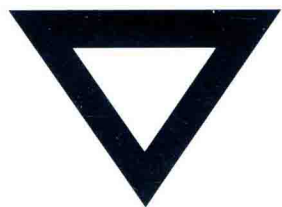


国家科技进步奖获奖丛书
物理改变世界

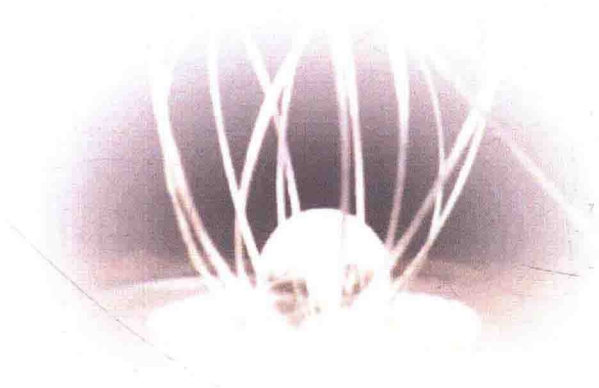


修订版

超越自由

神奇的超导体

Mysterious Superconductivity



科学的发展总是在不断克服原有的旧东西，以更精确、更丰富的新概念替代和完善旧观念而前进的。

章立源 著



科学出版社

国家科技进步奖获奖丛书

物理改变世界



修订版

超越自由
神奇的超导体
Mysterious Superconductivity

章立源 著

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

超越自由：神奇的超导体 / 章立源著. —北京：科学出版社，2016.4

(物理改变世界)

ISBN 978-7-03-047722-4

I. ①超… II. ①章… III. ①超导体—普及读物
IV. ①TM26-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第050674号

责任编辑：姜淑华 侯俊琳 田慧莹 / 责任校对：赵桂芬

责任印制：张倩 / 整体设计：黄华斌

联系电话：010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

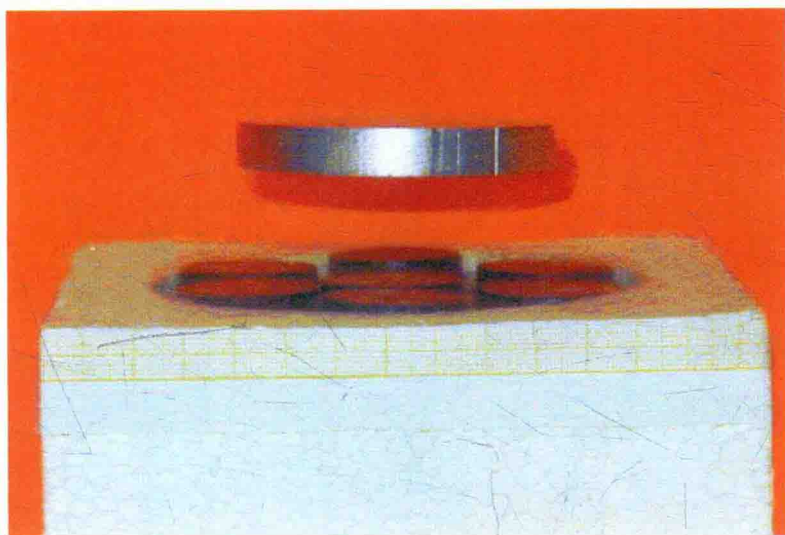
2016年4月第 二 版 开本：720×1000 1/16

2016年4月第一次印刷 印张：11 插页：4

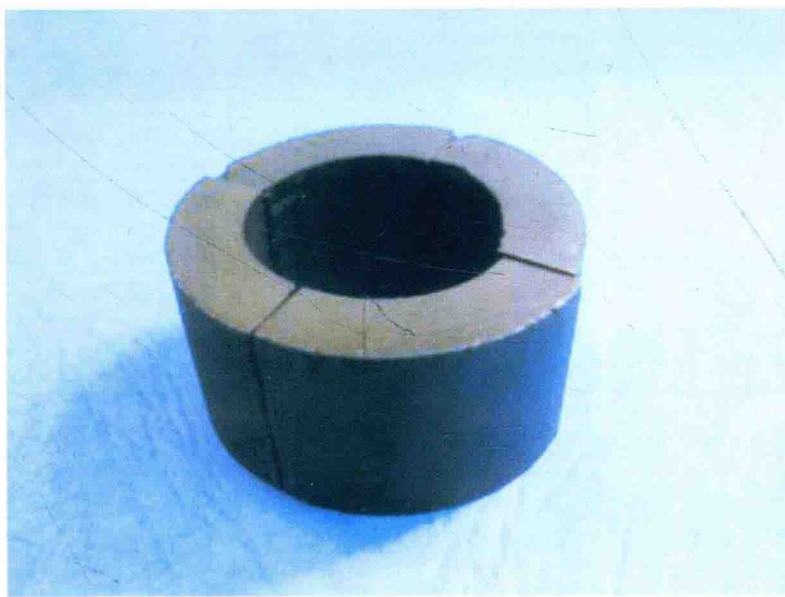
字数：222 000

定价：35.00 元

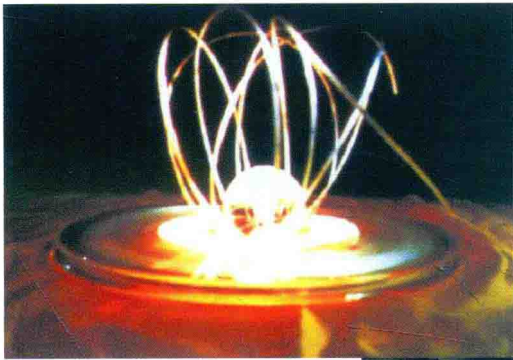
(如有印装质量问题，我社负责调换)



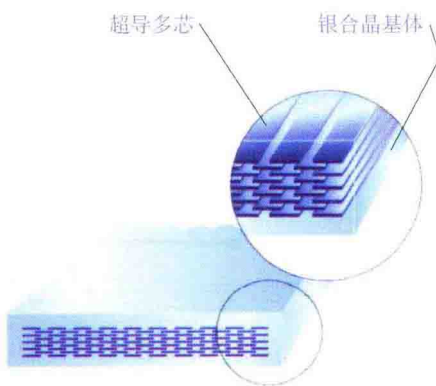
磁悬浮现象演示



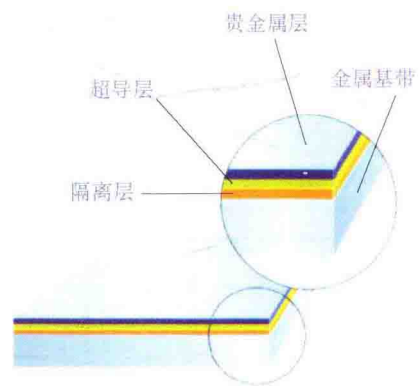
超导环



高温超导 Bi 系带材

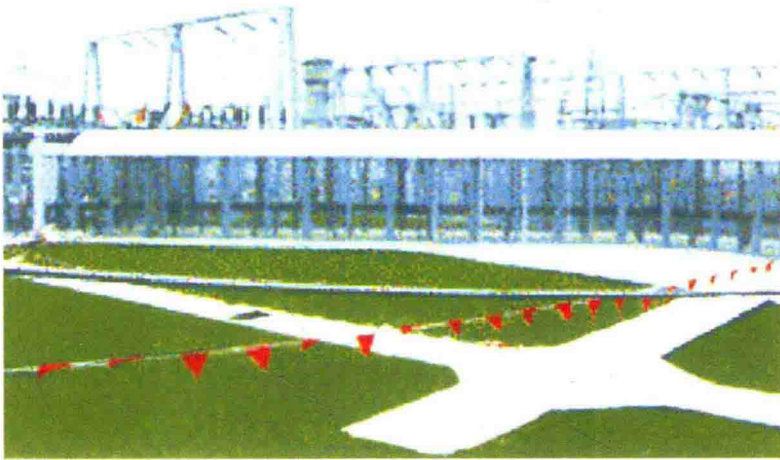


第一代高温超导带材 (Bi 系)

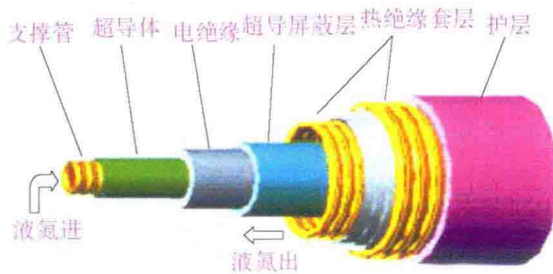


第二代高温超导带材 (Y 系)

高温超导带材的结构示意图



云南挂网的高温超导电缆



超导电缆结构示意图



德国斯图加特第二届世界移动论坛会议上展出的上海磁悬浮列车模型



上海磁悬浮列车

丛书修订版前言

“物理改变世界”丛书由冯端、郝柏林、于渌、陆埏、章立源等著名物理学家精心创作，2005年7月出版后受到社会各界广泛好评，并于2007年一举荣获国家科学技术进步奖，帮助我社首次获此殊荣。丛书还多次重印，在海内外产生了广泛的影响，成为双效益科普图书的典范。

物理学是最重要的基础科学，诸多物理学成就极大地丰富了人们对世界的认知，有力地推动了人类文明的进步和经济社会的发展。丛书将物理学知识与历史、艺术、思想及科学精神融会贯通，受到科技工作者和大众读者的高度评价，近年库存不足后有不少读者通过各种方式表达了对再版的期待。

在各位作者的大力支持下，本次再版对部分内容进行了更新和修订，丛书在内容和形式上都更加完善，也能更好地传承这些物理学大师博学厚德、严谨求真的精神，希望有越来越多的年轻人热爱科学，努力用科学改变世界，创造人类更加美好的未来。

同时，我们也以此纪念和告慰已经离开我们的陆埏院士。

编者

2016年3月

丛 书 序

20 世纪是科技创新的世纪。

20 世纪上叶，物理界出现了前所未见的观念和思潮，为现代科学的发展打下了坚实的基础。接着，一波又一波的科技突破，全面改造了经济、文化和社会，把世界推进了崭新的时代。进入 21 世纪，科技发展的势头有增无减，无穷尽的新知识正在静候着青年们去追求、发现和运用。

早在 1978 年——我国改革开放起步之际，一些老一辈的物理学家就看到“科教兴国”的必然性。他们深知科技力量的建立必须来自各方各面，不能单靠少数精英。再说，精英本身产生于高素质的温床。群众的知识面要广、教育水平高，才会不断出现拔尖的人才。科普读物的重要性不言而喻。“物理学基础知识丛书”的编辑和出版，是在这种共识下发动的。当时在一群老前辈跟前还是“小伙子”的我，虽然身在美国，但是经常回来与科学院的同事们交往、切磋，感受到老前辈们高尚的风格和无私的热情，也就斗胆参加了他们的队伍。

一瞬间，27 年就这样过去了。这 27 年来，我国出现了惊人的、可喜的变迁，用“天翻地覆”来形容，并不过甚。虽然老一辈的物理学家已经退的退了、走的走了，他们当时的共识却深入人心。科学的地位在很多领域里达到了高峰；科普的重要性更加显著。可是在新的经济形势下，愿意投入心血撰写科普读物的在职教授专家，看来反而少了。或许“物理改变世界”这套修订再版的丛书，能够为青年学子和社会人士——包括政界、工商界、文

化界的决策层——提供一些扎实而有趣的参考读物，重燃科普的当年火头。

2005 年是“世界物理年”。低头想想，我们这个 13 亿人口的大国，为现代物理所做的贡献，实在不算很多。归根结底还是群众的科学底子太薄；而经济起飞当前，不少有识之士又过分急功近利。或许在这当儿发行一些高质量的科普读物能够加强公众对物理的认识，从而激励对基础科学的热情。

这一次在“物理改变世界”名下发行的 5 本书，是编辑们从 22 种“物理学基础知识丛书”里精选出来的，可以说是代表了“物理学基础知识丛书”作者和编委的心声。于渌、郝柏林、冯端、陆埏等都是当年常见的好朋友。见其文如见其人，我在急促期待中再次阅读了他们的大作，重温了多年来给行政工作淹没几尽的物理知识。

这一批应该只是个开端。但愿“物理改变世界”得到年轻一代的支持、推动和参与，在为国为民为专业的情怀下，书种越出越多，内容越写越好。

吴家玮

香港科技大学创校校长

2005 年 6 月

前 言

1911 年，卡末林·昂内斯首次发现超导电现象。自那以后半个多世纪，超导电性问题引起了各国科学家的广泛兴趣。超导电性的本质是什么？能否广泛应用？这是许多人所关心的。1957 年，巴丁、库珀、徐瑞弗三位美国物理学家建立了超导电性微观理论，解释了超导电性的本质。这样，人们对于物质导电机构的了解就出现了一个飞跃。这个成功来之不易，实际上是各国科学家经过长期努力的共同结晶。在回顾这一发展时，我们可以看到，这个飞跃是在摆脱了正常导体导电机构的框框，引入了全新的概念——库珀电子对——之后才得以实现的。这一点值得我们记取不忘：科学的发展总是在不断克服原有的旧东西，以更精确、更丰富的新概念替代和完善旧观念。在目前，使用超导线制成的超导磁体已有较多的应用。超导隧道效应在各方面的应用发展相当快。超导计算机也有了进展。过去，由于使用超导体需要很低的温度，这就限制了它的广泛应用。因此，超导体的应用究竟能达到什么程度，还要取决于能否制成更具有实用价值的新超导材料。

本书的目的是为了使具有高中以上文化程度的读者能对超导电性问题有一个初步了解。本书对问题的叙述完全是定性的、初步的，不作数学推导。许多问题都不求深入展开。要求深入学习超导电性问题的读者则需要阅读其他有关书籍。

初版时，香港科技大学校长吴家玮教授对本书初稿提出了许多宝贵意见，这次出版古宏伟教授为本书提供了精美的彩图，作者在此深表谢意。

从本书初版至今，已过去 20 多年，这 20 多年超导体也有很大发展，故使得本书于今年——“世界物理年”得以再版。

章立源

2005 年 5 月

目 录

丛书修订版前言 / i

丛书序 / iii

前言 / v

第一章 超导的发现 / 1

奇异的低温世界, 超导与超流 / 1

超导体是完全导体吗 / 8

对超导未来的畅想 / 13

第二章 揭开超导之谜 I / 17

从超导体的电子比热谈起 / 17

二流体模型 / 20

以二流体模型为基础说明超导的几个实验事实 / 24

超导体电动力学 / 27

第三章 揭开超导之谜 II / 30

同位素效应 / 30

超导能隙 / 33

时机已经成熟 / 37

电子-晶格相互作用 / 39

库珀电子对 / 45

超导基态—— $T=0\text{K}$ 的超导体 / 49

第四章 第二类超导体 / 53

第二类超导体，奇妙的磁通线格子 / 53

界面能 / 56

混合态究竟是怎么回事 / 61

磁通量子 / 64

不可逆磁化曲线，非理想的第二类超导体 / 66

非理想第二类超导体的临界电流 / 68

第五章 超导隧道结 / 74

微观粒子的“穿山”本领 / 74

NIS 结中的隧道效应 / 77

SIS 结中的隧道效应 / 81

约瑟夫森隧道电流效应 / 84

磁场对直流效应的影响 / 86

微波照射下结的 I - V 特性 / 88

超导结的各种形式 / 89

第六章 千方百计提高超导临界温度 / 91

超导临界温度能够提高吗 / 91

激子超导电性 / 93

金属氢 / 98

T_c 与晶体结构、组分的关系 / 102

高压强下的超导电性 / 110

关于生物超导体 / 112

第七章 超导应用及其展望 / 113

超导磁体 / 113

超导隧道效应的应用 / 123

第八章 高温超导 / 130

高温超导技术——21 世纪的高新技术之一 / 130

液氮温区高 T_c 超导材料的发现 / 131

高温铜氧化物超导体的特性 / 139

关于高温铜氧化物超导电性机制的若干问题 / 146

高温超导技术应用展望 / 153

结束语 / 158

后记 / 161

第一章

超导的发现

奇异的低温世界，超导与超流

这里要给大家介绍的超导电性是在低温条件下物质所表现出来的奇异特性之一。在日常生活中一提到低温，人们往往会想到千里冰封万里雪飘的北国风光，在我国北方度过了童年时代的人们更会浮想起许多愉快的儿时往事：玻璃窗上美丽的冰花图案、雪球大战、白雪老人……我们也会想到人类的老祖先曾经和漫长严寒的冰期做过多少万年的艰苦斗争啊！然而，劳动创造了世界的文明和财富。经过漫长的历史岁月，人们早已战胜了普通的冰雪低温。在现代除了探索地球南北极大自然的奥秘外，摆在物理学家面前的一个任务已经是向更低的温度进军了。那么，这个低温是指什么呢？我们不妨重温一下从 19 世纪末开始的有意义的一段历史插曲。设想它是一组“低温世界”的银幕电影：

电影银幕把我们带进了 19 世纪末。字幕告诉我们当时的一些科学新闻：

1895 年，一度曾被视为“永久气体”的空气被液化了！

1895 年在大气中发现氦气。

1898 年杜瓦第一次把氢气变成了液体氢，又一个“永久气体”被征服了。

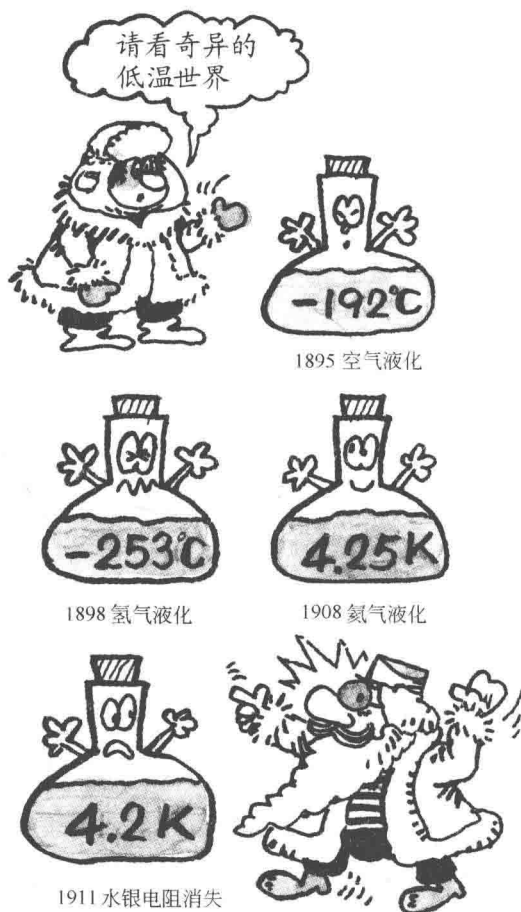


图 1.1 低温世界

请看在一个大气压下这些原以为是“永久气体”的液化点：

空气 -192°C 。

氢气 -253°C 。

在液空、液氢的基础上，已经进入零下 259°C 的低温区！可是，还不能液化氦气。

影片解说员告诉我们说：在 19 世纪中叶，人类对于热现象规律的研究正经过了一个动人心弦的时代。经瓦特改进的蒸汽机在 19 世纪已在工业上得到广泛应用，使工业发生了飞跃进展。与此同