

新锐丛书

21世纪高等学校教材

# 大学物理学

DAXUE WULIXUE (上)

主 编 汪晓元

复旦大学出版社

新锐丛书

21 世纪高等学校教材

# 大学物理学

(上)

主编 汪晓元

復旦大學出版社

## 内 容 简 介

本书是根据教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的精神,结合当前高等学校大学物理课程教学改革实际情况和多年教学经验而编写的.全书分上、下两册,上册:力学(含相对论)、机械振动与机械波和热学;下册:电磁学、光学和量子物理基础.与之配套的还有《大学物理学(学习指导)》.两者既可彼此独立,又可相互配套使用.本书对于大学物理课程内容与体系做了一些改革尝试,即精选经典内容,拓宽知识面,反映科技与物理学相关的新技术、新成果及其应用与发展,同时尽量使教材符合教学实际情况,篇幅适中,难度适宜.

本书可作为各类高等学校工科各专业或理科非物理专业的大学物理课程的教材或参考书,也可供文科专业选用.

## 序

物理学是研究物质的组成、性质、运动和相互作用,并以此阐明物质运动规律的科学.它是自然科学中最重要的基础学科之一.物理学的基本概念、方法和知识已被应用到所有的自然科学领域,因此,大学物理是一门不可替代的基础课.

大学生培养从应试教育向素质教育的转变,对大学物理课程提出了新的要求;在传授物理知识的同时,应特别注重向学生传授有关物理学的研究方法和思维方式,以提高学生的科学素质.

物理学内容广泛,难度不一.作为一名理工科大学生,学习大学物理的时间和精力有限,要想在较短的时间内掌握尽可能多的物理知识,选择一本好的教材尤为重要.

这套教材将传统编写思路发扬光大,兼顾了科学发现的历史顺序和科学本身的逻辑关系.教材由浅入深地讲述了物理学基本概念,形象地描绘了物理模型,适当地介绍了物理学在其他学科和新技术领域的应用,特别是用普通物理的语言讲述了近代物理的内容,使得整套教材的可接受性突出;教材淡化了复杂的数学运算,突出了物理概念的重要性.全套教材的编写紧扣教学大纲,密切联系理工科专业大学物理教学的实际,富有创意和特色.教材选材合理,理论严谨,内容深入浅出,语言通俗易懂,很适合于理工科及文科背景的大学生阅读.

参加本书编写的教师多年来一直从事大学物理教学工作,有着丰富的教学经验,对大学物理课程教学有深刻的认识.该套教材凝聚了编者多年的心血,是一本难得的好书.

本人有感于他们对物理教材建设和大学物理教育所作的努力和贡献,特为之序.



于复旦大学

# 引 言

编写一本既符合教学改革的精神,又适合目前我国高等教育实际的大学物理课程的教材,一直被高校的广大物理教师所关注,这是一项具有非常重要意义的工作.由于近一个世纪以来物理学的发展及其与物理学紧密联系的新技术的出现和广泛应用,使得这项工作变得不容易,甚至比较复杂.许多从事物理教学工作的教师在这方面做了许多有益的尝试和探索,取得了一些成果和经验.我们编写的这套《大学物理学》就是从物理课程教学改革的需要和教学实际情况出发所做的一种尝试和探索.

本套书根据“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的精神,借鉴国内外关于教材建设与改革的经验,结合多年来我们的教学实践编写成的.它包括了工科大学物理课程指导委员会制订的教学基本要求的全部内容,同时,适度介绍了近代物理的知识以及新技术的物理基础.力图使这套书成为既满足各个层次大学物理课程教学及改革的实际需要,又符合高校实际情况,具备鲜明特色的好教材.本教材主要有以下特点:

1. **精选经典内容,构建教材新体系.**力学部分,省略了高中阶段已经掌握的知识,如直线运动、抛体运动、物体碰撞,主要介绍运动学描述方法及运动定律、定理和守恒定律等,与中学阶段的力学体系既有联系但又完全不同.同时把相对论纳入力学部分,使之与经典的时空概念形成鲜明的对照,有助于学生理解掌握.

2. **力求内容现代化.**教材中除讲述相对论和量子物理等近代物理内容外,还介绍了许多当前新技术中的基础物理原理,包括熵、全息、光纤通信、激光、超导、能带理论、纳米科学.在通篇教材中,加大了现代化内容的比重,使学生能接触到更多新的物理知识和概念,对提高学生学习的物理的兴趣,培养学生的探索精神有益处.

3. **力求内容精炼、综合.**抓住主要内容,去粗取精,突出物理学中的重要定律与定理,从物理学发展的过程和教学实际情况的两个方面组织教学内容,精选例题、习题,用基本的、通俗的方法讲述物理内容.力求既满足广大师生的教学需要,又能激发学生的学习兴趣和培养学生的创新能力.

4. **适度开“窗口”,重视科学素质培养.**在现代物理部分大胆地“渗透”一些

科技前沿信息,并介绍了非线性物理的一些内容和概念.有些内容对学生学习可能有一定困难,但让学生尽早了解这些内容,有益于激发和培养学生的求知欲望和独立思考能力,提高学生的科学素质.

全套书由武汉理工大学汪晓元教授主编,参加讨论和编写的有赵明、陈德彝、廖红、邓伟明、雷杰、罗来龙、赵黎、黄学洪、杨应平、刘想宁、陈清明、张甫宽等.邓伟明编写质点运动学和原子核物理部分,刘想宁编写质点动力学,罗来龙编写角动量与刚体部分,廖红编写机械振动和机械波,陈德彝编写热学,赵黎编写静电学,雷杰编写相对论和稳恒电流,汪晓元编写稳恒磁场及磁介质,黄学洪编写电磁感应和电磁波,赵明编写光学,杨应平编写量子物理基础,陈清明编写量子物理基础的部分内容及工程新技术的物理基础.《大学物理学(学习指导)》的相关部分仍由以上教师负责分工编写.全套书由汪晓元负责统稿和定稿.在编写的过程中,参加编写的教师们付出了大量的辛勤劳动,同时得到了许多同行们很好的建议及出版社等方面的大力支持和帮助.复旦大学钱列加教授审查了本书并为本书作序.在此一并表示真诚的感谢.

由于编者水平有限,错误及不妥之处在所难免,请广大师生批评指正,以便今后逐步完善和提高.

编者

2006年3月

# 目 录

## (上 册)

绪论	1
----	---

### 第一篇 力学

<b>第 1 章 运动的描述</b>	4
1.1 参考系 坐标系 物理模型	4
1.1.1 参考系	4
1.1.2 坐标系	5
1.1.3 物理模型	5
1.2 描述运动的物理量	8
1.2.1 位矢和运动方程	8
1.2.2 位移和速度	8
1.2.3 加速度	10
1.3 坐标系的运用	11
1.3.1 直角坐标系	11
1.3.2 自然坐标系	14
1.4 两类运动学问题	17
1.5 相对运动	23
思考题	26
习题 1	26
<b>第 2 章 牛顿运动定律</b>	28
2.1 牛顿运动定律及其应用	28
2.1.1 牛顿运动定律的表述	28
2.1.2 牛顿运动定律的应用	30
2.2 惯性系 非惯性系与惯性力	34
2.3 SI 中的单位和量纲	37

思考题 .....	38
习题 2 .....	39
<b>第 3 章 动量 动量定理 .....</b>	<b>43</b>
3.1 动量 冲量 动量定理 .....	43
3.2 质点系的动量定理 动量守恒定律 .....	45
3.3 变质量问题(火箭) .....	48
思考题 .....	52
习题 3 .....	53
<b>第 4 章 功和能及功能原理 .....</b>	<b>57</b>
4.1 功 动能定理 .....	57
4.1.1 功与功率 .....	57
4.1.2 动能定理 .....	60
4.2 保守力及保守力的功 .....	62
4.2.1 重力的功 .....	62
4.2.2 弹性力的功 .....	62
4.2.3 万有引力的功 .....	63
4.3 势能 势能曲线 势能梯度 .....	64
4.3.1 势能 .....	64
4.3.2 势能曲线与势能梯度 .....	66
4.4 功能原理 机械能守恒定律 .....	67
4.4.1 功能原理 .....	67
4.4.2 机械能守恒定律 .....	68
思考题 .....	70
习题 4 .....	71
<b>第 5 章 角动量与角动量定理 .....</b>	<b>76</b>
5.1 质点的角动量定理 .....	76
5.1.1 力矩 .....	76
5.1.2 质点的角动量 .....	77
5.1.3 质点的角动量定理 .....	79
5.2 质点的角动量守恒定律 .....	79
思考题 .....	81
习题 5 .....	82
<b>第 6 章 刚体的定轴转动 .....</b>	<b>84</b>



6.1 刚体定轴转动的角动量	84
6.1.1 刚体的运动	84
6.1.2 刚体定轴转动的角动量	87
6.1.3 刚体对固定轴的转动惯量	88
6.2 刚体定轴转动定律	91
6.2.1 刚体定轴转动定律	91
6.2.2 定轴转动中的功和能	93
6.3 对定轴的角动量守恒	96
6.3.1 对定轴的角动量定理	96
6.3.2 对定轴的角动量守恒	97
6.4 守恒律与对称性	100
6.4.1 对称性与对称操作	100
6.4.2 对称性与守恒律	101
6.4.3 对称破缺	104
思考题	105
习题 6	106
<b>第 7 章 相对论</b>	<b>109</b>
7.1 力学相对性原理 伽利略变换	109
7.1.1 力学相对性原理	109
7.1.2 伽利略变换	110
7.2 狭义相对论产生的实验基础和历史条件	113
7.2.1 产生根源	113
7.2.2 实验基础和历史条件	114
7.3 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	117
7.3.1 狭义相对论的基本原理	117
7.3.2 洛伦兹变换	117
7.4 狭义相对论时空观	122
7.4.1 同时的相对性	123
7.4.2 长度收缩	124
7.4.3 时间延缓	126
7.4.4 因果律	128
7.5 相对论的动力学	129
7.5.1 相对论质速关系	129

7.5.2	相对论动力学的基本方程	131
7.5.3	相对论动能	132
7.5.4	静能、总能和质能关系	133
7.5.5	能量和动量的关系	135
* 7.6	动力学量的变换	135
7.6.1	质量变换式	135
7.6.2	动量-能量变换式	136
7.6.3	力的变换公式	137
* 7.7	广义相对论简介	139
7.7.1	广义相对论的两条基本原理	139
7.7.2	广义相对论的重要结论	141
思考题		145
习题7		146

## 第二篇 机械振动与机械波

第8章	机械振动	148
8.1	简谐振动	148
8.1.1	简谐振动	149
8.1.2	描述简谐振动的特征量	150
8.1.3	旋转矢量法	153
8.1.4	简谐振动的实例	155
8.1.5	简谐振动的能量	158
8.2	简谐振动的合成	159
8.2.1	两个同方向同频率简谐振动的合成	159
8.2.2	两个同方向不同频率简谐振动的合成	162
8.2.3	相互垂直的简谐振动的合成	163
8.3	阻尼振动 受迫振动 共振	166
8.3.1	阻尼振动	166
8.3.2	受迫振动 共振	167
* 8.4	振动的分解	169
* 8.5	非线性振动简介	170
思考题		171
习题8		172

<b>第 9 章 机械波</b> .....	177
9.1 机械波的产生和传播 .....	177
9.1.1 机械波的形成 .....	177
9.1.2 描述波动的物理量.....	178
9.2 平面简谐波的波动方程 .....	182
9.3 波的能量 .....	186
9.3.1 波的能量和能量密度 .....	186
9.3.2 波的能流和能流密度 .....	187
9.3.3 波的吸收 .....	189
9.4 波的衍射 干涉 .....	189
9.4.1 惠更斯原理 波的衍射 .....	189
9.4.2 波的叠加原理 波的干涉 .....	191
9.5 驻波 .....	193
9.5.1 驻波的形成 .....	193
9.5.2 驻波方程 .....	194
9.5.3 半波损失 .....	196
*9.5.4 弦线振动的简正模式 .....	196
9.6 多普勒效应 .....	198
*9.7 非线性波简介 .....	199
<b>思考题</b> .....	200
<b>习题 9</b> .....	201

### 第三篇 热 学

<b>第 10 章 气体动理论</b> .....	206
10.1 热学的基本概念.....	206
10.1.1 系统与外界 .....	206
10.1.2 平衡态 .....	207
10.1.3 状态参量 .....	208
10.1.4 温度 .....	208
10.1.5 温标 .....	209
10.1.6 状态方程 .....	210
10.2 气体动理论的基本观点.....	212
10.2.1 物质微观结构的物理图像 .....	212

10.2.2 统计观点简介 .....	213
10.3 理想气体的压强公式 .....	214
10.3.1 理想气体模型 .....	214
10.3.2 理想气体压强公式 .....	215
10.3.3 压强公式的物理意义 .....	217
10.4 温度的统计解释 .....	218
10.4.1 温度的统计解释 .....	218
10.4.2 方均根速率 .....	219
10.5 能量均分定理 理想气体的内能 .....	220
10.5.1 自由度 .....	220
10.5.2 能量均分定理 .....	221
10.5.3 理想气体的内能 .....	222
10.6 麦克斯韦速率分布律 .....	222
10.6.1 麦克斯韦速率分布函数 .....	222
10.6.2 麦克斯韦速率分布曲线 .....	224
10.6.3 应用速率分布函数求统计平均值 .....	225
10.7 麦克斯韦速度分布率和玻尔兹曼分布率简介 .....	226
10.7.1 麦克斯韦速度分布率 .....	226
10.7.2 玻尔兹曼分布率 .....	227
10.8 气体分子的平均自由程和平均碰撞频率 .....	228
10.8.1 平均碰撞频率 .....	229
10.8.2 气体分子的平均自由程 .....	230
思考题 .....	231
习题 10 .....	232
<b>第 11 章 热力学基础 .....</b>	<b>235</b>
11.1 准静态过程 功 内能和热量 .....	235
11.1.1 准静态过程 .....	235
11.1.2 功 .....	237
11.1.3 内能 .....	238
11.1.4 热量 .....	239
11.2 热力学第一定律 .....	240
11.2.1 热力学第一定律 .....	240
11.2.2 热力学第一定律在理想气体等值过程中的应用 .....	241

---

11.2.3 理想气体的摩尔热容量 .....	242
11.3 绝热过程 .....	244
11.3.1 绝热过程方程 .....	244
11.3.2 准静态绝热过程曲线 .....	244
11.4 循环过程 卡诺循环 .....	247
11.4.1 循环过程 .....	247
11.4.2 卡诺循环 .....	249
11.5 热力学第二定律 .....	252
11.5.1 可逆过程与不可逆过程 .....	252
11.5.2 热力学第二定律的表述 .....	253
11.5.3 热力学第二定律的实质 .....	254
11.5.4 热力学第二定律的理解 .....	254
11.6 卡诺定理 克劳修斯熵 .....	256
11.6.1 卡诺定理 .....	256
11.6.2 克劳修斯等式不等式 .....	256
11.6.3 熵 .....	257
11.6.4 热力学第二定律的数学表达式 .....	258
11.6.5 熵增加原理 .....	259
11.7 热力学第二定律的统计意义 玻尔兹曼熵 .....	261
11.7.1 热力学概率 .....	261
11.7.2 热力学第二定律的统计意义 .....	262
11.7.3 玻尔兹曼熵 .....	263
11.8 熵与信息 耗散结构简介 .....	263
11.8.1 熵与信息 .....	264
11.8.2 耗散结构简介 .....	266
思考题 .....	271
习题 11 .....	272
参考答案 .....	276

# 绪 论

物理学是研究自然界中物质最基本、最普遍的现象和规律的科学. 科学技术进步和发展的历史表明, 物理学是人类认识、利用和改造自然的有效理论与方法, 物理学极大地推进了人类关于自然界的认识, 同时也为人们对自然界作出总体描绘、构成关于物质世界的自然图像打下了基础.

世界是物质构成的, 物质是客观实在, 独立于我们的意志之外的. 物质存在的形态有两种, 一种是实物, 一种是场. 按物理学的观点, 像电子、质子、中子、原子、分子等是微观实物粒子, 地球上的宏观物体、天体等都是实物, 像电磁场、引力场是有别于实物的另一类物质形态.

物质的运动及其相互作用是物质的普遍属性, 其运动形式有多种, 像最简单、最基本、最普遍的运动形式有: 机械运动、热运动、电磁运动和量子运动, 这些统称为物理运动. 由于物质的物理运动具有粒子和波动两种图像, 宏观物体的运动是粒子图像, 而场的运动呈波动图像. 自然界中, 物质间有四种基本相互作用, 即引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用. 在 20 世纪 70 年代末, 电磁相互作用和弱相互作用已经统一为电弱相互作用. 人们研究发现, 实物间的相互作用是由场来传递的, 即是实物激发出相应的场, 场再作用于另一实物.

物质世界中的自然现象都是物质运动的表现, 也是物质间相互作用的结果, 两者相互依存, 又相互对立. 运动中的某种平衡构成了形形色色的物质结构及形态.

物质的运动及相互作用总是发生在一空间范围里和时间间隔中, 空间反映物质运动的广延性, 时间体现物质运动过程的持续性. 物理学的研究表明, 在一定的条件下, 在物质运动及相互作用的过程中遵从一系列的守恒定律, 而在高速及强场情况下, 时空的几何特性和测量与物质的分布和运动有密切联系.

大学物理课程教学内容大致为:

- (1) 力学和相对论——讨论物体的机械运动和时空属性;
- (2) 机械振动与机械波——讨论宏观物体的振动与连续介质弹性波的规律;

- (3) 热学——讨论大量分子热运动的统计规律及其宏观表现；
- (4) 电磁学——讨论电磁现象及电磁场的规律和电磁相互作用；
- (5) 波动光学——讨论光的波动性质及规律,包括光的干涉、衍射和偏振；
- (6) 量子物理——研究微观粒子的波粒二象性和量子运动的特征。

物理学是一切自然科学的基础,是自然科学中一门核心学科。物理学为化学、生物学、天文学等学科提供物理学研究的理论和方法。物理学中已经派生出许多独立的学科,如:基本粒子物理学、原子核物理学、凝聚态物理学、天体物理等。而且,还有许多与其他学科交叉的边缘学科,推动了生物物理学、量子化学等许多学科的发展。

物理学是科学与技术发展的源动力,物理学推动了工程技术的革命,促进了生产力的发展。物理学的发展经历了三次重大变革:第一次,18世纪到19世纪,牛顿力学及热力学创立,极大地推动了机械及蒸汽机制造业的革新和发展,导致了第一次工业革命的兴起。第二次是19世纪,由法拉第-麦克斯韦等人建立的电磁学,推动了电机及其用电设备制造业的发展,使电能广泛地应用于工农业生产与生活中,带来了第二次工业革命。第三次是20世纪初诞生的相对论与量子力学的建立及发展,使人们对高速微观物质世界的认识日益加深,促进了核能的利用、激光技术的发展。计算机技术、信息论、通信技术、控制论的诞生和发展,都是建立在物理研究的基础和成果之上,引领了新一轮的信息技术革命,使人类社会进入信息时代。

为什么要学习大学物理?由于物理学本身的特点及其作用,大学物理是高等学校非物理类理工科各专业开设的一门重要的基础课程。学好大学物理对进一步深入学习后续课程是必需的,并且对于学习新科学、新材料、新工艺都会有很大的帮助。因为大学物理对于我们从知识内容的学习到科学方法论的培养等方面都有十分重要的作用。

大学物理所研究的问题与以往中学学习的课程有联系,但又不同,尤其是处理方法及深度广度都有很大差别。我们在学习本课程时应该注意以下几点:

1. 注意物理思想和方法的学习。通过物理课内容和知识的学习,掌握物理学研究的方法和思想,学会善于观察、实验、概括、归纳、总结和提出物理假设。这是物理学研究的特点,它是以实验为基础,同时又有理论基础和学说的一门学科。这些方法在今后的学习和研究中都会发挥重要的作用。

2. 注意能力的培养。即自学、抽象思维、发散思维能力的培养。自学能力主要是指通过课程的学习,自己阅读、查文献的能力;抽象思维和发散思维能力,主要是学习对具体问题抽象出物理模型、给出数学表达式,并能由此发现新规律、

新现象的思想方法,即创新思维能力.这些能力要在学习、解答和思考物理问题的过程中逐步培养.物理课程的学习难在研究问题方法的学习和掌握,这要通过适量的具体物理题的解答,逐步提高综合分析问题的能力.

3. 掌握物理课程的特点,运用正确的学习方法.学习过程中,注意物理学中具体研究对象和体系的不同,以及现象、研究方法和手段不同,规律、结论及其所适用范围的不同.物理学重在理解,在理解的基础上学习、掌握方法.通过大学物理课程的学习,使自身在多方面终身受益,实现学习大学物理课程的根本目的.



## 第 1 章 运动的描述

运动学描述物体空间位置状态随时间的变化规律,不涉及引起物体运动及运动状态改变的原因.本章介绍质点运动学,内容包括描述物体运动的物理量、这些物理量在两种坐标系中的表示以及运动学基本问题的求解方法等.

自然界中物质的运动具有各种形式,包括机械运动、热运动、电磁运动、化学运动、生命运动等等.在各种运动形式中,最简单的一种就是机械运动,它只涉及物体的位置随时间的变化.力学就是研究物体机械运动规律的一门科学,它也是物理科学中最古老的学科之一.在经典力学中,通常将力学分为运动学、动力学和静力学三大部分.运动学主要讨论如何描述物体的运动,即研究物体的空间位置随时间的变化关系问题;动力学则主要研究物体的运动和运动变化的原因,即研究物体间相互作用和物体运动的内在联系;而静力学则研究物体在相互作用下的平衡问题.本章讨论运动学问题.

### 1.1 参考系 坐标系 物理模型

#### 1.1.1 参考系

自然界所有物质,都处在永恒的运动之中,包括简单的和复杂的运动、宏观的和微观的运动、人们可以观测到的和目前还不能观测到的运动,这称为**运动的绝对性**.就机械运动而言,任何物体每时每刻都在不停地运动着,绝对静止的物体是不存在的.一张桌子看起来毫无生气,但实际上它也在运动,不但参与地球