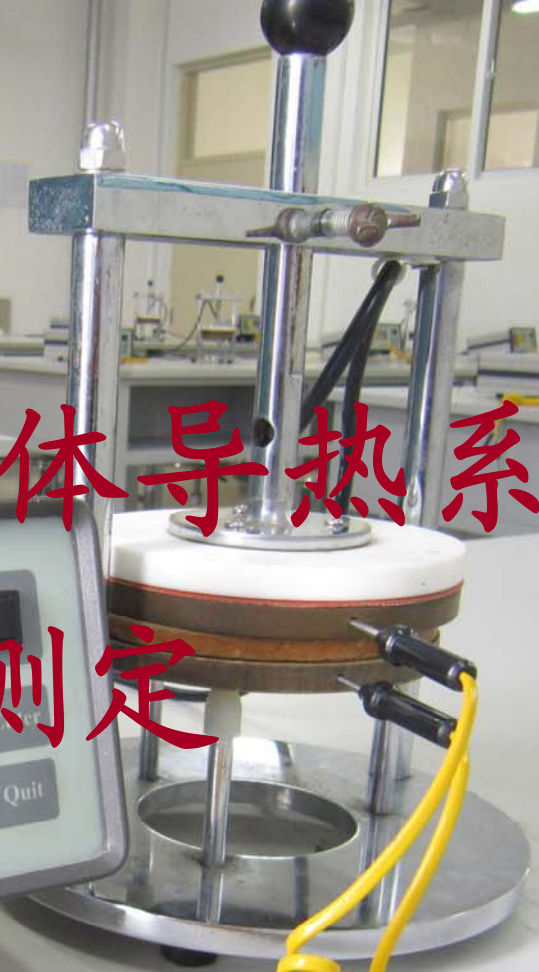


2.7 不良导体导热系数的测定





实验简介

热系数又称热导率，是表征物质热传导性质的物理量，热传导是物体内部由于温度差引起的热量传递过程；

良导热体：热导率高的物质

不良热导体：热导率低的物质

物质的热导率不仅与物质的成分、结构和杂质的含量等因素有关，而且随温度、压力等所处环境因素变化而变化，因此材料的热导率主要由实验确定。



实验简介

测固体材料热导率的方法大体分两类，一类是稳态法，另一类是动态法。本实验是采用稳态法测定不良热导体的导热系数，稳态法是指诸如温度分布等导热条件达到稳定情况下的测量。



实验目的

1. 学习用稳态法测定不良导体导热系数的方法。
2. 学会用作图法求冷却速率。



实验仪器

1. **MCTH20型**不良导体系数实验仪, $\Delta_T = 0.50\text{ }^\circ\text{C}$
2. 游标卡尺 (0~150mm, $\Delta_{\text{仪}} = 0.02\text{ mm}$)
3. 天平 (量程1000g, $\Delta_{\text{仪}} = 0.5\text{ g}$)



不良导体系数实验仪结构图



加热引线

上铜盘

加热源

下铜盘

样品盘

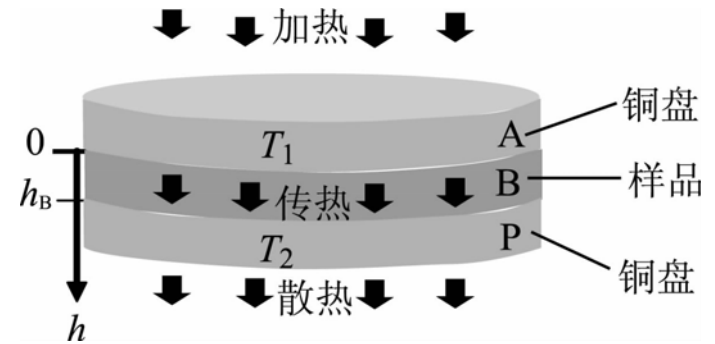
热电偶

MCTH20型不良导体导热系数实验仪主机



实验测量原理

将圆片样品**B**夹在上下两个铜盘**A**、**P**之间，给上铜盘加热，经过一定时间达到热平衡后，上下铜盘各具稳态的温度 T_1 、 T_2 ($T_1 > T_2$)。



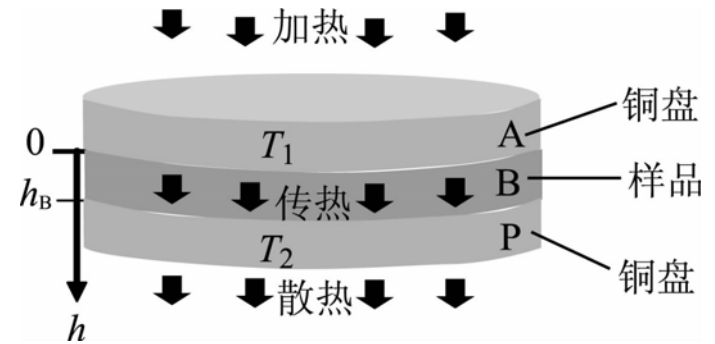
由于铜的导热性能很好， T_1 、 T_2 也就是样品上下表面的稳态温度。



根据傅里叶有关热传导定律:

对于样品横截面面元 dS , dt 时间内传递的热量为 dQ , 则通过 dS 的热传导速率:

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \frac{dT}{dh} dS$$



式中负号表示热量向低温处传递

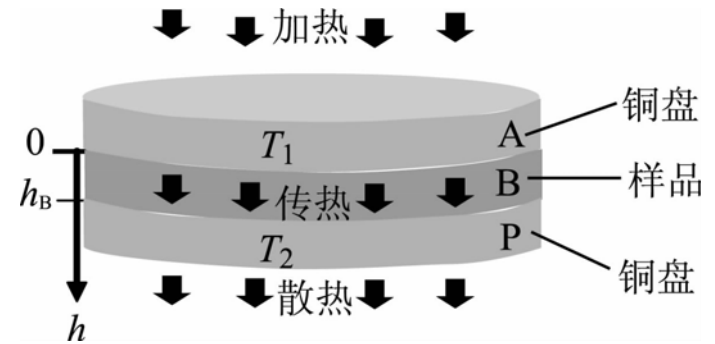
dT/dh 为样品 h 处的温度梯度

λ 为材料的导热系数, 单位是 $W/(m \cdot K)$



热平衡时，加热盘 A 和样品 B 接触处即样品上表面的传热速率等于样品任一横截面面的传热速率，也等于下铜盘 P 向周围环境中的散热速率。

由于样品直径 D_B 比厚度 h_B 大得多，可认为样品内部沿 h 方向有着均匀的温度梯度，因此有



$$-\frac{dT}{dh} = \frac{T_1 - T_2}{h_B}$$

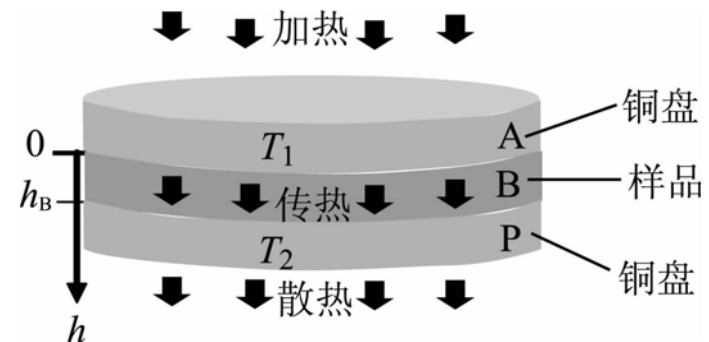
考虑到样品截面积: $S = \frac{1}{4} \pi D_B^2$



$$-\frac{dT}{dh} = \frac{T_1 - T_2}{h_B} \quad S = \frac{1}{4} \pi D_B^2$$

代入到 dS 的热传导速率方程中有:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\lambda \pi D_B^2 (T_1 - T_2)}{4h_B}$$



dQ/dt 转化为下铜盘的冷却速率

即温度变化率 dT/dt 来测量。



热平衡时，样品中的**传热速率**等于散热盘向空气中的**散热速率**，散热盘在稳态温度 T_2 时的散热速率一般写为

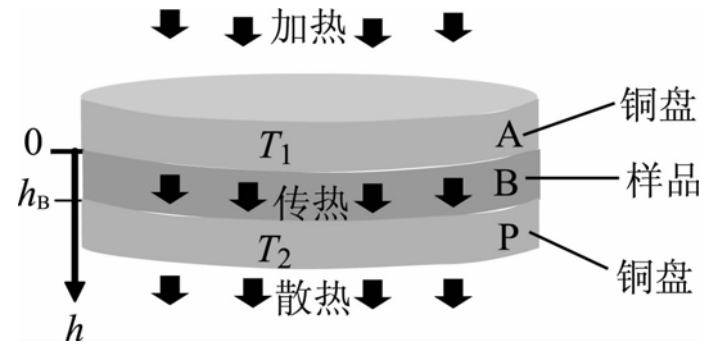
$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{P,T_2} = -kcm \frac{dT}{dt} \Big|_{T=T_2}$$

$$c = 3.85 \times 10^2 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

为散热铜材料**比热容** m 为散热盘质量；

负号表示散热盘向环境散热；

$\frac{dT}{dt} \Big|_{T=T_2}$ 表示散热盘的冷却速率。





$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{P, T_2} = -kcm \frac{dT}{dt} \Big|_{T=T_2}$$

k : 散热盘散热表面积与散热盘的表面积之比

$$k = \frac{\pi D_P^2 / 4 + \pi D_P h_P}{\pi D_P^2 / 2 + \pi D_P h_P}$$

因此有:

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{P, T_2} = -cm \frac{D_P + 4h_P}{2D_P + 4h_P} \cdot \frac{dT}{dt} \Big|_{T=T_2}$$



$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{P, T_2} = -cm \frac{D_P + 4h_P}{2D_P + 4h_P} \cdot \frac{dT}{dt} \Big|_{T=T_2}$$

通过对下铜盘再升温和冷却两个过程，测出冷却过程中温度随时间变化的 $T-t$ 曲线，那么 T_2 处的斜率就是散热盘在稳态温度 T_2 时的冷却速率。

联立上式和 $\frac{dQ}{dt} = \frac{\lambda \pi D_B^2 (T_1 - T_2)}{4h_B}$ 可得

$$\lambda = - \frac{D_P + 4h_P}{2D_P + 4h_P} \cdot \frac{4cmh_B}{\pi D_B^2 (T_1 - T_2)} \cdot \frac{dT}{dt} \Big|_{T=T_2}$$



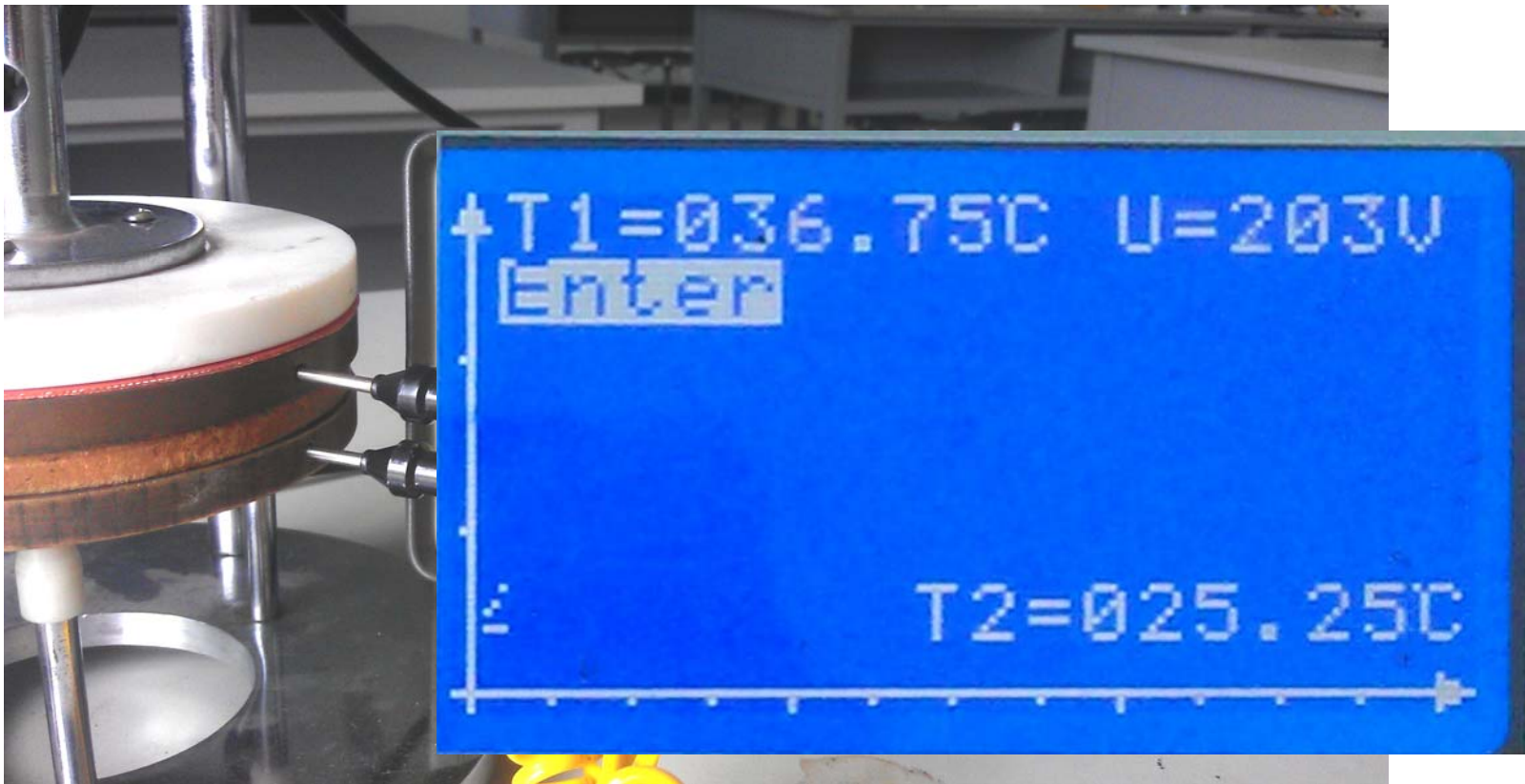
实验内容与数据处理

1. 测量与操作

- (1) 用游标卡尺分别对样品盘和散热盘的直径 D_B 、 D_P ；厚度 h_B 、 h_P 测量6次，用天平单次测量散热盘的质量 m ，自拟表格计入数据。
- (2) 打开主机背部电源开关，按光标移动键选择项目。



(3) 进入“热平衡”，打开加热开关，加热样品

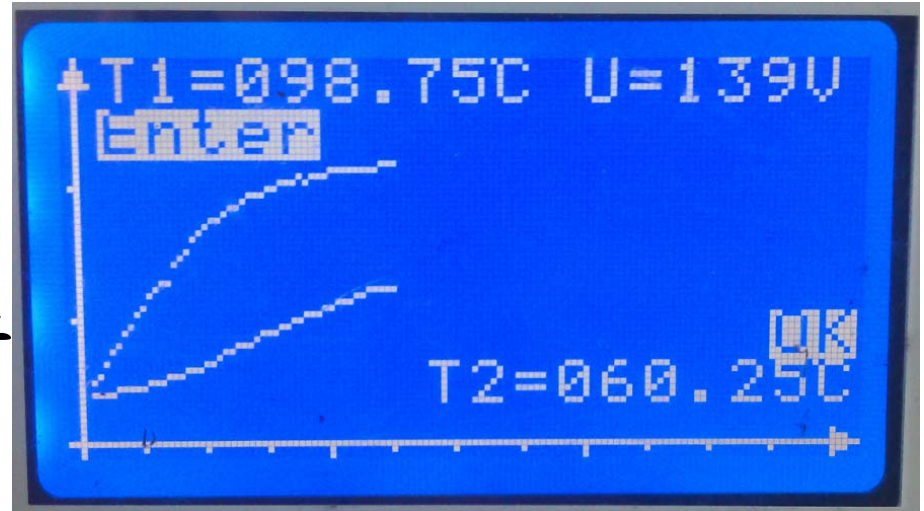


注意热电偶的放置



当 T_2 的数值在**10分钟**之内几乎不变化，便可以视为达到热平衡；

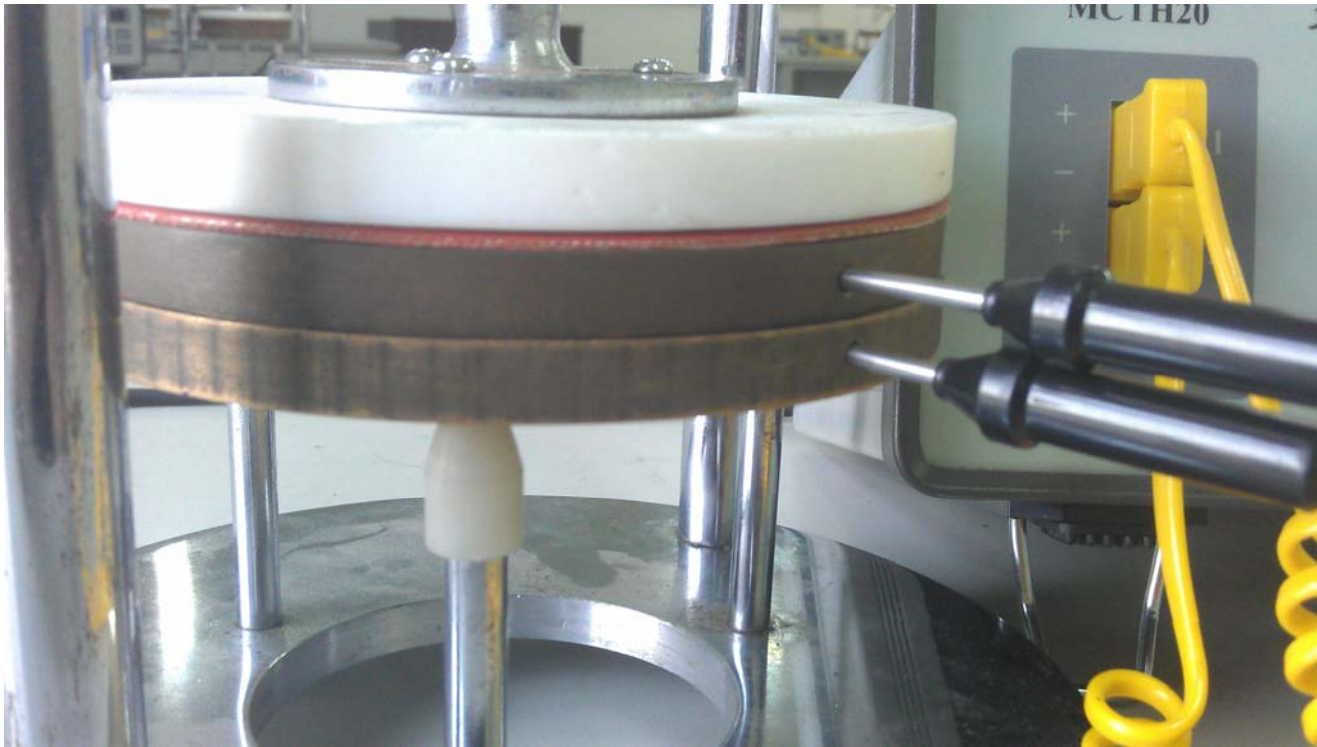
按“Enter”键确定，显示“OK”，温度不在刷新，记录 T_1 、 T_2 。



如果判断有误，可再次按“Enter”取消平衡温度，温度则继续刷新，且不影响数据保存。



(4) 热平衡后，关闭加热开关，按“Quit”键退出，将样品取出，让上铜盘贴近下铜盘，进入“再升温(打开加热开关)”



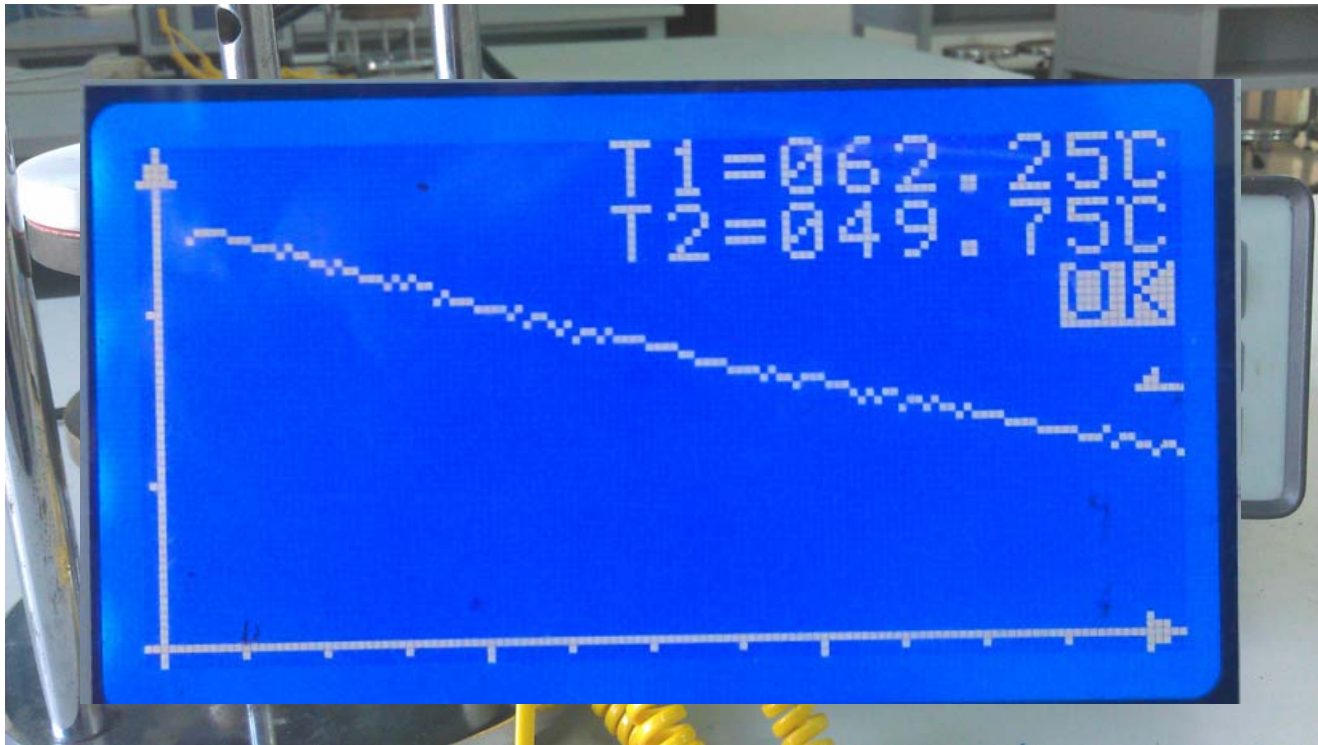


当 T_2 高于下铜盘平衡温度10度后，显示“OK”。
箭头对应温度为下铜盘平衡温度。





- (5) 按“QUIT”键退出，关闭加热开关，取走加热铜盘，进入“冷却”选项，让下铜盘自然冷却，当 T_2 低于下铜盘平衡温度10度后，显示“OK”。





(6) 按“QUIT”键退出，进入“列表”中的“ T_2-10 ”。在 T_2 附近，上下各取10个温度值，相邻温度的时间间隔为10s。自拟表格，计入20个温度数据和平衡温度 T_1 、 T_2 。

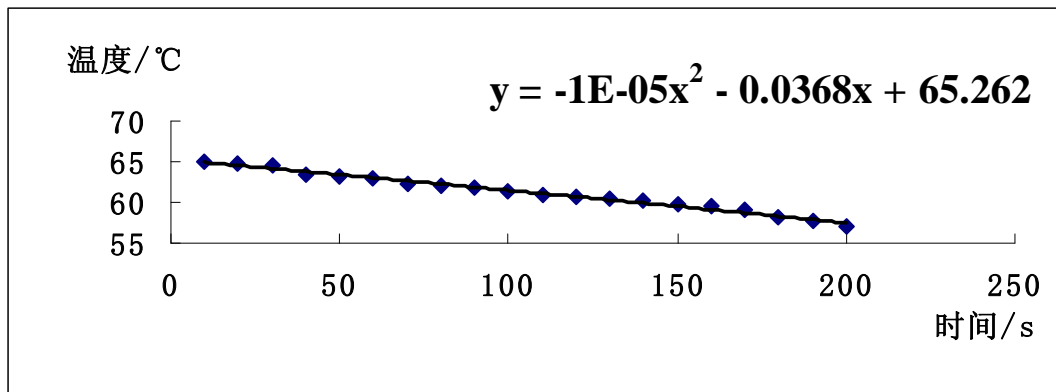
表 2.7-2 平衡温度以及冷却过程的温度记录

热平衡时，加热板温度 $T_1 = 98.25^\circ\text{C}$					散热板温度 $T_2 = 61.50^\circ\text{C}$					
冷却过程中，在 T_2 附近的温度变化：										
时间/s	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
T ($^\circ\text{C}$)	65.00	64.75	64.50	63.50	63.25	63.00	62.25	62.00	61.75	61.25
时间/s	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
T ($^\circ\text{C}$)	61.00	60.75	60.50	60.25	59.75	59.50	59.00	58.25	57.75	57.00



2. 数据处理

- (1) 用Excel软件处理自拟表格中的20个温度数据。作出X-Y散点图，右键单击散点图，进入“添加趋势线”，近似采用二阶多项式拟合出冷却过程中温度随时间变化的曲线，并显示曲线公式。



根据公式计算出 $T=T_2$ 点的斜率 b ，则 $\left. \frac{dT}{dt} \right|_{T=T_2} = b$



(2) 计算样品的导热系数实验最佳值

$$\bar{\lambda} = -\frac{\overline{D_P} + 4\overline{h_P}}{2\overline{D_P} + 4\overline{h_P}} \cdot \frac{4cm\overline{h_B}}{\pi\overline{D_B}^2 (T_1 - T_2)} \frac{dT}{dt} \Big|_{T=T_2}$$

将最佳值与实验室提供的室温 T 时参考
值比较

$$\lambda = 0.140 \left(\frac{T}{273.15} \right)^{3/2}$$



注意事项:

1. 在测试散热盘的散热速率时，取走样品前，一定要先关闭加热开关，再让加热盘与散热盘接触；绝不能用手去碰触加热盘与散热盘。小心操作注意安全，避免重烫伤。
2. 对于“热平衡”、“再加热”和“冷却”三个选项，按“ENTER”键进入，会将以前的数据清零，所以要防止误操作。
3. 测量时不要震动仪器及热电偶，否则实验数据误差会增大。



4. 实验中，由于操作失误或者其它原因导致“热平衡”数据丢失，不必重复此实验过程，进入后续选项，LCD显示要求输入 T_2 平衡温度，根据所记录的平衡温度，按上下键设置。
5. 实验过热平衡过程最长时间60min，数据保存间隔为30s，再加热和冷却过程最长时间20min，数据保存间隔为10s。
6. 实验结束后，切断电源，保管好测量样品。不要使样品两端划伤，以免影响实验的精度。



思考题:

1. 什么叫稳态导热？如何判定实验达到了稳定导热状态？
2. 什么是传热速率、散热速率、冷却速率？这三者在稳态测量时有什么内在联系？