

## 实验二 冰的熔解热的测定

### 【实验目的】

1. 了解热学实验中的基本问题——量热和计温；
2. 了解粗略修正散热的方法；
3. 进行实验安排和参量选择。

### 【实验仪器】

量热器，物理天平、电子天平，实验室温度计（ $-10.0\sim 100.0^{\circ}\text{C}$  一支），停表等。

### 【实验原理】

#### 1. 混合量热法测量冰熔解热原理

在一定压强下，晶体熔解时的温度称为熔点。单位质量的晶体熔解为同温度的液体时所吸收的热量，称为熔解潜热，也称熔解热  $L$ 。不同的晶体有不同的熔解热。

本实验是量热学实验中的一个基本实验，采用了量热学实验的基本方法——混合量热法。它所依据的原理是，在绝热系统中，某一部分所放出的热量等于其余部分所吸收的热量。

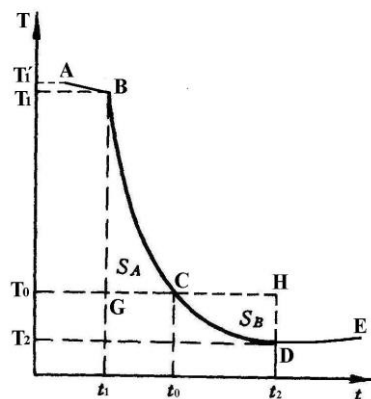


图 2-1-14 冰的熔解热实验  $T-t$  曲线

将  $M$  克  $0^{\circ}\text{C}$  的冰投入盛有  $m$  克  $T_1^{\circ}\text{C}$  水的量热器内筒中。设冰全部熔解为水后平衡温度为  $T_2^{\circ}\text{C}$ ，若量热器内筒、搅拌器和温度计的质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$  和  $m_3$ ，其比热容分别为  $C_1$ 、 $C_2$  和  $C_3$ ，水的比热容为  $C_0$ 。则根据混合量热法所依据的原理，冰全部熔解为同温度（ $0^{\circ}\text{C}$ ）的水及其从  $0^{\circ}\text{C}$  升到  $T_2^{\circ}\text{C}$  过程中所吸收的热量等于其余部分从温度  $T_1^{\circ}\text{C}$  降到  $T_2^{\circ}\text{C}$  时所放出的热量，即

$$ML + M(T_2 - 0)C_0 = (mC_0 + m_1C_1 + m_2C_2 + m_3C_3)(T_1 - T_2) \quad (2-1-1)$$

由此可得冰的熔解热为

$$L = \frac{1}{M} (mC_0 + m_1C_1 + m_2C_2 + m_3C_3)(T_1 - T_2) - T_2C_0 \quad (2-1-2)$$

在上式中，水的比热容  $C_0$  为  $4.18 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ，内筒、搅拌器和温度计都是铜制的，其比热容  $C_1 = C_2 = C_3 = 0.378 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 。

#### 2. 实验过程中的散热修正

前已指出，必须在系统与外界绝热的条件下进行实验。为了满足此条件，我们应该从实验装置、测量方法和实验操作等方面尽量减少热交换。但是，由于实际上往往很难做到与外界完全没有热交换，因此，必须研究如何减少热量交换对实验结果的影响。

设图 2-1-14 所示的温度-时间曲线是在进行冰的熔解热实验过程中绘制的， $T_1$  为水的初温，它较环境温度  $T_0$  高，因此，在投入冰块之前，由于向外界散热，水温也随时间而缓慢降低，如 AB 段所示。与 B 点相应的温度为  $T_1$ ，它就是投入冰块时的温度。在刚投入冰块时，水温高，冰的有效面积大，熔解快，因此系统温度  $T$  降低较快，如 BC 段所示；随着冰的不断熔化，冰块逐渐变小，水温逐渐降低，冰熔解就慢了，水温的降低就变缓慢了，如 CD 段所示。D 点的温度为  $T_2$ ，它是冰块和水混合后的最低平衡温度。此后，由于系统从外界吸热，水温缓慢升高，如 DE 段所示。

牛顿冷却定律指出，当系统与环境的温度差不大（不超过  $10\sim 15^\circ\text{C}$ ）时，系统温度的变化率与温度差成正比，其数学式为

$$\frac{dT}{dt} = k'(T - T_0) \quad (2-1-3)$$

式中  $T$  为系统的温度， $T_0$  为环境的温度， $k'$  为散热系数，只与系统本身的性质有关。设系统的热容为  $C$ ，并注意到  $dQ = CdT$ ，于是，上式可改写为

$$\frac{dQ}{dt} = Ck'(T - T_0) = k(T - T_0) \quad (2-1-4)$$

式中  $k = k'C$ ，也是常数。

根据上式，实验过程中，即系统温度从  $T_1$  变为  $T_2$  这段时间（ $t_1 \sim t_2$ ）内系统与外界间交换的热量为

$$\begin{aligned} Q &= \int_{t_1}^{t_2} k(T - T_0) dt \\ &= k \int_{t_1}^{t_0} (T - T_0) dt + k \int_{t_0}^{t_2} (T - T_0) dt \end{aligned} \quad (2-1-5)$$

前一项  $T - T_0 > 0$ ，系统散热，后一项  $T - T_0 < 0$ ，系统吸热，两积分对应与图 2-1-14 中面积

$$S_A = \int_{t_1}^{t_0} (T - T_0) dt \quad S_B = \int_{t_0}^{t_2} (T - T_0) dt$$

由此可见， $S_A$  与系统向外界散失的热量成正比，即有  $Q_{\text{散}} = KS_A$ ； $S_B$  与系统从外界吸收的热量成正比，即有  $Q_{\text{吸}} = KS_B$ 。因此，只要  $S_A \approx S_B$ ，系统对外界的吸热和散热就可以相互抵消。

要使  $S_A \approx S_B$ ，就必须使  $(T_1 - T_0) > (T_0 - T_2)$ ，究竟  $T_1$  和  $T_2$  应取多少，或  $(T_1 - T_0) : (T_0 - T_2)$

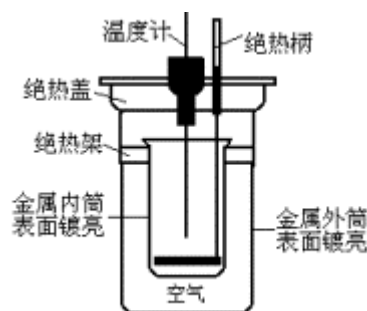
应取多少，要在实验中根据具体情况调整选择。具体做法是要进行多次实验，而且在做完某次实验并绘制出  $T \sim t$  曲线后，根据  $S_A$  和  $S_B$  的面积判断出下一次实验应如何改变  $T_1$  和  $T_2$ 。如此反复多次，就能找出最佳的初温  $T_1$  和末温  $T_2$ 。

上述这种使散热与吸热相互抵消的作法，往往要经过若干次试验，才能获得比较好的效果。

### 【实验内容与步骤】

#### 仪器介绍

本实验用量热器组成一个近似绝热的孤立系统，以满足实验所要求的实验基本条件。量热器的种类很多，因测量的目的、要求、测量精度的不同而异。本实验采用结构最简单的一种如图 2-1-15 所示，它由两个用导热良好的金属（如铜）做成的内筒和外筒相套



而成。内筒放在外筒内的绝热支架上，外筒用绝热盖盖住，因此空气与外界对流很小，又因空气是热的不良导体，所以内、外筒间借热传导方式传递的热量便可以减至很小。同时由于内筒的外壁及外筒的内壁都电镀得十分光亮，使得它们发射或吸收辐射热的本领变得很小，于是我们进行实验的系统和环境之间因辐射而产生热量的传递也可以减小。这样的量热器已经可以使实验系统粗略地接近于一个绝热的孤立系统了。

#### 1. 冰的制备

将冰从冰箱取出后置于  $0^\circ\text{C}$  的容器中，过一段时间后再取出并用干布揩干其表面的水后可作为待测的样品了。

#### 2. 合理选择各个参数的数值

在做实验时可以适当选择数值的参量有水的质量  $m$ 、冰的质量  $M$ 、始温  $T_1$  及末温  $T_2$ 。在做第一次实验时， $T_1$  可比环境温度高  $10^\circ\text{C} \sim 15^\circ\text{C}$ ，水的体积约为量热器内容积的三分之二左右，放入的冰块必须能全部被水淹没，使冰尽快溶解。若末温太低，第二次实验时为了提高末温，可以减少冰块的质量，也可以增加水的质量或提高始温。应该注意，末温不能选得太低，以免内筒外壁出现凝结水而改变其散热系数。

#### 3. 冰的溶解热的测定

(1) 用物理天平分别称出量热器内筒和搅拌器的质量  $m_1$ 、 $m_2$  及水的质量  $m$ ，温度计的质量  $m_3$  在其上面已标明。

(2) 从放入冰块前三四分钟开始测温，每隔 0.5min 测一次温度，读取 6~8 个数据；记下放入冰块时刻，放入冰块后每隔 10 秒测一次水温，目的是尽量在对应图 4-15-2 的 BC 段多测出几个数据；在温度达到最低温度后，继续测温五六分钟，每隔 0.5min 测一次，读取 10~12 个数据。

应该注意，为使温度计读数确实代表所要测量的系统的温度，整个实验过程要不断轻轻地进行搅拌。

(3) 利用上述数据在坐标纸上绘出  $T-t$  曲线，用外推法确定投冰时的水温  $T_1$ ，参照图 2-1-2 的散热修正方法，尽可能准确地估算  $S_A$  和  $S_B$  面积，若相差太大，则应调整各参量的数值，重新做实验。若基本相等，则可转到下一步骤。

(4) 测量包括搅拌器、水及放入的冰块在内的量热器内筒总质量，并算出冰块的质量  $M$ 。

(5) 由 (2-1-2) 式算出冰的溶解热及作出标准不确定度的评定。

### 【数据记录与处理】

#### 1. 使用仪器的规格，技术指标

天平：称量\_\_\_\_\_ 级别\_\_\_\_\_ 分度值\_\_\_\_\_ 允差\_\_\_\_\_

砝码：级别\_\_\_\_\_ 允差\_\_\_\_\_

数字温度计：测温范围：\_\_\_\_\_ 分度值\_\_\_\_\_ 允差\_\_\_\_\_

#### 2. 理论常量

水的比热容： $C_0=4.18 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

铜的比热容： $C_1=C_2=C_3=0.378 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

#### 3. 测量数据记录

表 2-1-1 用物理天平称衡个质量（单位： $\times 10^{-3} \text{ kg}$ ）

| $m_1$ （内筒） | $m_2$ （搅拌器） | $m_3$ （温度计） | $m_1+m$ （水） | $m_1+m+M$ （冰） |
|------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
|            |             |             |             |               |

表 2-1-2 放冰前后水温  $T$  随时间  $t$  变化的数据

室温：\_\_\_\_\_

| 放冰前（每隔 0.5min 测温一次） |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| n（序）                | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |

|                                            |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| T (°C)                                     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 放冰后到最低温度 T2 (每隔 10s 测温一次)      放冰时刻: _____ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| n (序)                                      | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| T (°C)                                     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 达最低温度后 (每隔 0.5min 测温一次)                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| n (序)                                      | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| T (°C)                                     |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

4. 根据测量数据画出  $T \sim t$  图线 (要用坐标纸作图线);

5. 计算测量结果及其不确定度。

### 【思考题】

1. 根据本实验装置以及操作的具体情况, 分析误差产生的主要因素有哪些?
2. 冰块投入量热器内筒时, 若冰块外面附有水, 将对实验结果有何影响 (只需定性说明)?
3. 整个实验过程中为什么要不停地轻轻搅拌? 分别说明投冰前后搅拌的作用。
4. 试分析若系统从外界吸收的热量大于向外界散失的热量 (如图 4-15-2 的  $S_B > S_A$ ), 将使  $L$  的结果偏大还是偏小?