

大学物理教程

第一册

力学·相对论·热物理学

吴锡珑 主编

上海交通大学出版社

04

W96

1

351256

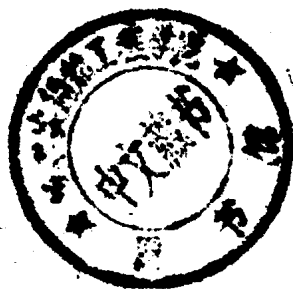
大学物理教程

第 一 册

力学 相对论 热物理学

吴锡珙 主编

胡盘新 朱咏春 审



上海交通大学出版社

(沪)新登字 205 号

0057/09
内 容 提 要

本书是上海交通大学以国家教委1987年颁布的《高等工业学校物理课程教学基本要求》为依据编写的物理教材。全书共分四册:第一册力学、相对论和热物理学,第二册电磁学,第三册波动学和量子物理学,第四册学习指导和系列化习题。

本书在提高大学物理教材的科学性和教学性,体现教材内容的现代化方面作了进一步的探索,并附有介绍物理学前沿和科技新领域有关内容的多篇选读材料。

本书可作为理工科大学及专科院校的物理教材或参考书,也可供高等院校师生及中学物理教师参考。



出版: 上海交通大学出版社
(淮海中路1844弄19号)

发行: 新华书店上海发行所

印刷: 上海交通大学印刷厂

开本: 860×1168 (毫米) 1/32

印张: 14

字数: 356000

版次: 1991年8月 第一版

印次: 1991年9月 第一次

印数: 1—12000

科目: 255—606

ISBN7-313-00912-7/O·4

定价: 5.70元

代 序

物理学是一门基础科学，它研究物质运动最基本的规律。物理学与其他学科之间有着紧密的联系。一方面，物理学与其他学科包括生物学之间的互相渗透和融合正在日益发展，形成了并继续形成许多新的交叉学科；另一方面，从物理学中不断分化出新的应用科学和技术科学，一些老的技术学科也从物理学中吸取营养，出现了技术科学与物理学相互交织的图景。对工程方面来说，发展和使用新能源、新技术和新材料等必须有物理学的先行基础研究，才能变为现实。

你们这一代大学生将是本世纪末和下世纪初期我国科技力量的骨干，面对未来，更应把物理学这门基础课学好，以适应科技发展的需要。发达国家的教育家现在一致认为，只有在知识较广的基础上，才能培养出高质量的专家。

同学们大部分是学工程科学的。国内外许多工程学专家强调指出，工程技术在今天已不是停留在经验阶段，它有自己的科学体系。开发新技术只依靠经验公式和实验数据是不够的，必须提高到理性认识，再由此来指导实践。只有这样，才能减少盲目性，加快技术发展的步伐。国外许多有成就的技术科学家都具有较深厚的数理基础，这是有一定道理的。我国科学技术要想达到真正国际第一流的水平，对此不能不加以注意。

周培源

（摘自周培源教授在北京市第一届非物理专业大学生物理竞赛授奖大会上的讲话）

前 言

为适应物理学与高技术的发展,我们近几年对大学物理教材的科学性、教学性和内容现代化作了进一步的改革探索。本书就是依据1987年国家教委颁布的《高等工业学校物理课程教学基本要求》,结合上海交通大学具体教学实践,在编者前几年所编讲义的基础上写成的。

本书具有如下一些特点。

(1) 对重要的基本概念、基本理论(如惯性系、守恒定律、统计分布、熵、时空相对性、波粒二象性、测不准关系、量子性等)给以细致的剖析和说明,力图作深入、透彻、清晰、充分的阐述。并尽可能联系物理学的现代进展,进一步提高对这些概念和理论的理解、认识。

(2) 在专题论述、应用介绍和例题计算中,介绍了当代科学和技术的某些发展信息,提供了一些实际的资料和数据。为了提高工科大学生的物理素养,拓宽科学视野和进行因材施教,本书还编写了如背景辐射参考系、物理学中的对称性、宇航动力学、平衡与涨落、热释电成像、磁在信息技术中的应用、超导体、约瑟夫森效应等内容广泛的选读材料多篇。

(3) 在论述物理知识的同时,也将科学思维、辩证分析、研究技巧等方法论作为重要的智能教育内容。因此,本书在论述展开、分析总结、历史评说、例题计算中都作了有意识的努力。本书的课外练习题(集中在第四分册中)采用了系列化,以体现循序渐进、逐层深化的学习规律。

(4) 注意到与中学物理和工科大学后继课的分工和衔接,对力学和电磁学适当提高了起点,降低了止点,以避免不必要的重复。书中凡注有*号的内容均可灵活选用。章后的思考

练习题主要供学生复习用。

本书由胡盘新、朱咏春两位教授主审。本书初稿曾由陶宗瑜、虞哲宾老师和编者在试点班试用。在本书修改过程中，孔令达、严燕来、张馥宝、黄开泰、周渔溪、顾希知、徐志和诸位老师提出了许多宝贵的意见。孔令达老师领导和组织了本书的修改工作，并为各章编选了思考练习题。本书的部分选读材料由黄开泰、严燕来、虞哲宾、孔令达、牛秀德、高景、李鹤鸣老师编写。陶宗瑜老师为本书绘制了图稿，戴柏诚老师和上海交大出版社的同志为编辑、出版本书作了大量工作。编者谨向以上各位致以衷心的感谢。

还要特别感谢周培源教授，承他应允摘印他的讲话作为本书的代序并亲笔签名，使我们感到极为荣幸。

由于编者水平有限，书中难免有缺点和错误，敬请读者不吝批评指正。

编 者

目 录

引 言	1
第一篇 力 学	5
第一章 质点运动学	7
§ 1-1 矢量的乘法和微商	7
§ 1-2 参考系 时空 质点	13
§ 1-3 质点的位矢方程	17
§ 1-4 位移 速度	22
§ 1-5 加速度 切向和法向加速度	29
§ 1-6 运动学的两类问题	35
§ 1-7 相对运动 伽利略变换	41
思考练习题	47
选读材料1 探索宇宙的两大发现	50
第二章 质点运动定律	57
§ 2-1 牛顿运动定律	57
§ 2-2 惯性参考系 经典力学相对性原理	62
§ 2-3 相互作用力	66
§ 2-4 牛顿运动定律的应用	74
§ 2-5 非惯性系 惯性力	88
思考练习题	94
选读材料2 超重与失重	96
第三章 机械能和功	102
§ 3-1 质点动能定理 功	103
§ 3-2 保守力和非保守力 耗散力	110
§ 3-3 质点在保守力场中的势能	119
§ 3-4 质点系的势能	126

§ 3-5 功能原理 能量转换和守恒定律	133
思考练习题	140
选读材料3 物理学中的对称性和守恒定律	143
第四章 动量和角动量	149
§ 4-1 动量定理 动量守恒定律	149
§ 4-2 质心 质心运动定理 质心坐标系	157
§ 4-3 碰撞问题	168
§ 4-4 火箭飞行和质量流动	174
§ 4-5 质点的角动量 角动量守恒定律	179
§ 4-6 质点系的角动量	186
思考练习题	188
选读材料4 两体问题与约化质量	191
第五章 刚体力学基础	197
§ 5-1 刚体运动的描述	197
§ 5-2 定轴转动定律	202
§ 5-3 刚体的转动惯量	208
§ 5-4 定轴转动的角动量守恒定律	212
§ 5-5 定轴转动的功能原理	219
§ 5-6 回转仪 进动	224
§ 5-7 刚体平面运动简介	228
思考练习题	233
选读材料5 宇航动力学问题	238
第六章 狭义相对论基础	246
§ 6-1 经典力学的基本困难	246
§ 6-2 狭义相对论基本假设	252
§ 6-3 时空相对性	254
§ 6-4 洛伦兹变换	261
§ 6-5 相对论质量和动量 运动方程	268
§ 6-6 相对论动能和静能 质能关系	273

思考练习题·····	278
选读材料6 广义相对论概要·····	280
第二篇 热物理学 ·····	295
第七章 热力学平衡态 ·····	296
§ 7-1 热力学系统 平衡态·····	296
§ 7-2 热力学第零定律 温度和温标·····	299
§ 7-3 理想气体温标和状态方程·····	301
§ 7-4 理想气体微观模型 压强和温度的统计意义·····	308
§ 7-5 能量均分定理·····	315
§ 7-6 麦克斯韦分子速度和速率分布·····	318
§ 7-7 玻耳兹曼分布·····	330
思考练习题·····	333
选读材料7 平衡与涨落·····	335
第八章 热力学定律 ·····	340
§ 8-1 内能 功和热量 准静态过程·····	340
§ 8-2 热力学第一定律 热容·····	345
§ 8-3 绝热过程 多方过程·····	351
§ 8-4 循环过程 卡诺循环·····	360
§ 8-5 热力学第二定律·····	369
§ 8-6 热力学过程的不可逆性·····	373
§ 8-7 熵·····	378
§ 8-8 熵增原理·····	384
* § 8-9 热力学第二定律的统计意义 熵的统计表述有 序和无序·····	390
思考练习题·····	395
选读材料8 能量耗散和能源开发·····	398
第九章 气体和凝聚态 ·····	402
§ 9-1 范德瓦耳斯方程·····	402

§ 9-2 气体内的输运过程.....	412
§ 9-3 固体和液体的热性质.....	418
思考练习题.....	427
选读材料9-1 物态和相变.....	428
选读材料9-2 等离子体、中子星和黑洞.....	434

引 言

物理学古称自然哲学，它研究自然界中最基本和最普遍的现象和规律。因此，物理学是与人们对自然的总体认识相关的。科学发展的历史表明，物理学是人类认识、利用和改造自然的强有力的理论武器。首先，物理学极大地促进了人类对自然的认识。今天，根据物理学的观点，人们已能够对自然界作出统一的总体描绘，构成一幅物理学的世界图景。

存在于我们周围、独立于我们意志之外的客观实在都是物质。研究表明，物质有两种不同的形态：一类是实物，另一类是场。电子、质子、中子、原子、分子等是微观实物粒子，气体、液体、固体、日、月、星辰等是宏观的实物；电场、磁场、引力场则是不同于实物的另一类形态的物质。

运动是物质的普遍属性。自然界中没有不运动的物质。物质的运动有各种形式，最简单、最基本、最普遍的形式是机械运动、热运动、电磁运动和量子运动，统称为物理运动。一切物理现象都是物理运动的表现。

相互作用是物质的另一普遍属性。自然界中也没有不发生相互作用的物质。物质间有四种基本相互作用，即引力作用、电磁作用、强作用和弱作用。在本世纪70年代末，已发现电磁作用与弱作用可以统一成弱电作用。研究还发现，实物间的相互作用是由场来传递的，即实物激发出相应的场，场再作用于另一实物。

运动和相互作用作为物质的普遍属性，两者相互依存，又相互对立。运动使物质离散，吸引使物质凝聚，其某种平衡就形成自然界中形形色色的物质结构和物质状态。

物质的运动和相互作用总发生在一定的空间范围和时间间隔之中。空间是物质运动广延性的反映，时间则是物质运动过程持续性的体现。物理学研究证明，在时空均匀和各向同性的条件下，导致物质在运动和相互作用的过程中遵从一系列守恒定律；而在高速和强场情况下，时空的几何性质和量度与物质的分布和运动又有密切关系。

从时空特征来分析，物质的运动有不同的图象。抛出的弹丸、运行的天体，在任一时刻有确定的位置和速度，并在运动中留下轨迹，这类运动具有粒子运动的特征，归于粒子图象。水波、声音、电磁辐射在空间扩展地传播，这类运动具有波动的特征，归于波动图象。所以，物质的物理运动具有粒子和波两种图象。在宏观世界中，实物的运动呈粒子图象，而场的运动则呈波动图象。然而，在微观领域中，不论是实物还是场，都同时具有粒子和波动的两重图象。

以上就是人们根据现有的物理知识对自然所作的概括。实际上，只有在这种认识的基础上，我们才能明确地给出物理学研究的范围和内容。具体地说，物理学就是研究实物和场的运动以及物质间相互作用规律的学科。

与之相应，大学物理课程内容的教学体系有如下的顺序。

(1) **力学和相对论**——论述实物机械运动的规律（动力性）以及关于时空相对性的讨论；

(2) **热物理学**——论述大量分子（实物粒子）热运动的统计性规律及其宏观表现；

(3) **电磁学**——以电磁作用为代表论述物质相互作用的规律，同时分析电磁场的产生、变化和传播，从而认识场的运动规律；

(4) **波动学**——研究宏观世界中的波动，其中包括实物媒质中的波和场的波，即机械波、电磁波和光波；

(5) **量子物理学**——研究微观客体的波粒二象性和量子运动

的特征。

不言而喻，今日的物理学作为自然科学的一个分支，它的范围和理论比大学物理课程中讲授的基础理论要广泛得多、深奥得多。从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、原子和分子物理学、固体物理学、凝聚态物理学、天体物理学等。此外，还有许多与其他学科交叉的边缘物理学在孕育和发展着。在物理学前沿领域，更是充满着艰苦的探索和激动人心的发现或突破。

历史表明，生产发展的需要是物理学发展的动力，而物理学理论研究的进展又是推动科学技术和生产力发展的极重要的因素。目前在世界范围内，正面临着以发展信息、能源、材料、空间技术等高技术为核心的一场新技术革命。作为理工科大学的学生应该深入牢固地掌握物理学的基本理论，提高自己的物理素养，增长自己的智能，以便顺利地走向攀登科技高峰的道路！

第一篇 力学

广泛而论，可将自然界的一切变化过程都称作运动。运动有机械的、热的、电磁的、化学的、生命和思维的、从低级到高级的多种形式。运动是物质的存在形式和普遍属性。力学作为物理学的分支，它所研究的对象是机械运动。

由大量原子和分子构成的，能为人们感官直接知觉的实物称为物体。这些物体间或物体各部分之间相对位置的变动称为机械运动。机械运动是存在于自然中最普遍和最基本的运动形式。天体在运行、地壳在振动、大陆在漂移、海水和大气在流动……在人类社会的生产和日常生活中也是车水马龙、熙熙攘攘、川流不息；如果从微观上观察，每个物体又是一群处在不停息地运动中的原子和分子，每个原子中还有运动着的电子、质子和中子……宇宙中的一切无不处在机械运动之中。

“不了解运动，就不了解自然。”这是伽利略时代流行的格言。牛顿运动定律的建立是人类对自然认识的重大进展。以牛顿运动定律为基础的力学理论称为牛顿力学，又称经典力学。它是各种工程技术，特别是机械、建筑、水利、造船、航空、航天等工程技术的理论基础，也是物理学和整个自然科学的基础。

力学对于物理学恰似人体的骨骼。在力学中提出了许多重要的物理量、物理概念和物理原理（例如质量、能量、动量和角动量及各自的守恒定律），它们适用于整个物理学。经典力学理论也是物理学中发展得最早、最为成熟的理论，它有严谨的理论体系和完备的研究方法（例如观察现象，分析和综合实验结果，建立理想模型，应用数学表述，作出推论和预言，以实践来检验和校正结果等一系列科学研究的工作方法）。再有，在力学中普遍而广泛地采用了矢量和微积分等高等数学工具。所以，无论从哪方面来说，学好大学物理中的力学都将对以后的学习大有裨益。

通过本篇的学习，还要较深入地认识时间和空间这样一个较为复杂的问题。人类对时空的认识和理解经历了一个发展的过程。在牛顿时代，人们认为独立存在着一个连续均匀流逝着

的时间，空间则被简单地当作是一个大的容器，认为时空的性质与运动的物质无关。而到了本世纪，爱因斯坦用相对论理论证明了时空和物质运动不可分的性质，作为物质运动过程持续性和广延性的时空应该是统一的，从而使人们对时空的认识达到了一个科学的新境界。

第一章 质点运动学

一个有形状和大小的实际物体的运动是较复杂的，一般可分为形变、转动和平移。所谓平移是指物体仅有整体位置的移动。为了简化问题，本章先不涉及形变和转动，仅研究一个形状和大小可以不计但具有一定质量的物体的运动，这样的物体称为质点。质点是物理学中引入的第一个理想模型。

对于质点的运动，通常分两个方面进行讨论。首先是单纯地描写质点在空间的运动情况，即说明它的运动特征，如质点的位置、速度、加速度、轨道等。这部分内容称为运动学。其次是讨论运动产生的原因和控制运动的方法，即说明运动的因果规律，如牛顿运动定律等。这部分内容称为动力学。

本章介绍质点运动学，即讨论质点运动的定量描述问题。由于在力学理论中普遍采用了矢量和微积分学等数学方法，为此，本章首先简单介绍矢量及其微商的有关知识。

§1-1 矢量的乘法和微商

一、标量和矢量

物理学中主要有两类量。一类是仅需用数值和单位（合称量值）表示其大小的量，叫标量，如长度、时间、质量、温度、能量等都是标量；另一类是既需用量值表示其大小，还需要指明方向的量，叫矢量，例如力、速度、加速度、动量、角动量等都是矢量。

通常用带箭头的字母（例如 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 等）或黑斜体字母（如 $\boldsymbol{A}$ 、 $\boldsymbol{B}$ 等）表示矢量。矢量在图上可用有向线段代表，箭头指向表示方向，线段长度则代表相应单位下的大小（见图 1-1）。矢量的大小