



普通高等教育“十二五”规划教材

M2

COLLEGE PHYSICS

大学物理

徐送宁 主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理

徐送宁 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是作者在多年教学经验的基础上结合教学改革的成果编写而成。全书分为五个大模块：第一部分：科学的基础——牛顿力学；第二部分：近代科学的重要基础——电磁学；第三部分：热现象的理论基础——热力学与气体动理论；第四部分：光学与近代物理引论；第五部分：科学技术专题。本书在写作方法上，注重强调物理思想和物理图像，突出物理知识与科技、自然现象和生活实际的结合。在例题和习题的选用上，注重理论联系实际，突出实践应用性，培养学生初步的工程意识，适应培养高素质应用型人才的需要。

本书适合普通高等学校工科类各专业的学生学习使用，也可供相关人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/徐送宁主编. —北京:科学出版社,2011

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-030195-6

I. ①大… II. ①徐… 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(2011)第 019784 号

责任编辑:昌 盛 郭泽潇 / 责任校对:鲁 素

责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计室

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>

骏立印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2011 年 2 月第一次印刷 印张: 27 3/4 插页: 8

印数: 1—4 000 字数: 650 000

定价: 51.00 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组成、性质、运动和相互作用，并以此阐明物质运动规律的科学。它是自然科学中最重要的基础学科之一。物理学的基本概念、方法和知识已被应用于所有的自然科学领域，因此，大学物理是一门不可替代的面向非物理类理工科专业本科生开设的公共基础课。通过大学物理课程的学习不仅可以为本科学生系统地打好必要的物理基础，而且还可以培养学生实事求是的科学态度和辩证唯物主义世界观，激发学生的探索、创新精神和应用意识，培养学生的科学思维能力，掌握科学方法。

本书是为适应培养高素质应用型人才的需要而编写的。为满足不同学科、不同专业和不同学时对大学物理课程教学的要求，从大学物理课程进行模块式教学这一改革思路出发，力图使教材的结构形成知识点的模块化，将大学物理教材分为五个大模块：第一部分：科学的基础——牛顿力学；第二部分：近代科学的重要基础——电磁学；第三部分：热现象的理论基础——热力学与气体动理论；第四部分：光学与近代物理引论；第五部分：科学技术专题。

通过对五大模块内容的不同处理构成本书的特色。

1. 在第一部分(科学的基础——牛顿力学)中，适度提高起点，注重与中学物理的衔接，内容精炼。注重物理思想、科学观点和科学思维方法，启发学生的创新思维，培养学生的创新意识。

2. 在第二部分(近代科学的重要基础——电磁学)中，对电磁学的传统内容进行合理的压缩，注重将物理在工程技术中应用的典型内容融入教材。注重科学研究的方法论和认识论，重视问题的提出、分析和解决，有意识地培养学生提出问题、分析问题和解决问题的实际能力。

3. 在第三部分(热现象的理论基础——热力学与气体动理论)中，注重大量粒子组成的系统的统计研究方法和统计规律，以及热现象研究中宏观量与微观量之间的区别与联系，强化热力学第二定律。

4. 在第四部分(光学与近代物理引论)中，从光的波动性和量子性直接引入实物粒子的波粒二象性，使学生充分认识波粒二象性是光和自然界一切实物粒子的共同属性。以专题形式介绍量子学中的氢原子问题，包括实验方法与不同阶段的理论方法，使学生切实了解到一个具体原子问题的多种科学研究方法，体会各自的特点、成功与不足，提高分析问题与解决问题的能力，有利于激发学生的求知欲望，活跃科学思想，培养创新意识。

5. 第五部分(科学技术专题)中，包括以激光、全息照相、光纤和超导等为代表的现代科学与技术专题。用大学物理的语言及思维方式阐述和处理这些内容，图文并茂、重点突出地介绍一些有极强生命力或有产业前景的应用方向，给学生耳目一新的感觉，开拓物理学的新视野，使学生在掌握物理学基本内容的前提下，不断获得认识及处理现代物理问题的新视角与新思维。本部分内容拟作为科学技术专题讲座选修课。

6. 在教材写作方法上,注重强调物理思想和物理图像,突出物理知识与科技、自然现象和生活实际的结合.

7. 在例题和习题的选用上,注重理论联系实际,突出实践应用性,培养学生初步的工程意识,适应培养高素质应用型人才的需要.

本书在编写过程中吸收了本校老一代物理教师在长期教学及教学改革过程中积累的宝贵经验,本书的编写也可以说是对他们所进行的教学改革的一种延续. 同时,我们还参考了国内外许多相关教材(见本书参考文献),从中得到不少启发与教益,在此一并表示衷心的感谢.

本书的第1—4章由李洪奎编写;第5—7章由关莹编写;第8—9章由金惠强编写;第10章由陈钢编写;第11—13章由徐送宁编写;科学讲座部分由陆文庆编写;课件部分由迟宝倩、牟世娟、唐国艳编写.

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不当之处,欢迎读者提出宝贵意见.

作 者

2011年1月于沈阳

教学内容学时数参考分配方案

内 容		学 时
第一部分 科学的基础 ——牛顿力学	第 1 章 质点运动学	5
	第 2 章 质点动力学	9
	第 3 章 刚体的运动	6
	第 4 章 振动与波动	12
第二部分 近代科学的重要基础 ——电磁学	第 5 章 静电场	12
	第 6 章 恒定磁场	12
	第 7 章 电磁感应与电磁场	8
第三部分 热现象的理论基础 ——热力学与气体动理论	第 8 章 气体动理论	6
	第 9 章 热力学基础	8
第四部分 光学与近代物理引论	第 10 章 狹义相对论	6
	第 11 章 光的波动性	14
	第 12 章 光的量子性	6
	第 13 章 量子力学基础	6
第五部分 科学技术专题	第一讲 激光	4
	第二讲 全息照相	3
	第三讲 光学纤维	3
	第四讲 纳米技术	3
	第五讲 超导电性	3
机动		2
总学时		128

- 说明: 1. 本书带 * 内容都不包括在课程基本要求中, 因此未列入上述学时计算中。
 2. 科学技术专题部分可作为另外开设的 16 学时的公选课程。
 3. 学时数在 96~128 的大学物理课程, 可参照上述学时配套方案进行适当的调整即可。

目 录

第一部分 科学的基础——牛顿力学

第1章 质点运动学	3	2.2 力的时间累积效应——动量定理	
1.1 质点运动的描述	3	动量守恒定律	15
1.1.1 时间与空间	3	2.2.1 冲量 质点的动量定理	15
1.1.2 质点	3	2.2.2 质点系的动量定理	16
1.1.3 参考系	4	2.2.3 动量守恒定律	17
1.1.4 坐标系	4	2.3 力的空间累积效应——功 动能	
1.1.5 位置矢量	4	动能定理	18
1.1.6 运动方程	4	2.3.1 功	19
1.1.7 位移	5	2.3.2 质点的动能定理	20
1.1.8 速度	5	2.3.3 质点系的动能定理	20
1.1.9 加速度	6	2.4 功能原理 机械能守恒定律	22
1.2 自然坐标系 切向加速度和法向 加速度	7	2.4.1 弹性力的功	22
1.2.1 自然坐标系下的速度和加速度	7	2.4.2 保守力和非保守力	22
1.2.2 圆周运动	9	2.4.3 势能	22
1.3 相对运动.....	10	2.4.4 质点系的功能原理	23
习题	11	2.4.5 机械能守恒定律	23
第2章 质点动力学	13	2.4.6 碰撞	25
2.1 牛顿运动定律.....	13	习题	26
2.1.1 牛顿第一定律	13	第3章 刚体的运动	27
2.1.2 牛顿第二定律	14	3.1 刚体运动的描述	27
2.1.3 牛顿第三定律	14	3.1.1 刚体定轴转动的描述	27
2.1.4 单位制与量纲	15	3.1.2 角量与线量的关系	28
		3.2 转动定律 转动惯量	30
		3.2.1 力矩	30

3.2.2 转动定律	30	第4章 振动与波动	41
3.2.3 转动惯量	31	4.1 机械振动	41
3.3 力矩的功 转动动能	32	4.1.1 简谐振动	41
3.3.1 力矩的功	32	4.1.2 简谐振动的合成	48
3.3.2 转动动能	33	4.1.3 阻尼振动 受迫振动 共振	
3.3.3 刚体绕定轴转动的动能定理			49
	33	4.2 机械波	51
3.4 角动量 角动量守恒定律	34	4.2.1 波动的基本概念	51
3.4.1 质点的角动量	34	4.2.2 平面简谐波的表达式	53
3.4.2 刚体定轴转动的角动量	36	4.2.3 波的衍射 干涉	58
习题	39	习题	63

第二部分 近代科学的重要基础——电磁学

第5章 静电场	67	5.4.4 电位移 电介质中的高斯定理	
5.1 静电场 电场强度	67		94
5.1.1 电荷 库仑定律	67	5.5 电容 电容器 静电场的能量	
5.1.2 电场强度及其叠加原理	68		96
5.1.3 电场强度的计算	69	5.5.1 孤立导体的电容 电容器	96
5.2 静电场的高斯定理	74	5.5.2 电容器的串联和并联 电容式	
5.2.1 电场线 电场强度通量	74	传感器	98
5.2.2 高斯定理	76	5.5.3 静电场的能量	99
5.2.3 高斯定理的应用	77	习题	101
5.3 静电场的环路定理 电势	81	第6章 恒定磁场	105
5.3.1 静电力的功 静电场的环路定理		6.1 磁场 磁感应强度	105
	81	6.1.1 磁场 磁感应强度	105
5.3.2 电势能 电势	82	6.1.2 毕奥-萨伐尔定律	107
5.3.3 电势的计算	83	6.1.3 运动电荷的磁场	112
5.3.4 等势面 电场强度和电势的微分		6.2 磁场的高斯定理 安培环路	
关系	85	定理	112
5.4 静电场中的导体与电介质	87	6.2.1 磁感应线 磁通量	112
5.4.1 导体的静电平衡条件	87	6.2.2 磁场的高斯定理	114
5.4.2 静电平衡时导体的基本特性		6.2.3 安培环路定理	115
	88	6.3 磁场对载流导线和运动电荷的	
5.4.3 静电场中的电介质	92	作用	120

6.3.1 载流导线在磁场中受的安培力	120	7.2 感生电动势 自感与互感 磁场能量	143
6.3.2 载流线圈在磁场中受的磁力矩	122	7.2.1 感生电动势	143
6.3.3 磁场对运动电荷的作用	124	7.2.2 自感	145
6.4 磁介质	127	7.2.3 互感	146
6.4.1 磁介质及其磁化	127	7.2.4 磁场的能量	149
6.4.2 磁介质中的安培环路定理 磁场强度	129	7.3 位移电流 麦克斯韦方程组积分形式	151
6.4.3 铁磁质	131	7.3.1 位移电流	151
习题	133	7.3.2 全电流安培环路定理	152
第7章 电磁感应与电磁场	137	7.3.3 麦克斯韦方程组积分形式	153
7.1 法拉第电磁感应定律 动生电动势	137	7.4 电磁波	154
7.1.1 法拉第电磁感应定律	137	7.4.1 平面电磁波的性质	154
7.1.2 动生电动势	140	7.4.2 电磁波的能量	154
		7.4.3 电磁波谱	156
		习题	158

第三部分 热现象的理论基础——热力学与气体动理论

第8章 气体动理论	163	8.5 麦克斯韦速率分布律	177
8.1 气体动理论的基本概念	163	8.5.1 速率分布函数	178
8.1.1 热力学系统	163	8.5.2 麦克斯韦速率分布律	179
8.1.2 平衡态 平衡过程	164	8.5.3 三种速率	180
8.1.3 状态参量	165	* 8.5.4 测定气体分子速率分布的实验	181
8.1.4 理想气体的状态方程	166	* 8.6 玻耳兹曼能量分布	183
8.2 分子热运动和统计规律	167	8.7 分子碰撞和平均自由程	184
8.2.1 分子热运动的无序性	167	* 8.8 气体的内迁移现象	186
8.2.2 统计规律	168	8.8.1 黏滞现象	187
8.3 理想气体的压强和温度公式	169	8.8.2 热传导现象	187
8.3.1 理想气体的微观模型	169	8.8.3 扩散现象	188
8.3.2 理想气体压强公式的推导	170	* 8.9 真实气体 范德瓦尔斯方程	188
8.3.3 温度的本质和统计意义	172	8.9.1 真实气体	189
8.4 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	174	8.9.2 范德瓦尔斯方程	191
8.4.1 自由度	174	习题	192
8.4.2 能量均分定理	175	第9章 热力学基础	195
8.4.3 理想气体的内能	176	9.1 热力学第一定律	195

9.1.1 改变内能的方式	195	9.3.2 热机和制冷机	209
9.1.2 热力学第一定律的数学表达式	196	9.3.3 卡诺循环	213
9.1.3 功 热量 内能	197	9.4 热力学第二定律	215
9.2 热力学第一定律对理想气体等值过程的应用	199	9.4.1 可逆过程与不可逆过程	215
9.2.1 等体过程	199	9.4.2 热力学第二定律	215
9.2.2 等压过程	200	9.4.3 卡诺定理	216
9.2.3 等温过程	202	9.5 热力学第二定律的统计意义和熵的概念	217
9.2.4 绝热过程	204	9.5.1 热力学第二定律的统计意义	217
* 9.2.5 多方过程	206	9.5.2 熵 熵增原理	219
9.3 循环过程 卡诺循环	209	9.5.3 熵的热力学表示	220
9.3.1 循环过程	209	习题	222

第四部分 光学与近代物理引论

第 10 章 狹义相对论	227	10.4.1 相对论质量 动量 质点动力学基本方程	246
10.1 力学相对性原理和伽利略变换	227	10.4.2 相对论质速关系式推导	247
10.1.1 力学相对性原理	227	10.4.3 相对论动能 静能 总能量动量与能量关系	248
10.1.2 伽利略变换	228	习题	251
10.1.3 伽利略变换体现了牛顿力学的时空观	229	第 11 章 光的波动性	253
10.2 爱因斯坦假设与洛伦兹变换	230	11.1 光的干涉	254
10.2.1 爱因斯坦假设	230	11.1.1 光的相干性 光程 光程差	254
10.2.2 狹义相对论的实验基础	231	11.1.2 杨氏双缝 洛埃镜	257
10.2.3 洛伦兹坐标变换	235	11.1.3 薄膜干涉	261
10.2.4 洛伦兹速度变换	237	11.1.4 干涉现象的应用 干涉仪	270
10.2.5 洛伦兹坐标变换的推导	238	11.2 光的衍射	274
10.3 狹义相对论时空观	241	11.2.1 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	274
10.3.1 同时性的相对性	241	11.2.2 单缝的夫琅禾费衍射	276
10.3.2 时间的相对性(钟慢效应)	241	11.2.3 光栅衍射	280
10.3.3 长度的相对性(尺缩效应)	243	11.2.4 圆孔的衍射 光学仪器的分辨本领	286
10.4 狹义相对论动力学基础	245		

11.2.5 X射线的衍射	288	12.3.2 康普顿效应的理论解释	313
11.3 光的偏振	290	12.3.3 光的波粒二象性	316
11.3.1 光的偏振状态	290	习题	317
11.3.2 起偏和检偏 马吕斯定律	292	第13章 量子力学基础	319
11.3.3 反射光和折射光的偏振 布儒	294	13.1 实物粒子的波粒二象性	319
斯特定律	294	13.1.1 德布罗意物质波假设	319
11.3.4 光的双折射	296	13.1.2 德布罗意波的实验证	320
习题	300	13.1.3 德布罗意波的统计解释	324
第12章 光的量子性	304	13.2 不确定关系	325
12.1 热辐射 普朗克量子假设	304	13.3 波函数 薛定谔方程	328
12.1.1 热辐射	304	13.3.1 波函数	328
12.1.2 黑体	305	13.3.2 薛定谔方程	330
12.1.3 黑体辐射规律	306	13.4 薛定谔方程的应用	332
12.1.4 普朗克量子假设	307	13.4.1 一维无限深方势阱	332
12.2 光电效应	309	* 13.4.2 隧道效应	335
12.2.1 光电效应	309	13.5 氢原子	336
12.2.2 光电效应的实验规律	309	13.5.1 氢原子光谱的实验规律	336
12.2.3 经典电磁理论的困难	311	13.5.2 玻尔的氢原子理论	337
12.2.4 光子假说 爱因斯坦方程	311	13.5.3 氢原子的量子力学处理方法	342
12.3 康普顿效应	312	* 13.5.4 多电子原子中电子分布	348
12.3.1 康普顿效应的实验规律	313	习题	350

第五部分 科学技术专题

第一讲 激光	355	J2.1.3 全息照相的特点	368
J1.1 第一台激光器的诞生	355	J2.2 全息照相的基本原理	368
J1.2 激光产生的基本原理	356	J2.2.1 波前	368
J1.2.1 光的吸收和辐射	356	J2.2.2 波前的全息记录	369
J1.2.2 产生激光的条件	358	J2.2.3 物光波前的再现	370
J1.3 激光的特性及应用	362	J2.2.4 全息照相中的实验技术设备	371
J1.3.1 激光的特性	362	J2.3 全息技术的应用	372
J1.3.2 激光的应用	363	第三讲 光学纤维	376
第二讲 全息照相	365	J3.1 光纤的结构与传光原理	377
J2.1 全息照相的过程与特点	366	J3.1.1 阶跃折射率型光纤	377
J2.1.1 全息照相与普通照相的区别	366	J3.1.2 梯度折射率型光纤	379
J2.1.2 全息照相的记录与再现	366	J3.1.3 自聚焦光纤	380

J3.2 光纤的特性	381	J5.4 超导器件	401
J3.2.1 光纤的光学特性	381	J5.4.1 超导量子干涉器	401
J3.2.2 光纤的传输特性	383	J5.4.2 电压基准	401
第四讲 纳米技术	387	J5.4.3 弱电磁波的产生和检测	401
J4.1 走进纳米世界	387	J5.4.4 超导磁体	402
J4.1.1 纷繁的纳米材料	387	J5.4.5 超导的其他应用	402
J4.1.2 纳米颗粒的奇异特性	388	第六讲 液晶	404
J4.1.3 纳米碳管	389	J6.1 液晶的基本特征	404
J4.1.4 纳米固体	390	J6.1.1 热致液晶	405
J4.1.5 纳米新技术	391	J6.1.2 溶致液晶	406
J4.2 扫描隧道显微镜	391	J6.1.3 液晶的光电特性	407
J4.2.1 STM 的原理简介	392	J6.1.4 液晶的电光效应	408
J4.2.2 STM 的工作方式	393	J6.2 液晶显示技术	410
J4.2.3 STM 的发展	393	J6.2.1 液晶显示器件的特点与种类	410
J4.2.4 STM 的应用	396	J6.2.2 TN 液晶显示器的构造和工作原理	411
第五讲 超导电性	397	J6.2.3 TFT 型液晶显示器的原理	412
J5.1 超导电性的发现	397	J6.3 液晶的其他应用	415
J5.2 迈斯纳效应	398	J6.3.1 热色效应的应用	415
J5.2.1 迈斯纳效应的发现	398	J6.3.2 液晶光学器件	415
J5.2.2 超导的微观机制	398	J6.3.3 液晶高分子材料	415
J5.3 约瑟夫森隧道效应	399	J6.3.4 液晶与生命科学	416
J5.3.1 直流约瑟夫森效应	400	习题答案	417
J5.3.2 交流约瑟夫森效应	400	参考文献	429

第一部分 科学的基础——牛顿力学

自然界中一切物质在永不停息地运动着，这是所有物质的一个共同特征，而运动的形式多种多样，但其中最简单、最基本而又最常见的运动形式是机械运动。所谓机械运动(mechanical motion)是指，物体相对于其他物体的位置的变化及物体各个部分之间的相对运动。在物理学中，专门研究物体的机械运动及其规律的学科分支就是力学。

力学的历史悠久，是人类最早建立的学科之一。英国物理学家牛顿(Isaac Newton, 1642~1727)总结、分析了亚里士多德、伽利略、开普勒、笛卡儿和惠更斯等的实验和理论后，于1687年发表了《自然哲学的数学原理》一书，提出了著名的运动三定律和万有引力定律，从而奠定了经典力学的基础。至此，力学进入了所谓的牛顿力学时代，这是力学发展史上的一个重要里程碑。此后，牛顿建立的力学体系又经过伯努利、拉格朗日和达朗贝尔等的推广和完善，形成了系统的理论，取得了广泛的应用并发展出了流体力学、弹性力学和分析力学等分支。随着科技的发展，到了20世纪初，相继建立了研究物体在高速运动规律时的相对论力学和研究物体微观客体运动规律的量子力学，使牛顿力学得以进一步扩展和修正。近代物理学的研究揭示了经典力学只适用于宏观低速的情况，尽管如此，经典力学仍然能在相当广阔的尺度和速度范围内使用。在自然科学和工程技术领域，牛顿力学仍然能够较精确地解决许多实际问题。

力学的研究内容是力与物体运动的关系，通常把力学分成运动学、动力学和狭义相对论三个部分。

力学是物理学的起点，也是整个物理学的“基石”，因此，掌握力学对学好物理学的其他部分是极其重要的。

第1章 质点运动学

质点运动学是研究质点位置随时间而改变的运动规律的理论. 本章主要内容有位置矢量、位移、速度和加速度、质点的运动方程、切向加速度和法向加速度、相对运动等.

1.1 质点运动的描述

1.1.1 时间与空间

描述物体的运动,要用到时间和空间这两个概念. 时间这个概念的出现是人类对物质存在过程的抽象认识,时间本身和物质存在密不可分,因为没有物质存在就没有了物质存在时间的意义,所以我们通常所指的时间是衡量物质运动的变化程度或说是物质存在的运动过程. 时间是什么? 所谓时间,是用以表述事件之间的先后顺序性和持续性;在物体运动描述中,通常把某一瞬时称为时刻,用 t 表示. 可以把某一时刻称为始时刻,另一时刻称为终时刻,始时刻与终时刻的时间间隔就是时间. 通常所说的时间就是时间间隔,有两种意思:①多长时间是时间间隔,称为时间;②什么时间指的是时刻.

空间的概念是什么? 所谓空间是用以表述事物相互之间的位形和广延性,是普遍联系中的物质运动存在过程. 该过程以物质的大小、形状、质量的变化来体现. 时间和长度的绝对性是经典力学或牛顿力学的基础. 以后我们将介绍,当相对运动的速度接近于光速时,时间和空间的测量将依赖于相对运动的速度. 只是由于牛顿力学所涉及物体的运动速度远小于光速,所以在牛顿力学范围内,时间与空间的测量才可以视为与参考系的选取无关. 然而,在牛顿力学范围内,运动质点的位移、速度和运动轨迹则与参考系的选取有关.

1.1.2 质点

自然界的一切客观物体都有一定的大小和形状. 一般,当物体做机械运动时,其运动状况是十分复杂的. 例如,地球绕太阳的运动,地球除了绕太阳公转以外,地球本身还有自转;地球上的各个不同部分在运动过程中具有不同的轨道,且任何一个瞬间不同部分的运动快慢以及这种快慢的变化也都是不同的. 这样,就给我们在描述地球的运动时带来了困难. 但是,如果我们只是研究地球绕太阳的公转,而不去关心地球的自转,那么,由于地球到太阳的距离远大于地球本身的大小(约 10^4 倍),地球上的各点相对于太阳的运动可以认为是近似相同的,因此可以用一个具有地球质量的点来代表整个地球,于是地球绕太阳的运动便可简化为这个点绕太阳的转动. 一般情况下,在描述物体的运动时,如果物体的形状和大小对所研究的问题影响不大而可以忽略,或者物体上各部分具有相同的运动规律,那么就可以把物体当作是一个具有一定质量的几何点,这样的几何点称为质点(particle).

在物理学中处理一些较为复杂的问题时,为了突出要研究的主题,且使问题的处理简单起见,我们往往根据所研究问题的性质,去寻找事物的主要矛盾,忽略一些次要因素,建立一个理想化的模型来代替实际的研究对象,从而使问题大大地简化,这是一种常用的科学的研究方法.质点是描述物体机械运动的最简单的物理模型.

1.1.3 参考系

自然界中任何物体都处于永恒不息的运动之中,绝对静止的物体是没有的.运动虽然具有绝对性,但对一个物体运动的描述却具有相对性.在观察一个物体的位置及位置变化时,总要选取其他物体作为标准,选取的标准物不同,物体将具有不同的运动状况,这就是运动的相对性.用来描述物体运动而被选作参考的物体或物体系称为参考系(reference system).参考系可任选,不同参考系中物体的运动形式(如轨迹、速度等)可以不同.常用参考系有太阳参考系(太阳-恒星参考系)、地心参考系(地球-恒星参考系)、地面参考系或实验室参考系、质心参考系等.

1.1.4 坐标系

参考系选定以后,为了能够定量地描述物体的位置及位置随时间的改变,还必须在参考系上建立一个适当的坐标系(coordinate system).把坐标系的原点和轴线固定在参考系上,运动物体的位置就可由它在坐标系中的坐标表明.在具体问题中,如果指明了坐标系,就意味着已经选定了参考系,即坐标系为参考系的数学抽象.坐标系还可任选.在同一参考系中用不同的坐标系描述同一运动,物体的运动形式相同,但其运动形式的数学表述却可以不同.常用坐标系有直角坐标系(x, y, z);极坐标系(r, θ, φ);柱坐标系(ρ, φ, z);自然坐标系(e_1, e_n).

1.1.5 位置矢量

位置矢量(position vector):用来确定某时刻质点位置(用矢端表示)的矢量,位置矢

量又简称为位矢或矢径(radius).如图 1.1 所示的直角坐标系中,在时刻 t ,质点 P 在坐标系的位置可用位置矢量 $\mathbf{r}(t)$ 来表示.可写成

$$\mathbf{r} = xi + yj + zk \quad (1.1)$$

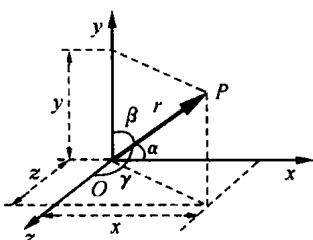
大小为 $|\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, 方向余弦

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

图 1.1 位置矢量

1.1.6 运动方程

机械运动是物体(质点)位置随时间的改变.在坐标系中配上一套同步时钟,可给出质点运动到各处的时刻,从而得到质点位置坐标和时间的函数关系.该函数关系称为质点的运动方程,即



$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1.2)$$

式中 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别为 x, y, z 轴上的单位矢量. 从上式中消去参数 t , 得质点的轨迹方程.

1.1.7 位移

位移(displacement vector): 质点在一段时间(Δt)内位置的改变(Δr)称为它在这段时间内的位移. 如图 1.2 所示的 $Oxyz$ 直角坐标系中, 有一质点沿曲线从时刻 t 的点 P_1 运动到时刻 $t+\Delta t$ 的点 P_2 , 将 Δr 称为在时间 Δt 内质点的位移. 位移 Δr 可以写成

$$\Delta r = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \begin{cases} \text{大小: } |\Delta r| = \overline{P_1 P_2} \\ \text{方向: } P_1 \rightarrow P_2 \end{cases} \quad (1.3)$$

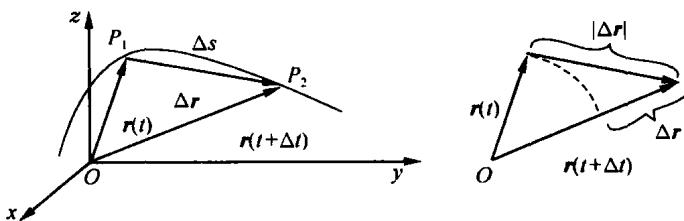


图 1.2 位移矢量

1.1.8 速度

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

在 Δt 时间内, 质点位移为 Δr , 则平均速度(average velocity)为

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (1.4)$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速度的极限值称为瞬时速度(instantaneous velocity), 简称为速度, 用 v 表示. 即质点的速度是位矢对时间的变化率.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1.5)$$

速度方向: 沿轨迹切线方向.

速度大小(速率):

$$v = |\mathbf{v}| = \frac{|\mathbf{dr}|}{dt} \quad (1.6)$$

质点在三维空间中运动的速度(沿三个坐标轴方向)

$$\mathbf{v}(t) = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k} \quad (1.7)$$

其中

$$v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$