

测量冰的熔化热

李嘉轩

1600011628

北京大学物理学院天文学系, 100871

jiaxuan.li@pku.edu.cn

2017 年 10 月 15 日

1 采用混合量热法测量冰的熔化热

本实验要求使用混合量热法测量冰的熔化热。本次实验用到的器材有:

- NTY-2A型数字温度计(铂电阻温度计);
- JA21002型电子天平;
- SE7-2II型秒表;
- 量热器。

根据混合量热法原理,

$$L = \frac{1}{m}(m_0c_0 + m_1c_1 + m_2c_2 + \delta_c)(T_2 - T_3) - c_0(T_3 - T_0) - c_3(T_0 - T_1). \quad (1)$$

因此我们需要测量:

- m : 冰的质量; m_0 : 水的质量; m_1 : 量热器内筒质量; m_2 : 搅拌棒质量;
- T_1 : 冰的温度; T_2 : 水的初始温度; T_3 : 冰完全熔化后系统的温度; T_0 : 冰的熔点。

表 1: 测量质量的数据

名称	质量/g	名称	质量/g
量热器内筒	114.38	内筒与搅拌棒	141.16
内筒与搅拌棒加水	326.52	内筒搅拌棒水与冰	352.19



表 2: 测量冰的熔化热实验数据

t/s	$T/^\circ\text{C}$	t/s	$T/^\circ\text{C}$	t/s	$T/^\circ\text{C}$	t/s	$T/^\circ\text{C}$
37.08	36.4	261.58	36.1	354.23	23.9	416.39	21.3
42.98	36.4	269.55	36.0	359.48	23.1	420.31	21.3
58.83	36.5	280.89	36.0	365.89	22.4	425.35	21.3
92.09	36.5	309.23	35.6	370.98	22.1	430.19	21.3
101.20	36.4	313.30	34.9	375.73	21.8	437.29	21.3
131.29	36.4	318.98	33.6	380.58	21.6	443.29	21.4
146.73	36.3	322.08	32.3	385.73	21.5	450.98	21.4
160.88	36.3	326.23	30.7	391.23	21.4	457.29	21.4
183.98	36.3	331.83	28.9	395.89	21.4	462.38	21.4
201.28	36.2	336.38	27.3	400.69	21.4	472.33	21.4
220.73	36.2	341.58	26.1	407.29	21.4	488.28	21.4
238.58	36.1	348.88	24.7	411.89	21.3	501.33	21.4

在本次实验中, 我使用电子天平称量的各个待测的质量, 得到的实验数据如表格1所示。因此, $m = 25.67 \text{ g}$, $m_0 = 185.36 \text{ g}$, $m_1 = 114.38 \text{ g}$, $m_2 = 26.78 \text{ g}$ 。

在开始实验之前, 用铂电阻温度计测得室温为

$$\Theta = 24.4^\circ\text{C}.$$

根据实验室提供的数据, $c_0 = 4.18 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $c_1 = c_2 = 0.389 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $c_3 = 1.80 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $T_0 = 0^\circ\text{C}$ 。在从暖壶中取出冰块时, 插在暖壶中的半导体温度计显示的温度为

$$T_1 = -26.9^\circ\text{C}.$$

根据牛顿散热定律, 在投入冰之前, 整个系统的温度随时间应该线性减小。所以我先配置好水温约为 36°C 的水, 倒入量热器内筒, 而后将量热器密封好, 一边搅拌一边等待系统温度降低。随着时间推移, 系统的温度降低, 温度 T 与时间 t 呈良好的线性关系(见图1中刚开始的直线段)。我在 $t = 306 \text{ s}$ 时将冰块投入了量热器内筒, 并迅速盖上量热器盖子, 进行搅拌。根据之前所得的线性关系, 我们可以外推出投入冰的时刻即 $t = 306 \text{ s}$ 时水的温度, 作为整个实验中水的初温 T_2 。根据实验结果, 我拟合出投入冰前温度与时间的线性关系为:

$$T(^{\circ}\text{C}) = -0.0023 t(\text{s}) + 36.67, \quad (2)$$

由此外推出 $t = 306 \text{ s}$ 时的水温为

$$T_2 = 35.97^\circ\text{C}.$$

本次实验中冰的熔化曲线如图1所示。 $t = 306 \text{ s}$ 时冰被投入水, 在图上显示为蓝色的点。该点不是测量数据, 而是由式(2)外推得到的。从图中可以看到, 系统的末温为

$$T_3 = 21.4^\circ\text{C}.$$

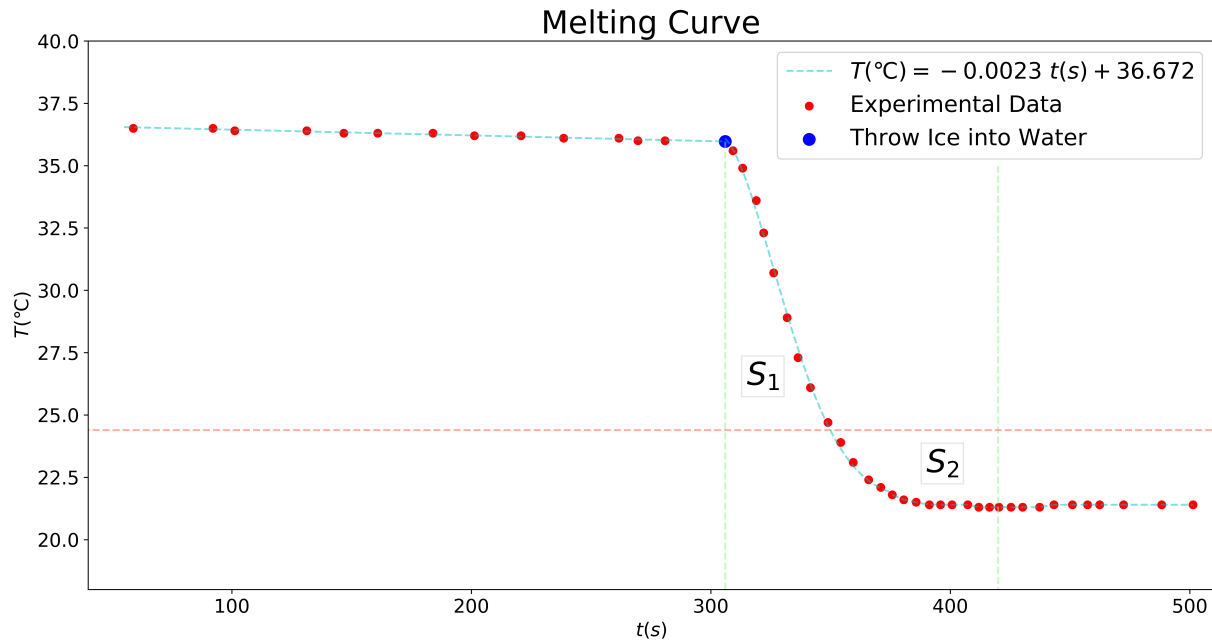


图 1: 冰的熔化曲线

至此，我们已经得到了计算冰熔化热的所有物理量的数值(忽略温度计探头的热容 δc)。带入公式(1)可得：

$$\begin{aligned} L &= \frac{1}{m}(m_0 c_0 + m_1 c_1 + m_2 c_2 + \delta c)(T_2 - T_3) - c_0(T_3 - T_0) - c_3(T_0 - T_1) \\ &= 3.34 \times 10^5 \text{ J/kg.} \end{aligned}$$

因此本次实验得到冰的熔化热为：

$$L = 3.34 \times 10^5 \text{ J/kg.} \quad (3)$$

注意，此结果与室温大小无关。但是室温大小影响到了整个系统的吸热和散热是否平衡。下面我们来讨论此问题。

根据书上修正系统散热和吸热的方法，我们需要计算室温与熔化曲线围成的面积。在图1中，室温用橙色虚线标出。我使用了5阶多项式拟合投入冰到冰完全融化之间的数据点，得到的函数为：

$$T(t) = \frac{8.74(t-300)^5}{10^9} - \frac{3.134(t-300)^4}{10^6} + 0.0004028(t-300)^3 - 0.0202(t-300)^2 + 0.1056(t-300) + 36.1, t \in [306, 420].$$

由此可以算出

$$\begin{aligned} \frac{S1}{S2} &= \frac{\int_6^{49.86} |T(t) - \Theta| dt}{\int_{49.86}^{120.33} |T(t) - \Theta| dt} \\ &= 1.54. \end{aligned}$$

也就是说散热量与吸热量之比约为1.54。这个修正结果相对较好。我们还可以算一下

$$\frac{T_2 - \Theta}{\Theta - T_3} = \frac{11.57}{3},$$



书上给的推荐值为

$$\frac{T_2 - \Theta}{\Theta - T_3} = \frac{10}{3}$$

可以看出，本次实验对于温度的控制比较合理，系统吸热与散热的补偿也比较合适。

2 思考题

1. 本实验的主要误差来源是什么？

答：的确，是否对系统吸热和散热进行修正并不是本实验误差的主要来源。在我做的三次实验中，熔化热都在“合理”的范围之内。因此，实验的主要误差来源可能是：

- 整个实验过程中是否时刻进行搅拌使得系统温度均匀；
- 是否在搅拌时用力过猛导致水溅出；
- 在投入冰时是否动作够快，是否动作过猛导致溅起水花；
- 对各个质量的测量是否准确，温度计是否深入液面以下5cm；
- 对初温、末温的测量是否准确，冰的温度测量是否准确。

以上这些因素应该比散热与吸热的修正更重要。

2. 在本实验室提供的条件下，实测熔化热的结果通常小于文献值 $L = 3.34 \times 10^5 \text{ J/kg}$ 。你能分析是什么原因吗？

答：本实验中，为了让温度的测量有意义，我们需要时刻搅拌量热器内的水使得系统温度均匀。然而，搅拌的动作是我们对系统做功 W 的过程。设冰熔化本来需要 Q_0 的热量，则在实验时冰熔化需要的热量 Q_1 为：

$$Q_1 = Q_0 - W.$$

因此这会导致系统温度下降的测量值小于理论值，也就导致冰熔化热测量值小于文献值。

3. 体会补偿法在实验中的意义。

答：当系统温度高于室温时，系统向外界散热，反之吸热。要控制初温末温与室温使得吸热与散热平衡，这就是补偿法的思想。补偿法在物理实验中应用广泛，高中时测量电源电动势就使用了补偿法。在验证吸热散热补偿的过程中，我进一步练习了数据的处理和分析，比如使用软件进行拟合、积分。这进一步加深了我对本实验补偿过程的认识，也给我留下了补偿法的实验思想。

3 分析讨论与感想

1. 本实验是普物实验第一个热学实验。在这次实验的过程中，从第一次实验的手忙脚乱到第四次实验的驾轻就熟，我从实验过程中获益匪浅。每一次实验都让我意识到扎实预习的重要性。本实验中，需要考虑、控制、测量、记录的物理量很多，如果不合理安排实验步骤，就会出现很多



问题。我使用了手机拍照的方法，准确又方便地记录下了实验数据。在处理数据时使用了 *Python* 和 *Mathematica* 等语言。本实验中对于补偿法的应用也令人耳目一新。

2. 感谢张焱老师的对我实验结果的检查和在实验过程中的指导。

参考文献

- [1] 吕斯骅, 段家祗, 张朝晖. 新编基础物理实验. 第2版. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [2] 吕斯骅. 全国中学生物理竞赛实验指导书. 北京: 北京大学出版社, 2006.