



普通物理学

(化学数学专业用) (修订版)

主审 陈家森 主编 汪昭义

Xinshiji Gaodeng Shifan Yuanxiao Jiaocai

新
世
纪
高
等
师
范
院
校
教
材



Jiaocai



新世纪高等师范院校教材

普通物理学

(化学数学专业用)

(修订版)

主审 陈家森

主编 汪昭义

编写组成员(按姓氏笔划为序):

方天华 吴高题

李仁大 汪昭义

华东师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学/汪昭义编著. —2版. —上海:华东师范大学出版社, 2000. 3

化学数学专业用

ISBN 7-5617-0444-5

I. 普… II. 汪… III. 普通物理学-师范学校-教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 05070 号

新世纪高等师范院校教材

普通物理学

(化学数学专业用)

(修订版)

主编 汪昭义

华东师范大学出版社出版

(上海中山北路 3663 号 邮政编码 200062)

新华书店上海发行所发行

复旦大学印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 17 字数 420 千字

1997 年 6 月第 2 版 2000 年 3 月第 4 次印刷

印数 15 001—21 000

ISBN 7-5617-0444-5/N · 018

定价 15.80 元

出版说明

1986年,我社受国家教委有关部门的委托,根据国家教委师范司制订的《二年制师范专科学校八个专业教学计划》的要求,与全国各省、市、自治区教委合作,共同组织编写了全国高等师范专科学校教材20余种;同时与华东六省教委密切协作,编写了能反映华东地区师专教学和科研水平的、适应经济建设较为发达地区的师专教学需要的教材40余种。从此,师专拥有了比较符合自己培养规格、规律和教学要求而自成系统的教材。实践证明,师专教材建设对于提高师专教学水平,保证师专教学质量起到了重要作用。

近几年来,在邓小平同志建设有中国特色社会主义理论的指引下,我国的教育事业取得了很大发展。国家教委根据《中国教育改革发展纲要》的要求,针对高等师范专科学校的教育特点,颁发了《高等师范专科教育二、三年制教学方案》,进一步明确了高等师范教育面向21世纪的发展目标和战略任务,以及教学内容和教学结构的改革要求。

自出版第一本师专教材以来,我社多年来分阶段地对师专教材的使用情况进行了跟踪分析,又于1995年开展了较为系统的全面调查。调查中,教师普遍反映,现有师专教材尚不同程度存在着与当前师专教学实际相脱节的现象;对各学科中的新发现、新理论、新成果,未能加以必要的反映,已跟不上当前社会、经济、科技等发展的新形势。考虑到师专从二年制向三年制发展的现状和趋势,我社于1996年初与华东六省教委有关部门一起,邀集全国48所师专代表专门研讨了师专教材建设问题,随即开展了部分教材的修订和新编工作。

1999年,我社又进行了更大范围的实地调查,发现不少地区

已将对中学教师的培养提高到了本科水平,在专业设置、课程计划、教学要求等方面都有变化。为此,我们对部分教材作了进一步的修订,使其能够适应新世纪的高等师范教学需要,同时也可用于中学教师的职后培训。

师范院校教材建设并不是一个孤立的系统,它必须服务于师范教育的总体规划。它已经历了从“无”到“有”的过程,并将逐步实现从“有”到“优”的目标。我们相信,通过各方面的努力,修订和新编的师范院校教材将充分体现基础与能力相结合,理论与实践相结合,当前与未来相结合的特色,日臻完善和成熟。

这次编写和修订工作得到了有关省市教委的大力支持,我们谨在此深表谢忱,并向为师范院校教材建设付出辛勤劳动的各地师范院校领导和所有参加编写、修订和审稿的专家、学者等致以衷心的感谢。

华东师范大学出版社

2000年1月

初 版 前 言

本书是为师专化学专业学生学习普通物理学而专门编写的，应该说这是师专系统的一个重大事件。因为在过去还没有一本统一的适用于师专系统的普通物理学教科书，这必然会使师专学生的学习受到影响。这次由四位长期工作在师专物理教学第一线的、积累了丰富的教学经验的教师，根据教学大纲的要求和学生的具体实际，在较短的时间内编写出本书，虽然时间仓促，很多问题还来不及经过十分仔细的推敲和琢磨，它仅仅是一个雏型，但它毕竟具有师专的特色，更加切合师专的实际，是师专系统自己的教科书，应该值得庆贺。有了它以后，还可以通过师专全体师生的实践，不断地加以充实、更新和提高，使它的内容更加切合实际，组织得更加科学，体系更加完整，说理和表达更加严密，提炼出一本更加完美的教材来。

华东师范大学 陈家森

1988 年 12 月

再 版 前 言

1988年长期工作在教学第一线的汪昭义等老师在自己的丰富的教学经验的基础上编写成本书,是一本较为实用的普通物理教科书。八年来,通过反复使用,说明本书不仅是一本适用于化学专业的好教材,而且稍作增删,还可以提供给非物理专业的师生使用。为此,本书的几位编者根据本身的教学积累和使用过本书的广大师生们的合理建议,同时吸取了国内外同类教材中先进的内涵,对原材料除了在内容上进行更加切合实际的增删外,还对全书的物理学名词进行了规范化处理,使之更为完善。相信本书的修订再版会像第一版的作用一样,对物理课程的改革再起促进和推动的使用。

华东师范大学 陈家森

1996年12月

目 录

绪论	1
§ 0.1 物理学研究对象	1
§ 0.2 物理学研究的方法	3
第一章 牛顿运动定律	6
§ 1.1 质点运动的描述	7
§ 1.2 几种典型的质点运动	15
§ 1.3 牛顿运动定律及其应用	26
思考题与习题一	38
第二章 动量 功和能	41
§ 2.1 动量 动量定理	41
§ 2.2 动量守恒定律	45
§ 2.3 功和功率	49
§ 2.4 动能 动能定理	51
§ 2.5 势能 保守力与非保守力	54
§ 2.6 功能原理 机械能守恒定律	58
§ 2.7 碰撞	61
思考题与习题二	67
第三章 刚体的转动	73
§ 3.1 刚体的定轴转动	73
§ 3.2 转动定律	79
§ 3.3 刚体转动的动能定理	87
§ 3.4 角动量 角动量守恒定律	91
思考题与习题三	99
第四章 振动和波	102
§ 4.1 简谐振动	102
§ 4.2 描述简谐振动的物理量	106
§ 4.3 简谐振动的合成	114
* § 4.4 阻尼振动 受迫振动和共振	117

§ 4.5	机械波的传播 惠更斯原理	121
§ 4.6	平面简谐波	128
§ 4.7	波的叠加 波的干涉	139
	思考题与习题四	144
第五章	狭义相对论力学简介	149
§ 5.1	产生狭义相对论的历史背景	149
§ 5.2	洛伦兹变换	154
§ 5.3	狭义相对论的时空观	158
* § 5.4	相对论动力学的主要结论	164
	思考题与习题五	168
第六章	气体动理论	170
§ 6.1	气体动理论的基本概念	170
§ 6.2	理想气体状态方程	173
§ 6.3	理想气体的压强和温度	175
§ 6.4	能量均分定理 理想气体的内能	181
§ 6.5	麦克斯韦速率分布律	185
§ 6.6	气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	191
§ 6.7	实际气体的等温线 范德瓦耳斯方程	195
* § 6.8	实际气体的内能 焦耳-汤姆孙效应	200
	思考题与习题六	203
第七章	热力学基础	206
§ 7.1	热力学第一定律	206
§ 7.2	热力学第一定律对理想气体的应用	210
§ 7.3	循环过程 卡诺循环	221
§ 7.4	热力学第二定律	226
§ 7.5	实际过程的不可逆性 卡诺定理	228
* § 7.6	熵 熵增原理 热力学第二定律的统计意义	233
	思考题与习题七	241
第八章	静电场	245
§ 8.1	电荷 库仑定律	245
§ 8.2	电场 电场强度	249
§ 8.3	电通量 静电场的高斯定理	257

§ 8.4	电势 静电场的环路定理	265
§ 8.5	电场强度与电势的关系	273
§ 8.6	静电场中的导体 静电平衡	278
§ 8.7	电容和电容器	283
§ 8.8	静电场中的电介质	289
§ 8.9	静电场的能量	298
	思考题与习题八	301
第九章	稳恒电流	306
§ 9.1	电流密度 欧姆定律的微分形式	306
§ 9.2	闭合电路和一段含源电路的欧姆定律 电动势	314
§ 9.3	基尔霍夫定律	320
	思考题与习题九	325
第十章	稳恒电流的磁场	329
§ 10.1	磁现象 磁场 磁感应强度	329
§ 10.2	磁通量 磁场的高斯定理	333
§ 10.3	毕奥-萨伐尔定律	336
§ 10.4	安培环路定理	342
§ 10.5	磁场对运动电荷的作用 洛伦兹力	347
§ 10.6	磁场对载流导线的作用 安培力	352
§ 10.7	磁介质 磁化强度	358
§ 10.8	有磁介质时的安培环路定理 磁场强度	362
	思考题与习题十	367
第十一章	电磁感应 电磁场	373
§ 11.1	电磁感应的现象及其规律	373
§ 11.2	动生电动势和感生电动势	378
§ 11.3	自感 互感	381
§ 11.4	磁场的能量	385
§ 11.5	位移电流 电磁场基本方程的积分形式	388
§ 11.6	电磁振荡 电磁波	396
	思考题与习题十一	402
第十二章	光学	407
§ 12.1	光波的相干叠加 双缝干涉	407

§ 12.2	光程 薄膜干涉	413
§ 12.3	惠更斯-菲涅耳原理 单缝衍射	426
§ 12.4	光栅衍射	436
§ 12.5	光的偏振	441
§ 12.6	热辐射 普朗克的量子假设	450
§ 12.7	光电效应 爱因斯坦的光子理论	455
§ 12.8	光的波粒二象性	460
思考题与习题十二		461
第十三章 原子和原子核		469
§ 13.1	氢原子光谱 玻尔氢原子理论	469
§ 13.2	德布罗意假设 不确定关系	477
§ 13.3	薛定谔方程	483
* § 13.4	量子力学对氢原子的处理	489
§ 13.5	电子的自旋 原子的壳层结构	495
* § 13.6	激光	498
* § 13.7	原子核的性质、组成及其放射性衰变	505
思考题与习题十三		513
习题参考答案		516
后记		524
修订后记		526

绪 论

§ 0.1 物理学研究对象

在我们周围的世界都是物质的,它们都处在运动和发展之中。人类最初对物质运动及其表现的认识,是直接通过感知了解的,然后向更广和更深的层次探索,大到天体和宇宙,其尺度为 10^{26}m (观测所及的空间范围,其曲率半径下限约 100 亿光年),小到原子内部,乃至基本粒子,其线度为 10^{-18}m (电子半径上限)。在这两个大小悬殊的极端之间,排列着物质世界中各种不同层次的实体,它们在结构上互相结合、彼此重叠,尽管被认识的程度还不完善,但这确实是一幅贯串 44 个数量级即大小相差 10^{44} 倍的巨大而深远的全景式图像。其间景象万千,形形色色,奥秘无穷,几乎都与物理学有关。

我国古代在观测天象、灌溉、建筑、航海和使用兵械等实践活动中,已积累了不少零星和片断的、称为自然哲学的知识。它是将自然界看作随其自身内部规律而运动的对象,所建立起来的一种自然观。尽管在中国,这种自然哲学未能发展成为自然科学,但在技术工程方面的成就是惊人的:火药、造纸、活字印刷、指南针四大发明在世界文明史上占着十分重要的地位。

物理学研究自然界物质存在的各种主要的基本形式、性质与内部结构,从而认识这些结构的组元及其相互作用、运动和转化的基本规律。随着实践的扩展和深入,物理学的内容时有更新,但归根结底都是物质运动最一般的规律和物质的基本结构。由于物理学所研究的是最基本、最普遍的物质运动形式,包括机械运动、热

运动、电磁运动、微观粒子运动等这些较为简单的运动形式,普遍地存在于其他较高级和较复杂的物质运动形式(例如化学的、生物学的等等)之中,所以,物理学研究的物质运动规律,具有极大的普适性。例如,万有引力定律、能量守恒定律,对于宇宙间任何物体,不论其化学性质如何,或有无生命,都一概遵从。这就决定了物理学的任务是力图寻找一切物理现象的基本规律,从而统一地理解所有物理事实。物理学家的这种努力和新物理规律的不断发现,都表明人们对物质世界的探究是无穷无尽的。

物理学的研究是从实验现象的观测开始的,先通过许多不同而又相互有关的实验所获得的大量资料进行比较、分析,抽象成物理模型,产生假说,形成概念,建立定律,再经广泛的概括,从而构成系统化的知识,这就是理论。理论能使许多实验事实联系起来;同时还一定程度上预言新的现象,进一步指导新的实验。将实验结果与理论的预期加以对比,检验这个理论是否正确或有多大误差,以此再对理论进行修正或更新。这样,物理实验和理论之间相互依存、相互促进的关系,使物理学在理论与实际相结合的基础上稳步前进。

物理学理论体系是包括假说、模型、概念、定律和定理,以一定的逻辑框架有序地组合起来的。它能解释广泛范围内的现象,并能回答现实中的有关问题。在物理学理论体系的构成和发展中,科学家对理论简明性的信念以及对世界图景统一性的追求,使得理论随着实验不断发展,甚至有时连基本理论框架都发生根本性的变革。

物理学的发展源远流长,可以分为三个时期:16世纪以前的古代物理学处于其萌芽时期,基本上属于现象的描述、经验的总结和猜测性的思辨,主要以直觉的和零散的形式出现的、有关自然界的具体知识,也仅仅是自然哲学的一个组成部分。

16到19世纪物理学逐步从自然哲学中分化出来,成为一门

独立的科学。开始以哥白尼、伽利略为代表,由牛顿集大成而建立起经典力学,把天体和地面物体的运动统一起来。19 世纪由焦耳、卡诺和克劳修斯等人建立起热力学和统计物理,确定了能量守恒定律,找到了宏观热现象和微观的大量粒子运动之间的联系。以法拉第和麦克斯韦为主要创始人的电磁学和电动力学,把电、磁、光统一起来。经典力学、热力学和电磁学就构成了经典物理学理论体系,这就是经典物理学的建立时期。

19 世纪末、20 世纪初物理学实验揭示了一系列新现象,特别是深入到微观世界和高速领域,导致了物理学的革命:爱因斯坦建立相对论,把物质、运动、时间、空间统一起来;由海森伯与薛定谔等人建立起的量子力学,揭示了物质的波粒二象性,找到了微观世界运动的规律,进一步把实物粒子和场统一起来。这两大方面理论的建立,标志着跨入了近代物理学发展时期。

§ 0.2 物理学研究的方法

物理学的长足进展,使得其自身的研究方法不断地演变和革新。所谓物理学研究方法,概括起来就是在观察与实验的基础上,运用逻辑思维与数学分析相结合的方法。

物理学研究方法离不开人类对客观世界的认识法则,即认识来源于实践,而实践的广度和深度又有着历史的局限性。与古代物理学相应的自然观,占统治地位的是原始的唯物论和朴素的辩证法。与牛顿力学体系相应的是形成了一种机械唯物论的自然观,即基本上坚持唯物主义立场,但有把一切运动都简单地归结为机械运动的形而上学观点。19 世纪物理学揭示了自然界不同运动形式之间的相互联系和转化,在此基础上诞生了辩证唯物论的自然观;随着 20 世纪以相对论、量子力学为支柱的近代物理学时期的到来,使得辩证唯物论的自然观不断丰富和发展。当前物理学的理论

正被用来研究越来越复杂的对象及其运动,从分子凝聚态到化学反应,乃至探求生命的奥秘和解开宇宙起源之谜;并且物理学研究方法已经开始渗透到社会科学领域。

物理学对最基本最普遍的物质运动形式的研究,使得它对整个自然科学的发展有着重要的影响,一直被认为是其他自然科学和各门工程技术的基础或支柱,在化学、生物学、天文学甚至心理学中,都包含有许多物理原理。数学上的很多发现更和物理学有着密切的关系,而数学中的许多方法都在物理学中首先得到应用,既可描述物理现象和规律,并可提供最优美的表达形式。

数学的发展虽然有其自身的特点,即可作为一种不受物质世界支配的独立逻辑结构而存在,但是物理学的需要确实促进了数学的发展。另一方面,数学还构成物理学理论和应用工程技术之间的部分桥梁。通过数学这一座桥梁,物理学理论与应用技术之间互相充实,派生出各种应用物理学科。

现代科学的发展,更加促进了物理学与其他学科领域的联系,从而形成了许多边缘科学,这是物理学横向发展的新开拓。化学也许是与物理学最为密切的伙伴,它们有时甚至很难区分。难怪某些学者认为“物理学和化学分离开可能是件不幸的事”。近年来,随着物理学理论和实验研究手段与方法的进步,使这两门科学逐渐靠拢,并有着广阔的共同研究领域,互相渗透。一些物理学的基本内容,既是许多化学问题研究的直接需要,又是化学的理论基础。如物理学中的原子理论,在很大程度上由化学实验来证实;化学中的化学反应理论,在很大程度上总结在门捷列夫周期表内,各种元素之间的相互联系汇总了不同物质之间的化合规则,而这些规则最终可以从量子力学得到解释。

物理学的每一次重大突破,都会促进生产技术的变革,推动社会生产力的发展。人们的生产技术活动,需要物理学提供知识养料作为理论指导;反过来也为物理学研究工作提出新的课题,并提供

进一步开展科学实验的先进装备。因此,生产技术成了物理学研究的源泉和物理学发展的动力。

学习物理学这门基础课,必须系统地掌握物理学的基本理论和知识,并在实验技能和运用数学的能力以及研究方法等方面受到必要的训练,为今后学习专业知识和在实践中获取新的科技知识,打下初步的物理基础。

第一章 牛顿运动定律

力学是研究机械运动规律及其应用的学科。一个物体相对另一个物体、或者是一个物体的某些部分相对于其它部分的位置的变化,称为机械运动。如星体在太空中的运动、机器运转中各部件的运动及车辆在行驶中相对位置的改变等等。

任何物体都有一定的大小和形状,运动时,物体上各点的位置变化,一般说来是各不相同的。因此,要精确描述实际物体的运动并不是一件十分简单的事。但在某些情况下,物体各点的运动状态完全相同,或者物体本身形状、大小与问题中所涉及的运动空间范围比较起来可以忽略不计时,该物体就能抽象为一个只具有质量和空间位置的点,这种理想的模型称为质点。可否把物体当作质点处理,要看具体情况。例如研究地球绕太阳公转时,由于地球到太阳的平均距离(大约为 $1.5 \times 10^8 \text{km}$) 比地球的半径(约 $6\,370 \text{km}$) 大得多,地球上各点相对于太阳的运动可以看作是相同的,这时,就可把地球当作质点处理。但是,在研究地球本身自转时,地球上各点的运动并不相同,这时就不可再把地球当作质点处理了。因此,把物体当作质点处理是有条件的,是相对的。

本章首先描述质点的机械运动,引出位移、速度和加速度等概念,建立起质点运动方程,并以此阐明质点作直线运动、抛体运动和圆周运动的基本规律,最后详细地讨论牛顿运动三定律及其初步应用。