



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



大学物理学 (上册)

■ 张铁强 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

04/331

:1

2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理学

(上册)

张铁强 主编

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。教材以近期制定的《理工科非物理类大学物理课程教学基本要求》为依据,在教材结构和编写内容上做了较大改革,形成了一个新的课程体系。在内容上充分体现近代科学技术的发展,一方面适度扩大近代物理的内容,并将现代科学与高新技术的物理基础内容引入到教材中;另一方面在经典物理内容中插入现代学科内容和引用现代科学技术的例子。设置前沿进展和科技博览等栏目,在内容正常论述处,适时的、有机的插入与该论述部分相关的物理前沿知识和应用技术。

在教材编写中,知识点按照模块化的方式进行编辑,不同学科专业的物理课程在保证 A 类基本知识点的前提下,选择适合的 B 类知识点和现代科学与高新技术的物理基础专题(用“*”标记),纳入教学知识体系。同时也为不同学时的大学物理课程提供选择的余地,确保其满足理工科本科生基本物理素质的培养。

本书上册包括力学、流体力学、热学、电磁学,下册包括振动和波动、光学、相对论、量子物理和现代科学与高新技术的物理基础专题,可作为高等学校理工科非物理专业的大学物理课程教材,也可供电视大学、函授大学相关课程选用或作为其他读者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册/张铁强主编. —北京:高等教育出版社,2007.12

ISBN 978 - 7 - 04 - 021961 - 6

I. 大… II. 张… III. 物理学 - 高等学校 - 教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 160481 号

策划编辑 高 建 责任编辑 高 建 封面设计 王凌波
责任绘图 吴文信 版式设计 余 杨 责任校对 俞声佳
责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787 × 960 1/16
印 张 22.25
字 数 410 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 12 月第 1 版
印 次 2007 年 12 月第 1 次印刷
定 价 25.60 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 21961 - 00

序 言

大学物理是面向非物理类理工科专业本科生开设的公共基础课,其定位是为本科生系统地打好必要的物理基础,培养学生现代科学的自然观、宇宙观和辩证唯物主义世界观,培养学生的探索、创新精神,培养学生的科学思维能力,掌握科学方法。本教材的编写力图实现这一目标。

吉林大学合校前有关院校在总结教学研究成果的基础上,结合各自院校的学科特点,编著出版了多个版本的大学物理教材。合校后,综合原有教材的特色,对教材进行修订,并在我校工科、非物理类理科的相关专业的大学物理课程教学中进行了试用。近期教育部委托教指委开展非物理类专业大学物理课程教学基本要求的制定工作,我校参与了此项工作。通过参与大学物理课程教学基本要求的审定,我们进一步审视大学物理课程的教学内容、教学模式,明确大学物理课程在理工科院校应当发挥的作用、承担的任务。在此基础上,综合原有教材的优点,按“十一五”规划教材的要求,完成新教材的编写。

在教材的编写过程中,主要做了下述几个方面的工作:

1. 强调物理学研究所形成的物质观、自然观、时空观、宇宙观对人类文化产生的深刻影响,全面实现编写内容的现代化。这里包括经典物理内容的现代化和近代物理的普物化。

在经典物理内容的现代化方面,一是插入现代学科内容,二是引用现代科学的例子和应用进展。包括:力学内容中突出守恒定律的讲述,引入对称性描述,同时插入火箭运动、空间导航等现代科学实例等;在电磁学中引入夸克模型,补充电荷量子化的认识进展等;在热学中强调统计物理的思想在相关学科中的应用,加大熵的概念描述以及对其它学科的影响等。

在近代物理内容上,一方面避免新闻报道式或科普式的叙述,同时又要避免脱离非物理类专业本科生的实际理论基础,照搬理论物理的教学模式,采取突出物理图像,把科学性与适教性结合起来。另一方面适度扩大了大学物理中近代物理的内容,其扩大的内容以教育部非物理类专业物理基础课程教学指导委员会近期制定的“大学物理课程教学基本要求”中列出的知识点为基准,适度增加了广义相对论的时空观,适度补充了激光和固体电子论等内容。

为了进一步确保近代科学知识进入教材,我们设置前沿进展的小字插入部分。在教材正常论述处,适时的、有机的插入与该论述部分相关的物理前沿知识。这个插入不是为插入而插入,而是与该处论述相辅相成,推进知识点论述的现代化。该插入部分每章约1~2处。

采用上述措施后,物理现代化内容可以达到30%以上。

2. 强调理论与实验关系,通过经典实验建立的实验定律,引申出基本概念、基本物理量和基本理论公式,体现物理学是实证科学。

在编写处理上,原则上每个学科内容都以一个经典实验作为切入点,同时在该处以小字形式插入该经典实验的历史再现。这可以使教材既生动又体现了物理学发展中的历史唯物主义观念。例如:静电场以库仑实验为切入点,光的干涉以杨氏实验为切入点等。

3. 强调大学物理课程对理工科专业本科生知识结构的支撑地位,使学生体会到物理学的基本思想和方法论对社会科学、经济学,以及工程技术有着巨大的支持作用,对提高人的观察思维能力和创新能力等素质的培养是十分有益的。

在编写处理上,每一章都以小字部分插入科技博览专项内容,介绍与该处教学内容相关的科技新进展或物理学在工程技术中的应用实例。该专项内容的插入是有机的插入,与该处论述的内容是相辅相成的。例如在静电场一章讨论介质电极化时插入压电效应及其应用,在电磁感应一章讨论洛伦兹力时插入霍尔效应及其应用,等等。

4. 坚持可选择性,在结构上形成知识点的模块化,满足不同学科专业、不同学时设置的课程对大学物理教学内容的可选性。

(1) 按照教育部物理基础课程教学指导分委员会新近制定的《非物理类理工科大学物理课程教学基本要求》(正式呈报稿),在教学知识点的选择上,保证74个A类知识点,同时增补了32个非A类知识点(主要增补在近代物理和反映物理学在现代科学与高新技术发展中的作用部分)。

(2) 在教材编写中,知识点按照模块化的方式进行编辑,不同学科专业的物理课程在保证A类基本知识点的前提下,选择适合的B类知识点和现代科学与高新技术的物理基础专题(用“*”标记),纳入教学知识体系内。同时也为不同学时的大学物理课程提供选择的余地,确保其满足理工科本科生基本物理素质的培养。

5. 借助于网络手段,丰富大学物理教材的知识含量,在大学物理教材内设置网络资源专题。在每一章的后面附注与本章内容相关的网站或网页,供学生查询。教材编写的内容是有限的,而借助于网络资源,学生可以快捷地遨游于无限的物理知识的海洋里。

本教材作为国家“十一五”规划教材,得到了教指委有关专家的指导和吉林大学教务部门的资助支持,在这里表示衷心的感谢!

参加本教材编写的教师如下:张铨强(第7、13、20章),王国光(第3、17章),刘嘉宜(第14~16章),贺加宁(第19、21章,下册习题),何丽桥(第1、2章,上册习题),李海英(第10、11章),张成宝(第4、12章、索引),李跃(第5、6

章),曹颖(第18章),麻永杰(第9章),郭欣(第8章)。网络资源部分由王丹负责搜集提供,国际单位制和常用物理常数部分由黄文龙和张凤琴搜集提供。全书由张铁强修改定稿。

由于编者水平有限,教材难免有错误和不当之处,敬请使用本教材的教师、学生和有关读者提出宝贵意见。

编者

2007年9月

目 录

第 1 章 机械运动的描述	1
1.1 描述机械运动的基本概念	1
1.1.1 质点与刚体	1
1.1.2 参考系与坐标系	2
1.2 描述质点运动的线量	3
1.2.1 位置矢量	3
1.2.2 位移矢量	4
1.2.3 速度矢量	4
1.2.4 加速度矢量	6
1.3 几种典型的运动形式	11
1.3.1 直线运动	11
1.3.2 圆周运动	13
1.3.3 抛体运动	14
【科技博览】	15
1.4 描述刚体转动的角量	16
1.4.1 角位置 角位移	16
1.4.2 角速度	17
1.4.3 角加速度	17
1.4.4 角量与线量的关系	20
【网络资源】	21
小结	22
习题与思考题	22
第 2 章 质点运动的基本定律	25
2.1 牛顿运动定律	25
2.1.1 牛顿运动定律表述	25
【科技博览】	28
2.1.2 基本的自然力	29
2.1.3 牛顿运动定律适用范围	33
2.2 力学相对性原理	36
2.2.1 力学相对性原理	36
2.2.2 经典力学时空观	37
2.2.3 非惯性系和惯性力	39
【著名实验】	41

2.3 动量 动量守恒定律	42
2.3.1 动量 动量定理	42
2.3.2 动量守恒定律	45
2.3.3 火箭飞行原理	46
【科技博览】	48
2.4 角动量 角动量守恒定律	48
2.4.1 角动量	48
2.4.2 力矩	49
2.4.3 角动量定理	50
2.4.4 角动量守恒定律	50
2.5 功 动能定理	53
2.5.1 功 功率	53
2.5.2 动能定理	56
2.6 势能 机械能守恒定律	58
2.6.1 保守力的功 势能	58
2.6.2 机械能守恒定律	63
【前沿进展】	65
2.6.3 能量转换与守恒定律	66
【网络资源】	67
小结	67
习题与思考题	69
第3章 刚体的定轴转动	72
3.1 质心 质心运动定理	72
3.1.1 质心	72
3.1.2 质心运动定理	73
3.2 刚体定轴转动定律	75
3.2.1 力对轴的力矩	75
3.2.2 转动定律	76
3.2.3 转动惯量	78
3.3 对定轴的角动量定理与角动量守恒定律	81
3.3.1 角动量定理	82
3.3.2 角动量守恒定律	83
【科技博览】	84
3.3.3 进动	84
3.4 刚体定轴转动的动能定理与机械能守恒定律	87
3.4.1 刚体定轴转动的动能定理	87
3.4.2 刚体定轴转动的机械能守恒定律	90

* 3.5 对称性与守恒定律	91
3.5.1 对称性及其原理	91
3.5.2 时空对称性与能量、动量、角动量守恒定律	94
【网络资源】	96
小结	96
习题与思考题	97
第4章 流体力学基础	101
4.1 流体的基本概念	101
4.1.1 理想流体	101
4.1.2 流迹、流线和流管	102
4.1.3 定常流动	103
【前沿进展】	103
4.2 理想流体运动的基本方程	104
4.2.1 连续性方程	104
4.2.2 伯努利方程	105
4.3 粘性流体的运动	108
4.3.1 粘滞定律	108
4.3.2 层流与湍流	109
【科技博览】	110
4.3.3 泊肃叶公式	111
4.4 流体中的阻力	112
4.4.1 粘滞阻力	112
4.4.2 压差阻力	113
4.4.3 波阻	114
【网络资源】	114
小结	114
习题与思考题	115
第5章 气体动理论	117
5.1 热运动的基本概念 理想气体	117
5.1.1 气体动理论的基本观点	117
5.1.2 平衡态 气体状态参量	119
5.1.3 理想气体物态方程	121
5.2 气体分子热运动的分布规律	123
5.2.1 气体分子热运动的特征与研究方法	123
5.2.2 麦克斯韦气体分子速率分布律	124
【著名实验】	125
* 5.2.3 玻耳兹曼能量分布律	130

5.3 压强与温度的统计意义	133
5.3.1 理想气体的微观模型	133
5.3.2 压强公式	133
5.3.3 温度的微观实质	135
5.4 自由度 能量均分定理	136
5.4.1 自由度	136
5.4.2 能量按自由度均分定理	137
5.4.3 理想气体的内能	138
5.5 分子碰撞 平均自由程	139
* 5.6 气体的迁移现象	141
5.6.1 内摩擦现象	142
5.6.2 热传导现象	143
5.6.3 扩散现象	143
* 5.7 真实气体 范德瓦耳斯方程	145
5.7.1 真实气体的等温线	145
5.7.2 范德瓦耳斯方程	146
【网络资源】	147
小结	148
习题与思考题	149
第6章 热力学基础	151
6.1 热力学第一定律	151
6.1.1 热力学过程 准静态过程	151
6.1.2 内能 热量 功	153
6.1.3 热力学第一定律	156
【著名实验】	157
6.2 理想气体的典型热力学过程	157
6.2.1 等体过程	158
6.2.2 等压过程	158
6.2.3 等温过程	160
6.2.4 绝热过程	161
6.3 循环过程	163
6.3.1 循环过程	163
6.3.2 卡诺循环	165
6.4 热力学第二定律	168
6.4.1 热力学第二定律	168
6.4.2 可逆过程和不可逆过程	170
6.4.3 卡诺定理	171

6.5 热力学熵 熵增加原理	172
6.5.1 热力学熵	172
6.5.2 熵增加原理	175
6.6 热力学第二定律的统计意义	176
6.6.1 热力学概率与玻耳兹曼熵	176
6.6.2 热力学第二定律的统计意义	179
【前沿进展】	180
【网络资源】	181
小结	182
习题与思考题	183
第7章 静电场	186
7.1 电荷 库仑定律	186
7.1.1 电荷及其守恒定律	186
【前沿进展】	187
7.1.2 库仑定律	188
【著名实验】	189
7.2 电场 电场强度	190
7.2.1 电场	190
7.2.2 电场强度	190
7.2.3 电场强度的计算	191
7.3 静电场中的电介质 电位移矢量	199
7.3.1 静电场中的电介质	199
【科技博览】	202
7.3.2 电极化强度	203
7.3.3 电位移矢量	205
7.4 静电场中的高斯定理	205
7.4.1 电场线与电位移线	205
7.4.2 电通量	207
7.4.3 高斯定理	209
7.4.4 利用高斯定理求静电场的分布	211
7.5 静电场的环路定理 电势	216
7.5.1 静电场的环路定理	216
7.5.2 电势	218
7.5.3 电势叠加原理	219
7.5.4 电场的能量	223
7.6 电场强度与电势梯度的关系	225
7.6.1 等势面	226

7.6.2 电场强度与电势梯度	227
7.7 静电场中的导体	229
7.7.1 静电平衡	229
【科技博览】	232
7.7.2 静电屏蔽	233
7.7.3 电容器	235
【网络资源】	239
小结	239
习题与思考题	241
第8章 稳恒磁场	244
8.1 恒定电流	244
8.1.1 电流和电流密度	244
8.1.2 欧姆定律	246
8.1.3 电动势	247
8.2 基本磁现象 安培定律	249
8.2.1 基本磁现象	249
【著名实验】	250
8.2.2 安培定律	251
8.3 磁场 毕奥 - 萨伐尔定律	253
8.3.1 磁场 磁感应强度	253
8.3.2 毕奥 - 萨伐尔定律	254
8.4 磁通量 磁场中的高斯定理	258
8.4.1 磁感应线	258
8.4.2 磁通量 磁场中的高斯定理	259
8.5 磁场对载流导线和运动电荷的作用	260
8.5.1 磁场对载流导线的作用	260
8.5.2 运动电荷在磁场中受力	264
【科技博览】	266
*8.6 磁介质 磁化过程	267
8.6.1 磁介质及其磁化	267
8.6.2 磁化强度和磁场强度	270
8.6.3 铁磁质	272
8.7 安培环路定理	275
8.7.1 安培环路定理	275
8.7.2 安培环路定理应用	277
【网络资源】	279
小结	280

习题与思考题	281
第9章 电磁感应与麦克斯韦方程组	284
9.1 电磁感应的基本规律	284
9.1.1 法拉第电磁感应定律	284
【著名实验】	286
9.1.2 楞次定律	287
9.2 动生与感生电动势	287
9.2.1 动生电动势	288
9.2.2 感生电场 感生电动势	289
【科技博览】	292
*9.2.3 涡流和趋肤效应	293
【前沿进展】	294
9.3 自感与互感	295
9.3.1 自感	295
9.3.2 互感	298
9.4 磁场的能量	300
9.5 位移电流	303
9.6 麦克斯韦方程组	305
【前沿进展】	307
【网络资源】	308
小结	308
习题与思考题	309
国际单位制	313
常用物理常量和参数	317
习题答案	320
索引	327

第1章 机械运动的描述

在物质多种多样的运动形式中,最简单而又最基本的运动是物体位置的变化,称为机械运动(mechanical motion)。行星绕太阳的转动,宇宙飞船的航行,机器的运转,水、空气等流体的流动等都是机械运动。它们都遵从一定的客观规律。力学(mechanics)的研究对象就是机械运动的客观规律及其应用。

本章从几何的观点来研究和描述物体的机械运动。首先给出描述物体平动的物理量(位置矢量、位移、速度、加速度),其次给出描述物体定轴转动的物理量(角位置、角位移、角速度、角加速度),并讨论这些物理量随时间的变化关系。

通过本章的学习,理解参考系和坐标系的概念;掌握位移、瞬时速度和瞬时加速度概念;掌握已知加速度和初始条件求解速度、运动方程的方法;理解角速度、角加速度及其与线量的关系。

1.1 描述机械运动的基本概念

1.1.1 质点与刚体

任何物体都有大小和形状,且在运动过程中会受到各种因素的影响,致使运动的形式错综复杂。因此,要想完整、准确地描述物体的运动并非易事。为使问题简化,在物理学中常采用理想模型来代替实际物体。即抓住主要因素,忽略次要的或不起作用的因素,从而把复杂的、具体的对象抽象成一个理想模型(ideal model)。这种方法不仅简便,而且可行,是物理学中一种很好的、科学的研究方法。本章涉及质点和刚体两种模型。

一、质点

在研究的问题中,如果物体的大小、形状产生的影响甚小,可以忽略不计,则物体的运动可以用一个点的运动来代替。这种大小形状可以忽略不计的理想模型,称为质点(material point)。

质点是一个相对概念,能否把物体视为质点,并非单纯地看它的大小,而是看它的大小、形状在所研究的问题中是否起显著的作用。例如,在研究地球的公转时,由于地球的半径(约 6.4×10^3 km)比太阳与地球之间的距离(约 1.5×10^8 km)小很多,相比之下,可以忽略地球的大小,把它视为质点。如果研究地球的自转,就必须考虑地球的大小和形状,不能把它当作质点来看待。另外,当物体上各点的运动情况完全相同,则不论其大小,均可用一个点代替整体,故可以

简化成一质点.

应当指出,把实物抽象成质点这一研究方法在实践上和理论上都具有重要意义. 当我们进一步研究复杂的运动时,虽然不能把整个物体视为质点,却可以把它视为许许多多多个质点的集合,这样,从质点的运动规律入手,就可以进一步研究整个质点系统即整个物体的运动规律. 所以,研究质点的运动是研究物体运动的基础.

二、刚体

在某些问题中,物体的形状和大小不能忽略,但其形状和大小的改变可以忽略,我们把这样一类物体抽象成另一理想模型——刚体(rigid body). 所谓刚体,就是在外力作用下保持其形状和大小不变的物体. 换言之,视为刚体的物体,物体内任意两点间的距离均保持不变.

刚体是从实物中抽象出来的理想模型. 实际上,任何物体在外力作用下,其体积和形状都会或多或少地改变,正是由于产生了形变,才出现有弹性力. 但是,如果在我们所研究的问题中,物体的微小形变对运动过程影响甚小,以至于可忽略不计,我们就可以把物体看作刚体,从而使问题简化.

本章将着重介绍描述质点和刚体运动的基本物理量.

1.1.2 参考系与坐标系

宇宙中的万物,大至日月星辰,小至微观粒子,无一不在永恒的运动中. “坐地日行八万里,巡天遥看一千河”是地球自转的形象描绘;“春华秋实”又是地球绕太阳公转的真实写照. 至于整个太阳系也在绕着银河系中心快速地旋转,而银河系还朝着麒麟座方向奔驰. 这些事实都足以表明,运动本身是绝对的. 然而,人们要认识物体的运动,了解物体的变化,定量地把一个物体的运动或运动的变化描绘出来,就必须选择一个物体或物体系统作为观察、研究的客观参考标准. 物理学中被选作标准的参考物体或物体系统称之为参考系(reference system).

参考系的选择不同,对同一物体的运动描述也就不同. 例如,一个站在路旁的观察者看到一列火车疾驶而过,而当他站在车厢里时,却感觉火车是相对自己静止的. 由此可见,我们对运动情况的描述,都是相对于某个参考系而言的,这就是运动描述的相对性. 对任何物体而言,静止是相对的、有条件的,而运动却是绝对的、无条件的. 在运动学中,参考系的选择具有任意性,常以研究问题的方便而定.

为了定量地表示物体在空间的位置,还需要建立一个适当的坐标系(coordinate system),固定于作为参考系的物体上. 坐标系的选择也要视问题的性质和研究问题的方便而定. 常用的坐标系有直角坐标系、自然坐标系、球坐标系等. 应该明确的是,参考系一经确定,所描述的物体的运动性质也就确定了. 至于在

参考系上选择什么坐标系,体现出来的只是描述运动的变量不同而已.

1.2 描述质点运动的线量

当运动的物体可视为质点时,其运动的轨迹不是直线就是曲线. 本节将要介绍的位置矢量、位移矢量、速度矢量和加速度矢量均是描述质点运动的基本物理量,统称为线量(linear quantity).

1.2.1 位置矢量

一个运动的质点,其位置沿轨道连续地变化. 为了定量地描述其位置和位置的变化,首先应该在选定的参考系上固定一个坐标系. 在如图 1.1 所示的直角坐标系中, t 时刻质点 P 在坐标系中的位置除了用坐标 (x, y, z) 表示之外,还可以用一矢量 $\mathbf{r}$ 表示. 定义 $\mathbf{r}$ 是由坐标原点指向质点所在位置的矢量,称为位置矢量(position vector),简称位矢,也叫矢径.

由位置矢量定义可知, P 点对应的坐标 x, y, z 就是位置矢量 $\mathbf{r}$ 在三个坐标轴上的投影,那么

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

其大小代表质点到原点的距离,有

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

位置矢量的方向标志质点相对于原点的方位,可由方向余弦来确定,即

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

式中 α, β, γ 分别表示 $\mathbf{r}$ 与 x, y, z 轴正方向的夹角,满足下列关系式

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

所以,三个方向余弦中只有两个是独立的.

位置矢量随时间的变化规律: $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$,称为运动方程(equation of motion),写成分量式

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t) \quad (1.4)$$

消去时间参量 t ,可得到轨道方程(equation of orbit): $f(x, y, z) = C$. 借助轨道方程的具体形式,可以判断质点所作的运动是直线运动还是曲线运动.

例 1.1 一质点的运动方程为

$$\mathbf{r} = 2\sin 5t\mathbf{i} + 2\cos 5t\mathbf{j}$$

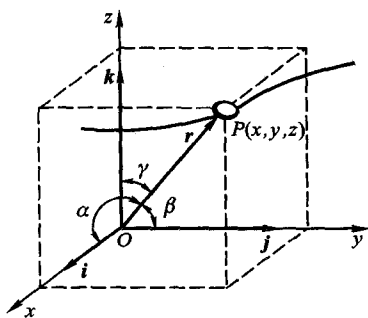


图 1.1 位置矢量

式中 r 以 m(米)、 t 以 s(秒) 为单位, 求该质点的轨道方程.

解 任一时刻 t , 质点的坐标为

$$x = 2\sin 5t$$

$$y = 2\cos 5t$$

消去时间参量 t , 得到轨道方程

$$x^2 + y^2 = 4$$

由此可见, 该质点是在 xy 平面作以原点为圆心、半径为 2 m 的圆周运动.

1.2.2 位移矢量

如图 1.2 所示, t 时刻质点位于 P 点, 它的位置矢量是 $\mathbf{r}(t)$, $t + \Delta t$ 时刻质点运动到 Q 点, 相应的位置矢量是 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$. 质点由 P 点指向 Q 点的有向线段, 称为质点在 Δt 时间内的位移 (displacement) 矢量, 用 $\Delta \mathbf{r}$ 表示. 有

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

由 (1.1) 式, 可将 $\mathbf{r}(t)$ 与 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$ 分别写成

$$\mathbf{r}(t) = x_1 \mathbf{i} + y_1 \mathbf{j} + z_1 \mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}(t + \Delta t) = x_2 \mathbf{i} + y_2 \mathbf{j} + z_2 \mathbf{k}$$

于是, 在直角坐标系中, 位移矢量可以表示为

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{r} &= (x_2 - x_1) \mathbf{i} + (y_2 - y_1) \mathbf{j} + (z_2 - z_1) \mathbf{k} \\ &= \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} + \Delta z \mathbf{k} \end{aligned} \quad (1.5)$$

位移的大小是

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

位移的方向是

$$\cos \alpha' = \frac{\Delta x}{|\Delta \mathbf{r}|}, \cos \beta' = \frac{\Delta y}{|\Delta \mathbf{r}|}, \cos \gamma' = \frac{\Delta z}{|\Delta \mathbf{r}|}$$

位移与路程 (path) 是两个截然不同的概念. 路程 Δs 是质点运动路径的长度, 是标量; 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 是矢量. 一般情况下, 二者的大小并不相等. 即使在作直线运动时, 位移的大小与路程也不一定相等. 其次, 还要注意 $|\Delta \mathbf{r}|$ 与 Δr 的区别.

位置矢量和位移矢量都是长度量, 在国际单位制 (SI) 中, 其单位是 m(米).

1.2.3 速度矢量

研究质点的运动, 只知道它在坐标中的位置是不够的, 还必须知道质点的位置变化情况, 即质点运动的快慢和方向, 而表征其运动快慢和方向的物理量是速度 (velocity).

一、平均速度

在图 1.2 中, 如果质点在 Δt 时间内发生的位移为 $\Delta \mathbf{r}$, 则 $\Delta \mathbf{r}$ 与 Δt 比值称为

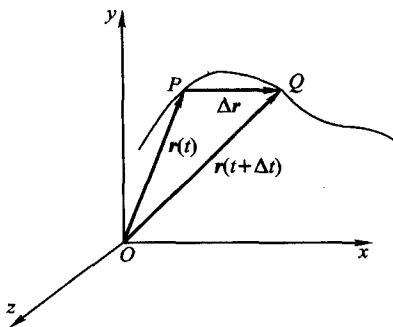


图 1.2 位移矢量