

大学物理导论

——物理学的理论与方法、
历史与前沿

(上册)

向义和 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是部内容丰富、独具特色的导论性的大学物理教材。全书分上、下两册。上册包括力学与相对论,气体动理论与热力学。下册包括电磁学,光学,原子与原子核物理学。书中叙述了物理概念的形成、发展、演变过程,具体、深入地揭示了物理概念的内涵。在阐述物理学的基本原理和基本定律时,还介绍了这些理论建立的过程,在重大物理发现中物理学家探索的历程,分析了他们的研究思路、创造性工作特点以及所用的研究方法。本书在保持经典物理知识体系相对完整的同时,还介绍了物理学的新进展和前沿物理中的新知识,例如守恒定律与对称性,混沌与牛顿力学的内在随机性,广义相对论与近代宇宙论,熵与信息及遗传,耗散结构以及原子核和基本粒子等等。

本书宜作为经济管理、人文社科、师范、农医等有关学科的本科生的物理教材,也可供理科的非物理专业和工科有关专业选用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理导论:物理学的理论与方法、历史与前沿(上册)/向义和编著.
—北京:清华大学出版社,1999.1

ISBN 7-302-03224-6

.大... .向... .物理学 .04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 34932 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研楼,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京市清华园胶印厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本: 850×1168 1/32 印张: 17.125 字数: 441 千字

版 次: 1999 年 2 月第 1 版 2000 年 7 月第 2 次印刷

书 号: ISBN 7-302-03224-6 / O·204

印 数: 5001 ~ 8000

定 价: 19.80 元

前 言

物理学的发展促进了其它自然科学的发展,推动了高新技术的广泛应用,极大地改变了当代社会经济的面貌。为了适应新世纪对人才在科技知识、创新能力和全面素质方面的要求,1995年清华大学为经济管理学院和人文社会科学学院的学生开设了《大学物理导论》课程。经过四年来的教学实践,编者对教材进一步加以修改和充实,使其具有更广阔的适用范围。本书宜作为经济管理、人文社科、师范和农医等有关学科的物理教材,也可供理科的非物理专业和工科有关专业选用。

本书对传统的物理教材有较大的改进:它将理论知识与科学思维融于一体;历史的叙述与逻辑的阐述和论证相结合;既立足于基础而又眼于前沿。编者期望通过学习本书,能够帮助读者不仅学到物理学知识,而且还学到物理学的思想方法。因此,本书在保持物理知识体系相对完整的前提下,删节了大量仅具有技术性意义的内容,增添了近代物理学和物理思想发展史内容。

本书分上、下两册。上册包括力学与相对论,气体动理论与热力学。下册包括电磁学,光学,原子与原子核物理学。在各部分中加强了对物理学基本概念、基本原理和基本定律的解释与阐述,介绍了物理理论的建立、物理概念的形成和重大物理发现的过程以及物理学的新进展和前沿物理中的新知识。在推导物理学的基本公式时力求简练,避免烦琐的数学运算。为了使学生加深对物理学基本概念的理解,熟悉物理学的工作语言和描述方法,提高他们分析问题和解决问题的能力,在各章后都有适当的思考题和习题。

具体讲来,本书的取材与编写具有以下几个特点:

1. 用历史的方法揭示物理概念的内涵

本书力求从物理实验事实和物理发展史实出发,具体地引入物理概念,并深入地揭示物理概念的内涵。例如,时间与空间的概念,惯性与质量的概念,能量与熵的概念,场与真空的概念,感生电场与位移电流的概念,量子与波粒二象性的概念等等。使读者了解物理概念的形成、发展、演变过程,对物理概念的来龙去脉以及它们之间的相互联系,有较为深入和全面的理解。特别是通过介绍历史上一系列不同物理学说之争,例如,力学中两种量度之争,电学中超距作用和近距作用之争,热学中热的运动说和热质论之争,光学中波动说和粒子说之争,近代物理中在对波函数的物理解释上爱因斯坦与哥本哈根学派之争等等,可使读者有身临其境的参与感,而且从正反两方面的对比中更能加深对概念的理解,有利于从理性思维的高度把握本门学科的发展。

2. 坚持课程内容现代化的方向

加强近代物理是本书的又一特点,书中将相对论、量子论的基本原理和基本概念以及近代物理在高新技术和交叉学科中的应用纳入普通物理教学,同时用现代物理观念来审视经典物理内容。本书对物理学的前沿进展做了适当的介绍,例如,牛顿力学的内在随机性与混沌概念,守恒定律与对称性,广义相对论与近代宇宙论,熵与信息,耗散结构,以及原子核和基本粒子等等。使读者了解相对论的时空观,近代的宇宙观,大自然的复杂性,以及人们对物质结构深入认识的情况,有助于培养辩证唯物主义的哲学思想,树立科学的世界观。

3. 突出物理思想和物理方法论的教育

本书注意分析物理学中基本学术思想发展的历史脉络,尽可能切实地反映物理思想发展中的各个里程碑阶段,揭示科学发展的历史规律。在科学方法的训练上,除了通常的逻辑方法以及来源于原理概念的基本方法外,还特别注意介绍科学家独特的、创造

性的思维方法。本书将物理学史上一系列重大发现作为“案例”进行了剖析,例如,伽利略对落体运动的研究,开普勒定律的发现,牛顿万有引力定律的建立,爱因斯坦狭义相对论的建立,法拉第电磁感应定律的发现,麦克斯韦电磁场理论的建立,普朗克常量的发现,玻尔原子的起源,德布罗意波地发现,中子和其它基本粒子的发现,以及核裂变和弱相互作用中宇称不守恒的发现等等。通过介绍物理学家探索的历程,分析他们的研究思路,创造性工作特点以及所用的研究方法,使读者清楚地看到,科学发现的历程并不是一帆风顺的,它所经历的是一条非常曲折、非常艰难的道路,并从中吸取科学家们成功的经验和失败的教训,获得科学方法论的教益与启迪,进而培养探索精神、创新意识和创造性的思维能力。

4. 把物理学作为人类文化的一部分来介绍

物理学是人类文化的一个重要组成部分。书中特别介绍了中国古代在物理学上的成就,对世界经济和文化曾经产生过的深远影响。还介绍了近代物理学革命发生的社会历史条件和思想文化背景,以及物理学革命对观念变革、科技革新和社会进步带来的影响,从而正确认识科学与生产技术的关系,深刻理解“科学技术是第一生产力”。

本书的知识结构可分为三部分:历史背景知识;经典物理知识;近代物理知识。为了在有效的时间内有效地使用本教材,编者建议,历史背景知识可以作为学生自学内容。理论知识部分也不必全讲,教师可以根据专业的需要和学生的情况,有选择地进行讲授。

为了配合本书的教学,编者还编写了一本《大学物理导论学习辅导》,它包括每章的内容提要,基本要求“思考题选答”和“习题求解”四个部分。我们希望通过这些来发挥学生学习的主动性和帮助他们进行自我检查。

本书融会了本人多年来从事物理教学与物理学史研究的成

果,又同时借鉴了国内外物理教材,吸取了国内学者研究中国物理学史的成果以及我的师长和同事们丰富的教学经验,编者在此对他们表示衷心的感谢。

向义和
1998年10月

目 录

绪论 物理学的作用与意义	17
0.1 物理学是自然科学的带头学科	17
0.2 物理学是现代技术革命的先导	19
0.3 物理学是科学的世界观和方法论的基础	22

第 1 篇 力学

第 1 章 质点运动学	1
1.1 力学的起源	1
1.1.1 力学的研究对象	1
1.1.2 中国古代力学的成就	2
1.1.3 古希腊时期的力学成就	6
1.1.4 近代力学的开端	9
1.2 空间和时间的计量	13
1.2.1 长度的计量	13
1.2.2 时间的计量	14
1.3 物质世界的层次和数量级	15
1.3.1 空间尺度	15
1.3.2 时间尺度	17
1.4 参考系 质点	18
1.4.1 参考系	18
1.4.2 坐标系	20
1.4.3 质点	20
1.5 速度 加速度	21

1 5 1	质点的位置矢量	21
1 5 2	位移	22
1 5 3	速度	23
1 5 4	加速度	24
1 6	直线运动.....	26
1 6 1	匀加速直线运动	26
1 6 2	“落体佯谬”	29
1 6 3	伽利略对自由落体运动的研究	30
1 6 4	伽利略的科学思想方法	34
1 7	曲线运动.....	36
1 7 1	抛体运动	36
1 7 2	圆周运动	39
1 8	相对运动.....	44
1 9	行星运动：托勒密与哥白尼之争	47
1 9 1	天体的视运动	47
1 9 2	托勒密的本轮-均轮模型	49
1 9 3	哥白尼对行星视运动的解释	51
	思考题	55
	习题	57
第 2 章	牛顿运动定律	62
2 1	牛顿力学体系的形成.....	62
2 1 1	伽利略的惯性原理	62
2 1 2	笛卡儿的力学原理	63
2 1 3	惠更斯对碰撞和摆的研究	65
2 1 4	牛顿的《自然哲学的数学原理》的问世	67
2 2	牛顿第一定律 惯性参考系.....	69
2 2 1	惯性定律	69
2 2 2	惯性参考系	69

2.3	牛顿第二定律 力和质量的概念.....	72
2.3.1	牛顿第二定律的表述	72
2.3.2	力的叠加原理	72
2.3.3	力的概念	73
2.3.4	质量的概念	74
2.4	牛顿第三定律.....	76
2.5	单位制和量纲.....	78
2.5.1	单位制 基本单位和导出单位	78
2.5.2	量纲	78
2.6	牛顿定律的应用.....	79
2.6.1	自然界中常见的力	79
2.6.2	应用举例	82
2.7	非惯性系 惯性力.....	86
2.7.1	非惯性系中的力学定律	86
2.7.2	惯性离心力	88
2.8	伽利略相对性原理和坐标变换.....	91
2.8.1	伽利略相对性原理	91
2.8.2	伽利略变换式	92
2.9	牛顿绝对时空概念的局限和惯性的起源.....	94
	思考题	97
	习题.....	100
第3章	万有引力.....	106
3.1	开普勒定律的发现	106
3.1.1	开普勒的行星轨道模型.....	106
3.1.2	等面积定律的确立.....	109
3.1.3	椭圆轨道的发现.....	113
3.1.4	和谐定律的提出.....	115
3.1.5	开普勒的科学思想方法.....	116

3.2	万有引力定律的建立	118
3.2.1	引力平方反比律的发现.....	118
3.2.2	引力平方反比律的地月验证.....	121
3.2.3	在椭圆轨道上运动物体所受的引力.....	123
3.2.4	球体引力问题的解决,引力普适性 概念的确立.....	126
3.3	引力定律的应用和验证	129
3.3.1	对潮汐现象的解释.....	129
3.3.2	引力常数与天体质量.....	133
3.3.3	海王星的发现.....	135
3.4	牛顿的科学思想方法	138
	思考题.....	143
	习题.....	144
第4章	动量与角动量.....	147
4.1	动量定理	147
4.1.1	动量与动量定理.....	147
4.1.2	冲量.....	149
4.2	动量守恒定律	151
4.2.1	质点系的动量定理.....	151
4.2.2	动量守恒定律.....	152
4.2.3	火箭飞行原理.....	155
4.3	质点的角动量与角动量守恒定律	158
4.3.1	质点的角动量.....	158
4.3.2	力矩与角动量定理.....	160
4.3.3	角动量守恒定律.....	162
	思考题.....	164
	习题.....	165
第5章	功和能.....	168

5.1	历史上两种量度之争	168
5.2	功 动能	172
5.2.1	功.....	172
5.2.2	动能 动能定理.....	174
5.3	保守力 势能	178
5.3.1	保守力的功.....	178
5.3.2	势能.....	181
5.4	功能原理 机械能守恒定律	182
5.4.1	质点系的动能定理.....	182
5.4.2	功能原理.....	183
5.4.3	机械能守恒定律.....	185
5.4.4	三种宇宙速度.....	187
	思考题.....	190
	习题.....	193
第6章	振动与波动.....	200
6.1	简谐振动的描述	201
6.1.1	简谐振动的表达式.....	201
6.1.2	相与相差.....	203
6.1.3	简谐振动的矢量图表示法.....	206
6.2	阻尼振动和受迫振动	210
6.2.1	阻尼振动.....	210
6.2.2	受迫振动 共振.....	212
6.3	同频率的简谐振动的合成	214
6.3.1	同方向、同频率的简谐振动的合成	215
6.3.2	相互垂直的同频率的简谐振动的合成.....	217
6.4	波的传播和波的描述	219
6.4.1	机械波产生的条件.....	219
6.4.2	波动过程的特征.....	220

6 4 3	描述波传播的几个物理量.....	222
6 4 4	平面简谐波的表达式.....	223
6 5	波的干涉 驻波	226
6 5 1	叠加原理.....	226
6 5 2	波的干涉.....	227
6 5 3	驻波.....	229
	思考题.....	233
	习题.....	234
第 7 章	力学的新进展.....	239
7.1	守恒定律与对称性	239
7.1.1	什么是对称性?	239
7.1.2	物理定律的对称性.....	241
7.1.3	空间均匀性与动量守恒.....	242
7.1.4	空间各向同性与角动量守恒.....	243
7.1.5	时间均匀性与机械能守恒.....	243
7.2	混沌与牛顿力学的内在随机性	245
7.2.1	混沌现象举例.....	246
7.2.2	吸引子.....	251
7.2.3	倍周期分岔.....	259
7.2.4	费根鲍姆数.....	263
	思考题.....	266
第 8 章	相对论.....	267
8.1	狭义相对论的建立	268
8.1.1	物理思想史背景.....	268
8.1.2	爱因斯坦相对论思想发展的线索.....	276
8.1.3	狭义相对论原理和变换方程的提出.....	284
8.2	时间膨胀和长度缩短	288
8.2.1	同时性的相对性.....	288

8 2 2	时间膨胀.....	290
8 2 3	长度缩短.....	293
8 3	洛伦兹变换和速度变换	296
8 3 1	洛伦兹变换公式.....	296
8 3 2	速度变换.....	299
8 4	相对论质量、动能和能量.....	302
8 4 1	质量与速度的关系.....	302
8 4 2	相对论动能.....	305
8 4 3	质能关系.....	306
8 4 4	能量和动量的关系.....	308
8 5	广义相对论与近代宇宙论简介	309
8 5 1	引力质量与惯性质量的等同性.....	310
8 5 2	等效原理.....	312
8 5 3	广义相对性原理和马赫原理.....	314
8 5 4	光线的引力偏折.....	317
8 5 5	引力时间延缓.....	318
8 5 6	弯曲的时空.....	321
8 5 7	膨胀的宇宙.....	326
8 6	爱因斯坦的科学思想方法	332
	思考题.....	336
	习题.....	337

第 2 篇 热学

第 9 章	气体动理论.....	341
9 1	热学的起源	341
9 1 1	热学的研究对象.....	341
9 1 2	中国古代热学的成就.....	342
9 1 3	近代热学的开端.....	345

9.1.4	对热的本性的认识.....	348
9.2	平衡态 温度 状态方程	352
9.2.1	平衡态 状态参量.....	352
9.2.2	温度.....	355
9.2.3	理想气体的状态方程.....	356
9.3	理想气体的压强与温度	358
9.3.1	克劳修斯对理想气体压强公式的推导.....	358
9.3.2	温度的微观意义.....	361
9.4	能量按自由度均分定理	363
9.4.1	自由度.....	363
9.4.2	能量均分定理.....	364
9.4.3	理想气体的内能.....	366
9.5	麦克斯韦速率分布律	367
9.5.1	速率分布函数.....	367
9.5.2	麦克斯韦速率分布律的建立.....	368
9.5.3	麦克斯韦速率分布曲线.....	373
9.6	玻耳兹曼分布律	376
9.6.1	玻耳兹曼分布律.....	377
9.6.2	重力场中粒子按高度的分布.....	379
9.7	气体分子的平均自由程	380
9.7.1	平均碰撞频率.....	380
9.7.2	平均自由程.....	382
9.8	气体内的输运过程	383
9.8.1	热传导.....	384
9.8.2	扩散.....	386
9.8.3	内摩擦.....	388
	思考题.....	390
	习题.....	392

第 10 章	热力学第一定律	396
10.1	能量守恒定律的发现.....	396
10.1.1	各种运动形式相互转化的发现.....	396
10.1.2	迈耶、焦耳和亥姆霍兹的贡献	398
10.1.3	能量原理的确立.....	404
10.2	准静态过程的功.....	406
10.2.1	准静态过程.....	406
10.2.2	功.....	407
10.3	热量 热力学第一定律.....	409
10.3.1	热量.....	409
10.3.2	内能.....	411
10.3.3	热力学第一定律.....	411
10.4	热容.....	413
10.4.1	热容的定义.....	413
10.4.2	理想气体的热容.....	414
10.5	绝热过程.....	416
10.5.1	准静态绝热过程.....	416
10.5.2	绝热自由膨胀.....	418
10.6	循环过程.....	420
10.6.1	循环过程的特征.....	420
10.6.2	热机循环和热机效率.....	420
10.6.3	致冷机循环和致冷系数.....	421
10.7	卡诺循环.....	422
10.7.1	卡诺关于热的动力的思考.....	422
10.7.2	卡诺热机循环的效率.....	424
10.7.3	卡诺致冷循环.....	427
	思考题.....	428
	习题.....	430

第 11 章	热力学第二定律	435
11.1	热力学第二定律的两种表述	435
11.1.1	开尔文表述	435
11.1.2	克劳修斯表述	436
11.2	自然过程的方向性	437
11.2.1	自然过程的方向	437
11.2.2	不可逆性的相互关联	439
11.2.3	自然过程方向性的微观意义	440
11.3	可逆过程 卡诺定理	442
11.3.1	可逆过程	442
11.3.2	卡诺定理	443
11.4	熵的概念及其计算	446
11.4.1	热变换的等效值	446
11.4.2	克劳修斯等式	448
11.4.3	态函数熵	450
11.4.4	熵的计算	452
11.5	熵增加原理	455
11.5.1	克劳修斯对熵增加原理的证明	455
11.5.2	熵增加原理举例	457
11.6	熵与热力学概率	459
11.7	熵与“热寂”	462
	思考题	466
	习题	468
第 12 章	热学的新进展	471
12.1	熵与信息	471
12.1.1	麦克斯韦妖的启示	471
12.1.2	信息	474
12.1.3	信息量	475

12.1.4	熵与信息.....	478
12.1.5	遗传与信息.....	480
12.2	耗散结构.....	484
12.2.1	两类有序结构.....	484
12.2.2	自组织现象.....	485
12.2.3	近平衡态系统的熵变及其稳定性.....	492
12.2.4	远离平衡态系统的分支现象.....	497
12.2.5	通过涨落达到有序.....	501
	思考题.....	503
	习题答案.....	505
	参考书目.....	514
	附表.....	515
附表 1	基本物理常量	515
附表 2	有关地球、月球、太阳的数据	516
附表 3	国际单位制词头	517