

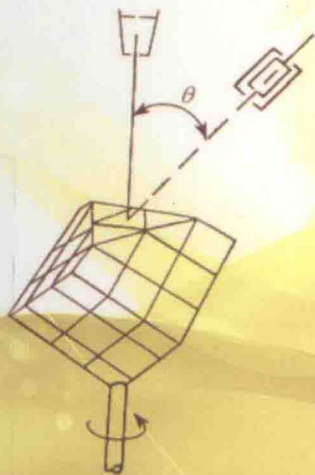


普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

大学物理学

D A X U E W U L I X U E

潘建斌 章国顺◎主编



 中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

DAXUE WULIXUE

大学物理学

潘建斌 章国顺 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理学 / 潘建斌, 章国顺主编. —北京: 中国农业出版社, 2013. 8

普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等农林院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-109-17874-8

I. ①大… II. ①潘… ②章… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 158381 号

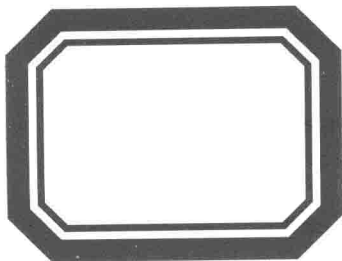
中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

策划编辑 薛 波

文字编辑 薛 波



印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

8 月第 1 版 2013 年 8 月北京第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 印张: 22.5

字数: 536 千字

定价: 42.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

◆ 内 容 简 介 ◆

本书是参照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订的《理工科类大学物理课程教学基本要求》，结合编者多年教学实践经验编写而成的。书中涵盖了基本要求中所有的核心内容，并选取了一定数量的扩展内容，加强了近代物理内容。主要内容包括：力学、振动和波动、气体动理论和热力学、电磁学、几何光学和波动光学、相对论、量子物理等。

本书体系合理，分量适中，适应面宽。在编写过程中，参考了大量最新资料，吸取了很多物理应用最新成果，精选了“陀螺导航仪”、“量子霍尔效应和量子反常霍尔效应”、“扫描隧道显微镜”等阅读材料，放在相关教学内容后，体现出高视点，新创意，努力“为现代科技打开窗口，为农林科技安装接口”。

本书可作为高等农林院校理工科各专业的大学物理课程教材，也可作为其他各专业大学物理教学的参考书。

—— 编写人员 ——

主 编 潘建斌 章国顺

副主编 李小毛 李清玉 李 辉 叶 剑

编 者 (按姓名笔画排序)

叶 剑 刘风勤 李 辉 李 聪

李小毛 李清玉 陆 丹 周宗立

章国顺 潘建斌

FOREWORD | 前言

物理学是研究物质的结构、性质、相互作用、运动规律及它们的各种实际应用的科学。物理学是自然科学的基础，它的基本概念、方法和知识已被广泛地应用于自然科学的很多领域。物理学是人类认识自然、改造自然和推动社会进步的动力和源泉，它的理论及其所创立的世界观和方法论在培养学生的科学素质等方面起着极为重要的作用。因此，大学物理是高等院校中一门不可替代的基础课。向各专业的大学生介绍现代物理基础知识，特别是物理学的思想方法、物理学前沿及物理学在工程技术中的应用，将有利于开阔眼界、活跃思维、启迪心智，使学生的创新精神等科学素养得到大幅度提高。

为适应基础教育和素质教育的需要，根据教育部颁布的“高等工业学校大学物理课程教学基本要求”，编者结合自身多年的教学实践经验和体会，在汲取众多国内外优秀教材优点的基础上编写成了这本教材。在编写过程中力求做到：①紧扣教学大纲，物理学系统完整，基本规律精炼；②压缩经典内容，密切联系工科专业大学物理教学实际，增加现代物理知识应用；③取材适当，物理图像鲜明，选题典型，同时淡化了复杂的数学运算，突出了物理概念的重要性；④内容由浅入深，重点、难点突出，语言通俗易懂，特别是用普通物理的语言讲述了近代物理的内容，适合初学者阅读；⑤阅读材料的选择兼顾了物理知识的应用、物理学发展史及研究方法的介绍，也反映了现代科技发展的前沿动态，编入了一些物理及其交叉学科的新技术、新应用，以便在教学过程中培养学生的创新意识和知识应用能力。

本书由河南农业大学、安徽农业大学、江西农业大学共同编写。参加本书编写工作的教师多年来一直从事大学物理教学工作，对大学物理教学积累了丰富的经验并有许多独到的见解，这些经验和体会已被融入教材之中。为了节约篇幅，阅读材料穿插在正文中，用五号仿宋体编排，以示区别。书中带“*”号的内容为选学内容。

本书由潘建斌、章国顺主编。李辉（河南农业大学）编写第1、2、3、4章，

陆丹（江西农业大学）编写第 5、6 章，李小毛（江西农业大学）编写第 7、8 章，叶剑（安徽农业大学）编写第 9、12 章，周宗立（安徽农业大学）编写第 10、13 章，章国顺（安徽农业大学）编写第 11 章，李聪（河南农业大学）编写第 14、15 章，潘建斌（河南农业大学）、刘凤勤（浙江农林大学天目学院）编写第 16 章，潘建斌（河南农业大学）、李清玉（西南林业大学）编写第 17 章。全书最后由潘建斌、章国顺统稿和定稿。

在编写过程中，我们借鉴和吸纳了许多相关教材和参考文献的内容，在此，我们对这些教材和文献的作者表示衷心地敬意和感谢。

由于编者水平有限，难免有疏漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2013 年 5 月

CONTENTS | 目 录

前言

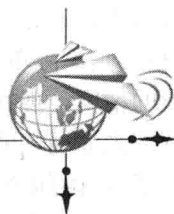
第 1 章 质点运动学	1
1.1 质点运动的描述	1
1.2 圆周运动	7
1.3 相对运动	11
思考题	12
习题	13
第 2 章 牛顿运动定律	15
2.1 牛顿运动定律	15
2.2 常见的力	17
2.3 牛顿运动定律的应用	18
思考题	20
习题	21
第 3 章 动量守恒定律 能量守恒定律 角动量守恒定律	23
3.1 动量定理 动量守恒定律	23
3.2 功 能 机械能守恒定律	27
3.3 角动量 角动量守恒定律	34
思考题	37
习题	38
第 4 章 刚体力学基础	40
4.1 刚体及刚体运动	40
4.2 质点系的角动量定理	42
4.3 刚体的转动定律	46
4.4 刚体定轴转动的功和动能定理	48
4.5 刚体定轴转动的角动量守恒定律	49
思考题	52
习题	53

第5章 机械振动	56
5.1 简谐振动	56
5.2 一维简谐振动的合成 拍现象	63
5.3 阻尼振动、受迫振动和共振	69
思考题	72
习题	73
第6章 机械波	75
6.1 机械波的产生和传播	75
6.2 平面简谐波的波动方程	79
6.3 波的能量 能流密度	84
6.4 惠更斯原理 波的衍射	86
6.5 波的叠加 波的干涉	88
6.6 多普勒效应	92
* 6.7 声波	94
思考题	95
习题	95
第7章 气体动理论	98
7.1 平衡态 理想气体状态方程 热力学第零定律	98
7.2 物质的微观模型 统计规律性	100
7.3 理想气体的压强公式	103
7.4 理想气体分子的平均平动动能与温度的关系	105
7.5 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	105
7.6 麦克斯韦气体分子速率分布律	109
7.7 气体分子平均碰撞次数和平均自由程	111
思考题	113
习题	114
第8章 热力学基础	116
8.1 准静态过程 功 热量	116
8.2 内能 热力学第一定律	118
8.3 理想气体的等体过程和等压过程 摩尔热容	120
8.4 理想气体的等温过程和绝热过程	123
8.5 循环过程 卡诺循环	126
8.6 热力学第二定律 卡诺定理	131
8.7 熵 熵增加原理	134

思考题	137
习题	138
第 9 章 静电场	142
9.1 库仑定律	142
9.2 电场强度	144
9.3 高斯定理	152
9.4 静电场的环路定理 电势	160
9.5 电场强度与电势梯度	167
思考题	168
习题	169
第 10 章 静电场中的导体和电介质	172
10.1 导体的静电平衡	172
10.2 导体壳和静电屏蔽	174
10.3 有导体存在的静电场场强与电势的计算	175
10.4 静电场中的电介质	177
10.5 电位移 电介质中的高斯定理	179
10.6 电容	181
10.7 静电场的能量	186
思考题	187
习题	188
第 11 章 恒定电流的磁场	191
11.1 恒定电流 电流密度	191
11.2 电源 电动势	193
11.3 磁感应强度	194
11.4 毕奥-萨伐尔定律及其应用	199
11.5 磁通量 磁场的高斯定理	202
11.6 安培环路定理	204
11.7 磁场对载流导线的作用	208
11.8 霍尔效应	212
思考题	213
习题	214
第 12 章 磁场中的磁介质	217
12.1 磁介质 磁化强度	217
12.2 磁场中的安培环路定理 磁场强度	219

12.3 铁磁质	221
思考题	224
习题	224
第 13 章 电磁感应 电磁场	226
13.1 法拉第电磁感应定律	226
13.2 动生电动势与感生电动势	231
13.3 自感与互感	236
13.4 磁场的能量	240
13.5 位移电流 麦克斯韦方程组的积分形式	242
13.6 电磁场的边值关系	245
思考题	248
习题	248
第 14 章 几何光学	253
14.1 几何光学的基本定律	253
14.2 平面反射和平面折射成像	254
14.3 球面反射和球面折射成像	255
14.4 薄透镜成像	258
14.5 人眼及常用几何光学仪器	259
思考题	262
习题	263
第 15 章 波动光学	264
15.1 光学的基本概念	264
15.2 分波前法干涉	269
15.3 分振幅法干涉	272
15.4 光的衍射	281
15.5 光的偏振	294
思考题	301
习题	301
第 16 章 狭义相对论	305
16.1 经典力学的基本困难	305
16.2 狭义相对论基本原理 洛伦兹变换	309
16.3 狭义相对论时空观	312
16.4 相对论质量和动量	315
16.5 相对论能量 质能关系	316

* 16.6 广义相对论简介	318
思考题	319
习题	319
第 17 章 量子物理基础	321
17.1 黑体辐射 普朗克量子假说	321
17.2 光电效应 爱因斯坦光子理论	324
17.3 康普顿效应	325
17.4 德布罗意假设 电子衍射	327
17.5 不确定关系	329
17.6 薛定谔方程	331
17.7 波函数的统计解释	332
17.8 一维势阱	334
17.9 一维方势垒 隧道效应	336
17.10 氢原子光谱 玻尔理论	338
17.11 电子轨道角动量	339
17.12 电子自旋	340
17.13 泡利不相容原理 原子的壳层结构	341
思考题	342
习题	342
参考文献	344



质点运动学

自然界中一切物质都处在永恒不息的运动中，运动是物质的基本属性，这种运动的普遍性和永恒性称为运动的绝对性。而运动的形式又是多种多样、千变万化的，其中最简单、最普遍的运动形式是物体之间（或同一物体的各部分之间）相对位置随时间的变化，即**机械运动**（mechanical motion）。例如天体的运行、汽车的行驶、机器的转动等都是机械运动。研究物体机械运动的科学称为**力学**（mechanics）。

经典力学通常分为**运动学**（kinematics）、**动力学**（dynamics）和**静力学**（statics）。运动学只描述物体的运动，不涉及运动发生和改变的原因；动力学研究物体的运动与物体间相互作用的内在联系；静力学研究物体在相互作用下的平衡问题。

我们主要研究运动学和动力学，包括质点运动学、牛顿定律、动量守恒定律、能量守恒定律、角动量守恒定律、刚体的转动规律。

经典力学中对物体运动的描述，称为**运动学**（kinematics）。本章为质点运动学。质点运动学研究质点机械运动的描述方法，而不追究运动发生的原因，着重分析描述运动的三个物理量——位矢、速度和加速度的意义以及它们的相互关系。

1.1 质点运动的描述

1.1.1 时间、空间 国际单位制和量纲

时间（time）和**空间**（space）是客观存在的。时间反映物质运动过程的持续性和顺序性，空间反映了物质存在的广延性。时间和空间是运动着的物质的存在形式，没有脱离物质的时间和空间，也没有不在空间和时间中运动的物质，时间和空间彼此不是独立的，物质的运动是时间和空间联系的纽带。

时间和空间是可量度的，通常选择某种物理存在作为量度的参考或标准，建立相应的量度单位，又由于各物理量之间都由一定的物理规律联系着，所以它们的单位也就有一定的联系，因此，在确定各物理量的单位时，总是根据它们之间的相互联系选定少数几个物理量作为基本量，并人为地规定它们的单位。这样的单位叫**基本单位**，其他的物理量都可以根据一定的关系从基本量导出，这些物理量叫**导出量**。导出量的单位都是基本单位的组合，叫导出单位。基本单位和由它们组成的导出单位构成一套单位制。由于基本单位的选择不同，就组成了不同的单位制。1960年第11届国际计量大会通过并建议世界各国采用的单位制叫**国际单位制**（international system of units），简称为SI。1974年的第14届国际计量大会又决定增加将物质的量的单位摩尔（mol）作为基本单位。它的7个基本量的基本单位为：米（m）、千克（kg）、秒（s）、安培（A）、开尔文（K）、摩尔（mol）、坎德拉（cd），力学

中仅涉及米、千克、秒三个基本单位。

“秒”是国际单位制的时间单位，以前曾规定平均太阳日的 $1/86\,400$ 为 1 s 。为了提高时间测量的精度，现在国际单位制的 1 s 的定义是：铯的一种同位素 (^{133}Cs) 原子发出的一个特征频率光波周期的 $9\,192\,631\,770$ 倍。

“米”是国际单位制长度单位，以前把保存在巴黎国际度量衡局中的“米原器”上两刻线之间的距离规定为 1 m 。为了提高长度的测量精度并保证标准的稳定性和易于复制，后来规定氪的一种同位素 (^{86}Kr) 原子发出的一个特征频率的光的波长的 $1\,650\,763.73$ 倍为 1 m 。由于激光的出现使长度测量的精度进一步提高了，1983 年起国际上又采用了“最后”的规定： 1 m 是光在真空中 $(1/299\,792\,458)\text{ s}$ 内所经过的距离。

“千克”是国际单位制质量单位，现在仍用“千克标准原器”的质量来规定。千克标准原器是用铂铱合金制造的一个金属圆柱体，保存在巴黎度量衡局的地窖中。它的质量规定为 1 kg 。为了比较方便起见，许多国家都有它的精确的复制品。

在物理学中，导出量和基本量之间的关系，可以用量纲 (dimension) 来表示。用 L 、 M 和 T 分别表示长度、质量和时间三个基本量的量纲，其他力学量 Q 的量纲与基本量量纲之间的关系，可表示为

$$\dim Q = L^p M^q T^r$$

称为量纲式。例如速度的量纲是 LT^{-1} ，角速度的量纲是 T^{-1} ，加速度的量纲是 LT^{-2} ，角加速度的量纲是 T^{-2} ，力的量纲是 MLT^{-2} ，等等。量纲式和量纲在物理学中很有用处，只有量纲式相同的量才能相加、相减或用等式相连接，这一法则称为量纲法则。我们可以利用量纲法则进行单位换算；检验新建方程，检验公式的正确性及完整性；还可以为探索复杂问题的物理规律提供思路和线索。量纲分析法在科学研究中具有重要作用。

1.1.2 质点 参考系 坐标系

1. 质点 在研究物体的机械运动时，如果问题是确定空间位置。当物体本身线度比它运动的空间范围小很多时，例如，绕太阳公转的地球（地球的平均轨道半径是 $1.5 \times 10^{11}\text{ m}$ ，而地球的半径约为 $6.4 \times 10^6\text{ m}$ ），或者当物体在平动（物体上任意两点的连线，在其运动过程中都始终保持其方向不变）时，如高速公路上行驶的汽车等，物体上所有点的运动情况（轨迹、速度、加速度）完全相同。这时就可以不考虑物体的大小和形状，而把物体的运动视为一个具有一定质量的点的运动代表，这种不计物体的大小和形状，而且有物体全部质量的点称为质点 (mass point, particle)。应强调指出，质点是一个理想化的模型，是对实际物体的一种科学抽象，通过这种抽象，可以使问题大大简化，而不影响所得到的主要结果。在实际问题中，能否把物体看成质点，要看所研究的问题的性质和具体情况。

2. 参考系 自然界中一切物质都是不停运动的，没有绝对静止的物体。运动是绝对的，但运动的描述却是相对的。因此，在确定研究对象的位置时，必须先选定一个标准物体（或相对静止的几个物体）作为基准，那么这个被选作标准的物体或物体群就称为参考系 (reference frame)。

同一物体的运动，由于我们所选参考系不同，对其运动的描述就会不同。例如，在匀速直线运动的车厢中，物体的自由下落相对于车厢是做直线运动，相对于地面却是做抛物线运动，相对于太阳或其他天体，运动的描述则更为复杂，这一事实充分说明了运动的描述是相

对的。

从运动学的角度讲,参考系的选择是任意的,通常以对问题的研究最方便最简单为原则。例如,研究地球上物体的运动,通常情况下以地球为参考系。但是,描述星际火箭的运动,开始发射时可选地球为参考系,当它进入绕太阳运行的轨道时,则应以太阳为参考系才便于描述。

3. 坐标系 在参考系选定后,为了定量地描述物体的运动,必须在参考系上建立适当的坐标系 (coordinate system)。在力学中常用的有直角坐标系 (x, y, z) 、平面极坐标系 (r, φ) 、柱坐标系 (r, φ, z) 、球坐标系 (r, θ, φ) 和自然坐标系等。当参考系选定后,无论选择何种坐标系,物体的运动性质都不会改变。然而,坐标系选择得当可使计算简化。

1.1.3 位置矢量 运动方程 位移

1. 位置矢量 在选定的坐标系里,用一个由原点指向质点的矢量表示质点某一时刻的空间位置,该矢量称为位置矢量 (position vector),简称位矢。如图 1-1 所示,设质点在某一时刻位于 P 点,有向线段 OP 即为质点该时刻的位矢,以 $\mathbf{r}$ 表示。它在 Ox 轴、 Oy 轴、 Oz 轴上的投影(即质点的坐标)分别为 x, y, z 。那么,位矢 $\mathbf{r}$ 的表达式为

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

位矢的大小为

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

其方向由 $\mathbf{r}$ 和 Ox 轴、 Oy 轴、 Oz 轴之间的夹角 α, β, γ 来确定,三个方向余弦为

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

位矢的单位为米 (m)。

2. 运动方程 当质点运动时,位置不断变化,因此位矢是时间的函数,即

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

这个函数描述了质点空间位置随时间变化的过程,称之为运动学方程 (kinematical equation)。

在直角坐标系中,运动方程可用分量表示为

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1-3)$$

从中消去变量 t 便得到了质点运动的轨迹方程。质点运动的轨迹若为直线称为直线运动,若为曲线则称为曲线运动。

知道了运动方程,就能确定任一时刻质点的位置,进而确定质点的运动。所以运动学的主要任务之一就是根据问题的具体条件,建立并求解质点的运动方程。

3. 位移 如图 1-2 所示,设时刻 t 质点经过 A 处,位矢为 $\mathbf{r}_A$,时刻 $t + \Delta t$ 质点运动到 B 处,位矢为 $\mathbf{r}_B$ 。在 Δt 时间内位矢的增量 $\mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = \Delta \mathbf{r}$ 称为位移矢量,简称位移 (displacement)。位移是矢量,其大小为有向线段 $\Delta \mathbf{r}$ 的长度,其方向由始点指向末点。

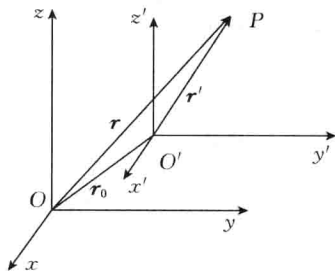


图 1-1 相对坐标系

若质点在平面直角坐标系 Oxy 中运动, 其位移为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = (x_B - x_A)\mathbf{i} + (y_B - y_A)\mathbf{j}$$

若质点在三维空间运动, 其在直角坐标系 $Oxyz$ 中的位移为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = (x_B - x_A)\mathbf{i} + (y_B - y_A)\mathbf{j} + (z_B - z_A)\mathbf{k} \quad (1-4)$$

必须指出, 位移和路程不同。位移是矢量, 是质点在一段时间内的位置变化, 而不是质点所经历的实际路程。路程为标量, 是指该段时间内质点实际运动轨迹的长度, 用 Δs 表示 (如图 1-2 中的弧长)。当质点运动轨迹为一闭合路径时, 其位移为零, 而路程则不为零。所以, 质点的位移和路程是完全不同的概念。只有在 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情况下, 才可认为位移的大小与路程相等, 即 $|\mathrm{d}\mathbf{r}| = \mathrm{d}s$ 。

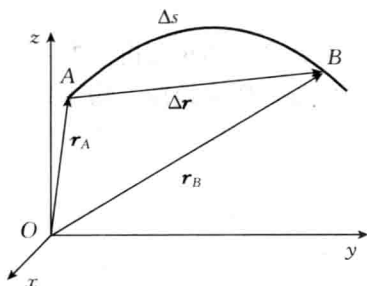


图 1-2 位移矢量

1.1.4 速度

速度是描述质点运动快慢和方向的物理量。在力学中, 只有当质点的位矢和速度同时被确定时, 其运动状态才能确定, 所以, 位矢和速度是描述质点运动状态的两个物理量。

如图 1-3 所示, 质点在平面上做曲线运动, t 时刻质点经过 A 处, 位矢为 $\mathbf{r}_A$, 时刻 $t + \Delta t$ 质点运动到 B 处, 位矢为 $\mathbf{r}_B$, 在 Δt 时间内质点的位移为 $\mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = \Delta \mathbf{r}$ 。将质点的位移与完成位移所需的时间的比值称为质点在该段时间内的平均速度 (average velocity), 用 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示

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

平均速度是矢量, 方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 相同。

平均速度只能反映一段时间内质点位置的平均变化情况, 而不能反映质点在某一时刻 (或某一位置) 的瞬时变化情况。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速度的极限值才能精确地反映质点在某一时刻 (或某一位置) 的运动快慢及方向。这一极限值称为质点在该时刻的瞬时速度 (instantaneous velocity), 简称速度 (velocity), 以 $\mathbf{v}$ 表示

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{r}}{\mathrm{d}t} \quad (1-6)$$

速度是矢量, 方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向一致。所以质点做曲线运动时, 某一点的速度方向为运动轨迹上该点的切线方向。

质点在三维直角坐标系中的速度为

$$\mathbf{v} = \frac{\mathrm{d}\mathbf{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\mathbf{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\mathbf{j} + \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\mathbf{k} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k} \quad (1-7)$$

式中 v_x , v_y , v_z 是速度在 Ox 轴, Oy 轴, Oz 轴上的分量, 称为速度分量。

瞬时速度的数值大小叫瞬时速率 (instantaneous speed), 简称速率 (speed)。

$$v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (1-8)$$

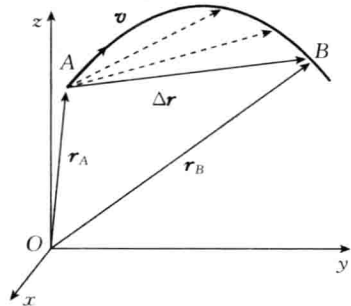


图 1-3 速度矢量

在国际单位制中,速度和速率的单位都是米·秒⁻¹ (m·s⁻¹)。表1-1给出了一些实际的速率数值,可以对速度的大小有个直观的了解。

表1-1 一些物体运动的速率

名 称	速率/m·s ⁻¹
光在真空中的速率	3.0×10^8
北京正负电子对撞机中电子的速率	99.999 998%光速
类星体的运行(最快的)速率	2.7×10^8
太阳在银河系中绕银河系中心的运动速率	3.0×10^5
地球公转的速率	3.0×10^4
人造地球卫星的速率	7.9×10^3
现代歼击机的速率	约 9×10^2
步枪子弹离开枪口时速率	约 7×10^2
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	4.5×10^2
空气中声速(0℃)	3.3×10^2
机动赛车(最大)速率	1.0×10^2
猎豹(最快动物)	2.8×10
人百米跑步(最快时)	1.0×10
蜗牛的爬行速率	约 1.5×10^{-3}
大陆板块移动	约 10^{-9}

1.1.5 加速度

加速度是描述质点速度随时间变化快慢的物理量。如图1-4所示, t 时刻质点位于 P ,速度为 $\boldsymbol{v}(t)$; $t+\Delta t$ 时刻质点运动到 Q ,速度为 $\boldsymbol{v}(t+\Delta t)$ 。在 Δt 时间间隔内速度增量为 $\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}(t+\Delta t) - \boldsymbol{v}(t)$ 。则 Δt 时间内,质点的平均加速度(average acceleration)为

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{\boldsymbol{v}(t+\Delta t) - \boldsymbol{v}(t)}{\Delta t} \quad (1-9)$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,平均加速度的极限就是质点在 t 时刻的瞬时加速度,简称加速度(acceleration)

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d^2 \boldsymbol{r}}{dt^2} \quad (1-10)$$

在三位直角坐标系中

$$\boldsymbol{a} = a_x \boldsymbol{i} + a_y \boldsymbol{j} + a_z \boldsymbol{k} \quad (1-11)$$

其中

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2} \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2} \end{cases} \quad (1-12)$$

加速度 $\boldsymbol{a}$ 的大小为

$$a = |\boldsymbol{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1-13)$$

加速度 $\boldsymbol{a}$ 的方向是 $\Delta \boldsymbol{v}$ 的极限方向,一般与 $\boldsymbol{v}$ 的方向不同。