

基础物理学

鲍钢飞 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

基础物理学

鲍钢飞 主编

高等教育出版社

内容简介

本书以新版《理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求》(讨论稿)和高等教育大众化条件下农林院校工科专业大学物理教学的实际情况为主要依据,结合作者多年的教学实践经验编写而成。全书思路清晰,语言精练,难度适当,便于阅读,个别章节采用一些较新的讲法。考虑到培养学生科学素养的需要,本书对物理学的科学思想、方法和历史作了较多的介绍。本书内容包括力学、振动和波、相对论基础、热学、电磁学、光学、量子力学基础、激光及原子核共二十章。本书可作为农林院校及一般工科院校工科专业的大学物理学课程教材,也可供其他专业的读者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础物理学/鲍钢飞主编. —北京:高等教育出版社,

2007.7

ISBN 978-7-04-021801-5

I. 基… II. 鲍… III. 物理学-高等学校-教材

IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 068760 号

策划编辑 庞永江 责任编辑 张海雁 封面设计 张楠 责任绘图 吴文信
版式设计 王莹 责任校对 朱惠芳 责任印制 宋克学

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号 ³	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京印刷集团有限责任公司印刷二厂	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2007年7月第1版
印 张	39	印 次	2007年7月第1次印刷
字 数	730 000	定 价	40.10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

物料号 21801-00

前 言

物理学是研究物质世界的组成、结构、相互作用及运动变化规律的科学，是自然科学的一部分，是人类认识自然、实现与自然和谐共处的理论总结，也是人类创造物质财富、推动社会进步必不可少的理论和技术源泉，更是一门培养学生科学素质和创新能力的重要基础课。随着我国高等教育进入信息化和大众化时代，工科专业的大学物理教学也发生了很大变化，一方面随着更多的人进入高等学校学习，学生间的基础知识和个人能力的差别逐渐拉大，不同学生的兴趣、志向千差万别，难以适用统一的标准和要求，客观上需要具有不同的特点和难度的教材适应变化的需要；另一方面随着现代信息手段在教学过程中的应用，特别是计算机检索手段的迅速普及，学生的学习方法和手段也发生了很大变化，教材也要做出相应的变化。本书就是在这样背景下，为满足一般院校工科专业的教学需要而编写的。

本书的编写以合适、好用为原则。所谓合适是指内容的选择与大学物理教学的基本要求和发展趋势相一致，难度的选择与学生的实际水平相适应。所谓好用是指行文符合大多数老师的教学习惯及大多数读者的阅读习惯，便于使用。在严谨扎实的基础上，精选经典内容，加强现代内容，并把相对论的内容适当提前。各章节内容基本上保持传统的讲述体系，仅在个别章节作一些变化。考虑到培养学生科学素养的需要，本书对物理学的科学思想、人物、方法和历史作了较多介绍，希望这些内容对读者有所启迪，帮助读者形成一个正确的世界观、科学观。同时，作者希望读者在阅读过程中能注意现代科学文化与中国传统文化之间的差别，感受先贤们坚忍不拔、不断超越、永攀高峰、奉献科学的精神风范。全书力求语言精练、通俗，便于阅读。

在本书编写过程中，借鉴参考了许多国内外教材和参考文献，谨向这些教材和文献的作者表示感谢。山东农业大学姚来昌副校长和信息学院领导给予了许多关怀和指导，作者在此表示感谢。

本书由鲍钢飞任主编，刘智新、曹学成、李慧娟、陈洪叶任副主编，高峰、孙丰伟、赵文丽等老师也参与了编写工作。由于时间紧和作者的水平所限，书中的缺点错误在所难免，希望广大读者批评指正。

编 者

2006年8月

目 录

第一章 质点运动学	1
§ 1-1 参考系 运动方程	1
§ 1-2 位移 速度 加速度	3
§ 1-3 匀加速运动	10
§ 1-4 曲线运动的加速度	15
§ 1-5 圆周运动的角量描述	19
§ 1-6 相对运动	22
本章提要	24
思考题	26
习题	27
历史人物 伽利略	29
第二章 质点动力学	31
§ 2-1 牛顿运动定律	31
§ 2-2 基本的自然力	33
§ 2-3 牛顿运动定律的应用	36
§ 2-4 惯性力	40
§ 2-5 冲量和动量定理	44
§ 2-6 质点系 动量守恒定律	45
§ 2-7 质心 质心运动定理	49
§ 2-8 力矩 角动量定理	52
§ 2-9 角动量守恒定律	55
§ 2-10 变力做功 动能定理	55
§ 2-11 保守力 势能	58
本章提要	62
思考题	64
习题	65
历史人物 牛顿	68
第三章 连续体力学	70
§ 3-1 刚体的定轴转动	70
§ 3-2 转动定律	72

§ 3-3 转动惯量	75
§ 3-4 转动动能	77
§ 3-5 角动量守恒定律	79
§ 3-6 刚体的平面运动	81
§ 3-7 理想流体的连续性原理	86
§ 3-8 伯努利方程	88
§ 3-9 粘性流体的运动规律	91
本章提要	94
思考题	95
习题	96
历史人物 开普勒	98
阅读材料 火箭 卫星 航天	99
第四章 狭义相对论基础	104
§ 4-1 力学相对性原理 伽利略变换	104
§ 4-2 爱因斯坦相对性原理和光速不变	107
§ 4-3 同时的相对性和时间延缓	108
§ 4-4 长度收缩	113
§ 4-5 洛伦兹变换	115
§ 4-6 相对论速度变换	119
§ 4-7 质量和能量	122
§ 4-8 动量和能量的关系	126
本章提要	126
思考题	127
习题	128
历史人物 爱因斯坦	130
第五章 振动	132
§ 5-1 简谐振动方程	132
§ 5-2 简谐振动的旋转矢量表示法	136
§ 5-3 简谐振动的能量	138
§ 5-4 单摆 复摆和扭摆	140
§ 5-5 阻尼振动	143
§ 5-6 受迫振动 共振	145
§ 5-7 同一直线上的简谐振动的合成	146
本章提要	149
思考题	150

习题	151
阅读材料 粒子的分类和构成	153
第六章 波动	155
§ 6-1 机械波的产生	155
§ 6-2 简谐波的波函数	156
§ 6-3 机械波的波速	161
§ 6-4 机械波的能量	164
§ 6-5 惠更斯原理 波的反射和折射	167
§ 6-6 波的叠加原理 简谐波的干涉	169
§ 6-7 声波	176
§ 6-8 声波的多普勒效应	179
本章提要	184
思考题	185
习题	186
历史人物 惠更斯	188
第七章 温度与传热	190
§ 7-1 宏观描述与微观描述	191
§ 7-2 温度的概念	192
§ 7-3 温度计与理想气体温标	194
§ 7-4 传热	197
§ 7-5 理想气体物态方程	201
本章提要	202
思考题	203
习题	203
历史人物 开尔文	204
第八章 气体动理论	206
§ 8-1 理想气体的压强公式	206
§ 8-2 温度的微观意义	210
§ 8-3 能量均分定理	213
§ 8-4 麦克斯韦速率分布律	216
§ 8-5 玻耳兹曼分布律	222
§ 8-6 气体分子的平均自由程	224
§ 8-7 范德瓦耳斯方程	226
本章提要	228
思考题	229
习题	231

历史人物 麦克斯韦	233
阅读材料 超冷原子的玻色-爱因斯坦凝聚	234
第九章 热力学基础	236
§ 9-1 准静态过程 体积功	236
§ 9-2 热力学第一定律	240
§ 9-3 热容量	242
§ 9-4 热力学第一定律对理想气体的应用	245
§ 9-5 绝热过程	248
§ 9-6 循环过程	251
§ 9-7 卡诺循环	255
§ 9-8 自发过程的方向性	258
§ 9-9 热力学第二定律	261
§ 9-10 可逆过程	263
§ 9-11 平衡态的最概然性	264
§ 9-12 熵	266
§ 9-13 熵增加原理	271
§ 9-14 能量的退化	274
本章提要	275
思考题	276
习题	278
历史人物 焦耳	280
阅读材料 能源漫议	281
第十章 静电场	283
§ 10-1 静电基本规律	284
§ 10-2 静电场 电场强度	287
§ 10-3 静电场中的高斯定理	293
§ 10-4 利用高斯定理求静电场的电场强度	297
§ 10-5 静电场的环路定理 电势	300
§ 10-6 电势的计算	303
§ 10-7 电场强度与电势梯度的关系	306
§ 10-8 静电场中的导体	308
§ 10-9 电容和电容器	313
§ 10-10 电介质对电容器电容的影响	316
§ 10-11 电介质的极化	317
§ 10-12 介质中的高斯定理	320
§ 10-13 静电场的能量	322

本章提要	324
思考题	326
习题	328
历史人物 卢瑟福	330
第十一章 电流和电场	332
§ 11-1 电流密度矢量	332
§ 11-2 欧姆定律的微分形式	334
§ 11-3 电动势	338
§ 11-4 电子逸出功 温差电现象	341
§ 11-5 生物膜电势	343
本章提要	347
思考题	348
习题	348
阅读材料 李约瑟难题	350
第十二章 恒定磁场	353
§ 12-1 磁场及磁感应强度	353
§ 12-2 毕奥-萨伐尔定律	355
§ 12-3 恒定磁场的基本性质	361
§ 12-4 磁场对运动电荷的作用	366
§ 12-5 霍尔效应	369
§ 12-6 磁场对载流导线的作用	371
§ 12-7 载流平面线圈在磁场中受到的力矩	373
§ 12-8 磁介质的磁化	376
§ 12-9 磁化电流	378
§ 12-10 磁介质中的高斯定理和环路定理	380
§ 12-11 铁磁质	383
本章提要	387
思考题	388
习题	389
阅读材料 地磁场	392
第十三章 电磁感应	394
§ 13-1 法拉第电磁感应定律	394
§ 13-2 动生电动势	397
§ 13-3 感生电动势	400
§ 13-4 自感	404
§ 13-5 互感	406

§ 13-6 <i>RL</i> 电路的暂态过程	408
§ 13-7 磁场的能量	410
本章提要	413
思考题	414
习题	414
阅读材料 历史上著名的物理实验	417
第十四章 电磁场	420
§ 14-1 非稳恒电路的安培环路定理	420
§ 14-2 麦克斯韦方程组	424
§ 14-3 电磁波	425
§ 14-4 电磁波的动量	427
§ 14-5 电磁波谱	428
本章提要	429
思考题	430
习题	430
阅读材料 物理学中的创新思维方法	431
第十五章 光的干涉	434
§ 15-1 光的相干性	435
§ 15-2 杨氏双缝干涉实验	436
§ 15-3 劳埃德镜实验	439
§ 15-4 光程和光程差	440
§ 15-5 薄膜干涉	442
§ 15-6 迈克耳孙干涉仪	447
本章提要	449
思考题	450
习题	450
历史人物 托马斯·杨	452
第十六章 光的衍射	454
§ 16-1 光的衍射	454
§ 16-2 夫琅禾费单缝衍射	455
§ 16-3 光栅衍射	459
§ 16-4 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	463
§ 16-5 X 射线衍射与结构分析	468
本章提要	470
思考题	471
习题	472

历史人物 菲涅耳	473
第十七章 光的偏振	476
§ 17-1 光的偏振态	476
§ 17-2 反射与折射起偏	479
§ 17-3 双折射起偏	480
§ 17-4 偏振片 检偏	482
§ 17-5 偏振光的干涉 偏光显微镜	485
§ 17-6 旋光现象	487
§ 17-7 椭圆偏振光	489
本章提要	490
思考题	491
习题	491
阅读材料 恒星的一生	492
第十八章 量子力学基础	496
§ 18-1 光电效应	497
§ 18-2 康普顿效应	499
§ 18-3 德布罗意波	502
§ 18-4 概率波	505
§ 18-5 海森伯不确定关系	509
§ 18-6 薛定谔方程	512
§ 18-7 无限深方势阱中的粒子	514
§ 18-8 势垒	516
§ 18-9 谐振子	520
§ 18-10 氢原子的量子力学处理方法	522
本章提要	528
思考题	528
习题	529
历史人物 玻尔	530
第十九章 激光	532
§ 19-1 光的发射	532
§ 19-2 粒子数反转	535
§ 19-3 光学谐振腔	536
§ 19-4 激光器	538
§ 19-5 激光器的谱线展宽	541
§ 19-6 激光的特性及应用	542
§ 19-7 激光的生物学效应	544

本章提要	546
思考题	547
习题	547
阅读材料 光纤及光纤通信	548
第二十章 原子核	551
§ 20-1 原子核的基本性质	551
§ 20-2 核力	553
§ 20-3 核的结合能	554
§ 20-4 原子核的放射性	556
§ 20-5 放射性原子核的寿命	558
§ 20-6 核反应	562
§ 20-7 放射生物学基础	563
本章提要	565
思考题	565
习题	566
阅读材料 大爆炸	566
附录 1 矢量	570
附录 2 基本积分表	580
附录 3 基本物理常量	582
附录 4 天体常量	583
附录 5 物理学年谱	584
主要参考文献	608

第一章 质点运动学

现实世界由各种物质组成。尽管物质存在的形式多种多样，但不管何种形式，所有的物质都在做各种各样的运动，如机械运动、物理运动、化学运动等。物理学是研究物质运动中最基本、最普遍的运动形式的科学。具体地说，物理学研究的运动包括有机械运动、分子热运动、电磁运动、原子原子核运动以及基本粒子运动等。物理学有若干个分支，如力学、热学、光学、电磁学等等，各个分支都有相对固定的研究领域，其中力学是研究机械运动的物理学分支。所谓**机械运动**是指一个物体相对于另一个物体的位置变化，它是物体最简单最常见的运动形式。我们通常所见的物体的平动、转动和振动都是机械运动的形式，而平动更被称为是最简单的机械运动。物体在做平动时，物体上所有点的运动状态都相同，此时只要了解其中一个点的运动情况，就可以掌握物体上所有点的运动情况。因此在物体做平动时，可以把物体当做一个点，通常我们称这个点为**质点**。质点是没有体积和形状，只有一定质量的理想物体。在所研究的问题中，物体的体积和形状无关紧要的时候，此物体可以看做是质点。研究质点做机械运动的科学叫做**质点力学**，包括**质点运动学**、**质点动力学**等。

质点运动学是研究质点的位置随时间变化规律的科学，其讨论的主要问题是：如何描述物体(质点)的运动状态？如何由运动状态确定物体的运动方程以及利用运动方程预见将来某时刻物体的运动状态？本章的主要内容有：位置矢量、位移、速度、加速度、质点运动方程和相对运动等，其中相当一部分内容在中学已经接触过，这里重提当然不是简单的重复，而是在更广的基础上进行系统化。本章的最后一个内容是介绍在不同参考系中对同一物体运动描述的变换关系——伽利略变换。

另外，在力学研究中，要用到比较多的矢量知识，读者如果对此内容不熟悉，可先阅读附录一，了解相关的基础知识。另外，微积分是大学物理学最基本的数学工具，在本章和下章中编入较多的微积分应用方面的例题，希望读者能力求掌握，特别是数学基础不是很好的读者，更要多下工夫，争取开个好头。

§ 1-1 参考系 运动方程

物体的机械运动是指它的位置随时间的变化。由于世界上没有绝对静止的物体，所有物体都在运动，所以我们无法绝对地描述物体的运动状态。只能先

选定一个特定物体作为参考物体，然后确定其他物体相对于参考物体的位置变化。这个被选作参考的物体叫做**参考物**。例如，在确定交通车辆的位置时，我们用固定在地面上的一些物体，如房子或路牌作参考物。

经验告诉我们，相对于不同的参考物，同一物体的同一运动，会表现为不同的运动形式。例如，一个自高处下落的石块的运动，站在地面上观察，也就是以地面为参考物，它是直线运动。如果在从近旁驶过的车厢内观察，即以行进的车厢为参考物，则石块将作曲线运动。又例如坐在车上的乘客，若以车为参考物，则乘客是静止的。但在路面上的行人看到的却是人随车一起运动。显然，对物体运动的描述随参考物的不同而不同，这个事实叫**运动的相对性**。由于运动的相对性，当我们描述一个物体的运动时，就必须指明是相对于什么样的参考物而言的。

从理论上讲，参考物的选择是任意的。但选择不同的参考物往往导致同一问题有不同的复杂程度。所以在实际的问题中，应该尽量选择合适的参考物。如在讨论地面上物体的运动时，通常应选择静止在地面上的某物体作为参考物。

确定了参考物之后，为了定量地说明一个质点相对于此参考物的空间位置，就在此参考物上建立固定的坐标系，习惯上把建立在参考物上的坐标系（包括坐标系中的时钟）叫做**参考系**。参考系通常以所用的参考物命名，如坐标轴固定在地面上的参考系叫做**地面参考系**；坐标原点固定在地心而坐标轴指向太空某固定方向的参考系叫做**地心参考系**；原点固定在太阳中心而坐标轴指向太空某固定方向的参考系叫做**太阳参考系**。坐标轴固定在实验室的参考系叫做**实验室参考系**。

坐标系有多种多样，有极坐标系、球坐标系、自然坐标系和直角坐标系，其中最常用的坐标系是笛卡儿直角坐标系。如图 1-1 所示，这个坐标系以参考物上某一固定点为原点 O ，从此原点沿三个相互垂直的方向引三条固定在参考物上的直线作为坐标轴，通常叫做 x 、 y 、 z 轴，三个坐标轴之间满足右手螺旋关系。在这样的坐标系中，一个质点在任意时刻的空间位置，如 P 点，就可用三个坐标值 x 、 y 、 z 来表示。

质点的运动是指它的位置随时间变化，也就是质点的坐标 x 、 y 、 z 随时间变化。所谓描述质点的运动，就是指出这种变化关系。习惯上把质点的位置坐标随时间变化的函数叫做质点的**运动方程**。在三维的直角坐标系中，质点的运动方程可以写为

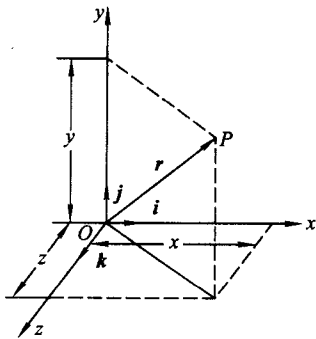


图 1-1 直角坐标系

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

实际上, 物体的位置除了用坐标表示外, 还可以用位置矢量表示。如图1-2所示, 图中质点 P 的位置, 可以用一个由原点指向 P 点的有向线段 r 来表示。 r 就叫做位置矢量, 简称为位矢。显然, 位矢与坐标间有如下关系:

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1-2)$$

式中 \mathbf{i} 、 \mathbf{j} 、 \mathbf{k} 为沿三个坐标轴 Ox 、 Oy 、 Oz 的方向矢量。位置矢量 r 的模为

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

位置矢量的方向余弦为

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

式中的 α 、 β 、 γ 分别是 r 与 Ox 、 Oy 、 Oz 三个坐标轴的夹角。显然, 利用位置矢量的概念, 可将运动方程写成如下形式:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-4)$$

有的教材也将(1-1)式和(1-4)式加以区别, 把(1-4)式叫做运动方程, 而把(1-1)式叫做运动方程的分量式。如果将方程组(1-1)中参数 t 消去便可得到质点的轨道(迹)方程, 所以(1-1)式实际上是轨道的参数方程。应当指出, 运动学的任务之一就是找出各种具体运动所遵循的运动方程。

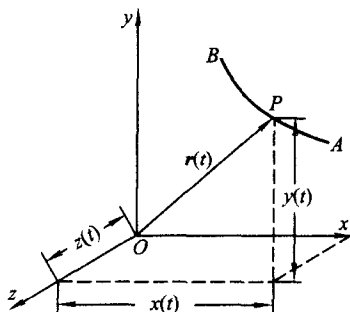


图 1-2 运动方程

§1-2 位移 速度 加速度

质点运动所经过的路线叫做轨迹, 在一段时间内质点沿轨迹经过的距离叫做路程。在一段时间内质点的位置变化叫做它在这段时间内发生的位移。如图1-3所示, 设质点在 t 和 $t + \Delta t$ 时刻分别通过 P 点和 P_1 点, 其对应的位矢分别为 $r(t)$ 和 $r(t + \Delta t)$, 则由 P 点指向 P_1 点的矢量就是位矢的增量, 即

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

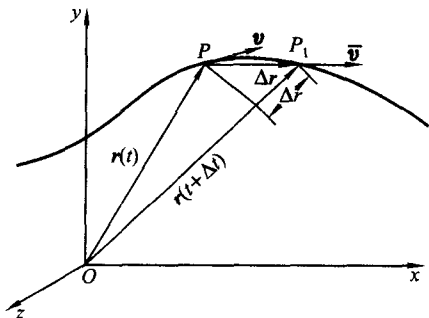
这一位矢的增量就是质点在 t 到 $t + \Delta t$ 这一段时间内的位移。在直角坐标系中可将 P 点和 P_1 两点的位矢表示为

$$\mathbf{r}_P = x_P \mathbf{i} + y_P \mathbf{j} + z_P \mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_{P_1} = x_{P_1} \mathbf{i} + y_{P_1} \mathbf{j} + z_{P_1} \mathbf{k}$$

于是, 直角坐标系中的位移矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 可写为

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r} &= \mathbf{r}_{P_1} - \mathbf{r}_P = (x_{P_1} - x_P) \mathbf{i} + (y_{P_1} - y_P) \mathbf{j} + (z_{P_1} - z_P) \mathbf{k} \\ &= \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} + \Delta z \mathbf{k} \end{aligned}$$

图 1-3 位移矢量 Δr 和速度矢量 v

应该注意的是, 位移 Δr 是矢量, 既有大小又有方向。其大小为 Δr 的长度, 记为 $|\Delta r|$ 。注意这一数量不能简单地写为 Δr , 因为 $\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t)$, 它是位矢大小在 t 到 $t + \Delta t$ 这段时间的增量。所以, 在一般情况下, $|\Delta r| \neq \Delta r$, 这一点在直角坐标系中表现得非常清楚, 此时

$$|\Delta r| = \sqrt{(x_{P_1} - x_P)^2 + (y_{P_1} - y_P)^2 + (z_{P_1} - z_P)^2} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

而 $\Delta r = \sqrt{x_{P_1}^2 + y_{P_1}^2 + z_{P_1}^2} - \sqrt{x_P^2 + y_P^2 + z_P^2}$, 显然两者有明显的差别。

位移矢量 Δr 和发生这段位移所经历的时间 Δt 的比叫做质点在这段时间内的平均速度。若以 \bar{v} 表示平均速度, 则

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

显然平均速度也是矢量, 它的方向就是位移的方向(图 1-3)。

在直角坐标系中, $\Delta r = (x_{P_1} - x_P)\mathbf{i} + (y_{P_1} - y_P)\mathbf{j} + (z_{P_1} - z_P)\mathbf{k}$, 所以平均速度的表达式可写为

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}\mathbf{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t}\mathbf{j} + \frac{\Delta z}{\Delta t}\mathbf{k} \\ &= \bar{v}_x\mathbf{i} + \bar{v}_y\mathbf{j} + \bar{v}_z\mathbf{k} \end{aligned}$$

其中 \bar{v}_x 、 \bar{v}_y 、 \bar{v}_z 是平均速度沿三个坐标轴的分量。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, (1-5) 式的极限代表质点位矢对时间的变化率, 叫做质点在 t 时刻的即时速度, 简称为速度, 用 v 表示, 即

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1-6)$$

速度矢量的方向, 就是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 Δr 的方向。如图 1-3 所示, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, P_1 点向 P 点趋近, 而 Δr 的方向最后将与质点运动轨道在 P 点的切线方向一致。因此, 质点在 t 时刻的速度方向就沿着该时刻质点所在处的运动轨道切线且指向运动的前方, 即如图 1-3 中 v 的方向。

在直角坐标系中, (1-6)式可写为

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \mathbf{i} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta t} \mathbf{j} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta z}{\Delta t} \mathbf{k} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k} \quad (1-7)$$

上式中 v_x 、 v_y 、 v_z 是速度在 Ox 、 Oy 、 Oz 轴上的分量。如果以 \mathbf{v}_x 、 \mathbf{v}_y 、 \mathbf{v}_z 表示速度在 Ox 、 Oy 和 Oz 轴上的分速度, 那么就有 $\mathbf{v}_x = v_x \mathbf{i}$, $\mathbf{v}_y = v_y \mathbf{j}$, $\mathbf{v}_z = v_z \mathbf{k}$, 这样(1-7)式可写成

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_x + \mathbf{v}_y + \mathbf{v}_z \quad (1-7a)$$

通常把速度的大小叫做速率, 以 v 表示, 所以

$$v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} \quad (1-8)$$

若用 Δs 表示在 Δt 时间内质点沿轨道所经历的路程。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|\Delta \mathbf{r}| \rightarrow \Delta s$, 因此可以得到

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

上式表明, 速率等于质点所走过的路程对时间的变化率。考虑位移的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 与 Δr 的差别, 所以在一般情况下

$$v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| \neq \frac{dr}{dt}$$

在直角坐标中, 速率的值为

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

在国际单位制(SI)中速度的单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。表 1-1 给出了一些实际运动的速率值。

表 1-1 某些运动的速率

单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

光在真空中	3.0×10^8
北京正负电子对撞机中的电子	99.999 998% 光速
类星体的退行(最快的)	2.7×10^8
太阳在银河系中绕银河中心的运动	3.0×10^5
地球公转	3.0×10^4
人造地球卫星	7.9×10^3
现代歼击机	$\sim 9 \times 10^2$
步枪子弹离开枪口时	$\sim 7 \times 10^2$
由于地球自转在赤道上一点的速率	4.6×10^2
空气分子热运动的平均速率(0°C)	4.5×10^2
空气中的声速(0°C)	3.3×10^2
机动赛车	~ 100
人最省力气的散步速度	~ 1
大陆板块移动	$\sim 10^{-9}$