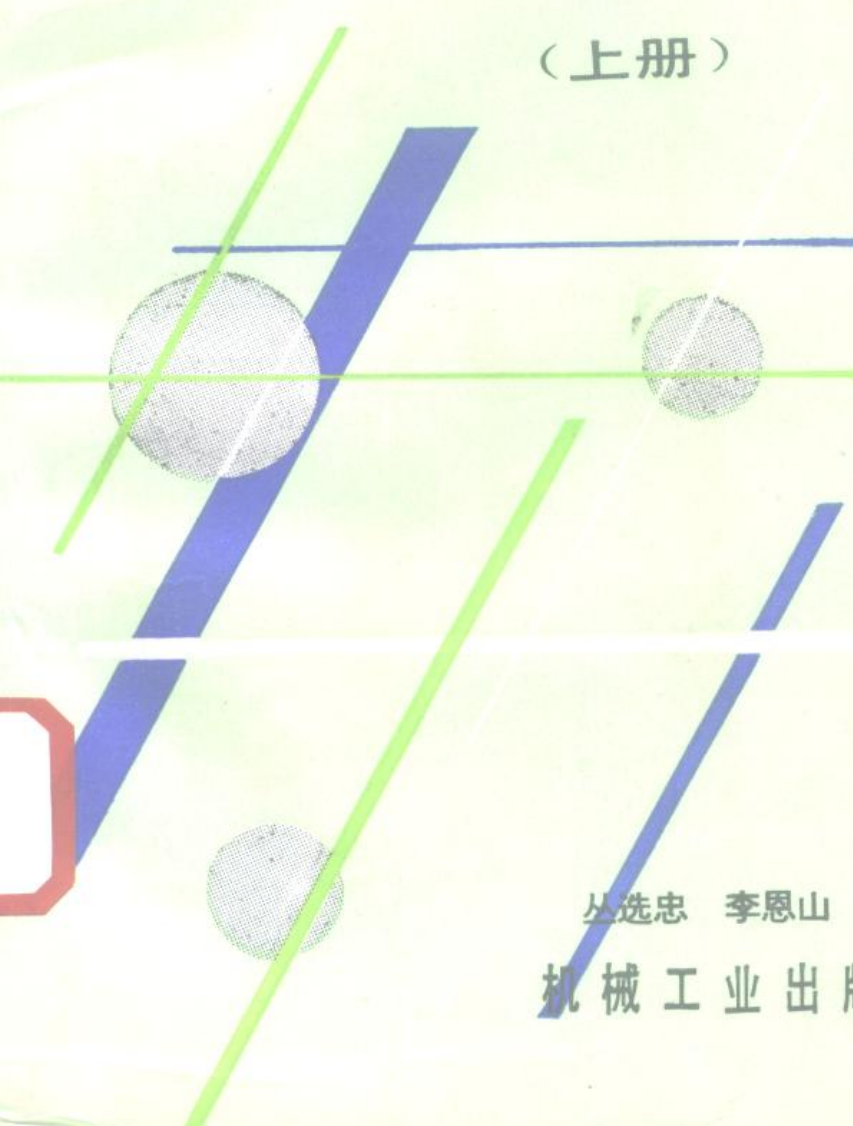


高等学校教材

# 大学物理教程

(上册)



丛选忠 李恩山 主编

机械工业出版社

高等学校教材

# 大学物理教程

(上册)

主 编 丛选忠 李恩山  
副主编 宋庆功 李海门 王俊  
主 审 陈荣金



机械工业出版社

## (京)新登字 054 号

本书是根据 1993 年公布的高等工业学校“大学物理课程教学基本要求修订稿”编写的,采用了全国自然科学名词审定委员会 1988 年公布的物理学规范名词和我国的法定计量单位。

全书分三册。上册包括力学、机械振动与机械波、热学,中册包括电磁学,下册包括波动光学和近代物理基础。全书可在 130~140 学时内授完。

本书可作为理工科大学和师范院校非物理专业的教材,也可作为电视大学、夜大、函授、成人教育的教材或参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程/从沁思,李燕仙主编. -北京:机械工业出版社, 1995.2

高等学校教材

ISBN 7-111-01576-4

I. 大… II. ①从…②李… III. 物理学-高等学校-教材  
IV. 04-43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 13447 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王世刚 版式设计:冉晓华 责任校对:张佳

封面设计:郭景云 责任印制:王国光

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1995 年 1 月第 1 版·1995 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm/32·9.375 印张·205 千字

0 001-7000 册

定价:8.90 元

# 前 言

以物理学基础知识为内容的大学物理课程,其所包括的经典物理、近代物理和物理学在科学技术上应用的初步知识等,是理工科大学和师范院校非物理专业大学生所必备的。因此,对这些专业而言,大学物理课程是一门重要的必修课。

大学物理课程的作用不仅在于为学生较系统地打好必要的物理基础,而且使学生初步了解科学的思想方法和研究问题的方法,开阔思路,激发探索和创新精神,增强适应能力。这对以后的工作和进一步学习新理论、新技术,不断更新知识,都将发生深远的影响。

本书是在多年教学实践的基础上,根据 1993 年公布的高等工业学校“大学物理课程教学基本要求修订稿”编写的,可供理工科大学和师范院校非物理专业教学使用。本书在编写中,力求做到:

在阐明物理基本概念、基本规律和基本方法的同时,尽可能多地介绍其在科学技术和日常生活中的应用,以说明物理学对科学技术发展的重要作用和与日常生活的紧密联系,提高学生解决实际问题的能力。

本书适当介绍一些物理学的前沿动向,使学生认识到物理学仍处在发展之中,以期拓宽视野,激发学好物理学的欲望。

本书讲究文字上的简明流畅,物理框架的清晰完整。注意在传授知识的同时,重视分析、解决问题的思路与方法的描

述。

有针对性地介绍一些著名物理学家的生平和物理学史，以求学生能从中受益。培养学生严谨治学、勤奋求实、开拓进取、勇攀高峰的精神。

各章的习题难易不同，供教学选用，书后附有习题答案。

书中标有\*号的章节和正文中的小字部分，是供选择学习的内容。

本书由唐山工程技术学院、唐山教育学院等院校联合编写。天津市高等学校教材工作研究会理事长、天津大学陈荣金教授主审。王凤鸣、屈振权、王家春、林声衡、魏环等参加了本书部分章节的编写。

由于编者学识有限，不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者 1994.8

# 目 录

## 前 言

## 第一篇 力 学

### 第一章 质点运动学

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第一节 参考系 质点 .....        | 3  |
| 第二节 位置矢量 运动学方程 位移 ..... | 4  |
| 第三节 速度 加速度 .....        | 7  |
| 第四节 直线运动 .....          | 11 |
| 第五节 平面曲线运动 运动叠加原理 ..... | 13 |
| 第六节 圆周运动 .....          | 20 |
| 第七节 相对运动 .....          | 23 |
| 习题一 .....               | 25 |

### 第二章 牛顿运动定律

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一节 牛顿运动定律 .....            | 28 |
| 第二节 几种常见力 .....             | 30 |
| 第三节 牛顿运动定律的应用 .....         | 34 |
| 第四节 惯性系与非惯性系 伽利略相对性原理 ..... | 38 |
| 习题二 .....                   | 43 |

### 第三章 功和能

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第一节 功 功率 .....         | 46 |
| 第二节 动能 动能定理 .....      | 52 |
| 第三节 保守力 势能 .....       | 55 |
| 第四节 功能原理 机械能守恒定律 ..... | 63 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 习题三 .....                 | 69  |
| <b>第四章 动量 角动量</b>         |     |
| 第一节 动量定理 .....            | 72  |
| 第二节 动量守恒定律 .....          | 80  |
| 第三节 质心运动定理 .....          | 85  |
| 第四节 火箭飞行原理 .....          | 86  |
| 第五节 质点的角动量 .....          | 88  |
| 习题四 .....                 | 97  |
| <b>第五章 刚体的定轴转动</b>        |     |
| 第一节 刚体运动学 .....           | 101 |
| 第二节 刚体对固定轴的角动量 转动惯量 ..... | 105 |
| 第三节 力矩 转动定律 .....         | 110 |
| 第四节 力矩的功 转动动能定理 .....     | 117 |
| 第五节 角动量守恒定律 .....         | 122 |
| 第六节 经典力学适用范围 .....        | 128 |
| 习题五 .....                 | 129 |

## 第二篇 机械振动 机械波

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b>第六章 机械振动</b>        |     |
| 第一节 简谐振动的基本特征 .....    | 135 |
| 第二节 描述简谐振动的物理量 .....   | 138 |
| 第三节 旋转矢量 .....         | 144 |
| 第四节 简谐振动的能量 .....      | 147 |
| 第五节 简谐振动的合成 .....      | 149 |
| 第六节 阻尼振动 受迫振动 共振 ..... | 155 |
| 习题六 .....              | 159 |
| <b>第七章 机械波</b>         |     |
| 第一节 机械波的产生和传播 .....    | 163 |
| 第二节 描述波的物理量 .....      | 166 |

|     |                   |     |
|-----|-------------------|-----|
| 第三节 | 平面简谐波的波函数 .....   | 168 |
| 第四节 | 波的能量和能流密度 .....   | 174 |
| 第五节 | 惠更斯原理 波的衍射 .....  | 179 |
| 第六节 | 波的叠加原理 波的干涉 ..... | 181 |
| 第七节 | 驻波 .....          | 185 |
| 第八节 | 声波 .....          | 188 |
| 第九节 | 多普勒效应 .....       | 190 |
| 习题七 | .....             | 193 |

### 第三篇 热 学

#### 第八章 气体动理论

|     |                         |     |
|-----|-------------------------|-----|
| 第一节 | 平衡态 理想气体物态方程 .....      | 200 |
| 第二节 | 理想气体的压强公式 .....         | 203 |
| 第三节 | 气体分子的平均平移动能与温度的关系 ..... | 206 |
| 第四节 | 能量均分定理 理想气体的内能 .....    | 208 |
| 第五节 | 麦克斯韦速率分布 .....          | 213 |
| 第六节 | 玻耳兹曼分布 .....            | 220 |
| 第七节 | 气体分子碰撞频率及平均自由程 .....    | 222 |
| 第八节 | 气体的输运现象及其规律 .....       | 225 |
| 习题八 | .....                   | 229 |

#### 第九章 热力学基础

|     |                           |     |
|-----|---------------------------|-----|
| 第一节 | 功 热量 内能 .....             | 232 |
| 第二节 | 热力学第一定律 .....             | 235 |
| 第三节 | 两种摩尔热容 .....              | 237 |
| 第四节 | 热力学第一定律对理想气体等值过程的应用 ..... | 239 |
| 第五节 | 绝热过程 .....                | 241 |
| 第六节 | 循环 卡诺循环 .....             | 246 |
| 第七节 | 热力学第二定律 .....             | 251 |
| 第八节 | 可逆过程与不可逆过程 .....          | 254 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第九节 卡诺定理 .....          | 256 |
| 第十节 嫡 .....             | 257 |
| 第十一节 热力学第二定律的统计意义 ..... | 262 |
| 习题九 .....               | 265 |
| 附录 A 矢量 .....           | 270 |
| 一、矢量定义 .....            | 270 |
| 二、矢量的加法和减法 .....        | 272 |
| 三、矢量的标积和矢积 .....        | 274 |
| 四、矢量的导数和积分 .....        | 276 |
| 附录 B 国际单位制 量纲 .....     | 278 |
| 附录 C 常用物理基本常量 .....     | 284 |
| 习题答案 .....              | 286 |
| 参考文献 .....              | 292 |

# 第一篇 力学

本篇所说的力学是指经典力学。力学是物理学的重要组成部分,也是自然科学中最先发展起来、理论体系最为完整的学科之一。力学的成就为包括物理学在内的整个自然科学的发展奠定了基础,促进了人类文明。

同其它自然科学一样,力学是人们在生产实践中逐步发展起来的。在我国古代,劳动人民就积累了相当丰富的关于力学的生产技术经验,对力学的某些科学概念、原理就有了一定认识。在《墨经》、《论衡》、《天工开物》等书中,就记载了关于力、滚动摩擦、功的概念等。

力学发展成为一门系统、独立的学科始于16~17世纪。到了17世纪后期,在生产的推动下,经过开普勒、伽利略、笛卡儿、惠更斯等人的努力,力学的实验基础已经建立起来。1687年牛顿出版了《自然哲学的数学原理》一书,把力学的发展推向了顶峰。经过牛顿的分析、总结和概括,提出了力学的基本定律,奠定了经典力学基础。在牛顿以后的100年里,力学在物理学中一直占着支配地位,并逐步开辟了流体力学、刚体力学、弹性力学、分析力学等一系列新的力学分支。

在物质的千变万化、各式各样的运动中,有一类是人们经常遇到的最简单、最基本的运动形式,这就是机械运动。机械运动是指物体间或物体各部分之间的相对位置的变化,力学所研究的就是机械运动规律及其应用。通常把力学分为运动学、动力学、静力学。运动学只研究物体运动过程中位置和时

间的关系；动力学所研究的是物体的运动与物体间相互作用的联系；静力学则研究物体在相互作用下的平衡问题，本书按动力学特例处理。

牛顿(Newton, 1642~1727 年, 英国) 物理学家、天文学家和数学家。1661 年入剑桥大学三一学院就读, 1668 年获硕士学位, 1669 年晋升为数学教授, 1672 年被选为英国皇家学会会员。牛顿一生在数学、天文学、物理学等方面都创造出惊人的奇迹。在数学方面, 建立了微积分学的基础和牛顿二项式定理。在天文学方面, 考察了行星运动规律, 解释了潮汐现象, 预言了地球不是正球体。在物理学领域, 建立了经典力学的基本定律, 发现了万有引力定律。在光学方面, 用三棱镜发现了白光分解成各种单色光的现象, 成为光谱分析的基础。关于光的本性, 他主张光的微粒说。主要著作是《自然哲学的数学原则》, 书中提出了作为动力学基础的三个运动定律。

# 第一章 质点运动学

质点运动学主要研究质点的运动状态及状态变化的描述方法,不涉及状态变化的原因。本章要求掌握位置矢量、位移、速度和加速度等表征质点运动状态和运动状态变化的物理量,借助于直角坐标系熟练地计算质点作圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度。

## 第一节 参考系 质点

**参考系和坐标系** 自然界任何物体都在不停地运动,绝对静止的物体是没有的。运动是物质存在的形式,是物质的固有属性,这就是物质运动的绝对性。然而,当我们研究某一物体的具体运动时,相对于不同参考物的运动状态又是不同的,这就是运动描述的相对性。因此,为了描述一个物体的运动情况,必须指明该物体的运动是相对于哪一个物体的,这个被选作参考的物体或物体系称为**参考系**。对参考系的选取,原则上是任意的。但是,在实际问题中,究竟选哪一个物体作参考系,要根据运动的性质和研究问题的方便而定。

为了定量确定物体相对于参考系的位置,需在参考系中选择一个与之固定的坐标系。恰当地选取坐标系,可使问题得到简化。在运动学中,经常采用的坐标系是直角坐标系,此外还有平面极坐标系、柱坐标系和球坐标系。

**质点** 任何实际的物体,大至宇宙中的天体,小至分子、原子以及基本粒子等,都具有一定的体积和形状。但是,如在

我们所研究的问题中,物体的体积和形状无关紧要,则就可以把该物体抽象成为一个只有质量而无大小和形状的理想模型。这种只有质量而无体积的理想模型称为**质点**。一个物体能否被视为质点,要根据物体运动的具体情况来确定。例如,研究地球绕太阳公转时,因地球到太阳的距离是地球直径的一万多倍,故可忽略地球上各点在公转运动中的差异,可将地球视为质点。而在研究分子热运动的各种能量时,尽管分子很小,却不能视为质点。

当一个物体不能看作质点时,如已知组成物体的各质点的运动情况,则将其叠加起来,便可得到整个物体的运动规律。所以,质点力学是整个力学的基础。

**时间和时刻** 时间和时刻是两个有着密切联系的不同概念。在运动学中,时刻是与质点某一位置相对应的,而时间(或说时间间隔)是与质点所走过某一段路程相对应的,即两个时刻的间隔表示一段时间。

## 第二节 位置矢量 运动学方程 位移

**位置矢量** 在选定参考系和坐标系之后,就可以定量描述质点在空间的位置。从坐标原点向质点的位置所引的有向线段叫做**位置矢量**,简称**位矢**。在直角坐标系中,如图 1-1 所示,位矢  $r$  的大小代表质点所处位置  $P$  到参考点  $O$  的距离, $r$  的方向代表质

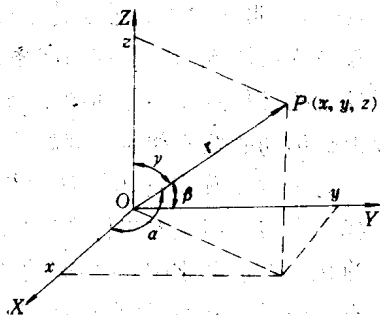


图 1-1 位置矢量

点相对坐标轴所处的方位。设  $P$  点的坐标为  $x, y, z$ , 则位置矢量  $\mathbf{r}$  可表示为

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

式(1-1)中,  $i, j, k$  分别为  $X, Y, Z$  轴的单位矢量。位置矢量  $\mathbf{r}$  的大小为

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

方向余弦为

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

式(1-3)中,  $\alpha, \beta, \gamma$  分别是  $\mathbf{r}$  与  $X, Y, Z$  轴正方向之间的夹角。

**运动学方程** 质点在空间运动时, 其位矢  $\mathbf{r}$  是随时间  $t$  变化的, 即

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

或写成分量形式

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

我们把质点位矢随时间变化的关系式(1-4)、(1-5)称为**运动学方程**。其矢量式(1-4)和分量式(1-5)所反映的物理内容是相同的。用矢量式描述物理定律, 不仅方程式的形式比较简洁, 而且方程式的形式具有不变性; 分量式是代数式, 更便于具体问题的计算。由式(1-5)消去  $t$ , 便可得到质点运动的轨道方程。质点运动

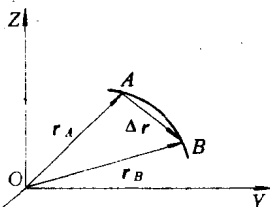


图 1-2 位移

轨道为直线时, 称为**直线运动**; 轨道为曲线时, 称为**曲线运动**。

**位移** 设质点沿曲线  $\widehat{AB}$  运动, 如图 1-2 所示。在  $t$  时刻位

于  $A$  点,位矢为  $r_A$ 。经过  $\Delta t$  时间,质点运动到  $B$  点,位矢为  $r_B$ 。从  $A$  点到  $B$  点所引的矢量  $AB$  称为质点在  $\Delta t$  时间内的位移。从图 1-2 看出,位矢  $r_B$  与  $r_A$  之差便是位移,记作  $\Delta r$ ,即

$$\Delta r = r_B - r_A$$

位移是矢量,其大小表示质点的末位置与初位置的距离,其方向表示质点末位置相对于初位置的方位。如将位移  $\Delta r$  用坐标分量表示,则有

$$\Delta r = (x_B - x_A)i + (y_B - y_A)j + (z_B - z_A)k \quad (1-6)$$

式(1-6)中的  $x_A, y_A, z_A$  和  $x_B, y_B, z_B$  分别为  $A, B$  两点的坐标。

应该指出:

(1)位移和路程是两个不同的物理量。位移  $\Delta r$  是矢量,表示质点位置的变化情况;而路程是标量,表示运动质点所经过轨道的长度。在量值上,位移的绝对值  $|\Delta r|$  和路程  $\Delta s$  一般也是不相等的,即  $|\Delta r| \neq \Delta s$ 。在特殊情况下,质点做单方向直线运动时,才有  $|\Delta r| = \Delta s$ 。质点做一般运动时,当  $\Delta t \rightarrow 0$ ,有  $\Delta r \rightarrow dr, \Delta s \rightarrow ds$ ,在这种情况下才有  $|dr| = ds$ 。

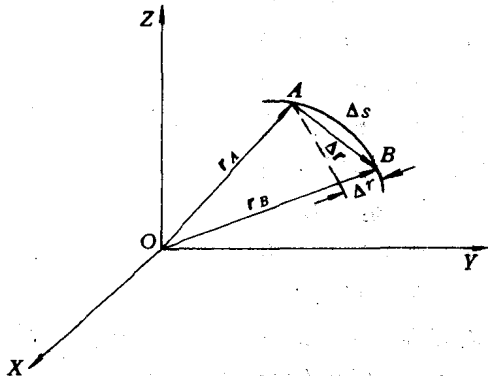


图 1-3 位移和路程

(2)位移的大小  $|\Delta r|$  和位矢长度的增量  $\Delta r$  也是不相等

的,即 $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta r$ ,如图 1-3 所示,在取极限时,也有 $|d\mathbf{r}| \neq dr$ 。在国际单位制(SI)中,位移的单位是米(m)。在本套书后面所述各物理量的单位,如无特别说明,均为国际单位制。

### 第三节 速度 加速度

**速度** 速度是描述质点运动快慢程度和运动方向的状态量。在一般情况下,质点在各个时刻或各个位置的速度是不相同的。为了描写质点在一段时间内或一段位移内运动的平均快慢程度和方向,我们首先引入平均速度的概念。

如果质点在 $t$ 到 $t+\Delta t$ 时间内的位移为 $\Delta \mathbf{r}$ ,则质点在这段时间内的平均速度定义为

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

平均速度是矢量,其方向和位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同,其大小为 $|\Delta \mathbf{r}|/\Delta t$ ,见图 1-4。

平均速度只是反映质点在一段时间里位移的平均变化。为了描述质点在某一时刻或某一位置的运动状态,须引入瞬时速度的概念。在平均速度定义中, $\Delta t$  越小,则在这段时间里的平均速度就越

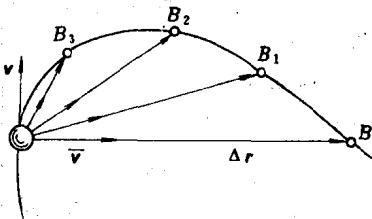


图 1-4 速度 $\mathbf{v}$ 的方向

接近 $t$ 时刻的真实速度,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均速度的极限就是 $t$ 时刻的瞬时速度,简称速度,即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-7)$$

由式(1-7)可知,质点运动的速度等于质点的位矢对时间的一

阶导数。速度是矢量,它的大小称为**瞬时速率**,简称**速率**。因为  $\Delta t \rightarrow 0$  时,  $|\mathrm{d}\mathbf{r}| = \mathrm{d}s$ , 所以速率为

$$v = |\mathbf{v}| = \frac{|\mathrm{d}\mathbf{r}|}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} \quad (1-8)$$

在直角坐标系中,将式(1-1)代入式(1-7),可得速度在直角坐标系下的表达式

$$\mathbf{v} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k} \quad (1-9)$$

其中速度分量式分别为

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}, v_y = \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}, v_z = \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$$

速度的大小为

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

速度  $\mathbf{v}$  的方向就是当  $\Delta t \rightarrow 0$  时,平均速度  $\Delta \mathbf{r} / \Delta t$  或位移  $\Delta \mathbf{r}$  的极限方向。当  $\Delta t$  逐渐减小趋于零时,  $B$  点逐渐趋近于  $A$  点,相应地割线  $AB$  逐渐趋近于  $A$  点的切线。所以,质点在某点的速度方向,就是轨道曲线在该点的切线方向。速度的单位是米每秒(m/s),见图 1-4。

**例题 1-1** 一质点在  $OXY$  平面内依  $x = 5t$ ,  $y = 5t^2$  的规律沿曲线运动,其中  $x$ 、 $y$  的单位是 m、 $t$  的单位是 s,求质点在:(1)第 2.0s 末到第 4.0s 末的位移;(2)第 2.0s 末的速度。

**解** (1)在  $t = 2.0\text{s}$  时,质点位置是  $x = 10\text{m}$ 、 $y = 20\text{m}$ ,在  $t = 4.0\text{s}$  时,质点位置是  $x = 20\text{m}$ 、 $y = 80\text{m}$ 。在这段时间内,位移分量为  $\Delta x = (20 - 10)\text{m} = 10\text{m}$ ,  $\Delta y = (80 - 20)\text{m} = 60\text{m}$ ,所以位移为

$$\Delta \mathbf{r} = \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} = 10\mathbf{i} + 60\mathbf{j}$$

位移的大小是

$$|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{10^2 + 60^2} \text{m} = 60.8\text{m}$$