

## 实验题目：用混合量热法测定冰的熔解热

姓名 张一萌 学号 2313636 专业 工科试验班（信息科学与技术）

组别 L 座位号 3 实验时间 周二上午 6 月 4 日

### 一、实验目的

1. 正确使用量热器, 熟练使用温度计
2. 用混合量热法测定冰的熔解热
3. 进行实验安排和参量选取;
4. 学会一种粗略修正散热的方法—抵偿法。

### 二、实验仪器

量热器、NTY-2A 型数字式温度计、电子天平、烧杯、干拭布、冰及热水

### 三、实验原理

#### 1. 混合量热法

把待测系统 A 与某已知热容的系统 B 相混合, 并设法使其成为一个与外界无热量交换的孤立系统 C(=A+B)。这样 A(或 B)所放出的热量将全部为 B(或 A)所吸收, 因而满足热平衡方程

$$Q_{\text{放}} = Q_{\text{吸}}$$

已知热容的系统在实验过程中所传递的热量  $Q$  是可以由其温度的改变  $\Delta \theta$  及其热容  $C_s$  计算出来的:

$$Q = C_s \Delta \theta$$

于是, 待测系统在实验过程中所传递的热量即可求得。冰的熔解热也就可以据此测定。

#### 2. 实验基本原理

质量  $m_i$ 、温度  $\theta'_0$  的冰块与质量  $m$ 、温度  $\theta_1$  的水相混合, 冰全部熔化为水后, 测得平衡温度为  $\theta_2$ 。假定量热器内筒与搅拌器的质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$ , 其比热容分别为  $c_1$ 、 $c_2$ ; 数字式温度计之测温传感器 (铂电阻测温探头) 自身热容甚小, 可忽略不计; 水和冰的比热容分别为  $c$  和  $c_i$  (在  $-40^\circ\text{C} \sim 0^\circ\text{C}$  范围内,  $c_i = 1.8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ); 冰的熔点为  $\theta_0$ 。则由热平衡方程可得

$$c_i m_i (\theta_0 - \theta'_0) + m_i L + c m_i (\theta_2 - \theta_0) = (c m + c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta_1 - \theta_2)$$

本实验条件下, 冰的熔点可认为是  $0^\circ\text{C}$ , 也可选取冰块的温度  $\theta'_0 = 0^\circ\text{C}$ 。于是, 冰的熔解热可由下式求出:

$$L = \frac{1}{m_i} (c m + c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta_1 - \theta_2) - c \theta_2$$

由于量热器的绝热条件并不十分完善,实际实验系统并非严格的孤立系统,所以,在做精密测量时,就需设法求出实验过程中系统与外界交换的热量,以作适当的散热修正。

本实验介绍一种粗略修正散热的所谓抵偿法。其依据是牛顿冷却定律。当系统的温度高于环境温度时,它就要散失热量。实验证明:当温差较小(一般不超过 15 K)时,(非自然对流)系统的散热制冷速率与温差成正比。此即牛顿冷却定律:

$$\frac{dq}{dt} = -k(\theta - \theta_e)$$

其中,  $dq$  表示  $dt$  时间内系统与外界交换的热量。比例系数  $k$  为一个与系统表面积成正比并随表面辐射本领而变的常量,称为散热常量。

其物理意义为:单位温差下,单位时间的热量损失。其单位为  $J \cdot K^{-1} \cdot s^{-1}$ 。负号的意义表示当系统温度高于环境温度时散失热量,即当  $\theta > \theta_e$  时,  $dq/dt < 0$ , 系统向外界放出热量;反之,  $dq/dt > 0$ , 系统从外界吸收热量。

在实验过程中,如果恰当地将系统的初温和末温分别选择在室温的两侧,即:  $\theta_1 > \theta_e > \theta_2$ , 并且使整个实验过程中系统与外界的热量传递前后彼此抵消,则可以达到散热修正之目的。

根据实验中的具体情况,刚投入冰块时,水温较高,冰的有效面积大,熔化快,系统温度降低较快;随着冰块的不断熔化变小,水温逐渐降低,冰熔化变慢,水温降低的速度亦慢下来。量热器中水温随时间的变化应该是一条指数下降的曲线,如图 2-6-1 所示。

对式  $\frac{dq}{dt} = -k(\theta - \theta_e)$  求积分,即可得到由  $t_1$  到  $t_2$  (对应温度  $\theta_1$  到  $\theta_2$ ) 时间内,整个系统与外界交换的热量  $q$ :

$$\begin{aligned} q &= -k \int_{t_1}^{t_2} [\theta(t) - \theta_e] dt \\ &= -k \int_{t_1}^{t_e} (\theta - \theta_e) dt + k \int_{t_e}^{t_2} (\theta_e - \theta) dt \\ &= -kS_A + kS_B \end{aligned}$$

其中,  $S_A = \int_{t_1}^{t_e} (\theta - \theta_e) dt$  及  $S_B = \int_{t_e}^{t_2} (\theta_e - \theta) dt$  表示图中的阴影面积。

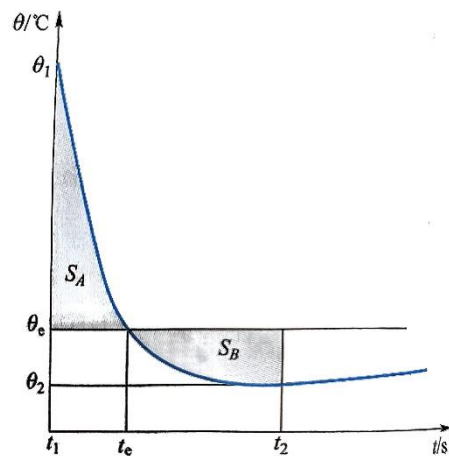


图 2-6-1 系统温度随时间的变化

由上式可见,当  $S_A = S_B$  时,实验过程中系统与外界交换的热量  $q=0$ 。因此,只要适当地选择参数,使曲线与环境温度  $\theta = \theta_e$  直线围成的两块面积近似相等,即  $S_A \approx S_B$ ,就可以使系统很好地近似为一个孤立系统。

由图中的曲线可知, 欲使 $S_A \approx S_B$ , 就必须使 $\theta_1 - \theta_e > \theta_e - \theta_2 > 0$ 。实验前, 应做出明确的计划, 实验中注意选取及适当调整参数 $m$ ,  $m_i$ 及 $\theta_i$ 等, 使满足上式。但应注意到 $\theta_2 > 0$  的条件, 否则, 冰将不能全部熔化。

#### 四、实验步骤

1. 打开数字温度计、电子天平, 测量环境温度 $\theta_{e1}$
2. 测量内筒 $m_1$ , 搅拌器质量 $m_2$
3. 配置温水: 配置 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 的温水至内筒 (温水高于室温  $10 \sim 15^\circ\text{C}$ )
4. 测定内筒, 搅拌器和水的质量 $m_1 + m_2 + m$  (水的质量  $m$ )
5. 将内筒放入量热器, 插好温度计, 投冰前, 每隔 1min 记录一次读数, “外推法”记录投冰时间水的初温 $\theta_1$ , 并不断低频大幅搅拌
6. 放冰块后, 每  $10 \sim 20\text{s}$  记录一次温度, 直至温度达到最小 $\theta_2$ , 并略有上升
7. 取出内筒称重 $m_1 + m_2 + m + M$ , 测量环境温度 $\theta_{e2}$ 。(冰的质量  $M$ )
8. 用 excel 表格, 拟合  $\theta \sim t$ 曲线, 求出冰的熔解热
9. 根据结果调整参量  $m$ ,  $M$  及 $\theta_1$ , 反复实验, 寻求最佳散热修正, 减小实验误差。

#### 五、数据处理

原始数据:

$$\begin{aligned} m_1 &= 108.42g \\ m_2 &= 12.00g \\ c_1 &= 0.385 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ c_2 &= 0.370 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ c &= 4.1868 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

水和内筒的质量 $m + m_1 = 281.76g$

环境温度 $\theta_{e1} = 27.0^\circ\text{C}$

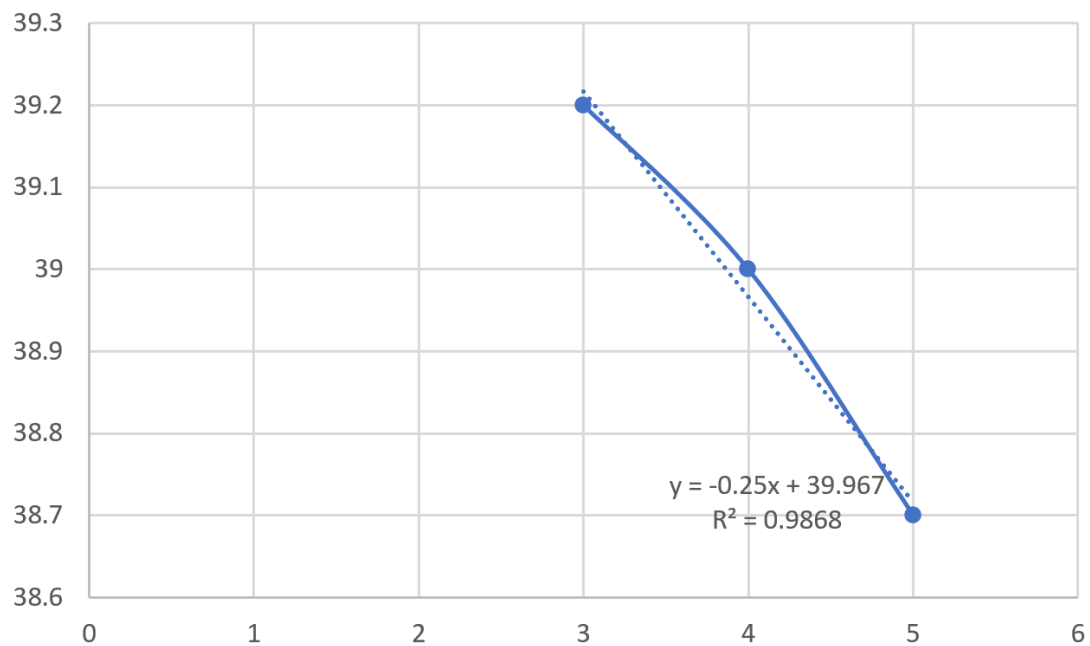
投冰前水温随时间变化

时间/min	0	1	2	3	4	5
水温/ $^\circ\text{C}$	39.2	39.2	39.2	39.2	39.0	38.7

由表中数据可知, 前三分钟水温未发生变化, 我认为可能是因为温度计测温需要时间, 而热水降温也需要时间, 当温度计刚刚放入热水中时, 温度计未能即使显示热水的温度, 随着时间的流逝, 水温在降, 而温度计也在慢慢响应水温, 故总体呈现出了水温前 3 分钟未发生变化的情况。

用外推法求 $t = 6\text{min}$ 水温时, 舍弃前三个点。

用 excel 线性拟合求出 $t = 6\text{min}$ 时的温度 $\theta_1 = -0.25 \times 6 + 39.96 \approx 38.5^\circ\text{C}$



$t = 6\text{min}$ 时，投冰

冰水混合物温度随时间变化

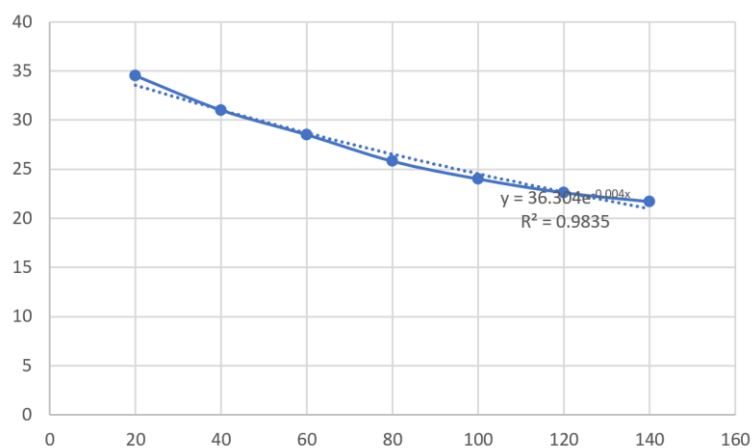
时间 /s	20	40	60	80	100	120	140	180	200
温度 /°C	34.5	31.0	28.5	25.8	24.0	22.6	21.7	21.8	22.3

由表中 180s 和 200s 时，温度连续上升两次，证明 140s 左右已达平衡

$$m + m_1 + m_i = 311.50g$$

环境温度  $\theta_{e2} = 27.0^\circ\text{C}$

用 excel 作出  $\theta \sim t$  图像，如图。



求出冰的熔解热：

$$m_i = 311.50 - 281.76 = 29.74g = 0.02974kg$$

$$m = 281.76 - 108.42 = 173.42g = 0.17342kg$$

$$m_1 = 108.42g = 0.10842kg$$

$$m_2 = 12.00g = 0.01200kg$$

$$c_1 = 0.385 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$c_2 = 0.370 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$c = 4.1868 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\theta_1 = 38.5^\circ\text{C}$$

$$\theta_2 = 21.7^\circ\text{C}$$

$$L = \frac{1}{m_i} (cm + c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta_1 - \theta_2) - c \theta_2$$

$$= \frac{1}{0.02974} (4.1868 \times 0.17342 + 0.385 \times 0.10842 + 0.370 \times 0.01200) (38.5 - 21.7) - 4.1868 \times 21.7 = 345.4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} = 3.454 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

签字数据:

$m_1 = 108.42g$   $c_1 = 0.385 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   
 $m_2 = 12.00g$   $c_2 = 0.370 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   
 $m + m_1 = 281.17g$   $\theta_1 = 38.5^\circ\text{C}$   
 $\theta_2 = 21.7^\circ\text{C}$   $c = 4.1868 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   
 $L = 345.4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$   
 $m + m_1 + m_2 = 311.50g$   $\theta = 22.7^\circ\text{C}$   
 $m = 29.14g$   $L = 345.4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$



冰内有②小水泡或③杂质有影响，因为水泡与杂质的比热容与冰不同，在升温过程中吸热，影响实验结果。

2. 如果冰中含水量为  $x\%$ ，试求由此引起的  $L$  的相对误差。

$$L' = \frac{1}{m_i \times \left(1 - \frac{x}{100}\right)} \left[ c \times \left( m + m_i \times \frac{x}{100} \right) + c_1 m_1 + c_2 m_2 \right] (\theta_1 - \theta_2) - c \theta_2$$

$$\begin{aligned} \eta &= \left| \frac{L' - L}{L} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{\frac{1}{m_i \times \left(1 - \frac{x}{100}\right)} \left[ c \times \left( m + m_i \times \frac{x}{100} \right) + c_1 m_1 + c_2 m_2 \right] (\theta_1 - \theta_2) - \frac{1}{m_i} (cm + c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta_1 - \theta_2)}{\frac{1}{m_i} (cm + c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta_1 - \theta_2) - c \theta_2} \right| \\ &\quad \times 100\% \\ &= \left| \frac{\left\{ \frac{1}{m_i \times \left(1 - \frac{x}{100}\right)} \left[ c \times \left( m + m_i \times \frac{x}{100} \right) + c_1 m_1 + c_2 m_2 \right] - \frac{1}{m_i} (cm + c_1 m_1 + c_2 m_2) \right\} (\theta_1 - \theta_2)}{\frac{1}{m_i} (cm + c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta_1 - \theta_2) - c \theta_2} \right| \\ &\quad \times 100\% \end{aligned}$$

3. 若给定  $L_0 = 3.341 \times 10^5 J \cdot kg^{-1}$ ，试求  $L$  的定值误差。

$$\Delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{3.454 \times 10^5 - 3.341 \times 10^5}{3.341 \times 10^5} \times 100\% = 3.4\%$$

测得  $L$  比  $L_0$  偏大，可能的原因是测量水的初温时搅拌不充分，使测得的温度比实际偏高，测得结果偏大，或者搅拌过程中，有水溅出，导致水的实际质量偏小，测得结果偏大。或者可能用抵偿法粗略修正实验误差时，系统从外界吸收的热量并不完全等于系统释放到外界的热量，故导致实验结果偏大。

## 七、参考文献

《大学基础物理实验》

《冰的熔解热实验讲义 ppt》