



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中外物理学精品书系

经典系列 · 11

铁磁学

重排本

郭贻诚 著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中外物理学精品书系

经典系列 · 11

铁磁学

重排本

郭贻诚 著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

铁磁学：重排本/郭贻诚著. —北京：北京大学出版社，2014. 10

(中外物理学精品书系)

ISBN 978-7-301-24755-6

I. ①铁… II. ①郭… III. ①铁磁学 IV. TG111.92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 205729 号

书 名：铁磁学(重排本)

著作责任者：郭贻诚 著

责任编辑：尹照原

标准书号：ISBN 978-7-301-24755-6/O · 1002

出版发行：北京大学出版社

地 址：北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址：<http://www.pup.cn> 新浪官方微博：@北京大学出版社

电子信箱：zpup@pup.cn

电 话：邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752021

出版部 62754962

印 刷 者：北京中科印刷有限公司

经 销 者：新华书店

730 毫米×980 毫米 16 开本 33 印张 438 千字

2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷

定 价：90.00 元

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究

举报电话：010-62752024 电子信箱：fd@pup.pku.edu.cn

“中外物理学精品书系” 编委会

主任：王恩哥

副主任：夏建白

编委：（按姓氏笔画排序，标*号者为执行编委）

王力军	王孝群	王 牧	王鼎盛	石 兢
田光善	冯世平	邢定钰	朱邦芬	朱 星
向 涛	刘 川*	许宁生	许京军	张 酣*
张富春	陈志坚*	林海青	欧阳钟灿	周月梅*
郑春开*	赵光达	聂玉昕	徐仁新*	郭 卫*
资 剑	龚旗煌	崔 田	阎守胜	谢心澄
解士杰	解思深	潘建伟		

秘 书：陈小红

序 言

物理学是研究物质、能量以及它们之间相互作用的科学。她不仅是化学、生命、材料、信息、能源和环境等相关学科的基础，同时还是许多新兴学科和交叉学科的前沿。在科技发展日新月异和国际竞争日趋激烈的今天，物理学不仅囿于基础科学和技术应用研究的范畴，而且在社会发展与人类进步的历史进程中发挥着越来越关键的作用。

我们欣喜地看到，改革开放三十多年来，随着中国政治、经济、教育、文化等领域各项事业的持续稳定发展，我国物理学取得了跨越式的进步，做出了很多为世界瞩目的研究成果。今日的中国物理正在经历一个历史上少有的黄金时代。

在我国物理学科快速发展的背景下，近年来物理学相关书籍也呈现百花齐放的良好态势，在知识传承、学术交流、人才培养等方面发挥着无可替代的作用。从另一方面看，尽管国内各出版社相继推出了一些质量很高的物理教材和图书，但系统总结物理学各门类知识和发展，深入浅出地介绍其与现代科学技术之间的渊源，并针对不同层次的读者提供有价值的教材和研究参考，仍是我国科学传播与出版界面临的一个极富挑战性的课题。

为有力推动我国物理学研究、加快相关学科的建设与发展，特别是展现近年来中国物理学家的研究水平和成果，北京大学出版社在国家出版基金的支持下推出了“中外物理学精品书系”，试图对以上难题进行大胆的尝试和探索。该书系编委会集结了数十位来自内地和香港顶尖高校及科研院所的知名专家学者。他们都是目前该领域十分活跃的专家，确保了整套丛书的权威性和前瞻性。

这套书系内容丰富，涵盖面广，可读性强，其中既有对我国传统物理学发展的梳理和总结，也有对正在蓬勃发展的物理学前沿的全面展示；既引进和介绍了世界物理学研究的发展动态，也面向国际主流领域传播中国物理的优秀专著。可以说，“中外物理学精品书系”力图完整呈现近现代世界和中国物理

科学发展的全貌,是一部目前国内为数不多的兼具学术价值和阅读乐趣的经典物理丛书。

“中外物理学精品书系”另一个突出特点是,在把西方物理的精华要义“请进来”的同时,也将我国近现代物理的优秀成果“送出去”。物理学科在世界范围内的重要性不言而喻,引进和翻译世界物理的经典著作和前沿动态,可以满足当前国内物理教学和科研工作的迫切需求。另一方面,改革开放几十年来,我国的物理学研究取得了长足发展,一大批具有较高学术价值的著作相继问世。这套丛书首次将一些中国物理学者的优秀论著以英文版的形式直接推向国际相关研究的主流领域,使世界对中国物理学的过去和现状有更多的深入了解,不仅充分展示出中国物理学研究和积累的“硬实力”,也向世界主动传播我国科技文化领域不断创新的“软实力”,对全面提升中国科学、教育和文化领域的国际形象起到重要的促进作用。

值得一提的是,“中外物理学精品书系”还对中国近现代物理学科的经典著作进行了全面收录。20世纪以来,中国物理界诞生了很多经典作品,但当时大都分散出版,如今很多代表性的作品已经淹没在浩瀚的图书海洋中,读者们对这些论著也都是“只闻其声,未见其真”。该书系的编者们在这方面下了很大工夫,对中国物理学科不同时期、不同分支的经典著作进行了系统的整理和收录。这项工作具有非常重要的学术意义和社会价值,不仅可以很好地保护和传承我国物理学的经典文献,充分发挥其应有的传世育人的作用,更能使广大物理学人和青年学子切身体会我国物理学研究的发展脉络和优良传统,真正领悟到老一辈科学家严谨求实、追求卓越、博大精深的治学之美。

温家宝总理在2006年中国科学技术大会上指出,“加强基础研究是提升国家创新能力、积累智力资本的重要途径,是我国跻身世界科技强国的必要条件”。中国的发展在于创新,而基础研究正是一切创新的根本和源泉。我相信,这套“中外物理学精品书系”的出版,不仅可以使所有热爱和研究物理学的人们从中获取思维的启迪、智力的挑战和阅读的乐趣,也将进一步推动其他相关基础科学更好更快地发展,为我国今后的科技创新和社会进步做出应有的贡献。

“中外物理学精品书系”编委会 主任
中国科学院院士,北京大学教授

王恩哥

2010年5月于燕园

内 容 简 介

本书对现代铁磁学的基础理论和重要实验结果做了较全面的综合介绍。本书基本上是从实验事实出发,然后介绍理论解释和计算,并适当介绍各方面的近代研究的重要发展。各章附有习题。

本书可作为高等学校磁学专门组铁磁学课程的教学参考书,亦可供高等工业院校的相近专业以及从事磁学工作的科学技术人员参考。

前 言

本书是根据作者在山东大学物理系所编写的铁磁学讲义修改补充而成的。编写本书的目的,本来是作为磁学专门组课程的教材。全书的体系和章次,大致参考了过去常用的几种铁磁学专著,如 R. Becker, W. Döring: *Ferromagnetismus* 和 С. В. Вонсовский, Я. С. Шур: *Ферромагнетизм*,而对内容则作了较大的变动,适当介绍了这一学科的新发展。

近年来,铁磁学在实验和理论各方面的发展都很快,内容范围愈来愈广。某些部分如铁氧体物理学已逐渐形成为磁学与固体物理学的一个分支;另一些部分如磁性分析和磁化学等则成为重要的边缘学科。这些内容不可能在一个课程内全部讲述。本书在选择内容时,是以铁磁性的基础理论为纲,系统地讨论铁磁物质的磁化过程和各种基本性质,并引证较多的实验事实作为理论的依据与证明。至于具体应用方面,只是在说明原理或方法时,作为例子,略加引述。关于磁性测量的各种方法和仪器,以及磁性材料的性质和用途,因另有课程讲授,不在本书内介绍。

本书所介绍的铁磁性理论只限于最基础的部分,放在第二章。由于铁磁性理论的各学派目前还有若干争论的问题未解决,本书只能介绍海森伯-布洛赫理论模型和能带理论模型的要点作为进一步学习的准备。书中某些章节内容较深或涉及较专门性的问题,均冠以*号,初学时可以略去。为了教学方便,每章末并附以部分习题,作为练习。

由于专门组课程目前尚无统一的教学大纲,本书内容的选择、叙述和编排次序等,只是凭作者个人的讲课经验决定的。由于学识水平

的限制,书中一定会有许多缺点甚至错误,作者诚恳地希望各方面随时予以批评、指正和建议。

山大磁学教研室的教师们曾对本书提出了不少修改意见。张连生、刘丽珠和谢荣华同志为本书绘制了部分插图。作者谨向他们深致谢意。

郭贻诚

1964年11月

符号凡例

- A 原子量;交换积分
- B 磁感应强度(B_s ,饱和磁感强度; B_r ,剩余磁感强度)
- C 居里常数
- D 电(位)移
- E 杨氏模量
- E 电场强度
- F 自由能(单位体积)
- H 磁场强度(H_c ,矫顽力; H_m ,最大磁场)
- I 磁化强度(I_s ,饱和磁化强度或自发磁化强度; I_o ,绝对饱和磁化强度; I_r ,剩余磁化强度)
- J 总动量矩;量子数
- K_1, K_2 磁晶各向异性常数
- L 自感;总轨道矩;量子数
- M 磁矩;磁化强度
- N 退磁因数
- N_A 阿伏伽德罗常数
- P 压强;功率;动量矩
- Q 吸收的热量(单位体积);品质因数
- R 气体常数(克分子,即摩尔);电阻
- S 总自旋;量子数
- T 绝对温度
- T_N 涅耳转变点
- U 内能(单位体积)

V	体积
W	损耗功率(单位体积);外斯分子场系数
Z	状态总和或配分函数;原子序数
a	磁滞损耗系数;晶格常数
c	比热(c_P ,定压比热; c_H ,定磁场比热; c_I ,定磁化比热);剩余损耗系数;光速;弹性模量
d	密度
e	电子电荷;涡流损耗系数
f	频率(每秒周数)
g	光谱分裂因数或朗德因数;磁力比率
g'	回转磁比率
h	普朗克常数;交变磁场
\hbar	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$
i	电流
k	玻尔兹曼常数;准动量
l	长度
m	电子质量
n_f, n_p	克原子(摩尔)的有效磁子数
p	动量矩
s	熵(单位体积);电子自旋量子数
t	时间
y	相对磁化强度($\frac{I}{I_0}$)
z	最近邻原子数 $z\alpha$ 吉耳伯特(Gilbert)阻尼力矩系数
α_i	方向余弦
β	玻尔磁子($\frac{he}{4\pi mc}$);阻尼系数
γ	畴壁能密度
δ	畴壁厚度。位相差。损耗角

ε	介电常数
η	斯坦因麦茨(Steinmetz)系数
θ_C	居里温度
θ	涡流参数;渐近居里点
λ	朗道-栗弗席兹阻尼力矩系数
λ_s	饱和磁致伸缩系数
μ	磁导率(μ_a , 起始磁导率; μ_m , 最大磁导率; μ_r , 可逆磁导率)
$\bar{\mu}$	复磁导率
μ_{ij}	张量磁导率
μ_B	玻尔磁子
ρ	密度;电阻率;角度
σ	应力(张力);自旋矩
τ	弛豫时间
ϕ	磁通量;角度
Φ	热力学势能函数(单位体积)
χ	磁化率(χ_a , 起始磁化率; χ_r , 可逆磁化率; χ_B , 不可逆磁化率)
ω	圆频率;体积磁致伸缩

目 录

第一章 物质的磁性	(1)
§ 1-1 引言	(1)
§ 1-2 原子磁性	(2)
§ 1-3 原子核的磁性	(7)
§ 1-4 宏观物体的磁性	(9)
§ 1-5 磁性体的热力学关系	(10)
§ 1-6 抗磁性的经典理论	(14)
§ 1-7 抗磁性的量子力学理论	(16)
§ 1-8 顺磁性——郎之万顺磁性理论	(19)
§ 1-9 顺磁性的量子力学理论	(22)
§ 1-10 顺磁性离子的基本实验数据	(28)
§ 1-11 金属的抗磁性	(31)
§ 1-12 金属的顺磁性	(34)
§ 1-13 铁磁性物质的基本实验事实	(36)
§ 1-14 铁磁物体的回转磁效应	(45)
习题	(49)
参考文献	(51)
附录 I-1	(51)
第二章 现代铁磁性理论的基础	(54)
§ 2-1 引言	(54)
§ 2-2 “分子场”的唯象理论	(54)

§ 2-3	弗仑克耳-海森伯铁磁性理论	(58)
§ 2-4	布洛赫自旋波理论——自发磁化的 $T^{\frac{3}{2}}$ 定律	(67)
§ 2-5	铁磁元素的原子结构——能带理论模型	(76)
§ 2-6	$s-d$ 电子的交换作用	(80)
§ 2-7	铁磁性转变与居里温度	(85)
§ 2-8	合金的铁磁性质	(93)
§ 2-9	铁磁性合金的简单理论	(104)
习题	.....	(109)
参考文献	.....	(110)
附录 II-1	.....	(111)
第三章 反铁磁性及亚铁磁性	.....	(112)
§ 3-1	反铁磁性——基本实验事实	(112)
§ 3-2	反铁磁物质的交换作用	(117)
§ 3-3	反铁磁性的简单理论——“分子场”理论	(118)
§ 3-4	亚铁磁性	(124)
§ 3-5	单铁氧体的晶格结构	(125)
§ 3-6	铁氧体的分子饱和磁矩	(132)
§ 3-7	复合铁氧体的饱和磁矩	(135)
§ 3-8	亚铁磁性的分子场简单理论	(142)
§ 3-9	三角形亚铁磁性结构	(153)
习题	.....	(157)
参考文献	.....	(158)
附录 III-1	.....	(160)
第四章 技术磁化曲线	.....	(162)
§ 4-1	引言	(162)
§ 4-2	磁化曲线和磁滞回线(一般简介)	(164)
§ 4-3	铁磁晶体内各种相互作用的能量	(166)

§ 4-4	磁晶各向异性能	(168)
*§ 4-5	磁晶各向异性的理论解释	(175)
§ 4-6	磁弹性能和磁致伸缩	(178)
§ 4-7	外磁场和退磁场的能量	(184)
§ 4-8	铁磁体中自发磁化区域的分布	(188)
§ 4-9	畴壁	(192)
§ 4-10	铁晶体中平行于(100)面的 180°畴壁	(194)
§ 4-11	布洛赫畴壁的一般计算	(200)
*§ 4-12	涅耳畴壁	(201)
§ 4-13	畴结构的观测(1)粉纹图示法	(204)
§ 4-14	畴结构的观测(2)克尔磁光效应法和 电子显微镜法	(215)
§ 4-15	铁磁微粒	(217)
*§ 4-16	超顺磁性	(222)
§ 4-17	畴壁位移过程	(224)
§ 4-18	畴壁位移的两种理论	(227)
§ 4-19	起始磁化率的计算	(229)
§ 4-20	对于起始磁化率理论的评论——提高材料的 起始磁化率的途径	(235)
§ 4-21	在磁晶各向异性作用下的 可逆转动磁化过程	(239)
§ 4-22	单晶磁化曲线的计算(转动磁化过程)	(242)
§ 4-23	在应力作用下的可逆转动磁化过程	(249)
§ 4-24	多晶的磁化曲线——趋近饱和定律	(252)
*§ 4-25	不可逆畴壁位移过程——巴克豪生跳跃	(259)
§ 4-26	磁滞——反磁化过程	(265)
§ 4-27	由反磁化核的成长所引起的磁滞	(271)

*§ 4-28	反磁化核的起源	(278)
§ 4-29	由磁畴不可逆转动所引起的磁滞 ——单畴粒子	(281)
*§ 4-30	非一致转动的反磁化过程	(292)
*§ 4-31	磁性薄膜	(294)
§ 4-32	剩余磁化和剩余磁感	(300)
*§ 4-33	微磁化理论	(304)
*§ 4-34	圆柱体的磁化问题	(307)
*§ 4-35	交换各向异性	(313)
*§ 4-36	感生各向异性(扩散各向异性)	(316)
	习题	(319)
	参考文献	(322)
第五章	铁磁物质在交变磁场中的磁化过程·时间效应	(325)
§ 5-1	引言	(325)
§ 5-2	铁磁物质在交变磁场中的复磁导率	(327)
§ 5-3	磁导率的频散和磁化弛豫过程	(329)
§ 5-4	磁谱(简介)	(331)
§ 5-5	由畴壁位移所引起的频散和损耗	(333)
§ 5-6	畴壁的动态性质	(336)
§ 5-7	磁化矢量的运动方程—— 朗道-栗弗席兹理论	(338)
§ 5-8	由磁畴的自然共振所引起的频散和损耗	(340)
§ 5-9	理论和实验的比较	(343)
§ 5-10	由铁磁体的尺寸共振及磁力共振 所引起的频散	(346)
§ 5-11	磁损耗的分析	(348)
§ 5-12	涡流——趋肤效应	(350)

§ 5-13	磁滞损耗	(353)
§ 5-14	剩余损耗与磁后效	(355)
§ 5-15	金属材料中的剩余损耗	(358)
§ 5-16	微观涡流所引起的损耗	(360)
§ 5-17	铁氧体中的李希特后效损耗	(363)
§ 5-18	由热起伏引起的弛豫损耗	(366)
	习题	(367)
	参考文献	(368)
第六章	铁磁共振	(370)
§ 6-1	引言	(370)
§ 6-2	张量磁导率·运动方程式的线性解	(371)
§ 6-3	共振吸收·共振峰宽度	(375)
§ 6-4	单晶体的铁磁共振	(378)
§ 6-5	铁磁共振问题的一般处理方法	(380)
*§ 6-6	磁畴结构对于共振峰的影响	(384)
§ 6-7	自然共振	(387)
§ 6-8	由铁磁共振实验测定磁力比率 g	(388)
*§ 6-9	静磁型共振	(390)
§ 6-10	电磁波在旋磁介质中的传播	(396)
*§ 6-11	亚铁磁共振	(401)
*§ 6-12	自旋波频谱	(404)
§ 6-13	高功率现象	(409)
*§ 6-14	高功率现象的理论	(412)
§ 6-15	关于共振峰宽度的基本实验事实	(425)
*§ 6-16	铁磁物质内的弛豫机理 ——共振峰宽理论	(432)
	习题	(436)