

SPT 21世纪高等院校教材

大学物理教程

程国均 编著

科学出版社

内 容 简 介

本书共分力学、热学、电磁学、光学及近代物理四大部分,在保持物理知识体系相对完整的同时,删掉了大量陈旧内容,增添了不少现代物理的知识。

书中各章都附有与内容有关的专题,便于学生对物理学及有关交叉学科的前沿热点课题有所了解。

本书可作为综合大学和师范大学理科学生的公共基础课教材。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程/程国均编著. —北京:科学出版社,2002.8

(21世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-010698-9

I. 大… II. 程… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第055533号

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>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年8月第一版 开本:720×1000 1/16

2002年8月第一次印刷 印张:49 3/4

印数:1—3 000 字数:896 000

定价:55.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

全球科学技术的竞争和物理学的迅速发展,迫切要求大学基础物理课程作相应的变革,以适应 21 世纪培养创新人才的新形势.编写出一本能反映这个新形势的大学物理教材,就成为广大物理教师所面临的一项重大挑战.

本书作者不自量力,力图在能反映现代高科技发展的革新教材和广大教师乐于接受并易施教的传统教材之间找到一个平衡点.编写出一本既充溢着现代高科技气息又为广大教师和学生所接受,既有强烈的创新意识又具有良好易读性的大学物理教材.

本书力求以唯物辩证法的思想贯串全书,从哲学的高度介绍物理学方法论和揭示物理概念的内涵,致力于培养学生学会正确的思考方式和培养学生的探索精神和创新意识.简言之,就是不但授人以“鱼”,而且更注重授人以“渔”.为达到这一目标,本书尽可能用学生易碰到的问题来引出物理概念或物理规律.然后简要地回顾前人探寻真理的足迹,建立概念或得出普遍原理,再给出进一步的应用实例.也就是从特殊到一般再从一般到特殊.

本书作者根据多年来在国内及美国从事物理教学及科研工作的经验和实际感受,力求引进、消化和吸收国外大学物理教学的先进成果.在大科学的背景下,向学生展示一个统一的物理学.作者用现代化的眼光对传统的“三基”内容进行了严格的整理,删去了大量陈旧的内容.对保留下来的核心内容也用唯物辩证法进行了全新的阐述.此外本书以“窗口”和“接口”的形式尽可能简明扼要地阐述了当代物理的发展趋势和前沿热点以及物理学与其他学科的交叉与渗透.

为了方便教师施教及学生自学,本书在删节大量陈旧内容和增添现代内容的同时,也注意了保持物理知识体系的相对完整.教师在施教时完全可根据自己的教学计划进行适当的取舍,相当部分的内容应留给学生自学.

诺贝尔奖得主杨振宁先生在谈到费米依靠直觉思维方式发现慢中子作用的典故时说:“达到这种直觉的下意识的推理,是所有理论物理和实验物理的一个基本的环节.没有这个环节,不太容易作出真正最重要的贡献.……我特别要讲这个故事的道理,是因为中国的物理学教学中有一个倾向,使人觉得物理就是逻辑.逻辑,是物理的一个部分,可是只有逻辑的物理是不会前进的.必须还要能够跳跃.这种

跳跃当然不是随随便便地跳跃,而是要依据许许多多的不断延续下来的与实际的事物发生的联系.从这些联系出发才可以使一个人有胆量作出一些逻辑上还不能推演出来的这种跳跃。”[参见杨振宁著,杨振玉等译,基本粒子及其相互作用,154页,湖南教育出版社,1999年.]有鉴于此,本书在介绍一些重大科学发现时,联系物理学史实,特别强调了直觉思维方式在科学研究中的重大作用.同样,本书在介绍物理学前沿专题时,也仅仅根据内容需要而没有考虑学生是否具有必要的知识准备.因为任何人在涉猎前沿领域时,知识准备永远是不够的.只能打破“按部就班”的常规,采用杨振宁先生所倡导的“渗透性学习”方法.正如杨振宁先生所说,“知识往往在你不知不觉、似懂非懂中积累和丰富起来.”

作者在使用本书内容施教时,相应地采用了一种以培养学生的创新意识为主要目标的教学模式,取得了较好的效果.对这种教学模式感兴趣的读者可参见:程国均,陈咏陶,注重学生参与的创新教学模式,西南民族学院学报(哲学社会科学版),23卷5期240页,2002年.

哲人有云:“天下只有无能的老师,没有无能的学生.”大哉斯言!在“后生可畏”的同学们面前,作者深感不但无能而且弱智.只有兢兢业业施教,才能庶几乎不误人子弟.在本书写作的十年艰辛过程中,作者执教的各班同学们都给了作者极大的鞭策和鼓舞.同学们旺盛的求知欲、没完没了的“荒唐”问题、充满诗意的浪漫想象、急于学成报国的拳拳爱国之心,始终是作者在困难条件下一定要完成本书写作的精神支柱和力量源泉!借此机会,作者谨向执教过的所有各班全体同学表示最真诚的感谢.不过限于篇幅,作者在这里只能列举有限人数的致谢名单如下:微电子专业:胡海天,张志聪,周依燕,冯连发,陈雪,何志聃,胡星,冯丽娟,马瑶,王强,李杨枫,崔曦,宁芳,叶聪,郑静,陈章林,潭浚哲,邹珉,周艺芝;大化学班:周娟,王茜,郭莉,李涌,程柯,秦波,李奕,张可夫,郑兴文,鄢琦,高原,贺容利,郑丽,郑珩,王小强,祝良芳;生物基地班:夏柯,滕蕾,郑炜,陈利弘,任嘉琦,胡小然,濮雪镛,郭经宇,李耀东,张龙,许晓燕,江海天;生物科学专业:冯小琦,巩晓明,童芯铎,寇飞,李化,杨楠,凌正基,鲍楠,徐丽娟;生物技术专业:韩云,皮妍,肖波,李伟哲,汪蓉莉,吴芬宏,杨昭,唐小为,庄鲜,林雯,魏亮,左宇,郑春艳,肖哲,秦婷婷,罗浔,薛慧玲;生态学专业:张璟,李丽纯,陈艺文,陈涛;数学基地班:王晨,廖静池,杨宝莹,曾惠慧,周薛雪,陶佳;程薇;信息与计算科学专业:先梦涵,巩云,李芳,杨容,雷娟,王春林;应用数学专业:李峻,罗影,蔡莉,刘计善;统计学专业:利小玲,吴耀国,沈晓静,黄兴.

在本书写作中,作者还得到了老师、朋友和同事的鼓励、支持与帮助,深情硕谊,作者永志不忘,谨此表示最衷心的感谢.限于篇幅,只能列出有限人数的致谢名单如下:美国佛罗里达理工大学物理系主任帕特森博士(Dr. J. D. Patterson, F. I.

T.); 美国麻省理工学院黄克逊博士(Dr. Kerson Huang, M. I. T.); 美国贝勒大学帕克博士(Dr. Shim. C. Park, B. U.)、鲍尔斯博士(Dr. D. Powers, B. U.)、贝尼什博士(Dr. G. A. Benesh, B. U.)和张玉安博士(Dr. Yuan Zhang, B. U.)以及凯利教授(Prof. Shannon A. Kelly, B. U.); 美国得克萨斯州立科技学院帕克教授(Prof. Theresa Y. Park, T. S. T. C.); 中国科学院院士、中国科学院高能物理研究所张宗焯教授, 中国科学院高能物理研究所余友文教授; 中国原子能科学研究院萨本豪教授和苏宗添教授; 中国科学院理论物理研究所安瑛教授; 首都师范大学栾德怀教授; 河南师范大学刘自信教授; 暨南大学黄国淳教授; 西北大学杨焕雄博士; 重庆大学胡炳全博士; 四川电视台记者刘亮、熊亮; 四川大学教务处领导和教授马继刚、戴晓佳、赖心红、李天燕、刘若冰. 四川大学物理学院领导和教授曹养书、龚敏、伍登学、谢茂浓、杜定旭、周仲璧、龙先灌、廖继志、郭永康、肖定全、王植恒、邹鹏程、王磊、刘大凤、宋永星、傅克祥、郑文琛; 四川大学计算机学院教授丁正铨、许祖谦、毛志芳、李永国、黄金姬. 此外, 四川大学电气信息学院研究生尹自渊和范馨、毛丹等同学核算和校正了本书所有习题答案, 杨春蓉同志打印了本书大部分文稿, 功不可没, 谨此一并致谢.

作者才疏学浅, 在本书写作中虽力求其善, 然完全避免缺点和错误, 非所敢望. 愿就教于大方之家和读者诸君, 俾便改进. 作者的电子邮件地址是: gjc0608@sina.com.

程国均

2002年6月18日于四川大学

目 录

第一章 质点运动学	1
§ 1.1 自然界概述	2
§ 1.2 矢量	4
§ 1.3 质点运动的描述	6
§ 1.4 一维运动	10
§ 1.5 二维运动	15
物理学前沿:万物至理——超弦理论所描述的宇宙图像	31
第二章 质点动力学	33
§ 2.1 力的概念和牛顿第一运动定律惯性参考系	33
§ 2.2 惯性质量和牛顿第二运动定律	35
§ 2.3 单位制和量纲	38
§ 2.4 牛顿第三运动定律	43
§ 2.5 工程技术中常见的几种力	45
§ 2.6 万有引力定律	49
§ 2.7 自然界的四种基本力	52
§ 2.8 牛顿定律的应用	54
§ 2.9 力学相对性原理	65
§ 2.10 惯性力	68
物理学前沿:宇宙有限还是无限——夜里为什么天黑	78
第三章 动量	80
§ 3.1 质心和质心运动定律	80
§ 3.2 冲量和动量定理	86
§ 3.3 质点系的动量	90
§ 3.4 空间平移对称性和动量守恒定律	93
§ 3.5 火箭运动	98
评述:实践是检验真理的唯一标准·什么是物理学定律	103
第四章 功与能	105

§ 4.1 恒力与变力所做的功	105
§ 4.2 动能和动能定理	110
§ 4.3 一对作用力与反作用力做功之和	117
§ 4.4 保守力和非保守力、质点系的势能	119
§ 4.5 保守力和势能之间的关系	123
§ 4.6 质点系的机械能定理和机械能守恒	126
§ 4.7 时间平移对称性和能量守恒定律	130
§ 4.8 碰撞	132
物理学前沿:21 世纪的新概念武器——动能武器和导弹防御系统(TMD 与 NMD)	144
第五章 角动量	146
§ 5.1 力矩	146
§ 5.2 质点的角动量	148
§ 5.3 质点系的角动量	151
§ 5.4 空间旋转对称性和角动量守恒定律	153
物理学前沿:人存原理	161
第六章 刚体的定轴转动	163
§ 6.1 刚体的运动	163
§ 6.2 刚体转动动力学	167
§ 6.3 力矩的功和刚体定轴转动的动能定理	175
§ 6.4 刚体定轴转动的角动量	178
§ 6.5 有一个定点的对称陀螺	180
物理学前沿:对称与不对称	187
第七章 振动	193
§ 7.1 简谐振动	193
§ 7.2 阻尼谐振动	207
§ 7.3 受迫振动	210
§ 7.4 简谐振动的合成	213
§ 7.5 谐振分析	216
§ 7.6 耦合振动	221
§ 7.7 非线性振动和混沌现象	224
物理学前沿:什么是分岔	240
第八章 波动	241
§ 8.1 描述波动的基本概念	241

§ 8.2 简谐波	245
§ 8.3 线性波动方程·孤子	248
§ 8.4 波的功率	252
§ 8.5 波的传播	257
§ 8.6 波的叠加和干涉,驻波	260
§ 8.7 复波	267
§ 8.8 声波	269
§ 8.9 多普勒效应	274
物理学前沿:1/f 波动和情感工学	279
第九章 狭义相对论基础	282
§ 9.1 狭义相对论产生的历史背景和实验基础	283
§ 9.2 狭义相对论的基本原理和洛伦兹变换	286
§ 9.3 相对论的时空理论	292
§ 9.4 相对论动力学	296
§ 9.5 广义相对论简介	306
物理学前沿:遨游宇宙,穷尽碧落非虚幻;纵横古今,时光倒流不是梦	311
第十章 温度	313
§ 10.1 宏观描述与微观描述	313
§ 10.2 温度和热力学第零定律	315
§ 10.3 理想气体的宏观描述	317
物理学前沿:宇宙大爆炸	319
第十一章 气体动理论	322
§ 11.1 理想气体的分子模型	322
§ 11.2 能量按自由度均分定理	328
§ 11.3 分子速率的分布	331
§ 11.4 玻尔兹曼分布律	341
§ 11.5 分子的平均自由程	346
§ 11.6 气体内的输运现象	348
§ 11.7 布朗运动	354
§ 11.8 实际气体和范德瓦耳斯方程	356
物理学前沿:团簇物理和富勒烯	362
第十二章 热和热力学第一定律	365
§ 12.1 传热与做功	366
§ 12.2 内能和热力学第一定律	368

§ 12.3	热容与焓	370
§ 12.4	理想气体的绝热过程	375
§ 12.5	循环过程和卡诺循环	379
	物理学前沿:诺贝尔奖得主朱棣文的冷原子	389
第十三章	熵与热力学第二定律	393
§ 13.1	热力学第二定律	393
§ 13.2	热力学第二定律的统计意义	396
§ 13.3	不可逆过程中的熵和熵增加原理	399
§ 13.4	克劳修斯熵公式和热力学第二定律的最普遍表述	401
§ 13.5	熵增加原理和能量“品位”的衰退	409
§ 13.6	绝对零度与热力学第三定律	414
§ 13.7	信息熵 ^[1~5,43,53]	415
	物理学前沿:让原子“齐声歌唱”——超冷原子的玻色-爱因斯坦凝聚	421
第十四章	静电场	423
§ 14.1	电荷和物质	423
§ 14.2	库仑定律	425
§ 14.3	电场和电场强度	426
§ 14.4	高斯定律及其应用	434
§ 14.5	静电场的保守性和电势	443
§ 14.6	电场强度和电势之间的关系,电势梯度	453
	高级课题:矢量分析初步	461
第十五章	静电场中的导体和电介质	465
§ 15.1	导体的静电特性	465
§ 15.2	电容器和电容	470
§ 15.3	电介质的静电特性	473
§ 15.4	电介质中的高斯定律	480
§ 15.5	静电场的能量	484
	物理学前沿:能“看到”和处理单个原子的火眼金睛——扫描隧道显微镜(STM)	492
第十六章	稳恒电流	495
§ 16.1	电荷的流动和电流密度	495
§ 16.2	电阻和欧姆定律	499
§ 16.3	电动势和基尔霍夫第二定律	502
§ 16.4	电容器的充电与放电	506

物理学前沿:高温超导电性	511
第十七章 恒定磁场	513
§ 17.1 磁场的描述	513
§ 17.2 作用在载流导体上的磁力	516
§ 17.3 磁场作用在电流回路上的力矩	518
§ 17.4 电荷在电磁场中的运动	521
§ 17.5 磁场的源	525
§ 17.6 安培环路定律	532
§ 17.7 磁通量和磁场的高斯定律	538
§ 17.8 霍尔效应	539
物理学前沿:霍尔效应和磁流体发电	546
第十八章 物质的磁性	549
§ 18.1 磁介质及其磁化	550
§ 18.2 磁介质中的磁场	555
§ 18.3 铁磁性	558
§ 18.4 地球的磁场	561
物理学前沿:阿哈罗诺夫-玻姆效应	563
第十九章 电磁感应	566
§ 19.1 法拉第感应定律	566
§ 19.2 动生电动势	570
§ 19.3 感生电动势和感应电场	574
§ 19.4 电感	577
§ 19.5 磁场的能量	582
物理学前沿:自然界的手征性	590
第二十章 麦克斯韦方程组和电磁波	593
§ 20.1 位移电流	593
§ 20.2 麦克斯韦方程组	597
§ 20.3 电磁波	602
§ 20.4 电磁振荡	611
§ 20.5 电磁波的发射	614
§ 20.6 电磁波谱	616
物理学前沿:21 世纪的新概念武器——超强高频电磁脉冲发生器	618
第二十一章 波动光学	620
§ 21.1 光的相干性	620

§ 21.2	杨氏双缝实验	624
§ 21.3	薄膜干涉	628
§ 21.4	迈克耳孙干涉仪	634
§ 21.5	光场的空间相干性和时间相干性	635
§ 21.6	单缝衍射	638
§ 21.7	衍射光栅	645
§ 21.8	分辨率极限	650
§ 21.9	X 射线晶体衍射	651
§ 21.10	光的偏振	652
§ 21.11	全息术	659
	物理学前沿:信息化社会的关键支柱——光电子技术	665
第二十二章	原子物理学的基本现象和量子观念	666
§ 22.1	黑体辐射和普朗克常数	666
§ 22.2	光电效应	672
§ 22.3	康普顿散射	675
§ 22.4	原子的大小和稳定性	677
	物理学前沿:真空的秘密和赵忠尧所发现的电子对产生与湮没效应	686
第二十三章	量子力学基础	688
§ 23.1	德布罗意波	689
§ 23.2	不确定性原理和不确定性关系	694
§ 23.3	薛定谔方程	698
§ 23.4	薛定谔方程的应用	703
§ 23.5	氢原子和元素周期表	710
§ 23.6	全同粒子和量子统计法	717
§ 23.7	激光	718
	物理学前沿:量子计算机	725
第二十四章	凝聚态物质	727
§ 24.1	金属的自由电子模型	727
§ 24.2	固体的能带理论	734
§ 24.3	半导体	738
	物理学前沿:纳米世界	744
第二十五章	原子核	746
§ 25.1	原子核的性质	746
§ 25.2	核模型	750

§ 25.3 放射性和核衰变·····	753
§ 25.4 核反应·····	756
§ 25.5 物质的基本构成基元·····	760
物理学前沿之一:核数据·····	763
物理学前沿之二:造一颗原子弹,难吗?·····	765
参考文献 ·····	768
附录 ·····	771
一、简明常用物理常数表·····	771
二、常用物理性质数据表·····	772
三、常用物理常量 1986 年推荐值·····	773
四、法定计量单位与文献中常用非法定计量单位的换算表·····	776

第一章 质点运动学

我们周围的自然界,就是运动着的不同物质形态的总和.自然界物质有多种层次,从宇观的(cosmological)宇宙体系,宏观的(macroscopic)天体和常规物体,介观的(mesosopic)颗粒、纤维,到微观的(microscopic)分子、原子、基本粒子.都是我们所感觉到的客观实在,但它不依赖于我们的感觉而存在.标志客观实在的哲学范畴,称为物质.具体而言,在物理学中,把诸如银河系、天体、纤维和原子分子类的“实物”以及电磁波引力场之类的“场”称为“物质.”宇宙最突出的特征之一就是运动.一切物质都在不停地运动着变化着,诸如日月运行,江水奔流,火山爆发和新陈代谢等.运动是物质的固有属性,它包括宇宙中发生的一切变化和过程,从单纯的位置移动起直到思维.力学是研究物质机械运动规律的科学.所谓机械运动,就是物体位置的连续变化.或者更严格地说,机械运动是物质在时间、空间中的位置变化,它是物质运动最基本的形式.机械运动共有平动、转动和振动三种类型.物质运动还有热运动、电磁运动、原子及其内部的运动、化学运动和生命过程等其他形式.机械运动并不能脱离其他运动形式独立存在,只不过当我们研究力学问题时,机械运动是问题的主要矛盾,而其他运动形式则可以忽略不计.如果其他运动形式对机械运动有较大影响,或者需要考虑它们之间的相互作用,便会在力学同其他学科之间形成交叉学科或边缘学科.如宇宙气体力学,电磁流体力学,生物力学以及我国科学家钱学森创建的物理力学等.力是物质间的一种相互作用,机械运动状态的变化是由这种相互作用引起的.力学,可以说是力和运动的科学.作为学习力学的第一步,我们首先来讨论如何描述运动,而把引起运动状态变化的原因留到下一章讨论.力学中的这一部分称为运动学(kinematics).

在学习物理和物理研究中,要想探幽入微,进入洞天福地的佳境,当务之急便是抓住问题的本质.所谓本质,便是主要矛盾,特别是主要矛盾的主要方面.这也就是诺贝尔奖得主杨振宁先生所提倡的做物理工作成功的三要素之第一要素——perception,即眼光,也就是要看准问题的关键所在.[另外两个要素是 persistence(坚持不懈)和 power(力量)],比如,地球绕太阳公转的椭圆轨道,主要就是由地球与太阳间高达 $1.496 \times 10^{11} \text{ m}$ 的距离以及地球与太阳的质量所决定的,至于地球与太阳的形状和大小以及地球的自转等,都是非常次要的因素,完全可以忽略不计.

因此,在研究地球绕太阳的运行轨道时,我们可以把太阳和地球都看成是具有一定质量的几何点,称为质点(mass point 或 particle).这就是我们在物理学中所遇到的第一个理想模型.理想模型抓住了问题的本质,是物理学中常用的研究方法之一.

§ 1.1 自然界概述

无比巨大和异常复杂的自然界,是一个包罗万象变化万千的大舞台.宇宙是无比巨大的,它的半径约为 10^{26} m 或者约 10^{10} 光年.作为对比,地球半径是 6.4×10^6 m.我们所知道的物质,通常都是看得见的,这主要是指质子、中子和电子.电子质量很小,因此,看得见的物质主要就是质子和中子.宇宙中质子和中子的总数为 10^{80} 至 10^{82} .作为对比,地球所包含的质子和中子的总数为 4×10^{51} .在宇宙中特别是在星系晕以及星系际,还存在着大量看不见的暗物质(dark matter),其质量比看得见的物质要高数十倍乃至上百倍.暗物质不发光,但有引力作用,因而可以用动力学方法来测出它的质量.暗物质是非常重要的,它几乎主宰了宇宙的运动和演化.

宇宙中最为复杂的现象就是生命.人是复杂的生命形式之一.它由大约 10^{16} 个细胞组成.每个细胞含有 10^{12} 至 10^{14} 个原子.各种生物的每一个细胞至少含有一个 DNA(脱氧核糖核酸)或 RNA(核糖核酸)的长分子链.细胞中的 DNA 链保存着构成一个完整的人或生物所必需的全部遗传信息.一个 DNA 分子可能由 10^8 至 10^{10} 个原子组成.由 DNA 分子的片段所组成的信息功能单元称为基因.物种不同时,基因也不同.

宇宙中还存在着形形色色的各种无生物.质子、中子和电子结合成一百多种不同的化学元素和大约一千种已得到证认的同位素,这些元素又以各种比例组成约 10^6 种化合物.

机械运动是物质在时间、空间中的位置变化.空间和时间是运动着的物质存在的基本形式.空间表征物质客体的广延性,时间则表征物质运动过程的持续性.空间和时间是客观实在的,但人类对空间和时间本性的认识却是一个逐渐深化的辩证过程.在经典力学中,空间是绝对的静止三维模架,可以把物体放置在它里面,物体能在其中运动而不会与空间产生任何相互作用.用来量度空间的标准尺的长度在运动时与静止时一样.这样的空间是均匀的和各向同性的,可以用欧几里得几何学进行精确描述.经典力学中的时间则是绝对的一维的持续,与外界物体无关而均匀地流逝着.用来量度时间的标准钟的快慢在运动时与静止时一样.经典力学中的空间和时间是各自独立地存在着的,与物质运动无关.

狭义相对论出现以后,人们认识到,空间和时间都是相对的,运动的标准尺会沿运动方向缩短,运动的标准钟会变慢.空间和时间相互联系相互渗透而形成了不可分割的四维时空连续区域.离开时间的空间和离开空间的时间都是最大的荒唐.不过,在 $v \ll c$ 的宏观低速条件下,经典力学的绝对空间和绝对时间是狭义相对论四维时空连续区域的相当好的近似.

在经典力学和狭义相对论基础上发展起来的广义相对论更进一步断言,人类生活的空间不是平直的而是弯曲的.严格地说,当没有引力场存在时,空间是平直的,欧几里得几何学成立;在引力场存在的情况下,空间是弯曲的,黎曼(Riemann)几何学成立.由于地球引力场极其微弱,因而地球附近空间的弯曲程度非常微小,欧几里得几何学仍然成立.在这种情况下,经典力学的绝对空间观念和绝对时间观念仍然可以近似成立.

宇宙中的每一物体都存在于空间和时间中的一特定点.一个运动的物体在时间过程中经历着连续的位置变化.毛泽东的名句“坐地日行八万里,巡天遥看一千万里.”就形象地描述了地球的自转和太阳系绕银河系中心的转动.因此,当我们研究某一物体 A 的运动时,必须具体指明以什么物体 B 作为标准来观测和测量 A 的位置.作为观测和测量标准的物体 B,叫做**参考系**.物体的位置只能相对于参考系而确定,或者换句话说,将参考系当作“静止”的标竿,以研究物体相对于参考系的运动.例如我们可以将神州二号飞船的轨道舱看成是在天空“静止不动”的天体,而研究神州二号飞船的返回舱相对于轨道舱的运动.参考系的选取依据研究问题的性质和计算的方便而定.同一物体,相对于不同的参考系,显示出不同的运动.

参考系确定以后,要定量地表示出在各个时刻物体相对于参考系的位置,还必须在参考系上建立适当的**坐标系**.最常用的坐标系是直角坐标系,此外,也常选用平面极坐标系和平面自然坐标系等其他坐标系.

物理量测量值的精度由表示其值的有效数字来反映.有效数字可定义如下:一位有效数字是数字中的一位数,前导的零不是有效数字,尾零无特别说明则是有效数字.如 0.0056 有两位有效数字,8.60 有三位有效数字.当描述一个物理量大小的数字用 10 的正整数指数幂 10^n 来表示时,我们把幂指数 n 称为**数量级**.例如,一个量的大小增加了三个数量级就意味着这个量的大小增加了 10^3 倍.在物理问题的研究中,当我们所能获得的与问题有关的信息非常少时,就要依据一定的合理假设,首先进行**数量级计算**(order-of-magnitude calculations)以求得一个大概估计.我们可以利用这个估计来确定是否有必要进行更精确的计算以修正我们的假设.事实上,数量级计算的精义就是“猜测”(guesstimates).正如诺贝尔奖得主杨振宁先生所说的,“在物理和数学的最前沿作研究工作,很大一部分力量要花在猜想上.当然这并不是说可以乱猜,猜必须建立在过去的一些知识上面,你过去的知识愈正确

愈广泛,那么猜到正确答案的可能性就愈大。”[杨振宁著:基本粒子及其相互作用,71页,湖南教育出版社,1997年.]勇于猜测,善于猜测,是科学工作者必须具备的一种可贵素质.

§ 1.2 矢 量

如果你是海军一艘导弹驱逐舰的舰长,正在大洋巡弋,那么你不但要关注海流与海风速度的大小,而且还要关注海流与海风速度的方向.像海流与海风速度这样既有大小又有方向的物理量,叫做**矢量**(vector quantity).像质量、密度和温度等等只有大小没有方向只用一个数和一个单位就能完全描述的物理量,叫做**标量**(scalar quantity).以后我们会学到,实际上标量和矢量都是张量(tensor),只不过标量是零阶张量,矢量是一阶张量而已.通常用空间中的有向线段来表示矢量,用箭头表示方向,用线段的长度表示大小.一般用黑体字或在字母上面画一箭头来表示矢量.例如,我们可以用 \vec{V} 或黑体字 \mathbf{V} 来表示速度矢量.矢量的大小称为它的模或绝对值.例如,用记号 V 或 $|\mathbf{V}|$ 或 V 表示速度矢量的大小.具有单位长度即模等于1的矢量叫做**单位矢量**.在矢量 \mathbf{A} 方向的单位矢量记作 \hat{A} 或 \hat{e}_A 或 \mathbf{e}_A ,模等于0的矢量称**零矢量**,记作 $\mathbf{0}$ 或 $\vec{0}$.

矢量在物理学中具有非常重要的应用价值.首先是因为矢量符号非常简洁.用矢量表示的物理定律具有简单而清晰的特点,能非常深刻地表征物理量之间相互联系的本质.如果把物理定律在某一特定坐标系中写出,这些特点就很可能被繁琐的代数式淹没掉了.其次是物理定律的矢量表述与坐标轴的选择无关,这就使物理

定律的表述无须引入坐标系而具有物理内容.始点与原点重合而终点位于一点 P 的矢量 OP 称为点 P 的**矢径**,记作 \mathbf{r} ,如图1.1所示.如果点 P 的直角坐标为 x, y, z ,则有

$$\mathbf{r} = (x, y, z) = xi + yj + zk \quad (1.1)$$

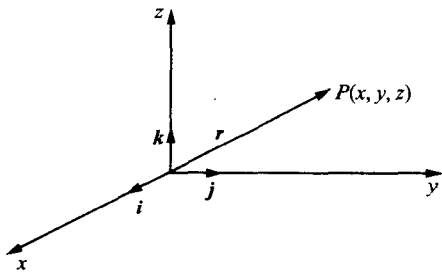


图 1.1

式中, i, j, k 分别为 x 轴, y 轴, z 轴的正向单位矢量,称为**基本矢量**,简称**基矢**或**基**.

x, y 和 z 称为矢量 \mathbf{r} 的分量,矢量 \mathbf{r} 的大小可用其分量 x, y 和 z 表示为

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

设 α, β 和 γ 分别是矢量 r 和 i, j, k 的夹角, 则有

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

由(1.3)式可得
$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1 \quad (1.4)$$

表示同一物理量的两个矢量 a 和 b , 如果它们的大小和方向都一样, 就定义为相等, 写作 $a = b$.

两矢量 a 与 b 相加时, 只须将 a 的终点(箭头)与 b 的起点(箭尾)相连, 从 a 的起点到 b 的终点的有向线段 c 即是矢量 a 和 b 之和(图 1.2). 即有

$$c = a + b \quad (1.5)$$

我们把矢量相加的这种作图方法称为头尾法或三角形法则. 将两矢量 a 与 b 作为两邻边, 完成平行四边形, 自两矢量的交点画出对角线, 即得两矢量 a 与 b 的和 c . 矢量相加的这种作图方法称为平行四边形法则. 它与三角形法则是一致的. 矢量的加法满足交换律 $a + b = b + a$ 和结合律 $(a + b) + c = a + (b + c)$.

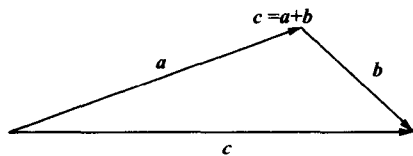


图 1.2

如果一矢量和另一矢量 a 仅仅方向相反, 其他皆相同, 就以 $-a$ 表示(图 1.3).



图 1.3

矢量 a 减去矢量 b 就是矢量 a 与矢量 $-b$ 相加, 可按三角形法则得出合矢量, 即

$$a - b = a + (-b) \quad (1.6)$$

以实数 λ 乘矢量 a 称为数乘, 记作 λa . 当 $\lambda > 0$ 时, a 的模伸缩 λ 倍, 方向保持不变; 当 $\lambda < 0$ 时, a 的模伸缩 $|\lambda|$ 倍, 而方向与 a 相反.

矢量 a 和 b 的标量积(也叫点积)是一个标量, 即

$$a \cdot b = ab \cos\theta \quad (1.7)$$

这里, θ 是 a 和 b 的夹角. 标积满足交换律 $a \cdot b = b \cdot a$ 和分配律 $a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$. 如果矢量 $b = a$, 则有

$$a \cdot a = a^2 = |a|^2 \quad (1.8)$$

若 a, b 为非零矢量, 则 $a \cdot b = 0$ 意味着 $a \perp b$. 反之亦然. 若用分量表示(1.7)式, 则有