



“十一五”规划教材

大学物理

主 编 李甲科
副主编 王芝云
编 者 刘 萍 俞晓红 崔子明
焦春红 李普选



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

04/340

2008



“十一五”规划教材

大学物理

主 编 李甲科
副主编 王芝云
编 者 刘 萍 俞晓红 崔子明
焦春红 李普选



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书以教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会制定的《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》为依据,针对工科人才培养的目标编写。全书由力学、热学、电磁学、光学、近代物理和专题共六部分 16 章组成,较系统地介绍了物理基本概念和规律,注重物理知识在工程实际中的具体应用,具有理论基础较系统宽厚,经典强化而近代突出的特点,有利于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,提高学生的科学素质。

本书可作为 70~110 学时的工科各专业大学物理课程的教材使用,也可供其他专业师生和工程科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/李甲科主编. —西安:西安交通大学出版社,
2008.2

ISBN 978-7-5605-2630-0

I. 大… II. 李… III. 物理课-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 194314 号

书 名 大学物理
主 编 李甲科
责任编辑 叶 涛

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029) 82668280
印 刷 陕西丰源印务有限公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 30.875 字数 576 千字
版次印次 2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-2630-0/O·271
定 价 38.60 元

读者购书、书店添货如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdgy31@126.com

版权所有 侵权必究

西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG DAXUE CHUBANSHE

前 言

物理学是研究物质的基本结构、基本运动规律以及基本相互作用的科学。物理学的基本理论渗透到自然科学的各个门类,应用于生产领域的各个部门。物理学所展现的认识论和方法论,在人类追求真理、探索未知世界的过程中,具有普遍的意义。所以物理学是整个自然科学和工程技术的基础。

大学物理课程是高等学校重要的基础理论课。它在为学生打好必要的物理基础,培养学生的科学世界观,提高学生分析问题和解决问题的能力,增强学生探索精神和创新意识等方面具有其他课程不能替代的作用,在培养人才的科学素质方面具有非常重要的地位。

本书是根据教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会2004年制定的《非物理类理工学科学大学物理课程教学基本要求》编写的。在内容的选取上,基本上是以要求中的A类为主,即以基本概念规律、典型现象和应用为主体内容。对于要求中的B类,考虑到目前各院校教学时数的实际,只选取了一些与工科专业关系密切的内容,如流体力学。本书注重物理思想方法的介绍,体现内容的现代化和先进性,较系统、完整地介绍了物理学的基本理论,涵盖了最重要的基本概念、基本原理和基本规律,反映了物理知识在工程技术中的实际应用。在基本保证经典内容系统性的前提下,适当加强和拓展了近代物理的内容,并将物理学在现代科学技术中应用的一些新理论,如固体的能带结构、半导体的导电机理、超导和激光作为专题单独成章。以使专题与基本内容互补,展现基本完整的物理学框架。书中还附有一些反映物理知识在科研、生产和生活中具体应用的图片和照片,以使图文并茂,开阔学生的知识视野,激发学生的学习热情和求知欲望,增强学生科学观察和思维的能力。

作为教材,应力求做到教师好教、学生易学。为此,我们在概念的叙述上尽量言简意明、公式推导时尽量简捷,定理证明上尽量简化。为增强适应性,满足不同教学选择的需要和学有余力学生的需求,本书还安排了一些以“*”号为标记的弹性内容,作为正文的延伸或补充。各学校可根据各自的办学性质、专业特点、人才培养目标以及教学实际,适当选择讲授。“*”号内容无论讲授与否,都不破坏知识的系统性和连贯性。另外,还精选了较多应用所学理论解决实际问

题的例题。在求解例题的过程中,注重解题思路、方法的分析和介绍、归纳和总结。各章后都有一定数量的复习思考题和习题。

全书由力学、热学、电磁学、光学、近代物理和专题共六部分 16 章组成,可供 70~110 学时的工科各专业大学物理课程使用。

本书由西安交通大学李甲科教授统稿任主编,王芝云辅助统稿任副主编。编写人员为王芝云(第1、2、3、4、5、6章),俞晓红(第7、8章),崔子明(第9、10、11章),刘萍(第12、13章),李甲科(第14、15章),焦春红(第16章)。李普选绘制了全部插图。

在本书的编写过程中,编者参阅了许多国内外优秀教材和教学参考资料,恕不一一列出,谨在此一并致谢。尽管本书的编写凝聚了编者多年来积累的丰富教改研究和教学实践经验,但由于时间较紧且学识所限,疏漏和不妥之处在所难免,期望读者谅解并指正,恳请专家批评并赐教。

编者

2007 年 10 月

目 录

第 1 章 质点运动学

1.1 质点的位置和运动方程	(3)
1.2 质点的位移和路程	(5)
1.3 质点的速度	(6)
1.4 质点的加速度	(10)
1.5 质点的圆周运动	(13)
1.6 不同参考系中速度和加速度的变换	(20)
思考题	(23)
习题	(23)

第 2 章 质点动力学

2.1 牛顿运动定律	(26)
2.2 动量 动量守恒定律	(36)
2.3 功和能 机械能守恒定律	(42)
思考题	(52)
习题	(53)

第 3 章 刚体力学基础

3.1 刚体运动学	(57)
3.2 刚体定轴转动的转动定律	(59)
3.3 力矩的功 转动动能定理	(63)
3.4 质点对轴的角动量及其守恒定律	(66)
3.5 刚体对轴的角动量及其守恒定律	(70)
思考题	(74)
习题	(75)

第 4 章 流体力学

4.1 理想流体的定常流动	(78)
---------------------	------

4.2 连续性原理	(79)
4.3 伯努利方程	(80)
4.4 粘滞流体的流动	(86)
4.5 物体在粘滞流体中的运动	(94)
思考题	(96)
习题	(96)
第5章 机械振动	
5.1 简谐振动	(99)
5.2 简谐振动的能量	(105)
5.3 阻尼振动 受迫振动 共振	(107)
5.4 振动的合成	(110)
思考题	(116)
习题	(116)
第6章 机械波	
6.1 机械波的产生、传播和描述	(119)
6.2 平面简谐波	(122)
6.3 波的能量	(126)
6.4 波的叠加	(130)
6.5 声波	(136)
6.6 多普勒效应	(139)
思考题	(143)
习题	(143)
第7章 气体动理论	
7.1 气体动理论的基本概念	(149)
7.2 理想气体的压强和温度	(152)
7.3 气体分子的速率分布和能量分布	(157)
7.4 理想气体的内能	(164)
7.5 气体分子的碰撞	(167)
思考题	(170)
习题	(171)

第8章 热力学

8.1 热力学第一定律	(174)
8.2 准静态过程中功和热量的计算	(176)
8.3 热力学第一定律对理想气体的应用	(178)
8.4 循环过程和卡诺循环	(184)
8.5 热力学第二定律	(192)
8.6 热力学第二定律的统计意义	(194)
思考题	(198)
习题	(199)

第9章 静电场

9.1 电场 电场强度	(205)
9.2 静电场的高斯定理	(212)
9.3 静电场的环路定理	(219)
9.4 电势	(220)
9.5 静电场中的导体和电介质	(227)
9.6 静电场的能量	(238)
9.7 静电技术及其应用	(240)
思考题	(243)
习题	(245)

第10章 恒定磁场

10.1 磁场 磁感应强度	(249)
10.2 毕奥-萨伐尔定律	(252)
10.3 磁通量 磁场的高斯定理	(259)
10.4 磁场的安培环路定理	(261)
10.5 磁场对运动电荷的作用	(265)
10.6 磁场对电流的作用	(271)
10.7 磁场力的功	(277)
10.8 磁场中的磁介质	(279)
思考题	(288)
习题	(289)

第 11 章 电磁感应与电磁场

(11.1 电磁感应的基本规律·····)	(293)
(11.2 动生电动势和感生电动势·····)	(299)
(11.3 自感和互感·····)	(305)
(11.4 磁场的能量·····)	(311)
(11.5 麦克斯韦电磁场理论简介·····)	(312)
(思考题·····)	(316)
(习题·····)	(317)
(991) ·····	区

第 12 章 波动光学

12.1 光是电磁波·····	(323)
(12.2 光的干涉·····)	(326)
(12.3 光的衍射·····)	(339)
(12.4 全息照相·····)	(354)
(12.5 光的偏振·····)	(356)
(思考题·····)	(367)
(习题·····)	(368)
(045) ·····	用面其又未并串特 7.0

第 13 章 几何光学

(13.1 单球面折射和反射·····)	(370)
13.2 薄透镜折射·····	(381)
13.3 人眼与常用光学仪器·····	(388)
(13.4 人眼与常用光学仪器的成像质量·····)	(398)
(思考题·····)	(404)
(习题·····)	(404)
(155) ·····	更宝器得器支的磁磁 1.01

第 14 章 狭义相对论基础

(14.1 伽利略变换与经典力学的时空观·····)	(409)
(14.2 狭义相对论的基本原理和洛伦兹变换·····)	(412)
(14.3 狭义相对论的时空观·····)	(416)
(14.4 狭义相对论的速度变换·····)	(420)
(14.5 狭义相对论动力学的主要结论·····)	(421)
思考题·····	(426)
习题·····	(426)

第 15 章 量子物理基础

15.1 热辐射和普朗克量子假设·····	(428)
15.2 光电效应和爱因斯坦光子假设·····	(431)
15.3 氢原子光谱和玻尔氢原子理论·····	(435)
15.4 实物粒子的波动性 物质波·····	(440)
15.5 波函数及其物理意义·····	(446)
15.6 薛定谔方程及其简单应用·····	(447)
15.7 电子的自旋运动 四个量子数·····	(454)
15.8 原子的壳层结构 化学元素的周期性·····	(457)
思考题·····	(460)
习题·····	(460)

第 16 章 专题

16.1 固体的能带结构·····	(462)
16.2 半导体的导电机理·····	(465)
16.3 超导·····	(470)
16.4 激光·····	(476)

力 学

自然界的一切物质都处在永恒的运动之中,物质的运动形式是多种多样的。物体之间或物体内部各部分之间相对位置随时间的变化称为机械运动。天体的运行,地球的转动,江河的奔流,山川的变迁,汽车的行驶等,都是机械运动。机械运动是自然界中普遍存在着的一种最简单、最基本的运动形式。力学研究物体机械运动的规律及其应用。由于机械运动随处可见,人们在长期的生产实践、生活实际和科学实验的基础上,通过对自然现象的观察分析和归纳总结,逐步发展形成了力学。

各种自然现象之间都存在着一定的内在联系,任何高级的复杂的实际运动形式都包含着简单的基本的运动形式。例如分子热运动、电磁运动以及原子中电子的运动等几乎所有的其他运动形式都包含着机械运动形式。因而力学不仅是物理学乃至整个自然科学的基础,也是各种工程技术的基础。

力学部分共六章。包括质点运动学、质点动力学、刚体力学基础、流体力学、机械振动和机械波。学好力学部分对后续内容以及其他课程的学习是大有裨益的。

第 1 章

质点运动学

任何实际物体都有一定的大小和内部结构。通常,实际物体运动时,其上各点的运动情况并不相同。在研究物体的运动规律时,如果物体上各点的差异为次要因素,我们就可以不考虑物体的大小,而将其看成一个有质量的几何点,简称质点。任何实际物体都可以看作由大量质点组合而成。因此,研究质点的运动规律是研究一般物体运动规律的基础。

物体的运动及其变化与作用在物体上的力有关。本章不考虑力与物体运动变化之间的关系,只研究质点空间位置随时间变化的规律。首先介绍质点的空间位置随时间变化关系的数学表述方法,然后给出反映质点运动规律的物理量随时间的变化及其相互关系,为研究实际物体的运动规律打下必要的基础。

1.1 质点的位置和运动方程

1.1.1 质点的位置

质点运动时,其位置通常随时间不断变化。研究质点的运动,首先要描述任意时刻质点相对于参考系的位置。下面介绍两种常用的表示质点位置的方法:位矢法和直角坐标法。

在选定的参考系 S 上,任取一个固定的参考点 O ,如图 1.1 所示。设任意时刻 t ,质点位于空间 P 点,则由 O 指向 P 的矢量 $\boldsymbol{r}$,称为 t 时刻质点的位置矢量,简称位矢。位矢的大小 $|\boldsymbol{r}|$ 反映 t 时刻质点 P 距参考点 O 的远近,位矢的方向表征 t 时刻质点 P 相对于点 O 的方位。这种用位矢表示质点位置的方法称为位矢法。

如图 1.2 所示,在选定的参考系 S 上,以固定点 O 为坐标原点,固结一个直角坐标系 $Oxyz$ 。则 t 时刻,质点的空间

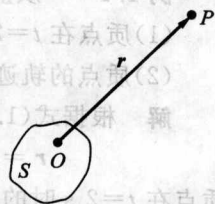


图 1.1

位置 P 可以用一组直角坐标 x, y, z 表示, 记作 $P(x, y, z)$ 。这种用直角坐标表示质点位置的方法称为**直角坐标法**。

以 i, j, k 分别表示沿 x, y, z 三个坐标轴正方向上的单位矢量, 则质点的位矢与直角坐标之间的关系为

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

位矢的大小为

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1.2)$$

位矢的方向用它与三个坐标轴正方向之间的夹角 α, β, γ 表示 (见图 1.2)。 α, β, γ 称为位矢的**方向角**。位矢方向角的余弦称为位矢的**方向余弦**。位矢的方向余弦分别为

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{r} \quad (1.3)$$

由于 $\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$, 所以三个方向角中只有两个是独立的。

1.1.2 质点的运动方程

表示运动质点的位置随时间变化的函数关系式称为质点的**运动方程**。质点的运动方程反映质点的运动规律。

当质点运动时, 其位矢随时间不断变化。用位矢表示时, 质点的运动方程为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1.4)$$

用直角坐标表示时, 质点的运动方程为

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1.5)$$

质点运动经过的路径称为质点的**运动轨迹**。描述质点运动轨迹的直角坐标之间的关系式称为质点的**轨迹方程**。通常, 从质点的运动方程中消去时间 t , 便得到质点的轨迹方程。

例 1.1 一质点运动方程为 $x = 2\cos 4\pi t, y = 2\sin 4\pi t$ (SI)^①。试求:

- (1) 质点在 $t = 2$ s 时的位矢;
- (2) 质点的轨迹方程。

解 根据式(1.1), 质点在任意时刻的位矢为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} = 2\cos 4\pi t\mathbf{i} + 2\sin 4\pi t\mathbf{j} \quad (\text{SI})$$

质点在 $t = 2$ s 时的位矢为

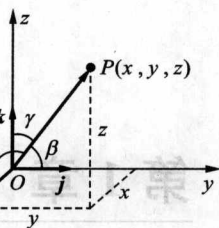


图 1.2

^① SI 为国际单位制的英文缩写。

$$\mathbf{r}_2 = 2\cos 4\pi t \mathbf{i} + 2\sin 4\pi t \mathbf{j} = 2\cos 8\pi \mathbf{i} + 2\sin 8\pi \mathbf{j} = 2\mathbf{i} \quad (\text{SI})$$

其大小为

$$|\mathbf{r}_2| = 2 \text{ m}$$

方向沿 x 轴正方向。

(2) 由质点的运动方程 $x=2\cos 4\pi t, y=2\sin 4\pi t$ (SI) 中消去 t , 得质点运动的轨迹方程为

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

可见, 该质点在 Oxy 平面内以 O 点为圆心、作半径为 2 m 的圆周运动。

1.2 质点的位移和路程

质点运动时, 其位置随时间变化。设质点沿任意曲线 L 运动, 运动方程为 $\mathbf{r}=\mathbf{r}(t)$ 。 t 时刻, 质点位于 P 点, 相应的位矢为 $\mathbf{r}(t)$; $t+\Delta t$ 时刻, 质点位于 Q 点, 相应的位矢为 $\mathbf{r}(t+\Delta t)$, 如图 1.3 所示。 则从 t 时刻开始的 Δt 时间内, 质点位置的变化可以用由 P 指向 Q 的矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 表示, 称为质点的位移矢量, 简称位移。

由图 1.3 可见, 质点的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 为从 t 时刻开始的 Δt 时间内质点位矢的增量, 即

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t+\Delta t) - \mathbf{r}(t) \quad (1.6)$$

质点的位移是矢量。位移的大小等于质点 t 时刻的位置 P 与 $t+\Delta t$ 时刻的位置 Q 之间的直线距离, 方向由始位置 P 点指向末位置 Q 点。质点的位移反映一段时间始末时刻质点位置的变化, 由质点的始、末位置决定, 不涉及在这段时间内质点位置变化的细节, 与质点的运动路径及参考点的位置无关。

质点 t 时刻的位置 P 与 $t+\Delta t$ 时刻的位置 Q 之间曲线的长度, 称为质点从 t 时刻开始的 Δt 时间内走过的路程, 用 Δs 表示 (见图 1.3)。当质点作曲线运动时, 某一段时间内, 质点位移的大小与同一段时间内走过的路程不一定相等。(想一想, 什么情况下两者相等?)

由图 1.3 显示, 质点的路程由质点的始、末位置和运动路径共同决定, 与参考点的位置无关。

例 1.2 沿 x 轴作直线运动的质点, 运动方程为 $x=3t^2-2t-4$ (SI)。试求:

(1) 质点在 $t_0=0$ 到 $t_2=2$ s 时间内的位移;

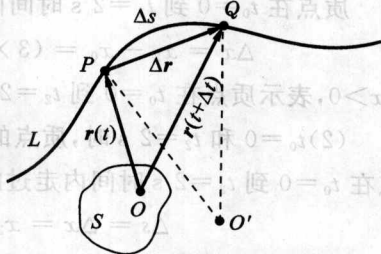


图 1.3

(2) 质点在 $t_0=0$ 到 $t_2=2$ s 时间内走过的路程。

解 (1) 任意时刻, 质点的位矢为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} = (3t^2 - 2t - 4)\mathbf{i} \quad (\text{SI})$$

$t_0=0$ 和 $t_2=2$ s 时刻, 质点的位矢分别为

$$\mathbf{r}_0 = -4\mathbf{i} \quad (\text{SI}), \quad \mathbf{r}_2 = (3 \times 2^2 - 2 \times 2 - 4)\mathbf{i} = 4\mathbf{i} \quad (\text{SI})$$

质点在 $t_0=0$ 到 $t_2=2$ s 时间内的位移为

$$\Delta \mathbf{r}_0 = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_0 = 4\mathbf{i} - (-4\mathbf{i}) = 8\mathbf{i} \quad (\text{SI})$$

其大小 $|\Delta \mathbf{r}| = 8$ m, 方向沿 x 轴正方向。如图 1.4 所示。

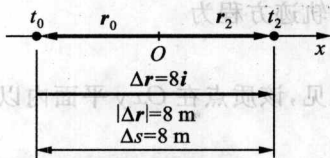


图 1.4

直线运动是曲线运动的特例。在求解直线运动问题时, 通常以质点运动的直线轨迹为坐标

轴。则质点的位矢和位移均为代数量。若计算结果位矢和位移值为正时, 表示其方向沿 x 轴正方向, 反之沿 x 轴的负方向。

质点在 $t_0=0$ 到 $t_2=2$ s 时间内的位移为

$$\Delta x = x_2 - x_0 = (3 \times 2^2 - 2 \times 2 - 4) - (-4) = 8 \text{ m}$$

$\Delta x > 0$, 表示质点在 $t_0=0$ 到 $t_2=2$ s 时间内的位移沿 x 轴的正方向。

(2) $t_0=0$ 和 $t_2=2$ s 时, 质点的位置坐标分别为 $x_0 = -4$ m 和 $x_2 = 4$ m。质点在 $t_0=0$ 到 $t_2=2$ s 时间内走过的路程为

$$\Delta s = \Delta x = x_2 - x_0 = 4 - (-4) = 8 \text{ m}$$

本题中, 质点始终沿 x 轴正方向运动。计算结果表明, 质点在 $t_0=0$ 到 $t_2=2$ s 时间内的路程与位移的大小相等, 如图 1.4 中所示。可见, 作单一方向直线运动的质点, 在某一段时间内的路程与相同时间内位移的大小相等。

1.3 质点的速度

1.3.1 质点的速度

设质点沿任意曲线 L 运动, 运动方程为 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ 。如图 1.5 所示, 从时刻 t 开始的 Δt 时间内, 质点运动的位移为 $\Delta \mathbf{r}$ 。 $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 之比称为在 Δt 时间内质点的平均速度, 用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示, 即

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

上式表明, 质点的平均速度等于单位时间内质点的位移。平均速度只能粗略反映 Δt 时间内质点位矢的变化。

质点的平均速度是矢量。平均速度的大小为 $|\bar{v}| = \left| \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \right|$, 方向与位矢 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向一致。

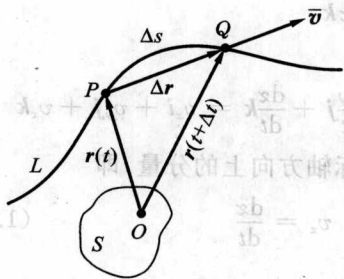


图 1.5

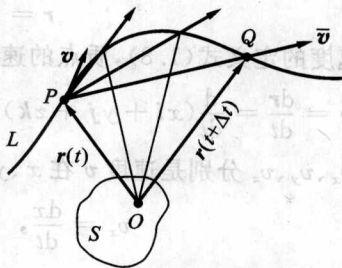


图 1.6

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 式(1.7)的极限, 称为质点在 t 时刻的**瞬时速度**, 简称**速度**, 用 $\mathbf{v}$ 表示, 即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1.8)$$

上式表明, 质点的速度等于质点的位矢对时间的一阶导数。速度精确反映任意时刻 t 质点位矢的变化。

质点的速度是矢量, 其大小等于单位时间内质点位移的大小, 方向就是当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 质点位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向, 即质点所在处轨迹曲线的切线方向, 如图 1.6 所示。

1.3.2 质点的速率

如图 1.5 中所示, 从时刻 t 开始的 Δt 时间内, 质点所走的路程为 Δs 。 Δs 与 Δt 之比称为 Δt 时间内质点的**平均速率**, 用 $\bar{v}$ 表示, 即

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1.9)$$

质点的平均速率是标量。在一般情况下, 平均速率的大小和平均速度的大小不一定相等。(想一想, 什么情况下两者相等?)

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 式(1.9)的极限, 称为质点在时刻 t 的**瞬时速率**, 简称**速率**, 用 v 表示, 即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.10)$$

质点的速率是标量, 质点速率的大小与速度的大小相等。(想一想, 为什么?)