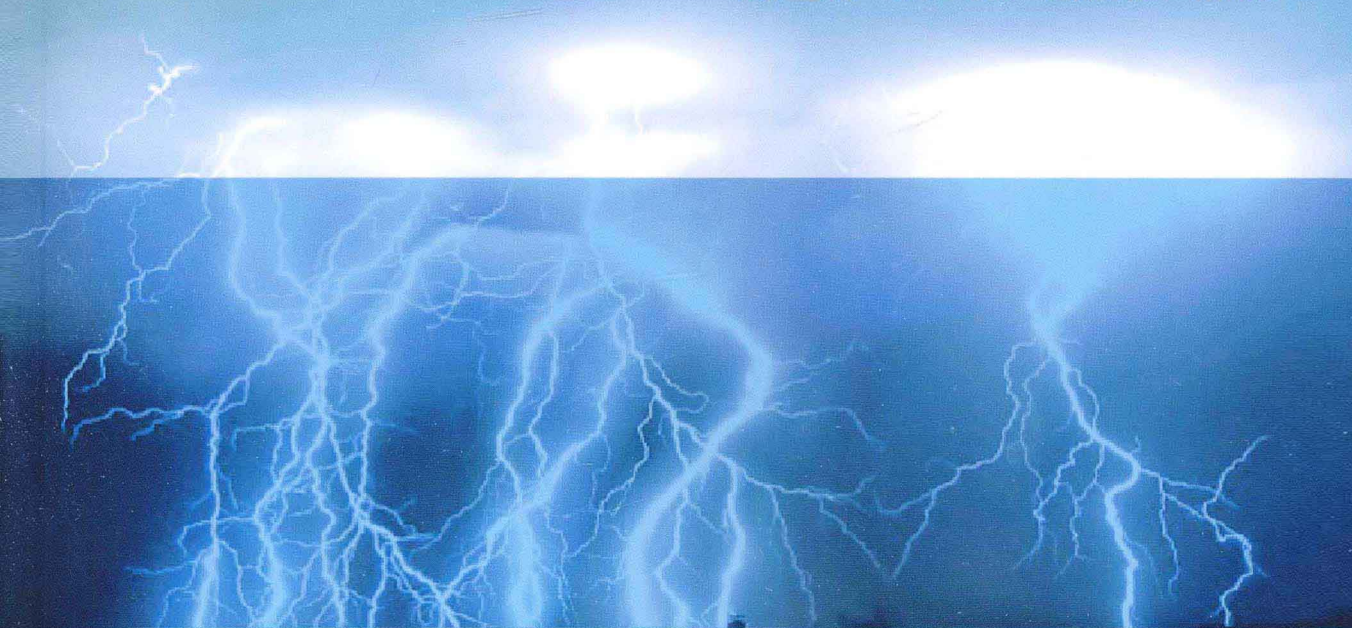




云南省普通高等学校“十二五”规划教材

大学物理学

陈世波 张 力 戴祖诚 主编



科学出版社

云南省普通高等学校“十二五”规划教材

大学物理学

主 编 陈世波 张 力 戴祖诚

副主编 赵庆江 杨 海 李春榆

蔡建春 王 海

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书注重基础知识和基本概念的介绍, 强化现代物理技术及应用, 具有内容全面、重点突出、理论与实际密切结合的特点。内容包括力学、热学、电磁学、光学和量子力学基础共五篇。力学篇讲述经典的质点力学、刚体的运动、简谐振动等; 热学篇讲述气体动理论和热力学基础; 电磁学篇讲述电场、磁场、电磁感应、电磁场理论和电磁波的基本概念及规律; 光学篇讲述几何光学和波动光学的基本规律; 量子力学基础篇讲述普朗克量子假设、波粒二象性、不确定度关系等。书中配有思考题和习题, 便于读者更好地学习和掌握物理学的基本理论和基本知识。

本书可作为高等学校非物理专业大学物理课程的教材, 也可作为中学物理教师教学和其他读者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学 / 陈世波, 张力, 戴祖诚主编. —北京: 科学出版社, 2013.6

云南省普通高等学校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-037885-9

I. ①大… II. ①陈… ②张… ③戴… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 131498 号

责任编辑: 石 悦 李淑丽 / 责任校对: 朱光兰

责任印制: 阎 磊 / 封面设计: 华路天然工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 1 月第二次印刷 印张: 27 3/4

字数: 730 000

定价: 56.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

物理学是研究物质的基本结构、运动形式以及相互作用的自然科学，物理学展现的世界观和方法论，深刻地影响着人类对自然界的基本认识，从而影响着人类的思维方式和社会生活。以物理学基础为主要内容的大学物理课程，是高等学校理工科各专业学生必修的基础课，其基本概念、基本理论和基本方法是构成学生素养的一个重要组成部分，是学生学习其他自然科学的基础。因此，一本能使读者学有所得、学有所用、内容丰富、易教易学的大学物理教材是十分重要的。

本书是依据教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会 2004 年拟定的“非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求(正式报告稿)”，其编写思路、结构设计和统稿由昆明学院陈世波教授和云南大学张力教授负责，戴祖诚、赵庆江、杨海、李春榆、蔡建春、王海参加了结构设计和统稿工作。何松林、解永刚、王韬、易燕、李海雁、向友林、刘加丽、何平老师参加了本书的编写工作。

本书的编者长期从事物理学的教学和研究，积累了丰富的教学经验和资料。在本书的结构和内容编排上注重基础知识和基本概念，加强了现代物理技术及应用的介绍。力求内容全面、简明扼要、重点突出、概念清晰、理论与实际密切结合，以适应理工科不同专业对大学物理课程的需求。另外，特别注意学生独立学习能力、科学观察和思维能力、分析和解决问题能力的培养，注重学生探索精神和创新意识等素质的培养。书中配有思考题和习题，便于读者更好地学习和掌握物理学的基本理论和基本知识。

本书除打*号的部分外，其他的部分都属于“非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求(正式报告稿)”的范围，可以根据各专业的需要选择使用，建议教学时数为 126 学时。

限于我们的能力、水平，书中还有诸多不足之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2013 年 6 月

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一篇 力 学

第 1 章 质点的运动	5
1.1 质点 参照系	5
1.2 位移 速度 加速度	6
1.3 抛射体运动 运动的合成与分解	13
1.4 圆周运动及其描述	15
1.5 相对运动	19
本章提要	23
思考题	24
习题	25
第 2 章 牛顿运动定律	28
2.1 牛顿第一定律 惯性参照系	28
2.2 牛顿第二定律	29
2.3 牛顿第三定律	31
2.4 力学中常见的三种力	31
2.5 牛顿运动定律应用举例	33
*2.6 非惯性系中的惯性力	38
*2.7 单位和量纲	40
本章提要	41
思考题	42
习题	42
第 3 章 动量和动量守恒定律	45
3.1 动量 冲量 动量定理	45
3.2 动量守恒定律	47
3.3 质心 质心运动定理	50
本章提要	52
思考题	52
习题	53
第 4 章 功和能	55
4.1 功 功率	55
4.2 动能 动能定理	57
4.3 保守力 势能	59

4.4 功能原理 机械能守恒定律	61
4.5 碰撞	64
本章提要	68
思考题	69
习题	69
第5章 刚体的运动	71
5.1 刚体 平动 转动	71
5.2 力矩 转动定律 转动惯量	72
5.3 力矩的功 刚体绕定轴转动的动能定理	77
5.4 角动量 冲量矩 角动量守恒定律	79
本章提要	80
思考题	81
习题	81
第6章 振动	83
6.1 简谐振动	83
6.2 单摆 复摆	88
6.3 阻尼振动 受迫振动 共振	90
6.4 同方向简谐振动的合成	91
*6.5 相互垂直简谐振动的合成	95
本章提要	97
思考题	98
习题	99
第7章 机械波	100
7.1 机械波的产生和传播	100
7.2 平面简谐波的波动方程	103
7.3 波的能量 能流密度	106
7.4 惠更斯原理 波的衍射	108
7.5 波的叠加原理 波的干涉 驻波	109
*7.6 声波 超声波 次声波	111
7.7 多普勒效应	113
本章提要	115
思考题	116
习题	116
第8章 流体的运动	118
8.1 流体中的压强	118
8.2 理想流体的稳定流动	120
8.3 伯努利方程及其应用	122
*8.4 黏滞流体的流动	126
本章提要	128
思考题	129

习题	129
第 9 章 狭义相对论基础	131
9.1 伽利略变换 力学相对性原理	131
9.2 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	133
9.3 狭义相对论的时空观	137
9.4 狭义相对论动力学基础	140
本章提要	144
思考题	145
习题	146

第二篇 热 学

第 10 章 气体动理论	149
10.1 平衡态 状态参量	149
10.2 热力学第零定律和温度	150
10.3 理想气体状态方程	151
10.4 理想气体的压强公式	153
10.5 理想气体分子的平均平动能与温度的关系	157
10.6 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	159
10.7 麦克斯韦速率分布律	161
10.8 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	166
*10.9 范德瓦耳斯方程	168
*10.10 输运现象	170
本章提要	173
思考题	174
习题	175
第 11 章 热力学基础	177
11.1 内能 功 热量	177
11.2 热力学第一定律	180
11.3 热力学第一定律对理想气体的应用	181
11.4 循环过程 热机效率 卡诺循环	186
11.5 热力学第二定律	189
11.6 可逆过程和不可逆过程 卡诺定理	191
11.7 熵 熵增加原理	192
11.8 熵的微观实质及热力学第二定律的统计意义	196
本章提要	197
思考题	198
习题	199

第三篇 电 磁 学

第 12 章 真空中的静电场	203
12.1 电荷 库仑定律	203

12.2 电场 电场强度	206
12.3 电场强度通量 真空中的高斯定理	211
12.4 静电场力的功 电势	216
12.5 等势面 场强与电势的关系	219
12.6 带电粒子在静电场中的运动	221
本章提要	223
思考题	224
习题	225
第 13 章 静电场中的导体和电介质	228
13.1 静电场中的导体	228
13.2 电容器	231
13.3 电介质的极化	235
13.4 有介质时的高斯定理	237
13.5 电场的能量	239
本章提要	240
思考题	241
习题	242
第 14 章 稳恒电流	245
14.1 电流强度 电流密度	245
14.2 欧姆定律及其微分形式	247
14.3 电流的功 电功率 焦耳定律	249
14.4 电源 电动势	250
14.5 闭合电路和一段含源电路欧姆定律	251
*14.6 基尔霍夫定律	252
本章提要	254
思考题	255
习题	256
第 15 章 真空中稳恒电流的磁场	258
15.1 磁的基本现象 安培假说	258
15.2 磁场 磁感应强度 磁通量	259
15.3 毕奥-萨伐尔定律	260
15.4 安培环路定理	263
15.5 带电粒子在外磁场中受到的力及其运动	267
15.6 磁场对载流导线的作用	268
*15.7 霍尔效应	271
本章提要	272
思考题	273
习题	274
第 16 章 磁介质中的磁场	277
16.1 磁介质的磁化 磁导率	277

16.2	磁化强度矢量	279
16.3	有介质时的安培环路定理 磁场强度	280
16.4	铁磁质及其磁化	282
	本章提要	284
	思考题	284
	习题	285
第 17 章	电磁感应	287
17.1	电磁感应定律	287
17.2	动生电动势和感生电动势 涡旋电场	289
17.3	自感和互感	291
17.4	暂态过程	294
17.5	磁场的能量	297
	本章提要	298
	思考题	299
	习题	300
第 18 章	电磁场理论和电磁波	303
18.1	位移电流 全电流定律	303
18.2	麦克斯韦方程组	306
18.3	电磁波	307
18.4	电磁波谱	309
	本章提要	311
	思考题	311
	习题	312

第四篇 光 学

第 19 章	几何光学基础	315
19.1	几何光学的基本定律	315
19.2	全反射	317
19.3	费马原理	319
19.4	光在平面上的反射和折射	320
19.5	光在球面上的反射和折射	321
19.6	薄透镜	327
19.7	天文观测望远镜	334
	本章提要	335
	思考题	337
	习题	337
第 20 章	波动光学	338
20.1	相干光	338
20.2	双缝干涉	341
20.3	薄膜干涉	344

20.4 迈克耳孙干涉仪	353
20.5 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	354
20.6 夫琅禾费单缝衍射	355
20.7 光栅衍射	360
20.8 光学仪器的分辨本领	365
20.9 晶体的 X 射线衍射	368
20.10 自然光和偏振光	368
20.11 起偏与检偏 马吕斯定律	370
20.12 反射和折射时光的偏振	371
*20.13 光的双折射现象	373
*20.14 全息照相技术	375
本章提要	376
思考题	377
习题	378

第五篇 量子力学基础

第 21 章 旧量子论	383
21.1 热辐射 普朗克量子假设	383
21.2 光电效应 爱因斯坦的光子假设	389
21.3 康普顿效应	392
21.4 氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	394
本章提要	399
思考题	400
习题	400
第 22 章 量子力学简介	401
22.1 微观粒子的波粒二象性 不确定度关系	401
22.2 波函数 薛定谔方程	403
22.3 一维无限深势阱	407
22.4 线性谐振子	409
22.5 量子力学对氢原子的应用	410
本章提要	415
思考题	416
习题	416
习题参考答案	418
参考文献	433

绪 论

一、物理学的研究对象

物理学是研究物质的基本结构、物质相互作用以及它们的运动规律的科学。它的基本理论渗透在自然科学的各个领域，是其他自然科学的基础。

各种实物和场都是物理学的研究对象，其范围大致可分为三个层次：尺度小于等于原子的微观层次，尺度大于原子小于星系的宏观层次，尺度大于星系的宇观层次。不同层次的物体，其运动形式存在着普遍的运动规律，又有着特殊的规律。

自然界由运动着的物质所组成，一切物质都在永不停息地运动，运动是物质存在的形式，是物质的固有属性。物质的运动形式多种多样，如机械运动、分子的热运动、电磁场运动、声光的传播等，研究这些运动现象及其规律是物理学的基本任务之一。

二、物理学研究方法

在人类追求真理、探索未知世界的过程中，物理学展现的世界观和方法论，深刻影响着人类对物质世界的基本认识，影响着人类的思维方式和社会实践。物理学的理论是通过观察、实验、抽象以及假说等一系列的研究方法并经过实践检验而建立起来的。在不改变相关条件的情况下，通过对各种现象进行观察，我们可以描述物质的构成及其运动。物理学是一门以实验为基础的科学。在确立研究对象和目的的条件下，通过人工控制使现象过程反复重演，并记录相关结果，这就是实验。实验既是理论的来源，又是检验理论是否正确的手段。在观察和实验的基础上，通过抓住问题的主要因素，可以进行抽象从而建立理想模型或设计进行理想实验。如力学当中的“质点”、“质点系”、“刚体”、“完全弹性体”、“匀速直线运动”、“匀变速直线运动”等都是常见的理想模型；而在证明惯性定律时设计的“光滑斜面实验”就是理想实验。在观察和实验的基础上，人们还可以提出某些说明方案或论点来解释一些实际现象，这些说明方案和论点统称假说，如托勒密的地心说、哥白尼的日心说，等等。

在建立物理学理论过程当中，离不开具体的研究方法，如实验法、观察法、综合法、演绎法、归纳法、类比法、等效法等以及大量的数学方法。物理学以实验和观察为基础，从实验中获取相关数据，通过分析、综合、归纳等方法建立理论，并在实践中检验、修改和发展理论。

三、物理学的发展简史

在物理学的发展过程当中，主要经历了三个阶段：萌芽时期、经典物理学时期、现代物理学时期。

17世纪以前，人们对自然界的认识主要还是通过表面、笼统的观察和直觉来获得，物理学基本上还处于对自然现象的描述、生活经验的粗略总结和哲学上的猜测性思辨阶段，直接的证明是这个时期只有与人们的生产生活及直接感官有关的力、热、声、几何光学以及天文知识得到了较大的发展。总的说来，处于萌芽时期的物理学更偏向于哲学性质，尚属于“自

然哲学”的一个部分。

17 世纪至 19 世纪末, 自然科学得到了极大的发展。随着经典力学、热力学和统计力学以及经典电动力学的发展, 经典物理学体系逐步建立并完善起来。到 19 世纪末, 经典物理学领域中的重要的基本原理和问题已经基本得到解决。在这个时期, 物理学揭示出自然界是统一的。

随着经典物理学系统的建立及完善, 人们对于各种常见的物理现象, 都可以用相应的理论加以说明。物理学为应用科学、工程技术提供了理论依据和实验结果, 极大地推动了新技术、新工艺的快速发展。物理学上的发现曾经多次推动了其他科学的发展, 如显微镜和望远镜的发明加速了生物学和天文学的发展等。但是物理学并没有停止它发展的脚步, 随着一系列重大的实验发现, 引来了 20 世纪物理学革命的暴风骤雨, 并使整个自然科学进入了一个崭新的阶段。随着人们对高速运动现象及微观世界研究的不断深入, 以及物理学理论——狭义相对论、广义相对论、量子力学的建立及发展, 人类对原子、原子核的认识日益深化, 开展了核能的开发与应用, 并促成了新能源、新材料、航天技术等一批新兴产业的发展。可以说, 从 20 世纪初至今, 物理学进入到现代物理学阶段并得到了迅速的发展。

大学物理课程在高等学校理工科各专业中是一门重要的通识性必修基础课, 其基本概念、基本理论和基本方法是构成学生素养的一个重要的组成部分, 在人才的科学素质培养中具有重要的地位。通过该门课程的学习, 使学生树立科学的世界观和方法论, 增强独立思考、分析问题和解决问题的能力, 培养学生的探索精神和创新能力, 为进一步学习专业课程打下坚实的基础。

第一篇

力 学

在自然界物质的所有运动中，最简单、最基本的运动是物体的位置随时间的变化，即一个物体相对于另一个物体的位置发生变化，或同一物体上不同的部分的相对位置发生变化，例如，天体的运行、车船的行驶、大气和河水的流动、机器的运转等，这种运动形式称为机械运动。力学的研究对象就是机械运动，力学是研究机械运动的规律及其应用的学科。

通常把力学分为运动学、动力学和静力学三部分。运动学研究物体位置随时间变化的情况，不涉及引起或改变运动的原因；动力学研究物体的机械运动和物体间相互作用力的关系；静力学研究在力的作用下物体的平衡问题。

在日常生活中，人们天天观察到物体的运动，其产生的力学的概念最富于直观性，因此，在一切自然科学中力学首先得到广泛的发展。但是，力学成为一门独立学科是从 16 世纪开始逐步发展形成的，后来随着生产力、生产关系和生产水平的提高，力学中的刚体力学、弹性力学、流体力学等分支才得到发展，形成了比较系统的、理论完整的学科。本篇将主要介绍质点、刚体及流体的一些基本概念和规律，介绍振动和机械波，以及狭义相对论的基础知识。

第1章 质点的运动

物体都处于永恒运动之中，其运动形式是多种多样的，最简单、最基本的运动是机械运动。运动学则是研究如何描述物体的运动。本章着重描述物体的运动状态。在直角坐标系下，通过速度、加速度等概念的建立，讨论了运动的瞬时性、相对性和矢量性。介绍了从运动方程出发，求出质点任意时刻的位矢、速度和加速度的方法，讨论了抛射体运动、圆周运动和相对运动及其规律。

1.1 质点 参照系

1. 质点

任何物体都具有一定的形状、大小、质量和内部结构，物体的各个部分占有不同的空间位置，在运动过程中，物体各个部分的位置随时间变化的关系不一定相同，而且物体的形状和大小也可能发生变化。一般来说，物体的运动是非常复杂的。但是，如果在我们所研究的问题中，物体的形状和大小不起作用，或者所起的作用很小可以忽略不计，我们可以暂不考虑物体的形状和大小，把物体抽象化为一个具有质量的点，称为质点。

质点在几何上是作为一个点来处理，但它仍然代表一个物体，具有质量、能量等物理属性，是实际物体的一种理想模型。引入理想模型，是为了突出主要因素，抓住事物的本质、简化问题、解决问题。

一个物体能否简化为质点要由问题的性质来决定。当物体作平动时，物体上各点都作同等的运动，因而任一点的运动都能代表整体的运动，此时，物体可以简化为一个质点。当物体运动时，如果可以忽略物体的转动和形变(或形状和大小)，就可以把物体简化为质点来处理。例如，研究地球绕太阳公转时，地球的大小和自转运动可以忽略不计，可把地球简化为一个质点。若研究地球的自转，就不能把地球简化为一个质点。当研究炮弹的飞行时，一般情况下，可以忽略它的形状和大小而把它看成一个质点。但如果必须考虑空气阻力以及炮弹的旋转在飞行中所起的作用时，就不应该把炮弹看成一个质点，而必须考虑到它的形状、大小，等等。当不能把整个物体看成一个质点时，可以把物体分成许多微小部分，把每一个微小部分看成一个质点，这样，可以把物体作为质点的集合，分析这些质点的运动，从而了解整个物体的运动。

2. 参照系和坐标系

宇宙空间中的一切物体都在运动，绝对静止的物体是没有的。运动是绝对的，是物质存在的形式，是物质的固有属性，而静止则是相对的。如人站在地面上看到的房子、树木是静止的，人坐在运动着的车中看到的房子、树木则是运动的，这说明描述物体的运动状况，与观察者所处的位置有关。一般来说，描述一个物体的运动，必须指明是相对于哪一个另外的物体(或哪一组相互静止的物体)而言的，这个被选作参照的物体(或物体组)就称为参照系。

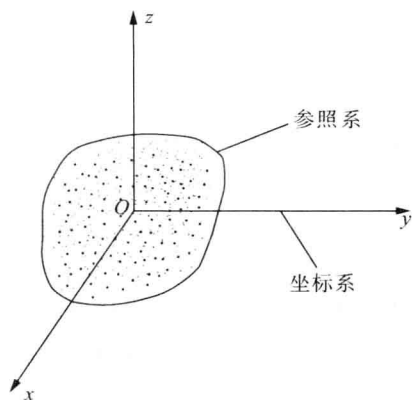


图 1-1 参照系和坐标系

站在地面上的人看到的房子、树木是静止的，是以地球为参照系，坐在运动着的车中的人看到房子、树木是运动的，是以车为参照系，人在这两个参照系中来观察地面上的房子、树木，得到了完全不同的结论，由此，我们可以说，一个物体的运动，对不同的参照系有不同的描述。物体运动的描述是相对的。参照系的选择可以是任意的，在处理实际问题中，要根据研究、处理问题的方便，合理地选择参照系。通常研究地面上物体的运动，选择地球为参照系。研究地球或其他行星的运动，则选择太阳为参照系。

在参照系选定之后，可以定性地描述物体的运动，但是，还不能把物体相对于参照系的位置定量地表示出来。在实际中，为了描述物体的运动，还必须在参照系上选择适当的坐标系，如图 1-1 中的直角坐标系，于是物体在某时刻的位置可以用坐标来表示，坐标的变化反映出质点的位置的变化。

3. 时间和时刻

时刻是指时间的某瞬间，用符号“ t ”表示，如图 1-2 所示，在时轴上的一个点就表示一个时刻，若用 t_1 表示起始时刻， t_2 表示终止时刻，两个时刻的间隔 $\Delta t = t_2 - t_1$ ，表示一段时间间隔，简称为时间。时间是标量，其变化具有单向性，时间间隔 Δt 总大于零。



图 1-2 时轴

1.2 位移 速度 加速度

1. 位置矢量

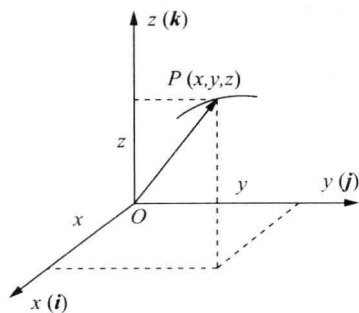


图 1-3 位置矢量

在参照系选定之后，将直角坐标系固定在参照系上，质点 P 的位置就可以由三个坐标 (x, y, z) 确定，如图 1-3 所示。当质点运动时，表示质点位置的三个坐标都是时间的函数

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

式 (1-1) 给出了质点的位置坐标随时间的变化，它描述的是质点的运动规律，称为质点的运动方程。

如果在式 (1-1) 中有一个是常数，如 z 是常数，表明质点在与 z 轴垂直的平面内运动，只需用两个坐标变量 x, y 就可以描述质点的运动，即

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases} \quad (1-2)$$

如果在式(1-1)中有两个是常数, 如 y 是常数, z 是常数, 表明质点在与 x 轴平行的直线上运动, 此时, 用一个坐标变量 x 就可以描述质点的运动, 即

$$x = x(t) \quad (1-3)$$

在式(1-1)中, 消去参数 t , 得到三个坐标变量的关系为

$$f(x, y, z) = 0 \quad (1-4)$$

它描述了质点运动的轨迹, 称为质点运动的轨迹方程。如果质点运动的轨迹是一条直线, 则称质点作直线运动, 如果质点运动的轨迹是一条曲线, 则称质点作曲线运动。

描述质点的位置还可以用矢量的方法, 从 O 点到 P 点作一矢量 $\mathbf{r}$, 这个矢量可以描述质点的位置, 称为质点的位置矢量, 简称位矢。取 $\mathbf{i}$, $\mathbf{j}$ 和 $\mathbf{k}$ 分别为沿 ox 轴、 oy 轴和 oz 轴的单位矢量, 可以将位矢 $\mathbf{r}$ 表示为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1-5)$$

其值(模)为

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-6)$$

位矢的方向余弦为

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

例 1-1 已知一质点的位矢为 $\mathbf{r} = t^2\mathbf{i} + 2t^2\mathbf{j}$ (m), 求质点的运动轨迹和第 2s 末质点的位置。

解: 由位置矢量可以写出质点的运动方程为

$$\begin{cases} x = t^2 \\ y = 2t^2 \\ z = 0 \end{cases}$$

消除 t 得

$$\frac{x}{y} = \frac{1}{2}$$

可见质点是在 $z = 0$ 的平面上运动, 其运动轨迹是一条通过坐标原点的直线。

将 $t = 2$ s 代入运动方程可以求得第 2 s 末质点的位置为

$$\begin{cases} x = 4 \text{ m} \\ y = 8 \text{ m} \end{cases}$$