

欢迎同学们到实验室学习!



大学物理实验—— 准稳态法测量不良导体的导热系数和比热

- 1: 请按照自己的实验编号就座。
- 2: 预习报告放在桌上以便检查。

马万云

J13

Tel. 13911091539

mawy@tsinghua.edu.cn

实验目的

- 1、了解准稳态法测量不良导体的导热系数和比热
- 2、掌握热电偶测量温度的方法
- 3、学习使用数字万用表

实验原理

热量传递三种方式：热传导, 热对流, 热辐射

热传导：物体相邻部分有温差，在各部分之间不发生相对位移，仅依靠原子、分子及自由电子等粒子的热运动而产生的热量传递。

热对流：由于流体的宏观运动，从而流体各部分之间发生相对位移、冷热流体相互掺混所引起的热量传递过程。

热辐射：物体因为自身温度的原因而发出电磁波传递能量，此称为热辐射。

热传导的三种状态：稳态、准稳态、非稳态

稳态：物体内温度分布不随时间变化的导热过程称为稳态导热。

非稳态：相对稳态而言，物体内温度分布随时间改变。

准稳态：物体内任意两点间温度差恒定，各点温度变化速率相同。

(测量时间短，重复性好，稳定性好，结果较准确)

物体导热性能：良导体、不良导体

热良导体：导热系数100——1000

不良导体：导热系数1以内

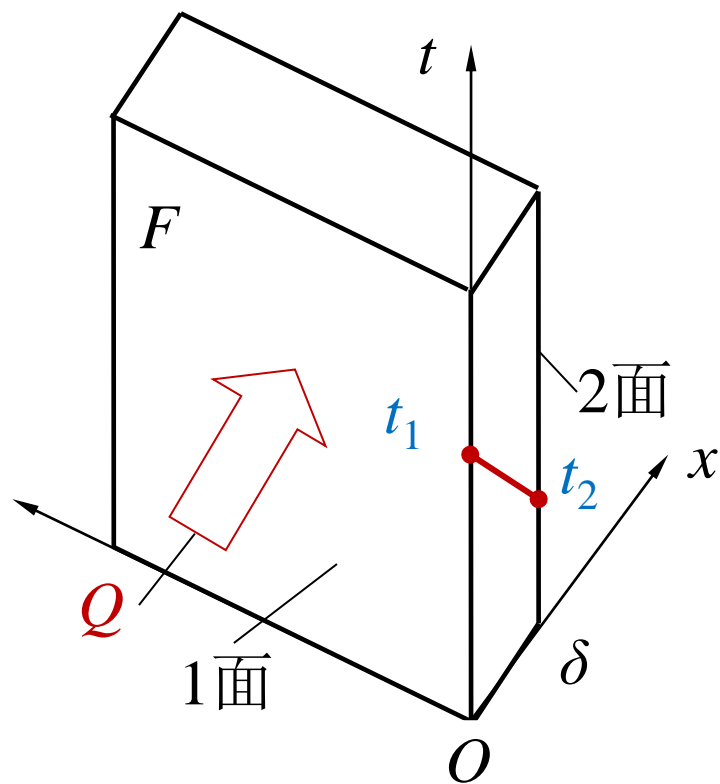
一维热传导

傅里叶定律

热量 $Q = -\lambda F \frac{dt}{dx}$

热流密度 $q = \frac{Q}{F} = -\lambda \frac{dt}{dx}$

导热系数 λ 意义：单位时间内在单位温度梯度作用下的热流密度，单位： $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$



平板的一维稳态导热

一维导热模型及热传导方程

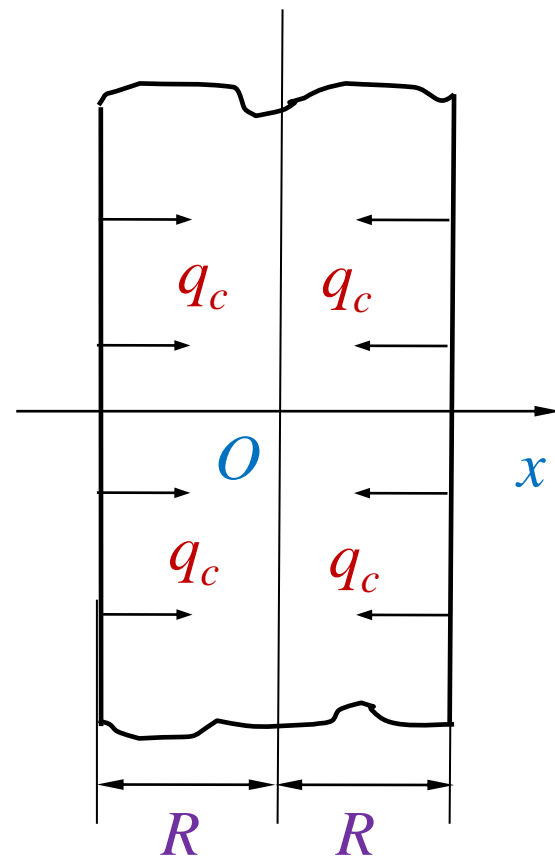
$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}$$

式中 $a = \lambda / \rho c$

初始条件 $t(x, 0) = t_0$

边界条件

$$\left. \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=R} = \frac{q_c}{\lambda} \quad \left. \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=0} = 0$$



无限大平板导热模型

方程的解为:

$$t(x, \tau) = t_0 + \frac{q_c}{\lambda} \left[\frac{a\tau}{R} - \frac{R^2 - 3x^2}{6R} + R \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2}{\mu_n^2} \cos\left(\mu_n \frac{x}{R}\right) \exp(-\mu_n^2 F_0) \right]$$

式中: $\mu_n = n\pi, \quad n = 1, 2, 3, \dots$

$$F_0 = \frac{a\tau}{R^2} \quad F_0 = \frac{a\tau}{R^2} > 0.5$$

当 $t(x, \tau) - t_0 = \frac{q_c R}{\lambda} \left(\frac{a\tau}{R^2} + \frac{x^2}{2R^2} - \frac{1}{6} \right)$ 时进入准稳态

准稳态时利用同一时刻加热面 ($x=R$) 与中心面 ($x=0$) 的温度之差可以计算导热系数 λ

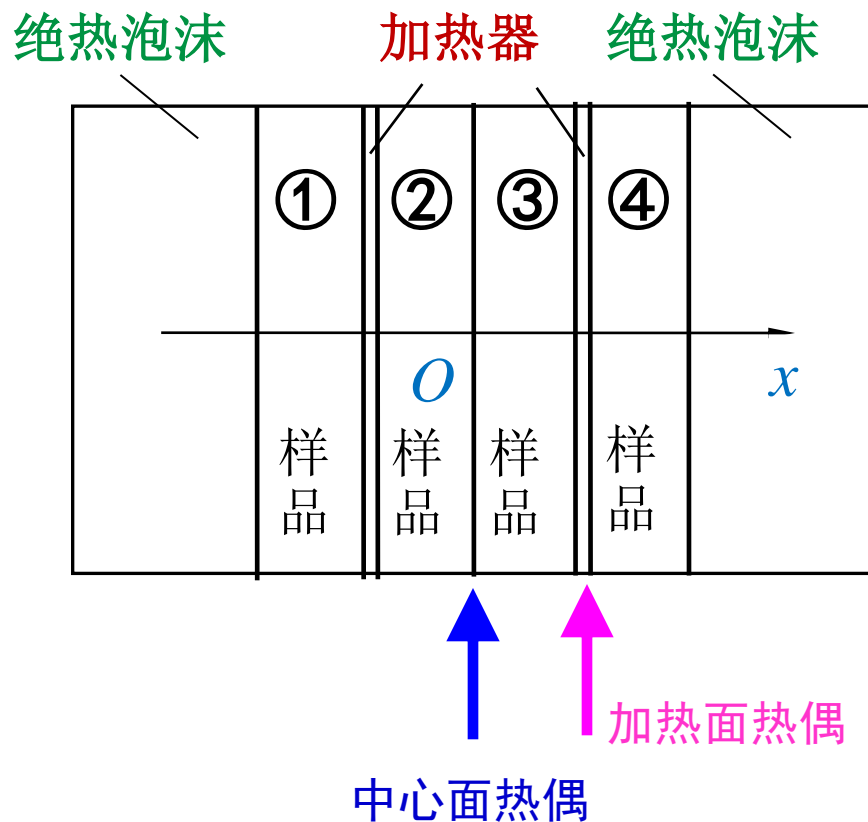
$$\Delta t = t(R, \tau) - t(0, \tau) = \frac{q_c R}{2\lambda} \quad \longrightarrow \quad \lambda = \frac{q_c R}{2\Delta t}$$

准稳态时利用中心面 ($x=0$) 的温升速率可以计算材料比热 c

$$q_c F = c \rho R F \frac{dt}{d\tau} \quad \longrightarrow \quad c = \frac{q_c}{\rho R \left. \frac{\partial t}{\partial \tau} \right|_{x=0}}$$

实验装置及特色

- 1) 实验样品长宽均为厚度 R 的9倍可忽略长宽非无限大
- 2) 采取四块样品紧密组合由两个阻值一致的薄膜加热器并联供热, 以保证两加热面向中心的加热热流恒定并对称相等
- 3) 四块样品组合有利于在加热面、中心面中心安装测温元件



热电偶测温原理

介绍概念：接触电势差 温差电现象

接触电势差：两种不同的金属接触时会出现电势差

产生的原因：逸出功不同,自由电子数密度不同.

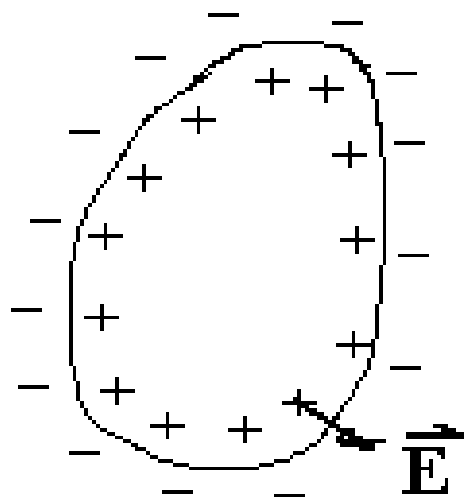
1、逸出功

金属表面层内存在着一种阻止电子逸出表面的作用力 \Rightarrow 正离子晶体点阵势井

少数热运动能量大的电子可能逸出表面

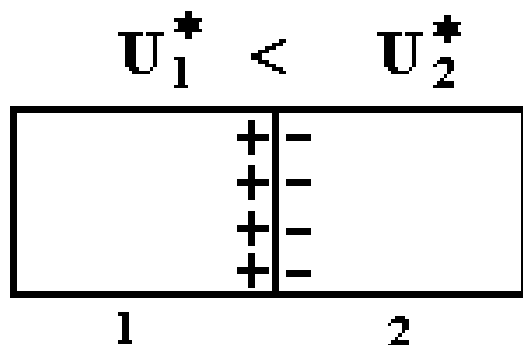
自由电子出来进去 \Rightarrow 动态平衡

一层电子气,
一个电偶层 (约 10^{-10}m 厚)



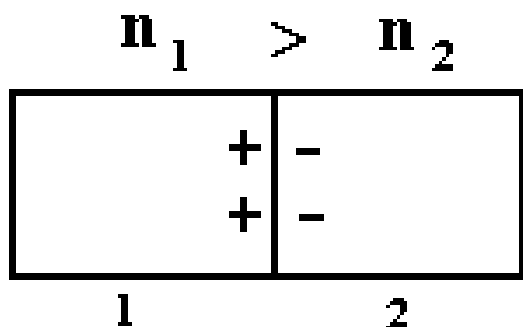
电子要逸出金属, 必须克服金属表面层内正离子晶体点阵势井和表面电偶层电场做功, 称为**逸出功**。

逸出功与表层电势差的关系为 $A=eU^*$



不同金属的逸出功 A 不同，逸出电势 U^* 不同。

2、自由电子数密度不同



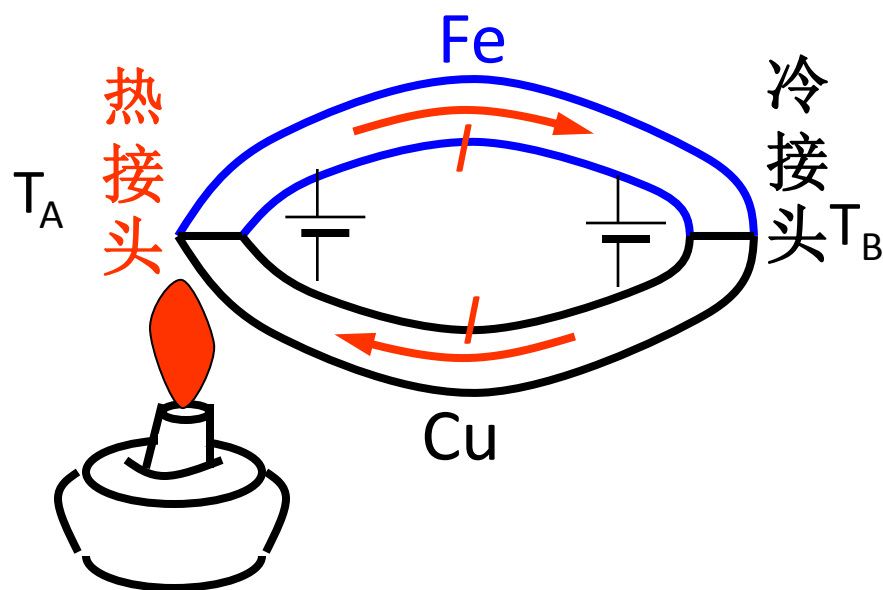
“电子气”扩散，金属2中的电子将多于金属1中的电子。

接触电势差为 $U_{12}(T, n_1, n_2)$

接触面上有一种把正负电荷拉开的非静电力，相当于一个电源，其电动势

$$\varepsilon = U_{12}(T, n_1, n_2)$$

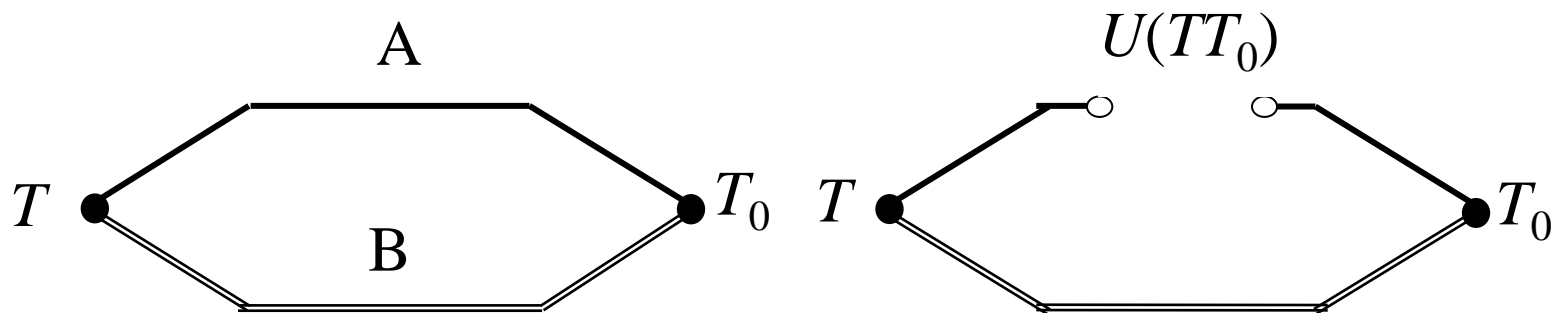
温差电现象：把两种金属接成闭合回路，若两个接点A、B处的温度相同，则回路中无电动势；若两个接点A,B处的温度不同，则回路中有电动势，也有电流。



这一对金属接成回路，接头温度不同。称为“热电偶”。

回路中温差电动势 ε 与 $(T_A - T_B)$ 有关。

热电偶测温原理



$$U(TT_0) = a(T - T_0) + b(T - T_0)^2$$

✓ 测量温度范围较小时，可以忽略二次项，
近似认为热电偶输出与温差成正比

实验仪器

- 热导测量仪
- 直流稳压电源
- 交流电源
- 数字万用表
- 双刀双掷开关（换向开关）
- 秒表

实验任务及参考数据表格

1、数字万用表使用

测量任务	测量值	量程/分辨率/误差极限	不确定度	完整测量结果
测交流电压有效值				
测交流信号的频率				
二端法测电阻				
电容				
二极管	正向导通电压=			

例：电容	0.937uF	6uF/1nF/ $\pm (2.0\%+5)$	$0.937 \times 2.0\% + 5 \times 1 \times 10^{-3} = 0.024$	$(0.937 \pm 0.024)\text{uF}$
------	---------	-----------------------------	--	------------------------------

2. 热导实验

检查4个热电偶（测其电阻，记录）

材料__；室温 t_0 =____；加热器 $r/2$ =__；

加热电压 $U_{\text{加热初始}}$ =__；加热电压 $U_{\text{加热结束}}$ =__；

加热电压 $U_{\text{加热平均}}$ =____；

τ (min)	0	1	2	...	25
中心面温度 $U(t_1 t_c)$...	
温差 $U(t_2 t_1)$...	

注意事项

- 热偶丝较细，注意保护，加热面热偶横梁任何情况下都禁止取下。
- 直流恒压源严禁短路。
- 实验结束后，松开仪器，以免泡沫挤压变形。

问题探讨

- 实际上，我们只需测量一块样品的热流密度及端面温升速率，进而求出导热系数和比热。那么本实验为何使用四块样品，能否只用两块或一块？
- 本实验中准稳态会无限保持下去吗？为什么不是时间越长实验数据越好？
- 热电偶冷端温度对实验的影响是怎样的？



预祝同学们
实验顺利！

Thank you!