

弱电场下电荷在相变中的运动规律

罗杰鸿^{1*}

(广东安纳检测技术有限公司, 广东 广州 511450)

摘要: 弱电场下电荷在气相、液相、固相等不同状态下(相变)的移动规律, 对我们理解离子源、质谱仪、电泳、电阻、导体、半导体、超导现象等具有重要意义。

关键词: 弱电场; 电荷; 相变

现今科学界对电阻形成的原因主要有 2 种主流观点: 经典理论与量子力学理论。经典理论(自由电子模型)认为, 电子是与原子核产生碰撞形成电阻, 这个理论推导出电阻在一定温度下与温度 T 的 0.5 次方成正比, 不符合实验现象。另外一种量子力学(能带理论等)理论, 主要认为电子是与晶格振动形成的格波产生碰撞(电子与晶格产生的“声子”产生碰撞), 从而形成电阻。笔者重新建立另外的一种模型, 其模型主要认为, 电子是与原子核最外层的电子碰撞, 从而形成电阻。基于笔者的模型, 笔者推导出电阻在一定温度范围内与温度 T 成正比, 并且从该模型出发, 结合软电离质谱中的相关公式, 提出超导体形成超导的微观机理。

本文继续对电阻和超导体的一些现象进行深入的探讨。

1 超导物理图像的一些探讨

假设在金属的原子气体中, 例如汞蒸气, 有 1 个电子, 牵引着带正电的汞原子核向正极移动。电子与正电荷之间的作用力有库仑力, 万有引力。汞原子核受到的摩擦力 f , 近似地看作,

$$f = bv = \frac{32 \left(\frac{2\pi RT}{3\mu} \right)^{1/2} \rho r^2 v}{3} \quad (1)$$

其中: b 是原子气体阻力系数, v 是原子核迁移速率, R 是通用气体常数, T 是热力学温度, μ 是原子气体摩尔质量, ρ 是原子气体密度, r 是原子核半径。

上述过程满足方程 $Z = aMa^{2/3}$,

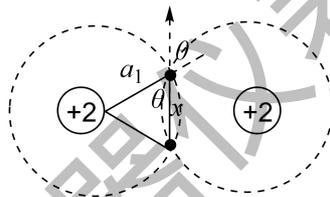
$$\text{其中, } a = \frac{32 \left(\frac{2\pi RT}{3\mu} \right)^{1/2} \rho v \left(\frac{3}{4\pi \rho_a N_A} \right)^{2/3}}{3F_1} \quad (2)$$

当压强越来越大,汞蒸气开始液化,汞蒸气原子由于正极的吸电子作用变成汞正离子,牵引电子由于汞正离子的吸电子作用,进入汞正离子继续前进。由于汞原子液化,被牵引的原子核由于摩擦力增大而导致迁移速率 v 越来越小,直至为 0。最后,电子与带正电的汞原子核分离。

当温度降低到 T_c , 牵引的电子数目为 2, 原子核外层电子层可以容纳 2 个电子成对地发生迁移。此时, 满足方程 $K_1 = T_c M^a$ (K_1 是常数)。笔者用 $\sum F_i$ 表示电子与原子核的作用

力之和。则 $T_c \propto \frac{K_2}{(\sum F_i)^\beta}$ (K_2 为常数)。

当温度低于 T_c 时, 电子对在原子核外层发生迁移, 电子之间的库仑排斥力会抵消原子核与电子之间的库仑引力。本文给出一个简洁的计算, 计算两个电子之间相隔的距离。



$$\frac{2kee}{a_1^2} = \frac{kee \cos \theta}{x^2} = \frac{kee \frac{x}{2a_1}}{x^2}$$

$$x = \frac{a_1}{4}$$

其中, a_1 为原子半径, 同时, 我们计算出键长为 $\frac{\sqrt{63}}{4} a_1$ 。可以看出, 原子之间的键长,

对两个一起迁移的“库珀对”电子, 是有影响的。当两个电子保持着距离 $\frac{a_1}{4}$ 距离迁移时, 原子的电子云轨道重叠合适, “库珀对”电子能够比较顺畅地从 A 原子到达 B 原子。

一般的观点认为, 晶格的收缩 (原子间距变小) 引起的内化学压力的增加 [1] 是引起 T_c 增加的重要原因之一。如果两个原子半径固定不变, 那么两者距离越短, 内部化学压力就

越大。假定 T_c 时, 键长为 $\frac{\sqrt{63}}{4} a_1$, 如果原子间距 $< \frac{\sqrt{63}}{4} a_1$ 时, 随着温度的升高, 到达 T_c

临界点，导体从超导体变为普通导体。上述比较明显地看出，原子间距，也就是原子之间的键长越短，能够上升到 T_c 的空间越大， T_c 值也越大。

上述的简单计算说明一个问题，键长在一定的数值范围内（数值不一定严格为 $\frac{\sqrt{63}}{4}a_1$ ），有利于电子对的移动。 T_c 的键长和半径效应，或者 T_c 与内化学压力的关系，有待深入研究。

2 “能隙”

绝缘体在电磁学的量子隧道效应中是看作能垒，但按照笔者的模型，绝缘体的成键电子在一定的条件下是能够移动的。当在外来作用（例如电势 E ）下，绝缘体的电子对进入到超导体，或者超导体的电子对进入绝缘体，需要克服一定的能垒，该能垒，笔者定义为“能隙” Δ_c ，此“能隙” Δ_c 定义与现今超导理论提出的“能隙” Δ 不一样（超导体的能隙是指将一个超导库珀对激发成两个正常电子所需最小能量的一半）。热运动可以拆散电子对产生单电子，主要指，当热运动剧烈度增加时，导体从超导体变为普通导体，能够允许通过的电子从 2 个变为 1 个。

按照笔者能隙的定义，可以解释贾埃沃实验中的一些现象[2]。当组成超导体-绝缘体-正常金属结，即 S-I-N 结时，超导体的能隙宽度为 Δ_c ，此时， $0 < V < \Delta_c/q$ 时，电子对并没有克服超导体与绝缘体之间的能垒， $V \geq \Delta_c/q$ 时，电流开始急速上升。

参考文献

- [1] 陈宁，刘洋，贾亚魁等.FeAs 超导体临界温度的键长和半径效应[J].中国科学(G 辑:物理学 力学 天文学), 2009, 39(09):1295-1299.
- [2] 黄昆, 固体物理学.高等教育出版社, P496-P501.