

大学物理学

上册

University
Physics



饶瑞昌 时钟涛 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

大学物理学

上册

Daxue Wulixue

饶瑞昌 时钟涛 编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是依据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求(2010年版)》,在总结编者长期教学实践的基础上编写而成的。全书分为上、下两册,共16章。上册讲述力学、波动学和热学,内容包括:质点运动的基本规律、守恒定律、刚体的定轴转动、机械振动、机械波、波动光学、气体动理论、热力学基础。下册讲述电磁学和近代物理学,内容包括:真空中的静电场、静电场中的导体和电介质、恒定磁场、变化的磁场和电场、狭义相对论、早期量子论、量子力学初步、现代科学与高新技术物理基础专题。为配合本书的学习,还专门出版了配套的学习辅导书。

本书可作为普通高等学校理工科类专业的大学物理课程的教材,也可作为各类成人教育相关专业的大学物理课程的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册 / 饶瑞昌, 时钟涛主编. —北京:
高等教育出版社, 2012. 11
ISBN 978 - 7 - 04 - 036308 - 1

I. ①大… II. ①饶…②时… 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(2012)第 240662 号

策划编辑 程福平 责任编辑 程福平 封面设计 于涛 版式设计 于婕
插图绘制 尹莉 责任校对 刘丽娟 责任印制 韩刚

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400 - 810 - 0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	北京玥实印刷有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	787 mm × 960 mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	20.75	版 次	2012 年 11 月第 1 版
字 数	380 千字	印 次	2012 年 11 月第 1 次印刷
购书热线	010 - 58581118	定 价	32.50 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 36308 - 00

前 言

随着高等教育的发展和招生人数的扩大,我国的高等教育已经从精英教育逐步过渡到大众化教育,但是,现行的多数教材仍是按照精英教育的培养模式来编写的,这使得大学物理课程学时少、内容多、难度大的问题更加突出。

为了适应我国高等教育进入大众化教育的特点,我们编写了这套适用于理工科专业的大学物理教材。本书的特点如下:

(1) 以教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求(2010年版)》A类核心内容构造本书的体系,以确保A类的核心内容,根据需要择要介绍B类的扩展内容(相应章节用*标注)。在保证教材具有科学性、系统性和完整性等鲜明特征的同时,本书着重于基本知识、基本概念、基本原理和基本定律的系统阐述,从而有助于学生对物理世界形成完整的、统一的认识。

(2) 根据当前大学物理教材内容与结构的发展趋势,在内容安排上借鉴了国内外许多教材的长处,在结构体系上有所创新。例如,将机械振动、机械波和波动光学归入一篇,安排在力学之后,以强调波动这一运动形式的普遍性,同时也有利于全部教学内容的调整及学时数的合理安排;又如,将力学篇和电磁学篇分别安排于上、下册,除了便于分两个学期施教之外,更重要的是分散了难点,可减少学生在学习时的“负重感”。

(3) 为解决大学物理的初学者普遍感到解题困难的问题,我们对书中的例题、习题进行了精选,尽量选编有代表性、应用性的、难度适中的例题和习题。所用例题均是在进行详细分析的基础上进行求解,部分例题采用多种解法,以培养学生灵活应用知识和解决问题的能力。

(4) 注重教学内容的深入浅出和符合教学规律,做到既尽量避免与中学物理重复,又不跨入后继课程的范围。在论述上力求简明扼要、通俗易懂,强调物理思想和方法,突出科学素质和能力。

(5) 为适应不同学时、不同专业对大学物理课程的要求,对力学(第1~3章)、波动学(第4~6章)、热学(第7、8章)、电磁学(第9~12章)、近代物理学(第13~16章)五篇教学内容,在章节的安排上充分考虑了各篇的相对独立性。因此,本书可满足不同学时、不同专业的教学需要。

本书是东华理工大学和宁波工程学院重点资助教材。

由于编者水平所限，书中缺点和错误在所难免，衷心希望大家批评和指正，以使本书不断提高和完善。

编 者

2012年9月

本书是浙江理工大学教师为编写《浙江理工大学教师教育专业本科教育培养方案》而编写的一本教材。在编写过程中，参考了国内外许多优秀的教材和文献，力求做到概念清晰、重点突出、由浅入深、循序渐进。本书可作为浙江理工大学教师教育专业本科教育培养方案实施过程中的主要教材，也可供从事教师教育工作的教师和教育管理人员参考。

本书共分五章。第一章为绪论，主要介绍教师教育专业的内涵、特点、培养目标、课程设置、师资队伍、教学条件、教学方法和手段、教学评价、教学管理、教学保障等。第二章为教师教育专业的课程设置，主要介绍教师教育专业的课程设置原则、课程设置方案、课程设置实施等。第三章为教师教育专业的师资队伍，主要介绍教师教育专业师资队伍建设的意义、目标、原则、措施等。第四章为教师教育专业的教学方法和手段，主要介绍教师教育专业的教学方法、教学手段、教学评价、教学管理等。第五章为教师教育专业的教学保障，主要介绍教师教育专业的教学保障体系、教学保障实施等。

本书在编写过程中，得到了浙江理工大学领导、专家和同仁的大力支持，在此表示衷心的感谢。同时，也感谢在编写过程中给予帮助和提供资料的各位同仁。由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者：浙江理工大学教师教育专业教研室
2012年9月

目 录

绪论	1
第 1 篇 力 学	
第 1 章 质点运动的基本规律	7
§ 1.1 几个基本概念	7
1.1.1 质点和质点系	7
1.1.2 参考系和坐标系	7
1.1.3 时间和空间	8
1.1.4 国际单位制和量纲	9
§ 1.2 描述质点运动的物理量	10
1.2.1 位矢	10
1.2.2 位移	10
1.2.3 速度	11
1.2.4 加速度	12
§ 1.3 描述质点运动的坐标系	13
1.3.1 直角坐标系	13
1.3.2 自然坐标系	15
1.3.3 质点运动学的两类基本问题	17
§ 1.4 圆周运动的角量描述	22
1.4.1 圆周运动的角量	22
1.4.2 线量和角量的关系	23
§ 1.5 相对运动	24
§ 1.6 牛顿运动定律及其应用	27
1.6.1 牛顿运动定律	27
1.6.2 力学中常见的三种力	29
1.6.3 牛顿运动定律的应用	31
1.6.4 惯性系和非惯性系	36
1.6.5 牛顿运动定律的适用范围	37
* § 1.7 非惯性系中的力学定律	38
1.7.1 加速平动参考系中的惯性力	38
1.7.2 匀速转动参考系中的惯性离心力	39

习题	41
第 2 章 守恒定律	46
§ 2.1 功与动能定理	46
2.1.1 变力做功	46
2.1.2 功率	48
2.1.3 质点的动能定理	49
2.1.4 质点系的动能定理	52
§ 2.2 保守力与势能	53
2.2.1 保守力和非保守力	53
2.2.2 势能	56
2.2.3 由势能求保守力	57
§ 2.3 功能定理与机械能守恒定律	58
2.3.1 功能定理	58
2.3.2 机械能守恒定律	60
§ 2.4 能量守恒定律	61
§ 2.5 动量定理与动量守恒定律	62
2.5.1 动量	62
2.5.2 质点的动量定理	62
2.5.3 质点系的动量定理	66
2.5.4 质点系的动量守恒定律	68
* 2.5.5 火箭飞行原理	70
* 2.5.6 碰撞	71
* § 2.6 质心与质心运动定理	74
2.6.1 质心	74
2.6.2 质心运动定理	76
§ 2.7 角动量定理与角动量守恒定律	79
2.7.1 质点的角动量	79
2.7.2 力对点的力矩	80
2.7.3 质点的角动量定理	80
2.7.4 质点的角动量守恒定律	81
§ 2.8 守恒定律的综合应用	82
2.8.1 守恒定律的意义	82
2.8.2 守恒定律综合应用基本方法	83
习题	86
第 3 章 刚体的定轴转动	92
§ 3.1 刚体运动的描述	92

3.1.1	刚体模型	92
3.1.2	刚体的平动和转动	92
3.1.3	刚体定轴转动的描述	93
§ 3.2	转动动能与转动惯量	95
3.2.1	转动动能	95
3.2.2	转动惯量的计算	96
§ 3.3	刚体定轴转动定律	99
3.3.1	力矩	99
3.3.2	转动定律	100
3.3.3	转动定律的应用	101
* § 3.4	刚体定轴转动中的功能关系	103
3.4.1	力矩做功	104
3.4.2	刚体定轴转动的动能定理	104
3.4.3	刚体的重力势能	105
3.4.4	含有刚体力学系统的机械能守恒定律	105
§ 3.5	刚体的角动量定理与角动量守恒定律	107
3.5.1	刚体对定轴的角动量	107
3.5.2	刚体定轴转动的角动量定理	108
3.5.3	刚体定轴转动的角动量守恒定律	108
	习题	111

第 2 篇 波 动 学

第 4 章	机械振动	119
§ 4.1	简谐振动	119
4.1.1	简谐振动的特征	119
4.1.2	简谐振动的速度和加速度	120
4.1.3	单摆和复摆	121
§ 4.2	描述简谐振动的物理量	122
4.2.1	振幅	122
4.2.2	周期	122
4.2.3	相位和初相	123
4.2.4	振幅和初相的确定	124
§ 4.3	简谐振动的旋转矢量法	127
§ 4.4	简谐振动的能量	131
§ 4.5	简谐振动的合成	134
4.5.1	两个同方向同频率简谐振动的合成	134

98	4.5.2 两个同方向不同频率简谐振动的合成	136
99	*4.5.3 两个相互垂直同频率简谐振动的合成	138
99	*4.5.4 两个相互垂直不同频率简谐振动的合成	140
99	§4.6 阻尼振动与受迫振动	141
99	4.6.1 阻尼振动	141
99	4.6.2 受迫振动	142
99	习题	144
	第5章 机械波	149
100	§5.1 机械波的产生与传播	149
101	5.1.1 机械波的产生	149
201	5.1.2 横波和纵波	150
301	5.1.3 波的几何描述	150
401	§5.2 描述波的物理量	151
201	5.2.1 波长	151
201	5.2.2 周期和频率	151
701	5.2.3 波速	151
501	§5.3 平面简谐波	153
801	5.3.1 平面简谐波的波动方程	153
801	5.3.2 平面简谐波的微分方程	155
111	§5.4 平面简谐波的能量	157
	5.4.1 波的能量	157
	5.4.2 波的能量密度	158
911	5.4.3 波的能量流和能流密度	159
911	§5.5 惠更斯原理及应用	160
911	5.5.1 惠更斯原理	160
1021	5.5.2 波的衍射	161
131	§5.6 波的叠加原理及应用	162
931	5.6.1 波的叠加原理	162
131	5.6.2 波的干涉	162
131	5.6.3 驻波	165
131	5.6.4 半波损失	167
131	*5.6.5 弦线上的驻波	167
151	§5.7 多普勒效应	170
17	习题	172
	第6章 波动光学	177
141	§6.1 几何光学简介	177

6.1.1	光线	177
6.1.2	光的反射和折射	178
6.1.3	透镜	180
§ 6.2	光波及其相干条件	181
6.2.1	光波	181
6.2.2	光的相干性	183
6.2.3	相干光的获得	185
§ 6.3	光程与光程差	186
6.3.1	光程	186
6.3.2	光程差	186
6.3.3	附加光程差	187
6.3.4	使用透镜不会引起附加的光程差	187
§ 6.4	光的干涉	188
6.4.1	杨氏双缝干涉	188
6.4.2	劳埃德镜实验	190
6.4.3	薄膜干涉	193
* 6.4.4	迈克耳孙干涉仪	201
§ 6.5	光的衍射	202
6.5.1	光的衍射现象及其分类	202
6.5.2	惠更斯-菲涅耳原理	204
6.5.3	单缝衍射	204
6.5.4	圆孔衍射	209
6.5.5	光栅衍射	211
* 6.5.6	X射线的衍射	216
§ 6.6	光的偏振	218
6.6.1	自然光和线偏振光	218
6.6.2	起偏和检偏	219
6.6.3	马吕斯定理	221
6.6.4	布儒斯特定律	222
* 6.6.5	双折射现象	224
习题		225

第 3 篇 热 学

第 7 章	气体动理论	233
§ 7.1	分子运动的基本概念	233
7.1.1	气体分子运动的实验基础	233

7.1.2	统计规律	235
§ 7.2	理想气体的物态方程	236
7.2.1	气体的状态参量	236
7.2.2	平衡态	237
7.2.3	热力学第零定律	238
7.2.4	理想气体的物态方程	238
§ 7.3	理想气体的压强公式	239
7.3.1	理想气体的微观模型和统计性假设	239
7.3.2	理想气体的压强公式	240
§ 7.4	理想气体的温度公式	242
§ 7.5	能量按自由度均分的统计规律	244
7.5.1	分子运动的自由度	244
7.5.2	能量均分定理	245
7.5.3	理想气体的内能	246
§ 7.6	气体分子速率分布的统计规律	247
7.6.1	速率分布函数	247
7.6.2	麦克斯韦速率分布律	248
7.6.3	麦克斯韦速率分布律的应用	250
* § 7.7	玻耳兹曼分布律	252
7.7.1	玻耳兹曼分布律	252
7.7.2	重力场中粒子按高度的分布	253
7.7.3	等温气压公式	253
§ 7.8	气体分子碰撞的统计规律	254
* § 7.9	真实气体的范德瓦耳斯方程	257
	习题	260
第 8 章	热力学基础	263
§ 8.1	热力学中的基本概念	263
8.1.1	准静态过程	263
8.1.2	内能	264
8.1.3	功	264
8.1.4	热量	265
§ 8.2	热力学第一定律	266
8.2.1	热力学第一定律的表述	266
8.2.2	热力学第一定律对理想气体的应用	267
§ 8.3	循环过程与卡诺循环	276
8.3.1	循环过程	276

8.3.2 卡诺循环	278
§ 8.4 热力学第二定律	282
8.4.1 可逆过程和不可逆过程	282
8.4.2 热力学第二定律的两种表述	283
§ 8.5 熵与熵增加原理	285
8.5.1 熵的引入	285
8.5.2 熵增加原理	288
§ 8.6 热力学第二定律的统计意义	290
8.6.1 热力学第二定律的微观意义	290
8.6.2 玻耳兹曼熵公式	292
习题	293
习题参考答案	298
附录 A 矢量	306
附录 B 常用基本物理常量	315
附录 C 本书中常用物理量的符号和单位	316
参考文献	319

绪 论

1. 物理学研究的对象

自然科学,包括物理学在内,是以认识物质世界的基本属性、研究物质运动的基本规律为对象的。所谓物质就是我们周围的客观实在。日月星辰、山川草木、飞禽走兽是物质,各种气体、液体、固体和组成物质的分子、原子、电子等实物也是物质,电场、磁场、重力场和引力场这些场还是物质。总的来说,我们周围的一切都是物质,整个自然界是由各式各样的物质组成的。一切物质都在永不停息地运动着,而宇宙间的一切现象都是物质运动的表现形式。

物理学研究物质运动最基本最普遍的形式,从宇宙天体到微观粒子,从接近于光速的高速运动到远小于光速的低速运动,从无生命的物体到有生命的世界,涉及范围极为广泛。但就基础物理而言,其内容分为以下五篇。

第 1 篇 力学——研究物体的机械运动的规律。

第 2 篇 波动学——研究宏观领域的振动和波动规律。

第 3 篇 热学——研究大量分子进行无规则运动所表现出来的热现象和热运动规律。

第 4 篇 电磁学——研究电磁相互作用和电磁场的运动的规律。

第 5 篇 近代物理学——研究高速运动的时空观和微观粒子内部结构及粒子之间相互作用的规律。

第 1 篇至第 4 篇通常称为经典物理,它们主要是 19 世纪以前的物理学成就,而第 5 篇是 20 世纪初以来物理学产生的革命性成就。

2. 物理学与科学技术的关系

由于物理学研究对象的普遍性和基本性,物理学与自然科学其他领域的结合越来越广泛、越来越密切,从而在物理学与其他自然科学之间形成了一系列分支学科和交叉学科,例如地球物理、海洋物理、生物物理、电工学、热工学、电子光学、固体力学、工程力学等。这些学科除了一些自身规律外,在很大程度上均需依赖物理学的理论来发展。因此,物理学是一切自然科学的基础。

物理学是伴随着人类的生存、生产活动一起发展起来的,物理学研究的重大突破,往往带来生产技术的飞跃发展。

18 世纪 60 年代,由于力学和热学的发展,蒸汽机和内燃机等得到改进和

推广，人类结束了单纯依靠人力和畜力做功的局面，掌握了向大自然索取能源的技能，借助自然能源，工业生产迅速发展。19世纪电磁学的研究成果，促进了电力的应用，电动机与电器的研究成果、无线电通信的实现，使人们学会了把其他形式的能量转化为电能和把电能转化为其他形式的能量，社会生产力由此而跃上新的台阶，世界面貌因此发生了深刻的变化。

进入20世纪以来，物理学的研究深入到物质结构的微观领域，量子理论的产生，使人类不仅可释放并获得核能，而且对固体和液体内部微观粒子的运动规律进行了成功的描述，从而为材料科学提供了理论依据，促使新材料、新器件、新能源、新的通信和控制手段如雨后春笋般地涌现；电子计算机的广泛应用，从根本上改变了工农业生产和科学研究的面貌。

3. 物理学的研究方法

物理学是一门实验科学，实验是物理学的根本，精确的、能够反复重复的实验决定物理学的一切，具有最高权威，而且对于未知领域的探求也主要是靠实验。自1901年以来的诺贝尔物理学奖大约70%颁给了物理实验或与实验有关的项目。实验是检验理论真理性的最终标准，当新发现的实验事实无情地违反旧的理论时，就促使新理论建立。

物理现象的规律和若干物理量之间的关系是以一定的原理、假设、定律和定理来反映的，其中原理是指在自然科学的某一领域中具有普遍意义的、最基本的、可以作为其他规律的基础规律，它实际上是人们在大量实践的基础上提出来的，其正确性要通过由它所导出的其他结论与实验事实是否一致来检验。自然科学的各个学科领域都是从基本原理出发，推演出各种具体的定理、命题、结论等，由此形成了各自的学科体系。例如爱因斯坦的狭义相对论就是建立在“光速不变原理”和“相对性原理”之上的，由此出发导出了物体在高速运动情况下的运动规律及动力学结论。定律则是通过大量实验事实归纳概括而成的客观规律（如库仑定律、牛顿运动定律等）。从基本定律出发，也可以推演出有关的物理定理及结论，例如从牛顿运动定律出发，导出了动能定理、动量定理、角动量定理等。定理则是根据原理或定律应用数学的方法推导出来的理论结论。当新事实与物理理论不相符合时，常用假设去说明。假设是在一定的观察、实验的基础上对自然现象本质提出的说明方案，其正确与否尚需进一步的实验和观察来验证。如果实验与观察证明它是正确的，这种假设便可上升为真理；如果证实它只有部分正确，则应予以修正；如果证实这种假设完全不对，则应予以否认。例如在一定实验基础上提出来的物质结构的分子假设因为能够解释物质在气、液、固各态的许多现象，就发展成为一套完整的分子运动理论的一部分。如果没有物质结构的分子假设，分子运动理论也就不会出现。

真实的物理世界是非常复杂的. 为分析问题的方便常常提出理想模型, 它以研究对象为依据, 突出主要矛盾, 忽略次要因素, 从中得出现象或过程的基本规律. 实践证明, 这种在一定条件下把研究对象抽象化为某种理想模型的方法是一种重要的科学研究方法, 不这样做, 我们甚至连最简单的现象也会感到难以处理甚至束手无策. 实际上, 物理学的全部原理、定律都是对一定的理想模型行为的刻画, 可以毫不夸张地说, 没有理想模型就没有物理学.

基础物理学中常见的理想模型主要有质点、刚体、弹性体、理想气体、弹簧振子、点电荷、薄透镜、点光源、绝对黑体等.

测量是各个学科的基础. 整个科学都是建立在少数几个基本定律的基础之上的, 而这些定律又是从科学实验的测量结果中推论出来的. 因此, 只有可以测量的物理量才有实际意义, 正如海森伯所说: “物理学只讨论一些可以测量的物理量.”

在基础物理学中, 物理量大致可分为两类. 一类是标量. 这类物理量还可以分成两种, 一种只具有正值, 如质量、速率、动能和频率等; 另一种则既有正值, 也有负值, 如电流、电动势、功和电荷量等. 标量的计算遵从代数运算法则. 另一类是矢量. 这类物理量不仅有大小的不同, 还有方向的差异, 如力、位移、电场强度和电流密度等. 矢量的计算遵从平行四边形法则.

4. 努力学好大学物理学

大学物理学是理工科院校的一门十分重要的基础理论课, 是很多专业学生学习本专业后续课程的前置课程, 其丰富的研究方法和研究思想对整个自然科学的研究均有普遍的意义. 因此学好大学物理学不仅对学习后续课程十分必要, 而且对今后学习其他新科学、新技术、新材料、新工艺也都很有帮助.

大学物理学属于高层次的科学, 其广度和深度以及处理问题的方法与中学物理有很大的差别. 作为大学理工科的学生, 学习大学物理时, 首先要注重课程内容的内在联系, 扎扎实实学好基本理论和基本知识, 这包括正确理解理想模型的建立过程及其具体意义, 弄清定理和定律的条件和适用范围, 对书中的概念、定律、公式含义能用自己的语言表达出来, 对书中主要公式的推导、定理的证明能自己独立进行, 深思熟虑地独立完成作业. 其次要注重思维模式的转变. 在中学阶段, 物理课程内容限定在常量问题的范围内(例如匀速运动、匀变速运动、恒力作用下的动力学问题等), 数学运算多为代数运算, 然而大学物理所涉及的问题却是复杂的变量问题. 数学运算则为矢量和微积分. 因此, 在学习大学物理时必须跳出常量思维定式的圈子, 建立变量思维的方法, 充分运用图表、图线、示意图等有用工具求解有关问题.

牛顿，英国物理学家、数学家、天文学家、经典物理学的奠基人之一，他总结了前人和自己关于力学方面的研究成果，撰写了《自然哲学的数学原理》这部科学巨著，其中含有牛顿运动三大定律和万有引力定律，以及质量、动量、力和加速度等概念。他还提出了光的微粒说。



(1643—1727)

第 1 篇 力 学

力学是物理学中最古老和发展最为完善的学科。物理学的建立就是从力学开始的。力学的基本原理乃是整个物理学的重要基础，渗透于物理学的方方面面。力学研究机械运动的描述、规律和成因。物体与物体之间，或物体各部分之间相对位置随时间的变化称为机械运动。如各种机器的运动、弹簧的伸长与压缩、河水及空气的流动、心脏的跳动等都是机械运动。

力学理论的建立与发展经历了漫长的时期，它起源于公元前 4 世纪古希腊学者亚里士多德关于力产生运动的说法。17 世纪，伽利略论述了惯性运动。而后，牛顿又提出了力学的三大定律，解决了大量的实际问题，使力学理论的发展达到了前所未有的水平，人们常把以牛顿三大运动定律为基础的力学理论称为经典力学（或称为牛顿力学）。

尽管力学很古老，但在科学研究及工程技术领域，如机械工程、水利工程、抗震工程、航空、航海与航天工程以及天体的运动等，经典力学都是必不可少的基础理论。

20 世纪初，人们发现了经典力学对高速运动及微观领域不成立，于是产生了相对论及量子力学。虽然相对论及量子力学处理问题的思维及方法与经典力学存在很大差异，但是，它们的许多概念和思想都是在经典力学概念和思想上发展与改造而得来的。因此，学好经典力学对更好地学习相对论及量子力学是大有裨益的。

本篇介绍经典力学的基础，包括质点力学和部分刚体力学的内容。