



全国成人高等教育规划教材

大学物理

教育部高等教育司 组编



高等教育出版社

全国成人高等教育规划教材

大学物理

教育部高等教育司 组编

屠庆铭 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书为教育部高等教育司组织编写的全国成人高等教育规划教材,是根据1998年教育部颁发的“全国成人高等教育大学物理课程教学基本要求”编写的。全书分为力学、热学基础、电磁学、波动力学、近代物理基础等五篇。为了提高学生的科学素养,以适应21世纪高科技发展的需要,书中纳入了10篇介绍有关当代物理前沿课题的阅读材料。本书在编写中充分考虑到成人学习的特点,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要介绍,主要阐明物理思想和重要结论。书中的数学推导从简,着重于培养学生使用数学工具解决物理问题的能力。

本书可作为全国工学类成人高等学校本专科大学物理课程的教材,也可供各类工程技术人员及普通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. -北京:高等教育出版社,
1999(2001重印)

全国成人高等教育规划教材

ISBN 7-04-006998-9

I. 大… II. 屠… III. 物理学-高等教育:成人教育-教材 IV. 04

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第04955号

大学物理
屠庆铭 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1999年6月第1版

印 张 30

印 次 2001年3月第4次印刷

字 数 730 000

定 价 34.10 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

出版说明

为了加强成人高等教育教学的宏观管理,指导并规划成人高等教育的教学工作,保证达到培养规格,教育部于今年4月颁布了全国成人高等教育公共课和经济学、法学、工学等学科门类主要课程的教学基本要求.教学基本要求是成人高等教育的指导性教学文件,是成人高等教育开展有关课程教学工作和进行教学质量检查的重要依据.为了更好地和更迅速地贯彻这个教学基本要求,我司又组织制订了全国成人高等教育主要课程教材建设规划.经过有关出版社论证申报和教育部组织的成人教育专家评审,确定了各门课程教材的主编人选及承担出版任务的出版社.

承担任务的出版社,遴选了学术水平高、有丰富成人教育经验的专家参加教材及教学辅助用书的编写和审定工作.新编教材尽可能符合成人学习特点,较好地贯彻了成人高等教育教学基本要求.推广使用这套教材,对于加强成人高等教育的教学工作,提高教学质量,促进成人高等教育的改革与发展具有十分重要的意义.

首批完成的有公共课和经济学、法学、工学三大学科门类共81门主要课程的教材.由于此项工作是一项基础性工作,具有一定的开创性,可能存在不完善之处.我司将在今后的教学质量检查评估中,及时总结经验,认真听取各方反馈意见,根据教学需要,适时组织教材的修订工作.

教育部高等教育司

一九九八年十二月一日

前 言

本书是依据 1998 年教育部颁发的“全国成人高等教育大学物理课程教学基本要求”编写的。全书包括力学、热学基础、电磁学、波动学、近代物理基础等五篇内容,基本上按照“教学基本要求”的体系编排,可适合作为全国各类成人高校大学物理课程的教材。

各类成人高校工科专科及本科学生都可以使用本书。书中除以“***”开始并以“+++”结束的内容外都适用于专科学生,学时数为 72 学时。对于本科学生,除了专科学生应学的内容外,还包括以“***”开始并以“+++”结束的章、节和段落,学时数为 126 学时。此外,专科升本科的学生,可以补充书中“***”开始并以“+++”结束的内容,以满足大学物理本科课程的教学要求。

本书在编写中考虑到结合成人教育的特点,贯彻“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,便于成人学生掌握;对于一般性的内容则作简要介绍,主要阐明物理思想和重要结论。书中的数学推导从简,着重于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。在选配例题时,考虑了典型性和层次性。全书共有习题近 300 题。不加“*”号的习题是基本题,给专科学生使用。本科学生除了基本题外,还应选做部分标“*”号的习题。讨论题供学生思考讨论,使学生对基本内容的理解进一步深化。

成人学生业余学习,课外复习时间较少,为此,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。按照“教学基本要求”的规定,本科学生必须选读部分阅读材料。编者建议学有余力的专科学生也应选读部分内容,以扩大知识面。

本书采用“量和单位”的国家标准和最新公布的“物理学名词”。因此,书中有些量的符号及名词与以往惯用的表示有所不同,请读者注意。

本书主审是朱世昌教授,参加审稿的还有顾曾逵、陆志豪等先生,他们对全书的内容提出了宝贵的意见。张豪平先生为本书的编写提供了不少帮助。在此编者向他们一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免有许多缺点和错误,欢迎读者提出宝贵意见。

编 者
1998 年 12 月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	4	§ 4-1 冲量和动量	71
§ 1-1 参考系 质点	4	§ 4-2 质点的动量定理	73
§ 1-2 运动方程 速度 加速度	6	§ 4-3 动量守恒定律	76
§ 1-3 直线运动	12	§ 4-4 碰撞	78
§ 1-4 抛体运动	18	§ 4-5 火箭飞行原理	83
§ 1-5 圆周运动	20	§ 4-6 经典力学的适用范围	85
小结	25	小结	86
讨论题	27	讨论题	88
习题	28	习题	88
第二章 牛顿运动定律	31	第五章 角动量守恒	92
§ 2-1 牛顿运动定律	31	§ 5-1 质点的角动量守恒定律	92
§ 2-2 力学中常见的力	35	§ 5-2 质点系的角动量守恒定律	95
§ 2-3 牛顿运动定律的应用	40	小结	98
小结	45	讨论题	98
讨论题	46	习题	99
习题	48	阅读材料一 宇宙航行	100
第三章 能量守恒	52	阅读材料二 物理学中的对称性	103
§ 3-1 功 功率	52	第六章 刚体定轴转动	105
§ 3-2 动能 动能定理	56	§ 6-1 刚体的平动和转动	105
§ 3-3 势能	58	§ 6-2 转动惯量	106
§ 3-4 功能原理 机械能守恒定律	61	§ 6-3 转动定律	109
§ 3-5 能量守恒定律	65	§ 6-4 刚体转动的动能定理	111
小结	66	§ 6-5 刚体转动的角动量守恒定律	114
讨论题	68	小结	117
习题	68	讨论题	118
第四章 动量守恒	71	习题	119

第二篇 热 学 基 础

第七章 气体动理论	122	§ 7-3 理想气体的压强公式	127
§ 7-1 气体动理论的基本概念	122	§ 7-4 气体分子平均平动动能与温度的 关系	129
§ 7-2 气体的物态参量 理想气体物态 方程	124	§ 7-5 能量均分定理 理想气体的	

内能	130	§ 8-4 绝热过程	152
§ 7-6 气体分子速率分布	134	§ 8-5 循环过程 卡诺循环	154
§ 7-7 分子碰撞	138	§ 8-6 热力学第二定律	157
小结	140	§ 8-7 卡诺定理	159
讨论题	142	§ 8-8 热力学第二定律的统计意义	160
习题	142	§ 8-9 熵	162
第八章 热力学	144	小结	164
§ 8-1 内能 功 热量	144	讨论题	165
§ 8-2 热力学第一定律	145	习题	166
§ 8-3 等值过程	147	阅读材料三 等离子体	168

第三篇 电 磁 学

第九章 静电场	172	§ 10-5 安培环路定理 磁场强度	228
§ 9-1 电荷	172	§ 10-6 安培环路定理的应用	231
§ 9-2 库仑定律	174	§ 10-7 磁场对载流导线的的作用力	233
§ 9-3 电场强度	176	§ 10-8 磁场对载流线圈的磁力矩	237
§ 9-4 电场强度的计算	179	§ 10-9 运动的带电粒子	240
§ 9-5 高斯定理	183	§ 10-10 物质的磁性	246
§ 9-6 高斯定理的应用	185	小结	251
§ 9-7 电介质中的静电场 电位移	188	讨论题	253
§ 9-8 电势	192	习题	255
§ 9-9 电势的计算	196	阅读材料四 超导电性	260
§ 9-10 场强与电势的关系	199	第十一章 电磁感应和电磁场	263
§ 9-11 静电场中的导体	202	§ 11-1 电磁感应的现象	263
§ 9-12 电容器	204	§ 11-2 电磁感应的基本规律	265
§ 9-13 静电场的能量	208	§ 11-3 动生电动势	268
小结	210	§ 11-4 感生电动势	273
讨论题	213	§ 11-5 自感和互感	275
习题	214	§ 11-6 磁场的能量	280
第十章 恒定磁场	219	§ 11-7 电磁场理论	281
§ 10-1 磁现象的电本质	219	小结	286
§ 10-2 磁感应强度	221	讨论题	288
§ 10-3 毕奥-萨伐尔定律	224	习题	290
§ 10-4 磁感应强度的计算	225		

第四篇 波 动 学

第十二章 机械振动	294	小结	305
§ 12-1 简谐振动	294	讨论题	307
§ 12-2 描述简谐振动的物理量	297	习题	307
§ 12-3 谐振系统的能量	301	第十三章 机械波	310
§ 12-4 简谐振动的合成	303	§ 13-1 机械波的形成	310

§ 13-2 描述波动的基本物理量	312	§ 15-4 薄膜干涉	351
§ 13-3 波的几何描述	314	§ 15-5 薄膜的等厚干涉	353
§ 13-4 平面简谐波	315	§ 15-6 迈克耳孙干涉仪 等倾干涉	356
§ 13-5 波的能量	320	小结	358
§ 13-6 惠更斯原理 波的衍射	322	讨论题	359
§ 13-7 波的干涉	324	习题	360
§ 13-8 驻波	326	第十六章 光的衍射	362
§ 13-9 声波	327	§ 16-1 光的衍射现象 惠更斯 菲 涅耳原理	362
§ 13-10 多普勒效应	328	§ 16-2 单缝衍射	363
小结	331	§ 16-3 衍射光栅	367
讨论题	332	小结	369
习题	333	讨论题	370
阅读材料五 超声波	335	习题	370
第十四章 电磁振荡和电磁波	337	第十七章 光的偏振	372
§ 14-1 电磁振荡	337	§ 17-1 自然光和偏振光	372
§ 14-2 电磁波	339	§ 17-2 起偏振	373
小结	342	§ 17-3 检偏振	375
讨论题	342	§ 17-4 光的双折射	377
习题	343	小结	381
第十五章 光的干涉	344	讨论题	382
§ 15-1 光波	344	习题	382
§ 15-2 相干光 光程差	345		
§ 15-3 双缝干涉	348		

第五篇 近代物理基础

第十八章 狭义相对论简介	386	§ 19-3 康普顿散射	417
§ 18-1 经典时空观	386	§ 19-4 实物粒子的波粒二象性 德布 罗意波	421
§ 18-2 狭义相对论的基本原理	390	§ 19-5 不确定关系	423
§ 18-3 相对论中的时间、同时性和 长度	395	§ 19-6 波函数	426
§ 18-4 相对论中的质量和能量	399	§ 19-7 量子力学简介	428
小结	405	小结	431
讨论题	406	讨论题	433
习题	407	习题	433
阅读材料六 广义相对论	408	阅读材料七 半导体	434
第十九章 波和粒子	412	阅读材料八 激光	439
§ 19-1 光电效应	412	阅读材料九 原子能	444
§ 19-2 光量子 爱因斯坦光电效应 方程	415	阅读材料十 粒子物理	446

附录一 矢量	449
---------------------	-----

附录二 常用物理量单位	456
习题答案	458

绪 论

一、物理学的研究内容

自然界是由各种形式的物质所组成的.运动是物质存在的基本形式;自然界中所有物质都在不断地运动着.运动包括自然界中所发生的一切变化过程.我们就是通过对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,物理学应当是一门致力于研究与一切自然现象有关的科学.事实上,直到19世纪初叶,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”.

物质的运动形式是多种多样的,物理学所研究的是物质最基本、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等.按照研究对象的运动形式,物理学分为力学、热学、电磁学、光学、原子和原子核物理学等各个分支.

人对自然规律的认识是通过观察自然开始的.机械运动是人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它分支都发展得早.光与人的视觉直接有关,所以人对光的研究在早期就形成了一门独立的学科——光学.在生活和生产实践中,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中的一个分支.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实践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一个独立的分支.

19世纪末叶,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.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存在于其它较高级、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,物理学是其它自然科学和工程技术的基础.

二、物理学研究方法

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法则.

观察和实验是物理学研究的主要实践手段之一.自然界中的某些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,对此直接通过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.

在物理学的理论研究过程中,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的对象.理想模型是在保持物体基本特征的前提下,撇开一些次要的、局部的因素而抽象出来的.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.例如,黑体辐射理论是在普朗克(Planck)量子假设的基础上而发展起来的;光速不变这一假设是爱因斯坦(Einstein)狭义相对论的基本出发点之一.需要指出,在假设的基础上所建立的理论,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.

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,从而能动地改造自然,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,对其它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世纪初以来,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,在这基础上发展了原子能的应用.今天,现代科学技术正经历着一次伟大的革命,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发展.这些事实表明,生产力的发展主要依靠科学技术的力量;物理学作为一门基础科学,在促进生产发展上所起的作用是十分巨大的;物理学作为一切自然科学和工程技术的基础,是科技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.通过对本课程的学习,学生应该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.物体的运动形式是多种多样的,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.星体的运动、车辆、船只、飞机等的运动,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;而动力学则是研究物体之间的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;其他自然科学和工程技术中也常用到力学的基本知识.

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.

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,并研究质点作直线运动、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.例如停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,从银河系外的其它星系看来,也是运动着的.

当我们说一个物体在作机械运动时,总是指这个物体相对于其它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,而不去观察它同其它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作机械运动.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作机械运动时,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,我们说这个物体在作机械运动,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象.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,一般则选取地球为参考系.

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.

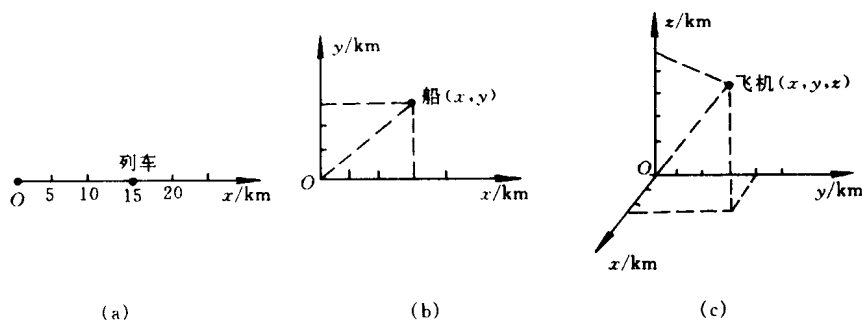


图 1-1 参考系和坐标系

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没有大小和形状的一个点.这个点具有整个物体的质量,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,就可以把炮弹当作质点.当我们讨论地球绕太阳公转的问题时,地球上各处绕太阳公转的情况都基本相同,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基本上相同,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,就不能再把炮弹当作质点;在研究地球自转时,也不能把地球当作质点.

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,但却不能看成质点;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,我们都是把它们当作质点.

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到时间和空间的概念.

在有关时间的概念中,我们要区别时刻和时间间隔的不同涵义.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时间段.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 $t_1 = -60\text{ s}$,9点零1分可记为 $t_2 = 60\text{ s}$,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 $r = \overrightarrow{OP}$ 来表示.因为 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 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 r 在直角坐标系中的解析表示式为

$$r = xi + yj + zk$$

式中 i, j, 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 r 是个矢量,既有大小又有方向.它的大小是有向线段 r 的长度,一般用 r 表示:

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

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.

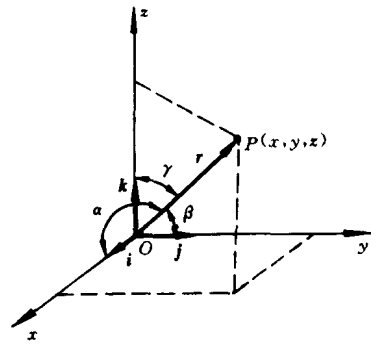


图 1-2 位置矢量

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

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

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.

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

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

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

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.

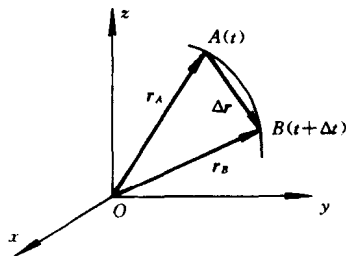


图 1-3 位移

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.如果一质点从某点出发,在空间经过一闭合路径回到原来的起始位置时,则它的位移为零,但路程不为零,等于该闭合路径的长度.必须指出,在一般情况下,质点位移的大小和路程是不相等的,只有在质点沿一个给定的方向作直线运动的情况下,位移的大小与路程才相等.

在国际单位制中,位移和路程的单位符号为 m,单位名称为米.

四、速度

设一质点在平面上沿曲线 \widehat{AB} 运动,如图 1-4 所示,在时刻 t 该质点位于 A 处,其位置矢量为 $r(t) = \overrightarrow{OA}$,在时刻 $t + \Delta t$,该质点位于 B 处,其位置矢量为 $r(t + \Delta t) = \overrightarrow{OB}$,在时间 t 到 $t + \Delta t$ 内的位移为

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

我们定义质点在 Δt 时间内的平均速度为

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (1.3)$$

因为 Δr 是矢量, Δt 是标量,所以平均速度也是矢量.平均速度的方向就是 Δr 的方向,它的大小则等于位移的大小 $|\Delta r|$ 与时间 Δt 的比值.平均速度只是粗略地描写了质点的运动.我们看到,只有当 Δt 很小时,才可以用直线段 \overline{AB} 近似地代替曲线段 \widehat{AB} .因此在 Δt 很小时,可以用平均速度 \bar{v} 较精确地描写质点在 A 点附近的运动情况.为了精确地描写质点在 A 点的实际运动情况,应当使 $\Delta t \rightarrow 0$.我们把 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速度矢量 \bar{v} 的极限,定义为质点在时刻 t (或质点在运动轨迹上 A 点)的瞬时速度(简称速度),其数学表示式为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} \quad (1.4)$$

由此可见,质点的速度等于质点的位置矢量 r 随时间 t 的变化率,即位置矢量对时间的一阶导数.

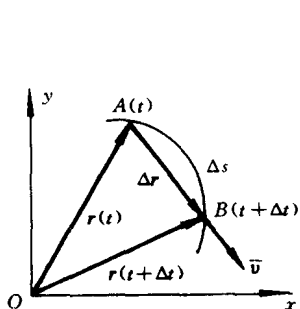


图 1-4 瞬时速度和平均速度

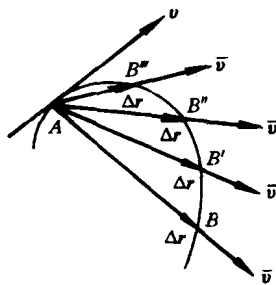


图 1-5 速度的方向

速度 v 是个矢量,它的方向就是当 Δt 趋近于零时,位移 Δr 的极限方向.如图 1-5 所示,当