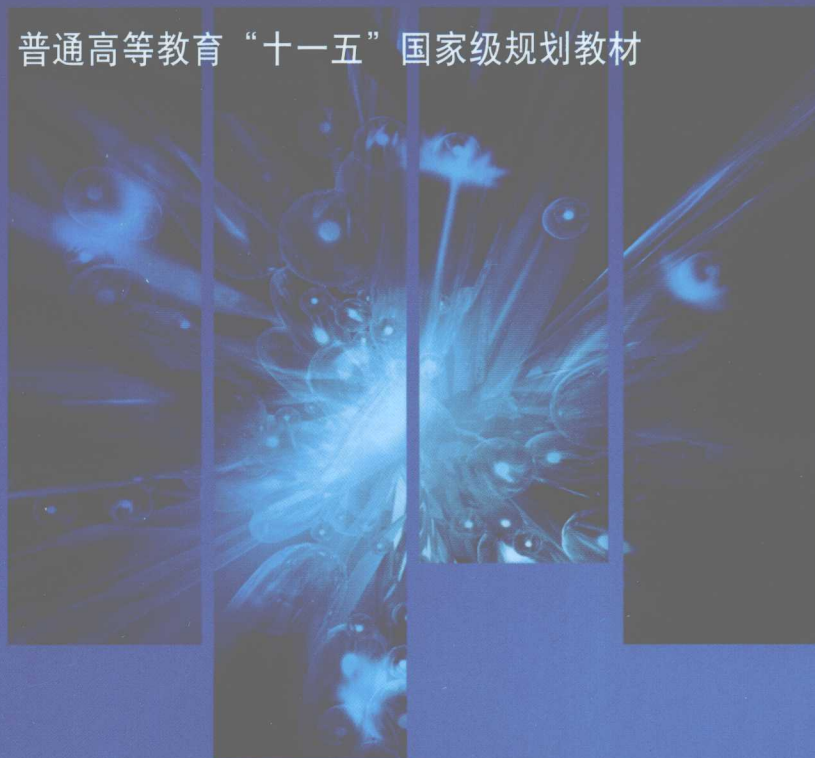




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



大学物理学

(上册)

李承祖 杨丽佳◎主编



科学出版社

www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

大学物理学

(上册)

李承祖 杨丽佳 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《大学物理学立体化系列教材》之一。

本书遵循国家教育部对精品教材的质量要求,按照“科技底蕴厚实,创新能力突出”的人才培养目标和理念,针对高素质新型军事人才培养对大学物理教学的需要,在原《基础物理学》基础上改编而成。全书内容体现现代化的要求,不仅系统地介绍了相对论、量子论的基本原理以及半导体、超导体、纳米材料、激光技术、核物理和核技术、量子纠缠和量子信息技术基础等,还包括物理学中的对称性、非平衡热力学简介、非线性物理简介、广义相对论简介等内容。除上述基本内容,书中还穿插了一些物理学著名实验介绍以及物理学家传记和趣闻轶事。全书内容精炼、语言简洁,编排上由浅入深、循序渐进,遵从认识规律和教学规律,突出物理图像、物理思想、物理方法教学,淡化技术、数学细节。全书分上、下两册,本书为上册,包括力学、热学和电磁学三部分。

本书可作为高等学校理工科非物理专业本科生大学物理课程的教材和参考书,亦可供其他专业的教师和学生阅读与选用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册/李承祖,杨丽佳主编. —北京:科学出版社,2009
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-03-023206-9

I. 大… II. ①李…②杨… III. 物理学-高等学校-教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 161405 号

责任编辑:贾 杨 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

北京市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

*

2009 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 1 月第一次印刷 印张:24

印数:1—4 000 字数:455 000

定价:37.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈文林〉)

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是编者遵循国家对精品教材的质量要求,按照“科技底蕴厚实,创新能力突出”的人才培养目标和理念,针对高素质新型军事人才培养对大学物理教学的需要,在原《基础物理学》基础上改编而成.教材内容在一定程度上反映了编者参与大学物理精品课程建设的经验和体会,特别是近年来对大学物理教学改革的探索和思考.

—

本书的编著继承了编写《基础物理学》的一些理念和做法:即基础物理教学的目的,不仅是为学习后续专业课程服务,还应当使学员获得完整的物质世界图像,认识物质世界运动、变化的基本规律;掌握基本物理学语言、概念、基本原理和方法;全面了解物理学历史、现状和前沿的概况;学会科学思想方法,经受科学精神、科学态度的熏陶和训练.物理教学内容改革的出发点就是开发物理教学的这种高品位的文化功能、为提高学员的科学、文化素质服务.

为贯彻这一教学新理念,教学内容重点应放在物理图像、物理思想、物理方法的教学上,而不是仅限于介绍物理现象和物理学知识;为此要坚持教学内容的现代化改革,充分反映以相对论、量子论为核心的 20 世纪新物理学,特别是量子力学的基本概念、原理和方法.应当在现代物理的基础上,给学员构筑一个合理的、开放的物理知识结构和背景,使他们能以此为基础,接受、理解当代科技新概念、新技术和最新文献资料;尽可能全面地介绍物理学最基本的原理,给学员描绘出一个包括非线性、量子性、统计的因果性、对称性、时空的物质性、时间演化方向性等完整的物质世界图像.

在教材处理方法上,坚持“三个层次、一个统一”的做法.“三个层次”就是将传统的大学物理教学内容分为以下三个不同层次.

第一层次:体现现代物理思想,有助于学生获得完整的物质世界图像,建立科学的世界观.例如世界本质上是量子的;线性问题是一般非线性的近似;拉普拉斯决定论的因果关系是一般统计因果关系的特殊情况;相对论的时空观,空间、时间和物质运动不可分离的观点;信息即负熵的观点;场作用的观点;相位因子场和相干叠加的观点;物质运动、运动守恒的观点;物质相互作用、相互联系,运动是有规律的,运动规律是可认识的观点;对称性决定相互作用、对称性支配物理规律的观点;物质结构分层次,不同层次的物质遵循不同运动规律的观点等.

第二层次:描述不同物质层次(机械运动、热运动、辐射场、微观粒子)运动基本规律.这部分内容是教学内容的主题,教学目的是培养学生掌握基本物理学语言、概念、原理和方法,掌握物质世界各层次运动的基本规律.

第三层次:运用第二层次得到的基本规律,研究一定范围内不同现象局部的、具体的规律;解释一些自然现象,或说明物理学在生产实际、科学技术中的具体应用.这一层次内容的教学要体现分析问题、解决问题能力训练、素质培养的要求.

对不同层次采用不同处理.第二层次是第一层次的载体,是教学内容的主体和重点.应适当地、有选择地处理第三层次,通过第二层次内容的教学引深、上升到第一层次.

“一个统一”就是突出“运动状态”的概念,用“独立状态参量描述运动状态,通过状态参量、状态函数的演化表示运动规律”这一理论框架,用统一的体系处理力、热、电及量子物理.这样做的好处是理论线条清晰,达到优化经典物理教学内容,一定程度上降低学习量子物理难度的目的.

二

在改编中编者做了以下几方面的补充和调整.

(1) 以现代物理思想、观点来整合、压缩经典内容,加强近代物理教学.为了突出波动这一在现代物理中极为重要的运动形式,将振动、机械波、电磁波、波动光学合并为一部分,利用机械波的直观性介绍波的描写方法、波相干叠加性等波的基本概念和原理;将光波作为电磁波的特例,为物质波概念打下基础;将“非线性振动、混沌”压缩为一节,放在“振动”章中;将“物理学和对称性”从力学部分移出,与相对论部分合并.学生具备电磁学和相对论知识后,可能更容易理解物理学的对称性问题.增加“电磁波的发射和传播”、“地球的电磁环境”等内容;在“高新技术物理学基础”部分,补充了超导体和纳米材料等内容.

(2) 编写过程中,编者努力吸取中美两种教育方式的优点和特色,取长补短,努力将两者的优点和谐地统一起来.尊重认识规律、教学规律,注意教材的系统性、内在逻辑性,但不刻意追求数学严密(为了教材的系统性,便于学生参考,一些必要的数学知识或推导放在书后的附录中),根据不同情况,或做粗线条处理,或直接跳过去;在讲知识时,注意趣味性;在讲科学时,注意其中的人性化特征;努力在这些看似矛盾的地方找到合适的结合点.将教材内容的先进性、系统性、可教性、知识性和趣味性,理论和实践等更好地统一起来.

(3) 突出军事应用特色.当代国防高技术涉及的物理原理,都在教材相应的部分适当讲解,以讲清物理原理为主,淡化具体技术细节;补充了与国防高技术有关的内容(如GPS定位、惯性导航、卫星、火箭技术、电磁波、雷达、激光、半导体、核武器原理和防护、量子保密技术等).全书努力在物理科学知识基础上,为学员构建一

个合理的、开放的物理背景和知识结构,使学员对当代国防高技术的物理原理和技术基础有全面、系统的了解。

(4) 突出了实验教学. 全书体现“从现象引出概念,由实验总结出规律”的普物风格. 教材中新增了作为物理学基石的一些典型实验(如伽利略落体实验、焦耳热功当量实验、麦克斯韦速率分布律验证实验、库仑定律验证实验、法拉第电磁感应实验、赫兹实验、迈克耳孙-莫雷实验、密立根实验、卢瑟福实验、黑体辐射实验、光电效应实验、康普顿散射实验、物质波实验、量子纠缠验证实验等). 通过这些实验内容教学,说明物理学中实验的研究方法,正确认识理论和实践的关系,培养学员实事求是的科学态度,加强创新意识和创新能力培养。

(5) 书中新编入一些物理学家的生平趣闻轶事,以及充满哲理、启迪睿智的科学故事,目的是使学员在紧张的逻辑思考之余,放松一下,了解一些物理学发展的历史,受到科学精神、创新意识的熏陶. 这些材料用小字印出。

三

对以下几个问题的看法。

(1) 关于“大学物理学”内容。

大学物理学内容可不可以涉及某些理论物理的内容? 我们认为普通物理、理论物理是对物理专业划分的. 对于非物理专业来说,他们的全部物理课程就是“大学物理”这一门,不应当只限于物理专业普通物理内容. 围绕着上述大学物理的教学目的,优化后的教学内容可以包括某些属于理论物理的内容,比如相对论和量子力学中的一些内容. 在优化原则下,一些问题的讲法上也可以借鉴理论物理的处理方法。

(2) 关于“普物风格”。

普物风格是好的,大学物理学应当体现这种风格. 但是“风格”毕竟是一种外在表现形式,不应限制内容,也不是决定教学效果的惟一因素,甚至不是主要因素. 关于什么是普物风格,赵凯华先生说^①:“我的理解是讲授尽量避免艰深和复杂的数学,突出物理本质,树立鲜明的物理图像……在介绍广义相对论的一些基本内容,避免了黎曼几何与时空度规等数学语言。”显然“普物风格”不是科普,必要的数学工具还是要用的. 我们体会,“普物风格”的根本是“从现象中引出物理概念,从实验事实的分析中总结出物理规律”。“普物风格”一定程度上是相对理论物理方法来说的,理论物理方法是从已知的物理规律出发,通过逻辑和数学得到对物理现象更深入、更系统、更本质的认识. 作为基础物理学,实验规律尚未介绍,是没办法按完全的理论物理方法组织教学的,从这个意义上说,大学物理学只能是“普物风格”。

^① 赵凯华,罗蔚茵. 新概念物理教程 热学. II. 北京:高等教育出版社,1998.

(3) 关于数学工具.

作为大学物理教学,考虑到学生的承受能力,尽量避免艰深的数学工具是必要的.但数学对于物理学的重要性是众所周知的.数学是物理学的语言和工具,它可精确地表述概念,简洁、严格地表示物理规律,可靠地、深刻地揭示现象本质,有时是不可替代的.牛顿当初就是要表述他的力学理论才发明了微积分.如果没有微积分,我们很难想象牛顿力学应如何表述;如果不用矢量、微积分等数学工具,麦克斯韦的电磁理论如何能准确地表达.

如果说不用微积分就不能精确地表示物理规律,那么不引进张量的概念就不能准确地表述支配物理规律的对称性.我们认为在基础物理中引进“张量”的概念是必要的.首先,张量实际上已经用了,如标量就是零阶张量,矢量就是一阶张量.没有人对基础物理中使用矢量提出异议.其次,张量的概念学生应当是可接受的,定义三维空间张量的坐标系转动变换,学生在解析几何中已熟悉.最后引用张量概念可以加深我们对许多基本物理问题的理解,大大简化有关问题的处理.比如可以根据三维空间的各向同性性质,解释为什么所有物理量都具有标量、矢量或张量性质;可以把类似的思想推广到四维空间(x, y, z, ict),把洛伦兹变换解释为四维空间中的坐标系转动变换.从而可以类似地定义四维张量,把物理学相对性原理表述为:物理规律应取四维空间张量方程形式.这种做法的实际意义是可以简单地得出质-速关系、质-能关系、相对论的多普勒效应、推导力的变换,特别是可以简单地解释电磁场的统一性和相对性,推导电荷密度、电流密度的变换,矢势和标势的变换,电磁场的变换等.

(4) 关于教学指导思想、教学方法.

赵凯华先生在他的新概念物理学《力学》序言中,曾谈到杨振宁先生对中美教育方式的比较^①.杨先生认为中国传统教育提倡按部就班的教学方法、认真的学习态度,这有利于学生打下扎实的基础,但相对来说,缺少创新意识;美国提倡“渗透式”的教学方式,其特点是学生在学习的时候,往往对所学的内容还不太清楚,然而就在这过程中已经一点一滴地学到了许多东西,这是一种体会式的学习方法.我们的“填鸭式”的教学,要求学生当堂消化,当堂理解,一方面大大限制了课堂信息量,使教学内容和学时的矛盾更加突出;另一方面也造成了学生只会接受灌输的学习方法,缺乏积极主动地自己去吸收营养、成长自己的精神和能力.结果造成学生知识面窄,缺乏接受、理解不大熟悉的新东西的知识结构和主动精神.这种做法的另一后果是培养的学生一个模式,不利于学生特长发挥和优秀人才脱颖而出.如果稍稍改变一下这种做法,大学物理教学内容改革就会有更广阔的天地.

^① 赵凯华,罗荫茵.新概念物理教程 力学. IV. 北京:高等教育出版社,1995.

四

关于本书使用方法的建议.

本书是针对国防科学技术大学“大学物理”(140 学时)和“高新技术中的物理基础”(30 学时)课程教学需要编写的. 书中第一至六部分用于“大学物理”课程, 第七部分用于“高新技术中的物理基础”课程. 用小号字印出的章节可作为选讲内容.

本书突出物理图像、基本物理概念、原理和方法教学, 尽管书中对许多重要结果都给出了较为详尽的数学处理(这些内容大多放在书后的附录中), 这纯粹是为了更严格、准确地表述物理思想和原理的需要, 并不要求学生完全掌握. 教师可以选讲、指导学生阅读或去掉不要. 本书目的是给出一个较为完整的物理学理论框架, 为理解可能遇到的各种技术问题提供必要的物理背景, 打下必要的基础, 给教师和学生发挥主动性、积极性提供更大的空间.

本书后的附录是根据我们的教学经验编写的, 目的是在“高等数学”和物理需要之间架设一个桥梁. 经验告诉我们, 适当讲解或指导学生使用这些材料可以收到事半功倍的效果.

五

参加本书编写的有杨丽佳(改编第一部分“力学”中第 2~4 章)、陆彦文(改编第二部分“热学”中第 1~3 章)、陈平形(改编“热学”中第 4 章)、袁建民(改编第六部分“量子物理基础”中第 5 章)、李承祖(改编“力学”中第 1 章, 第三部分“电磁学”, 第四部分“振动、波动和波动光学”, 第五部分“相对论和物理学中的对称性”, 第六部分“量子物理基础”中的第 1~4 章, 第七部分“高新技术中的物理学基础”以及书后的附录). 江遵汉重新整理、编写本书的全部习题并做出习题参考答案.

李承祖对全书进行了补充、改写和审定. 杨丽佳召集、组织了本书的多次讨论会, 并在本书出版方面做了大量具体工作.

编者还要感谢参加原《基础物理学》编写的沈曦副教授(编写了原“波动光学”部分的初稿)、田成林副教授(编写了原“非线性物理简介”一章初稿)、陈宇中副教授(编写了原第七部分中“核物理和核技术”一章初稿). 参加原书习题编写的还有张祖荣(力学, 振动和波)、曹慧(热学)、林晓南(电磁学)、陈菊梅(相对论, 量子物理基础). 本书编者对他们做出的工作一并表示感谢.

由于编者学识有限, 加之时间仓促, 书中肯定会有一些不当或错误之处, 恳请读者批评指正.

编 者

2008 年 9 月 10 日

目 录

前言

第一部分 力 学

第 1 章 质点运动学	1
§ 1.1 质点 参考系 质点位置矢量	1
§ 1.2 位移 速度 加速度	4
§ 1.3 由速度、加速度求位矢	8
§ 1.4 切向加速度、法向加速度	10
§ 1.5 伽利略变换 绝对时空理论	12
本章内容提要	16
问题和习题	17
第 2 章 质点动力学	20
§ 2.1 牛顿运动定律	20
§ 2.2 力学中常见的相互作用力	24
§ 2.3 牛顿运动定律的应用	28
§ 2.4 力学相对性原理 非惯性参考系中的牛顿定律	32
§ 2.5 动量和角动量	40
§ 2.6 功和机械能	44
本章内容提要	52
问题和习题	53
第 3 章 质点系动力学	58
§ 3.1 质点系的动量定理和动量守恒定律	58
§ 3.2 质心和质心参考系	64
§ 3.3 质点系的角动量定理和角动量守恒定律	69
§ 3.4 质点系的动能定理和机械能守恒定律	73
§ 3.5 两体碰撞	79
本章内容提要	85
问题和习题	87
第 4 章 刚体力学	91
§ 4.1 刚体运动学	91
§ 4.2 刚体定轴转动的角动量和转动惯量	96

§ 4.3 刚体定轴转动的角动量定理和转动定理	101
§ 4.4 刚体定轴转动的功能原理	106
§ 4.5 自转(旋)和进动	110
*§ 4.6 刚体平面运动动力学	113
本章内容提要	117
问题和习题	118

第二部分 热 学

第 1 章 平衡态 气体动理论	123
§ 1.1 平衡态 温度 理想气体状态方程	124
§ 1.2 理想气体的压强 温度的微观意义	128
§ 1.3 能量均分定理 理想气体的内能	131
§ 1.4 麦克斯韦速度分布律	133
§ 1.5 玻尔兹曼分布律	138
*§ 1.6 实际气体 范德瓦耳斯方程	140
§ 1.7 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	144
本章内容提要	146
问题和习题	148
第 2 章 热力学第一定律	151
§ 2.1 准静态过程 功 热量和内能	151
§ 2.2 热力学第一定律	154
§ 2.3 理想气体的等容、等压和等温过程	156
§ 2.4 理想气体的绝热过程与多方过程	159
§ 2.5 循环过程 热机	164
§ 2.6 卡诺循环	169
本章内容提要	172
问题和习题	174
第 3 章 热力学第二定律 熵	177
§ 3.1 不可逆过程	177
§ 3.2 热力学第二定律	181
§ 3.3 卡诺定理	183
§ 3.4 玻尔兹曼熵 热力学第二定律的数学表示	185
§ 3.5 克劳修斯熵公式 熵变计算	189
*§ 3.6 熵 能量退化及其他	194
*§ 3.7 热力学第三定律	199

本章内容提要	200
问题和习题	201
* 第 4 章 非平衡态热力学简介	204
§ 4.1 非平衡态热力学概要	204
§ 4.2 线性非平衡态热力学——输运现象	207
§ 4.3 非线性非平衡态热力学 自组织现象与耗散结构	210
本章内容提要	212
问题和习题	213
第三部分 电 磁 学	
第 1 章 静电场	215
§ 1.1 电荷 库仑定律	216
§ 1.2 电场和电场强度	219
§ 1.3 静电场的通量 高斯定理	223
§ 1.4 静电场的环量定理 电势	230
§ 1.5 等势面 电势梯度	233
本章内容提要	236
问题和习题	237
第 2 章 有导体、电介质存在时的静电场	240
§ 2.1 静电场中的导体	240
§ 2.2 电介质及其极化	244
§ 2.3 电位移矢量 有介质存在时的高斯定理	248
§ 2.4 电容器和电容	252
§ 2.5 静电场的能量	255
本章内容提要	259
问题和习题	260
第 3 章 稳恒电场	264
§ 3.1 稳恒电流	264
§ 3.2 电源 电动势	268
*§ 3.3 似稳电路 电容器的充放电过程	270
§ 3.4 金属导电的经典理论	272
本章内容提要	274
问题和习题	275
第 4 章 真空中的稳恒磁场	277
§ 4.1 磁感应强度矢量 毕奥-萨伐尔定律	277

§ 4.2 磁场的高斯定理和安培环路定理	283
§ 4.3 洛伦兹力公式	288
本章内容提要	293
问题和习题	294
第 5 章 有磁介质存在时的磁场	297
§ 5.1 磁介质 磁化	297
§ 5.2 磁介质中的磁场	301
§ 5.3 铁磁介质	305
本章内容提要	307
问题和习题	308
第 6 章 变化电磁场	310
§ 6.1 法拉第电磁感应定律	310
§ 6.2 动生电动势	313
§ 6.3 感生电场	316
§ 6.4 自感和互感	319
§ 6.5 磁场能量	323
本章内容提要	327
问题和习题	328
第 7 章 麦克斯韦方程组	331
§ 7.1 位移电流	331
§ 7.2 麦克斯韦方程组 电磁场的物质性	335
本章内容提要	339
问题和习题	340
附录	342
附录 1 常用物理常量表	342
附录 2 矢量代数	343
附录 3 矢量函数的微分	346
附录 4 矢量函数的积分	348
附录 5 高斯定理和斯托克斯公式	352
附录 6 梯度 散度和旋度 矢量微分算子 ∇	355
习题参考答案	359

第一部分 力学

广泛而言,自然界的一切变化过程都可称为**运动**(motion). 运动是物质的基本属性,是物质存在最普遍的形式. 一切物质都处在永不停息的运动中. 运动的这种永恒性、普遍性称为运动的绝对性. 物质的运动形式有多种多样,如机械的、热的、电磁的、化学的、生命的、思维的等. 其中,机械运动(物体相对位置的变化)是最简单的运动形式.

力学就是研究机械运动的. 力学中研究物体空间相对位置如何随时间变动,不涉及发生这种变动的原因,这部分内容称为**运动学**(kinematics). 研究物体运动状态的描述以及运动状态随时间变化规律的内容称为**动力学**(dynamics).

本书第1章研究质点运动学.

第1章 质点运动学

§ 1.1 质点 参考系 质点位置矢量

1.1.1 质点

实际物体都有一定的形状、大小,运动方式可以有平行移动、转动、形状变动等. 例如地球在绕太阳公转,本身又在自转,同时伴随着潮汐变化. 但是如果我们研究地球绕太阳的公转,由于地球到太阳的距离比地球半径大得多(约 2.0×10^4 倍),地球的大小、形状、变形对地球公转的影响很小,这时就可以把地球看作是没有体积(因而也没有形状)的“点”.

从这个例子中可以看出,如果物体的大小、形状在所研究的问题中不起作用或其作用可以忽略,这时就可用一个“点”表示. 但质量是描写机械运动状态及其变化的基本要素,通常还需要赋予这样的“点”一个质量. 这样的一个有质量的点就称为**质点**(masspoint).

真正的质点是不存在的,质点只是现实物体有条件的、合理的抽象,是为了简化问题,突出问题的主要方面,引进的“理想模型”. 用简化的理想模型代替复杂得多的实际对象,抓住主要矛盾,首先建立起描述理想模型的基本概念和规律,然后再以此为基础做出适当的修正,去逼近复杂的实际问题,这就是物理学中的**理想化**

模型的研究方法.

当然把研究对象看作质点是有条件的. 例如同样一个地球, 如果研究它的自转, 或者研究地震就不可能再把它看作质点了.

我们之所以引用质点模型, 是因为它没有形状、大小, 描述它的运动最为简单. 其次, 一个复杂的物体总可看成由许多质点构成, 从而把研究复杂物体的运动归结为研究构成它的各个质点的运动; 特别是如果物体不转动、不变形, 只有平移运动, 物体上各质点运动情况都相同, 这时整个物体的运动就可用一个质点代替. 由于这些原因, 研究质点的运动是研究一般物体机械运动的基础.

1.1.2 参考系

为了描述质点的空间位置随时间的变动, 我们必须给出确定质点空间位置的方法.

一些简单的实验事实表明, 三维位置空间是内禀均匀的、各向同性的. 物理实验的基本事实是: 任何物理实验都不会仅仅因为实验装置在空间作一平移或空间转动, 实验结果就会发生变化. 这表明所有的空间点, 空间不同方向在物理上都是等价的. 不存在物理上可定义的绝对位置和绝对方向, 质点的方位只能相对地确定.

空间的均匀性和各向同性表明, 不可能由不同空间点物理性质的差别决定质点的位置, 质点的位置只能相对地确定. 为了确定质点的位置, 必须选择某个物体, 并认为它的位置是固定的, 这个被认为不动的物体称为**参照物**(reference body). 为了相对参照物标识空间各点, 还需要建立坐标系, 通常取坐标系原点在参照物上. 根据方便, 常选直角坐标系、球坐标系或圆柱坐标系等. 在直角坐标系中, 空间一点的位置就可用这点的坐标 (x, y, z) 标识, 质点的位置就用它所在点的坐标表示. 参照物连同固结其上的坐标系统称为**参考系**(reference frame).

例如航行在海洋里的轮船的位置, 可以相对某个海岛或相对海岸某个城市确定, 也可由它在地球上的经、纬度确定. 当用经、纬度表示轮船位置时, 实际上用了以地心为坐标原点的球坐标系. 在现代技术中, 人们可选择 GPS 定位系统.

参考系的选择原则上是任意的, 但相对不同的参考系描述同一质点的运动, 其结果和问题的复杂程度不同. 例如在匀速前进的车厢中自由下落的小球, 在车厢参考系中小球作自由落体运动; 在地面参考系看, 小球作抛体运动. 静止在地面上空的同步卫星, 虽然相对地球是静止的, 但在太阳参考系看卫星作复杂的螺旋线运动. 在不同参考系观测到物体运动形式、状态不同, 这种现象称为**运动的相对性**(relativity of motion).

在研究不同物体运动时, 常根据问题的性质和研究方便, 选择不同的参考系.

1.1.3 质点的位矢方程

假设相对某个参照物建立了直角坐标系描述质点的位置,在每一时刻质点的位置就由这个时刻质点所在点的坐标给出.由于质点在运动,所以质点坐标 (x, y, z) 都是时间 t 的函数.

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1.1.1)$$

这组函数称为质点运动的**位矢方程**(equation of position vector),它包含了质点运动的全部信息.

质点的位置还可以用矢量更简单地表示(图 1.1.1). 设 t 时刻质点位置在 P 点,可以由坐标系原点 O 向 P 引一有向线段 $\vec{OP}$,记为 $\boldsymbol{x}$, $\boldsymbol{x}$ 的大小表示 P 点到 O 的距离,方向表示此时刻质点的方位.称 $\boldsymbol{x}$ 为质点的**位置矢量**(position vector),简称**位矢**.质点运动时,位矢随时间变动

$$\boldsymbol{x} = \boldsymbol{x}(t) \quad (1.1.2)$$

是时间的矢量函数.

位置矢量可以用它沿三个坐标轴的分量表示为

$$\boldsymbol{x}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k} \quad (1.1.3)$$

其中 $\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}, \boldsymbol{k}$ 是沿三个坐标轴的**单位基矢量**(unit basis vector),其大小和方向都和时间无关,是常矢量. $x(t), y(t), z(t)$ 是 t 时刻位矢沿三个坐标轴的分量,一般情况下都是时间 t 的函数.式(1.1.1)表明质点在每一时刻的位置可由三个坐标函数决定,每个函数都可单独表示一个运动,因此质点的一般运动可以看成三个独立运动的合成,这一性质称为运动的**叠加性**(superposition).

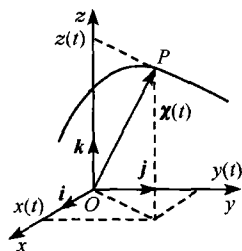


图 1.1.1

* 1.1.4 GPS 卫星定位系统

GPS是英文 global positioning system 的缩写,是当前最先进的精密导航卫星定位系统.这个系统的空间由 24 颗高度约 2.02 万千米的卫星组成.21+3 颗卫星(其中 3 颗为备用卫星)均为近圆形轨道,运行周期约为 11 小时 58 分,分布在六个轨道面上(每轨道面四颗),轨道倾角为 55 度.卫星的分布使得在全球的任何地方,任何时间都可观测到四颗以上的卫星,并能保持良好定位解算精度的几何图形.安装在地面上的 GPS 接收机,同时接收四颗以上的卫星信号,来确定地面点的位置.

在 GPS 定位测量中,采用两种坐标系,即天球坐标系和地球坐标系.

GPS 卫星绕地球质心转动,与地球自转无关;为了确定卫星在宇宙空间的位置,需要建立描述卫星运动的参考系.这样的坐标系就是所谓“**天球坐标系**”.天球坐标系取地球质心 M 为坐标

原点,取从坐标原点沿地球自转轴,指向北极方向为 z 轴,于是天球赤道面与地球赤道面重合.地球公转的轨道面与天球相交的大圆,即地球绕太阳公转时,地球上观测到的太阳在天球上运动的轨道为黄道.黄道平面与天球赤道平面有两个交点,分别称为春分点和秋分点.取过春分点的天球半径为 x 轴,取位于天球赤道平面内、与 z 、 x 轴垂直,并与之成右手螺旋关系的第三轴为 y 轴,就建成了天球坐标系(图 1.1.2).由于地球自转轴、地球绕太阳公转轨道平面在空间中都不变,天球坐标系就构成了在宇宙空间中稳定不变的参考系.(实际上,由于地球非完全均质球体,以及其他天体的摄动,地球自转轴会有缓慢的变化,在精确定位时,需要针对这种变化作适当的修正.)

地球表面的 GPS 接收机的位置相对地球是确定的,要描述飞机、舰艇、地面车辆等在地面的位置,需要采用固联于地球、随地球转动的坐标系,即地球坐标系.地球坐标系定义为坐标原点与地球质心重合, z 轴由质心指向地球北极, x 轴指向地球赤道平面与格林威治子午圈的交点 E , y 轴在赤道平面里,与 z 、 x 轴成右手螺旋关系(图 1.1.3).

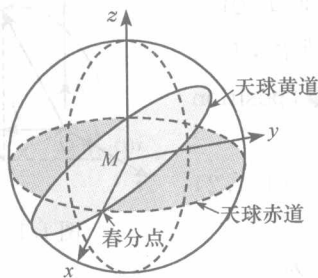


图 1.1.2

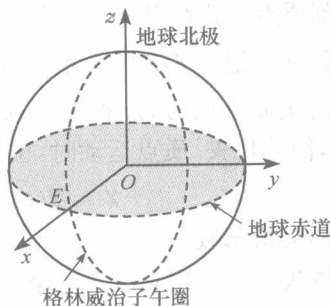


图 1.1.3

物体在天球坐标系中的坐标和在地球坐标系中的坐标,可以按照一定的坐标变换关系互换.

目前, GPS 已用于舰艇、战车、飞机导航,应用战术、战略导弹的测控和制导等几乎所有军事领域,成为高科技“数字战争”基本装备.

§ 1.2 位移 速度 加速度

1.2.1 位移

运动质点在一段时间内位矢的改变量称为这段时间内质点的位移(displacement). 设质点沿一条曲线运动, t 时刻位置在 P_0 点, $t+\Delta t$ 时刻位置在 P 点, P_0 点和 P 点的位矢分别是 $\boldsymbol{x}(t)$, $\boldsymbol{x}(t+\Delta t)$ (图 1.2.1). 记由 P_0 点引向 P 点的矢量 $\overrightarrow{P_0P} = \Delta \boldsymbol{r}$, 则

$$\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{x}(t+\Delta t) - \boldsymbol{x}(t) \quad (1.2.1)$$

$\Delta \boldsymbol{r}$ 就是质点在 t 到 $t+\Delta t$ 这段时间内的位移.

质点运动的轨迹称为**轨道**(orbit), 质点沿轨道从 P_0 点到 P 点通过的弧长 P_0P , 称为质点在 $t \rightarrow t + \Delta t$ 这段时间内的**路程**(distance), 记为 Δs . 必须注意:

- (1) 位移是个矢量, 大小 $|\Delta \mathbf{r}| = \overline{P_0P}$, 方向由 $P_0 \rightarrow P$;
- (2) $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta r$, $|\Delta \mathbf{r}| = |\mathbf{x}(t + \Delta t) - \mathbf{x}(t)| = \overline{P_0P}$, 而 $\Delta r = |\mathbf{x}(t + \Delta t)| - |\mathbf{x}(t)| = \overline{P'P}$;
- (3) 路程 Δs 是标量, 一般 $\Delta s \geq |\Delta \mathbf{r}|$, 但在 $\Delta t \rightarrow 0$ 的极限情况下, 有 $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} |\Delta \mathbf{r}| = \Delta s$.

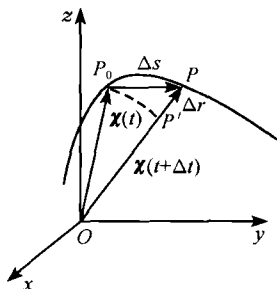


图 1.2.1

1.2.2 速度

质点在 Δt 时间内的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与发生这个位移所用时间的比

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1.2.2)$$

称为质点在这段时间内的**平均速度**(average velocity). 平均速度是个矢量, 其方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 相同, 大小为 $|\Delta \mathbf{r}|/\Delta t$. 显然平均速度依赖于时间间隔 Δt , 只能粗略地刻画这段时间内质点运动的情况(运动方向和运动快慢).

质点运动的快慢和方向可能时刻都在变化, 要精确刻画质点的运动, 就需要知道它在每个时刻的运动情况. 注意到 Δt 越小, Δt 时间段的平均速度越接近 t 时刻的速度, 取式(1.2.2)在 $\Delta t \rightarrow 0$ 情况下的极限值

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{x}}{dt} \quad (1.2.3)$$

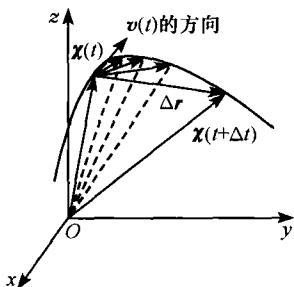


图 1.2.2

称为质点在 t 时刻的**瞬时速度**(instantaneous velocity), 简称**速度**. $\mathbf{v}$ 的大小表示质点在 t 时刻运动的快慢, $\mathbf{v}$ 的方向表示 t 时刻质点运动的方向. 当质点作曲线运动时, 这个方向就沿轨道曲线切线, 并指向质点前进方向(图 1.2.2).

速度的大小称为**速率**(speed)

$$v = |\mathbf{v}| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} \quad (1.2.4)$$

用 Δs 表示在 Δt 时间内质点沿轨道弧通过的路程, 由于当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 $|\Delta \mathbf{r}|$ 趋向与 Δs 相等,

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1.2.5)$$

所以**速率**表示质点通过的路程对时间的变化率.

将位矢的表示式(1.1.3)代入式(1.2.3)中, 求得