

高等学校教材

物理学

上册

(第二版)

复旦大学《物理学》编写组编

高等教育出版社

高等学校教材

物 理 学

上 册

(第二版)

复旦大学《物理学》编写组编

高等教育出版社

本书是在第一版的基础上修订的。本书上册较第一版上册在教材内容的适应性方面做了充分的考虑,改写了大部分章节,更新了部分内容,有些内容如:平面极坐标、非惯性系、进动、刚体的平面平行运动、熵等以小字排印;麦克斯韦速率分布定律的证明改为附录;删去了势能梯度及有关问题的内容。本书可作为分两学期开设(130学时左右)普通物理课的理科非物理类专业试用教材。

全书共分三册,上册为力学、热学;中册为电磁学;下册为振动与波、光学、量子物理基础。

高等学校教材
物 理 学
上 册
(第二版)

复旦大学物理学编写组编

人民教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京新华印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 16.5 字数 395,000

1979年9月第1版

1985年5月第2版 1985年5月第1次印刷

印数 00,001—11,400

书号 13010·01008 定价 3.35元

修 订 说 明

本书第一版于1980年发行,当时是作为化学类专业的普通物理教材编写的。这次修订,根据本书修改稿审稿会及理科物理教材编审委员会普通物理小组编委(扩大)会议(1983年10月6日至10日在南京召开)关于加强教材的通用性,以利于教学的意见,改写了大部分章节,更新了部分内容,力求使取材的深度、广度不仅适合多数院校化学类专业的要求,也适用于学时数相近的其它专业的教学需要,因此,它可以作为分两学期开设(130学时左右)普通物理课的(一般是为理科非物理类专业开设的)试用教材。全书仍分上、中、下三册,上册包括力学、热学二篇,中册包括电磁学一篇,下册包括振动与波、光学、量子物理基础三篇。

在初版编写说明中所提出的结合化学专业特点方面,我们较多注意的是与物质结构有关的一些知识,而在我们看来,对于学时数相近的其它专业还是可以通用的。书中流体力学、热学如果不讲,不影响其它部分的教学,其它各章,除了正文的基本内容外,还附加了一些属于提高性质的内容,用小字排印,作为参考。

自本书第一版出版后,广大读者,特别是使用它作为教材的老教师们提出了许多修改意见。我们在吸收这些意见的基础上,又根据我们自己教学实践中的一些经验,先对上册作了修订。修改稿于1982年在厦门举行的外系普通物理教学经验交流会和1983年在上海举行的审稿会(会议由理科物理教材编审委员会委员李椿同志主持,参加会议的还有北大、南开、吉大、厦大等四校的同志们)上进行了审查,我们又根据审查意见作了局部修改。

对本书提出过修改意见的同志,对普通物理教学都有丰富的

经验,提出的意见十分可贵,对修订本书起了很大的作用,我们谨向这些同志们表示深切的感谢.同时,我们也体会到,因为教学是创造性的工作,把他人的教学经验融合到自己的书中去,并不是很容易的事.因此,在修订过程中,虽然经过反复讨论修改,但仍然还有不少宝贵的意见未能吸收进去.经过修订,本书仍然存在许多还不够令人满意的地方.我们相信,通过使用这本教材同志们的创造性的教学活动,能够弥补本书的不足.

本书上册的修订由李惜惜(负责力学部分)、俞鸣人(负责热学部分)执笔,乐蓉莲参加了选题并和李建平一起演算了全部习题.刘伟民、杨莉敏绘制了全部插图.蔡怀新负责最后定稿.李椿同志主持了本书的审稿工作.

复旦大学《物理学》编写组

1984年5月9日

第一版编写说明

本书是根据 1977 年高等学校理科物理教材会议草拟的化学类专业物理学教材编写大纲编写的。全书分上、中、下三册，上册包括力学、热力学与分子物理学二篇，中册包括电磁学一篇，下册包括振动与波、光学、量子物理基础三篇。

根据大纲的精神，在编写过程中企图贯彻以下几点：

1. 注意物理学作为一门基础科学自身的系统性，把重点放在阐明一些基本概念、基本原理上。

2. 结合化学专业的特点和实际需要，为后继课作一定的准备。

3. 注意充分运用学生已掌握的数学工具。考虑到化学类专业是在二年级上学期开始开设物理课程（有些学校在一年级下学期开始），学生已有一定的高等数学基础，在内容的处理上较多地使用了矢量运算和微积分运算。

在内容安排上，第一篇着重写了三个守恒定律。第二篇的重点放在分子运动论，着重分析分子运动的统计规律。流体力学则注意于应用，在阐述流体最基本的性质规律的同时，注意联系化工方面的应用。

此外，还考虑到化学类不同的专业对物理教学的要求不尽相同，各学校情况也互有差异。编写时，除了基本内容以外，还写进了一些属于提高性质的内容，用小字排印，供讲课选用或参考，不作为本课程的基本教学内容。

本书由蔡怀新同志主编，上册主要由蔡怀新、俞鸣人、黄发泮、李惜惜等同志执笔，苏汝铿、郑广垣、郑永令、范膺等同志参加了部

分修改工作,杨莉敏、刘伟民两同志画了全部插图。

本书由南开大学主审,参加审稿的还有北京大学、北京师范大学、南京大学、辽宁大学、山东大学、中山大学、云南大学、广西大学、开封师范学院、四川师范学院、南充师范学院等兄弟院校的同志。审稿同志都认真审阅了原稿,并提出了不少改进意见,对此我们表示衷心感谢。

《物理学》编写组

1978年8月

目 录

绪论

第一篇 力 学

| | |
|---------------------------|----|
| 第一章 质点运动学 | 10 |
| §1.1 质点 | 10 |
| §1.2 位置与位移 | 12 |
| 一、参考系 | 12 |
| 二、位置与位矢 | 13 |
| 三、位移 | 20 |
| §1.3 速度和加速度 | 22 |
| 一、直线运动的速度和加速度 | 22 |
| 二、一般运动的速度与加速度 | 27 |
| 三、速度、加速度的直角坐标分量表示式 | 29 |
| 四、切向加速度和法向加速度 | 33 |
| 五、速度与加速度的平面极坐标分量表示式 | 42 |
| §1.4 已知加速度求速度和位置 | 47 |
| §1.5 相对运动 | 58 |
| 思考题 | 58 |
| 习题 | 60 |
| 第二章 质点动力学 | 69 |
| §2.1 牛顿运动定律 | 69 |
| 一、惯性运动 | 70 |
| 二、惯性参考系 | 72 |
| 三、质量和力 | 73 |
| 四、牛顿第二定律 | 77 |
| 五、作用和反作用 | 79 |
| §2.2 几种常见的力 | 80 |
| 一、万有引力 | 82 |

| | |
|------------------------|------------|
| 二、弹性力 | 84 |
| 三、摩擦力 | 85 |
| §2.3 力学单位制 量纲 | 87 |
| 一、力学单位制 | 87 |
| 二、量纲 | 89 |
| §2.4 动力学问题示例 | 90 |
| §2.5 非惯性系中的惯性力 | 105 |
| 思考题 | 111 |
| 习题 | 114 |
| 第三章 功与能 机械能守恒定律 | 128 |
| §3.1 功和功率 | 128 |
| 一、功的概念 | 128 |
| 二、恒力的功 | 131 |
| 三、变力的功 | 135 |
| 四、功率 | 137 |
| §3.2 动能 动能定理 | 138 |
| §3.3 势能 | 143 |
| 一、保守力和非保守力 | 143 |
| 二、势能 | 151 |
| 三、势能的实例 | 156 |
| 四、势能曲线 | 158 |
| §3.4 机械能守恒定律 | 161 |
| 一、功能原理 | 161 |
| 二、机械能守恒定律 | 162 |
| 三、机械能守恒定律的应用 | 163 |
| 思考题 | 168 |
| 习题 | 173 |
| 第四章 动量守恒定律 | 186 |
| §4.1 力的冲量 动量和动量定理 | 186 |
| 一、质点的动量定理 | 186 |
| 二、物体系的动量定理 | 190 |
| §4.2 动量守恒定律 | 196 |

| | |
|--------------------------|------------|
| §4.3 质心 质心运动定理 | 201 |
| 一、质点系的质心 | 201 |
| 二、质心运动定理 | 203 |
| §4.4 碰撞 | 206 |
| 一、弹性碰撞 | 207 |
| 二、非弹性碰撞 | 211 |
| 三、一般情况下的碰撞 | 215 |
| 四、质心参考系 | 216 |
| §4.5 动量和能量 | 218 |
| 思考题 | 220 |
| 习题 | 222 |
| 第五章 角动量守恒定律 刚体的转动 | 231 |
| §5.1 转动变量 | 231 |
| 一、物体的转动 | 231 |
| 二、角位移 | 232 |
| 三、角速度和角加速度 | 237 |
| §5.2 力矩 | 239 |
| 一、力矩的定义 | 239 |
| 二、力矩的功 | 240 |
| 三、力矩的动力学效应 | 241 |
| 四、力矩矢量 | 242 |
| §5.3 角动量定理 | 247 |
| 一、质点的角动量 | 249 |
| 二、质点系的角动量定理 | 256 |
| §5.4 角动量守恒定律 | 258 |
| 一、质点的角动量守恒 | 258 |
| 二、质点系的角动量守恒 | 268 |
| §5.5 刚体和刚体的运动 | 269 |
| 一、刚体 | 269 |
| 二、刚体的平动 | 271 |
| 三、刚体的质心运动和绕质心的转动 | 273 |
| §5.6 刚体绕固定轴的转动 | 275 |

| | |
|-----------------------|------------|
| 一、角位移、角速度和角加速度 | 275 |
| 二、角动量和转动定理 | 277 |
| 三、转动动能 | 280 |
| 四、转动惯量的计算 | 281 |
| §5.7 刚体的平面运动 | 292 |
| §5.8 角动量守恒的几个实例 | 296 |
| §5.9 进动 | 299 |
| 附录 I | 302 |
| 附录 II | 304 |
| 思考题 | 308 |
| 习题 | 312 |
| 第六章 流体力学 | 323 |
| §6.1 作用在流体上的力 | 323 |
| 一、内摩擦力 | 325 |
| 二、正应力 | 328 |
| §6.2 静止流体中的压强 | 329 |
| 一、静流体的压强公式 | 329 |
| 二、应用举例 | 332 |
| §6.3 流体运动的描述 | 339 |
| 一、描述流体运动的方法 | 339 |
| 二、流场、流线和流管 | 340 |
| 三、定常流与不定常流 | 340 |
| §6.4 定常流的连续性方程 | 342 |
| §6.5 伯努利方程及其应用 | 344 |
| 一、伯努利方程 | 344 |
| 二、伯努利方程及其应用举例 | 349 |
| §6.6 实际流体的运动规律 | 356 |
| 一、实际流体的能量方程 | 356 |
| 二、层流和湍流 | 358 |
| 三、长直圆管中的层流流动 | 359 |
| 附录 I | 361 |
| 思考题 | 364 |

| | |
|----|-----|
| 习题 | 366 |
|----|-----|

第二篇 热 学

| | |
|----------------------------------|------------|
| 第七章 气体分子运动论 | 374 |
| §7.1 理想气体状态方程 | 374 |
| 一、状态参量 | 374 |
| 二、气体的基本实验定律 | 376 |
| 三、理想气体状态方程 | 377 |
| §7.2 气体分子运动论的基本概念 统计规律性 | 381 |
| 一、分子运动论的实验基础 | 381 |
| 二、统计规律性 | 383 |
| §7.3 理想气体的微观模型 理想气体的压强公式 温度的统计意义 | 386 |
| 一、理想气体微观模型 | 386 |
| 二、理想气体的压强公式 | 387 |
| 三、温度的统计意义 | 389 |
| §7.4 麦克斯韦速率分布和玻耳兹曼分布定律 | 392 |
| 一、气体分子速率的实验测定 | 392 |
| 二、气体分子按速率的统计分布——麦克斯韦速率分布律 | 394 |
| 三、三种分子速率 | 397 |
| 四、气体分子在重力场中按高度的分布 | 402 |
| 五、玻耳兹曼分布律 | 405 |
| §7.5 自由度 能量均分定理 气体的比热 | 405 |
| 一、气体分子的自由度 | 405 |
| 二、能量按自由度均分定理 | 406 |
| 三、理想气体的内能 | 407 |
| 四、理想气体的比热 | 408 |
| §7.6 分子的碰撞和平均自由程 | 412 |
| 一、碰撞和碰撞截面 | 412 |
| 二、平均自由程和碰撞频率 | 416 |
| §7.7 气体的输运过程——粘性、扩散、热传导 | 420 |
| 一、粘性 | 421 |

| | |
|----------------------------|------------|
| 二、扩散 | 425 |
| 三、热传导 | 427 |
| 四、输运系数与压强的关系 | 428 |
| §7.8 实际气体 | 429 |
| 一、实际气体的等温线 | 429 |
| 二、范德瓦耳斯方程 | 432 |
| 附录 | 439 |
| 思考题 | 444 |
| 习题 | 444 |
| 第八章 热力学 | 449 |
| §8.1 热力学第一定律 | 449 |
| 一、内能 | 449 |
| 二、热力学第一定律 | 449 |
| 三、准静态过程 | 450 |
| §8.2 热力学第一定律对理想气体的应用 | 452 |
| 一、理想气体的等容过程和定容摩尔热 | 452 |
| 二、理想气体的等压过程和定压摩尔热 | 455 |
| 三、理想气体的等温过程 | 461 |
| §8.3 循环过程 卡诺循环 | 461 |
| 一、循环过程和热机的效率 | 461 |
| 二、卡诺循环 | 463 |
| §8.4 可逆过程和不可逆过程 | 465 |
| §8.5 热力学第二定律 熵 | 467 |
| 一、热力学第二定律的表述 | 467 |
| 二、卡诺定理 | 469 |
| 三、熵 | 471 |
| 四、热力学第二定律的统计意义 | 474 |
| 思考题 | 477 |
| 习题 | 478 |
| 附录 I 矢量分析 (一) | 483 |
| §I.1 矢量定义 | 483 |
| §I.2 矢量的合成和分解 | 484 |

| | | |
|---------------|---------------------|------------|
| §I.3 | 矢量的标积 | 487 |
| §I.4 | 矢量的矢积 | 490 |
| §I.5 | 矢量的微分 | 492 |
| §I.6 | 矢量的极坐标分量式 | 494 |
| §I.7 | 标量场和矢量场 梯度 | 498 |
| §I.8 | 矢量的曲面积分 散度 | 501 |
| §I.9 | 矢量的线积分 旋度 | 502 |
| 附录 II | 国际单位制 | 506 |
| II.1 | 国际制(SI)基本单位 | 506 |
| II.2 | 力学的国际制(SI)单位 | 507 |
| II.3 | 热学国际制(SI)单位 | 508 |
| II.4 | 物理化学与分子物理学国际制(SI)单位 | 509 |
| II.5 | 国际制(SI)词冠 | 510 |
| 附录 III | 常用物理常数 | 511 |

绪 论

物质世界中的一切都处于永恒的运动与发展之中。天体的运行与演化、生物的生长与进化、分子的化合与分解，以及我们人类的思维活动等，都是物质运动的各种不同表现。人们在研究客观世界种种运动形态及其相互转化的过程中，依据它们各自特有的矛盾将自然科学区分为各门学科。物理学就是研究物质最基本运动形态(例如机械运动、热运动、电磁运动……)的一门学科。

人们为了要在自然界里得到自由，就必须用自然科学去了解自然、征服自然和改造自然。在古代，我国和希腊等文明古国就在观测物候天象、航海、灌溉、使用机械等各种实践活动中积累了不少物理知识。但物理学成为一门独立的学科，还是近代科学于西欧兴起之后的事，并且最初发展起来的只是其中的几个部分。在力学方面，伽利略(Galileo Galilei, 1561~1642)等先驱者首先运用了科学实验和理论分析的方法，并取得了一定的成果。从此以后，进行系统研究的条件才逐步趋于成熟，最后通过牛顿(Isaac Newton, 1642~1727)的总结，建成了经典力学体系。光学、热学、电磁学等建立较晚，到十八、十九世纪才发展成为体系。工业革命以后，物理学发展的速度大大加快了。作为一门基础学科，它对技术的发展起了巨大的作用，同时，生产的需要和技术的进步又推动了物理学的发展。例如，由于蒸汽机的应用迫切需要解决热机效率的问题。一般只有在研究了热转换为功这个问题之后，实际提高热机的效率才成为可能。同时，热转换为机械功的研究又为热力学的建立打下基础。又例如，电磁学的研究促成了以后的电气化，而电气化所提供的实验手段又促进了物理学的发展。

早期科学家的活动并不局限于一门学科,物理、化学等学科之间也没有明确的界线.牛顿最主要的成就在物理和数学方面.但他对化学也极为爱好,在他的《光学》一书中曾对化学现象作过不少猜想.同时代的玻义耳(Robert Boyle, 1627~1691)常被看作化学家,但他在物理上也有不少贡献.物理和化学虽然有不同的特点,但它们的联系始终使人们深感兴趣.特别是能量守恒与转化定律的发现,人们对这种联系看得更加清楚了.在此基础上建立起来的热力学成为物理和化学两方面的重要理论基础.又例如,从一开始电学就和化学相联系形成了电化学,电子存在的最早迹象就是在法拉第(Michael Faraday, 1791~1867)的电化学研究中出现的.原子学说最初是物理学家鼓吹的,但却在化学中真正确立了,然后又在物理学中结出了丰硕的成果.光谱也是在物理研究中首先发现的,而化学家进一步发现它是元素的标志,并给以重要的应用和发展,最后又成为物理学探索原子结构的重要线索.在物理学史上这种互相联系、互相促进的事例是屡见不鲜的.

本世纪以来,物理学以深入微观领域为标志,在各个方面都有了很大的进展,使物理学进入了一个新的时期.在上述基础上出现了无线电电子学、原子能、激光等一系列有重大意义的新技术、新学科.新技术的发展为物理学提供了新的研究手段,使探索太空和基本粒子的内部结构成为可能.在理论方面出现了相对论和量子论.由于量子论的出现,使微观领域的许多情况弄清楚了.过去全凭经验去认识的许多物理、化学性质,现在都从微观结构上得到了理解,这使物理学与相邻学科间形成了更为密切的联系,充分发挥了基础学科的作用.现代物理学发展的前沿阵地如基本粒子物理、核物理、原子和分子物理、固体物理、光学、声学、等离子体物理、天体物理等分支学科,几乎都已和相邻学科结合起来,其中不

少是和化学方面的相应边缘学科并肩作战的。以量子力学为基础建立起来的量子化学，和统计力学一起已成为现代化学的理论基础。在实验方面，物理学的新成就中包括各种波谱、绕射方法等已在化学中得到普遍应用，并有所发展。今天的化学工作者如不具备一定深度的物理基础知识是较难开展工作的。

同时，物理学也受到化学和其他学科的巨大影响。过去物理学比较偏重于研究物质的基本运动规律，化学则致力于研究物质的结构。在深入到原子内部的研究以后，情况有了很大的变化，物理和化学都集中去探索物质结构的奥秘，不过化学着重研究与分子层次有关的问题，物质结构的其他层次则主要是物理学研究的课题。当然，物质结构的其他层次的研究也都和化学有联系。实际上，物理学和化学在原子、原子核、固体等方面的研究都是交叉进行的，甚至在天体和基本粒子等较远的层次，近年来也有分子天文学、介子化学等边缘学科活跃地发展起来。至于分子层次的研究不仅对化学，而且对生命的研究也有着重要的意义。在这方面，化学、物理学和生物学都结合起来了，而化学的作用一直走在物理的前头。从学科的基础来看，可以说有些在过去只看作是物理学基础的东西，现在已逐步发展成为化学、生物学、地学、天文学等不同学科的共同基础，而物理学自身的基础也在不断地发展着。

物理学研究物质的运动，有两种基本的模型，即粒子与场。粒子集中在一点，而场分布在空间。因此，在空间形态上，粒子与场各有不同的特点。表1.1给出了物质世界空间的尺度标尺，从表上可以看出，若向大的方面看，地球、太阳、太阳系、银河系……，它们的线度由小到大，相互之间存在着几个数量级的差别。若向小的方面看，地球、人类、分子、原子、基本粒子……它们的线度由大到小，相互之间也存在着几个数量级的差别。这些反映了物质世界的层次结构。按照通常的习惯说法，以上物体（包括庞大的天体和