



厦 门 大 学

XIAMEN

UNIVERSITY

84

ADD: FULI FAN XIAMEN CABLE: 0633 P.C: 361005

实验八 电热当量的测定

一. 实验目的

1. 用电热法测定热功当量

2. 学会一种热量散失的修正方法——用作图法修正终温

二. 实验仪器:

量热器, 数字温度计, 电流表, 电压表.

直流稳压电源, 秒表, 电子天平, 开关

三. 实验原理

1. 电热法测定热功当量

电阻丝两端的电压为 U 伏安, 强度为 I 安培的电流在 t 秒内通过电阻丝两端时, 电场力做功 $E = UIt$, 这些功全都转化为热量, 将使一个装水的量热器内系统的温度从 T_0 升高到 T_f , 则系统吸收的热量

$$Q = (m_1 C_1 + m_2 C_2 + m_3 C_3 + 0.76V)(T_f - T_0)$$

上式中 m_1 为量热器内筒质量, C_1 为其比热; m_2 为搅拌器以及铜支架的质量, C_2 为其比热; m_3 为量热器内筒中水的质量, C_3 表示水的比热; V 为温度计沉入水中的体积; T_0 和 T_f 为量热器内筒中水的初温及终温。

注意: 数字温度计传感探头由铂电阻外包钢保护层组成, 它们的密度与比热乘积为: 钢 $\rho_1 C_1 = 7.8 \times 0.107 = 0.83$ 卡/度·厘米³, 铂: $\rho_2 C_2 = 21.5 \times 0.032 = 0.68$ 卡/度·厘米³. 因此, 数字温度计的热容量约为 0.76 伏卡/度. Q 的单位是显卡(cal). 比热的单位是卡/克·度 (cal/g·°C), 所以热功当量 $J = \frac{E}{Q} = \frac{UIt}{(m_1 C_1 + m_2 C_2 + m_3 C_3 + 0.76V)(T_f - T_0)}$ 的标准值

$J_0 = 4.1868$ 焦耳/卡.

2. 散热修正

实验在系统(量热器内筒及筒中的水)的温度和环境的温度平衡后, 对电阻丝通电, 系统加热使温度升高. 温度升高(高于室温 θ)的过程中, 系统不可避免地同外界环境进行热交换, 将有一部分热量散失. 散热作用使得由温度计读得的终温 T_2 必比真正的终温 T_f 低, 这样就要求对误差进行修正. 实验时在相等的时间间隔内, 记下相应的温度, 以时间为横坐标, 温度为纵坐标作 $T-t$ 图.

根据牛顿冷却定律, 当系统的温度 T 与环境温度 θ 相差不大时, 系统处于自然冷却的状况, 由于散热, 系统的冷却速率可以表示为 $V = \frac{dT}{dt} = k(T - \theta)$, 即冷却速率 $V = \frac{dT}{dt}$ 与系统的温度 T 成线性关系, k 是一个常量, 与系统的表面状况和比热有关, 当环境温度 θ 不变时, 有 $V = \frac{d(T - \theta)}{dt} = k(T - \theta)$, 取向外界散热的起始温度为 T_2 , 经时间 t 后系统温度降至 T_3 , 则上式的解为 $\ln \frac{T_3 - \theta}{T_2 - \theta} = kt$. 系统散热过程的冷却变化率为 $k = \frac{1}{t} \ln \frac{T_3 - \theta}{T_2 - \theta}$. 将 k 值代入 $V = k(T - \theta)$, 即可求出不同温度下, 系统表面由于散热的作用每分钟降低的温度.

从图 3-8-3 可看出, 在 BD 段升温过程(t_1)中, 实际是边升温边散热, 其散热速率相应地从 0 增大到 $V = \frac{\Delta T}{t_2}$, $\Delta T = T_2 - T_1$, t_2 为 DE 段时间. 在 BD 过程中, 其平均散热速率 $\bar{V} = \frac{V}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta T}{t_2}$. 因此系统终温产生的误差为 $\delta T = \bar{V} t_1 = \frac{t_1}{2} \cdot \frac{\Delta T}{t_2}$, 系统真正终温 $T_f = T_2 + \delta T = T_2 + \frac{t_1 \Delta T}{2 t_2}$.

数据处理时, 可用作图法求 T_f 值. 如图 3-8-3, 用外推法把 DE 段往左外推, 再通过 P 点, ($\frac{1}{2} t_1$) 作横坐标轴的垂线与 DE 的外推线交于点 F , 则 F 点对应的温度就是修正后的终温 T_f .

如果系统起始加热的温度 T_0 不等于室温 θ , 则由于开始时的温度冷却速率不等于 0, 系统的温度



修正值不能用 $V = \frac{d(T-\theta)}{dt} = k(T-\theta)$. 从牛顿冷却定律知, 当系统与环境温度相差不大时 (小于 15°C), 其温度冷却速率与温度差成正比, 可得到开始加热时的冷却速率 $V_0 = \frac{T_0 - \theta}{T_2 - \theta} V$, 其中 V 为用温度计测得系统终温 T_2 时的冷却速率, 可求得 $V = \frac{\Delta T}{t_2}$, 所以在 BD 升温过程中, 系统的平均冷却速率 $\bar{V} = \frac{1}{2}(V_0 + V) = \frac{1}{2}(\frac{T_0 - \theta}{T_2 - \theta} V + V) = \frac{T_0 + T_2 - 2\theta}{2(T_2 - \theta)} V$, 系统的真正终温 $T_f = T_2 + \bar{V} t_1 = T_2 + \frac{T_0 + T_2 - 2\theta}{2(T_2 - \theta)} V t_1 = T_2 + \frac{T_0 + T_2 - 2\theta}{2t_2(T_2 - \theta)} \Delta T t_1$.

四. 实验内容

1. 用电子天平称量称器内筒的质量 m_1 , 从量热器上记下搅拌器和胶木铜木架的质量 m_2 .
2. 在量热器内筒装上 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 容积的水
3. 接好电路, 盖好量热器的盖子, 插入温度计浸入水中 (不可触及电阻丝), 打开电源并调节直流稳定电源的输出电压. 用搅拌器缓慢搅拌量筒器内筒的水, 使内筒中的水温每分钟升高 1.5°C 左右, 记下电表测得的电流及电压.
4. 断开电源, 量筒器内筒的温水换为等量的温度为室温的蒸馏水, 用电子天平称其质量 $m_{\text{实验前}}$.
5. 待量热器筒中的水温度稳定后, 记下其值, 该温度为初温 T_0 . 合上电源开关, 使电路通电, 同时用秒表开始计时, 每隔一分钟分别记录 T 次温度计、电流表及电压表的读数. 实验过程中必须连续缓慢搅拌量热器内筒的水, 使其温度均匀, 通电 5 分钟后, 切断电源, 继续搅拌 (从通电开始, 一直到实验结束, 一直保持均匀缓慢搅拌). 断电后系统温度还会略为升高, 故必须仔细观察并记下此时系统的终温 T_2 及对应的时间 t_1 , 接着每隔一分钟记录温度一次, 以获得自然冷却数据 (六次以上).
6. 用电子天平称量实验后内筒中的水的质量 $m_{\text{实验后}}$, 以 $\frac{m_{\text{实验前}} + m_{\text{实验后}}}{2}$ 作为内筒所加水的质量 m_3 .

五. 数据记录

1. 质量与比热数据表

数值	物理量	质量 m (克)	比热 C (卡/克·度)	热容量 mC (卡/度)
名称				
量热器内筒 m_1		272.60	0.092	25.079
搅拌器和胶木的铜 m_2		58.46	0.092	5.378
水的质量 m_3 (即 $\frac{m_{\text{实验前}} + m_{\text{实验后}}}{2}$)		116.27	1.00	116.27
数字温度计插入水中体积 $\approx 0.50\text{cm}^3$, 代入 0.76V卡/度 , 算出其热容量				0.38
$\Sigma mC = m_1C_1 + m_2C_2 + m_3C_3 + 0.76V = 147.11 \text{ 卡/度}$				

$$m_{\text{实验前}} = 447.84\text{g}$$

$$m_{\text{实验后}} = 446.81\text{g}$$





厦 门 大 学

XIAMEN UNIVERSITY

ADD: FULFAN XIAMEN CABLE: 0633 P.C: 361005

2. 温度、电流、电压、时间数据表

时间 t (分)	温度 T (°C)	电流 I (A)	电压 U (V)
0.00	25.0	1.997	10.697
1.00	26.2	2.000	10.721
2.00	27.7	2.002	10.717
3.00	29.1	2.002	10.697
4.00	30.4	2.008	10.730
5.00	31.8	2.001	10.678
$t_1 = 5.45 \text{ 分} \rightarrow 5.40 \text{ 分}$		$T_2 = 32.2 \text{ } ^\circ\text{C};$	$\bar{I} = A, \bar{U} = 0.00 \text{ V}$
7.00	31.9		
9.00	31.8		
11.00	31.6		
13.00	31.4		
15.00	31.3		
17.00	31.2		
19.00	31.1		

六. 注意事项

1. 数字温度计传感器探头要浸入水中, 但不能触及电阻丝.
2. 接入实验电路中的各电表要注意正负极性
3. 只有当电阻丝浸在水中才能通电, 否则电阻丝将会烧坏.
4. 整个实验过程中必须均匀、缓慢地不断搅拌, 使温度计的指示值代表系统的温度

七. 数据处理

1. 质量与比热数据表

数值 / 名称	物理量	质量 m (克)	比热 C (卡/克·度)	热容量 mC (卡/度)
量热器内筒 m_1		272.60	0.092	25.079
搅拌器及胶木的铜 m_2		58.46	0.092	5.378
水的质量 m_3 (即 $\frac{m_2 + m_3}{2}$)		116.27	1.00	116.27
数字温度计插入水中的体积 $V \approx 0.50 \text{ cm}^3$, 代入 0.76 卡/度				0.38
$\Sigma mC = m_1 C_1 + m_2 C_2 + m_3 C_3 + 0.76 V = 147.11 \text{ 卡/度}$				

$M_{\text{实验后}} = 447.84 \text{ g}$

$M_{\text{实验后}} = 446.81 \text{ g}$



扫描全能王 创建



厦 门 大 学

XIAMEN

UNIVERSITY

ADD: FULFAN XIAMEN

CABLE: 0633 P.C: 361005

热容量

$$m_1 C_1 = 272.60 \times 0.092 = 25.0792 \text{ 卡/度} \approx 25.079 \text{ 卡/度}$$

$$m_2 C_2 = 58.46 \times 0.092 = 5.3783 \text{ 卡/度} \approx 5.378 \text{ 卡/度}$$

$$M_{\text{实验前}} = M_{\text{实验前总}} - m_1 - m_2 = 116.78 \text{ g}$$

$$M_{\text{实验后}} = M_{\text{实验后总}} - m_1 - m_2 = 115.75 \text{ g}$$

$$m_3 = \frac{M_{\text{实验前}} + M_{\text{实验后}}}{2} = 116.27 \text{ g}$$

$$m_3 C_3 = 116.27 \times 1.00 = 116.27 \text{ 卡/度}$$

$$0.76 \text{ V} = 0.76 \times 0.50 = 0.38 \text{ 卡/度}$$

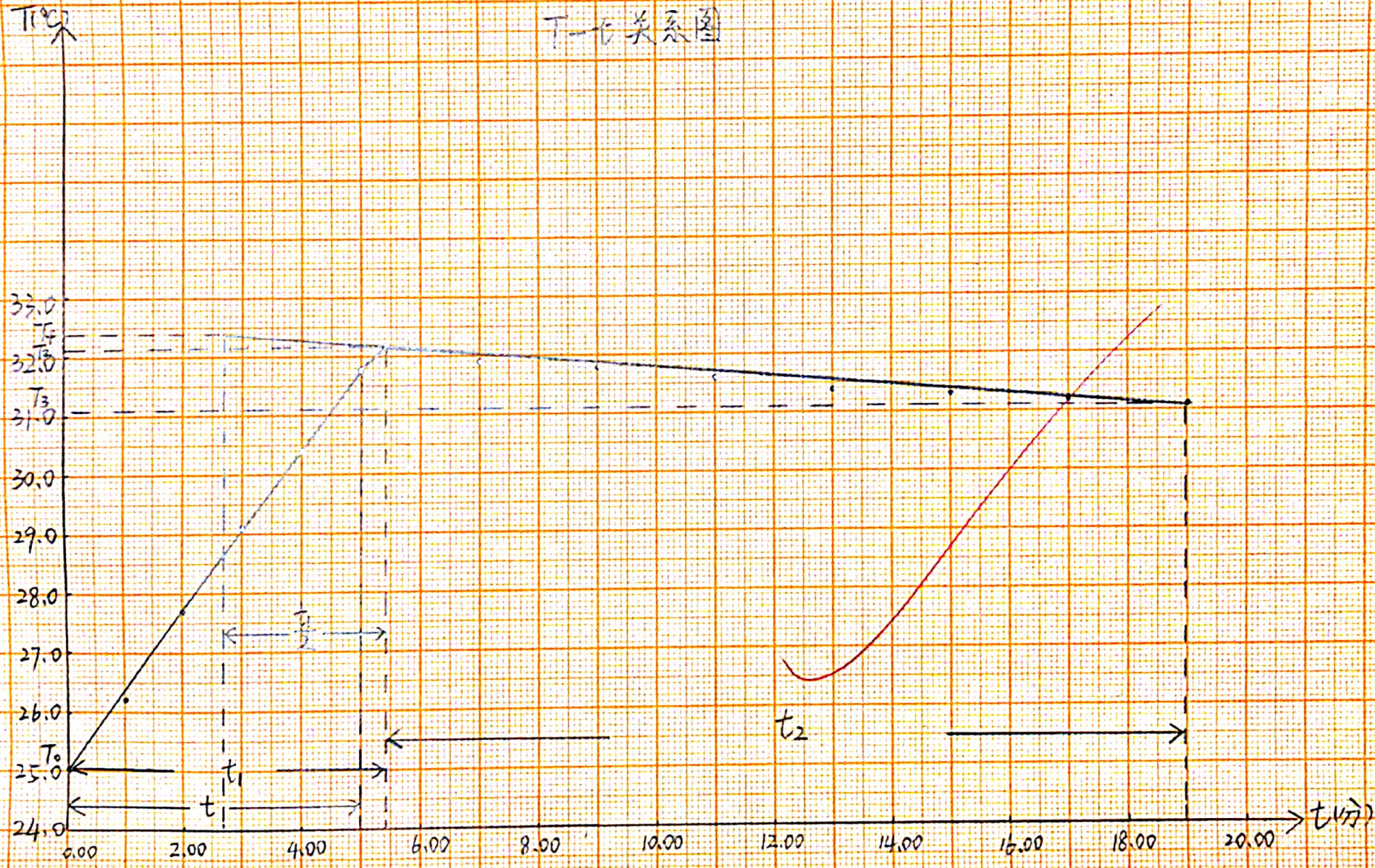
$$\Sigma mC = m_1 C_1 + m_2 C_2 + m_3 C_3 + 0.76 \text{ V} = 25.079 + 5.378 + 116.27 + 0.38 = 147.107 \text{ 卡/度} \approx 147.1 \text{ 卡/度}$$

2. 温度、电流、电压、时间数据表

时间 t (分)	温度 T (°C)	电流 I (A)	电压 U (V)
0.00	25.0	1.997	10.697
1.00	26.2	2.000	10.721
2.00	27.7	2.002	10.717
3.00	29.1	2.002	10.697
4.00	30.4	2.008	10.730
t ₁ = 5.00	31.8	2.001	10.698
t ₁ = 5.40 分 ; T ₂ = 32.2 °C			
7.00	31.9	$\bar{I} = 2.002 \text{ A}; \quad \bar{U} = 10.710 \text{ V}$ 自然冷却	
9.00	31.8		
11.00	31.6		
13.00	31.4		
15.00	31.3		
17.00	31.2		
19.00	31.1		



扫描全能王 创建



由图可知, $T_0 = 25.0^\circ\text{C}$, $T_f = T_2 + \frac{t_1}{2} \frac{\Delta T}{t_2} = 32.2 + 2.70 \times \frac{32.2 - 31.1}{19.00 - 5.40} \approx 32.4^\circ\text{C}$

$$J = \frac{E}{Q} = \frac{IUt}{(m_1C_1 + m_2C_2 + m_3C_3 + 0.76V)(T_f - T_0)} = \frac{2.002 \times 10.710 \times 5.00 \times 60}{147.11 \times (32.4 - 25.0)} \approx 5.9 \text{ (焦耳/卡)}$$

$$\text{相对不确定度 } E = \left| \frac{J - J_0}{J_0} \right| \times 100\% = \left| \frac{5.9 - 4.1868}{4.1868} \right| \times 100\%$$

$$\approx 40.9\%$$

误差太大:

$$\approx 41\%$$

由图得趋势线(线性)为 $y = -0.0696x + 32.377$

$$\Delta T = (31.9 - 31.1) = -0.8^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = 19.00 - 5.40 = 13.60 \text{ (分)}$$

$$k = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{-0.8}{13.60} \quad \text{保留1位有效数字}$$

$$\therefore k = -0.07 \text{ (}^\circ\text{C/min)}$$

截距 b 与 T 为加或减关系, $\therefore b$ 取3位有效数字

$$b = 32.4^\circ\text{C}$$

$$\therefore T = -0.07t + 32.4$$

$$\frac{t_1}{2} = 2.70 \text{ 分, 代入上式 } T_f = 32.2^\circ\text{C}$$

$$J = \frac{E}{Q} = \frac{IUt}{\sum mC(T_f - T_0)} \approx 6.1 \text{ (焦耳/卡)}$$

$$E = \left| \frac{J - J_0}{J_0} \right| \times 100\% = 45.7\%$$

八. 误差分析

- ① 搅拌过快, 动能转化为水的内能, 导致实验误差
- ② 未等水温降回室温, 再继续实验, 导致误差过大
- ③ 在 $t = 5.00$ 分后, 因为犹豫, 错过了 t_1 的准确时间
- ④ 同时观察多个仪表, 记录数据不够迅速, 晚记录十几秒

25/10

