University Physics

简明大学物理学

主 编 范仰才 张 欣 梁瑞生
副主编 张春华 方 允 简基康

高等教育出版社

University Physics

简明大学物理学

主　编　范仰才　张　欣　梁瑞生
副主编　张春华　方　允　简基康

JIANMING DAXUE WULIXUE

高等教育出版社·北京

内容简介

本书根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)的精神，考虑到目前国内应用型本科院校众多专业对少学时大学物理教材的需求，在总结编者长期从事工科大学物理教学一线实践经验的基础上，吸取国内外优秀教材之精华编写而成。本书选材恰当，叙述精练，内容包括力学、电磁学、波动与光学、热学、近代物理基础，共五篇。

本书可作为应用型本科院校各专业70~90学时大学物理课程的教材，也可作为高职高专、成人高校等物理课程的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

简明大学物理学 / 范仰才，张欣，梁瑞生主编. --北京：高等教育出版社，2019.1
ISBN 978-7-04-049434-1

Ⅰ.①简… Ⅱ.①范… ②张… ③梁… 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(2018)第023479号

JIANMING DAXUE WULIXUE

策划编辑	李　颖	责任编辑	李　颖	封面设计	姜　磊	版式设计	杜微言
插图绘制	杜晓丹	责任校对	高　歌	责任印制	刘思涵		

出版发行	高等教育出版社	网　　址	http://www.hep.edu.cn
社　　址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印　　刷	肥城新华印刷有限公司		http://www.hepmall.com
开　　本	787 mm × 1092 mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印　　张	22		
字　　数	460千字	版　　次	2019年1月第1版
购书热线	010-58581118	印　　次	2019年1月第1次印刷
咨询电话	400-810-0598	定　　价	43.10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

物 料 号　49434-00

简明大学物理学

主　编
范仰才　张　欣
梁瑞生
副主编
张春华　方　允
简基康

1 电脑访问http://abook.hep.com.cn/1252009，或手机扫描二维码、下载并安装Abook应用。

2 注册并登录，进入“我的课程”。

3 输入封底数字课程账号（20位密码，刮开涂层可见），或通过Abook应用扫描封底数字课程账号二维码，完成课程绑定。

4 点击“进入学习”，开始本数字课程的学习。

课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制，部分内容无法在手机端显示，请按提示通过电脑访问学习。

如有使用问题，请发邮件至abook@hep.com.cn。

http://abook.hep.com.cn/1252009

前　言

本书以贯彻教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010 年版)为宗旨,在原教材《大学物理学》上下册(2016 版)基础上改编而成。本教材保留了原书的编写特色和风格,特别针对目前应用型本科院校少学时大学物理课程的教学特点和要求,对全书内容进行了重新审视和必要的调整及删减,以符合大学物理教学基本要求,同时又适合大多数应用型本科院校各专业少学时大学物理课程的教学需求。

正如著名物理教学大师赵凯华教授所说:“对任何专业,大学基础物理课的目的,都是使学生对物理学的内容和方法,工作语言、概念和物理图像,其历史、现状和前沿等方面,从整体上有个全面的了解。这是一门培养和提高学生科学素质、科学思维方法和科学研究能力的重要基础课。”为此,本书在取材上,既注重物理基础知识的系统性与完整性,同时也兼顾少学时教学的现实,内容体系上包含工科大学物理力学、电磁学、波动与光学、热学、近代物理基础共五篇。在教学内容的选取与组织、概念和定理(定律)的阐述以及语言表述方面尽量做到风格统一、叙述精练、重点突出、难度适中。可有可无的内容不要,可讲可不讲的话不讲。为便于教学和学生课后复习和思考,书中精选了部分例题并在每次课(或每节内容结束)后配有 2~3 个思考题;每章后配有一定数量的习题。习题的形式多样,包括选择题、填空题和计算题等,紧扣教学内容且难度适中。另外,本教材还选编了一些生活中的物理小专题,以提高学生学习大学物理的兴趣。本书特别适合作为应用型本科院校各专业 70~90 学时的大学物理课程教材,书中标“ * ”的内容,可根据专业的需要或学时的多少由教学单位或任课教师自行取舍。

本书由教育部高等学校大学物理课程教学指导委员会委员、广东工业大学胡义华教授主审。参加本书编写的作者范仰才、张欣、梁瑞生、张春华、方允、简基康都是具有 20 年以上工科大学物理课程教学经历、经验丰富的一线教授。作者分工合作,对各自承担的部分精心组织、审视和提炼,最后范仰才负责全书的统稿和定稿工作。

本教材的编写得到了广东工业大学和广州工商学院“十三五”质量工程项目的资助,广东工业大学物理与光电工程学院以及部分国内工科院校的同行对本教材的编写提出了很多宝贵的意见和建议,编者在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中肯定存在不妥和疏漏之处,恳请使用本书的广大师生批评指正。

编　者

2017 年 9 月于广州

目　录

第一篇　力　学

第1章　质点运动学 ………………………… 003
1.1　矢量及其代数运算 ………………………… 004
1.2　参考系　坐标系　质点 ………………………… 007
1.3　质点运动的描述一 ………………………… 008
1.4　质点运动的描述二 ………………………… 013
*1.5　相对运动 ………………………… 017
生活中的物理1　伯努利效应与乒乓球 ………… 018
习题1 ………………………… 019
第2章　质点动力学 ………………………… 023
2.1　牛顿运动定律 ………………………… 024
2.2　动量定理和动量守恒定律 ………………………… 029
2.3　功　动能定理 ………………………… 033
2.4　势能　机械能守恒定律 ………………………… 036
生活中的物理2　秋千如何越荡越高,能量的增长从何而来? ………… 041
习题2 ………………………… 042
*第3章　刚体力学基础 ………………………… 047
3.1　刚体及刚体定轴转动的描述 ………………………… 048
3.2　刚体定轴转动定律 ………………………… 049
3.3　定轴转动的功和能 ………………………… 054
3.4　角动量定理和角动量守恒定律 ………………………… 056
生活中的物理3　不倒翁不倒的奥妙在哪里? ………… 060
习题3 ………………………… 061

第二篇　电　磁　学

第4章　真空中的静电场 ………………………… 069
4.1　电场　电场强度 ………………………… 070
4.2　电场强度通量　高斯定理 ………………………… 076
4.3　电势 ………………………… 083
生活中的物理4　静电除尘的原理 ………… 090
习题4 ………………………… 090
第5章　导体和电介质中的静电场 ………………………… 095
5.1　静电场中的导体 ………………………… 096
5.2　静电场中的电介质 ………………………… 101
5.3　电容　电场的能量 ………………………… 104
生活中的物理5　压电效应及其应用 ………… 109
习题5 ………………………… 109
第6章　恒定电流的磁场 ………………………… 113
6.1　磁场　磁感应强度 ………………………… 114
6.2　磁场的高斯定理与安培环路定理 ………………………… 119
6.3　磁力 ………………………… 124
6.4　磁介质中的磁场 ………………………… 131
生活中的物理6　磁流体发电的基本原理 ………… 135
习题6 ………………………… 135
第7章　电磁感应　电磁场 ………………………… 141
7.1　电磁感应定律 ………………………… 142
7.2　动生和感生电动势 ………………………… 145
7.3　自感　互感　磁场的能量 ………………………… 149
*7.4　麦克斯韦电磁场理论 ………………………… 155
生活中的物理7　家用电磁炉、微波炉的基本原理 ………… 158
习题7 ………………………… 159

第三篇　波动与光学

第 8 章　振动学基础 …… 167
8.1　简谐振动的规律　旋转矢量表示法 …… 168
8.2　简谐振动的能量 …… 174
8.3　简谐振动的合成 …… 175
生活中的物理 8　共振的应用与危害 …… 180
习题 8 …… 181
第 9 章　波动学基础 …… 185
9.1　机械波的形成　传播和描述 …… 186
9.2　平面简谐波的波函数 …… 188
*9.3　波的能量 …… 192
9.4　波的叠加和干涉 …… 194
*9.5　驻波 …… 196
*9.6　多普勒效应 …… 200
生活中的物理 9　医用 B 超成像的原理 …… 202
习题 9 …… 203
第 10 章　光的干涉 …… 207
10.1　光源　光的相干性 …… 208
10.2　杨氏双缝干涉 …… 209
10.3　光程与光程差 …… 211
10.4　薄膜干涉 …… 214
*10.5　迈克耳孙干涉仪 …… 220
习题 10 …… 222
第 11 章　光的衍射和偏振 …… 227
11.1　单缝夫琅禾费衍射 …… 228
11.2　光栅衍射 …… 232
11.3　光的偏振 …… 236
生活中的物理 10　全息照相技术 …… 241
习题 11 …… 242

第四篇　热　学

第 12 章　气体动理论 …… 247
12.1　平衡态　态参量　理想气体物态方程 …… 248
12.2　理想气体的压强公式和温度公式 …… 250
12.3　能量均分定理　理想气体的内能 …… 253
*12.4　麦克斯韦速率分布律 …… 256
习题 12 …… 261
第 13 章　热力学基础 …… 265
13.1　准静态过程　功　热量和内能 …… 266
13.2　热力学第一定律及其在理想气体等值过程的应用 …… 269
13.3　绝热过程 …… 272
13.4　循环过程　卡诺循环 …… 275
13.5　热力学第二定律 …… 278
*13.6　熵　熵增加原理 …… 281
*13.7　热力学第二定律和熵的统计意义 …… 284
生活中的物理 11　家用电冰箱的制冷原理 …… 286
习题 13 …… 287

*第五篇　近代物理基础

第 14 章　狭义相对论基础 …… 293
14.1　伽利略变换　力学相对性原理 …… 294
14.2　狭义相对论基本原理　洛伦兹变换 …… 295
14.3　狭义相对论时空观 …… 299
14.4　狭义相对论动力学基础 …… 302
习题 14 …… 304
第 15 章　量子物理基础 …… 307
15.1　黑体辐射　普朗克量子假设 …… 308
15.2　光电效应　爱因斯坦光子理论 …… 309
15.3　康普顿散射 …… 312
15.4　玻尔的氢原子理论 …… 314
15.5　粒子的波动性　不确定关系 …… 319
15.6　波函数　薛定谔方程 …… 321
习题 15 …… 325

附录1 中华人民共和国法定计量单位 …… 329
附录2 常用物理常量表 …… 333
附录3 本书物理量的名称、符号和单位（SI）一览表 …… 335
参考文献 …… 339

第一篇

力学

物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用及其转化规律的自然科学。力学是研究物体机械运动规律的学科。它起源于公元前4世纪古希腊学者亚里士多德关于力产生运动的说法，以及我国《墨经》中关于杠杆原理的论述等，但其成为一门科学则始于17世纪伽利略关于惯性运动的论述，继而牛顿提出了力学三大运动定律。以牛顿运动定律为基础的力学称为牛顿力学或经典力学。经过400多年的发展，力学形成了严谨的理论体系和完备的研究方法。它的许多概念和原理具有广泛的适用性，从而使力学成了物理学和许多工程技术的理论基础。20世纪以来，相对论、量子力学的建立以及对混沌等问题的研究，给经典力学带来了巨大的冲击，使人们对力学的认识发生了重大的改变。尽管物理学的近代发展揭示了经典力学只在宏观低速领域内适用，然而，由于一方面在相当广阔的尺度和速率范围内经典力学仍具有较高的实用价值，另一方面在包括高速和微观领域在内的整个物理学中，经典力学的一些重要概念和定律，如动量、角动量、能量及其相应的守恒定律仍同样适用，经典力学不仅没有失去它原有的光辉和存在的价值，而且仍然保持着作为物理学基础的重要地位，在自然科学和工程技术等的广阔领域中，牛顿力学仍然能够较精确地解决广泛的理论和实际问题。

本篇主要讨论经典力学，包括质点力学和刚体力学基础，以牛顿定律为基础展开，着重阐明动量、能量、角动量等概念及其相应的守恒定律。

第1章

质点运动学

在经典力学中，通常把力学分为静力学、运动学和动力学。本章只研究运动学。运动学是从几何的观点来描述物体的运动，即研究物体的空间位置随时间变化的关系，而不涉及引起物体运动和改变运动状态的原因。

本章首先介绍矢量及其代数运算，然后定义描述质点运动的一些物理量，如位矢、位移、速度、加速度等，接着讨论曲线运动中的法向和切向加速度及圆周运动的角量描述，最后简要介绍相对运动。

1.1 矢量及其代数运算

1.1.1 矢量及其表示

物理学中常涉及两类物理量：一类是只有大小和正负，而没有方向的量，如质量、长度、时间、能量、温度等，这类物理量称为**标量**。另一类是既有大小又有方向的物理量，如力、位移、速度、加速度、动量、电场强度、磁感应强度等，这类物理量称为**矢量**。矢量的相加减遵守平行四边形的运算法则。

矢量的表示：印刷中矢量常用黑体字母（例如 $\boldsymbol{A}$）表示；手（书）写时用字母上面加箭头（例如$\vec{A}$）表示矢量。矢量可用一条带有方向的线段来图示，线段长度表示矢量的大小，箭头指向表示矢量的方向，如图 1-1 所示。

矢量的大小称为矢量的**模**，矢量 $\boldsymbol{A}$ 的模常用符号 $|\boldsymbol{A}|$或 A 表示。如果矢量 $\boldsymbol{e}_A$ 的模等于 1，且方向与矢量 $\boldsymbol{A}$ 相同，则 $\boldsymbol{e}_A$ 称为矢量 $\boldsymbol{A}$ 方向上的**单位矢量**。

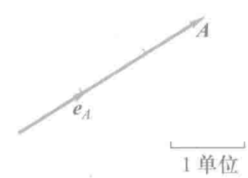

图 1-1 矢量的图示

引入单位矢量后，矢量 $\boldsymbol{A}$ 可以表示为

$$\boldsymbol{A}=|\boldsymbol{A}|\boldsymbol{e}_A=A\boldsymbol{e}_A \quad 或 \quad \boldsymbol{e}_A=\frac{\boldsymbol{A}}{|\boldsymbol{A}|}=\frac{\boldsymbol{A}}{A}$$

在直角坐标系中，x、y、z 正向的单位矢量通常用 $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$、$\boldsymbol{k}$ 表示，而自然坐标系中切向和法向的单位矢量则通常用 $\boldsymbol{e}_t$ 和 $\boldsymbol{e}_n$ 表示。

1.1.2 矢量的合成与分解

两矢量的合成（平行四边形法则） 设有两个矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$，如图 1-2 所示。将它们相加时，先将两矢量平移，让它们的始端重合，然后以这两个矢量为邻作平行四边形，其对角线即为两矢量的和，用矢量 $\boldsymbol{C}$ 表示，即

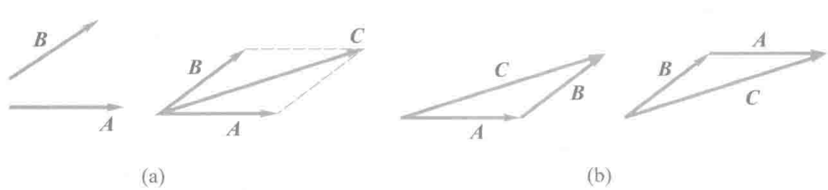

图 1-2 两矢量的合成

$$C=A+B=B+A$$

$\boldsymbol{C}$ 称为合矢量，而 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 则称为 $\boldsymbol{C}$ 矢量的分矢量。因为平行四边形的对边平行且相等，所以两矢量合成的平行四边形法则可简化为三角形法则，即以矢量 $\boldsymbol{A}$ 的末端为起点，作矢量 $\boldsymbol{B}$，见图 1-2(b)。不难看出，由 $\boldsymbol{A}$ 的起点画到 $\boldsymbol{B}$ 的末端的矢量就是合矢量 $\boldsymbol{C}$。同样，如以矢量 $\boldsymbol{B}$ 的末端为起点，作矢量 $\boldsymbol{A}$，由 $\boldsymbol{B}$ 的起点画到 $\boldsymbol{A}$ 的末端的矢量也是合矢量 $\boldsymbol{C}$，即矢量的加法满足交换律。

多个矢量的合成（多边形法则）　求多个矢量的合成时，可根据三角形法，先求其中两个矢量的合矢量，然后将该矢量与第三个矢量相加，求出这三个矢量的合矢量，依此类推，就可以求出多个矢量的合矢量，如图 1-3 所示。从图中可以看出，如果在第一个矢量的末端画出第二个矢量，再在第二个矢量的末端画出第三个矢量……即把所有相加的矢量首尾相连，然后由第一个矢量的起点到最后一个矢量的末端作一矢量，这个矢量就是它们的合矢量。由于所有的分矢量与合矢量在矢量图上围成一个多边形，所以这种求合矢量的方法称为**多边形法则**。

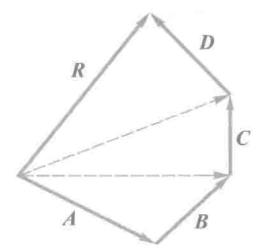

图 1-3　多个矢量的合成

矢量的分解（正交分解法）　两个或多个矢量可以合成一个矢量，同样，一个矢量也可以分解为两个或多个矢量。随意分解显然没有实际意义，一般常将一个矢量沿直角坐标轴分解（正交分解）。由于坐标轴的方向已确定，所以任一矢量分解在各坐标上的分矢量只需用带有正负号的数值表示即可，这些分矢量的量值都是标量，一般叫分量。图 1-4 和图 1-5 分别为平面矢量的分解和空间矢量的分解。

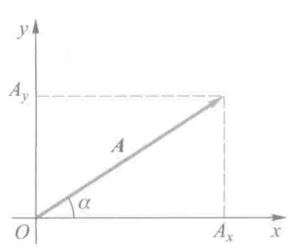

图 1-4　平面矢量的分解

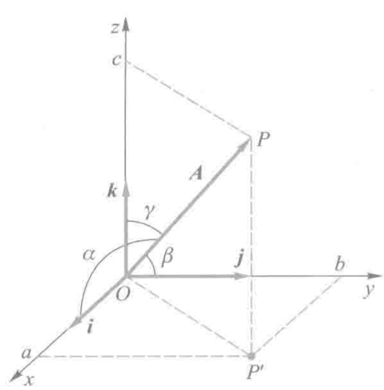

图 1-5　空间矢量的分解

如图 1-4 所示，有　$\boldsymbol{A}=A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}=A\cos\alpha\boldsymbol{i}+A\sin\alpha\boldsymbol{j}$

其中 $A_x=A\cos\alpha$，$A_y=A\sin\alpha$ 为矢量 $\boldsymbol{A}$ 在 x 和 y 轴上的分量，$\boldsymbol{A}$ 的大小

$$A=|\boldsymbol{A}|=\sqrt{A_x^2+A_y^2}$$

$\boldsymbol{A}$ 的方向

$$\tan\alpha=\frac{A_y}{A_x}$$

如图 1-5，有 $\boldsymbol{A}=\overrightarrow{OP'}+\overrightarrow{Oc}=\overrightarrow{Oa}+\overrightarrow{Ob}+\overrightarrow{Oc}=A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k}$
其中 $A_x=|Oa|$，$A_y=|Ob|$，$A_z=|Oc|$ 为矢量 $\boldsymbol{A}$ 在 x、y、z 轴上的分量，$\boldsymbol{A}$ 的大小

$$A=|\boldsymbol{A}|=\sqrt{A_x^2+A_y^2+A_z^2}$$

$\boldsymbol{A}$ 的方向用三个方向余弦表示：

$$\cos\alpha=\frac{A_x}{A},\quad \cos\beta=\frac{A_y}{A},\quad \cos\gamma=\frac{A_z}{A}$$

两矢量相减 设有两个矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$，如图 1-6 所示。将它们相减时，先将两矢量平移，让它们的始端重合，然后由减矢量的末端向被减矢量的末端作一矢量，该矢量即为两矢量的差，用矢量 $\boldsymbol{D}$ 表示，即

$$\boldsymbol{D}=\boldsymbol{A}-\boldsymbol{B}=\boldsymbol{A}+(-\boldsymbol{B})$$

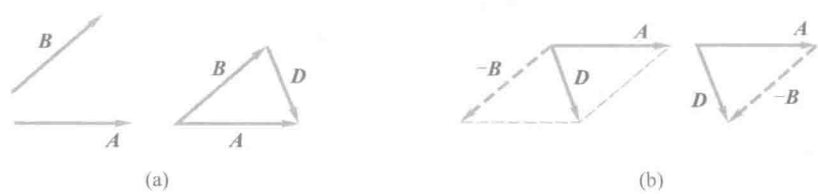

图 1-6 两矢量相减

矢量相减也可写成加负矢量然后用平行四边形或三角形作图法求解，如图 1-6(b) 所示。

1.1.3 矢量的代数运算

已知两矢量的坐标分量表达式分别为

$\boldsymbol{A}=A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k}$，，$\boldsymbol{B}=B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j}+B_z\boldsymbol{k}$，现作如下代数运算

1. 两矢量的和与差

定义：
$$\boldsymbol{A}\pm\boldsymbol{B}=(A_x\pm B_x)\boldsymbol{i}+(A_y\pm B_y)\boldsymbol{j}+(A_z\pm B_z)\boldsymbol{k} \tag{1-1}$$

即，两矢量的和与差等于它们同名坐标的和与差。

2. 矢量的数乘

矢量 $\boldsymbol{A}$ 与一个数 m 相乘，得到的是另一个矢量 $m\boldsymbol{A}$，其大小为 mA，如果 $m>0$，其方向与 $\boldsymbol{A}$ 相同；如果 $m<0$，其方向与 $\boldsymbol{A}$ 相反。

3. 两矢量的点乘(标积)

定义：
$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=AB\cos\alpha \tag{1-2}$$

式中 α 为 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 的夹角。即，两矢量点乘等于两个矢量的大小乘以它们夹角的余弦，其结果为一标量。

两矢量点乘有如下性质：

(1) $\boldsymbol{A}/\!/\boldsymbol{B}$， $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=AB$， (2) $\boldsymbol{A}\perp\boldsymbol{B}$， $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=0$， (3) $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{A}$

单位矢量的点乘 $\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{j}=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{k}=1$， $\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{j}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{k}=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{i}=0$

利用上述性质,可得 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 两矢量点乘的结果为

$$\begin{aligned}\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}&=(A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k})\cdot(B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j}+B_z\boldsymbol{k})\\&=A_xB_x+A_yB_y+A_zB_z\end{aligned}$$

4. **两矢量的叉乘**(矢积)

定义:
$$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=\boldsymbol{C},\quad C=|\boldsymbol{C}|=AB\sin\theta \tag{1-3}$$

式中 θ 为 $\boldsymbol{A}$ 与 $\boldsymbol{B}$ 的夹角。即,两矢量叉乘的结果为一矢量 $\boldsymbol{C}$,$\boldsymbol{C}$ 的大小等于两个矢量的大小乘以它们交角的正弦,$\boldsymbol{C}$ 矢量的方向垂直于 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 两矢量构成的平面,其指向由右手螺旋定则确定,即从 $\boldsymbol{A}$ 经小于 180°的角转向 $\boldsymbol{B}$ 时大拇指所指的方向,如图 1-7 所示。

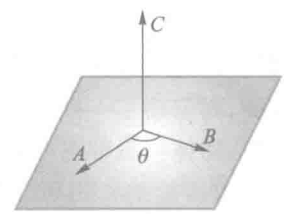

图 1-7 两矢量的叉乘

两矢量叉乘有如下性质:

(1) $\boldsymbol{A}/\!/\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=0$,

(2) $\boldsymbol{A}\perp\boldsymbol{B}$, $|\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}|=AB$,

(3) $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=-\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{A}$

单位矢量的叉乘

$$\begin{gathered}\boldsymbol{i}\times\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}\times\boldsymbol{j}=\boldsymbol{k}\times\boldsymbol{k}=0,\quad \boldsymbol{i}\times\boldsymbol{j}=-\boldsymbol{j}\times\boldsymbol{i}=\boldsymbol{k},\\ \boldsymbol{j}\times\boldsymbol{k}=-\boldsymbol{k}\times\boldsymbol{j}=\boldsymbol{i},\quad \boldsymbol{k}\times\boldsymbol{i}=-\boldsymbol{i}\times\boldsymbol{k}=\boldsymbol{j}\end{gathered}$$

利用上述性质,可得 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 两矢量叉乘的结果为

$$\begin{aligned}\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}&=(A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k})\times(B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j}+B_z\boldsymbol{k})\\&=(A_yB_z-A_zB_y)\boldsymbol{i}+(A_zB_x-A_xB_z)\boldsymbol{j}+(A_xB_y-A_yB_x)\boldsymbol{k}\end{aligned}$$

两矢量叉乘也可用行列式表示

$$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=\begin{vmatrix}\boldsymbol{i}&\boldsymbol{j}&\boldsymbol{k}\\A_x&A_y&A_z\\B_x&B_y&B_z\end{vmatrix}=(A_yB_z-A_zB_y)\boldsymbol{i}+(A_zB_x-A_xB_z)\boldsymbol{j}+(A_xB_y-A_yB_x)\boldsymbol{k}$$

1.2 参考系 坐标系 质点

1.2.1 运动描述的相对性

参考系 宇宙万物,大至日、月、星、辰,小至分子、原子都在不停地运动着。运动是绝对的,而对运动的描述是相对的。例如,从匀速飞行的飞机上自由落下一个物体,飞机上的观察者看到物体做自由落体运动,而地面上的观察者却看到物体做平抛运动。大量此类观察表明,描述一个物体的运动时,必须选择另一物体作参考,被选作参考的物体叫**参考系**。图 1-8 中,确定物体 M 的运动,可选某房子作参考系,也可选择正在做匀速直线运动的汽车作参考系,同一运动在不同参考系中会有不同的图像,这叫**运动描述的相对性**。

坐标系 为了定量地描述物体的位置随时间的变化,还必须在选定的参考系

上建立一个坐标系,如图 1-8 中的直角坐标系 $Oxyz$ 或 $O'x'y'z'$。选定坐标系后(不必在图中画出参考物了)物体的位置就可以用它在这个坐标系中的三个坐标(x,y,z 或 x',y',z')来描述。力学中常用的坐标系有直角坐标系、极坐标系和自然坐标系等。

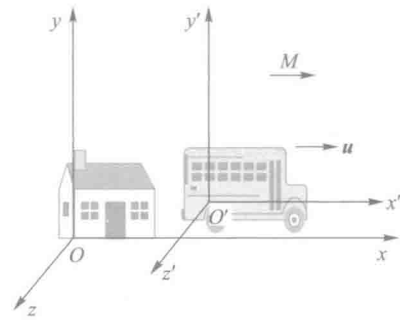

图 1-8 参考系和坐标系

1.2.2 质点

物理学中,为了突出研究对象的主要性质,常将研究对象加以简化,使之抽象成理想模型。理想模型保留了实际物体的主要特征,而忽略了一些次要因素。质点就是力学中最先遇到的一种理想模型。众所周知,物体一般都有一定的形状和大小,但如果物体的形状、大小对它的运动不起作用或所起的作用可以忽略,就可以用一个**只有质量而没有形状和大小的几何点**来表示该物体,这个抽象化的点就叫**质点**。以下情况可以把运动物体当作质点处理。

(1) 物体上各点的运动情况相同,即物体做平动。

(2) 物体的大小比起它运动的空间距离小很多,物体可以看成质点。例如当研究地球绕太阳转动时,由于地球直径(约为 1.28×10^{7} m)比地球与太阳的距离(约为 1.50×10^{11} m)小得多,地球上各点的运动情况可视为相同,地球可以当作质点处理,但当研究地球本身的自转时则不能把地球当作质点处理。

如果所研究的物体不能当作一个质点处理,可以把物体看成是许多质点的集合——**质点系**,研究了其中每一个质点的运动之后,整个物体的运动情况就清楚了。

1.3 质点运动的描述一

1.3.1 位置矢量 运动方程

为了表示运动质点的位置,首先要选参考系,然后在参考系上建立坐标系,如图 1-9 所示。任意时刻质点 P 的位置可用它所在点的三个坐标(x,y,z)来确定,或者用从原点 O 指向 P 点的有向线段 $\overrightarrow{OP}=\boldsymbol{r}$ 来表示。矢量 $\boldsymbol{r}$ 称为**位置矢量**,简称**位矢**。相应地,坐标 x、y、z 也就是位矢 $\boldsymbol{r}$ 在坐标轴上的三个分量。

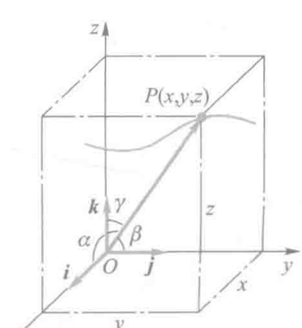

图 1-9 位置矢量

在直角坐标系中,位矢 $\boldsymbol{r}$ 可表示为

$$\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j}+z\boldsymbol{k} \tag{1-4}$$

式中 $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$、$\boldsymbol{k}$ 分别表示沿 x、y、z 三个坐标轴正方向的**单位矢量**。位矢 $\boldsymbol{r}$ 的大小和方向余弦分别为

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

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

质点运动时，其位置不断随时间变化，这时质点的坐标 x、y、z 和位矢 $\boldsymbol{r}$ 都是时间的函数。描述质点空间位置随时间变化的函数式称为质点的**运动方程**，即

$$x=x(t),\quad y=y(t),\quad z=z(t) \tag{1-5a}$$

或

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t) \tag{1-5b}$$

知道了运动方程，就能确定任一时刻质点的位置，从而确定了质点的运动。运动学的主要任务之一，就是根据各种问题的具体条件，求解质点的运动方程。

质点运动的空间轨迹称为**轨道**。轨道为直线时，称为直线运动；轨道为曲线时，称为曲线运动。从式(1-5a)中消去时间 t 即得**轨道方程**。式(1-5a)也就是轨道的参数方程。

1.3.2 位移

如图1-10所示，设质点沿曲线轨道运动，t 时刻质点在 A 点，位矢为 $\boldsymbol{r}_A$，$t+\Delta t$ 时刻质点运动到 B 点，位矢为 $\boldsymbol{r}_B$。则 Δt 时间内位置矢量的增量

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_B-\boldsymbol{r}_A \tag{1-6}$$

称为质点在 Δt 时间内的**位移**。位移是矢量，它的运算遵守矢量加法的平行四边形法则。

在直角坐标系中，位移的表达式为

$$\begin{aligned}\Delta\boldsymbol{r}&=(x_B-x_A)\boldsymbol{i}+(y_B-y_A)\boldsymbol{j}+(z_B-z_A)\boldsymbol{k}\\&=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}+\Delta z\boldsymbol{k}\end{aligned}$$

位移的大小 $|\Delta\boldsymbol{r}|=\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2+\Delta z^2}$

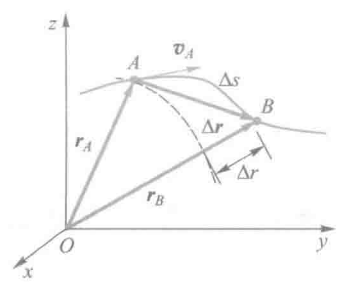

图1-10 位移与路程

注意：位移的大小或位移的模只能记作 $|\Delta\boldsymbol{r}|$，而不能记作 Δr，参见图1-10。Δr 通常表示位矢的模的增量，即 $\Delta r=|\boldsymbol{r}_B|-|\boldsymbol{r}_A|$，而 $|\Delta\boldsymbol{r}|$ 则是位矢增量的模，即 $|\Delta\boldsymbol{r}|=|\boldsymbol{r}_B-\boldsymbol{r}_A|$，两者显然不等。

质点在 Δt 时间内运动的空间轨迹的长度（图1-10中弧线 $\widehat{AB}$ 的长度）叫**路程**，以 Δs 表示。路程 Δs 是标量。一般情况下，$|\Delta\boldsymbol{r}|\neq\Delta s$，当且仅当 Δt 趋于零时，两者的极限值才相同，即 $\lim\limits_{\Delta t\to 0}\Delta s=\lim\limits_{\Delta t\to 0}|\Delta\boldsymbol{r}|$，也就是 $\mathrm{d}s=|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|$。

1.3.3 速度

视频：速度

速度是描述质点位置变化快慢的物理量。设一质点沿曲线运动，Δt 时间内的位移为 $\Delta\boldsymbol{r}$，则