

上海市高等专科学校教材

物理学

上册

上海市高等专科学校《物理学》编写组编

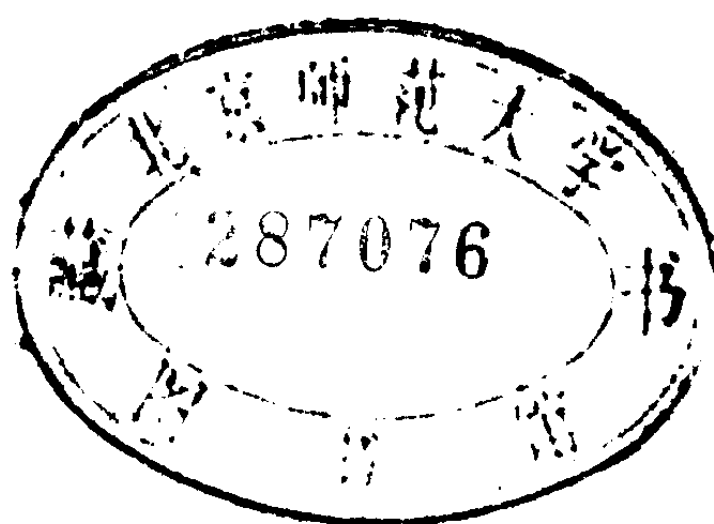
上海科学技术出版社

上海市高等工程专科学校教材

物 理 学

上 册

上海市高等工程专科学校
《物理学》编写组 编



上海科学技术出版社

内 容 简 介

本教材为适合高等工程专科学校需要,由上海医疗器械专科学校、上海纺织工业专科学校、上海轻工业专科学校、上海冶金专科学校、上海冶金专科学校分校、上海化学工业专科学校、上海电力专科学校和上海建筑材料工业专科学校等八所高等工程专科学校编写。全书共十七章,分上、下两册。上册九章,包括力学、简谐振动、平面简谐波、气体分子运动论、热力学基础等;下册八章,包括电磁学、波动光学、量子物理等。

本教材在选材和讲法上力求使之符合高等工程专科学校特点。在内容处理上,凡必须与中学物理重复的部分在叙述上力求简明、扼要,而对新内容、基本内容在叙述上要求清楚、透彻。此外,还精选了例题、习题和思考题,使之与教学内容紧密配合。

本教材可供高等工程专科学校学生使用,亦可供业余工科大学、电视大学等学生选用。

上海市高等工程专科学校教材

物 理 学

上 册

上海市高等工程专科学校

《物理学》编写组 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

总发行所上海发行所发行 上海市印刷四厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 9.375 字数 206,000

1985年6月第1版, 1985年6月第1次印刷

印数 1—16,000

统一书号: 13119·1249 定价: 1.55 元

前 言

近年来,我国高等工程专科学校有了很大的发展。鉴于在年制和培养目标方面,专科与本科有着明显的区别,因此编写适合专科学校的物理教材已成为各校的迫切要求。由上海市高等专科学校协作委员会倡导,在上海市高等教育局领导下,八所高等工程专科学校各选派一名教师于1983年3月组成了编写组,共同拟定了编写大纲和细目,反复讨论初稿,几经修改,历时一年多,最后定稿。

在编写过程中,参加编写组的人员深入本市各专科学校听取了广大物理教师的意见,并用书面形式征求了兄弟省市有关专科学校的意见;此外,还得到了华东化工学院周昌寿、上海交通大学胡盘新、朱咏春、同济大学宋开欣、严导淦、华东纺织工学院汤毓骏以及上海工业大学陈洪生等正、副教授的热情指导和帮助,对此我们一并表示衷心的感谢。

在编写的指导思想,我们既重视学习国内外各版本的物理教材,更重视各高等工程专科学校自己的教学经验。在选材和讲法上力求使之符合高等工程专科学校的实际情况。在内容处理上,凡必须与中学物理重复的部分在叙述上力求简明、扼要,而对新内容、基本内容在叙述上要求清楚、透彻,以便于学生自学。本书从第一章开始就使用了矢量运算和高等数学。但考虑到学生在学习物理时可能缺少微积分的基础,因此,在力学中,采取了由微小量求商过渡到导数以及由微小

量求和过渡到积分的步骤。本书注意了精选例题、习题和思考题,使之与教学内容能紧密配合。习题数量不多(比通常实际作业量略多一些),大多选用中等难度的题目,难度较大的题目很少。在书后附有全部习题答案。

本教材是按理论教学时数(包括测验、总结 10 学时) 100~120 学时编写的。书中对某些不是最基本的内容加了*号,对某些要求较高的内容使用了小号字,在处理上使这些内容具有相对的独立性,即使略去它们亦不至于影响教学的系统性。全书共十七章,分上、下两册。上册九章,包括力学、简谐振动、平面简谐波、气体分子运动论、热力学基础等;下册八章,包括电磁学、波动光学、量子物理等。

参加本书编写工作的有:史有庆(上海医疗器械专科学校)、庄全金(上海纺织工业专科学校)、吕荣海(上海轻工业专科学校)、朱培颐(上海冶金专科学校分校)、佟恒智(上海冶金专科学校)、汪堃生(上海化学工业专科学校)、林守牧(上海电力专科学校)、姜士荣(上海建筑材料工业专科学校)等同志,由佟恒智、林守牧负责定稿。

同济大学宋开欣同志在百忙中审阅了全稿,提出了许多重要的建议和修改意见,谨在此表示感谢。

由于本书系初次尝试,有待于在教学实践中逐步完善。限于水平,缺点和错误在所难免,希望采用本书的教师、学生和其他读者批评、指正。

上海市高等工程专科学校《物理学》编写组

一九八四年七月

目 录

(上 册)

绪论	1
第一章 质点运动学	4
§ 1-1 参考系 位置矢量 运动方程 质点	4
§ 1-2 位移 速度 加速度	7
§ 1-3 圆周运动	17
*§ 1-4 相对速度	26
*§ 1-5 运动方程的积分求法	27
思考题	32
习题	33
第二章 牛顿运动定律	37
§ 2-1 牛顿运动三定律	37
§ 2-2 牛顿运动定律的应用	43
§ 2-3 惯性系 力学相对性原理	51
思考题	55
习题	56
第三章 功与能	59
§ 3-1 功 功率	59
§ 3-2 保守力作功 势能	64
§ 3-3 动能 功能原理 机械能守恒定律	70
思考题	77
习题	78
第四章 动量	81
§ 4-1 动量与冲量 动量原理	81

§ 4-2 动量守恒定律·····	86
思考题·····	92
习题·····	93
第五章 刚体的转动·····	95
§ 5-1 刚体的定轴转动·····	95
§ 5-2 力矩 转动定律 转动惯量·····	98
§ 5-3 力矩的功 转动的动能定理 ·····	108
§ 5-4 角动量 角动量守恒定律 ·····	113
§ 5-5 经典力学的适用范围 狭义相对论简介 ·····	119
思考题 ·····	124
习题 ·····	126
第六章 简谐振动 ·····	130
§ 6-1 自由简谐振动 ·····	130
§ 6-2 简谐振动的矢量图示法 周相差 ·····	143
§ 6-3 简谐振动的能量 ·····	150
§ 6-4 简谐振动的合成 ·····	156
思考题 ·····	163
习题 ·····	165
第七章 平面简谐波 ·····	169
§ 7-1 机械波的产生和传播 ·····	169
§ 7-2 平面简谐波 ·····	175
§ 7-3 简谐波的能量 ·····	183
§ 7-4 惠更斯原理 ·····	189
§ 7-5 波的迭加原理 波的干涉 ·····	193
§ 7-6 驻波 ·····	199
*§ 7-7 多普勒效应 ·····	204
思考题 ·····	207
习题 ·····	208
第八章 气体分子运动论 ·····	213
§ 8-1 气体的状态参量 ·····	214
§ 8-2 理想气体的状态方程 ·····	219

§ 8-3	理想气体的压力公式	222
§ 8-4	气体分子的平均平动动能与温度的关系	226
§ 8-5	能量按自由度均分原理 理想气体的内能	229
*§ 8-6	气体分子的速率分布	234
*§ 8-7	真实气体	241
	思考题	244
	习题	245
第九章	热力学基础	248
§ 9-1	热力学第一定律	248
§ 9-2	热力学第一定律对理想气体等值过程的应用	253
§ 9-3	绝热过程	263
§ 9-4	循环过程	266
§ 9-5	卡诺循环	271
*§ 9-6	热力学第二定律	275
	思考题	277
	习题	279
附录 I	国际单位制(SI)简介	282
附录 II	常用物理基本常数表	284
	习题答案	285

绪 论

自然科学,包括物理学在内,是以认识物质世界的基本属性,研究物质运动的基本规律为对象的。我们周围所有的客观实物和场都是物质。整个自然界是由各种各样运动着的物质所组成。大至天体,小到微粒,原子,电子,以及光和其他的电磁辐射,引力场等皆为物质。一切物质都在不断地运动着,变化着,自然界一切现象都是物质运动的表现。物质运动的形式是多种多样的,它们既服从共同的普遍规律,又各自具有其独特的规律,对各种不同的物质运动形式的研究,形成了自然科学的各个分支。

物理学所研究的是物质运动中最基本和最普遍的形式,包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等等。这些最基本的运动形式普遍存在于其他高级的、复杂的物质运动形式之中,因此,物理学所研究的规律具有极大的普遍性。可以认为,物理学是除数学以外,一切自然科学的基础,也是当代工程技术的重大支柱。

物理学对促进技术的进步和生产的发展起着重要作用。在十七、十八世纪,由于牛顿力学的建立和热力学的发展,有力地推动了蒸汽机的研制和机械工业的发展。到了十九世纪,在法拉第-麦克斯韦电磁理论的推动下,人们制造了电机、电器和各种电讯设备,引起工业电气化,使人类进入应用电能的时代。二十世纪以来,由于相对论和量子力学的建立,人们对

原子、原子核的认识日益深入,实现了原子核能和人工放射性同位素的利用,促成了半导体、激光等新兴技术的发明。现代物理学已成为基础科学中发展最快、影响最深的一门学科。它在发掘新能源、新材料以及革新工艺过程、检测方法等方面,都提供了丰富的实验资料和理论根据,大大地发展了生产力。

物理学是工科类高等专科学校的一门重要基础课。学生应该牢固地掌握物理学的基本理论和基本知识,深刻地理解物理规律的意义,并在实验技能和运算能力以及抽象思维能力等方面受到严格的训练,提高分析问题和解决问题的能力,为今后学习专业知识及近代科学技术打下必需的物理基础。学习物理学,应着重于理解,学会分析、应用,不应满足于死记某些重要结论。高等专科学校肩负着培养又红又专的各类专门人材的重任。要使我们培养的工程技术人员能在飞速发展的科学技术面前有所创新、有所前进,对实现我国的四个现代化作出较大贡献,就必须了解自然界中许多最基本的规律,加强基础理论的学习。如果没有一定的物理学知识,就不能顺利地研究其他自然科学和各类工程技术科学,难以了解现代科学技术上重大成就。现代尖端技术中有不少课题与近代物理有关。近代物理对科学技术的发展和应用日趋重要,因而在工科类高等专科学校的物理教学中应占有一定的地位,它对丰富学生的知识、开阔眼界和活跃思想将起到良好的作用。

学习物理学,除了要学习物理学中所讲的各种规律外,还必须注意学习物理学的研究问题的方法。物理学的理论,就是通过观察、实验、抽象、假说等研究方法,并通过实践的检验而建立和发展起来的。这是以辩证唯物主义的认识论为指导的科学方法。

观察和实验是科学研究的基本方法。观察是对自然界中

所发生的现象,在不改变自然条件的情况下,按照它原来的样子加以观测研究。实验是在人工控制的条件下,使现象反复重演,进行观测研究。在实验中,常常把复杂的条件加以简化,突出主要因素,排除或减低次要因素的作用,这是一种非常重要的研究方法。物理定律都是实验事实的总结。在物理研究中,提出理想模型也是十分重要的。根据问题的内容和性质,抓住主要因素,撇开次要、局部和偶然的因素,建立一个与实际情况差距不大的理想模型来进行研究,这是一种抽象方法。例如,“质点”、“点电荷”、“刚体”和“理想气体”都是物体在各种不同情况下的理想模型。为了寻找事物的规律,对于现象的本质常常提出一些说明或基本论点等,统称为假说,例如,物质结构的分子原子假说和量子假说等。假说在一定范围内经过不断的考验和进一步实验的检验,证明为正确的,最后上升为理论,或是理论的一部分;证明是错误的,则被放弃。在科学认识的发展过程中,假说是很重要的甚至是必不可少的一个阶段。

从观察、实验、抽象、假说以至形成理论,物理学的研究并没有结束。理论将继续受到实践的检验。如果在实践中发现的新事实与原有理论发生矛盾,原有理论就必须修改甚至放弃,而建立更能反映客观实际的新理论。例如,相对论的时空观和物质的波粒二象性的确立都是重要的实例。

学生在学习物理学的过程中,若能注意学习物理学的研究方法,对提高分析问题和解决问题的能力是大有益处的。

第一章 质点运动学

力学是研究物体运动以及引起这种运动状态变化原因的科学。这里所指的运动是机械运动，就是一物体相对于另一物体的位置变化，或者是物体中某部分相对于其他部分的位置变化。本章主要讨论的内容是：速度及加速度这两个基本概念，并结合圆周运动着重阐明它们的瞬时性、矢量性。最后介绍运动过程中位置与时间的关系式，即运动方程的建立。至于引起运动状态变化的原因，将在下章中讨论。

§ 1-1 参考系 位置矢量 运动方程 质点

一、参考系

自然界中所有的物体都在不停地运动，绝对静止不动的物体是没有的。如放在桌上的书相对桌面是静止的，但它却随地球一起绕太阳转动。这就是运动的绝对性。在这样错综复杂的运动中，要描述一个物体的机械运动，确定它在空间的位置或运动状态，必须选择另一个物体作为参考，才能观察和研究该物体相对于另一物体的运动情况，这个被选作参考的另一物体，就叫做参考系（或参照系）。应该指出，选取不同的参考系，对同一物体运动的描述就不一样。例如在一平直道路上匀速行驶的车辆中，坐着的乘客相对于车辆是静止不动的，而

相对于道路旁某一固定建筑物,乘客位置是在变化的。因此,相对于这两个不同的参考系(车辆与固定建筑物),对乘客的运动的描述,一是静止,位置不随时间变化;一是运动,位置随时间而变化。所以描述物体运动状态,需要说明相对于哪一个参考系。在不同的参考系中,同一物体的运动情况的描述是不同的,这一事实,称做运动的相对性。

参考系如何选择要根据问题的性质和研究的方便与否来确定,一般说来,研究物体在地面上的运动,都选择地球作为参考系。在本书中,除特别指明外,都选择地球作为观察物体运动的参考系。

为了定量地描述物体位置的变化和运动情况,还需要在参考系上固定一个坐标系。常用的是直角坐标系,它是在参考系上选定一点作为坐标系原点,通过原点作三条附有标度的、相互垂直的有向直线作为三个坐标轴(X 轴、 Y 轴、 Z 轴)。按照需要,当然也可以选用其他坐标系来研究物体的运动。

二、位置矢量

在图 1-1 所示的直角坐标系中,设有一点 P , 它的位置可由自坐标系原点 O 指向 P 点的有向线段 $\mathbf{r}$ 来表示, 这个有向线段叫做位置矢量或矢径。若 P 点的位置矢量 $\mathbf{r}$ 在 X 、 Y 和 Z 轴上的投影(即坐标)分别为 x 、 y 、 z 则位置矢量可表示为

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

式中 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 分别为沿 X 、 Y 和 Z 轴

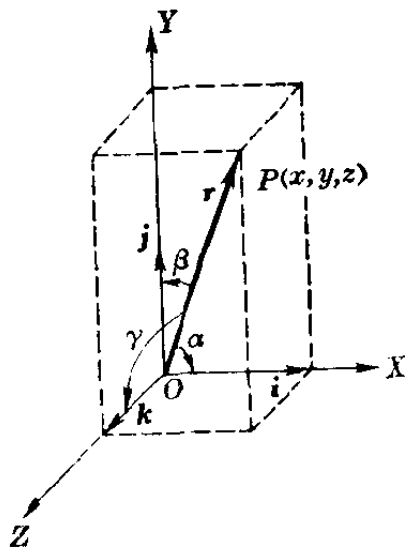


图 1-1 位置矢量

正方向长度为 1 的单位矢量。位置矢量的大小，或称矢量 $\mathbf{r}$ 的模为

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

位置矢量 $\mathbf{r}$ 的方向余弦可由下式确定

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{x}{|\mathbf{r}|}, \\ \cos \beta &= \frac{y}{|\mathbf{r}|}, \\ \cos \gamma &= \frac{z}{|\mathbf{r}|}, \end{aligned} \right\} \quad (1-2b)$$

式中 α 、 β 、 γ 分别是 $\mathbf{r}$ 与 X 、 Y 和 Z 轴之间的夹角（取小于 π 值）。不仅位置矢量，任一矢量的大小和方向余弦都能用 (1-2) 式类似地表示。

三、运动方程

P 点运动时，位置矢量 $\mathbf{r}$ 将随时间 t 而变化，则 $\mathbf{r}$ 是时间 t 的函数，即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t). \quad (1-3a)$$

P 点作不同的运动时， $\mathbf{r}$ 和 t 的函数关系不同，一般把 $\mathbf{r}$ 随 t 变化的关系式叫做 P 点的运动方程。

运动方程也可写成

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k}, \quad (1-3b)$$

其中 $x(t)$ 、 $y(t)$ 和 $z(t)$ 分别是 P 点位置坐标 x 、 y 和 z 随时间 t 变化的关系式。例如 P 点从原点 O 开始沿 X 轴作平抛运动，选用图 1-1 坐标系，应用中学物理知识，可知其运动方程为

$$x = v_0 t, \quad y = -\frac{1}{2} g t^2$$

或

$$\mathbf{r} = v_0 t \mathbf{i} - \frac{1}{2} g t^2 \mathbf{j}.$$

P 点的轨迹方程可由上式 x 、 y 中消去 t 求得，即为

$$y = -\frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_0} \right)^2.$$

可见它的轨迹是一条抛物线.

四、质点

有了坐标系就可以定量地描述物体的运动, 但物体有大小和形状, 在运动中物体上各点的位置变化一般各不相同, 要逐点描述清楚, 不是一件容易的事情. 在某种情况下, 根据所研究的问题, 往往可以将物体的大小和形状忽略不计, 而把物体当作一个有一定质量的点. 这样抽象化后的物体模型就叫做质点. 例如: (1) 研究太阳系中行星运行时, 由于行星的直径比行星绕太阳运行的轨道半径小得多(地球绕太阳公转的平均半径大约是地球本身直径的 10^4 倍), 所以研究行星公转时, 可以将行星看作一个质点. (2) 升降机运动时, 若升降机上各点的运动情况相同, 则任一点的运动都能够代表整体的运动, 在这种情况下, 就可以忽略升降机的大小和形状而视它为质点. 至于一个物体是否能看作质点, 完全取决于问题的性质, 在研究地球自转时, 显然不能把地球当作一个质点. 又如一个极小的原子, 在研究其内部的结构时, 也不能看作质点. 在不能把所研究的物体当作质点时, 常把整个物体看作是由许多质点所组成的, 分析这些质点的运动, 就可以了解整个物体的运动. 在力学内容中, 除刚体的定轴转动一章外, 其他各章都是把物体当作质点来研究的.

§ 1-2 位移 速度 加速度

一、位移

质点运动时, 在坐标系中相应地描绘出的路径叫做轨迹.

轨迹是直线，叫做直线运动，轨迹是曲线就叫做曲线运动。

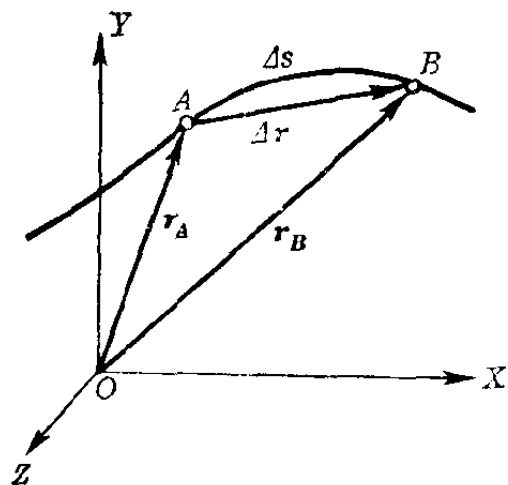


图 1-2 位移

图 1-2 表示一质点作曲线运动时，经过一段时间，由轨迹上的 A 点到达 B 点。在坐标系中的矢径由 $\mathbf{r}_A$ 变成 $\mathbf{r}_B$ ，位置矢量的大小和方向都发生了变化。我们用始点 A 和终点 B 间的直线距离 AB 来表示质点位置变化的大小，并在直线段上画一从 A 点

指向 B 点的箭头表示该段直线在空间的方位，这个具有大小和方向的直线段就叫做位移，用 $\Delta\mathbf{r}$ 表示。从矢量加减法知道

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A. \quad (1-4a)$$

上式说明，位移 $\Delta\mathbf{r}$ 等于终止时刻和初始时刻位置矢量的矢量差，也就是在此段运动时间内，矢径 $\mathbf{r}$ 的增量，所以用 $\Delta\mathbf{r}$ 表示，由式 (1-1)，可将 A、B 两点的位置矢量 $\mathbf{r}_A$ 和 $\mathbf{r}_B$ 写成

$$\mathbf{r}_A = x_A\mathbf{i} + y_A\mathbf{j} + z_A\mathbf{k},$$

$$\mathbf{r}_B = x_B\mathbf{i} + y_B\mathbf{j} + z_B\mathbf{k}.$$

于是，位移矢量 $\Delta\mathbf{r}$ 亦可写成

$$\begin{aligned} \Delta\mathbf{r} &= (x_B - x_A)\mathbf{i} + (y_B - y_A)\mathbf{j} + (z_B - z_A)\mathbf{k} \\ &= \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k}. \end{aligned} \quad (1-4b)$$

在图 1-2 中，质点在运动过程中实际通过的路程的长度，即弧长 $\widehat{AB}$ 叫做路程，路程只有大小，没有方向。应当注意，位移是描述质点位置变化大小和方向的物理量，并非质点所经历的路程，例如物体在地面上沿半径为 r 的圆周运动一周时，路程是 $2\pi r$ ，可是物体的位置无变化，所以位移是零，只有沿一个方向作直线运动时，物体的位移大小和路程才相等，在

其他情况下, 切莫混淆位移和路程这两个量. 在国际单位制(SI)中, 位移和路程的单位都是米(m).

二、速度

在图 1-3 中, 若质点在 t 时刻, 处于 A 点, 在 $(t+\Delta t)$ 时刻, 处于 B 点, 即在 Δt 时间内质点的位移是 $\Delta \mathbf{r}$. 于是, 把质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与所经历的时间之比, 叫做平均速度, 用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示, 则有

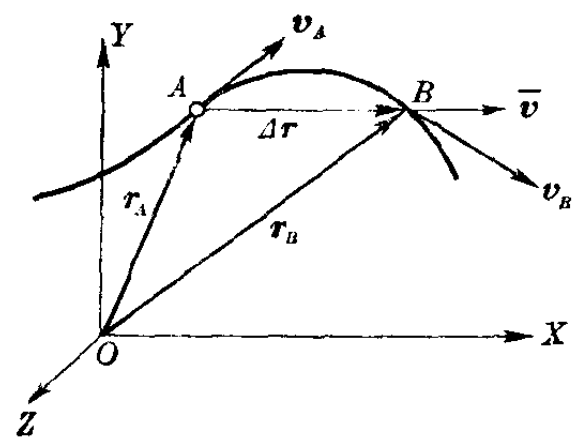


图 1-3 速度

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}. \quad (1-5)$$

物体的平均速度是矢量, 它的方向与位移 $\Delta \mathbf{r}$ 方向相同, 在图 1-3 中, 就是曲线的割线上 A 指向 B 的方向. 平均速度与所取的时间 Δt 的长短有关, 所以说到平均速度时必须指明是哪一段时间内的平均速度.

某段时间中的平均速度是其单位时间内的平均位移, 它只能粗略描述该段时间内质点的运动情况. 若要精确地描述, 则应知道该段时间内质点每一时刻的运动情况.

仍以图 1-3 所示质点运动为例, 若 B 点比较接近于 A 点, 则位移 $\Delta \mathbf{r}$ 较小, 相应地, 从 A 点到 B 点所需要的时间 Δt 也较短, 这样它的平均速度就较接近于质点通过 A 点处的真实情况. 当时间 Δt 取得越来越短而趋近于零时, B 点趋近于 A 点, 相应地 $\Delta \mathbf{r}$ 也趋近于零, 这时, 平均速度 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 趋近于某一极限, 这个极限就是质点通过 A 点的瞬时速度, 简称速度, 用字母 $\mathbf{v}$ 表示, 则有