

 普通高等教育大学物理规划教材



大学基础物理学 (上)

Fundamentals of University Physics

◎ 郑勇林 杨 维 赵茂娟 王晓茜 杨 敏 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育大学物理规划教材

大学基础物理学（上）

郑勇林 杨 维 赵茂娟 王晓茜 杨 敏 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书依据教育部非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会制定的《理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求》的框架编撰而成, 全书涵盖了基本要求的核心内容, 并增加了部分拓展内容。全书分为上、下两册共 14 章, 包含有力学、热学、电磁学、振动和波、波动光学、狭义相对论和量子力学基础, 分子与固体等内容。每章都包含基本内容、本章提要、阅读材料、习题, 全书最后附有习题答案。此外, 为了拓展读者的知识面, 本书还增加了部分选学内容, 这部分内容均标以“*”号。阅读材料也可作为扩展内容, 介绍了物理学在前沿科学和技术中的应用及前沿科学理论, 选学内容和阅读材料都自成体系, 可选讲或指导学生阅读。

本书可作为高等学校理工科非物理类专业的大学物理教材, 也可作为高等职业院校相关专业课程教材和教学参考书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

大学基础物理学. 上 / 郑勇林等编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.2

普通高等教育大学物理规划教材

ISBN 978-7-121-24748-4

I. ①大… II. ①郑… 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(2014)第 268567 号

策划编辑: 张小乐

责任编辑: 张小乐

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 25.25 字数: 630 千字

版 次: 2015 年 2 月第 1 版

印 次: 2015 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 49.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

为了更好地适应我国高等教育发展需要,满足目前社会对一般高等学校大众化教育背景下人才培养的各项要求,进一步探索和完善我国高等学校应用型人才培养体系,积极探索适应 21 世纪人才培养的教学模式,我们根据教育部非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会制定的《理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求》(后简称“纲要”)的思想和精神,编写了《大学基础物理学》(上、下)教材及《大学基础物理学习指导》辅导教材。

物理学是自然科学的基础,在人类认识自然世界的进程中一直发挥着重要的作用。尽管本书所涉及的大多数知识是前几个世纪确立的理论,但对今天乃至未来的人类生活和科技发展都有着重要的影响。对于大学本、专科学生来说,大学物理是学习其他后续课程的基础课,是一门全面地、系统地培养学生综合素质的课程。通过大学基础物理学课程的学习,可科学的思维方式和研究问题的方法,能开阔学生思路,激发探索和创新精神,提高科学素养,增强社会适应能力。

本书分为上、下两册共 14 章,包括力学、热学、电磁学、振动和波、波动光学、狭义相对论和量子力学基础,分子与固体等内容。每章都包含基本内容、本章提要、阅读材料、习题,全书最后附有习题答案。此外,为了拓展读者的知识面,本书还增加了部分选学内容,这部分内容均标以“*”号。阅读材料也作为扩展内容,介绍了物理学在前沿科学和技术中的应用及前沿科学理论,选学内容和阅读材料都自成体系,可选讲或指导学生阅读。

本书依据“纲要”基本要求而编写,旨在帮助读者掌握物理学的基本概念和规律,建立较完整的物理思想。让读者能学以致用,实现知识能力与素质协调发展。本书在编写上力求内容简练,概念清晰,突出重点。可供高等学校非物理类专业本科、专科及成人高等院校的学生学习参考。

本书第 1 章、第 2 章由赵茂娟、杨敏执笔,郑勇林、杨维审阅;第 3 章、第 10 章、第 12 章由朱晓玲、王晓茜编写,郑勇林、杨维审阅;第 4 章由郑勇林、高志华编写,杨维审阅;第 5 章、第 8 章由杨维编写,郑勇林审阅;第 6 章由刘鸿编写,郑勇林、杨维审阅;第 7 章、第 9 章由戴松晖、陆智编写,郑勇林、卢孟春审阅;第 11 章、第 13 章、第 14 章由郑勇林、卢孟春编写,孙婷雅、杨维、杨敏审阅;李伯恒、孙婷雅、郑勇林、杨维、陆智审阅了全书习题。全书由郑勇林统稿。

本书在编写过程中得到了成都大学、长江师范学院、四川农业大学理学院、重庆工业

职业技术学院物理教研室等单位的大力支持，编者在此致以衷心的感谢，特别感谢电子工业出版社给予的大力支持和帮助。

西南大学郑瑞伦教授细致地审阅了书稿，提出许多中肯的修改意见和建议。成都大学汪令江教授，长江师范学院周晏副教授为本书编写做了大量工作，在此表示感谢。

本书编写过程中参考了其他同类教材，在此一并致谢。

由于编者水平有限，书中可能存在不妥甚至错误之处，敬请批评指正。

编著者

2014年8月于成都

目 录

第 1 章 质点运动学	1
1.1 质点运动的描述	1
1.1.1 质点	1
1.1.2 参考系和坐标系	2
1.1.3 空间和时间	2
1.2 描述质点运动的基本物理量	3
1.2.1 位置矢量 位移	3
1.2.2 运动方程	5
1.2.3 速度 加速度	5
1.2.4 运动的叠加性	11
1.2.5 相对运动	13
1.3 圆周运动及其描述	15
1.3.1 圆周运动 平面极坐标	15
1.3.2 切向加速度和法向加速度	16
1.3.3 圆周运动的角量描述	18
1.3.4 线量和角量的关系	19
本章提要	21
阅读材料	22
习题	26
第 2 章 质点动力学	31
2.1 牛顿运动定律及其应用	31
2.1.1 牛顿运动定律	32
2.1.2 力学中的几种常见力	33
2.1.3 物理量的单位和量纲	37
2.1.4 牛顿定律的应用举例	38
*2.1.5 非惯性系 惯性力	43
2.2 动量定理与动量守恒定律	46
2.2.1 质心 质心运动定律	46

2.2.2	冲量 质点和质点系动量定理	50
2.2.3	动量守恒定律	53
2.3	动能定理	56
2.3.1	功 动能 能量	56
2.3.2	动能定理	59
*2.3.3	碰撞	61
2.4	保守力与非保守力 势能	63
2.4.1	重力、弹性力和万有引力做功的特点	63
2.4.2	保守力 保守力的数学表示 成对力的功	64
2.4.3	势能及势能曲线	66
2.5	功能原理 机械能守恒定律	69
2.5.1	质点系的动能定理与功能原理	69
2.5.2	机械能的转化和守恒定律	70
2.5.3	能量守恒定律	71
2.6	质点、质点系的角动量定理与角动量守恒定律	75
2.6.1	质点、质点系的角动量定理	75
2.6.2	角动量守恒定律	78
	本章提要	79
	阅读材料	83
	习题	84
第3章	刚体和流体	89
3.1	刚体的运动及描述	89
3.1.1	描述刚体定轴转动的物理量及运动学方法	90
3.1.2	匀变速转动公式	91
3.2	刚体定轴转动的转动定律	93
3.2.1	力矩 转动定律	93
3.2.2	转动惯量 平行轴定理	95
3.3	刚体定轴转动的动能定理	99
3.3.1	力矩的功 力矩的功率	99
3.3.2	转动动能	100
3.3.3	刚体定轴转动的动能定理	100
3.3.4	刚体的重力势能	101
3.4	刚体定轴转动的角动量定理	103

3.4.1	刚体的角动量	103
3.4.2	定轴转动的角动量定理及角动量守恒定律	103
3.5	理想流体 伯努利方程	107
3.5.1	理想流体 稳定流动	108
3.5.2	理想流体的连续性方程	109
3.5.3	伯努利方程	110
3.5.4	伯努利方程的应用	113
3.6	实际流体的流动及流动规律	116
3.6.1	黏性流体的流动状态	117
3.6.2	牛顿黏滞定律、雷诺数	118
3.6.3	黏滞性流体的伯努利方程	119
3.6.4	泊肃叶定律	120
3.6.5	斯托克斯定律	123
3.7	血液在循环系统中的流动	124
3.7.1	血液循环中血流速度的分布	124
3.7.2	血液循环中血压的分布	125
	本章提要	126
	阅读材料	129
	习题	131
第4章	气体动理论	137
4.1	描述气体的宏观量与微观量	137
4.1.1	分子的热运动	137
4.1.2	状态参量 平衡态 准静态过程	138
4.1.3	统计规律及涨落现象	140
*4.1.4	统计涨落现象的描述	140
4.2	理想气体的压强和温度的统计解释	142
4.2.1	理想气体状态方程	142
4.2.2	理想气体的压强公式	144
4.2.3	温度的统计解释	147
4.3	能均分定理 理想气体的内能	148
4.3.1	分子的自由度	148
4.3.2	自由度和分子平均能量的关系	149
4.3.3	理想气体的内能	150
4.4	气体分子的碰撞规律	151

4.4.1	分子间的相互作用	152
4.4.2	分子的平均碰撞频率及平均自由程	152
4.4.3	范德瓦耳斯方程	154
*4.4.4	气体的输运现象	157
4.5	麦克斯韦速率分布函数	159
4.5.1	麦克斯韦气体速率分布函数	160
4.5.2	气体分子速率的测定	164
*4.5.3	麦克斯韦-玻尔兹曼能量分布律	164
4.6	液体的边界现象	166
4.6.1	液体的表面张力	166
4.6.2	弯曲液面的附加压强	169
4.6.3	气体栓塞	171
4.7	液体附着层的边界现象	172
4.7.1	浸润与不浸润现象	172
4.7.2	毛细现象	174
	本章提要	175
	阅读材料	177
	习题	180
第 5 章	热力学基础	183
5.1	热力学第零定律	183
5.2	热力学第一定律	184
5.2.1	热力学过程	184
5.2.2	功	185
5.2.3	热量 内能	186
5.2.4	热力学第一定律	187
5.3	热力学第一定律对理想气体的应用	187
5.3.1	热容量 摩尔定体热容 摩尔定压热容	187
5.3.2	理想气体的等体过程	191
5.3.3	理想气体的等压过程	192
5.4	理想气体的等温过程、绝热过程、多方过程	193
5.4.1	理想气体的等温过程、绝热过程	193
5.4.2	理想气体的多方过程	196
5.4.3	绝热过程和多方过程的功	196

5.4.4	绝热线和等温线	196
5.5	循环过程 卡诺循环	202
5.5.1	循环过程	202
5.5.2	热机和致冷机	203
5.5.3	卡诺循环	204
5.6	热力学第二定律 卡诺定理	208
5.6.1	热力学第二定律的两种表述	208
5.6.2	两种表述的等价性	209
5.6.3	可逆过程和不可逆过程	210
5.6.4	卡诺定理及其证明	211
5.7	熵 熵增加原理	213
5.7.1	熵的一般意义	213
5.7.2	玻尔兹曼熵公式	215
5.7.3	熵变的计算及熵增加原理	217
5.7.4	热力学第二定律的统计意义	219
*5.8	信息熵 自组织现象与耗散结构简介	221
5.8.1	信息熵	221
5.8.2	自组织现象	222
5.8.3	耗散结构	223
	本章提要	225
	阅读材料	227
	习题	229
第 6 章	静电场	232
6.1	电荷和库仑定律	232
6.1.1	电荷的量子化	232
6.1.2	电荷守恒定律	233
6.1.3	库仑定律	234
6.2	静电场 电场强度	235
6.2.1	电场	235
6.2.2	电场强度	236
6.2.3	点电荷的电场强度	237
6.2.4	电场强度叠加原理	237
6.2.5	电场强度的计算	239

6.3	静电场的高斯定理及其应用	242
6.3.1	电力线 电场强度通量	242
6.3.2	静电场的高斯定理	244
6.3.3	高斯定理的应用	246
6.4	静电场的环路定理 电势能	250
6.4.1	静电场力做功	250
6.4.2	静电场的环路定理	251
6.4.3	电势能	251
6.5	电场强度和电势的关系	252
6.5.1	电势	252
6.5.2	点电荷的电势	253
6.5.3	电势的叠加原理	253
6.5.4	等势面	256
6.5.5	电场强度与电势梯度的关系	257
6.6	静电场中的导体与电介质	260
6.6.1	导体的静电平衡 静电平衡条件	260
6.6.2	静电平衡时导体上的电荷分布	261
6.6.3	静电屏蔽及尖端放电的应用	264
*6.6.4	电介质 电介质对电场的影响	266
*6.6.5	电介质的极化	267
6.6.6	电极化强度	268
6.6.7	电极化强度与极化电荷的关系	268
6.7	电位移矢量 有电介质时的高斯定理	270
6.7.1	电位移矢量 有电介质时的高斯定理	270
6.7.2	D 、 E 、 P 三矢量的关系	271
6.8	导体的电容	272
6.8.1	孤立导体的电容	272
6.8.2	电容器	273
6.8.3	电容器的并联与串联	274
*6.8.4	电容器的充放电	275
6.9	静电场的能量	277
	本章提要	279
	阅读材料	281
	习题	286

第 7 章 稳恒磁场	291
7.1 恒定电流 电动势	291
7.1.1 电流 电流密度	292
7.1.2 电源的电动势	293
7.1.3 电流的连续性方程 恒定电流	294
*7.1.4 欧姆定律	295
7.2 磁场和磁感应强度	296
7.2.1 磁场的概念	296
7.2.2 磁感应强度	297
7.2.3 磁力线和磁通量	298
7.3 毕奥-萨伐尔定律及应用	300
7.3.1 毕奥-萨伐尔定律	300
7.3.2 毕奥-萨伐尔定律的应用	301
7.3.3 运动电荷的磁场	305
7.4 稳恒磁场的高斯定理 安培环路定理及其应用	305
7.4.1 高斯定理	305
7.4.2 安培环路定理	306
7.4.3 安培环路定理的应用	309
7.5 磁场对运动电荷及载流导线的作用	313
7.5.1 带电粒子在磁场中所受的力——洛伦兹力	313
7.5.2 带电粒子在电磁场中的运动和应用	314
7.5.3 载流导线在磁场中所受的力——安培力	319
7.5.4 磁场作用于载流线圈的磁力矩	323
7.5.5 磁力的功	325
*7.6 磁介质	327
7.6.1 磁介质	327
7.6.2 分子电流和分子磁矩 磁化强度	328
7.6.3 磁介质中的安培环路定理	330
7.6.4 顺磁质 抗磁质 铁磁质	333
本章摘要	336
阅读材料	339
习题	342

第 8 章 电磁感应与电磁场理论	347
8.1 电磁感应及其基本定律	347
8.1.1 电磁感应定律、楞次定律	347
8.1.2 动生电动势	349
8.1.3 感生电动势 感生电场	352
8.2 自感和互感现象	354
8.2.1 自感应 自感电动势	354
8.2.2 互感应 互感电动势	356
8.3 磁场能量 磁场的能量密度	359
8.4 麦克斯韦电磁场理论	362
8.4.1 位移电流	362
8.4.2 麦克斯韦方程组的积分形式	366
*8.4.3 电磁场的物质性	367
本章提要	368
阅读材料	369
习题	374
附录	378
习题参考答案	382

第1章 质点运动学

物质最普遍最基本的运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核运动以及其他微观粒子运动等。宏观物体之间（或物体内部各部分之间）的相对位置变动，称为机械运动，物理学中对机械运动的规律及其应用的研究称为力学。通常把力学分为运动学、动力学和静力学。运动学描述物体位置随时间的变化或运动轨迹的问题，而不涉及引起运动和运动变化的原因；动力学则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。

本章讨论质点运动学，从最简单的质点模型出发，研究描述质点运动的物理量（位置矢量、位移、速度和加速度、质点运动方程、切向加速度和法向加速度）、运动的叠加性和相对运动，并研究物体位置随时间的变化或运动轨迹等问题。在数学上引入了导数运算和积分运算，从而可以清晰地阐述运动的相对性、瞬时性和矢量性等基本性质。

1.1 质点运动的描述

1.1.1 质点

一切实际物体都具有大小和形状，而且在物体的运动过程中，其大小和形状还会变化。一般来说，物体的大小和形状的变化，对物体的运动是有影响的，但是在某些情况下，在某些问题中，运动物体的大小和形状并不起主要作用。某一质量的重金属实心球从高空下落，会受到重力和空气阻力的作用，其中重力由球的质量 m 和重力加速度 g 确定，空气阻力与球的大小和形状有关。由于空气阻力远远小于重力，它起的作用很小，运动情况主要取决于重力，所以，这时物体的运动情况可看作与球的大小和形状无关。又如，公转问题是研究地球上各点相对太阳的运动情况，研究地球绕太阳公转时，由于地球到太阳的平均距离（ $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ ）是地球本身直径（平均半径约为 $6.4 \times 10^3 \text{ km}$ ）的 11719 倍，因此地球上各点相对太阳的位置就可视为是相同的。这时就可以不考虑地球的大小和形状。

当物体的大小和形状与所研究的问题无关，或所起作用很小时，可将物体看作只有质量而无大小和形状的点。这种抽象化的物体，在物理学中被称为质点。质点是力学中的理想模型之一，是为了便于研究问题，突出主要矛盾，忽略次要矛盾而抽象出来的理想模型，它是有质量而无线度的物体。任何物体都有其大小，但当其线度对所讨论的问题影响很小，

且物体内部运动状态差别可忽略时,可把物体看作质点。一个实际物体能否被抽象成质点来研究是相对的、有条件的。例如,研究地球绕太阳公转时,可以把地球看成质点,而研究地球上物体的运动、地球的自转或地震现象时,地球就不能再看成质点了。

在一定条件下,引入经过抽象的理想模型代替实际物体作为研究对象,这种方法在物理学中是经常用到的。读者在后面的章节中将接触到的刚体、理想气体、谐振子、点电荷等都是理想模型。

描述质点运动状态变化的物理量有位置矢量、位移、速度、加速度等,本章主要研究这些物理量之间的相互关系,在后面的相关章节中还将利用这些物理量来描述物体的机械运动。

1.1.2 参考系和坐标系

宇宙间所有物体都在不停地运动,即便相对地球静止不动的物体(如高楼,桥梁等),相对于地心而言位于地球赤道上的物体转动速度可达“坐地日行八万里”;如果这些对象相对于太阳而言,却以 30 km/s 的速率随地球绕太阳转动着,如果相对于银河系而言,其运动的速率达到 280 km/s 。可见,物体运动是绝对的,而位置的描述却是相对的。换言之,在描述一个物体的运动时,总是相对其他物体或物体系来确定的,这个所选用的物体或物体系叫做确定物体运动的**参考系**(或**参照物**)。经验告诉我们,描述同一个物体的运动,相对不同的参考系,其观察结果就不一样。在运动学问题中,参考系是可以任意选取的,具体选择时主要根据问题的性质和研究问题的方便决定。因此,当描述一个物体的运动时,就必须指明该物体的运动是相对于什么参考系的。

质点的运动是指它的位置随时间的变化,因此,为定量表示质点相对某一参考系的位置,还需要在该参考系上选用一个固定的**坐标系**。通常在参考系上选定一点作为坐标系的原点 O ,取通过原点并标有长度的线作为坐标轴。常用的有直角坐标系(三个坐标轴 Ox 轴、 Oy 轴、 Oz 轴相互垂直)、极坐标系、球坐标系等。

1.1.3 空间和时间

机械运动研究的是物体的空间位置随时间的变化关系,它涉及时间和空间两个概念。

任何运动总经历着一定的持续过程,总有其过去、现在和未来这样的一去不复返的流逝顺序,**时间**就是反映运动过程持续性和顺序性的物理量。

度量时间要用钟或表,这里的钟或表是一个广义的概念,是一种计时标准。原则上任何周期性的过程都可以作为一种“钟”,例如,四季的一次循环称为一年,月亮的一次盈亏是农历的一月,太阳的一次升落是一日,钟表里长、短指针的圆周围运动可以作为小时、分钟等的计时标准。计时标准选取的不同,只是测量时间的误差不同而已。现代的精密计时采用原子钟,其误差达到了每天 $10^{-8} \sim 10^{-7}\text{ s}$ 的精度。

物体在运动中不断变换着它所占据的位置,所有这些位置的总体叫做空间。所以,空间的概念是与物体的体积、物体位置的变化联系在一起的,任何运动过程都是在一定的空间范围内展开的,即运动具有广延性。

经典力学的时空观认为,时间和空间是彼此独立的,且与物质运动无关。即,认为存在着离开自然界的物质和物质运动的绝对时间和绝对空间。例如,如图 1.1 所示,小车以较低的速度 v 沿水平轨道先后经过 A 点和 B 点。地面参考系中的人测量出小车从 A 点运动到 B 点时间 $\Delta t = t_B - t_A$, 小车参考系中的人测得这个过程的时间为 $\Delta t' = t'_B - t'_A$ 。生活常识告诉我们,只要用好的钟,不管谁去测量这个时间,都是一样的,即 $\Delta t = \Delta t'$ 。并且地面参考系和小车参考系中测量出 A 点与 B 点之间的距离也是相等的,都等于 $\overline{AB}$ 。也就是说,时间和长度的测量值都是绝对的,都与参考系无关。

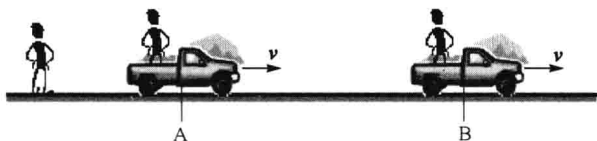


图 1.1 经典力学的绝对时空观

经典力学的时空观是源于人们对日常生活中物质世界和物质运动的直觉而形成的,是人们当作常识的观点。在日常生活或一般的生产和科技活动中,上述关于时间和空间量度绝对性的结论是毋庸置疑的。时间与空间的绝对性是经典力学的基础。后面在相对论中将介绍,当物体相对运动速度 v 接近于光在真空中的速度 c 时,时间和空间的测量值都将与物体的运动速度有关,时间和空间以及时间、空间和物体的运动速度,都是紧密联系而不可分割的。由于经典力学所涉及的物体运动速度远小于光速,即 $v \ll c$, 所以,只有在经典力学范围内,时间与空间的测量才可以视为与参考系无关。有关时空观的进一步讨论,将在有关相对论的章节中做更深入透彻的分析。

1.2 描述质点运动的基本物理量

1.2.1 位置矢量 位移

常用位置矢量(简称位矢) $\mathbf{r}$ 来确定质点的位置,它是一个有向线段,其起点是坐标系的原点 O , 终点是质点在 t 时刻所处位置 $P(x, y, z)$ 。从图 1.2 可以看出, P 点的坐标 x, y, z 就是位置矢量 $\mathbf{r}$ 沿坐标轴的三个分量,所以,质点在直角坐标系中的位置既可以用位矢 $\mathbf{r}$ 来表示,也可用坐标 x, y, z 来表示。若以 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别表示沿 x, y, z 三个坐标轴的单位矢量,那么,位矢 $\mathbf{r}$ 可写成

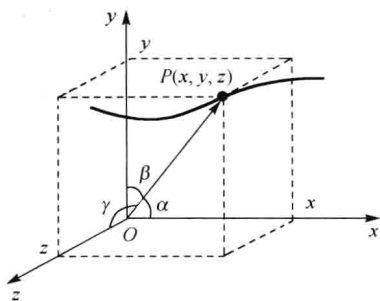


图 1.2 质点的坐标和位矢

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

位矢的大小为

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

它表示坐标原点到 P 点的距离。位矢的方向余弦为

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

其中, α 、 β 、 γ 分别是位矢 $\mathbf{r}$ 与 Ox 轴、 Oy 轴、 Oz 轴之间的夹角。在国际单位制 (SI) 中, 位置矢量的单位是米 (m)。

如图 1.3 所示, 质点沿一曲线轨道运动, 在时刻 t 时位于 P 点处, 在 $t + \Delta t$ 时位于 Q 点处, 用从 P 点引向 Q 点的矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 来表示位置变动情况, 并将矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 称为质点在这段时间内的位移矢量, 简称位移。位移 $\Delta \mathbf{r}$ 既反映了这段时间内质点位置变动的大小 (P 点与 Q 点之间的距离), 又反映 P 点相对于 Q 点的方位 (由 P 点指向 Q 点)。

若用 $\mathbf{r}_1$ 表示 P 点的位矢, $\mathbf{r}_2$ 表示 Q 点的位矢, 根据矢量的合成法则 (三角形法则或平行四边形法则), 则位移矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 可以表示为

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \quad (1-2a)$$

该式表明, 位移矢量等于位矢 $\mathbf{r}_2$ 与 $\mathbf{r}_1$ 之差, $\Delta \mathbf{r}$ 是描述质点空间位置变化的物理量, 它同时表示了质点位置变化的距离和方向。

在直角坐标系中, 若用 (x_1, y_1, z_1) 表示 P 点坐标, 用 (x_2, y_2, z_2) 表示 Q 点坐标, 则可以将位移写成

$$\Delta \mathbf{r} = (x_2\mathbf{i} + y_2\mathbf{j} + z_2\mathbf{k}) - (x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j} + z_1\mathbf{k}) \quad (1-2b)$$

做替换: $\Delta x = x_2 - x_1$, $\Delta y = y_2 - y_1$, $\Delta z = z_2 - z_1$, 则式 (1-2b) 可写成

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

应当注意, 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 是矢量, 既有大小又有方向。位移的大小为 P 点与 Q 点之间的距离, 记作 $|\Delta \mathbf{r}|$, 不能把 $|\Delta \mathbf{r}|$ 简写为 Δr 。因为 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$ 表示位矢 $\mathbf{r}_2$ 和 $\mathbf{r}_1$ 大小之差, 即原点到 Q 点之间的距离减去原点到 P 点之间的距离。

必须指出, 位移与路程不同。位移是矢量, 路程是标量; 位移的大小表示质点位置变化的实际效果, 只与初末位置有关, 而不是整个过程走过的实际路程。如图 1.2 所示, 质点从 P 点到 Q 点的运动过程中, 质点实际经过的路程是弧线 Δs 值, 而位移的大小 $|\Delta \mathbf{r}|$ 是割线值, 显然两者不相等。只有当 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情况下, 质点通过的路程等于其位移的大小, 即 $ds = |d\mathbf{r}|$ 。

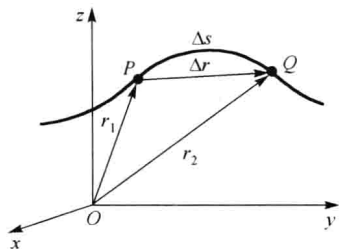


图 1.3 质点的位移和路程