

大学基础物理学

王海婴 主编

高等教育出

北京版社 2000

大学基础物理学编写人员

主 编 王海婴

副主编 张文杰 李广新

编 委 王海婴 张文杰 李广新 罗贤清

王人胜 程艳霞 刘家冈

主 审 陈立华

责任编辑 张庆波

封面设计 张楠

责任绘图 朱静

版式设计 史新薇

责任校对 姜国平

责任印制

内容提要

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材。本书分四部分:实物的性质和运动规律,电磁场运动规律,光和量子运动规律,物理学方法论。本书强调基础物理知识的现代化,强调基础物理知识与生物科学、农林科技的有效联系,体现了物理学在培养本科人才素质、知识、能力方面的意义。

本书可作为高等农、林、水产院校生物学科类专业的教科书,也可作为综合大学、师范大学、医科大学等相近专业的教科书或参考书,还可作为自学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大学基础物理学 王海婴主编. —北京:高等教育出版社,2000

ISBN 7-04-008998-X

.大... .王... .普通物理学-高等学校-教材 .04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 62108 号

大学基础物理学

王海婴 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010 - 64054588

传 真 010 - 64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷

纸张供应 山东高唐纸业集团总公司

开 本 787×960 1/16

版 次 年 月第 版

印 张 30

印 次 年 月第 次印刷

字 数 550 000

定 价 25.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

20 世纪 90 年代以来,华中农业大学、北京林业大学、安徽农业大学等院校的物理教师在全国物理课程改革思想的影响下,纷纷编写了农、林学科类用的“大学物理学”教材、生物物理学教材等,并多次在各校学生中应用。这些教材的思路是本书问世的基础。

1996 年 6 月原国家教委立项,高等农林院校面向 21 世纪本科物理教学内容和课程体系改革与实践项目组正式成立,华中农业大学为牵头主持单位、北京林业大学和安徽农业大学等均为参加单位,本书的主编王海婴教授为项目组总负责人。

1997 年经过面向 21 世纪物理课程改革的人才素质教育的理论和国内外改革动向的对比研究,制定了新的面向 21 世纪大学基础物理教学大纲。1998 年起,在多次修改大纲的基础上,三校的老师分工合作,共同完成了本书的编写工作。

华中农业大学在原大学物理学、生物物理学的基础上,根据新的教学大纲的要求,编写了“大学物理学补充教材”,以适应改革试点教学的需要。于 1998 年春期和 1999 年春期,按本书大纲的要求,用本书主要篇章的内容,在华中农业大学果树、蔬菜、观赏、畜牧、生物技术等 5 个专业的学生中进行了 2 轮改革教学的试点,收到了较好的教学效果。

根据面向 21 世纪高等农林院校农林学科类本科学生所必需掌握的物理学基本理论、基础知识和基本技能,构建了一个新的课程体系,希望使读者有耳目一新的感受。几部分组成:

第一部分,实物的性质与运动规律——探讨宏观物质、包括大量粒子、分子构成的系统及其聚集态的性质和运动规律与实际应用;

第二部分,电磁场的性质及电磁运动规律——探讨电场、磁场的性质及电和磁相互转换的规律与实际应用;

第三部分,光与量子的性质与运动规律——探讨微观粒子的波粒二象性及运动规律与在现代科技上的应用;

第四部分,物理学方法论原理概述——介绍物理学的方法论原理,提高学生科学素质教养。

本书体现了物理理论、知识、技能的现代化。教材以一定的篇幅介绍了 20 世纪物理学上卓越的成就——相对论和量子力学;热物理学引入多粒子体系统计理论和非平衡态热力学的概念,分析了熵、耗散结构和自组织现象;对于近年来科学领域十分热门的混沌和分形也作了探讨;与现代科技密切的超导、激光、NMR,量子隧道效应、现代光谱技术及遥感等也作了适当的展开。采取“物理与现代科技”这样引人醒目的标题展现在读者面前,使大家对教材中现代科技的闪光点一目了然。这部分内容约占全教材的 30%。从而改变以往教材内容陈旧的面孔,为 21 世纪农林院校本科学生认识现代科学技术打开许多知识的“窗口”。

农林院校的基础物理学有别于理、工科和文科物理学的一个显著特点应该是,力求与生物科学、农、林科技建立必要的联系。虽然本书不能代替专业书籍去讲授某些科学知识,但是在基础物理课程中能让了解物理的内容与未来从事的专业有些什么联系,这对提高现在课程的学习热情,同时为进一步理解某些专业问题,无疑都是十分有益的。本书采用“物理与科技应用”的标题,在介绍物理理论知识的基础上,推出它们在生物科学、农林科技以及日常科技中的应用,为拓宽学生的知识面,了解物理与其他自然科学,特别是生物科学的关系作出贡献。

基础物理课不仅仅是传授物理知识的课堂,而且是培养学生科学的世界观和方法论的场所,因此对学生加强各种素质教育,贯彻爱国主义,辩证唯物主义以及正确的认识论的教育也是本书的宗旨。除在各种物理理论、定律的简述中贯彻科学的世界观和方法论,本书在某些特殊的篇章中专门开辟了一个栏目称为“物理学史与述评”,从物理学史的介绍入手,述评一些重大的物理命题,以期对物理学的认识论、方法论进行探讨。

最后,在本书的第四部分专门介绍了物理学的方法论原理,期望读者能更集中、更突出地体会科学的世界观和方法论,为培养学生的素质、知识、能力作出贡献。

本书贯彻少而精的原则,教材总章数少,所选的内容精练。其措施之一是克服了与中学物理的重复。对中学物理中已讲解得较多的力学、振动和波动、热力学、静电和直流电路、光的波动性等的大多数内容采取精简的方法,有的根本不讲,有的只作简要的概述,有的只突出新发展的理论。其二是克服过去教材中以计算方法训练为中心的陈述方法,适当降低用高等数学进行计算的要求,着重基本物理概念和理论的阐述,某些数学演绎不在正文中介绍,而在附录中列出。其三,讲解某些理论运用现代的观点,一竿子到底,少讲某些发展过程中的理论。

例如量子力学初步,不再讲旧量子论的玻尔、索末菲原子结构模型,而是直接从薛定谔方程求解得出能量、角动量等的量子化条件。其四,把学生必修的主干内容与提高的内容区分开来,把基础理论与理论的应用划分一个界限,以便适应不同基础的学生的自选要求,凡是非主干的内容,非基础的理论都用“*”号标出。

总之,本书根据目前全国高等农林院校物理教学的一般学时状况,主干内容以讲解 60~80 学时为宜。提高内容可以作为开设物理选修课的教材。

本书由华中农业大学王海婴担任主编,北京林业大学张文杰、安徽农业大学李广新担任副主编;参加编写的有华中农业大学王海婴(13~16 章、前言、绪论),罗贤清(11、12、17 章),王人胜(9、10 章、附录),北京林业大学张文杰(5、6、8 章),程艳霞(3、7 章),刘家冈(4 章),安徽农业大学李广新(1、2、18~20 章)。

本书由华中师范大学物理系陈立华教授担任主审。

成书过程中,先后得到华中农业大学龚祖文、李守经教授、万绩钦副教授、丁孺牛副教授的鼓励和帮助。后德家、邓瑞宁同志绘制了大部分附图,柴成钢同志配合教学研究了一些 CAI 课件,在此一并表示谢意。

由于转变教育思想,适应面向 21 世纪高等院校课程改革的形势发展是一个艰巨的任务,加之我们水平有限,时间仓促,错误和不当之处恳望读者随时提出宝贵意见。

作者 1999.8.5

目 录

绪论	1
第一部分 实物的性质和运动规律	
第一章 牛顿力学概述	7
1.1 质点的运动状态的描述	7
1.2 质点动力学	19
习题	26
第二章 力学基本定律和非线性力学简介	28
2.1 力学的三个守恒定律	28
2.2 非线性力学简介	35
习题	38
第三章 相对论力学	40
3.1 相对论运动学	40
3.2 狭义相对论动力学	48
3.3 狭义相对论被实验事实证明的例证	52
3.4 广义相对论及其检验	54
3.5 物理学史与述评 人类对时空认识的飞跃	60
附录 3.1 由牛顿的绝对时空观推导伽利略坐标变换	61
附录 3.2 关于狭义相对论时空观的论证	62
附录 3.3 洛伦兹变换的推导	66
习题	67
第四章 振动与波	70
4.1 谐振动	70
4.2 振子	75
4.3 非线性振动	78
4.4 简谐波	83

4.5	简谐波的干涉	85
4.6	非线性波	89
4.7	声波 超声与次声	90
	习题	92
第五章	流体力学	95
5.1	理想流体的定常流动	95
5.2	黏滞流体的流动	100
5.3	物理与科技应用 生物大分子高速离心分离技术	104
5.4	多孔介质中的流体运动	106
5.5	物理与现代科技 分形与分形生物学介绍	110
5.6	物理与科技应用 生物材料流变学介绍	115
附录 5.1	泊肃叶公式的推导	118
附录 5.2	气体用达西定律的推导	119
	习题	119
第六章	多粒子体系统计理论初步	121
6.1	经典统计的概念	121
6.2	分子平均平动动能统计分布规律	124
6.3	分子能量的统计分布	128
6.4	分子速率统计分布	133
6.5	分子碰撞的统计分布	136
	习题	138
第七章	热物理学基础	141
7.1	热力学第一定律	141
7.2	热力学第一定律对理想气体的应用	145
7.3	循环过程 卡诺循环	151
7.4	制冷机 热泵应用分析	155
7.5	热力学第二定律	157
7.6	熵与熵增加原理	161
7.7	熵产生 熵流 生命系统的负熵	168
7.8	耗散结构	170
7.9	物理学史与述评 “热寂说”与宇宙的未来	175
附录 7.1	理想气体绝热过程方程的推导	177
附录 7.2	不可逆过程的相互沟通的说明	177
	习题	179
第八章	输运过程与相变	183

8.1	气体中的输运过程	183
8.2	渗透现象	187
8.3	相变	191
8.4	液晶及其相变	197
*8.5	物理与现代科技 凝聚态物理简介	201
	习题	204
第二部分 电磁场运动规律		
第九章	静电场	207
9.1	电场 电场强度	207
9.2	静电场的高斯定律	211
9.3	静电场的环路定理 电势	214
9.4	电场强度与电势的关系	218
9.5	静电场与电介质的相互作用	218
9.6	静电场的能量	221
9.7	物理与科技应用 压电效应	222
9.8	物理与科技应用 静电生物效应的应用	223
	习题	225
第十章	电动势 电流与生物信号电子检测	227
10.1	电源电动势	227
10.2	接触电动势 温差电动势	228
10.3	生物膜内、外的电势差	231
10.4	电流强度与电流密度	233
10.5	欧姆定律的微分形式	234
10.6	生物信号电子检测基础	235
10.7	物理与科技应用 细胞和生物胶粒的电泳	243
10.8	物理与现代科技 细胞电场诱导融合	245
	习题	246
第十一章	稳恒磁场	248
11.1	稳恒电流的磁场 毕奥-萨伐尔定律	248
11.2	稳恒磁场的基本特性	251
11.3	电磁相互作用	253
11.4	霍耳效应	256
	* 物理与现代科技 量子霍耳效应	257
11.5	有磁介质时的安培环路定理	258

11.6	物理与科技应用	磁记录(磁带、软盘、硬盘)	260
11.7	物理与现代科技	超导及其应用	262
11.8	物理与科技应用	生物组织的磁特性 生物弱磁场的测量	267
	习题		268
第十二章 交变电磁场			271
12.1	法拉第电磁感应定律		271
12.2	感应电动势与涡旋电场		273
12.3	自感与磁场能量		275
12.4	位移电流与磁场环路定理		278
12.5	麦克斯韦电磁方程组		281
12.6	物理学史与评述	“电磁现象的辩证统一论”	282
12.7	电磁辐射的产生	电磁波谱	284
12.8	物理与科技应用	微波的产生及其生物学应用	289
	习题		290
第三部分 光和量子运动规律			
第十三章 光的波动性			295
13.1	光的干涉		295
13.2	分波阵面干涉		298
13.3	分振幅干涉		301
13.4	物理与科技应用		305
*13.5	迈克耳孙干涉仪		308
13.6	光的衍射		309
13.7	光学仪器的分辨率		319
13.8	光的偏振		323
13.9	椭圆偏振光和圆偏振光	波片	332
13.10	物质的旋光性及其应用		334
*13.11	物理与科技应用	圆二色性(旋光色散)在生物学中的应用	336
13.12	物理与科技应用	液晶的光学性质	338
13.13	物理与科技应用	偏光显微镜 相衬显微镜	339
	习题		341
第十四章 光的量子性			345
14.1	热辐射与普朗克量子假说		345
14.2	光电效应与爱因斯坦光子说		348
*14.3	康普顿效应		353

14.4	光的波粒二象性	355
14.5	物理学史与述评 人类对光的本质认识的飞跃	357
	习题	359
第十五章	量子力学初步	360
15.1	德布罗意波与电子衍射实验	360
15.2	不确定关系	364
15.3	薛定谔方程	366
15.4	薛定谔方程的应用——势阱和势垒	368
15.5	物理与现代科技 扫描隧道显微镜	372
15.6	原子结构的量子理论	375
15.7	原子壳层结构	380
15.8	物理与现代科技 核磁共振(N M R)	381
*15.9	物理与现代科技 量子生物学简介	384
	习题	386
第十六章	光谱分析原理及应用	389
16.1	光的吸收与散射	389
16.2	原子光谱	394
16.3	分子光谱	397
16.4	物理与现代科技 遥感技术及其在农、林业中的应用	401
*16.5	荧光和磷光	404
16.6	X 射线谱及其应用	406
	习题	409
第十七章	激光的原理与应用	412
17.1	激光产生的基本原理	412
17.2	激光的特性及其与生物体作用的效应	417
17.3	激光的各种应用和农业生物学应用	419
17.4	物理与科技应用 激光全息照相	421
17.5	物理与科技应用 光盘	423
*17.6	物理与现代科技 非线性光学介绍	424
	习题	426
*第四部分 物理学方法论		
第十八章	为什么要学习物理学方法论	431
18.1	物理学方法论的意义	431
18.2	物理学方法论的形成和演变过程	432

18.3	认识过程中的物理学方法	435
18.4	物理学方法的分类	435
第十九章	实践性物理学方法	438
19.1	观察方法	438
19.2	实验方法	441
19.3	模拟实验方法	442
19.4	科学模型方法	443
第二十章	思维性物理学方法	445
20.1	归纳法	445
20.2	类比法	446
20.3	演绎法	446
20.4	分析和综合法	447
20.5	直觉思维方法	448
20.6	数学方法	448
20.7	假说方法	453
20.8	思想实验方法	456
20.9	基本原理方法(基本方法)	458
结束语	无所不在的物理学	458
附录	矢量的运算基础知识	460
附表 1	基本物理常量 1986 年的推荐值	463
附表 2	保留单位和标准值	463

绪 论

物理学是探讨物质结构和它们最普遍、最一般运动规律的科学。物理学所研究的物质的空间尺度,小到半径为 10^{-15} m 的质子,大到宇宙空间的类星群 (10^{26} m);所包含的时间尺度,短到 10^{-25} s 的粒子的寿命,长到 10^{39} s 的质子的寿命。物理学探讨如此宽广范围内的机械运动、分子热运动、电磁场运动、微观粒子运动和原子核和粒子间的反应等等,故而在整个自然科学领域中具有十分重要和特殊的地位。

(1) 物理学是一切自然科学的基础

物理学所研究的粒子和原子,构成了一切生命的和非生命的物质和体系,构成了基因、蛋白质、器官、生物体、岩石、空气、海洋、地球、行星和宇宙等。物理学所探讨的物质运动的规律和过程普遍存在于生物科学、化学科学、材料科学、地球科学、天文学、宇宙学等自然科学之中。物理学与数学的关系十分密切,数学成为定量研究物理规律的手段,丰富多彩的物理世界是数学研究的实体。从自然科学发展的历史长河中我们看到,整个自然科学的发展必须遵从物理学所探讨出的物质运动的一般性规律,例如能量守恒与转换定律对整个自然科学就具有普遍的指导意义。

因此,可以说物理学在一切自然科学中是起带头作用的学科,是一切自然科学的理论支柱,是一切自然科学的基础。

(2) 物理学是现代科技发展的先导

美籍华裔物理学家李政道教授曾说过:“没有昨日的基础科学就没有今日的技术革命。”这里所指的基础科学,起主导作用的应是物理学。

18 世纪到 19 世纪的蒸汽机时代,技术革命的发展是物理学上热力学理论的应用。19 世纪电磁学理论的确立,才产生了今日发电机、电动机及庞大的电力工程,出现了电报、电话、电视、雷达等种类繁多的电讯事业。20 世纪人类技术革命的一项重大的贡献是建立了核能利用的技术,它从物理学上爱因斯坦质能关系的提出,到重核裂变能量释放原理,最终到轻核聚变能量释放原理的确立,才为可控、安全应用核能开辟了道路。

信息技术,其中包括计算机技术,通信技术和控制技术已经从根本上改变了当代社会的面貌。信息技术依赖于电子学的发展,从电子管、晶体管、集成电路到超大规模集成电路的问世,都是在固体物理理论、半导体能带理论、微电子学理论的基础上才诞生出来的。

信息技术面对内容繁杂、数量庞大、形式多样的信息,迫切要求信息的处理、存储、传输的手段,从原来的电信号转向于光信号。正是在物理学上“受激辐射光放大”的理论指导下,才出现了激光,并通过激光性能的研究发展了光导纤维和激光光盘技术。同时新一代的光计算机的研究与开发已成为国际高科技的热点之一,使得信息技术发生了根本性的革命。

生物科技的革命是在近几十年内发生的一项重大的变革。以往的生物学大多是定性的描述性的科学。自从物理学、数学、工程学等的理论和方法进入生物学的研究领域,生物学就发生了惊人的变化。

20世纪40年代物理学家薛定谔在《生命是什么》的讲演中提出遗传密码存储于非周期晶体的观点,预言了生命现象的负熵结构;40年代英国剑桥大学的卡文迪什实验室完成了肌红蛋白的X射线结构分析;50年代美国华生(Watson)、克拉克(Crick)对DNA的X射线晶体衍射分析,揭示了遗传密码的本质,是20世纪生物学的最重大的突破,开创了现代生物学的新纪元。60年代普里高津的非线性热力学的理论定量分析生物自组织、耗散结构,建立了非生命现象与生命过程的理论联系。

近年来生物科学和物理学紧密结合产生了一系列的新兴的边缘学科,如分子生物学、分子遗传学、量子生物学、仿生学、生物信息和生物控制论等。物理学还为生物技术提供了现代化的实验方法和手段,如电子计算机、电子显微镜、扫描隧道显微镜、超速离心、光谱、质谱、X射线衍射、激光、核磁共振等等,使生物学的发展提高到理论化的高度,使生物技术运用上了最新现代化的仪器和装置,使细胞工程、基因工程等生物工程按照人类的意愿,生产出优质、高效的生物产品,满足人类物质生活的需要。

(3) 物理学孕育着科学的世界观和方法论

物理学史告诉我们,新的物理概念和观念的确立是人类认识史上的一个飞跃。普朗克的能量量子化假设,是在突破了能量连续变化的传统观念基础上提出来的;爱因斯坦的相对论是突破了牛顿绝对时空观的束缚,创立了相对论的时空观基础上才形成的。这说明物理学的前进和发展是科学的世界观战胜谬误的世界观的结果。

物理学是理论和实验高度结合的一门科学,它往往经历从实际中来的命题的提出——推测答案——理论的预言——回到实验的检验——修改理论——再回到实践……等循环往复的过程。任何一个物理学重要原理的确立都体现了这

种实践与理论的辩证关系。

物理学理论的形成过程处处体现科学思想的指导和科学方法的应用。归纳和演绎是其中之一,例如麦克斯韦电磁场理论,就是通过归纳静电场的高斯定理,稳恒电流的安培环路定理,法拉第的电磁感应定律和麦克斯韦的位移电流定理,从而总结出了麦克斯韦方程组。而后又从电磁场理论——变化的电场激发磁场,变化的磁场激发电场的原理,自然地引导出电磁波的存在及其特性的结论。

其他的科学方法,如物理模型法、类比法、分析-综合法、物理假说和理想实验法等,在物理学的发展过程中,广泛地被物理学家应用。同时,对所有科学工作者都有指导意义。所以讨论物理学中的科学的世界观和方法论,对于人类从事更广泛的科学实践活动,探讨物质世界的秘密是非常有益的。

面向 21 世纪的高等农林教育,肩负着培养高素质的农、林科技人才的重任。这些科技人才必须具备有宽厚扎实的基础理论和专业知识,有较强的综合分析和实际应用能力(包括观察、分析、思维、创造能力等)的“复合型”人才。高等农林教育也必须由过去的“应用型”人才培养模式向素质教育的模式转变。为了实现高素质人才的培养,大学基础物理学将起着其他课程无法替代的作用。因为物理学是一切自然科学的基础,大学基础物理将向学生提供适应 21 世纪的生物科学和农林科技发展所必须的基础理论和原理;向学生传授在人类生产和生活实践中所必须的物理知识和技能;对学生进行科学的世界观和方法论的教育。培养学生的综合素质、知识和能力是大学基础物理教学的使命。总之高等农林院校大学基础物理课的目的应是,使学生对物理学的内容和方法、工作语言、概念和物理图像,其历史、现状和前沿等方面从整体上有个全面的了解。大学基础物理教育的任务,除了传授理论和实际知识,还有培养学生的综合素质——特别是科学素质、科学作风、思想方法等方面的教养的作用,它对于树立学生辩证唯物主义世界观、爱国主义和正确的人生观有着潜移默化、画龙点睛的意义。

为此高等农林院校的学生一定要努力学好大学基础物理的理论,掌握好有关的物理实验技术,在学习中认真思考物理学所揭示的科学世界观和方法论,为把自己培养成 21 世纪合格的科技人才而努力。

第一部分

实物的性质和运动规律