



普通高等教育“十二五”规划教材

王文福 税正伟 编

大学物理学

(上册) (第二版)



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理学

(上册)

(第二版)

王文福 税正伟 编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在满足教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会颁布的《理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求》的前提下,从现代科学技术的发展及工程技术人才培养的总体要求出发,精选了大学物理课程的教学内容.针对一般院校大学物理教学的要求和方便课堂教学,本书在课程内容现代化、突出工程意识、突出能力和素质的培养等方面作了较大幅度的改革.全书分为上、下册,主要内容包括力学、电磁学、振动和波、光学、气体动理论及热力学、相对论和量子物理等部分.

本书既可作为一般院校理工科非物理类专业大学物理课程的教学用书,又可作为工程技术人员的参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册/王文福,税正伟编.—2版.—北京:科学出版社,2011
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-03-031793-3

I. ①大… II. ①王…②税… 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 131753 号

责任编辑:窦京涛 唐保军 / 责任校对:朱光兰
责任印制:张克忠 / 封面设计:北京蓝正广告设计有限公司

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

*

2009 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2011 年 7 月第 二 版 印张:34 1/2

2011 年 7 月第四次印刷 字数:710 000

印数:13 001—18 500

定价:59.00 元(上、下册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

大学物理是高等院校的一门重要基础课. 高等院校肩负着为国家培养高级科学技术人才的重任, 而培养 21 世纪的优秀人才, 物理教学具有特殊的地位和作用. 随着科学技术发展方向的日趋综合, 渗透日益加强, 综合倾向将成为 21 世纪学科发展的趋势, 加强基础无疑是与这一发展趋势一致的, 由此也对基础课的教学提出了更高的要求.

教材是集中而具体地体现教学指导思想、教学方法和能力、素质培养要求的实体. 大学物理教材既要在内容的更新和新技术的介绍等方面有较大的突破, 又要贴近课堂教学, 易教易学. 我们确定的教材编写原则是: 以现代的物理理论和观点审视物理课程的体系和内容, 清楚地给出当代人类对物质世界认识的层次的结果; 明确地介绍研究方法, 介绍对理论的开发和应用的方法, 培养学生的工程技术意识; 遵循教学规律——循序渐进, 利于学生理解、接受并产生兴趣.

在大众化教育的背景下, 适应 21 世纪大学物理教学的需要是教材编写中应该重点考虑的问题, 这对于一般本科院校尤为重要. 我们在教材的编写中力图解决课程内容和授课时数的矛盾, 既要确保必要的传统的基本内容, 尤其要加强近代物理内容的教学; 又要突出对学生物理思维能力的培养. 这包括观察和描述物理现象、进而抽象、概括物理本质的能力; 知识迁移和独立获取新知识的能力; 用数学表述物理过程和规律的能力; 计算解题的能力及用数量级估算的能力等.

本书在编写时力求体现以下几个特点:

(1) 删去了与中学重复的内容, 对部分经典内容作了适当的压缩和综合. 讲经典内容时注意渗透现代物理的观点、概念和方法, 为经典物理概念赋予了新的内涵. 在内容安排上体现了人们在认识物质世界时, 由单(或有限个)体到多体系统、由物质的实物形态到场形态、由确定运动规律到统计规律、由波(或粒子)到粒子(或波)统一于波粒二象性的多重递进和螺旋式上升的关系, 使我们能够以现代的观点来审视. 消除了物理教材中经典内容和近代内容的截然分割现象, 使二者能自然地融合. 使学生对物理学的内容、研究方法、历史、现状和前沿等方面, 从整体上有一个较为全面的了解.

(2) 突出了工程技术意识. 在讲清物理基本原理的前提下, 结合物理理论内容, 介绍该物理知识在科学技术及生活实际中的应用, 将工程技术应用中的典型内容融合进教材中, 尤其重视将 20 世纪以来科学技术发展和巨大成就中的物理学基础引进教材内容之中, 并占到一定的比例, 如磁流体发电、磁悬浮、宇宙大爆炸理论、隧穿扫描显微镜等. 这些内容在语言表达上力求深入浅出, 并重在给出物理图像, 因此在课

堂教学中,常可以用不多的时间给以介绍,使教材具有较好的可操作性.

(3) 在保证基本经典内容的基础上,大力使内容现代化.书中着重介绍了现代物理学的观点,如相对论的时空观、守恒定律与对称性、统计规律、微观粒子的二象性和量子论等.结合相关内容还介绍了物理学研究中所形成的种种方法,例如理论与实验、分析与综合、归纳与演绎、类比联想与猜测试探、理想化方法与模型化方法、估算与概算、统计方法等.这些科学研究的有效方法对于其他学科也有借鉴作用,有利于培养和提高学生的能力和素质.

(4) 重视习题和例题的实用价值.书中配合相关基本内容安排了较多的例题,特别注重“一题多解”和“多题一解”,并对结论做了较为详尽的讨论.这不仅有利于学生自学,也有利于学生更好地掌握基本理论,提高学生分析、解决实际问题 and 知识迁移的能力.

本书的基本内容能够满足《理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求》.为适应不同的教学对象和不同专业类别的教学要求,还编入了一些打“*”号的内容,并用小字排印.这些扩展性内容均自成体系,可选讲或指导学生自学.

本书是在第一版的基础上经较大增补和修订完成的,参加本书编写工作的有:王文福、税正伟、唐斌.在本书第一版的编写工作中,陈代珣、谭茂森、刘廷平做了大量的工作.本书的编写工作中借鉴了国内外的许多教材,在此表示衷心地感谢.

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和问题,望读者给予批评指正.

编 者

目 录

前言	
绪论	1
第 1 章 质点运动学	6
1.1 描述质点运动的基本物理量	6
1.1.1 物质运动的绝对性和相对性	6
1.1.2 质点	7
1.1.3 位置矢量和位移	8
1.1.4 速度矢量	10
1.1.5 加速度矢量	13
1.2 质点的平面曲线运动	16
1.2.1 运动叠加原理	16
1.2.2 斜抛运动	16
1.2.3 圆周运动	18
1.2.4 任意曲线运动	20
1.2.5 圆周运动的角量描述	22
1.3 相对运动	25
本章提要	29
习题	30
阅读材料	32
第 2 章 动力学基本定律	37
2.1 牛顿运动定律	37
2.1.1 牛顿第一定律	37
2.1.2 牛顿第二定律	38
2.1.3 牛顿第三定律	39
2.1.4 力学中常见的几种力	41
2.1.5 应用牛顿定律解题的步骤	44
2.1.6 惯性参考系和非惯性参考系	47
2.1.7 单位制与量纲	51
2.2 刚体的定轴转动定律	52
2.2.1 刚体	52
2.2.2 刚体的运动	52
2.2.3 质心运动定理	55
2.2.4 转动惯量	58
2.2.5 力矩	60
2.2.6 刚体的定轴转动定律	61
本章提要	65
习题	66
阅读材料	68
第 3 章 守恒定律	71
3.1 动量定理和动量守恒定律	71
3.1.1 力对时间的累积效应——冲量	72
3.1.2 动量定理	72
3.1.3 动量守恒定律	76
3.2 动能定理和机械能守恒定律	78
3.2.1 力的空间累积效应——功	78
3.2.2 保守力做功的特点	82
3.2.3 势能	84
3.2.4 动能 动能定理	85
3.2.5 机械能守恒定律	90
3.2.6 用机械能守恒定律讨论三种宇宙速度	94
3.2.7 能量转换与守恒定律	95
3.3 碰撞	96
3.3.1 碰撞	96

3.3.2 质点间的对心碰撞	96	4.5.2 电介质中的电场	142
3.4 角动量守恒定律	100	4.5.3 电介质中的静电场定理	143
3.4.1 质点的角动量定理	101	* 4.5.4 压电效应	146
3.4.2 刚体的角动量定理	102	* 4.5.5 静电的危害与防护	147
3.4.3 角动量守恒定律	103	4.6 静电场中的导体和电容	147
3.4.4 质点的直线运动与刚体定 轴转动规律的比较	108	4.6.1 导体静电平衡的条件	147
本章提要	109	4.6.2 电容器及其电容	151
习题	110	4.6.3 电容器电容的计算	152
阅读材料	113	4.6.4 电介质对电容器电容的 影响	155
第4章 静电场	115	4.6.5 电容器的并联、串联	155
4.1 库仑定律	115	* 4.6.6 电容式传感器	157
4.1.1 电荷的基本性质	115	4.7 电场能量	157
4.1.2 库仑定律	116	4.7.1 带电系统的电场能量	157
4.2 电场 电场强度	117	4.7.2 带电电容器的能量	158
4.2.1 静电场	117	4.7.3 电场的能量	158
4.2.2 电场强度	118	本章提要	159
4.2.3 场强叠加原理	120	习题	161
4.2.4 电场强度的计算	121	阅读材料	164
4.3 高斯定理	125	第5章 稳恒磁场	170
4.3.1 电场强度的图示法——电 场线	125	5.1 毕奥-萨伐尔定律	170
4.3.2 电场强度通量	126	5.1.1 磁的基本现象	171
4.3.3 高斯定理的推证	127	5.1.2 磁感应强度矢量 $\mathbf{B}$	171
4.3.4 高斯定理的应用	129	5.1.3 毕奥-萨伐尔定律	172
4.4 电势	133	5.1.4 毕奥-萨伐尔定律的应用	173
4.4.1 静电场的环路定理	133	* 5.1.5 磁悬浮列车	178
4.4.2 电势能	134	5.2 磁场定理	180
4.4.3 电势和电势差	134	5.2.1 磁场的高斯定理	180
4.4.4 电势的计算	136	5.2.2 稳恒磁场的安培环路定理	182
4.4.5 电势的图示法——等势面	137	5.2.3 安培环路定理的应用	184
4.4.6 电势梯度与场强的关系	138	5.3 磁场对电流的作用	187
4.5 静电场中的电介质	140	5.3.1 磁场对运动电荷的作用	187
4.5.1 电介质及其极化	140		

5.3.2 霍尔效应	189	场力	221
5.3.3 磁场对传导电流的作用—— 安培力	191	6.3.2 自感应现象	224
5.4 磁场中的磁介质	196	6.3.3 互感应现象	226
5.4.1 磁介质的磁化和磁化强度 矢量	196	6.3.4 磁场的能量	228
5.4.2 磁介质中的磁场	197	6.4 麦克斯韦电磁场方程组 ...	230
5.4.3 磁场强度矢量 H 和 H 的 环路定理	199	6.4.1 静电场和稳恒磁场的实验定 律、基本定理的总结和推广	230
* 5.4.4 静磁屏蔽	202	6.4.2 位移电流	231
本章提要	202	6.4.3 麦克斯韦方程组	234
习题	203	6.4.4 电磁波	236
阅读材料	206	本章提要	242
第 6 章 麦克斯韦电磁场理论	210	习题	243
6.1 法拉第电磁感应定律	210	阅读材料	246
6.1.1 电源电动势	211	部分习题答案	250
6.1.2 楞次定律	212	附录	255
6.1.3 法拉第电磁感应定律	213	附录一 常用物理基本常数表	255
6.2 动生电动势	216	附录二 矢量运算法则	255
6.2.1 产生动生电动势的非静电 场力	216	附录三 国际单位制中基本物理 量的单位	260
6.2.2 动生电动势的计算	217	附录四 包括 SI 辅助单位在内 的具有专门名称的 SI 导出单位	264
6.3 感生电动势	221		
6.3.1 产生感生电动势的非静电			

绪 论

1. 物质和相互作用

物理学研究宇宙中物质存在的各种主要基本形式,它们的性质、运动和转化以及内部结构,从而认识这些结构的组元及其相互作用,运动和转化的基本规律.

人类对物质微观结构的认识是不断发展和深入的.早在1810年,道尔顿就建立了原子学说.他认为原子是物质微观结构的不可分割的最小组元.1897年汤姆孙发现了电子,1911年卢瑟福提出了原子的行星式模型.卢瑟福认为,原子是由原子核和绕原子核作圆周运动的电子所组成.1932年查德威克发现了中子,从而表明原子核是由紧密结合在一起的质子和中子组成的.由于当时的实验研究中,没能探测出质子和中子等粒子的结构,人们就认为它们可能是物质微观结构的最小组元,称它们为基本粒子.质子、中子、电子和光子就是人们最早认识的一批基本粒子.

20世纪50年代以来,人们发现了大量称为强子的粒子.强子分为介子和重子,重子又分为核子(包括质子和中子)和各种超子.在至今已经发现的430种粒子中,介子有150种,重子有264种.随着实验和理论研究的发展,显示出某些基本粒子肯定不能看作是点粒子,它们有一定的大小并有内部结构.同时,还显示出从内部结构的情况来看,已有的基本粒子并不属于同一层次.因此,现在已将基本粒子改称为粒子,基本粒子物理学改称为粒子物理学.1964年,盖尔曼和兹维格在对大量强子性质分析的基础上,各自独立地提出了强子结构的夸克模型.他们认为,重子由3个夸克组成,反重子由3个反夸克组成,介子由一对正、反夸克组成.一般而言,强子是由夸克、反夸克和胶子组成的复合粒子.现在,人们还没有观测到夸克和胶子有内部结构,它们与规范玻色子以及轻子是属于同一层次的粒子.

物理学所研究的物质尺度小到原子、粒子、夸克,大到地球、太阳系、星系乃至整个宇宙.人们自然会问,物质聚集起来,从微观粒子到巨大的星体,从细菌到人,这些都是怎样发生的?在物理学中,我们可以用“相互作用”这个概念来回答.物理学的重大成就之一是:我们已经认识到物质世界千变万化的现象,归根到底只通过四种基本相互作用.即强相互作用、电磁相互作用、弱相互作用和引力相互作用.

强相互作用虽是最强的作用,但却是物理学家后来才了解的,因为它的作用范围小于 10^{-15}m .1913年卢瑟福实验指出,原子由原子核和电子组成,原子核非常小,其中质子之间都存在着很大的静电排斥相互作用,这就必须另有强相互作用才能使核稳定.后来又发现,强作用不限于核子间的核力,凡强子(包括介子和重子)都参与强

作用. 描述强相互作用的较有效的理论是量子色动力学(QCD). 它把强相互作用归结为强子的构成粒子-夸克之间通过交换胶子而产生的作用力, 夸克和胶子被禁闭在 10^{-15}m 线度的微观世界中, 物理学家用高能电子-正电子对撞实验分别于1978年和1979年证实了它们的存在.

电磁相互作用是人们认识得最清楚的相互作用, 就是电力与磁力. 宏观物体的一般物理、化学性质, 其本质都取决于电磁相互作用, 宏观的电磁作用理论是麦克斯韦电动力学, 而微观的电磁作用理论是量子电动力学(QED). 电磁相互作用是发生在荷电粒子之间的长程相互作用, 它使原子核和电子能聚集在一起而形成原子. 在QED中, 电磁场是量子化的光子场, 荷电粒子间的相互作用是由于它们彼此之间交换虚光子而产生.

人们对弱相互作用的认识是从 β 衰变开始的, 1898年法国物理学家贝克勒尔·居里夫妇首先发现 β 衰变. 20世纪头30年对 β 衰变做了许多实验后发现其动量似乎不守恒. 泡利认为动量是守恒的, 似乎不守恒是因为存在一个当时还未被发现的粒子(中微子)带走了的缘故. 引起 β 衰变的就是电子-中微子场与核子间的相互作用——弱相互作用. 中微子假设直至1956年由美国物理学家莱因斯观察到了反中微子才被证实. 高能物理研究表明, 除了 β 衰变外, 支配粒子衰变过程的都是弱相互作用.

引力相互作用是物理学家发现最早的相互作用, 17世纪牛顿在分析前人天文实验数据基础上就得出了万有引力定律. 宏观的引力作用理论是牛顿引力论和1916年爱因斯坦引力论(即广义相对论), 牛顿引力论(万有引力定律)是广义相对论的弱场近似, 微观的量子引力理论尚在探讨之中. 引力作用比电磁作用弱 10^{37} 倍, 所以在一般物理问题中往往把引力忽略不计, 然而它在宇宙的构造和演化过程中却起了主要的作用. 显然, 在宏观物体之间所能观测到的, 只有长程的电磁相互作用和引力相互作用.

四种相互作用能否统一成一种相互作用, 这也是近年来物理学家积极探索的一个重要问题. 在规范场理论的框架下, 1967年温伯格和萨拉姆建立了弱电统一理论, 它把弱作用和电磁作用解释为同一种相互作用的不同表现, 就像电作用和磁作用是电磁相互作用的不同表现一样. 在较高的能量尺度(10^2GeV)上, 两者是统一的“电弱作用”. 电弱作用理论预言的中间玻色子 $W^{\pm}$ 和 Z^0 已于1983年1月和6月从加速器实验中发现, 这就充分肯定了电弱统一理论的正确性. 电弱统一理论的成功激励人们对大统一理论的探索研究, 这个理论试图把强相互作用和电弱相互作用统一起来. 大统一理论认为参与作用的粒子能量增加(即距离减小)时, 弱作用增强、强作用变弱、电磁作用缓慢地变化, 在极高能量(10^{15}GeV)或极小距离(10^{-29}m)时三者强度相等, 因此成为统一的一种相互作用.

能量尺度为普朗克能量(10^{19}GeV)时四种相互作用一并统一起来的理论叫超对称理论. 当能量大于普朗克能量时, 四种相互作用的强度相等而成为一种统一的作用, 在普朗克能量标度以下, 由于对称性破缺, 显示为弱强电作用与引力作用的区别,

当能量降到大统一能量标度(10^{15} GeV)时对称性进一步破缺,从而显示现在所观察到的四种基本相互作用。

超对称理论和大统一理论目前都只是尝试性和推测性的理论,尚未获得肯定。这些理论似乎提示着存在一种更基本的统一的可能性;可能所有的相互作用是同一种基本相互作用的不同表现形式,或许整个自然界可归结为某种深刻的对称性。一些物理学家还试图找出这样的“超统一理论”,从而打破“物质”与“相互作用”之间的传统的界限。

粒子物理的发展也为整个宇宙的演化提供了一个标准模型。近代宇宙学认为,大约在 138 亿年前,宇宙开始于一次巨大的“爆炸”之中,在那个时刻(大爆炸后 10^{-43} 秒),宇宙的能量标度为 10^{19} GeV(或温度为 10^{32} K),大爆炸后的最早时期($10^{-43} \sim 10^{-35}$ 秒),今天已知为四种基本相互作用的强度都是相近的。在 10^{-35} 秒(温度为 10^{28} K),宇宙发生一次暴胀,其直径在 10^{-32} 秒内增大了 10^{50} 倍。但能量仍过高,强弱电作用还是统一的一种相互作用。暴胀过后,宇宙继续膨胀并开始冷却,宇宙温度为 10^{16} K(能量为 10^3 GeV)时,弱作用和电磁作用的统一开始消失,大爆炸半小时后,温度大大降低(10^8 K)。按照大爆炸理论的预言,今天我们应处身于一个相当冷的宇宙之中,到处温度约 3K(宇宙背景辐射),这个结论已为天文观察结果所证实。研究非常大尺度天地的宇宙论与研究最小世界的粒子物理学已越来越显现出一种共生的关系,两个极端奇妙地衔接在一起,成为密不可分的姊妹学科。这也揭示了物质世界的统一性。

2. 物理学与科学技术的关系

物理学所研究的是物质运动最基本最普遍的形式,因而物理学是自然科学中最基础的学科。物理学中的发现、发展以及它所建立起来的概念、规律曾经推动了技术革命的到来和发展。世界三次大的技术革命可以说是在物理学发展的基础上开花结果的。在 17 世纪和 18 世纪,牛顿力学和热力学的发展,顺应了第一次技术革命的需要,其主要标志是蒸汽机的发明、改进和广泛应用,用机器代替人的劳动,人类的劳动生产力第一次获得解放。到了 19 世纪,在法拉第-麦克斯韦电磁理论的推动下,人们成功地制造了各种电力、电讯设备,引起工业电气化,使人类进入应用电能的时代,这就是第二次技术革命。第三次技术革命兴起于 20 世纪 20 年代,其特点是出现了一系列新产品和新设备,如半导体、计算机、彩色电视、核能发电站、加速器 and 人造卫星等。它们不仅改变着人们的生产和生活,而且还扩展和完善了人类对大自然和社会探索的手段。这是 20 世纪初一系列物理新发展和相对论、量子理论建立的结果。

21 世纪的物理学正在向更加深入和更加广泛的范围发展,向大尺度的恒星、星系探索,追踪宇宙的结构和起源;向微观世界追问,探索物质的基本组成;向其他学科广泛渗透以及向物质过程的非线性复杂性进军,研究更加复杂的物质结构和运动现象。物理学的这些发展为科学技术的发展提供了更加广阔和更加深入的前景。

物理学的发展对工程技术发展的推动作用至少可以从以下几个方面来认识:

(1) 物理学的发展促进形成科学技术的前沿新领域. 在历史上, 相对论关于质能关系的确立、原子核结合能的研究和裂变现象的发现开辟了原子核能利用的新领域. 如今物理学的深入发展, 促进形成了众多工程技术的前沿新领域. 例如高温超导电性的研究展现了一个应用广泛、潜力巨大的崭新的技术领域, 将对国民经济、军事技术、医疗卫生和各种高新产业产生难以估量的深远影响; 激光器的发明、光导纤维的制成在有线通信技术领域引起一场重大的革新; 空间遥感技术也是在物理学发展的基础上形成的新领域, 利用卫星拍摄的照片, 在大地测量、矿藏勘探、天气预报、掌握生态环境的变迁和减少自然灾害等方面发挥了重要的作用.

(2) 物理学的发展为科学技术提供了新的研究手段. 由物理学中的核磁共振现象开发出的核磁共振成像技术可逐层清晰地细察人体的内部, 诊断体内各器官的疾病, 且无扰动、无侵害、无电离辐射、是人体诊断技术的重大革命; 利用量子隧道效应制成的扫描隧道显微镜可观察到物体表面原子尺度的细微结构, 为表面物理和分子生物学研究提供了有力的手段; 集成光学的研究成果为制造运算速度更快、抗干扰能力更强的新一代计算机提供了基础.

(3) 物理学的发展也为技术开发提供了新思路. 物理学的每一项新发展总是观察到新的现象, 找到新的联系, 实现新的构想, 揭示新的本质属性, 从而也就提供了技术开发的新的可能性. 例如放射性元素衰变呈指数规律的发现和放射性元素的半衰期的测定之后, 卢瑟福立刻意识到可用放射性元素的衰变来测量时间, 从而逐渐形成了今天的同位素年代学, 已广泛用于考古学中测定文物的年代、地质学中测定地层年龄及天体物理中估计天体的年龄, 等等.

物理学与工程技术的密切关系是由物理学的基础性质所决定. 正是由于物理学是其他自然科学以及技术科学的基础学科, 它的影响力才会如此的深厚, 影响面才会如此的广阔; 也正是因为物理学的基础性质, 其他科学技术需要物理学从根基研究上作出应有的贡献.

以上诸多的事例无不说明了“昨天的科学, 今天的技术, 明天的高效经济”这样一条真理. 目前存在的重技术、轻科学(尤其是基础科学)是危害性极大的错误倾向.

3. 大学生必须学好物理课

高等院校肩负着为国家培养高级科学技术人才的重任. 培养 21 世纪的优秀创新人才, 物理教学具有特殊的地位和作用.

物理学研究自然界最普遍最基本的运动形态及其运动发展的规律. 这种最普遍最基本的运动形态寓于各种高级复杂的运动形态之中, 成为其组成的基础, 因此物理学是学习一切科学技术知识的基础课. 也正是因为物理学的基础性质, 它的研究最早, 是发展得最为成熟的学科. 物理学研究所形成的物质观、自然观、时空观、宇宙观对整个人类文化都产生了极深刻的影响, 是各行各业科技人员必须具备的基本观点. 物理学研究所形成的种种方法, 如理论与实验、分析与综合、归纳与演绎、类比联想与

猜测试探、理想化方法与模型化方法、估算与概算、统计方法等,是科学研究的有效方法,也是培养和提高人才能力素质的最有效的方法. 物理学研究中注重理性、崇尚实践的精神尤为突出,是创造性人才必须具备的品格. 当代科学技术的发展呈现出愈来愈多地吸取,应用和借鉴物理学研究成果的趋势. 30 多年来化学、地学、生命科学等学科的进展得益于物理学的基本概念和技术被应用于这些学科. 高新技术的发展过程实际上是近代物理向各个领域渗透的过程. 学好物理,特别是近代物理知识,才能掌握新技术、应用新技术、发展新技术.

“大学物理学”是高等院校绝大部分专业的一门重要基础课. 学生应该牢固地掌握物理学的基本理论和基本知识,深刻地理解物理规律的意义,并在实验技能及独立钻研能力等方面得到严格的训练,为今后成为优秀的科学技术人才奠定必要的物理基础.

第 1 章 质点运动学

宇宙万物都处于永恒的运动之中,物质的运动形式是多种多样的,例如,机械运动、热运动、电磁运动、微观粒子的运动等.物体相对于参考系的位置变化,称为**机械运动**.在所有的运动形式中,机械运动是最简单和最基本的一种运动形式.自然界中发生的一切变化过程都包含有物体位置的变化.它可以是一个物体相对于另一个物体的位置变化,也可以是物体的一部分相对于另一部分的位置变化.

力学是研究物体机械运动的规律及其应用的学科,而牛顿运动定律又是经典力学的基础.牛顿力学主要包括运动学和动力学两部分.运动学主要研究物体运动的描述,不涉及引起运动状态改变的原因.动力学主要研究物体的运动与物体之间相互作用的关系.

在运动学中,物体的运动状态是用位置矢量、速度和加速度等物理量描述.通过对位置矢量、速度和加速度等概念的建立,可以加深对运动的相对性等基本性质的理解.由于大学物理中要讨论物体在平面和空间中的较为复杂的运动,因此在大学物理的学习中,坐标的概念、矢量的概念和微积分的应用尤为重要.

1.1 描述质点运动的基本物理量

本节在介绍了质点、参考系和坐标系等概念后,将具体介绍描述质点运动的物理量:位置矢量、位移、速度和加速度.

1.1.1 物质运动的绝对性和相对性

自然界是由各种各样的物质组成.物质世界可以分为宇观世界、宏观世界和微观世界.地球、太阳、星系乃至整个宇宙等属于宇观世界;汽车、人等属于宏观世界;分子、原子、质子、电子、夸克等微观粒子属于微观世界.自然界中的物质又具有各种各样的形态.固体、液体、气体等称为实物物质,引力场、电场、磁场等各种各样的场也是物质形态的一种.

自然界中没有绝对不运动的物质,一切物质都处在永恒的运动之中.例如分子的热运动只有在绝对零度时才会停止,但是大量的实验证明不可能通过有限的步骤达到绝对零度,因此绝对静止的物质是不存在的.从这个意义上讲,物质运动具有绝对性.

描述同一物体的运动,不同的观察者可能有不同的结果.通常说汽车以 60 千米/小时

的速度行驶,指的是汽车相对于地球以 60 千米/小时的速度在运动.但是,若两辆汽车相对于地球以相同的速度沿相同的方向运动时,则一辆汽车相对于另一辆汽车却处于静止状态.又例如,观察雨滴的运动,在无风的时候,相对于地面静止的观察者看到它是竖直下落,但在飞速前进的列车上的观察者看到它是斜向后下落.因此,当要描述一个物体的位置及位置的变化时,总要指明这个物体是相对于那个物体在运动.从这个意义上讲,运动的描述又是相对的.

由于物体运动的描述具有相对性,通常需要选定一个物体或物体系作为参考.这种被选作参考的物体或物体系称为**参考系**.物体的运动就是物体相对于参考系的位置变化,离开参考系谈物体的运动是毫无意义的.

运动学中,参考系的选择具有任意性.如何选择主要看问题的性质和研究的方便而定.例如,研究地球上物体的运动时一般选择地球为参考系,研究地球绕太阳的运动时则要选太阳为参考系.参考系选择不当,会对问题的研究带来极大的不便.当然,运动描述的相对性并不是指运动描述的不确定性.相反,正是由于运动描述具有相对性,人们才有可能从不同的侧面对物体的运动进行研究,从而更好地揭示物体的运动规律.

选定了参考系,就可以定性地研究物体的运动.但要精确地研究物体的运动规律,就需要在参考系上建立**坐标系**,用数学规律定量地研究.在同一参考系中,可以选用不同的坐标系,例如直角坐标系、极坐标系、柱坐标系、球坐标系和自然坐标系等.在同一参考系中,尽管不同的坐标系对于描述同一物体的运动规律是等价的,但是在不同的坐标系中描述同一物体运动的难易程度是不同的.由于用直角坐标系描述大多数物体的运动比较简单,本书主要采用右手笛卡儿直角坐标系.

1.1.2 质点

研究物体的运动应抓住主要矛盾.实际的物体都是有大小和形状的.在运动过程中,物体的大小和形状可能要发生变化.这对物体运动的研究带来较大的困难.若物体的大小和形状对所研究的物体运动的影响很小而可以忽略不计时,就可以忽略物体的大小和形状,即将物体视为没有大小和形状,只有质量的几何点,称为**质点**.

在许多情况下,物体各部分的运动并不完全相同,但可以忽略次要的运动形式,将整个物体视为质点.例如,在平直公路上行驶的汽车,整个车体作直线运动,而它的车轮以及发动机内部仍相对于车身运动.如果只研究车体相对于地球的运动,就可以将汽车视为一个质点.又例如,研究地球绕太阳的公转问题中,因为地球的直径不到地日间距的万分之一,地球的形状、大小对地球绕太阳的公转运动不起主要作用,可以忽略其线度的影响,将地球看成是一个质点.

应当注意的是,一个物体能否视为质点,并不决定于它的几何线度和质量,而应视研究的问题而定.例如研究地球的自转时,就不能将地球看作是一个质点.因此,质点的概念具有相对性.

除此以外,质点模型的引入还为研究质量连续分布的物体运动提供了一个处理方法.对刚体、流体、弹性体等连续体的运动研究,就可以将其分割成无限多个质点(质元)进行讨论.很显然,质点是一个理想化模型.

在科学研究中,常根据所研究问题的性质,突出主要因素,忽略次要因素,建立某种理想模型,以方便问题的解决.理想化模型是人们运用科学抽象方法,在思维中构想出来的一种高度理想化研究客体.通过对理想化模型的研究去间接地研究原型的性质和规律性,即把对理想化模型研究的结果略加修正之后,推论到实际的研究对象.通过对理想化模型的试验和研究,可以避免该问题中的次要因素的干扰,既快又准确地了解事物的性质和规律.在物理学的研究中,大量使用各种理想化模型.除了已经介绍的质点外,本书还要介绍刚体、点电荷、理想气体、原子结构的行星模型等理想化模型.

1.1.3 位置矢量和位移

要描述质点的运动就必须首先确定质点在任意时刻的位置.为此,可在参考系上

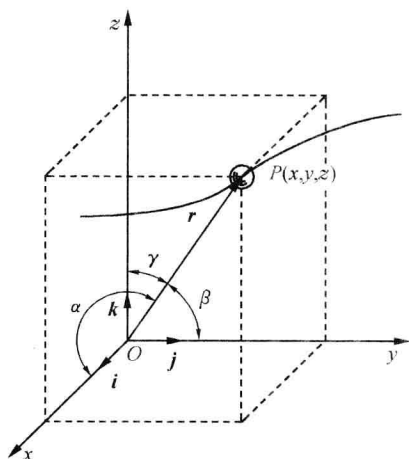


图 1.1 位置矢量

任取一点 O 作为坐标原点,从 O 点引向质点所在位置 P 点的有向线段 r ,称为位置矢量,简称位矢(或矢径).矢径 r 的大小为 O 点到 P 点的距离,其方向规定为由 O 点指向 P 点的方向.如图 1.1 所示,以 O 为坐标原点,建立直角坐标系.设某时刻 P 点的直角坐标分量分别为 x 、 y 和 z ,则

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1.1)$$

其中 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 分别表示沿 x 、 y 、 z 三个坐标轴正方向上的单位矢量.用 $r = |\mathbf{r}|$ 表示位矢 $\mathbf{r}$ 的大小,由(1.1)式可得

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

$\mathbf{r}$ 矢量的方向由其方向余弦确定

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

其中方向角 α 、 β 、 γ 分别是位矢 $\mathbf{r}$ 与 x 、 y 、 z 三个坐标轴正方向之间的夹角,且三个方向余弦满足

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1 \quad (1.4)$$

若物体相对于参考系处于静止状态,则位矢 $\mathbf{r}$ 是不随时间变化的恒矢量.若物体相对于参考系运动时,其位矢 $\mathbf{r}$ 随时间 t 而变化.位矢 $\mathbf{r}$ 随时间 t 的变化关系,即

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1.5)$$

称为运动方程.在直角坐标系中,运动方程为

$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1.6)$$

由此可得直角坐标系中运动方程的分量式为

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1.7)$$

质点相对于参考系运动时在空间所绘出的曲线称为质点运动的轨迹. 例如, 喷气式飞机在飞行时, 其尾部泄出的白烟在空中构成的形状优美的曲线就描绘了飞机飞行的轨迹. 知道了质点的运动方程就可以确定质点运动的轨迹. 由运动方程的分量式消去时间参数 t , 就可以得到轨道方程. 例如, 设某一质点在平面直角坐标系 Oxy 中的运动方程为

$$\mathbf{r} = R\cos\omega t\mathbf{i} + R\sin\omega t\mathbf{j}$$

其中 ω 和 R 是常量. 由此可得运动方程的分量式分别为

$$x = R\cos\omega t, \quad y = R\sin\omega t$$

由上两式消去时间参数 t 可得轨道方程为

$$x^2 + y^2 = R^2$$

这是一个圆方程. 它表示质点在 Oxy 平面上作以坐标原点 O 为圆心, 半径为 R 的圆周运动.

如图 1.2 所示, 质点经图示的曲线 AB 作曲线运动. 若在时刻 t , 质点在 A 点处, 其位置矢量为 $\mathbf{r}(t)$; 在 $t + \Delta t$ 时刻, 质点运动至 B 点, 其位置矢量为 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$. 在 Δt 时间内, 质点运动所经历的实际路径用曲线段 Δs 表示; 由质点初位置 A 引向末位置 B 的矢量是质点的位置改变, 用 $\Delta \mathbf{r}$ 表示. 按照矢量的加法法则, 由图 1.2 可得

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \quad (1.8)$$

$\Delta \mathbf{r}$ 称为质点在 Δt 时间间隔内相对于参考系的位移. 由(1.8)式可知, 位移等于 Δt 时间内位置矢量的增量.

在直角坐标系中, 质点在 t 时刻的位置矢量为

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

质点在 $t + \Delta t$ 时刻的位置矢量为

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

由此可得 Δt 时间间隔内的位移 $\Delta \mathbf{r}$ 为

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

其中 Δx 、 Δy 和 Δz 分别是位移 $\Delta \mathbf{r}$ 在 x 、 y 、 z 三个坐标轴方向上的分量. 由此可得位

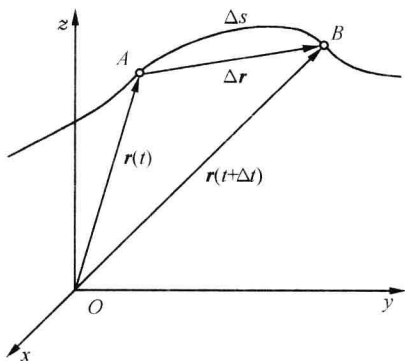


图 1.2 位移矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 与路程 Δs