

# 南開大學

## 大学物理 课程实验报告

### 冰的溶解热实验



学院 人工智能学院

专业 工科试验班（信息类）

姓名 黄子豪(组别序号 I8)

学号 2413989

2025 年 5 月 9 日

## 目录

1 实验目的 .....	3
2 实验仪器 .....	3
3 实验原理 .....	3
4 实验步骤 .....	4
5 数据处理 .....	5
5.1 数据记录 .....	5
5.2 数据计算 .....	6
5.2.1 冰的溶解热计算 .....	6
5.2.2 误差计算 .....	6
6 思考题 .....	7

## 图表

图 5.1.1 签字数据图片 .....	5
图 5.1.2 实验记录数据 .....	5

## 1 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化热。
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。

## 2 实验仪器

量热器、数字温度计、电子天平、秒表、玻璃皿、干拭布、保温桶、冰及热水。

量热器包括铜质内筒、塑料外筒、绝热盖、环形绝热架、橡皮塞及铜质搅拌器。

## 3 实验原理

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  $Q_{\text{吸}} = Q_{\text{放}}$ 。已知热容的系统在实验过程中所传递的热量  $Q$  可以由其温度的改变  $\Delta\theta$  及其热容,计算出来  $Q = C_s \Delta\theta$ 。

设质量  $m_i$ ，温度的冰块与质量  $m$ ，温度  $\theta_0'$  的水相结合，冰全部熔化为水，测得平衡温度为  $\theta_2$ 。假定量热容器内筒与搅拌器的质量分别为  $m_1$ ， $m_2$ ，其比热容分别为  $c_1$  和  $c_2$ ，数字式温度计的测温传感器（铂电阻测温探头）比热容很小，可以忽略不计；水和冰的比热容分别为  $c=4.1618\text{kJ/kg/K}$  和  $c_i=1.8\text{kJ/kg/K}$ ；冰的熔点为  $\theta_0$ ，则由热平衡方程可得：

$$c_i m_i (\theta_0 - \theta_0') + m_i L + c m_i (\theta_2 - \theta_0) = (c_m + c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta_1 - \theta_0) \quad (3.1)$$

$$L = \frac{1}{m_i} (c m + c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta_1 - \theta_2) - c \theta_2 \quad (3.2)$$

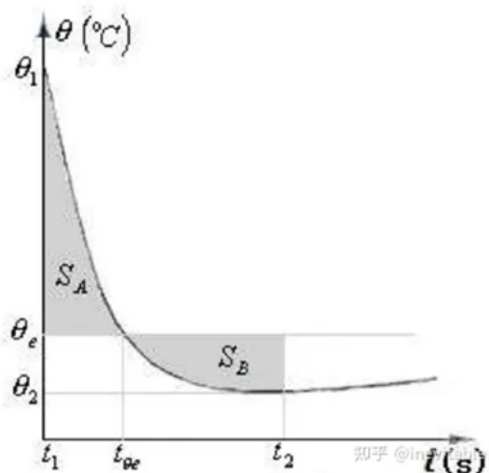
补偿法：由于量热器的绝热条件并不十分完善，实际实验系统并非严格的孤立系统，所以，我们以抵偿法作为的散热修正方法。其依据是牛顿冷却定律。

设环境温度为  $\theta_e$ ，当系统的温度高于环境温度时，它就要散失热量。由当温差较小(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，此时牛顿冷却定律表示为：

$$\frac{dq}{dx} = -k(\theta - \theta_e) \quad (3.3)$$

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，表示在单位温差下，单位时间的热量

损失。其单位为  $\frac{J}{K \cdot s}$ 。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， $\frac{dq}{dt} < 0$ ，系统向外界放出热量；反之， $\frac{dq}{dt} > 0$ ，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的目的。在实际实验中表现为，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。



$$\begin{aligned}
 q &= -k \int_{t_1}^{t_e} (\theta(t) - \theta_e) dt = -k \int_{t_1}^{t_e} (\theta - \theta_e) dt + k \int_{t_e}^{t_2} (\theta_e - \theta) dt \\
 &= -kS_A + kS_B
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

其中， $S_A = \int_{t_1}^{t_e} (\theta - \theta_e) dt$ ， $S_B = \int_{t_e}^{t_2} (\theta_e - \theta) dt$

外推法：线性趋势外推法是最简单的外推法。在以时间为横坐标的坐标图中，事物的变化接近一条直线。根据这条直线，可以推断事物未来的变化。

## 4 实验步骤

1. 打开数字温度计、电子天平，测量环境温度  $\theta_{e1}$ ，内桶和搅拌器质量  $m_1$  和  $m_2$ ；
2. 配置水温高出环境温度约 10 ~ 15 度的温水，并向内筒中加入约二分之一至三分之二的温水，搅拌测水温，测内筒和水总质量  $m + m_1$ ；
3. 内筒连同里面的水放进外筒，放入搅拌器，盖上绝热盖子搅拌，每隔 30 秒记录一次温水的温度，共五次，利用“外推法”推出第 6 次加冰时刻水的初温；
4. 准备冰块，用干拭布擦掉冰表面的水，投入内筒，盖上绝热盖子搅拌，每 10 秒钟测温一次，至系统温度降到最小  $\theta_2$  后略有上升；

5. 测量内桶、搅拌器及水总质量  $m + m_1 + m_2 + M$ ，测量环境温度  $\theta_{e2}$ ；
6. 记录实验数据，修改实验参数重复实验。

## 5 数据处理

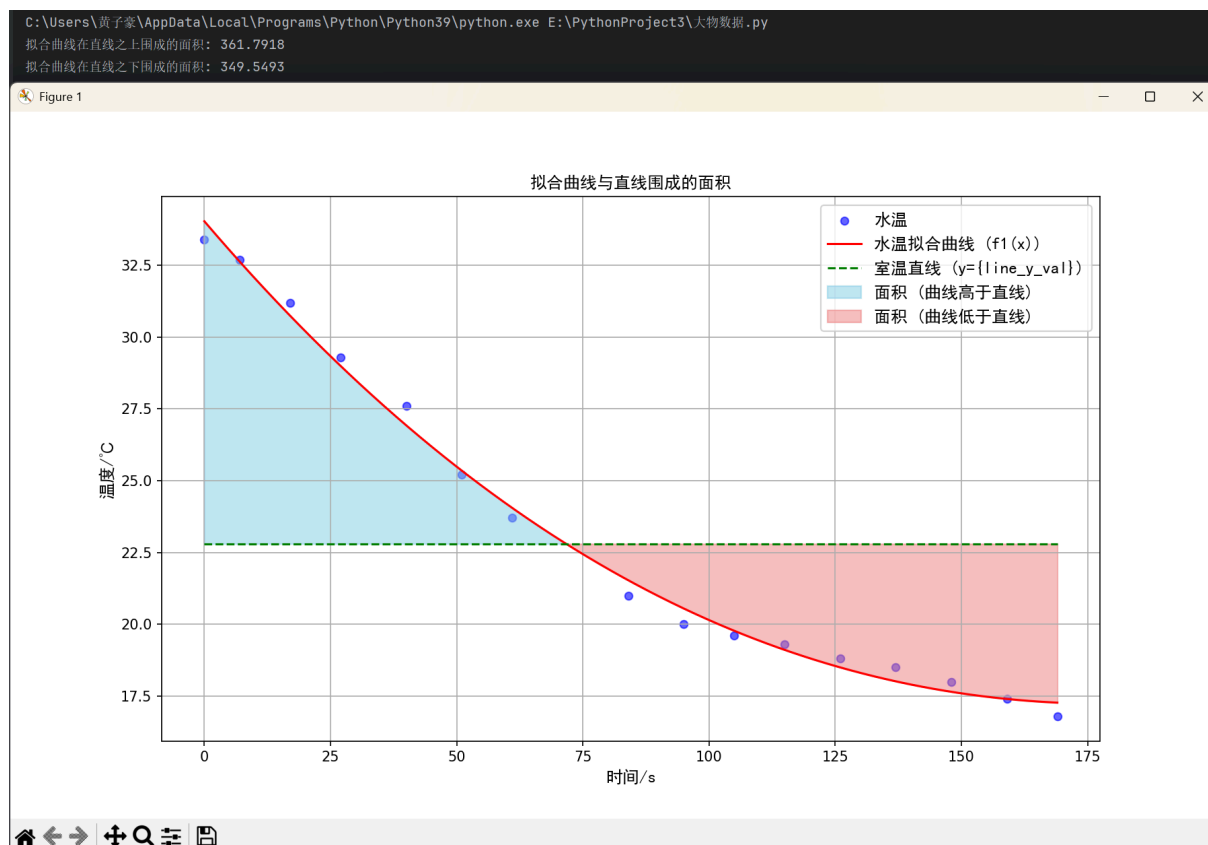
### 5.1 数据记录

$$m_{\text{杯}} = 109.43g, m_{\text{水}} = 173.5g, m_{\text{冰}} = 34.27g, m_2 = 12g \quad (5.5)$$

0	33.4	0	33.4	22.8
7	32.7	7	32.7	22.8
17	31.2	17	31.2	22.8
27	29.3	27	29.3	22.8
40	27.6	40	27.6	22.8
51	25.2	51	25.2	22.8
61	23.7	61	23.7	22.8
84	21	84	21	22.8
95	20	95	20	22.8
105	19.6	105.0	19.6	22.8
115	19.3	115	19.3	22.8
126	18.8	126	18.8	22.8
137	18.5	137	18.5	22.8
148	18	148	18	22.8
159	17.4	159.0	17.4	22.8
169	16.8	169	16.8	22.8

图 5.1.1: 签字数据图片

图 5.1.2: 实验记录数据



由 Python 拟合的曲线，再分别计算上下两部分面积，根据 Python 输出结果可知

拟合曲线在直线之上围成的面积: 361.7918

拟合曲线在直线之下围成的面积: 349.5493

直线与曲线分别在上下方围成的面积近似相等，符合补偿法的要求。

## 5.2 数据计算

### 5.2.1 冰的溶解热计算

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{1}{m_i} (cm + c_1 m_1 + c_2 m_2) (\theta_1 - \theta_2) - c \theta_2 \\
 &= \frac{1}{34.27} (4.1618 \times 173.55 + 0.385 \times 109.43 + 0.37 \times 12) \times (33.4 - 16.8) - 4.1868 \times 16.8 \\
 &= 3.23 \times 10^5 J \cdot kg^{-1}
 \end{aligned}$$

### 5.2.2 误差计算

$$\eta = \left| \frac{L - L_0}{L_0} \right| \times 100\% = \left| \frac{3.23 \times 10^5 - 3.341 \times 10^5}{3.341 \times 10^5} \right| \times 100\% \approx 3.322\%$$

## 6 思考题

• 试定性说明下述情况给  $L$  的测量结果带来的影响

1. 测 $\theta_1$ 之前没有搅拌：偏高
2. 测 $\theta_1$ 之后到投冰之前相隔了一段时间：偏高
3. 搅拌过程中有水溅出：偏高
4. 冰未拭干就投入量热器：偏低
5. 实验过程中打开量热盖子看了看：偏高

• 假如冰内有 ① 气泡、② 小水泡、③ 杂质，它们分别对实验结果有无影响？为什么？

①冰内有气泡：

气泡占据了冰块的一部分体积，但其质量与同体积的冰相比几乎可以忽略。因此，称得的冰块质量  $m_{\text{冰块}}$  会大于实际纯冰的质量  $m_{\text{纯冰}}$ 。在计算熔解热  $L$  时，我们使用公式  $L = \frac{Q_{\text{吸}}}{m_{\text{冰}}}$ 。如果使用包含了气泡“虚增”体积对应质量的  $m_{\text{冰块}}$  作为分母（即  $m_{\text{冰}} = m_{\text{冰块}}$ ），而实际上只有质量为  $m_{\text{纯冰}}$  ( $m_{\text{纯冰}} < m_{\text{冰块}}$ ) 的纯冰吸收了熔解所需的热量  $Q_{\text{吸}}$ 。设冰块吸收的热量为  $Q_{\text{吸}}$ ，则  $Q_{\text{吸}} = m_{\text{纯冰}} L_{\text{真实}}$ 。实验中计算得到的熔解热为  $L_{\text{测量}} = \frac{Q_{\text{吸}}}{m_{\text{冰块}}} = \frac{m_{\text{纯冰}} L_{\text{真实}}}{m_{\text{冰块}}}$ 。由于  $m_{\text{纯冰}} < m_{\text{冰块}}$ ，因此  $L_{\text{测量}} < L_{\text{真实}}$ 。

② 冰内有小水泡 小水泡本身是液态水，它不需要吸收熔解热  $L$  来从固态转变为液态。它仅参与从初始温度（通常认为是  $0^\circ\text{C}$ ）升高到最终平衡温度的过程。只有  $m_{\text{纯冰}}$  这部分质量需要吸收熔解热。如果在计算中将总质量  $m_{\text{冰块}}$  全部视为需要熔解的冰，那么：热量平衡中，水和量热器放出的热量  $Q_{\text{放出}} = m_{\text{纯冰}} L_{\text{真实}} + m_{\text{冰块}} c_{\text{水}} (\theta_{\text{平衡}} - 0^\circ\text{C})$ 。实验中计算  $L$  时，若采用  $L_{\text{测量}} = \frac{Q_{\text{放出}} - m_{\text{冰块}} c_{\text{水}} (\theta_{\text{平衡}} - 0^\circ\text{C})}{m_{\text{冰块}}}$ ，则  $L_{\text{测量}} = \frac{m_{\text{纯冰}} L_{\text{真实}}}{m_{\text{冰块}}}$ 。由于  $m_{\text{纯冰}} < m_{\text{冰块}}$ ，因此  $L_{\text{测量}} < L_{\text{真实}}$ 。

③ 冰内有杂质

原因分析：称量得到的是含有杂质的冰的总质量  $m_{\text{冰块}}$ 。设纯冰质量为  $m_{\text{纯冰}}$ ，杂质质量为  $m_{\text{杂质}}$ 。通常我们关心的是纯冰的熔解热。杂质本身不以与冰相同的方式吸收或放出熔解潜热。如果用包含杂质的总质量  $m_{\text{冰块}}$  作为计算  $L$  时的分母，而实际上只有  $m_{\text{纯冰}}$  吸收了熔解热，则类似于气泡和水泡的情况，会导致  $L_{\text{测量}} = \frac{m_{\text{纯冰}} L_{\text{真实}}}{m_{\text{冰块}}}$ 。由于  $m_{\text{纯冰}} < m_{\text{冰块}}$ ，因此  $L_{\text{测量}} < L_{\text{真实}}$ 。

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

$$\Delta L = 3.23 \times 10^5 - 3.341 \times 10^5 = -0.111 \times 10^5 \quad (6.7)$$