

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 θ_0 的冰块与质量 m ，温度 θ_0' 的水相结合，冰全部熔化为水，测得平衡温度为 θ_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 θ_0 ，则由热平衡方程可得：

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

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

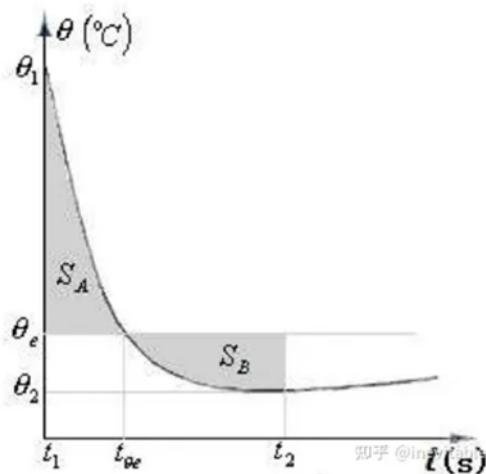
补偿法：由于量热器的绝热条件并不十分完善，实际实验系统并非严格的孤立系统，所以，我们以抵偿法作为的散热修正方法。其依据是牛顿冷却定律。

设环境温度为 θ_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。



$$q = -k \int_{t_1}^{t_e} (\theta(t) - \theta_e) dt = -k \int_{t_1}^{t_e} (\theta - \theta_e) dt + k \int_{t_e}^{t_2} (\theta_e - \theta) dt \quad (3.4)$$

$$= -kS_A + kS_B$$

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 θ_{e1} ，内筒和搅拌器质量 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 θ_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 θ_{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
7	32.7
17	31.2
27	29.3
40	27.6
51	25.2
61	23.7
84	21
95	20
105	19.6
115	19.3
126	18.8
137	18.5
148	18
159	17.4
169	16.8

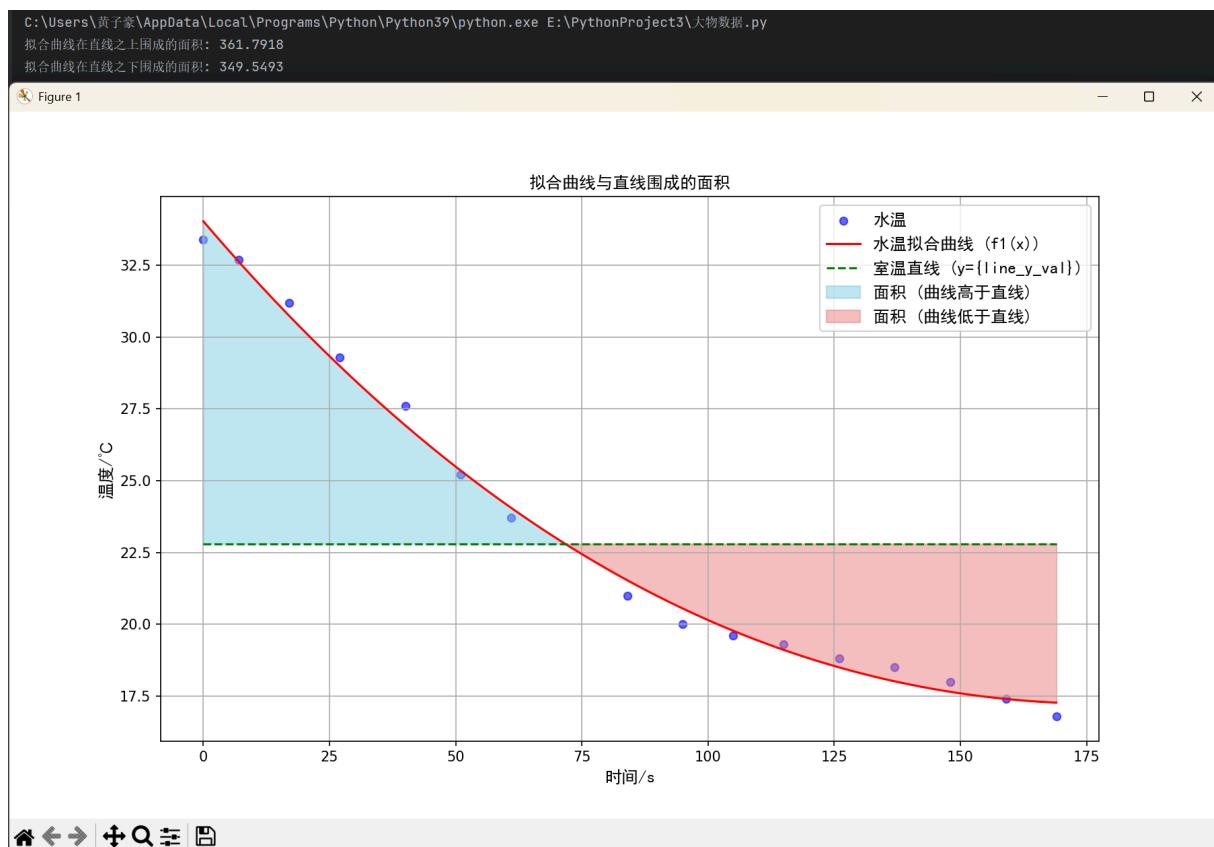
计算得 $L = 3.23 \times 10^5 \text{ J/kg}^2$

何大升-11

图 5.1.1: 签字数据图片

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

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

直线于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

- 测 θ_1 之前没有搅拌：偏高
- 测 θ_1 之后到投冰之前相隔了一段时间：偏高
- 搅拌过程中有水溅出：偏高
- 冰未拭干就投入量热器：偏低
- 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°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

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