

态也要被破坏, H_c 叫临界磁场. 可见, 超导态不仅取决于温度, 而且还与外磁场和超导体中的电流有关. 超导转变温度 T_c 是在无磁场的条件下, 从正常态过渡到超导态的临界温度. 要使导体处于超导态, 必须将其置于 T_c 、 I_c 、 H_c 以下, 任何一个条件被破坏, 超导态都会消失.

四、超导的原因——库柏电子对

人们知道, 金属是由晶格点阵和自由电子组成的. 所谓电阻, 是指晶格对定向运动电子的散射作用. 那么, 为什么超导体的电阻为零呢? 比较圆满而流行的理论是巴丁、库柏、施里弗三人于 1957 年创立的超导微观理论(简称 BCS 理论). 该理论认为, 在超导态情况下, 有一部分正常电子会两两“凝聚”成一个电量为 $2e$ 的库柏电子对($T=0$ 时, 电子全部“凝聚”成库柏对). 在库柏电子对中, 两个电子的自旋方向相反, 而且动量大小相等方向相反, 它们通过交换虚声子吸引在一起, 总动量等于常量. 当库柏电子对与晶格相互作用时, 虽两电子的动量可以彼长此消, 但是它们的总动量始终保持不变. 因此库柏电子对几乎不受晶格的散射作用, 宏观上便表现为直流电阻为零.

从二流体模型看, 这库柏电子对是一种超流电子, 它和超流液氦(HeII)相似, 可以无阻挡地通过晶格, 具有奇特的超流动性. 因此, 当 $T < T_c$ 时, 超导体中的全部电流是由这种超流电子运输的(正常电子不参与), 并且无需电场力的推动, 超流电子便可在环形超导体中形成永不衰减的直流电流.

同样, 也是由于库柏电子对的原因, 当导体进入超导态时, 超流电子在超导体表面(穿透层)流动, 它在超导体内产生的磁场与外磁场相

抵消, 亦即有磁屏蔽作用, 因而超导体内的磁感应强度总为零, 产生迈斯纳效应.

当两个正常电子“凝聚”成动量为零的库柏电子对时, 其能量比自由地“各行其事”时要低, 因而更稳定. 正因如此, 所以导体由正常态变为超导态时要抽取能量, 降低温度就是实现途径之一. 相反地, 要拆散库柏电子对变为两个正常电子时, 则需要提供能量. 因此, 通过提供热能或电磁能, 当 $T > T_c$ 、 $I > I_c$ 、 $H > H_c$ 时, 库柏电子对又可激发为两个单电子, 超导态转变为正常态.

五、量子力学现象

根据量子力学理论可知, 库柏电子对与所有微观粒子一样, 也具有波粒二象性. 其波动性自然是库柏电子对具有波的反射和透射性. 因而, 一些本来能量不足以克服势垒的库柏电子对却具有“穿山”本领, 出现量子隧道效应. 当然, 势垒的宽度应是相当窄的.

当库柏电子对作为超流电子在超导环中做永久流动时, 它就如同氢原子中绕其核作轨道运动的电子一样, 具有能量, 而且能量是量子化的. 这种能量量子化的结果使得被闭合超导环所围绕的磁通量是量子化的. 从理论上可以推算出其磁通量

$$\phi = n\Phi_0 \quad (n \text{ 为任意整数})$$

式中 Φ_0 为磁通量子, $\Phi_0 = \frac{h}{2e} = 2.07 \times 10^{-7}$ 高斯·厘米². 显然, 超导环内的磁通量子化是一种宏观量子现象. 库柏电子对的量子隧道现象与超导环磁通量子化现象在量子干涉器件中有着很重要的应用, 例如制作非常灵敏的磁场测定仪, 高精度的伏特计等.

月球上蕴藏有丰富的氦-3元素

氦-3是氦的同位素, 含有两个质子和一个中子. 在热核聚变反应过程中, 氦-3同具有一个中子和一个质子的氘(重氢)发生热核聚变, 产生的中子很少, 可以大大降低热核聚变反应堆的放射性危害, 因此这种元素有可能成为 21 世纪热核聚变能的宝贵原料.

据估计, 月球上氦-3元素的总储量大约为 100 万吨, 可为地球上的人类提供能源达数千年之久. 开采时只要对月球土壤加热, 氦-3 元素就会从土壤缝隙中释放出来. 相比之下, 地球上的这种矿物藏只有 20 吨, 而且位于地壳深处, 不易开采.