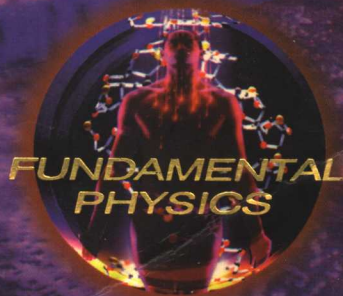


基础物理学

上卷
陆果



高等教育出版社

面向 21 世纪课程教材

基础物理学

上 卷

陆 果

高等教育出版社

(京)112号

内 容 提 要

本书是国家教委理科物理学和天文学《“九五”教材建设规划》中《基础物理学》的上卷,是第二本“面向21世纪课程教材”。本书从现代科学技术的发展及理科对人才培养的总体要求出发,对理科非物理类专业基础物理课程的框架作了较大的变动,在课程内容的现代化方面作了较大幅度的改革。本书分力学和相对论、电磁学、光学、量子力学、热物理学等五部分,总计30章,分上、下卷出版。每卷书后附有基本物理常量表和中英文对照的索引。同时,高等教育出版社还出版了与本书内容相配套的计算机辅助教学CAI软盘。

本书可作为综合大学和师范大学理科非物理类专业的教科书或参考书,也可供其它高等学校的理工科专业选用。此外,本书还是一本很好的教学用参考书。

责任编辑:姜静平

图书在版编目(CIP)数据

基础物理学 上卷/陆果编. —北京:高等教育出版社,1997.1

高等学校教材

ISBN 7-04-006187-2

I. 基… II. 陆… III. 物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第00534号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街55号

邮政编码:100009 传真:64014048 电话:64054588

高等教育出版社发行

北京外文印刷厂印装

*

开本787×1092 1/18 印张32 字数550 000

1997年2月第1版 1997年2月第1次印刷

印数0 001—4 228

定价45.70元

凡购买高等教育出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换

版权所有,不得翻印

序

20 世纪初期, 物理学家们揭开了原子内部结构的奥秘, 建立了相对论和量子力学。1995 年, 顶夸克的发现向人们宣告, 六种夸克及其反粒子和胶子是构成质子和中子等强子的粒子。今天, 人们已经建立起了粒子物理的标准模型和宇宙的标准模型, 并继续探求着浩瀚的未知世界。在研究领域不断取得丰硕成果的同时, 科学与技术迅速地、创造性地融合在一起, 形成了一系列高、新技术部门。

随着科学技术的发展, 学科发展的方向日趋综合, 新型的交叉学科不断出现并迅速发展。同时, 近代物理学的概念、研究方法和实验技术, 在生物学、化学和地学等学科中已得到了广泛的应用。特别是, 近代化学和生物学的发展已经深入到了微观领域, 近代数学的发展与近代物理学的发展更是密切相关和相互促进的。因此, 物理学, 特别是近代物理学, 已经成为各类人才所必须具备的基础知识。

我们正在培养 21 世纪的人才, 教学和教材内容的更新势在必行。物理学是整个自然科学的基础, 是培养学生科学素质和科学思维方法、提高学生科学研究能力的重要基础课。特别是, 对于大学理科非物理类专业(简称理科外系), 除了普通物理课程之外, 一般没有物理方面的后继课程。然而, 原来的理科外系普通物理课程, 基本上是参照物理专业的普通物理课程设置的, 近代物理学的内容很少, 更缺少反映当代物理学及其前沿发展的内容。

为此, 从现代科学技术的发展以及理科各个学科人才培养的总体要求出发, 我对基础物理课程的框架作了较大的变动。在内容上, 不论原来是普通物理的内容还是理论物理的内容, 不论是经典物理的内容还是近代物理的内容, 只要是当今理科大学生应该掌握的物理基础, 我就在精心选择、重新组织和整理之后, 编写在本书中。我希望, 即使是大学低年级的学生, 也能够有限的时间内将其精华学到手, 为他们未来的创造性工作打下较好的物理基础。鉴于上述考虑, 本书内容分为以下五个部分: 1) 力学和相对论, 2) 电磁学, 3) 光学, 4) 量子力学, 5) 热物理学。

1992 年我开始对理科外系基础物理课程的内容进行系统的改革, 并在北京大学化学系和生物学系的教学实践中取得了良好的效果。1993 年 8 月, 在内蒙古大学召开的“全国理科非物理类专业基础物理教材建设指导思

想研讨会”上，与会者对我在教学中所进行的改革试验表示了极大的兴趣。其后，我相继为北京大学“理学试验班”(由理科各系学生组成)、数学系和概率系各个年级的学生开设了基础物理课。1995年2月，我编写的《基础物理学》由北京大学教材科胶印了1300套。经过各个专业大批学生的使用，为我编写本书创造了良好的条件。其间，国家教委将本书列入了理科物理学和天文学《“九五”教材建设规划》。

1995年9月26日，由高等教育出版社组织，在华东师范大学举行了《基础物理学》审稿会，参加人员有北京大学教授高崇寿、北京师范大学教授梁绍荣、北京大学教授赵凯华、复旦大学教授蔡怀新、北京大学教授陈秉乾、山东大学教授刘克哲、内蒙古大学教授张纪生和高等教育出版社副编审奚静平。审稿会一致认为：“该教材从现代科学技术的发展以及理科各学科人才培养的总体要求出发，对理科非物理类专业原来的普通物理课程进行了大幅度的改革，使教材的体系、内容和讲法发生了突破性的变化，具体表现为：1) 根据非物理类专业教学的需要，在基础物理的内容选取和组织上，保留了原来普通物理的基本内容，增加了相对论、量子力学、统计物理学等近代物理和理论物理方面的有关内容，形成了一个有机的整体。2) 大幅度地增加了近代物理内容，对经典物理部分也从近代科学技术发展的高度重新进行了组织和安排，系统地讲述了物理学的基本知识、基本概念、基本规律和基本方法；同时，把近代科学技术成就有机地融合到了教材之中，有利于培养和提高学生的科学素质和能力。”审稿会一致建议高等教育出版社尽快将该教材作为第二本‘面向21世纪课程教材’出版。

本书的编写得到了北京大学赵凯华、高崇寿、甘子钊、曾谨言、陈秉乾、朱星、赵光达、北京师范大学梁绍荣、中国科学技术大学吴杭生和中山大学关洪等各位教授的热情支持和帮助；北京大学陈凯旋同志编写了部分习题，北京大学薛立新同志编写了索引并完成了全书的计算机排版工作；高等教育出版社奚静平副编审为本书的出版做了大量的工作；中国科学技术大学基础物理中心为本书编配了计算机辅助教学CAI软件；通过立项，得到了国家教委和北京市教委的资助。我在此谨致以衷心的感谢。

由于本书的编写和出版比较仓促，缺点和错误肯定不少，我诚恳地希望读者提出宝贵的意见。

陆 果

1997年1月于北京大学

作者简介

陆 果 1963年毕业于北京大学物理系,现任北京大学物理系教授,曾任北京大学物理系副主任。研究方向为低温与超导物理。主要著作有《低温物理的实验原理与方法》(该书为与阎守胜合编,科学出版社1985年出版)。

目录

绪论

§ 1 物理学的意义.....	1
§ 2 物质和相互作用.....	2
一 物质的微观结构和夸克的发现	2
二 宇宙的标准模型	4
三 基本的相互作用	5
四 粒子物理的标准模型	7
§ 3 物理测量和单位制.....	8
§ 4 物理世界的层次和数量级.....	10

第一部分 力学

第一章 质点运动学	13
§ 1-1 质点运动的描述	13
一 质点 参考系和坐标系	13
二 质点运动的矢量描述	14
三 直角坐标系 抛体运动	16
四 平面极坐标系 横向速度和径向速度	18
五 自然坐标系 切向加速度和法向加速度	20
§ 1-2 相对运动	23
习题.....	25
第二章 动量守恒和质点动力学	27
§ 2-1 惯性定律和惯性系	27
§ 2-2 质量 动量和动量守恒定律	28
一 两质点间的相互作用	28
二 惯性质量	29
三 动量 动量守恒定律	29
§ 2-3 力 冲量和动量定理	32
一 力的定义	32
二 力的叠加原理 质点系动量守恒的条件	33
三 牛顿运动定律	34

四 冲量和动量定理	35
§ 2-4 牛顿运动定律及其应用	38
一 牛顿运动定律的表述	38
二 牛顿运动定律的应用	39
三 自然界中常见的力	40
§ 2-5 伽利略相对性原理和非惯性系	47
一 伽利略相对性原理	47
二 伽利略变换	47
三 非惯性系	49
四 平动加速参考系中的惯性力	50
五 惯性离心力	50
六 科里奥利力	51
习题	57
第三章 机械能守恒	61
§ 3-1 机械能守恒定律	61
§ 3-2 功和功率	63
一 功和能	63
二 功率	64
§ 3-3 势能	66
一 保守力 保守系的机械能守恒	66
二 势能曲线	68
§ 3-4 质心参考系	76
一 动量中心系和质心	76
二 质心运动定理	77
三 克尼希定理 质用能	78
§ 3-5 两体碰撞	81
习题	86
第四章 角动量守恒	91
§ 4-1 角动量和角动量守恒定律	91
§ 4-2 力矩和角动量定理	93
一 力矩和质点的角动量定理	93
二 质点系的角动量定理	94
三 质心系的角动量定理	96
§ 4-3 质点在有心力场中的运动	100

§ 4-4 对称性与守恒定律	106
一 对称性	106
二 对称性与守恒定律	107
习题	112
第五章 连续体力学	115
§ 5-1 刚体运动学	116
一 刚体的平动和定轴转动	116
二 刚体的平面平行运动	117
§ 5-2 刚体动力学	119
一 定轴转动刚体的角动量和转动惯量	119
二 刚体定轴转动的角动量定理和转动定理	121
三 刚体定轴转动的动能定理	122
四 刚体的旋进和陀螺仪	123
§ 5-3 固体的弹性	130
一 弹性体中的应力和应变	130
二 弹性体的拉伸和压缩	131
三 拉伸和压缩时的弹性势能	132
四 弹性体的剪切形变	133
§ 5-4 流体力学	134
一 流体的连续性方程	134
二 理想流体的定常流动	137
三 粘性流体的流动	140
习题	145
第六章 振动和波	149
§ 6-1 简谐振动	149
一 描述简谐振动的特征量	149
二 简谐振动的合成	151
三 振动的分解 傅里叶变换	155
§ 6-2 弹性系统的振动	159
一 谐振子的自由振动	159
二 谐振子的阻尼振动	162
三 谐振子的受迫振动和共振	163
§ 6-3 耦合振子	169
一 简正模	169

二 简正模的叠加	171
§ 6-4 机械波的产生和传播	173
一 波动图像	173
二 波动方程	176
三 波的能量	178
四 声波	179
§ 6-5 驻波	180
一 驻波的形成和特点	180
二 两端固定的弦中的驻波 多自由度系统的简正模	182
三 半波损失	183
§ 6-6 多普勒效应	185
§ 6-7 波包和非线性波	189
一 波包和群速	189
二 非线性效应对波动的影响	191
三 孤波和孤子	192
习题	193
第七章 相对论	197
§ 7-1 狭义相对论的基本假设	197
一 相对论的意义	197
二 狭义相对论的基本假设	198
三 迈克耳孙-莫雷实验	199
§ 7-2 相对论运动学	201
一 相对论变换和时空观	201
二 闵科夫斯基空间 洛伦兹变换下的不变量	204
三 狭义相对论的时空观	206
§ 7-3 相对论动力学	212
一 动量和质量	213
二 力 功和动能	215
三 能量 质能关系	216
四 能量和动量的关系	219
五 动量、能量和力的相对论变换	220
§ 7-4 广义相对论	229
一 等效原理	230
二 爱因斯坦的引力场方程	234

三 广义相对论的检验	236
习题	240
第二部分 电磁学	
第八章 电相互作用和真空中的静电场	243
§ 8-1 电相互作用	243
一 电荷 电荷守恒定律	243
二 库仑定律 静电力的叠加原理	245
三 电场和电场强度	246
四 场强的叠加原理	247
§ 8-2 静电场的高斯定理	252
一 电场线	252
二 电通量	253
三 静电场的高斯定理	254
四 静电场的高斯定理的微分形式	256
§ 8-3 静电场的环路定理和电势	259
一 静电场的环路定理	259
二 电势差与电势	262
三 电势叠加原理	264
四 等势面 电势的梯度	265
习题	270
第九章 静电场中的导体和电介质	273
§ 9-1 静电场中的导体	273
一 导体的静电平衡条件	273
二 导体壳和静电屏蔽	275
三 电容和电容器	277
§ 9-2 静电场中的电介质	282
一 电介质的极化	282
二 极化强度和极化电荷	284
三 电介质的极化规律	285
四 电位移 有电介质时的高斯定理	286
§ 9-3 静电场的能量	291
一 带电体系的静电能	291
二 电场的能量和能量密度	294

习题	298
第十章 电磁相互作用	301
§ 10-1 磁相互作用	301
一 磁性现象	301
二 磁场和磁感应强度	301
三 洛伦兹力	302
四 带电粒子在磁场中的运动	303
五 霍耳效应	304
§ 10-2 运动电荷的电磁场	308
一 运动电荷的电场和磁场(非相对论的)	308
二 电磁场的相对论性变换	309
三 运动电荷的电磁场(相对论的)	312
四 两个运动电荷之间的相互作用	315
§ 10-3 磁场和电流	319
一 恒定电流	319
二 毕奥-萨伐尔定律	326
三 安培定律	327
习题	337
第十一章 恒定磁场和磁介质	343
§ 11-1 磁场的高斯定理和安培环路定理	343
一 磁场的高斯定理和矢势	343
二 安培环路定理	345
§ 11-2 有磁介质时的高斯定理和安培环路定理	350
一 介质的磁化	350
二 有磁介质时的高斯定理	354
三 有磁介质时的安培环路定理	355
四 等效的磁荷观点	356
§ 11-3 介质的磁化规律	360
一 顺磁质和抗磁质	360
二 铁磁质	361
习题	367
第十二章 电磁感应	369
§ 12-1 电磁感应定律	369
一 电磁感应现象的发现	369

二 法拉第电磁感应定律	371
三 楞次定律	372
§ 12-2 动生电动势和感生电动势	374
一 动生电动势	374
二 感生电动势	376
三 电磁感应定律的普遍形式	377
四 电磁感应与相对性原理	378
§ 12-3 互感和自感	383
一 互感	383
二 自感	385
§ 12-4 磁场的能量	389
一 自感磁能	389
二 互感磁能	390
三 磁场的能量	391
§ 12-5 暂态过程	394
一 LR 电路的暂态过程	394
二 RC 电路的暂态过程	395
三 LCR 电路的暂态过程	396
§ 12-6 超导电性和超导磁体	397
一 零电阻现象	397
二 迈斯纳效应和磁通量子化	399
三 超导磁体的特点	402
四 工作在持续电流状态的超导磁体	403
习题	406
第十三章 电路	409
§ 13-1 直流电路	409
一 电路中任意两点之间的电势差	409
二 基尔霍夫方程组	411
三 关于电路的几个定理	412
§ 13-2 交流电及其简单电路	419
一 交流电概述	419
二 交流电路中的基本元件	421
三 简单交流电路的矢量图解法	424
§ 13-3 交流电路的复数解法	429

一 交流电的复数表示法	429
二 交流电路的基尔霍夫方程组及其复数形式	430
§ 13-4 交流电的功率	432
一 瞬时功率和平均功率	432
二 功率因数	434
§ 13-5 共振电路	435
一 串联共振电路	436
二 共振电路的品质因数	437
三 并联共振电路	439
习题	441
第十四章 电磁场和电磁波	445
§ 14-1 位移电流	445
一 电磁场的基本规律	445
二 位移电流	446
三 安培环路定理的普遍形式	448
§ 14-2 麦克斯韦方程组和边界条件	450
一 麦克斯韦方程组	450
二 电磁场的边界条件	451
§ 14-3 电磁波	455
一 自由空间中的电磁波和平面电磁波	456
二 电磁波的辐射	461
三 电磁波谱	465
§ 14-4 电磁场的能量和动量	466
一 电磁场的能量密度和能流密度	466
二 电磁场的动量	469
三 电磁场是物质的一种形态	470
习题	471
附录	
附表 1 基本物理常量 1986 年的推荐值	473
附表 2 保留单位和标准值	473
附表 3 太阳系的基本数据(I)	474
附表 4 太阳系的基本数据(II)	474
索引	475 - 496

绪论

§ 1 物理学的意义

物理学是关于自然界最基本形态的科学，它研究物质的结构和相互作用以及它们的运动规律。具体而言，物理学研究宇宙间物质存在的各种主要的基本形式，它们的性质、运动和转化以及内部结构，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。

物理学领域包含的尺度从小到质子(proton)的半径 10^{-15} m，直到目前可探测到的最远的类星体(quasar)的距离 10^{26} m；包含的时间从短到 10^{-25} s 的最不稳定粒子的寿命，直到长达 10^{39} s 的质子的寿命。研究包含如此宽广范围的物理现象，发明为观测自然界所需要的更为有效的实验工具，创立使我们能够解释已经观测到的物理现象的理论，这些就是物理学的目标和成就。

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，构成了蛋白质、基因、器官、生物体、一切人造的和天然的物质、陆地、海洋和大气等等。在这个意义上，物理学构成了化学、生物学、材料科学和地球物理学等学科的基础，物理学的基本概念和技术被应用到了所有的自然科学。在这些学科和物理学之间的边缘领域中，形成了一系列新的分支学科和交叉学科，从而促使自然科学更加迅速地发展。

如果从古希腊的自然哲学算起，物理学的发展已经有了 2600 多年的历史。但是，物理学真正成为一门精密的科学，却是从 1687 年牛顿(I. Newton, 1642–1727)发表《自然哲学的数学原理》才开始的。在历史上，人们在实践中首先接触和观察到的是宏观的物体和现象，对它们的研究导致了经典物理学的诞生和发展。到 19 世纪后期，力学、热学、电磁学和光学等经典物理学已经建立了比较完整的理论体系，并取得了巨大的成功；同时，物理学研究开始进入了微观世界领域，并对高速运动现象，特别是光的传播和干涉现象进行了精密的研究，经典物理学的局限性也开始显露了出来。

20 世纪初，普朗克(M. Planck, 1858–1947)的量子论和爱因斯坦(A. Einstein, 1879–1955)的相对论开辟了近代科学的新纪元，物理学成

了自然科学的先驱。这些崭新的观念改变了人们对客观世界的认识，极大地影响了科学技术的发展。物理学研究的范围迅速扩大，不断深入。今天，人们在粒子物理学、原子核物理学、凝聚态物理学、原子分子物理学和光学、等离子体物理学、引力和宇宙学及宇宙射线物理学等分支学科中，在各个交叉学科和技术应用中，都取得了引人注目的成就。

物理学的发展，广泛而直接地影响了社会生产和生活的各个方面，成为科学技术和社会发展的巨大推动力。18世纪60年代开始的第一次技术革命，主要的标志是蒸汽机的广泛应用，它是牛顿力学和热力学发展的结果。19世纪70年代开始的第二次技术革命，主要的标志是电力的广泛应用和无线电通讯的实现，它是电磁学发展的结果。20世纪40年代兴起并一直延续到今天的第三次技术革命，是近代物理学发展的结果，它的特点是出现了一系列新技术和高技术，并在此基础上创造了一系列的新产品和新装置，深刻地改变了人类的物质生产和精神生活。

§ 2 物质和相互作用

一 物质的微观结构和夸克的发现

人类对物质微观结构的认识是不断发展的。1810年道尔顿(J. Dalton, 1766-1844)建立了原子学说，认为原子是物质微观结构的不可分割的最小组元。1897年汤姆孙(J.J. Thomson, 1856-1940)发现了电子，1911年卢瑟福(E. Rutherford, 1871-1937)提出了原子的有核模型，1932年查德威克(J. Chadwick, 1891-1974)发现了中子(neutron)，从而表明原子核是由紧密结合在一起的质子和中子组成的。在当时的实验研究中，没能探测出电子(electron)、光子(photon)、质子和中子等粒子的大小，人们就认为它们可能是物质微观结构的最小组元，称它们为基本粒子。

20世纪50年代以来，人们发现了大量称为强子(hadron)的粒子。强子分为介子(meson)和重子(baryon)，重子又分为核子(nucleon，包括质子和中子)和各种超子(hyperon)。在至今已经发现的430种粒子中，介子有150种，重子有264种。然而，随着实验能量的不断提高人们发现，一方面，象强子这样一些所谓的基本粒子，具有一定的大小并有内部结构，例如质子的电荷分布半径为 0.8×10^{-16} m；另一方面，对于电子、 μ 子(muon)和中微子(neutrino)这样一些轻子(lepton)，情况却完全

不同。高能碰撞实验表明，尽管加速电子的能量现在已经达到 10^{11} eV，但仍然可以把电子当作点粒子来对待，尚未观测到电子的内部结构。由此可见，原来称之为基本粒子的强子和轻子并不属于同一层次。因此，现在人们把基本粒子物理学改称为**粒子物理学**。

1964年，盖尔曼(M. Gell-Mann, 1929-)和兹维格(G. Zweig, 1937-)在对大量强子性质分析的基础上，各自独立地提出了强子结构的**夸克模型**。他们认为，所有的强子都是由**夸克(quark)**、**反夸克(antiquark)**和**胶子(gluon)**组成的：重子由3个夸克组成，反重子由3个反夸克组成，介子由一对正、反夸克组成。一般而言，强子是由夸克、反夸克和胶子组成的复合粒子。现在，人们还没有观测到夸克和胶子有内部结构，它们与规范玻色子以及轻子是属于同一层次的粒子。夸克最引人注目的特点之一是，在任何平常的条件下，都无法把夸克从它们的束缚态中解脱出来，这称为**夸克禁闭(quark confinement)**。迄今为止，几乎所有试图产生或发现自由夸克的实验都失败了。

在夸克模型的最早理论中，仅仅有三“味(flavour)”夸克，它们是**上夸克(up quark)**、**下夸克(down quark)**和**奇异夸克(strange quark)**。在深度非弹性散射实验中，人们用高能电子和中微子作为“探针”，首先探测到了质子内部有“又小又硬”的东西，这表明夸克是有可能真实存在的。确立夸克理论的决定性事件是1974年 J/ψ 粒子和1977年 γ 粒子的发现，它们是两味新夸克——**粲夸克(charm quark)**和**底夸克(bottom quark)**存在的实验证据。

理论表明，自旋量子数为 $1/2$ 的费米子在自然界中是成组地存在着的，一组费米子称为一“代”费米子(见表1)。到1977年，实验上已经发现了五味夸克，理论上预言还应该存在第六味夸克——**顶夸克(top quark)**。为了确保泡利不相容原理总能得到满足，人们引入了一个新的量子数——“**色荷(color charge)**”，每一种夸克都分为红、绿、蓝三种色

表1 自然界的费米子

粒子类型	轻子		夸克	
电荷	0	-1	2/3	-1/3
色状态数	1	1	3	3
第一代	中微子 ν_e	电子 e	上夸克 u	下夸克 d
第二代	中微子 ν_μ	μ 子	粲夸克 c	奇异夸克 s
第三代	中微子 ν_τ	τ 子	底夸克 b	顶夸克 t