

工科大学物理

戴坚舟 刘宝坤 施善定 编著

(上册)



华东化工学院出版社

22
D11
1

362795

工科大学物理

(上册)

戴坚舟 刘宝坤 施善定 编著



华东化工学院出版社

(沪)新登字 208 号

工科大学物理(上册)

Gongke Daxue Wuli

戴坚舟 刘宝坤 施善定 编著

华东化工学院出版社出版发行

(上海市梅陇路 130 号)

新华书店上海发行所发行

江苏常熟文化印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 12.875 字数 346 千字

1992 年 10 月第 1 版 1992 年 10 月第 1 次印刷

印数 1-8000 册

ISBN 7-5628-0241-6/O·36

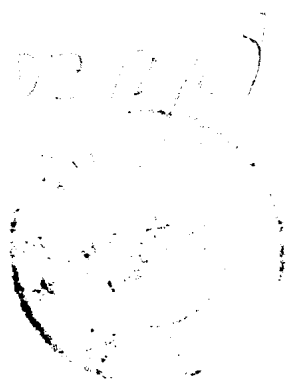
定价 5.60 元

内 容 简 介

本书是根据国家教委物理课程指导委员会制定的《工科大学物理课程基本要求》的精神,在原有《大学物理》讲义的基础上,经几年教学实践后修订而成的。全书共分上、下两册。上册包括:力学、相对论、振动和波、分子物理热力学;下册包括:电磁学、光学、量子物理等。

本书的特点是:内容紧扣基本要求,突出物理模型;注意基础学科与工程学科之间的联系以及在分析方法上的衔接;在物理概念和规律的阐述和分析中,力求清晰、简明,富有哲理性,隐含方法论。

本书可作为一般工科大学及专科学校普通物理课程的教材,也可作函授、业余大学和夜大学的教材或教学参考书。



本书编写人员名单

(以姓氏笔画为序)

包曼玲 刘宝坤 许丽敏 李燮里
施善定 黄天祥 戴坚舟

戴坚舟 主编
张兆奎 主审

前 言

本书是根据高等工业学校《物理课程基本要求》的精神，在原有《大学物理》讲义的基础上，经几年来教学实践修订而成的。全书包括力学、相对论、振动和波、分子物理学、热力学、电磁学、光学、量子物理和近代物理技术基础，同时编著《工科大学物理学习指导书》与本书相配套。

物理学是工科大学生必修的基础理论课。该课程充满辩证法和方法论内容，具有丰富的思想方法，是一门典型的思维上训练和方法上传授的课程，也是一门基础学科与工程学科相衔接的关键性课程。本书编者的共同愿望是使这套书不仅能帮助读者较好地掌握物理学的基本内容、基本规律，同时使读者掌握科学的分析方法，搞清基础学科与工程学科在分析方法上的区别和联系，传授工程型思维方法。

在本书编写过程中，我们力求以辩证唯物主义观点来阐述物理学的基本规律；突出物理模型，注意基础学科与工程学科之间的联系，特别注重在分析方法上的衔接；贯彻“少而精，学到手”的原则；对物理概念的阐述和分析，力求清晰、简明，便于自学，富有哲理性，隐含方法论；尽量选用与工程实际相近的例题与习题，通过练习，使读者掌握解决实际问题的方法；在系统阐述物理的基本规律、基本方法、基本概念的同时，引导和培养学生用高等数学来分析和解决物理问题的能力，以便对学生进行科学思维的训练。

本书还介绍了在物理学科中有突出贡献的7位物理学家的生平，向读者提供必要的物理学史的知识，同时从这些科学家的开拓精神、治学态度和思维境界中获得教益。

此外，考虑到不同专业对物理教学要求以及学生层次的差异，

除了基本内容以外,还写进了一些属于提高性质的内容,在书中以“*”标出,供教学时选用或参考,不作本课程的基本教学内容。

本书中的力学、相对论、振动和波部分由戴坚舟执笔,分子物理热力学、光学、量子物理部分由刘宝坤执笔,电磁学、量子论形成由施善定执笔,科学家生平传略由黄天祥执笔,思考题和习题由包曼玲执笔,全书插图由李燮里设计和描绘。全书由戴坚舟统稿,最后经编写组全体同志共同讨论和审定,张兆奎教授主审。

由于编者水平有限,时间仓促,不妥之处在所难免,衷心希望读者批评指出,以便在修订时予以充实、提高和完善。

编 者

目 录

第一篇 力 学

1. 质点的运动规律	3
1.1 理想模型——质点、刚体	3
1.2 质点的运动及其描述	5
1.2.1 参照系和坐标系	5
1.2.2 位置矢量和运动方程	6
1.2.3 速度	7
1.2.4 加速度	9
1.3 几种典型的质点运动	12
1.3.1 直线运动	12
1.3.2 抛体运动	15
1.3.3 圆周运动	18
1.4 相对运动	23
1.5 牛顿运动定律	25
1.5.1 牛顿三大定律	26
1.5.2 几种常见力	28
1.5.3 牛顿定律的应用	31
1.6 惯性参照系和非惯性参照系	37
1.6.1 惯性参照系	37
*1.6.2 加速平动参照系中的惯性力	38
*1.6.3 匀速转动参照系中的惯性离心力	39
科学家介绍 伽利略	42
思考题 1	45
习题 1	47
2. 守恒定律	55
2.1 能量守恒	55

2.1.1	功	56
2.1.2	势能	60
*2.1.3	势能曲线	63
2.1.4	机械能守恒定律	66
2.2	动量守恒	73
2.2.1	动量守恒定律	74
2.2.2	冲量和动量定理	80
*2.2.3	质心和质心运动定律	84
2.3	碰撞	86
2.4	角动量守恒	93
2.4.1	质点的角动量	94
2.4.2	力矩	96
2.4.3	质点的角动量守恒定律	97
*2.5	伯努利方程	102
科学家介绍	牛顿	106
思考题 2		108
习题 2		110
3	刚体的转动	116
3.1	刚体的运动	117
3.2	刚体的转动定律	120
3.2.1	转动定律	120
3.2.2	转动惯量的计算	122
*3.2.3	转动惯量的平行轴定理	126
3.3	刚体转动中的功能关系	129
3.4	刚体的角动量和角动量守恒定律	135
*3.5	转动定律与质心运动定律在刚体平面运动中 的应用	141
*3.6	进动	145
思考题 3		147
习题 3		148

4 狭义相对论	154
4.1 伽利略变挽和力学的相对性原理	154
4.2 爱因斯坦相对性原理和光速不变原理	157
4.3 洛伦兹变挽式	159
4.4 狭义相对论的时空观	162
4.4.1 时间的相对性	162
4.4.2 长度的相对性	164
4.4.3 同时性的相对性	168
4.4.4 相对性和绝对性	170
4.5 相对论的速度变换	171
4.6 狭义相对论动力学	173
4.6.1 质速关系	173
4.6.2 质能关系	176
4.6.3 动量和能量的关系	180
科学家介绍 爱因斯坦	181
思考题 4	183
习题 4	184
5 振动	187
5.1 谐振动	187
5.1.1 谐振动的动力学方程和运动学方程	188
5.1.2 描述谐振动的三个物理量——周期、振幅、初相	191
5.1.3 谐振动的旋转矢量表示法	196
5.1.4 谐振动的能量	200
5.2 谐振动的合成	203
5.2.1 两个同方向、同频率的谐振动的合成	203
5.2.2 两个同方向、不同频率的谐振动的合成 拍	206
5.2.3 两个互相垂直的、同频率谐振动的合成	208
5.2.4 两个互相垂直的、不同频率谐振动的合成	212
*5.3 阻尼振动	213

*5.4 受迫振动 共振	216
思考题 5	219
习题 5	220
6 波动	225
6.1 弹性体的变形规律	225
6.2 波的基本概念	227
6.2.1 波是振动状态的传播	227
6.2.2 横波和纵波	228
6.2.3 平面波和球面波	231
6.2.4 波长、频率、波速之间的基本关系式	231
6.3 平面简谐波的波动方程	234
6.4 机械波的能量	242
6.4.1 机械波的能量和能量密度	243
6.4.2 能流和能流密度	245
6.4.3 波的吸收	247
6.5 惠更斯原理	248
6.6 波的干涉	252
6.7 驻波	256
6.8 多普勒效应	263
思考题 6	268
习题 6	269

第二篇 热 学

7 气体分子运动论	274
7.1 统计规律的基本概念	274
7.1.1 统计规律	274
7.1.2 几率	275
7.1.3 统计平均值	276
7.2 气体分子运动论的基本观点	277
7.3 平衡态 理想气体状态方程	278

7.3.1	平衡态	278
7.3.2	状态参量	279
7.3.3	理想气体状态方程	280
7.4	理想气体的压力公式	281
7.4.1	理想气体的微观模型	281
7.4.2	统计假设	282
7.4.3	压力公式的推导	282
7.5	理想气体的温度公式	286
7.6	能量按自由度均分 理想气体的内能	289
7.6.1	自由度	289
7.6.2	能量按自由度均分定理	291
7.6.3	理想气体的内能	292
7.7	麦克斯韦速率分布律	294
7.7.1	测定分子速率分布的实验	295
7.7.2	麦克斯韦速率分布律	296
7.7.3	用速率分布函数求统计平均值	298
*7.8	玻耳兹曼分布律 重力场中粒子按高度的分布	302
7.8.1	玻耳兹曼分布律	302
7.8.2	重力场中粒子按高度的分布	303
7.9	分子的平均碰撞次数和平均自由程	305
*7.10	气体内的输运过程	308
7.10.1	内摩擦现象	309
7.10.2	热传导现象及规律	311
7.10.3	扩散现象	312
*7.11	真实气体	315
7.11.1	真实气体的等温线	315
7.11.2	范德瓦耳斯方程	317
7.11.3	范德瓦耳斯等温线	320
思考题 7		321
习题 7		323

8 热力学基础	326
8.1 热力学第一定律.....	326
8.1.1 准静态过程.....	326
8.1.2 功.....	327
8.1.3 热量.....	328
8.1.4 内能.....	329
8.1.5 热力学第一定律.....	330
8.2 比热容、热容、摩尔热容.....	331
8.3 热力学第一定律对于理想气体在准静态过程中 的应用.....	334
8.3.1 等容过程.....	335
8.3.2 等压过程.....	335
8.3.3 等温过程.....	336
8.3.4 绝热过程.....	337
*8.3.5 多方过程	342
8.4 循环过程 卡诺循环.....	343
8.4.1 循环过程.....	343
8.4.2 卡诺循环.....	348
*8.4.3 循环过程在技术上应用的实例	352
8.5 热力学第二定律.....	355
8.5.1 开尔文表述.....	355
8.5.2 克劳修斯表述.....	356
8.5.3 两种表述的等价性.....	357
8.6 可逆过程和不可逆过程 卡诺定理.....	358
8.6.1 可逆过程和不可逆过程.....	358
8.6.2 卡诺定理.....	360
8.7 熵 熵增加的原理.....	362
8.7.1 态函数——熵.....	362
8.7.2 熵增加原理.....	365
8.7.3 温熵图.....	369

8.8 热力学第二定律的统计意义.....	371
[思考题 8	375
习题 8	377
习题答案	382
常用数值表	395

第一篇 力 学

在茫茫的宇宙中,存在着各式各样的物质。在自然界里,没有不运动的物质,也没有脱离物质的运动。大到宇宙中的星系、恒星,小到基本粒子的相互转化,无不处于永恒运动和变化之中。在形形色色的各种运动形式中,最简单和最普遍的运动形式是物体之间的位置变化,或同一物体中各部分间相对位置的变化,这类运动形式称为机械运动,力学是研究机械运动规律的学科。

与其他自然科学一样,力学是人们在生产实践和科学实验的基础上逐步发展起来的。如果从希腊伟大学者亚里士多德算起,已有 2300 多年的历史。然而,力学发展成为一门具有系统理论的学科,则始于 16~17 世纪。此时由于欧洲资本主义的生产力的发展,在生产实践中提出了大量的问题,并提供了前所未有的实验手段和测量仪器,从而促进了人们对力学规律的认识。经过许多科学家,特别是伽利略、笛卡儿、惠更斯等人的努力,建立了力学的实验基础。在这基础上,牛顿对前人的工作进行分析、总结、归纳,创立了新的数学工具——微积分,提出了著名的三条运动定律和万有引力定律,统一了地面上物体和宇宙天体间共同遵循的普遍的机械运动规律,为建立力学的完整理论奠定了基础。

以牛顿运动定律为基础的力学称为牛顿力学或经典力学,它是为观察宏观物体的低速运动而建立起来的。所谓宏观物体是由大量分子和原子组成的物体,低速是与光速($3 \times 10^8 \text{m/s}$) 相比而言的。实践证明,经典力学对宏观物体的低速运动是相当精确的。

物理学的近代发展表明,处于不同层次和不同运动状态的物体,其运动规律并不完全相同。在分子、原子内部以及更深层次的微观世界里,物体(微观粒子)的运动规律与宏观物体有显著的差

异,它们遵循量子力学规律。当物体速率很大,以致可与光速相比较时,其运动规律也和低速状态时不同,这时物体遵循相对论力学的规律,这说明任何规律都有一定的适用范围。尽管如此,在涉及一般宏观物体运动的广阔领域内,牛顿力学仍然显示出巨大生命力,它是解决广泛的理论和实际问题的基础。力学发展中形成的研究方法,从观测、实验,到分析、综合;从模型和假设的提出,到理论体系的建立,直至在实践中受到检验并不断发展,在历史上对许多其他学科的建立,曾经起过重要的作用,并且仍然是今天科学研究的基本方法。

目前,力学科学正面临许多全新的课题。例如当前星际航行的实现是和对超音速流体力学以及材料科学等的研究有关。随着对等离子体运动规律及热核反应研究的开展,电磁流体力学已成长起来。近来,像生物力学这样的边缘科学也正在兴起,它的研究成果必将有助于基础医学和临床医学的发展。

1 质点的运动规律

力学可分为运动学和动力学。运动学解决如何描述物体运动的问题，动力学则研究物体运动状态变化的原因。在本章中，我们首先从描述运动开始，引出速度和加速度的概念。通过速度和加速度等概念的建立，加深对运动的相对性、瞬时性、矢量性和叠加性的认识。然后从物体间的相互作用出发，研究物体运动状态的变化和周围物体对它所施加的作用力之间的关系，阐述牛顿三定律。最后，通过对例子的分析，掌握在给定条件下，建立和求解物体的运动方程，从而对物体运动过程的全貌有一定的认识。

1.1 理想模型——质点、刚体

实际物体都有一定的大小和形状。当物体运动时，一般说来，物体上各点的运动状态是不相同的。例如，火车沿铁轨运动时，除了火车作整体运动外，还包括车厢的晃动，车轮的转动，以及各种运动部件的运动等复杂的运动。又如炮弹的飞行，除了炮弹的整体沿着一定的曲线运动外，还包括炮弹本身的复杂转动。物体在运动过程中，一般物体的大小和形状还会发生变化，因此要对实际物体的运动作全面描述将是十分困难的事情，为此只能分清主次，抓住主要因素。如果我们感兴趣的只是火车整体沿铁轨的移动或炮弹整体沿运动轨道的运动时，我们就可以忽略那些与整体运动无关的次要运动（例如车轮的转动，车厢的晃动或炮弹自身的旋转等），认为物体上各点的运动完全一样，整个物体的运动可以用一个点的运动来代表。这种忽略了物体的形状和大小，而具有该物体全部质量的点称为质点。

显然，质点是一种理想化的模型，是对实际物体的一种科学