



诺贝尔奖 百年鉴

绝对零度的奇迹

■ 超导超流与相变 ■

陆继宗 黄保法 / 著



100
Nobel Prize

上海科技教育出版社



诺贝尔奖百年鉴 绝对零度的奇迹

■ 超 导 超 流 与 相 变 ■



9 787542 824660 >

ISBN 7-5428-2466-X/N·405

定价: 8.00 元

00152353



陆继宗 黄保法 / 著

诺贝尔奖百年鉴

■ 超 导 超 流 与 相 变 ■

绝对零度的奇迹



上海科技教育出版社



北航

C0620295

诺贝尔奖百年鉴

超导超流与相变 绝对零度的奇迹

陆继宗 黄保法 著
丛书策划 卞毓麟 匡志强
责任编辑 匡志强
装帧设计 桑吉芳

出版 上海科技教育出版社
上海冠生园路 393 号
邮政编码 200235
发行 上海科技教育出版社
经销 各地新华书店
印刷 常熟市印刷八厂
开本 787×960 1/32
印张 4.625
字数 83 000
版次 2001 年 1 月第 1 版
印次 2001 年 1 月第 1 次印刷
印数 1 - 5 000
书号 ISBN 7 - 5428 - 2466 - X/N·405
定价 8.00 元

策 划 语

从 1901 年开始颁发的诺贝尔奖,可以说是 20 世纪物理学、化学和生命科学发展的缩影。它记录了百年来这三大学科的几乎所有重大成就,对世界科学事业的发展起了很大的促进作用,被公认为科学界的最高荣誉。人们崇敬诺贝尔奖,赞叹诺贝尔奖得主们的科学贡献,并已出版了许多相关书籍。

那么,我们为什么还要策划出版这套《诺贝尔奖百年鉴》丛书呢?

这是因为,有许多热爱科学的读者,很希望有这样一套书,它以具体的科学内容为基础,使社会公众也能对科学家们的成就有一定的感性认识;它以学科发展的传承性为主线,让读者领略科学进步的永无止境;它还是简明扼要、通俗易懂的,令读者能轻松阅读,愉快受益。

基于这种考虑,本丛书将百年来三大学科的全部诺贝尔奖按具体获奖内容分为 26 个领域,每个领域写成一卷 8 万字左右的小书,以该领域的进展为脉络,以相关的诺贝尔奖获奖项目为重点,读者将不但能了解这些诺贝尔奖成果的科学内容,更能知道这个领域的发展历

程。丛书的分卷不局限于一级学科的分类,以体现现代科学之间的交融。此外,丛书还另设了3卷综述,便于读者对这三大学科的全貌有一个宏观认识。丛书29卷内容如下:

20世纪物理学革命	现代有机化学
20世纪化学纵览	无机物与胶体
20世纪生命科学进展	材料物理与化学
X射线与显微术	现代分析技术
核物理与放射化学	生物分子结构
量子物理学	量子与理论化学
基本粒子探测	蛋白质核酸与酶
场论与粒子物理	遗传与基因
粒子磁矩与固体磁性	细胞生物学
超导超流与相变	生理现象及机制
测量技术与精密计量	内分泌与免疫
天体物理学	临床医学与药物
物理学与技术	传染病与病毒
热力学与反应动力学	神经与脑科学
物质代谢与光合作用	

在丛书策划基本成形后,我们曾到上海、北京、南京等地的许多著名高校及中国科学院、中国医学科学院等科研院所征求专家们的意见,得到了他们的大力支持。许多学者不顾事务繁忙,慨然为丛书撰稿。我们谨向他们表达由衷的感谢和深深的敬意。

2000年12月10日

作者简介

陆继宗,男,1941年生,1964年毕业于武汉大学物理系。上海师范大学物理系系主任、教授。上海市物理学会常务理事;中国物理学会引力与相对论天体物理分会理事;中国科学院理论物理研究所客座研究员;中国高科技中心协联成员。曾任意大利罗马大学、美国南卡罗莱纳大学和德国多特蒙德大学访问教授;德国马克斯·普朗克物理研究所和意大利国际理论物理中心访问科学家。

黄保法,男,1945年生,1969年毕业于北京大学物理系,1983年毕业于华东师范大学研究生院。上海应用技术学院物理系副教授。中国高科技中心协联成员。曾任意大利国际理论物理中心访问科学家。

图书在版编目(CIP)数据

绝对零度的奇迹:超导超流与相变/陆继宗,黄保法著. —上海:上海科技教育出版社,2001.1

(诺贝尔奖百年鉴)

ISBN 7-5428-2466-X

I. 绝…

II. ①陆…②黄…

III. 低温物理学-普及读物

IV. O51-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 73351 号

目录

1 引言/1

2 通向绝对零度之路/7

从慈禧太后喝冰镇酸梅汤说起/7

1877 年的圣诞节礼品/9

绝对零度和热力学第三定律/11

“绝对零度先生”/17

3 难穷其理的超导/23

意外的发现/23

奇异的特性/26

长期的困惑/29

合作的产物/34

三人兵团/41

超导隧道效应和超导电子器件/51

新的挑战/64

广阔的应用前景/71

4 神奇莫测的超流/79

氦 I 和氦 II /79

卡皮查与超流的发现/83

超流的量子理论/88

理论物理的多面手/91

新的量子液体/96

5 形形色色的相变/103

相和相变/103

奇妙的临界现象/105

范德瓦耳斯气体/109

一级相变和二级相变/112

相变理论种种/115

重正化群的魅力/119

6 结束语/131

本卷大事记/137

1 引言

20 世纪已经成为过去,一个新世纪来临了。值此世纪之交,回顾一下物理学在 20 世纪中的历史进程,展望它在新世纪中的发展前景,应该是有所裨益的。

1900 年,英国著名物理学家开尔文爵士(Lord Kelvin)在一次为瞻望 20 世纪而作的题为“19 世纪的乌云笼罩着热和光的动力学理论”的报告中说道:“在已经基本建成的科学大厦中,后辈物理学家只要做一些零星的修补工作就行了。”如果他只讲了这些,那么这段话根本就不会流传至今。重要的是,他紧接着在后面讲了一句传诵千古的但书:“但是,在物理学晴朗天空的远处,还有两朵小小的令人不安的乌云。”这两朵乌云就是当时用经典物理理论所不能解释的两个实验:黑体辐射实验和迈克耳孙(A. A. Michelson)干涉实验。恰恰就是这“两朵小小的令人不安的乌云”,带来了 20 世纪物理学一场翻天覆地的革命。

1

绝对零度的奇迹





开尔文爵士话音未毕,就在 1900 年,为了解释黑体辐射实验,德国物理学家普朗克(M. Planck)提出:能量是不连续的(就像电荷是不连续的一样),它只能是某一最小单位的整数倍,这一最小单位被称为能量子。量子论就此诞生。1904 年,为了解释迈克耳孙干涉实验,爱因斯坦(A. Einstein)创建了相对论。量子论和相对论是近代物理学与经典物理学的主要差别。

量子论和相对论这一对世纪儿的诞生,是这场物理学翻天覆地革命的开始。玻尔(N. Bohr)旧量子论的出现以及随后量子力学的确立,表明这场革命已臻完善。而量子场论、固体量子理论、半导体理论、原子核理论的建立,标志着这场革命不但已取得了巨大胜利,而且已经有了实际的应用,并导致许多新技术的出现。始于 20 世纪 40 年代的新技术革命,本质上就是这场物理学革命的延伸和物化。

现在人们对量子论与相对论和在这些领域攀摘诺贝尔物理学奖桂冠的物理学家们已较为熟悉,至少略有所闻了。但是对于与量子论同步发展的低温物理与相变领域内的诺贝尔物理学奖得主和他们的成就,大概就没有那么熟悉了。爱因斯坦和普朗克是大家熟知的,但对在低温物理领域作出杰出贡献、在发展量子论中与爱因斯坦和普朗克有三驾马车之称的能斯特(W. Nernst),可能知道的人就不多了。其实,低温物理和相变现象是物理学中非常重要的内容,其重要性并不亚于量子论和相对论。

低温物理本质上是量子论的,因为物理学上对低温的定义是:能量可以和零点能相比拟的温度范围。当物质的温度下降到最低温度——绝对零度时,粒子并不会完全静止,而是仍然具有一定能量,这就是零点能。它是一个彻头彻尾的量子概念。我们后面将会谈到的超导和超流现象,也只有用量子场论才能理解。没有量子力学、没有量子场论,就根本无法解释某些奇特的低温现象和性质。与此同时,这些奇特的低温现象和性质不仅为量子论提供了例证,而且进一步促进了量子论的发展。例如,有一些低温现象能把原本只在微观尺度上出现的量子现象在宏观尺度上清楚地显示出来,这就是所谓的宏观量子效应。这是一件了不起的事,它使人们看到了量子效应的普遍性。

量子论和低温物理的这种相互依存、彼此促进的关系是很容易理解的:物体到了极低温时,原子或分子被“冻结”了。温度愈低,原子或分子的运动愈慢,它们的动能小到可与零点能相比拟,这就使得其量子特性充分地表现了出来。所以必须用量子理论才能描述和解释物体的低温性质。另一方面,某些低温性质,用普通的量子理论也还不能解释,必须在量子理论的基础上发展出新的理论,如BCS理论等,才能解释它们。其中有些现象,如高温超导,甚至到目前为止也还没有理论能够解释。这就促使了量子论自身的发展。如果我们斗胆把唐代诗人王勃的不朽名句“落霞与孤鹜齐飞,秋水共长天一色”篡





改为：“低温与量子齐飞，微观共宏观一色”，或许正好可以说明这一情况。

通往低温世界之路是从 1877 年卡耶泰(L. Cailletet)液化“永久气体”氧气开始的。荷兰物理学家卡末林-昂内斯(H. Kamerlingh-Onnes)于 1908 年制成了液氮，并在 1911 年发现了水银的超导现象。后来，物理学家又发现了液氮在低温下的超流现象。这些现象本质上都是相变现象，也就是说，物质的状态发生了明显的改变。人类对相变现象的研究，最早是从对气体和液体之间的相互转变开始的。在这个过程中，荷兰物理学家范德瓦耳斯(J. D. van der Waals)做出了重要贡献。卡末林-昂内斯在研究低温时对超导现象的研究，也大大促进了相变领域的发展。后来人们发现，相变可以分为一级相变和连续相变，其中蕴含着许多丰富的内容。一级相变大多与固体内部的结构变化有关，其个中奥秘，物理学家们现在也还未能了解得十分清楚。而对于连续相变，经过朗道(Л. Д. Ландау)、卡丹诺夫(L. P. Kadanoff)等人的努力，最终由威尔逊(K. G. Wilson)于 1971 年提出的重正化群理论给予了相当好的理论解释。与此同时，科学家们正在利用绝热去磁、绝热核去磁等技术，获得越来越低的温度。现在，低温物理已从纯学术研究发展成一门造福于人类的高新技术——低温技术(包括超导技术、磁悬浮技术等)，将在 21 世纪更好地服务于人类。

在本卷中，我们将把注意力集中在低温物理与

相变领域的众多诺贝尔物理学奖得主身上,以他们的工作和贡献为线索来进行介绍,因为这些工作和贡献恰好贯穿超导、超流和相变的整个领域。我们不但希望通过对他们的成就的介绍,能让我们的读者对 20 世纪低温物理和相变领域的发展过程有一个较全面的了解;更重要的是,希望通过反思,对我们的青年物理学家有所启迪,使他们能在新的世纪里,在攀登科学高峰的道路上奋勇前进,为国家、为民族争光。



2

通向绝对零度之路

从慈禧太后喝冰镇酸梅汤说起

夏天喝杯冰镇酸梅汤,现在已经是一件最普通不过的事了。不过在 100 多年前,这可不是一般老百姓所能奢望的,只有像慈禧太后那样的达官贵人才能享受。不过,就算慈禧太后要喝小小一杯冰镇酸梅汤,那也需大费周折。先得在上一年冬天,把天然冰收集起来,储存在隔热的仓库内。然后到第二年的夏天把这些天然冰拿出去,用于冰镇酸梅汤。最后慈禧太后才能喝到这一杯冰镇的酸梅汤。你看麻烦不麻烦、代价大不大!现在有了冰箱,不要说在冷饮店中能喝到冰镇酸梅汤,几乎每家每户都有条件冰镇任何一种饮料。这是时代的进步带给我们的好处。

致冷技术的发展、致冷机(冰箱)的发明,最初的目的,当然决不是为了能喝一杯冰镇酸梅汤,而是物理学家希望能进行低温物理的研究。顾名思义,低





温物理是研究低温条件下物质性质的。那么,什么温度才算是低温呢?很明显,在不同的场合、不同的时代,低温的含义是不同的。例如,在我国南方地区,摄氏零度(0°C)已经是低温了,而在北方,可能这已是意味着春意盎然了。气象台天气预报中的低温,在低温物理学家看来是非常高的高温。如果只靠自然界的力量,那么我们所能达到的低温也只不过摄氏零下几十度。这样的低温是远远不能满足物理学家的要求的。为了要研究低温物理,就必须要有致冷的手段。没有致冷的机器,慈禧太后夏天想喝冰镇酸梅汤,也是一件非同小可之事。有了致冷机,现在不要说冰镇酸梅汤,就连液氮,你也只要花上几元钱就能灌满满一热水瓶。

为了得到低温,进行低温物理研究,物理学家连续几个世纪作了不懈努力。但真正现代科学意义上的低温物理研究,似应从1877年开始。这一年的圣诞节前夕,法国科学院公布了一条消息:“永久气体”液化了!

说到“永久气体”,我们还必须从1794年被法国大革命推上断头台的著名法国化学家拉瓦锡(A. L. Lavoisier)的“新液体”谈起。18世纪末,拉瓦锡在他的一本著作中提出了“新液体”的概念:“如果将地球放在太阳系中较热的地方,比如说其环境温度比水的沸点还高,那么所有的液体甚至某些金属都将变成气体进入大气中。另一方面,若把地球放到很寒冷的地方,例如靠近木星的地方,那么我们的河流和