

21 世纪科普教育丛书

低 温世界畅想曲

——21世纪的超导技术

○ 张兆君 颜宇 颜东 编著



科学技术文献出版社

(京)新登字 130 号

责任编辑/葆莹

策划编辑/陈玉珠

责任校对/李正德

责任出版/全未

封面设计/华旗

图书在版编目(CIP)数据

低温世界畅想曲: 21 世纪的超导技术/张兆君等编著. -北京: 科学技术文献出版社, 1998. 5

(21 世纪科普教育丛书)

ISBN 7-5023-3003-8

I. 低… II. 张… III. 超导电技术-普及读物 IV. O51-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 02762 号

出 版 者/ 科学技术文献出版社

地 址/ 北京市复兴路 15 号(中央电视台西侧)/ 100038

发 行 者/ 新华书店北京发行所

印 刷 者/ 北京建华胶印厂

版(印)次/ 1998 年 5 月第 1 版, 1998 年 5 月第 1 次印刷

开 本/ 787×1092 32 开

字 数/ 208 千

印 张/ 9.5

印 数/ 1—3000 册

定 价/ 15.00 元

© 版权所有 违法必究

(购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者本社发行部负责调换)

发行部电话/(010)68514035 总编室电话/(010)68515544-2935

社长室电话/(010)68515037

《21 世纪科普教育丛书》

编辑委员会

主 编 卢嘉锡 李绪鄂 惠永正

副主编 刘昭东 杨牧之 邓 耘

段瑞春 蒙建东 关家麟

李裕鎰

编 委 (以下按姓氏笔划为序)

于秀贵 王京文 申茂向

甘师俊 石定寰 齐 让

孙学琛 余培侠 沈德富

林 泉 杨子荣 柯千红

殷 广

《21 世纪科普教育丛书》

1. 有头脑的房子
——21 世纪的建筑
2. 第二次绿色革命
——21 世纪的农业
3. 开发太空
——21 世纪的航天技术
4. 大森林的未来
——21 世纪的林业
5. 清洁新能源
——21 世纪的能源
6. 信息世界的挑战
——21 世纪的信息技术
7. 创造奇迹的光
——21 世纪的激光技术
8. 把生命留住
——21 世纪的医药卫生
9. 地球村
——21 世纪的邮电通信
10. 人,怎样跨入新世纪
——21 世纪的教育
11. 从梦想到现实
——21 世纪的人类生活
12. 低温世界畅想曲
——21 世纪的超导技术
13. 蓝色的宝库
——21 世纪的海洋开发

序

朱丽兰

20 世纪行将结束,21 世纪即将来临。在这新旧交替的时代,人类社会都期待着一个崭新明天的到来。

世界范围内的新技术革命日新月异,促使全球经济、社会的发展乃至人们的生活方式都不断发生重大变革。科技竞争,特别是人才竞争,已经成为世界各国全面竞争的焦点。现在,许多国家都把提高国民的科学文化素质当成是 21 世纪竞争是否成功的关键。为适应世界潮流,迎接新世纪的挑战,普及科学文化知识,正受到社会各界的广泛重视。科技知识的传播,已经成为当前我国促进社会主义物质文明和精神文明建设、维护社会繁荣稳定的一项重要任务,也是今后依靠科技进步,提高全民素质,使我国经济和科技得以持续、快速、健康发展的重要保证。

党中央、国务院最近号召全党、全国人民加强科学技术的

注:本文作者系国家科委常务副主任。

普及工作,科学技术的普及程度,是国民科学技术文化素质的重要标志,同时也是全体科技工作者,运用科学技术,在亿万群众中构筑精神文明思想长城的重要任务。

科学技术普及工作的重点之一,是青少年学生。今天的青少年,就是明天的主人。国家的兴旺,民族的振兴,靠他们这一代。由卢嘉锡副委员长和国家科委其他同志发起并编撰的《21世纪科普教育丛书》,就是面向青少年,力求比较全面、比较系统地展示未来世纪的宏伟蓝图,展望未来,预测未来,勾画未来,瞄准未来,跟踪最新的高技术,重点阐述21世纪初叶各学科领域的面貌,全新地描绘下一世纪人类发展的新趋势,描绘未来生活的新特点和五彩缤纷的各项新技术,鼓励、提倡“学科学、爱科学、讲科学、用科学”的社会风尚。这套丛书的出版,有利于宣传、普及科技知识,有利于引导和鼓舞广大青少年发扬爱国主义精神,有利于使他们增强建设祖国、奔向未来的使命感,有利于扩大他们的知识面,启迪他们的智慧,开阔他们的视野,造就他们,培养他们,使他们成为下一世纪的合格主人。相信这套丛书会成为他们的良师益友,同时也寄望这套丛书,在科学技术普及工作的事业中发挥更大的作用。

1995年5月



编者的话

邓小平同志指出：“科学技术是第一生产力”，“下一个世纪是高科技的世纪，中国也必须发展自己的高科技，在世界高科技领域占有一席之地”。中央有关领导也一再指出：“从长远看，振兴经济必须依靠高技术”。可见，促进科学技术尤其是高技术的进步已经成为推动现代社会发展的新支点。属于20世纪五大科学技术发明、发现之一的超导技术，与改变能源的“原子能”、制造尼龙等的“合成化学”、迎来集成电路时代的半导体、产生光电通信及CD(小型磁盘)的“激光器”等重大发明并驾齐驱，并被称为本世纪最后的技术革命，它将给世界的产业、社会和人民生活带来极大的影响。

在科学的百花园中，超导技术以其独特的光彩吸引着人们的目光，它是科学百科全书的新篇章。自超导现象发现至今，已渗透到了各个学科之中，相继出现了超导物理学、超导电子学、超导医学和超导生物学等。无论是天上、地下还是人间，超导技术都具有广阔的应用前景。卫星的遥感探测、射电天文观察、海底资源的勘探、新能源的开发、电力的储存、天气及地震预报、交通工具的更新、电子计算机的改朝换代、人体特异功能研究等都与超导结下了不解之缘。

在 21 世纪,人类将面临能源枯竭的严峻挑战。利用超导技术的核聚变,可以按照人类的意志将它那巨大的能量释放出来。这种人造太阳不仅使人类获得清新的能源,还可以让能源危机销声匿迹。那时,人类利用超导输电像国际电话那样铺设海底电缆,从而可以使地球资源得到有效的利用。另一方面,借助于覆盖全球的超电网,利用宇宙空间电站发电,建立起世界规模的能源供给体系。

21 世纪,超导技术将导致重型机电设备(如发电机、电动机、变压器等)领域的重大变革,它们将以高效率、低成本、小型化等崭新的面貌投入到工业生产当中。快速超导磁悬浮列车不仅使人类乘坐空中飞毯的梦想得以实现,而且可以使城市之间拥挤的交通状况大大改观。

掌握电脑是 21 世纪人才的身份证。21 世纪超导技术使电子设备改朝换代,超导计算机将以它的高速、高效、小型化等特点战胜半导体大规模集成电路计算机,用以管理生产和进行科学研究并渗透到人们生活的各个方面。威胁人类生命的肿瘤、癌症不仅可以用超导技术来诊断,而且还可以用超导技术来治疗,超导量子干涉器将帮助人类解开生命体的奥秘。超导技术还将为新尖端技术的开发和战略防御设想的实现提供可靠的技术保证。

21 世纪是崭新的世纪。各种新发现、新发明、新概念、新制造工艺、新应用日新月异、层出不穷。因此,任何一个青年人都面临着一个紧迫的任务,那就是不断更新自己的知识结构,跟上时代发展的步伐,以饱满的热情去迎接 21 世纪的曙光。

编 者

1997 年 12 月

目 录

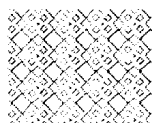
序

编者的话

- 低温世界 精彩纷呈 (1)
 - 什么是温度 (2)
 - 撩开低温世界的面纱 (5)
 - 攻克“永久气体”的堡垒 (9)
 - 向绝对零度进军 (14)
- 超导迷团 云开雾散 (20)
 - 神奇的超导现象 (21)
 - 非凡的魔术师 (30)
 - 打开超导迷宫的钥匙 (37)
 - 粒子“穿山” (45)
- 能源供给 天随人愿 (55)
 - 把太阳请到地球来 (56)
 - 畅通无阻的“超导输电” (69)
 - 宏伟的全球输电网 (77)
 - 高效力的磁通泵 (85)
- 探索生命 洞悉底蕴 (91)
 - 梦幻般的生物超导 (92)
 - 低温冷刀妙手回春 (93)
 - 具有特异功能的“超导诊断仪” (98)
 - 探明思维的“脑磁传感器” (101)

● 电子设备 改朝换代	(110)
新颖独特的超导电子器件	(111)
超导量子干涉器件(SQUID)	(114)
冷子管	(118)
约瑟夫逊隧道结的制作	(123)
像人脑一样聪明的计算机	(126)
● 未来战争 明察秋毫	(134)
超导武器大显神威	(135)
超导推进装置的潜艇	(144)
千里眼大显神通	(146)
超导测辐射热计	(152)
● 极限物质 追本溯源	(155)
超导氢气泡室	(158)
超导同步加速器	(159)
超导磁体与常导磁体之比较	(163)
SQUID 在基础物理研究中的应用	(166)
● 天地变幻 先知先觉	(169)
欲想做其事必先利其器	(170)
大地电磁勘测	(182)
岩石磁学和古地磁学	(184)
海洋波探测和海底探测	(184)
● 机电产业 万象更新	(188)
童话般的空中飞毯	(188)
新型的机电设备	(199)
性能优越的磁流体动力发电	(218)
产业界对超导的反应	(226)

● 通讯设备 小巧玲珑	(230)
超导微波传输系统	(232)
超导微波谐振腔	(236)
超导参量放大器	(240)
理想的磁屏蔽系统	(244)
● 超导计量 一锤定音	(246)
低温电压比较仪和电流比较仪	(246)
低温的测量	(247)
物理常数 $2e/h$ 的精确测量和约瑟夫 逊电压基准	(251)
精细结构常数 α 的测定和电阻的量子标准	(255)
● 高温超导 姗姗来迟	(258)
令人神往的高温超导材料	(260)
超导体的分类及其临界条件	(266)
超导体的制造方法	(268)
为超导提供环境保障	(269)
● 美好前景 灿烂辉煌	(280)
● 符号说明	(286)
● 人名译名对照表	(286)
● 参考文献	(290)



低温世界 精彩纷呈

当年荷兰物理学家海克·卡末林·昂纳斯在液氮温度下研究几种纯金属的电阻与温度的关系时惊奇的发现，当温度下降到约零下 268.85°C （即 4.3K ）时，汞的电阻从 0.125 欧姆突然下降到零。金属的这种奇异现象就称为超导。

超导这个词来到我们中间，至今已有八十余年了。人们在谈到超导时，往往习惯于将它与低温联系起来，而称之为低温超导。的确，超导现象的发现与人们对低温世界的探索密切相关，其最重要的历史背景之一，就是人类液化气体向绝对零度进军的努力。远在公元前，人们便已经开始了对低温世界的探索。公元 13 世纪末叶，我国元朝时已用

人工方法获得了零下 21°C 的低温。那是元世祖忽必烈在一次为意大利旅行家马可·波罗举行的宫廷宴会上,佳肴之中出现了奶酪冰激凌,它是一种用冰水、食盐混合液制取的新颖美味冷食。1755 年苏格兰人威廉·库隆在一个真空罩下通过将水蒸发的方法获得了一小冰块。1777 年,另一名苏格兰人杰拉尔德·奈恩,利用硫酸吸水的原理来加快制冰的速度,也取得了相当好的效果。直到 1866 年,水蒸气式制冷机才走出了试验阶段,从此宣告了世界制冷工业历史的开始,满足了当时食品冷冻的需要。

但是人类有意识地开拓低温世界,只有 200 年左右的历史。在漫长的岁月中,涌现出了许许多多富于探索精神的先驱者,他们在低温科学领域里献出了毕生的精力,为揭开低温世界的奥秘建立了不朽的功勋。现在,让我们踏着这些先驱者的足迹去低温世界这一魔术天地般的乐园漫游一番,在领略神秘微妙的低温现象中享受无比的乐趣。

什么是温度

温度是一个比较复杂的物理量,它的本质和物质的分子运动密切相关。温度的概念,最初起源于人们对物体冷热的感觉。将冷热的感觉进一步科学化后,用来定量地描述一个物体的冷热状况的物理量就叫做温度。物体温度的升高或降低,标志着物体内部分子热运动平均动能的增加或减少。作为一个科学概念,必须从客观物体随温度不同而发生的某些物理性质的变化中,找出一个确定的关系,作为我们衡量温度的标准。实验观察指出,在冷热不同的情况下,物体的体积或

容积、气体的压强、物体的发光性质、尤其是很多材料的电阻率等都会发生有规律的变化。

要想定量地确定温度,就必须对温度零点和分度方法作出规定,对不同的温度给以具体的数量标志。温度的数值表示方法叫做温标,各种各样的温度计的数值都是由温标决定的,温标就是温度的标尺。在国际单位制中,采用热力学温标,也叫绝对温标或开氏温标,它是建立在卡诺循环基础上的理想的、科学的温标,其符号为 T ,单位名称“开”,单位符号“K”。还有一种常用的温标是摄氏温标,符号为 t ,单位名称“摄氏度”,单位符号“ $^{\circ}\text{C}$ ”。我们中央电视台在天气预报节目中所使用的温标,就是摄氏温标。摄氏温标又叫百分温标,是由瑞典科学家安德利斯·摄尔西斯于 1742 年制定的,这种温标是以在 1 个大气压下水的冰点为 0°C ,水的沸点为 100°C 。开氏温标和摄氏温标两者的关系是: $T = t + 273.15\text{K}$,式中, 273.15K 是冰点(即冰和水的混合体时的温度)的热力学温度。

极低温的下限为零下 273.15°C ,一到这个温度,物质中构成分子的原子的运动就停止了,故想再降低温度也不可能了,换言之,分子、原子都处于完全冻结状态。图 1 给出了按绝对温度表示的广阔温度世界。

茫茫的宇宙浩瀚无垠,它真像诗人所说的那样高处不胜寒吗?“寒”的温度是多少呢?图 2 给出了太阳系各行星表面的温度。从图中我们可以看出,太阳系中九大行星的表面平均温度依离太阳的远近而降低或升高。最冷的也是离太阳最远(有 59 亿千米之遥)的冥王星,其温度仅为 44K ,即零下 229°C 。表面温度最高的是离太阳最近(有 5 700 余万千米之远)的水星,其温度高达零上 397°C 。水星和冥王星的温差达

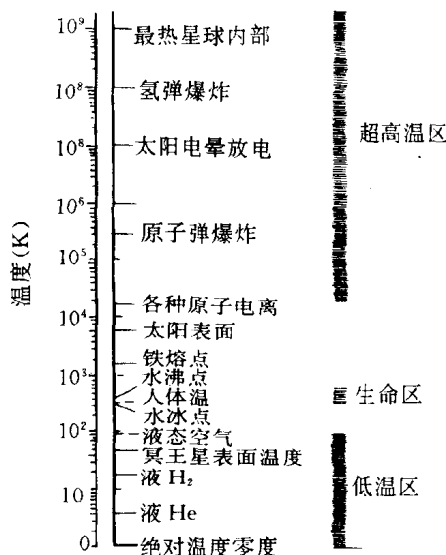


图 1 按绝对温度表示的广阔温度世界

626K。事实上,对于人类来说太阳系中的各个行星,为我们准备了不同的温度环境,等待着我们去开发和利用。

1848 年,英国物理学家伊斯特·巴伦·开尔文勋爵详细研究了这奇妙多变的温度世界,提出了以零下 273.15℃ 为绝对温度的零度,温标的间隔与摄氏温标相同的新温标的建议,这就是上面所述的“绝对温度”的来源。绝对温标的单位“K”即“开尔文”,就是以这位科学家的名字命名的热力学单位。

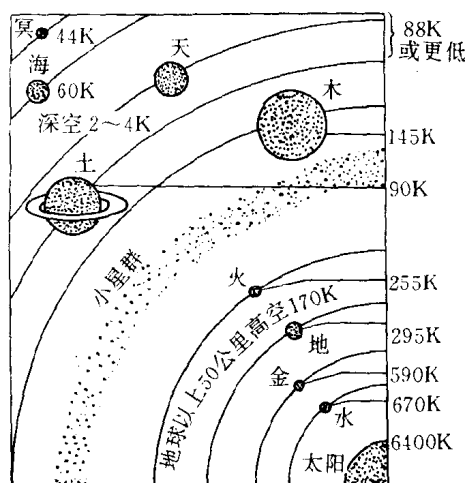


图2 太阳系各行星表面的温度

撩开低温世界的面纱

在日常生活中,一提到低温,人们往往会联想到那千里冰封、万里雪飘的北国风光,喜马拉雅山上终年不化的积雪,南极大陆上迎风耸立的冰山。当然我们还会联想到玻璃窗上美丽的冰花图案,孩子们如醉如痴的雪球激战,形态各异的白雪公主和圣诞老人,憨态可鞠的南极企鹅以及那西藏雪山上迎风傲雪的雪莲花。经过漫长的历史岁月,人类早已战胜了普通的冰雪低温,除了探索地球南北两极大自然的奥秘外,人们面临的挑战就是向更低的温度进军。不能仅仅地停留在对低温的认识上,还要把他们变为客观现实,实实在在的展示在人