



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

PHYSICS

大学物理 (第二版)

屠庆铭 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理

(第二版)

屠庆铭 主编



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书是根据 2006 年颁发的《理工科非物理专业大学物理课程教学基本要求》修订改编的通用基本教材。全书有力学、热学基础、电磁学、波动学、近代物理基础等五篇,涵盖了《教学基本要求》中的全部 A 类要求的内容。

本书在编写中充分考虑了学生的学习基础和特点,贯彻了“少而精”、“理论联系实际”的原则,对基本概念、基本理论的阐述清楚细致、由浅入深;对一般性的内容则作简单介绍,主要阐明物理思想和重要结论,对书中的数学推导从简。

本书可作为全国工学类地方性普通高等学校本科大学物理课程的教材以及全国工学类成人高等学校本科、专科大学物理课程的教材,也可供有关工程技术人员和其他各类高等学校的学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/屠庆铭主编. —2 版. —北京:高等教育出版社,2006.12

ISBN 7-04-020200-X

I. 大... II. 屠... III. 物理学-高等学校-教材
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 131173 号

策划编辑 高 建 责任编辑 张海雁 封面设计 王凌波 责任绘图 朱 静
版式设计 余 杨 责任校对 杨凤玲 责任印制 尤 静

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 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 35.5
字 数 860 000

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 1997 年 9 月第 1 版
2006 年 12 月第 2 版
印 次 2006 年 12 月第 1 次印刷
定 价 36.60 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 20200-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

前 言

本书于1999年初版。在多年的教学实践中,使用本书的师生提出了一些意见和建议,编者对他们表示感谢,并在这次修订中考虑了这些意见。

修订版基本上保持了原版的体系。全书有力学、热学基础、电磁学、波动学、近代物理基础等五篇。

根据最新颁发的《理工科非物理专业大学物理课程教学基本要求》,修订版对原书的内容进行了扩充,增加了“几何光学”和“原子的量子理论”两章,涵盖了《基本教学要求》中全部A类内容。

本书的使用对象是普通工科院校(以A类教学要求为主的)学生和各类成人高校的学生。

全书内容分成三个层次:

第一层次的内容在书中以“** ** **”开始并以“†††††”结束;

第二层次的内容以“* * *”开始而以“†††”结束;

第三层次是除了上面层次以外的内容。

普通工科院校的本科需使用本书所有三个层次的内容,成人高校的本科生适用第二、第三层次的内容,成人高校专科生适用第三层次的内容。

书中小字的内容是某些基本内容的扩展,它们有助于学生进一步理解相关的内容,供学生参考阅读。

本书在编写中充分考虑到学生的物理基础和学习的实际状况,贯彻了“少而精”、“理论联系实际”的原则。对于基本概念、基本理论的阐述力求清楚细致、由浅入深、易读易懂,便于学生掌握主要内容;对于一般性的内容则作简单介绍,主要阐明物理思想,指出重要结论。对书中的数学推导从简,着重培养学生使用数学工具解决物理问题的能力。

为了培养学生解物理习题的能力,在重点章节中配置了较多的例题和习题。例题配置具有典型性和层次性。全书共有习题400余道,难度适中。修订版增加了单项选择题。习题中大部分是基本题,成人高校本科生除了基本题外,还应选做部分带“*”号的习题,普通院校的本科生还可以增选一些带“**”号的习题。编者建议学生完成的习题数量以每学时平均2~3题为宜。

讨论题供学生思考讨论,使学生对基本内容的理解深化。

本书各章附有“小结”,在“小结”中指出该章的主要线索和重点内容,可以作为复习提纲使用。

为了提高学生的科学素养,适应培养21世纪高科技人才的需要,本书纳入了有关当代物理前沿课题的10篇阅读材料。本科生和学有余力的专科生应选读部分内容,扩大知识面。

本书采用《量和单位》的国家标准和规范的《物理学名词》。书中例题、习题都采用SI单位。

本书初版请朱世昌先生主审,修订版由林铁生先生、崔砚生先生审阅。诸位先生对本书的内容提出了宝贵的意见,编者对他们表示衷心感谢。

编者水平有限,书中难免有许多缺点和错误,欢迎读者提出意见。

编 者

2006年7月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	5	§4-1 冲量和动量	78
§1-1 参考系 质点	5	§4-2 质点的动量定理	80
§1-2 运动方程 速度 加速度 ...	7	§4-3 动量守恒定律	83
§1-3 直线运动	13	§4-4 碰撞	85
§1-4 抛体运动	19	§4-5 质心 质心运动定理	90
§1-5 圆周运动	21	§4-6 火箭飞行原理	94
§1-6 相对运动	26	§4-7 经典力学的适用范围	96
小结	28	小结	97
讨论题	30	讨论题	98
习题	31	习题	99
第二章 牛顿运动定律	34	第五章 角动量守恒	103
§2-1 牛顿运动定律	34	§5-1 质点的角动量守恒定律	103
§2-2 力学中常见的力	38	§5-2 质点系的角动量守恒	
§2-3 牛顿运动定律的应用	43	定律	106
§2-4 变力作用下动力学的		小结	109
基本问题	48	讨论题	110
小结	51	习题	110
讨论题	52	阅读材料一 宇宙航行	111
习题	53	阅读材料二 物理学中的对称性	114
第三章 能量守恒	57	第六章 刚体定轴转动	116
§3-1 功 功率	57	§6-1 刚体的平动和转动	116
§3-2 动能 动能定理	61	§6-2 转动惯量	117
§3-3 势能	63	§6-3 转动定律	120
§3-4 功能原理 机械能		§6-4 刚体定轴转动的动能	
守恒定律	66	定理	122
§3-5 能量守恒定律	70	§6-5 刚体定轴转动的角动量	
小结	71	守恒定律	126
讨论题	73	小结	128
习题	74	讨论题	131
第四章 动量守恒	78	习题	131

第二篇 热 学 基 础

第七章 气体动理论	137	§ 8-1 内能 功 热量	162
§ 7-1 气体动理论的基本概念	137	§ 8-2 热力学第一定律	163
§ 7-2 气体的物态参量 理想气体 物态方程	139	§ 8-3 等值过程	165
§ 7-3 理想气体的压强公式	142	§ 8-4 绝热过程	170
§ 7-4 气体分子平均平动动能与 温度的关系	144	§ 8-5 循环过程 卡诺循环	172
§ 7-5 能量均分定理 理想气体的 内能	146	§ 8-6 热力学第二定律	175
§ 7-6 气体分子速率分布	149	§ 8-7 卡诺定理	177
§ 7-7 分子碰撞	154	§ 8-8 热力学第二定律的 统计意义	178
小结	156	§ 8-9 熵 玻耳兹曼关系	180
讨论题	158	小结	183
习题	159	讨论题	185
第八章 热力学	162	习题	186
		阅读材料三 等离子体	188

第三篇 电 磁 学

第九章 静电场	193	§ 10-1 恒定电流 电流密度	240
§ 9-1 电荷	193	§ 10-2 磁现象的电本质	242
§ 9-2 库仑定律	194	§ 10-3 磁感应强度	243
§ 9-3 电场强度	197	§ 10-4 毕奥-萨伐尔定律	246
§ 9-4 电场强度的计算	199	§ 10-5 磁感应强度的计算	248
§ 9-5 高斯定理	204	§ 10-6 安培环路定理 磁场 强度	251
§ 9-6 高斯定理的应用	206	§ 10-7 安培环路定理的应用	253
§ 9-7 电介质中的静电场 电位移矢量	209	§ 10-8 磁场对载流导线的作 用力	256
§ 9-8 电势	213	§ 10-9 磁场对载流线圈的磁 力矩	260
§ 9-9 电势的计算	217	§ 10-10 运动的带电粒子	263
§ 9-10 场强与电势的关系	220	§ 10-11 物质的磁性	269
§ 9-11 静电场中的导体	223	小结	274
§ 9-12 电容器	225	讨论题	277
§ 9-13 静电场的能量	229	习题	279
小结	231	阅读材料四 超导电性	283
讨论题	235	第十章 恒定磁场	240
习题	235	第十一章 电磁感应和电磁场	287

§ 11-1 电磁感应的基本现象	287	§ 11-6 磁场的能量	304
§ 11-2 电磁感应的基本规律	289	§ 11-7 电磁场理论	306
§ 11-3 动生电动势	292	小结	311
§ 11-4 感生电动势	297	讨论题	313
§ 11-5 自感和互感	299	习题	315
第四篇 波 动 学			
第十二章 机械振动	323	§ 15-2 光在球面上的折射	382
§ 12-1 简谐振动	323	§ 15-3 光在球面上的反射	385
§ 12-2 描述简谐振动的物理量	326	§ 15-4 薄透镜	386
§ 12-3 谐振系统的能量	330	小结	391
§ 12-4 简谐振动的合成	332	讨论题	393
小结	334	习题	394
讨论题	336	第十六章 光的干涉	396
习题	337	§ 16-1 光波	396
第十三章 机械波	341	§ 16-2 相干光 光程差	397
§ 13-1 机械波的形成	341	§ 16-3 双缝干涉	400
§ 13-2 描述波动的基本物理量	343	§ 16-4 薄膜干涉	403
§ 13-3 波的几何描述	345	§ 16-5 薄膜的等厚干涉	405
§ 13-4 平面简谐波	346	§ 16-6 迈克耳孙干涉仪 等倾干涉	409
§ 13-5 波的能量	351	小结	410
§ 13-6 惠更斯原理 波的衍射	353	讨论题	412
§ 13-7 波的干涉	355	习题	413
§ 13-8 驻波	358	第十七章 光的衍射	415
§ 13-9 声波	359	§ 17-1 光的衍射现象 惠更斯- 菲涅耳原理	415
§ 13-10 多普勒效应	360	§ 17-2 单缝衍射	416
小结	363	§ 17-3 衍射光栅	420
讨论题	364	§ 17-4 光学仪器的分辨本领	422
习题	365	小结	423
阅读材料五 超声波	367	讨论题	424
第十四章 电磁振荡和电磁波	370	习题	425
§ 14-1 电磁振荡	370	第十八章 光的偏振	427
§ 14-2 电磁波	372	§ 18-1 自然光和偏振光	427
小结	375	§ 18-2 起偏振	428
讨论题	376	§ 18-3 检偏振	430
习题	376	§ 18-4 光的双折射	432
第十五章 几何光学	378		
§ 15-1 光的反射和折射	378		

小结	436	习题	437
讨论题	437		
第五篇 近代物理基础			
第十九章 狭义相对论简介	441	§ 20-8 量子力学简介	491
§ 19-1 经典时空观	441	§ 20-9 一维无限深势阱中的 粒子	493
§ 19-2 狭义相对论的基本原理 ..	445	§ 20-10 势垒穿透	496
§ 19-3 相对论中的时间、同时性和 长度	450	小结	498
§ 19-4 相对论中的质量和能量 ..	454	讨论题	500
小结	460	习题	500
讨论题	461	阅读材料八 粒子物理	502
习题	462	第二十一章 原子的量子理论	505
阅读材料六 广义相对论	463	§ 21-1 氢原子的光谱规律	505
阅读材料七 原子能	468	§ 21-2 玻尔的氢原子理论	506
第二十章 波和粒子	471	§ 21-3 玻尔理论的发展	511
§ 20-1 黑体辐射 普朗克量子 假设	471	§ 21-4 量子力学中的氢原子 理论	513
§ 20-2 光电效应	474	§ 21-5 元素周期律 原子的电子 壳层结构	517
§ 20-3 光量子 爱因斯坦光电 效应方程	476	小结	520
§ 20-4 康普顿散射	479	讨论题	521
§ 20-5 实物粒子的波粒二象性 德布罗意波	483	习题	522
§ 20-6 不确定关系	485	阅读材料九 半导体	523
§ 20-7 波函数	488	阅读材料十 激光	528
附录一 矢量	533		
附录二 正交坐标系	540		
附录三 常用物理量单位	542		
附录四 常用的物理常量	544		
习题参考答案	545		

绪 论

一、物理学的研究内容

自然界是由各种形式的物质组成的. 运动是物质存在的基本方式,自然界中所有物质都在不停地运动着. 运动包括自然界中所发生的一切变化过程. 我们是通过物质运动规律的研究来认识物质的.

物理(physics)这个词是由希腊语“ $\phi\nu\sigma\iota\kappa\eta$ ”意即“自然”一词演变而来的. 顾名思义,物理学应是一门致力于研究与一切自然现象有关的科学. 直到19世纪初,人们都是在这个广泛的含义下来理解物理学的,所以又把它称为“自然哲学”.

物理学是研究物质的性质、基本结构、基本运动和物质之间相互作用和转化的科学.

物质的运动形式是多种多样的. 物理学所研究的是最基本、最普遍的运动形式,包括机械运动、热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等. 按照研究对象不同的运动形式,物理学有力学、热学、电磁学、光学、原子和原子核物理等各个分支.

人们对自然规律的认识是通过观察自然开始的. 机械运动是人们能够直接观察到的最普遍的现象,因此,研究机械运动的力学比物理学中任何其他分支都发展得早. 光与人的视觉直接有关,所以人们对光的研究在早期就形成了一门独立的学科——光学. 在生活和生产活动中,人们接触了大量与热有关的现象,因而热学也较早就形成了物理学的一个分支. 虽然在自然界中存在着许多电磁现象,但是它与人们早期的生活和生产活动没有什么直接的联系,所以人们对电磁现象的认识比较迟,电磁学直到19世纪才成为物理学中的一个分支.

19世纪末,生产技术的迅速发展为科学实验的改进提供了物质条件,使人们对自然界的认识逐渐深入到了组成物质的分子、原子、原子核等微观领域中. 人们对物质的基本结构和运动规律有了进一步的认识. 20世纪初,物理学中出现了一些新的理论,如相对论和量子论,在此基础上,近代物理得到了飞跃发展.

物理学所研究的运动普遍地存在于其他较高级、较复杂的运动形式之中,所以物理学所研究的物质的运动规律具有广泛适用的普遍性. 因此,物理学是其他自然科学和工程技术的基础.

现今物理学与其他自然学科的关系越来越密切,物理学的研究领域与其他学科结合起来出现了许多交叉学科,如天体物理、海洋物理、生物物理、计算物理、量子化学、量子生物等.

二、物理学的研究方法

一切科学的认识规律都是实践—理论—实践,物理学研究也遵循这一规律.

观察和实验是物理学研究的主要实践手段. 自然界中的现象往往是在较为复杂的环境中发生的,因而影响这些现象的因素也比较复杂,对这些现象通过直接观察来研究是不够的. 一般,我

们可以通过实验对某些现象进行研究.在实验中把复杂的条件加以简化,突出主要的因素,排除或减少次要因素的影响,经过反复观测,从而得出一些反映自然现象本质的基本规律.在当今科学技术高度发展的条件下,实验已成为物理学的主要实践手段.

在物理学的研究过程中,经常要建立一些与实际情况差距不大的理想模型作为研究对象.理想模型是在保持物体基本特征的前提下,除去一些次要的、局部的因素而抽象出来的模型.例如,质点、刚体、弹簧振子、理想气体、点电荷等都是理想模型,它们是实际物体的理想近似.许多真实物体在一定条件下,可以用理想模型处理.如理想气体物态方程在常温、常压下,可以适用于真实的气体.对理想模型研究而得到的一些规律往往是反映实际问题主要方面的基本规律.在这个基础上,再把各种次要的因素逐步予以考虑,就可以得到更符合实际情形的一些规律.因此,建立理想模型的研究方法实质上就是由简单到复杂的科学研究方法.

在实践的基础上,为了得到能够正确反映事物客观规律的理论,物理学中经常需要提出一些基本论点作为理论的基础,这就是所谓假设.这些假设往往是物理学发展的突破点.例如,黑体辐射理论是在普朗克(Planck)能量子假设的基础上而发展起来的;光速不变假设是爱因斯坦(Einstein)狭义相对论的基本出发点之一.需要指出,在假设的基础上建立的理论,必须通过实践来进行验证,这种验证实际上是对假设正确与否的检验.

物理学的研究方法是科学的、严谨的、符合客观规律的成功的方法,这种研究方法具有相当的普遍性.掌握这些方法对其他科学的研究也是有益的.

三、物理学在社会主义现代化建设中的作用

物理学是一切自然科学中最基本的学科之一.我们学习物理学的目的就是为了认识自然、掌握自然规律,改造自然,为人类服务.

生产发展的客观需要是物理学发展的强大动力之一;反过来,物理学的研究又有力地推动了生产力的发展,有时甚至促使社会生产力发生巨大的飞跃.迄今为止,物理学已出现了三次大突破.在17世纪、18世纪,由于牛顿力学和热力学的发展,对其他学科的进展起了推动的作用,为蒸汽机和机械工业的发展作了理论上的准备,因而引起了第一次工业革命.19世纪,在法拉第(Faraday)-麦克斯韦(Maxwell)电磁理论的基础上,人们成功地制造了电机、电器和各种电气设备,引起了工业电气化的革命,这就是第二次工业革命.20世纪以来,由于相对论和量子力学的发展,人们对原子、原子核结构的认识日益深刻,发展了新能源的应用,促成了新材料、新器件的出现.今天,现代科学技术正进行着一次伟大的革命,原子能、半导体、激光、超导、空间科学、计算机、电脑等高新技术领域出现了迅猛的发展.这些事实表明,生产力的发展主要依靠科学技术力量的进步.当今物理学的研究已深入到一切科学领域和生产技术中,它为人类社会生产力的发展和人们生活文明的提高发挥着巨大的作用.

物理学作为一切自然科学和工程技术的基础是科学和工程技术人员应当熟悉和掌握的.大学物理是理工科各类专业必修的基础课程之一.通过本课程的学习,学生应掌握物理学的基本概念和基本规律,并在实验技能、运算能力、分析能力和科学思维方法等方面受到一定的训练,为今后学习专业知识和近代科学技术打下必要的基础,以适应我国现代化建设的需要.

第一篇 力 学

宇宙中一切物体都在运动着. 物体的运动形式多种多样, 其中最简单、最常见的一种运动形式是物体间或物体各部分之间相对位置的变动, 这种运动称为机械运动. 星体的运行, 车辆、船舶、飞机的运动, 水、空气的流动, 各种机器的运转等, 都是机械运动. 力学是研究机械运动的规律及其应用的学科.

大学物理中的力学包括运动学和动力学两部分内容. 运动学研究物体位置随时间变化的规律; 动力学则是研究物体之间相互作用对物体运动的影响, 即研究物体运动状态变化的原因.

力学是物理学的基础, 力学中的基本概念和某些规律在物理学的各领域中起着重要的作用. 力学的应用范围很广泛, 几乎涉及工程技术的所有领域. 机械、建筑、水利、自动化等工程技术都常用到力学的基本知识. 因此, 力学是工程技术的基础理论之一.

本篇着重介绍有关质点运动的基本概念和规律, 其中牛顿定律和守恒定律(机械能守恒、动量守恒、角动量守恒)是本篇的主要内容. 在力学中建立三条守恒定律具有普遍性, 它们适用于自然界的一切领域. 因此从这个意义上说, 它们比牛顿定律更基本、更普遍的规律.

第一章 质点运动学

本章在建立质点运动方程的基础上,介绍位移、速度、加速度等基本概念,并研究质点做直线运动、抛体运动、圆周运动等的基本规律.

§ 1-1 参考系 质点

一、参考系和坐标系

自然界中的一切物体都在运动着,绝对静止的物体是不存在的.例如固定在地球上的物体看来是静止的,但是因为地球绕地轴自转并绕太阳公转,所以它们参与了地球的自转和公转运动.事实上太阳也不是静止不动的,太阳相对于银河系在运动着.甚至我们所在的银河系,从银河系外的其他星系看来,也是运动着的.

当我们说一个物体在做机械运动时,总是指这个物体相对于其他某个物体或某些物体的位置发生变化而言的.如果我们只是孤立地考察某一个物体,而不去观察它同其他物体之间的相互位置关系,那么也就无法判断这个物体是否在做机械运动.比如,我们说一辆汽车在运动,是因为它相对于地面的位置发生了变化.在行驶着的列车中,静坐的乘客相对于列车是不动的,而相对于地面上的铁轨,却随着列车在一起运动着.由此可见,当我们判断一个物体是否做机械运动时,首先要选择某些物体作为标准,然后观察这个物体相对于标准物体的位置是否发生变化,如果变化,我们说这个物体在做机械运动,如果不变化,我们就说它们之间保持相对静止.所以,我们在研究一个物体的机械运动时,必须选取另一个或另外几个相互间位置不变的物体作为参照的标准,这个被选作参照标准的物体或相互间位置不变的一组物体称为参考系.

同一物体的运动在不同的参考系中有不同的图像.例如,地面上的建筑物,若以地球为参考系,则相对于地球是静止的;如以太阳为参考系,则它们随同地球绕太阳转动.再如,在没有刮风的情形下,站在地面上的人看到雨滴是竖直下落的;而在向前行驶着的车辆中的乘客看来,雨滴却是向后倾斜落下的.因此,对于一个物体运动情况的描述是与参考系的选取有关的,在不同的参考系中对同一运动物体的描述是有所不同的,这就是机械运动描述的相对性.所以,我们在讨论物体的机械运动时,首先要说明选取什么物体作为参考系.

在运动学中,参考系的选取取决于问题的性质和研究的方便.在研究行星运动时,往往选取太阳为参考系,在研究地面上物体的运动时,一般则选取地面为参考系.

为了定量地描述物体相对于参考系的运动,必须把它相对于参考系的位置用数学的方法表示出来,这就需要在参考系上建立一个坐标系.例如,为了表示沿直线轨道行驶的列车相对于车站的位置,可以建立直线坐标系.一般选取站上某点作为坐标的原点 O ,然后沿列车运动的轨道作一标明长度的直线为坐标系的 x 轴,那么列车的位置就可用坐标 x 表示,如图 1-1(a) 所示.如果物体的运动是在一个平面上进行的,例如在海面上航行的船只,那么,通常可建立一个由相

互垂直的 x 轴和 y 轴所组成的平面直角坐标系,如图 1-1(b) 所示,用坐标 (x, y) 来确定物体的位置. 如果物体在空间运动,例如飞行中的飞机,则可建立一个空间直角坐标系 $Oxyz$,如图 1-1(c) 所示,用三个坐标 (x, y, z) 来确定物体在空间中的位置.

选择合适的坐标系,可以给讨论问题带来不少方便. 本书一般采用直角坐标系.

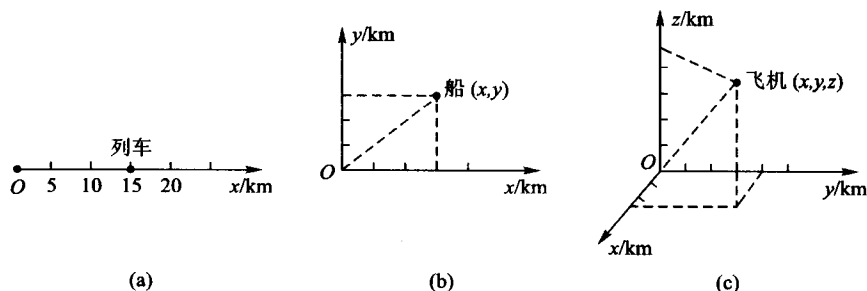


图 1-1 参考系和坐标系

二、质点

选定参考系和坐标系后,我们就能定量地描述物体的位置和位置的变化. 由于实际物体都有一定的大小和形状,当物体运动时,物体上各点的运动情况一般不尽相同,因而物体运动是比较复杂的. 可是在某些情况下,如果所研究的物体,其上各点的运动情况大致相同,我们就可以把整个物体看成是一个点. 这个点具有整个物体的质量,该点的运动情况代表了物体上所有各点的运动情况,我们把这样的点称为质点. 例如在研究炮弹飞行时,如果不考虑炮弹的转动,那么炮弹上各点相对于地面的运动情况基本上一致,就可以把炮弹当做质点. 当我们讨论地球相对太阳运动时,地球上各处的运动情况都基本相同,因此,可以把地球看成质点. 又如当活塞在汽缸中运动时,活塞上各点运动情况相同,因而任一点的运动都能代表活塞整体的运动,所以活塞也可以看成质点.

应当指出,一个物体是否可以看成质点,是由所研究的问题的性质所决定. 常常出现这样的情况,同一物体在某些问题中可以看成质点,而在另一些问题中却不能看成质点. 例如,在研究空气阻力对于炮弹飞行的影响时,就不能再把炮弹当做质点;在研究地球自转时,也不能把地球当做质点.

还应指出,一个物体是否可以看成质点,与物体本身体积的大小没有必然的关系. 在研究分子、原子内部的运动时,虽然它们的体积非常小,但不能看成质点;行星的体积很大,但当我们研究它们绕太阳的运动时,却可以看成质点.

实际上,一个物体各部分运动的情况总是有所不同的,所以质点只是一个理想模型,它是实际物体在一定条件下的抽象. 把一个复杂的、具体的物体在保留它的基本特征的情形下,用简单的、抽象的模型来代替,这样可以使所研究的问题简化,而且突出了它的主要矛盾,便于我们找出基本的规律. 因此,用理想模型的方法来研究问题是一种常用的科学研究方法,这种方法在物理学中经常用到.

本章和以后几章中所研究的物体,如不特别指明,都是把它们当做质点.

三、时间和时刻

任何物体运动都是在时间和空间中进行的. 运动不能脱离空间, 也不能脱离时间. 因此, 在研究物质运动时要涉及时间和空间的概念.

在有关时间的概念中, 我们要区别时刻和时间间隔的不同含义. 通常所说的时刻, 指的是在时间单向流逝过程中的某一瞬间, 而时间间隔则是指自某一初始时刻到终止时刻所经历的一段时间. 例如, 列车从上海开出的瞬间, 表示的是一时刻; 而列车从上海开到北京, 所经历的时间就是一段时间间隔. 又如, 早晨 8 点上课, 8 点 50 分下课, 指的都是时刻, 而一节课经过了 50 分钟, 指的就是时间间隔. 有时为了方便起见, 把时间间隔简称为时间.

在物理学中, 通常选取某时刻作为计时起点. 例如, 以 9 点作为计时起点, 以秒为计时单位, 则 8 点 59 分可记为 $t_1 = -60$ s, 9 点零 1 分可记为 $t_2 = 60$ s, 负号表示该时刻在计时起点之前.

§ 1-2 运动方程 速度 加速度

一、位置矢量

研究质点运动, 首先要确定质点的位置. 为此我们先在参考系上任意选定一点 O 作为参考点. 如图 1-2 所示, 设某一时刻质点位于 P 点, 质点相对于参考点的位置, 可用自参考点 O 指向 P 的有向线段 $\vec{r} = \overrightarrow{OP}$ 来表示. 因为 $\vec{r}$ 是在参考系上选定的一个参考点引向质点所在位置的矢量, 所以称 $\vec{r}$ 为质点的位置矢量, 简称位矢.

以 O 为坐标原点, 作直角坐标系 $Oxyz$, 则位置矢量 $\vec{r}$ 在直角坐标系中的解析表示式为

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

式中 $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ 分别为沿 x, y, z 轴正方向的单位矢量, x, y, z 为位置矢量在三个轴上的分量, 也就是质点的位置坐标. 当质点的位置坐标确定后, 它的位置也就唯一确定了. 位置矢量 $\vec{r}$ 是个矢量, 既有大小又有方向. 它的大小是有向线段 $\vec{r}$ 的长度, 一般用 r 表示:

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

它的方向, 可用它与三个坐标轴的夹角的余弦 (称为方向余弦) 表示:

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

质点运动时, 位置矢量的矢端在空间描绘的曲线即质点运动的径迹, 称为质点的运动轨迹. 质点的运动可按轨迹的形状分成直线运动和曲线运动两类.

二、运动方程

质点运动时, 它的位置矢量随时刻变化, 因此, 位置矢量是时刻 t 的函数. 表示位置矢量随时刻变化的函数关系式

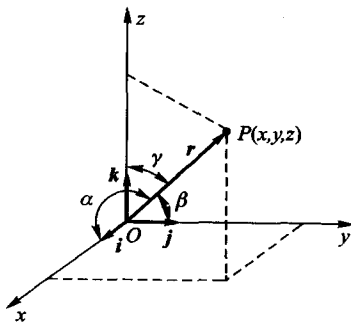


图 1-2 位置矢量

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1.1a)$$

称为质点的运动方程.

式(1.1a)是运动方程的矢量表示式,在直角坐标系中,上式可写为

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

因此,运动方程的分量形式为

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1.1b)$$

可见,运动方程的矢量表示式可以用位置矢量的三个直角坐标的标量函数式表示.从式(1.1b)中消去 t ,可得到质点运动的轨道方程.

原则上说,质点的运动方程确定后,就完全掌握了质点的运动规律,由运动方程可知质点在任何时刻的位置和运动情况.

三、位移

设一质点沿曲线运动,如图1-3所示.在时刻 t 质点位于 A 点,经时间 Δt 后,质点到达 B 点, A 、 B 两点的位置分别用位置矢量 $\mathbf{r}_A$ 和 $\mathbf{r}_B$ 表示.质点在时间 t 到 $t + \Delta t$ 内的位置变化,可以用由 A 到 B 的有向线段 $\Delta\mathbf{r}$ 来表示, $\Delta\mathbf{r}$ 称为质点在时间 t 到 $t + \Delta t$ 内的位移.位移是个矢量,它的大小等于 A 、 B 两点之间的距离,其方向由起点 A 指向终点 B .从图中可以看到

$$\Delta\mathbf{r} = \overrightarrow{AB} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \quad (1.2a)$$

即位移是在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内位置矢量的增量.在直角坐标系中, A 、 B 两点的位置矢量 $\mathbf{r}_A$ 、 $\mathbf{r}_B$ 可表示为

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_A &= x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \\ \mathbf{r}_B &= x(t + \Delta t)\mathbf{i} + y(t + \Delta t)\mathbf{j} + z(t + \Delta t)\mathbf{k} \end{aligned}$$

因此位移矢量 $\Delta\mathbf{r}$ 可写为

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = \Delta x \mathbf{i} + \Delta y \mathbf{j} + \Delta z \mathbf{k} \quad (1.2b)$$

上式中

$$\Delta x = x(t + \Delta t) - x(t), \Delta y = y(t + \Delta t) - y(t), \Delta z = z(t + \Delta t) - z(t)$$

是质点位移在各坐标轴上的分量.应当指出,位移是描述质点位置变化的物理量,它只表示质点位置变化的实际效果,并不表示质点运动中实际经过的路径.如上所述,质点在 Δt 时间内的位移为 $\Delta\mathbf{r}$,而路径是曲线 $\widehat{AB}$.

必须注意,位置矢量是由时刻 t 确定的瞬时量,而位移是指某一段时间内位置矢量的增量,它是由一段时间所确定的过程量.

显然,由运动方程可以求得质点在任一时间中的位移.

通常,把质点运动所描绘的路径的长度称为路程.路程和位移是性质完全不同的两个概念.路程是标量,位移是矢量,两者不可混淆.例如,列车从上海开到北京,则列车的位移是以上海为起点并指向终点北京的矢量,而列车所经过的路程是指上海到北京的铁轨的长度.如果一质点从

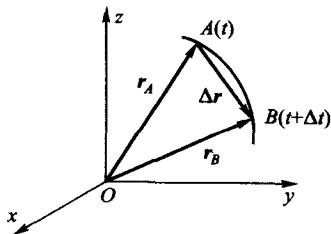


图1-3 位移