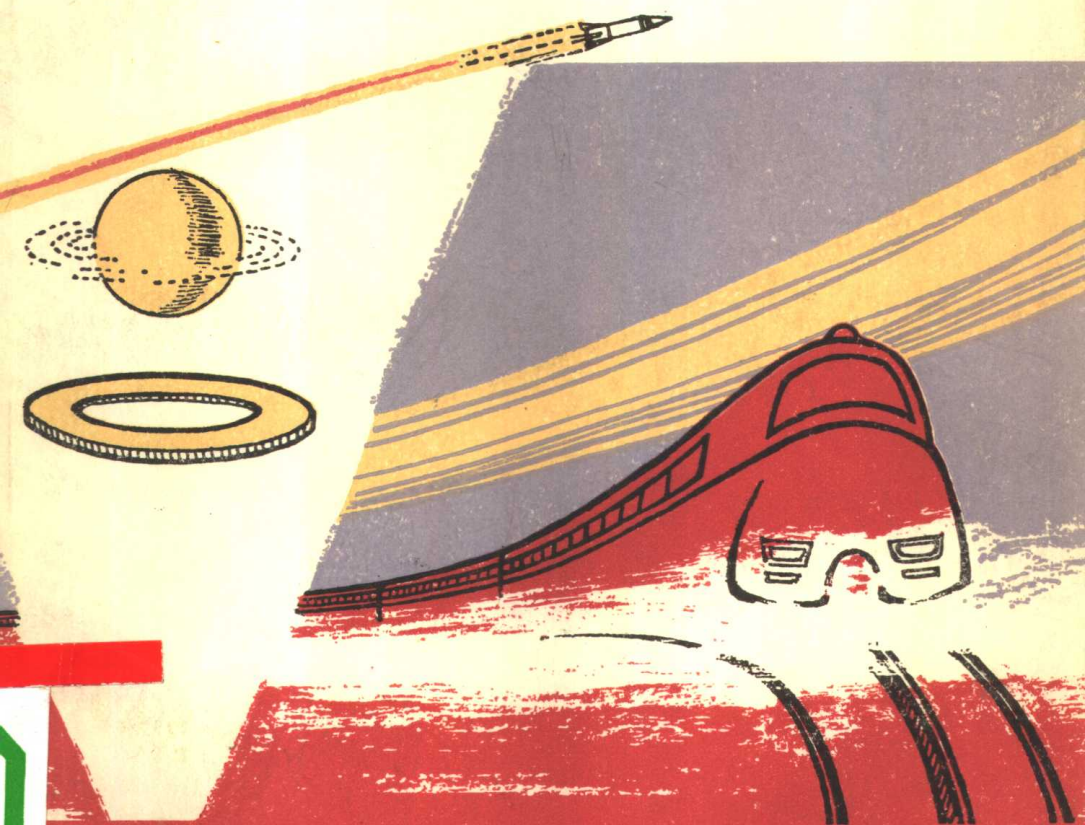


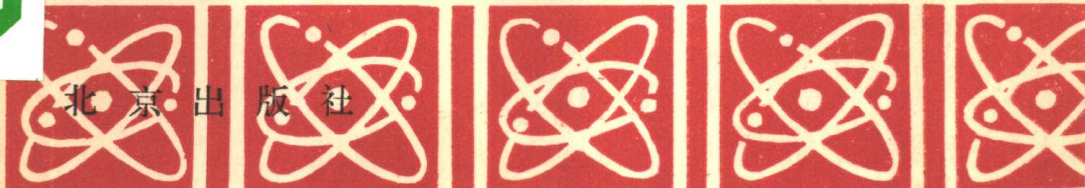


自然科学小丛书

超导体



北京出版社



自然科学小丛书

超 导 体

何 豫 生

北 京 出 版 社

插图：尉迟横

自然科学小丛书

超 导 体

何 豫 生

*

北 京 出 版 社 出 版

新华书店北京发行所发行

北 京 印 刷 二 厂 印 刷

*

787×1092毫米 32开本 3.5印张 54,000字

1978年9月第1版 1978年9月第1次印刷

书号：13071·74 定价：0.24元

编 辑 说 明

为了帮助广大工农兵和青少年学习自然科学知识，更好地为社会主义革命和社会主义建设服务，我们编辑了《自然科学小丛书》。

这套小丛书是科学普及读物，它以马克思主义、列宁主义、毛泽东思想为指导，用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点，结合三大革命斗争实践，介绍自然科学基础知识。在编写上，力求做到深入浅出，通俗易懂，适合广大工农兵和青少年阅读。

由于我们水平有限，又缺乏编辑科学普及读物的经验，难免有缺点和错误，恳切希望广大读者批评指正。

目 录

一	从物体的电磁性谈起	(2)
	导体、半导体和绝缘体 (2) 磁场和电	
	流 (5) 绝对温标和低温物理 (8)	
二	什么是超导体	(11)
	失去电阻的导体 (11) 完全抗磁效应	
	(15) 一种新的固态相变 (23) 有秩序	
	的电子对 (26)	
三	实用超导材料	(37)
	两类不同的超导体 (37) 象蜂窝煤孔一	
	样的磁通线 (40) 让电流从超导体内部	
	流过 (43) 阻碍磁通线运动的“鱼鳞坑”	
	(46) 和冰棍一样放在保温瓶里 (50)	
	实用超导材料 (53)	
四	超导体的应用	(56)
	又强又轻又省的超导磁体 (56) 电工技	
	术的重大变革 (63) 新能源的希望 (74)	
	在陆地、天空和海洋里 (78) 在电子工	
	业上的应用 (85)	
五	超导体能离开低温吗?	(99)
六	结束语	(105)

拿起这本书，你将首先看到封面上这样一幅奇异的图景：

一列单轨列车风驰电掣般地迎面驶来，整个列车腾空而起，全部悬浮在轨道之上，好象飞起来了一样。你知道吗，它甚至要比普通民航客机“飞”得还要快呢。

画面上还有一个奇异的圆环，上面悬浮着一个高速旋转的小球。由于不和任何物体接触，几乎没有一点儿摩擦，小球能够永不停止地转下去。你知道吗，利用它就可以做成无摩擦轴承，这将给机械工业带来何等重要的变革！

你也许会以为，这大概都是科学幻想吧？

不，这就是我们在这本书中将要介绍的，超导体在一些领域中的应用。在今天，这一切已经或即将成为现实。

超导体，作为固体物理学的一个活跃的分支，不过只有六十多年的历史；而作为一门新技术应用于各个领域，那还是本世纪六十年代以后的事情。但是短短十几年的发展，它就已经在电机、输电、磁流体发

电、高能物理等方面得到了应用，显示了它的优越性；而在电子技术、空间技术、受控热核反应、甚至与人们生活密切相关的交通运输和医疗等方面，都展现出了乐观的前景。可以预言，在不久的将来，超导技术将会得到蓬勃发展，广泛应用。

那么究竟什么是超导体，它到底有那些特性和用处呢？为了回答这些问题，我们还是追根溯源，先从物体的电磁性谈起。

一 从物体的电磁性谈起

导体、半导体和绝缘体

电，对我们来说并不陌生。每天清晨，收音机里，红色电波传来了首都北京的声音；夜晚，在电灯光下，人们认真地学习，或愉快地休息。工厂里，巨大的电炉倾刻间煮沸了满炉的钢水；机井旁，欢快的电动机带动水泵为禾苗喷涌出清凉的甘泉；铁道线上，强劲的电力机车疾速地穿越崇山峻岭，运送着成批的货物；荧光屏前，英雄的雷达兵警惕地搜索海疆领空，保卫着祖国的安全。可以说，在我们生活的各个领域，几乎到处都要用到电。

近代物理学的发展，使我们对带电现象的本质，了解越来越深入。我们知道，组成物质分子的原子，是由带正电荷的原子核和绕核旋转的带负电荷的电子构成的。在通常情况下，原子核所带的正电荷跟核外电子所带的负电荷相等。这时，原子是中性的，整个物体也不显电性。一旦物体得到或失去一些电子，使得原子核所带的正电荷跟核外电子所带的负电荷不相等，物体就表现出带电了。而物体按照导电能力的强弱，可以分为导体、半导体和绝缘体。

各种金属如铜、银、铝和碱、酸、盐的水溶液等容易导电，称为导体。一切导体所以能够导电，是因为它们内部都存在可以自由移动的电荷。比如在金属内部，所有的原子都按一定秩序整齐地排列起来，成为所谓的晶格点阵。这些原子只能在规定的位置（即格点）附近作微小的振动。原子中离核较远的一些电子，容易摆脱原子核的束缚，在晶格点阵之间自由地跑来跑去。这类电子叫做自由电子。如果我们把金属内部的晶格点阵，比做一个整齐繁茂的果树园；把只能在平衡位置（即格点）附近作微小振动的原子（正离子），比做随风摇曳的果树；那么，晶格中的自由电子，就好象一群在果树园中随意玩耍的天真活泼的孩子（图1）。当有外力作用，使自由电子定向移动的时

候，就形成了电流。这就好像一声令下，果树园中自由玩耍的孩子们，都向着一个方向跑去时一样。

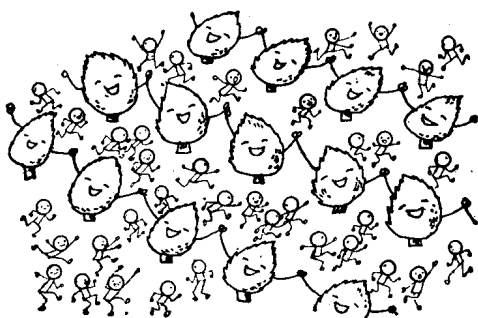


图 1

玻璃、橡胶、塑料等不容易导电，称为绝缘体。在他们内部，绝大部分电荷都只能在一个原子或分子的范围内作微小的移动，这种电荷叫做束缚电荷。由于缺少自由电子，所以绝缘体的导电能力很差。

还有一类物体，如锗、硅以及大多数金属的氧化物、硫化物等，它们的导电能力介于导体和绝缘体之间，我们把这类物体叫做半导体。

事物都是一分为二的。导体一方面有善于导电的

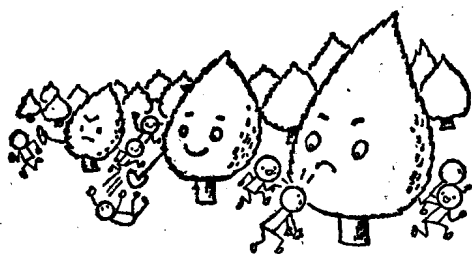


图 2 自由电子在定向运动中受到了阻碍

性质，另一方面又对电流有阻碍作用。这是因为自由电子在定向运动中，还不时地和处于晶格点

阵上的正离子相互作用而产生碰撞，从而阻碍了自由电子的运动(图2)。这种对运动电荷的阻碍作用，称为电阻。在一般情况下，所有导电的物体，即使是导电性能最好的银，也有电阻，电流通过时，仍然会发热，造成损耗。

磁 场 和 电 流

“磁”，对我们来说并不陌生，在生产实践和日常生活中，我们经常碰到“磁”。例如，我们用的收音机、电视机都离不开“磁”。我们知道，每根磁铁都有两个异性磁极：南极(S极)和北极(N极)。在磁极周围存在着磁场。磁极的相互作用是通过磁场进行的。但是，磁场看不见，摸不着，怎样才能了解它在空间的分布和它的强弱呢？我们可以在一根条形磁铁的上面放一块玻璃板，在玻璃板上撒一层铁屑，轻轻敲动玻璃板，铁屑就会排列成如图3·1的形状。显然，这

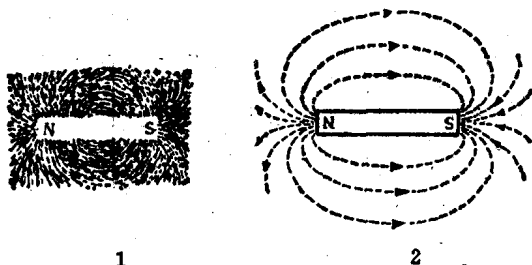
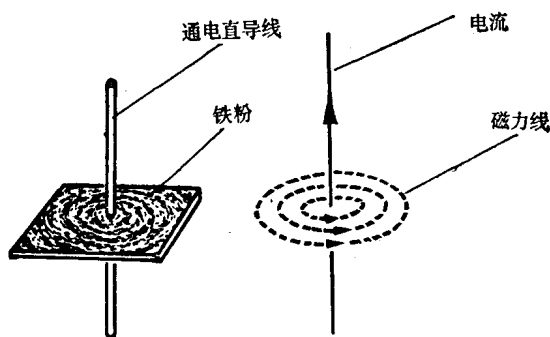
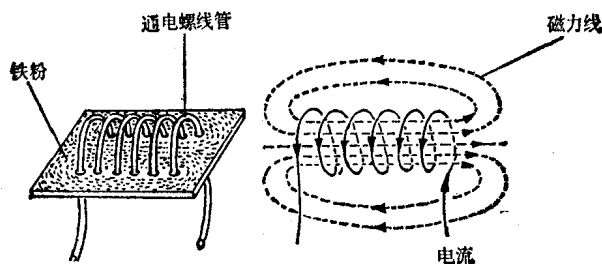


图3 条形磁铁的磁场

些铁屑可以联成图 3·2 中所示的一些线条。这就是按磁场方向联成的线条，叫做磁力线。它的疏密程度反映了磁场的强弱；它上面每一点的切线方向，表示了该点磁场的方向。这样，利用磁力线就可以形象地描绘磁场的强弱和在空间的分布。在实际问题中，常常要考虑穿过某一面积磁力线的总数，我们把它叫做穿过这块面积的磁通量。



1 通电直导线的磁场



2 通电螺线管的磁场

图 4 电流产生的磁场

电与磁是互相联系，互相转化的。我们知道，电流通过导线时，周围就会产生磁场。这个磁场也可以用撒铁屑的方法显示出来(如图4)。根据电流可以产生磁场的道理，人们把导线绕成线圈，做成了电磁体，广泛应用在生产上和日常生活中。例如，发电机、电动机、电磁起重机、电铃、电话和电报等，都要用到电磁体。

近代物理学告诉我们，无论磁现象还是电现象，它们的本源都是一个，即电荷的运动。我们知道，物体原子中的电子，不停地绕原子核旋转，同时还绕自身的轴线旋转(自旋)。

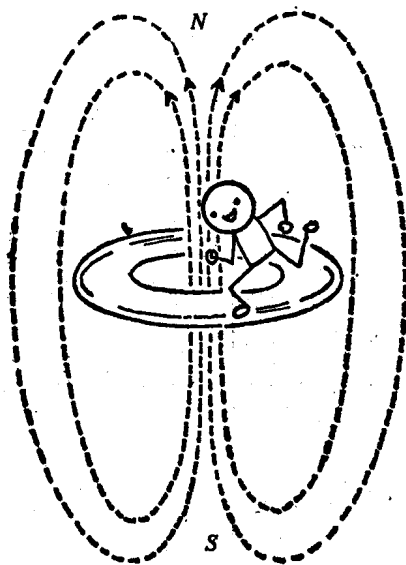


图5 磁场就是运动电荷的场

原子、分子内部电子的这些运动便是物质磁性的主要来源(图5)。也就是说，一切磁现象都起源于电荷的运动，而磁场就是运动电荷的场。

不仅电流能够产生磁场，而且磁场的变化也能够引起电流，这叫做电磁感应

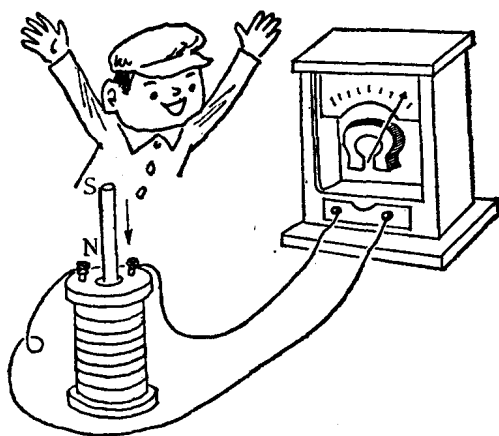


图 6 电磁感应实验

现象。在图 6 所示的实验里，把磁铁插入线圈，由于穿过线圈的磁通量增加，电流计指针发生偏转，这表明线圈中产生了感应电流。再把磁铁从线圈中拔出，电流计指针发生反向偏转，说明产生了与前面方向相反的感应电流。在实验中我们还看到，每次电流计偏转一定角度之后，很快便回到了零点。这是因为闭合回路中存在电阻，感应电流受到阻碍，很快就衰减为零了。电磁感应现象的发现，为工农业生产电气化创造了条件。

绝对温标和低温物理

温度，我们几乎天天都要碰到它。它是反映物体

冷热程度的物理量。测量温度要用温度计。常用的温度计刻度是这样规定的：在一个标准大气压下，冰溶解时的温度为零度，水沸腾时的温度为 100 度。然后把这两个刻度之间分成一百等份，每一份就叫做 1 度。这种标定温度的方法叫做摄氏温标。用摄氏温标表示温度时，应在数字后面写上符号 “°C”，如摄氏 37 度记作 37°C。

在热学理论和科学研究中，还常用到另一种温标，叫做绝对温标。这种温标每一度的大小和摄氏温标相同，但不是以水的冰点作为零度，而是以零下 273.15°C 作为零度，叫做绝对零度。绝对温度一度叫做 1 开，用字母 K 表示。例如，水的冰点约为 273 K，绝对零度记作 0K。

同一个温度可以用摄氏温标表示，也可以用绝对温标表示，只要把摄氏温度的数值（通常用小写字母 t 代表）加上 273.15，就可以得到绝对温度的数值（通常用大写字母 T 代表）。也就是说， t 和 T 之间有如下换算关系

$$T = t + 273.15(K)$$

水蒸汽遇冷可以凝结成水，但是要让空气凝结成液体，却不是一件容易的事。经过长期的实践，人们发现，在一个大气压下，空气要在 81 K（约为 -192°C）

以下才可能液化，换句话说，液态空气在一个大气压下的沸点为 81 K。人们把低于 81 K 以下的温度范围，称为低温。至于氢气和一些惰性气体液化的温度，那就更低了。这些气体的这种特性，为我们制造低温环境，提供了条件。如果我们用特殊技术（我们把这种技术称为低温技术），使这些气体液化，并把它们置于特殊的容器中保存起来，不就可以获得极低的温度了吗？事实上人们正是这样做的。

这样低的温度，和我们生活的环境差距如此之大，许多物质在这样低的温度里显示了从未有过的奇异的特性和规律。研究物质在低温下的结构、特性和运动规律的科学，就叫做低温物理。显然，掌握和驾驭物质的这些奇异的特性和规律无论在理论上，还是在实践上都将有着十分重大的意义。十九世纪末，随着工业生产的迅速发展，低温技术也有了很大提高，一个个曾经被认为不能液化的“永久气体”相继被液化，使人们获得了越来越低的温度，为探索未知世界的奥秘提供了有力的武器。终于，在本世纪的初叶，揭开了超导体研究的序幕。

二 什么是超导体

失去电阻的导体

一九〇八年，最后一个“永久气体”——氦被液化了，从而人们获得了 4.2 K (约为 -269°C) 的低温。如果降低液体氦表面上的蒸汽压，温度还能进一步降低。

在这样低的温度下，物体的性质会有什么变化呢？

一九一一年，有人做了这样一个实验：将水银冷却到零下 40°C 以下，使它凝固成一条线，然后继续冷却到零下 269°C (4.2 K) 附近，在水银线上通上几毫安的电流，并测量它两端的电压。这时发现，当温度稍低于零下 269°C (4.2 K) 时，水银的电阻突然消失了 (如图 7)。这种奇异的现象，引起了人们极大的重视。人们把这种电阻突然消失的零电阻现象，叫做超导电现象；把具有超导电性质的物质，叫做超导体；把物质所处的这种以零电阻为特征的状态，叫做超导态；把电阻突然变为零时的温度，称为临界温度，通常用 T_c 来表示。

然而，在当时实验条件下，用仪表直接测量来证

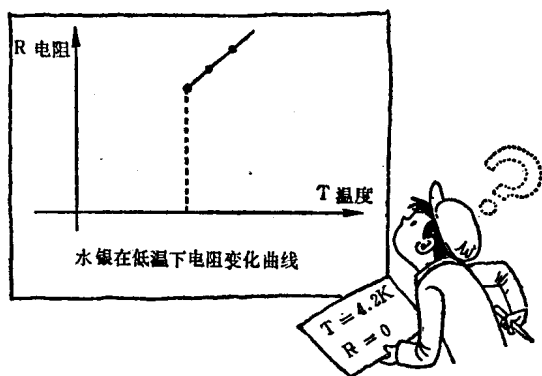


图 7

明水银电阻为零，实际上是做不到的。于是人们又设计了一个更精密的实验：将一个超导体做成的圆环放在一个磁场中，然后使它冷却到临界温度以下，再将磁场突然撤掉。由于电磁感应作用，在超导圆环内产生了一个感生电流。如果这个圆环的电阻确实为零，这个电流就应当没有任何损失地长期流下去，这就是著名的持续电流实验(图8)。实际上，经过了几年时间的长期观察，人们都没有发现这个电流有丝毫衰减。这就是说，超导圆环里面的电子，好象坐上了没有任何摩擦的转椅，一旦转动起来，就一直旋转下去，几年也停不下来，永远也停不下来了(图9)。

直到目前为止，还没有任何证据表明超导体在超导态时具有直流电阻。最近，根据超导重力仪的观测