切物质都在不停地运动着,物质运动中最简单、最普遍的形式之一就是机械运动。力学就是研究机械运动的规律及其应用的科学。何谓机械运动呢?一般将物体之间或同一物体各部分之间位置的相对变化称为机械运动。如宇宙中各种星体的运动,地面上的车行马走,工厂中的机器运转等都是机械运动。

力学是物理学的一个重要分支,从普通的机器到天体运动,从海流、大气到火箭、卫星的轨道控制,都需要经典力学精确计算。此外,经典力学向相关学科的渗透,又产生诸多新兴学科,如生物力学、地球力学、宇宙气体动力学、流体力学,等等,经典力学至今仍具有重要的地位。

力学可分为运动学、动力学和静力学。运动学研究物体运动时位置随时间变化的规律;动力学研究物体间的相互作用,以及这种相互作用所引起的物体运动状态变化的规律;静力学研究物体相互作用下的平衡问题。

第1章 质点运动学

运动学是从几何观点来研究和描述物体的机械运动,不考虑物体的受力情况。本章讨论质点运动学,在引入参考系、坐标系、质点等概念的基础上,介绍质点位置的确定方法及描述质点运动的重要物理量位移、速度和加速度,并讨论质点直线运动和曲线运动中这些量之间的关系以及质点运动方程的建立。

1.1 参考系 质点

1.1.1 参考系

运动是物质存在的形式,绝对静止的物体是不存在的。我们坐在教室里看黑板,感觉不到黑板在运动,事实上,我们和黑板都在伴随着地球自转及绕太阳公转,这就是所谓的运动的绝对性。尽管运动本身是绝对的,但是对运动的描述却又是相对的。因此,要描述物体的运动,必须指明是相对哪一个物体才有意义。我们将被选作参考的物体称为参考系。参考系的选择可以是任意的,主要视问题的性质和研究的方便。如一个星际火箭刚发射时,主要研究它相对于地面的运动,所以可选地面为参考系。但当火箭进入绕太阳运动的轨道时,为研究方便应选太阳为参考系。

为了定量描述物体在参考系中的位置,需要在参考系中建立坐标系。通常采用直角坐标系,根据需要也可选用其他坐标系,如自然坐标系、极坐标系、球坐标系等。坐标系选取恰当,则可以简化问题的处理,如研究直线运动,就取该直线为坐标轴,其上某一点为原点,这样选取对直线运动的研究最为方便。

1.1.2 质点

质点是具有一定质量而几何尺寸或形状可以忽略不计的物体。或者说,它是一个具有质量的点。它是力学中的理想化模型,其引入会使所研究的问题得到简化。质点保留了实际物体的两个主要特征:物体的质量和物体的空间位置。在如下情况下可以把物体当做质点对待。

(1) 物体做平动时,物体各点具有相似的轨道,相同的速度和加速度。因

而,只要研究其中一点的轨道、速度和加速度,就足以认识平动物体的全貌。据此,可以把平动物体简化为质点。

(2) 物体的几何尺寸比观察它运动的范围小许多,其形状和大小可以忽略。这时,也可把此物体看做质点。

同一物体在一个力学问题中可以被当做质点,而在另一个力学问题中却不一定能。例如地球,在研究它绕太阳的运转时,由于地球半径比起它和太阳之间的距离小得多,可以把它看成质点。但是,在研究地球本身的自转时,其上各点的运动情况大不一样,就不能再把它看成质点。

如果所研究的物体不能被当做一个质点处理,那么,可以把它看成是由许多质点组成的。这些质点的组合,称为质点系。分析这些质点的运动就可弄清整个物体的运动,因此,研究质点的运动是研究物体运动的基础。

1.2 质点运动的描述

对质点运动的研究,首先要建立描述量,下面将通过位置矢量、位移、速度及加速度四个基本描述量的引入来描述物体的运动。

1.2.1 位置矢量——描述质点空间位置的物理量

1. 位置矢量

要描述一个质点的运动,首先应表示出它在空间的位置。质点的位置可以用一个矢量来确定。在选定的参考系上建立直角坐标系,空间某一质点 P 的位置,可以从坐标原点 O 向 P 点作一矢量 r ,如图 1.1 所示, r 的端点就是质点的位置, r 的大小和方向完全确定了质点相对参考系的位置, r 称为位置矢量,简称位矢。

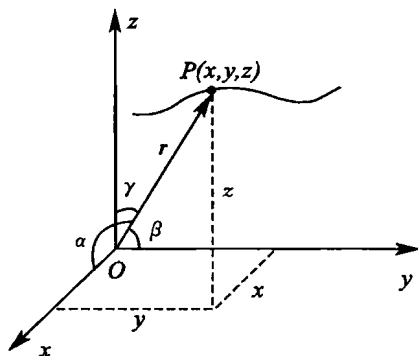


图 1.1 位置矢量

在直角坐标系中,若 P 点所在位置的坐标为 (x, y, z) , 则位矢可表示为

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \quad (1.1)$$

式中, $\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}, \boldsymbol{k}$ 表示沿 x, y, z 三个坐标轴正方向的单位矢量。

位矢的大小为

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

位矢的方向由其方向余弦确定

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

式中 α, β, γ 表示 $\boldsymbol{r}$ 与 x, y, z 三个坐标轴的夹角。

如果质点被限制在 xOy 平面内运动, 则位矢表示为

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j}$$

$\boldsymbol{r}$ 的大小为

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

$\boldsymbol{r}$ 与 x 轴正方向的夹角 α 满足

$$\tan\alpha = y/x$$

位置矢量的大小表示长度, 在国际单位制(以下简称为 SI) 中, 其单位为米(m)。

2. 运动方程

所谓运动, 就是质点的位置随时间的变化, 即位置矢量为时间 t 的函数, 数学上表示为

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) \quad (1.2)$$

式(1.2)称为质点的运动方程, 它反映了质点位置随时间的一种变化关系。

在直角坐标系中, 运动方程为

$$\boldsymbol{r} = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$$

如果用坐标分量来表示运动方程, 则可表示为

$$\begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \quad (1.3)$$

式(1.3)实际上就是质点在三个坐标轴上投影点的运动规律。

当质点在 xOy 平面内运动时, 其运动方程的分量式为

$$\begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \end{aligned}$$

如果质点在直线上运动, 则其运动方程分量式为

$$x = x(t)$$

值得注意的两点是: 其一, 若在式(1.3)中消除 t , 就可得到运动质点的轨迹

方程;其二,能用式(1.3)三个分运动来表示一个复杂的运动,是基于运动的叠加原理。

例 1.1 湖中有一小船,岸边有人用绳子跨过离水面高 h 的滑轮拉船靠岸,如图 1.2 所示,在开始收绳($t = 0$)时绳的长为 l_0 ,人以匀速 v_0 拉绳,试写出小船的运动方程。

解 建立如图所示的坐标轴 OX ,按题意,初始时刻($t = 0$),滑轮至小船的绳长是 l_0 ,此后某时刻 t ,绳长减少到 $l_0 - v_0 t$,此刻船的位置坐标是

$$x = \sqrt{(l_0 - v_0 t)^2 - h^2}$$

此式正是小船的运动方程,它给出了小船位置 x 随时间 t 变化的规律。

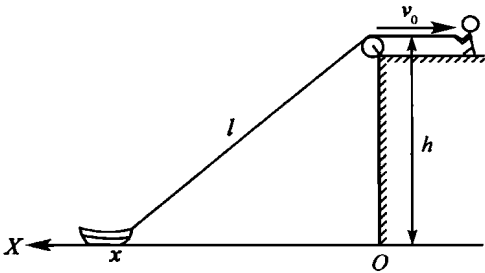


图 1.2

1.2.2 位移 —— 描述质点位置变动的大小和方向的物理量

如图 1.3 所示,质点做曲线运动,从 t 时刻到 $t + \Delta t$ 时刻,质点的位置由 A 点移到 B 点,其位置矢量由 r_1 变为 r_2 ,质点在 Δt 时间间隔内的位移可由初位置 A 点指向末位置 B 点的有向线段 Δr 来表示。该位移除表明质点从 A 点到 B 点位置变动的大小外,还表明 B 点相对 A 点的方位,显然,位移是矢量。由矢量运算得

$$\Delta r = r_2 - r_1 \tag{1.4}$$

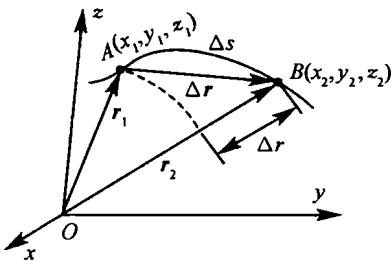


图 1.3 位移

在直角坐标系中,位移可表示为

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

位移的大小为 $|\Delta \boldsymbol{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$, 位移的方向是从 A 指向 B。

在 SI 中,位移大小的单位为米(m)。

应该注意:① 位移和路程是两个不同的概念。位移是矢量,只由质点的始末位置决定。路程是质点运动经历的实际路径(轨迹)的总长度,是标量。位移并不反映质点真实路径的长度,只反映位置变化的实际效果。一般情况下,位移的大小与路程并不相等,如图 1.3 中位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 相对应的路程是弧长 Δs ,显然 $|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta s$ 。当质点做直线运动时,位移的大小与路程相等。② 位移的大小 $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 与径向增量 Δr 的区别, $\Delta r = |\boldsymbol{r}_2| - |\boldsymbol{r}_1| = \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2} - \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}$, 所以一般情况下 $|\Delta \boldsymbol{r}| \neq \Delta r$ 。

1.2.3 速度 —— 描述质点位置变动的快慢和方向的物理量

1. 平均速度

质点在位置变动的过程中,位置变动的快慢和方向与两个因素有关,一个是位移 $\Delta \boldsymbol{r}$,另一个是完成该位移所用的时间 Δt 。比值 $\Delta \boldsymbol{r}/\Delta t$ 反映了质点在这段时间内位置矢量的平均变化率,称为平均速度,用 $\boldsymbol{v}$ 表示,即

$$\boldsymbol{v} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} \quad (1.5)$$

在直角坐标系中,平均速度表示为

$$\boldsymbol{v} = \bar{v}_x\boldsymbol{i} + \bar{v}_y\boldsymbol{j} + \bar{v}_z\boldsymbol{k}$$

式中各分量

$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad \bar{v}_y = \frac{\Delta y}{\Delta t}, \quad \bar{v}_z = \frac{\Delta z}{\Delta t}$$

平均速度是矢量。平均速度的方向就是 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的方向。由式(1.5)可见,平均速度与所取的时间长短有关,选不同的时间间隔,得到的平均量可能不一样(不仅大小不一样,方向也可能不一样)。可见平均速度只能粗略地描述某段时间间隔内物体运动快慢的大致情况。

2. 瞬时速度

为了精确地描述质点在某一时刻运动的快慢和方向,可将时间 Δt 无限减小,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速度的极限值就可以精确地描述 t 时刻质点运动的快慢与方向,这就是瞬时速度,简称速度,用 $\boldsymbol{v}$ 表示,即

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \quad (1.6)$$

上式表明,速度等于位置矢量对时间的一阶导数。

速度的方向,就是 Δt 趋于零时位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向。如图 1.4 所示,当 Δt 逐渐减小时, B 点移到 B' 、 B'' ,即 B 点向 A 点趋近, $\Delta \mathbf{r}$ 的方向就趋近于 A 点的切线方向。在 $\Delta t \rightarrow 0$ 的情况下,平均速度的方向亦即瞬时速度的方向,就是沿轨道质点所在点的切向,并指向质点前进的方向。

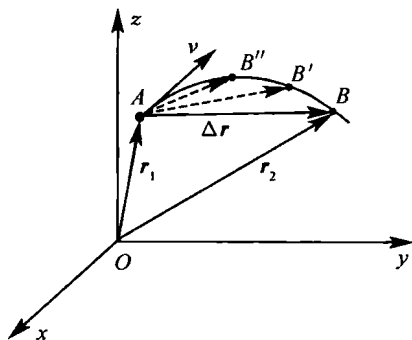


图 1.4 速度的方向

在直角坐标系中速度的大小

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

式中各分量 v_x, v_y, v_z 分别为

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

速度的方向由方向余弦表示

$$\cos\alpha = \frac{v_x}{v}, \quad \cos\beta = \frac{v_y}{v}, \quad \cos\gamma = \frac{v_z}{v}$$

在 SI 中,速度的单位为米·秒⁻¹ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。

这里要指出的是在描述物体运动快慢的时候,还用到平均速率 $\bar{v}$ 与瞬时速率 v ,它们是标量,恒为正值。平均速率由物体所经历的路程 Δs 与其所用时间 Δt 的比值来决定,即 $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$,由于 $\Delta s \neq |\Delta \mathbf{r}|$,所以平均速率与平均速度的大小并不相等,即 $\bar{v} \neq |\mathbf{v}|$ 。瞬时速率是平均速率 $\bar{v}$ 的极限值,即 $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} =$

$\frac{ds}{dt}$,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $ds = |d\mathbf{r}|$,所以瞬时速度的大小与同一时刻的瞬时速率相同。

从上面分析不难看出,速度和速率是两个不同的概念,应加以区别。

综上所述,速度具有矢量性和瞬时性。此外,由于运动的描述还与参考系的选择有关,所以速度还具有相对性。

速度既指出物体的运动方向,又反映了物体运动的快慢程度,所以,速度是运动学中描述物体运动状态的物理量。在表 1.1 中列出了一些物体运动的速度

参考值。

表 1.1

某些物体运动的速度参考值

大陆板块漂移速度	约 $10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	超音速飞机的速度	$3.40 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
男子百米跑速度 (世界纪录)	$1.04 \times 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	步枪子弹离开 枪口时速度	约 $7.9 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
猎豹奔跑速度	$2.8 \times 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	人造地球卫星 速度	约 $7.9 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
上海磁悬浮 列车行驶速度	$1.2 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	北京正负电子对 撞机的电子速度	99.999998% 光速
空气中声速(0℃)	$3.3 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	光子在真空中的 速度	$3.0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

1.2.4 加速度 —— 描述质点运动速度变化快慢的物理量

为了描述物体速度变化的快慢,引入了加速度的概念。加速度的定义方法与引入速度方法类似,先定义平均量,再用极限方法定义瞬时量。

1. 平均加速度

一般情况下,质点在运动中速度 v 的大小和方向都可能随时间变化,如图 1.5 所示,质点的运动轨迹为一曲线,时刻 t ,质点位于 A 点,速度为 v_1 ;时刻 $t + \Delta t$,质点位于 B 点,速度为 v_2 ,在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内,质点的速度增量为 $\Delta v = v_2 - v_1$, Δv 与 Δt 的比值称为质点的平均加速度,用 $\bar{a}$ 表示,即

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (1.7)$$

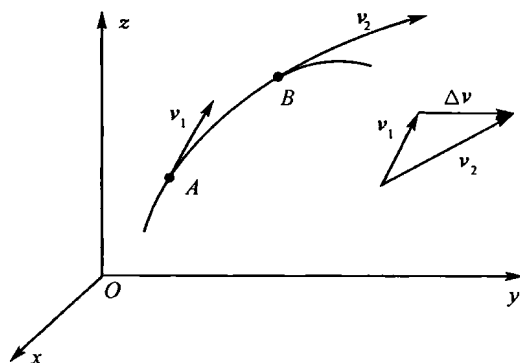


图 1.5 加速度方向