

机械学院 2016 年 10 月 30 日 工程力学 专业 一班 姓名 王鑫洋 成绩

实验日期: 10月30日 学号 3016201025 同组实验者 9.1

实验题目: 冷却法测定金属比热容

【实验目的】

1. 了解金属的冷却速率与环境之间的温差关系
2. 牛顿冷却定律分析研究热学实验成败的原因
3. 学会测量金属比热容的方法

【实验仪器】

FB312 型冷却法金属比热容测量仪, 电子天平, 待测铜柱, 铁柱, 铝圆柱等。

【实验原理】

单位质量的物质, 其温度升高 1K (1°C) 所需要的热量叫该物质的比热容。其值随温度而变化。将质量为 m 的金属样品加热后, 放到较低的温度介质中, 样品会逐渐冷却。其单位时间热量损失 ($\frac{\Delta Q}{\Delta t}$) 与温度下降速率成正比, 于是得到下述关系式

$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = C_m \frac{\Delta T}{\Delta t}$ ① 式中 C 为该金属样品在温度 T 时的比热容, $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ 为金属样品在 T 时温度下降速率。根据冷却定律有 $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = a \cdot S \cdot (T_1 - T_0)^n$ ② 式中, a 为热交换系数, S 为该样品外表面的面积, n 为常量, T 为金属样品的温度, T_0 为周围介质的温度。由式①和式②可得

$$C_1 m_1 \frac{\Delta T_1}{\Delta t} = a_1 S_1 (T_1 - T_0)^n \dots ③$$

同理, 对质量为 m_2 , 比热容 C_2 的另一种金属样品, 可能有同样的表达式:

$$C_2 m_2 \frac{\Delta T_2}{\Delta t} = a_2 S_2 (T_2 - T_0)^n \dots ④$$

由式③和式④可得
$$\frac{C_2 m_2 \frac{\Delta T_2}{\Delta t}}{C_1 m_1 \frac{\Delta T_1}{\Delta t}} = \frac{a_2 S_2 (T_2 - T_0)^n}{a_1 S_1 (T_1 - T_0)^n}$$

所以
$$C_2 = C_1 \frac{m_1 \frac{\Delta T_1}{\Delta t} a_2 S_2 (T_2 - T_0)^n}{m_2 \frac{\Delta T_2}{\Delta t} a_1 S_1 (T_1 - T_0)^n}$$

如果两样品的形状尺寸都相同, 即 $S_1 = S_2$; 两样品的表面状况也相同, 而周围介质性质也当然不变, 则有 $a_1 = a_2$ 。于是当周围介质温度不变 (即室温 T_0 恒定而样品又处在相同温度 $T_1 = T_2 = T$) 时, 上式可以简化为

$$C_1 = C_2 \frac{m_1 (\frac{\Delta T_1}{\Delta t})}{m_2 (\frac{\Delta T_2}{\Delta t})}$$

质量 m_1

如果已知标准金属样品比热容 C_1 , 待测样品的质量 m_2 及两样品在温度 T 时冷却速率之比, 就可以求出待测金属比热容 C_2 。

【实验步骤】

1. 用电子天平分别称出铜、铁、铝柱的质量, 选择铜、铁、铝三种样品, 要求几何形状、大小及表面光洁度一致, 用物理天平或电子天平称出它们的质量并记入 $M_{Cu} > M_{Fe} > M_{Al}$ 的顺序将它们分出来。

2. 用铜-康铜测不同温度的温差电动势。

(1) 先将铜柱置于防风筒的热电偶探上, 热电偶的冷端插入盛冰水混合物 (0°C) 的杜瓦瓶内。温差电动势信号线连接到数字电压表输入端。

(2) 开启电源, 预热 10 min, 将加热装置慢慢放下, 罩住样品, 打开加热器电源加热。

3. 测铜、铁、铝的冷却速率

(1) 当铜的温度加热到 110°C (数字电压表示值为 5mV) 时切断加热电源, 升起加热器, 盖上防风筒盖子, 待样品自然冷却。当样品温度降到 102°C 时, 测出样品温度由 102°C 降到 98°C 的时间 Δt (对应数字电压表读数范围 $5.46 \sim 3.99\text{mV}$)。重复多次测量。

如实时放置温差电偶时杜瓦瓶中处于室温中的水, 应对降温范围 $102^\circ\text{C} \sim 98^\circ\text{C}$

天津大学物理实验报告

学院 _____ 年级 _____ 专业 _____ 班 _____ 姓名 _____ 成绩 _____

实验日期: _____ 学号 _____ 同组实验者 _____

实验

实验题目:

的数字电压表读数的变化范围进行补偿

根据温差电偶的中间温度定律, $E(T_1, T_2) + E(T_2, T_3) = E(T_1, T_3)$ 其中 T_1 为待测温度, $T_2 = 0^\circ\text{C}$ 查温度电动势和温度关系分度表, T_1, T_2 的温差电动势值, 即可获得冷端为室温 T_2 时的待测温度对应的温差电动势值。

(2) 更换样品 (用镊子夹取, 切勿用手, 小心烫伤), 按上述要求分别测出 $\Delta t_2, \Delta t_3$ 分别计算三种样品在 100°C 附近的冷却速率 $\frac{\Delta T}{\Delta t} |_{T=100^\circ\text{C}}$

4. 已知铜在 100°C 时的比热容 $c = 393 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$, 取 $\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T_3 = 4^\circ\text{C}$, 自行设计表格, 利用 $C_2 = C_1 \frac{m_1 \Delta t_1}{m_2 \Delta t_2}$, 计算铁和铝在 100°C 附近的比热容, 并计算各测量值的不确定度。

【实验数据】

1. 测量铜、铁、铝的质量 (一次质量)

m_1 (铜)	m_2 (铁)	m_3 (铝)
(g)	(g)	(g)
12.42	11.09	3.88

2. 冷却时间

室温: 20°C $t_0 = 0.732$

~~100~~ 98°C $3.988 - 0.732 = 3.256 \text{ mV}$

~~98~~ 102°C $4.157 - 0.732 = 3.425 \text{ mV}$

次数 时间/s	1	2	3	4	5	6	7	8
Δt_1 (铜)	21.46	21.40	21.80	21.12	21.76	20.63	21.64	22.74
Δt_2 (铁)	23.16	22.29	22.74	24.37	23.14	22.47	24.27	22.15
Δt_3 (铝)	15.40	15.84	16.03	12.64	15.27	16.26	16.06	16.62

天津大学物理实验报告

附 页

【数据处理】

$$\overline{\Delta t_1} = \frac{21.46 + 21.40 + 21.80 + 21.12 + 21.76 + 20.63 + 21.64 + 22.74}{8} = 21.53$$

$$\overline{\Delta t_2} = \frac{\sum_{n=1}^8 \Delta t_{2n}}{8} = 23.07, \quad \overline{\Delta t_3} = \frac{\sum_{n=1}^8 \Delta t_{3n}}{8} = 15.93$$

(由于 Δt_3 数据中第四个数据相比其它数据数值相差较大, 故舍去)

计算 $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$ 的不确定度,

$$\Delta t_1: S_{\Delta t_1} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^8 (\Delta t_{1n} - \overline{\Delta t_1})^2}{8 \times 7}} = 0.214$$

$$U(\overline{\Delta t_1}) = \sqrt{(t_{0.95} S_{\Delta t_1})^2 + (2\Delta/c)^2} = 0.6485 \quad \left(\frac{\Delta}{c} = \frac{0.25}{3} \right)$$

$$\Delta t_2: S_{\Delta t_2} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^8 (\Delta t_{2n} - \overline{\Delta t_2})^2}{8 \times 7}} \approx 0.305$$

$$U(\overline{\Delta t_2}) = \sqrt{(t_{0.95} S_{\Delta t_2})^2 + (2\Delta/c)^2} \approx 0.8935$$

$$\Delta t_3: S_{\Delta t_3} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^7 (\Delta t_{3n} - \overline{\Delta t_3})^2}{7 \times 6}} \approx 0.210$$

$$U(\overline{\Delta t_3}) = \sqrt{(t_{0.95} S_{\Delta t_3})^2 + (2\Delta/c)^2} = 0.6025$$

计算 Fe 和 Al 的比热容 C_2, C_3 不确定度 $U_{m_1} = U_{m_2} = U_{m_3} = 0.029$

$$U_{r_2} = \sqrt{\left(\frac{U_{m_1}}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{U_{m_2}}{m_2}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta t_1}}{\Delta t_1}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta t_2}}{\Delta t_2}\right)^2} = 0.049 \approx 0.05$$

$$U_{r_3} = \sqrt{\left(\frac{U_{m_1}}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{U_{m_3}}{m_3}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta t_1}}{\Delta t_1}\right)^2 + \left(\frac{U_{\Delta t_3}}{\Delta t_3}\right)^2} \approx 0.05$$

天津大学物理实验报告

学院 _____ 年级 _____ 专业 _____ 班 _____ 姓名 _____ 成绩 _____

实验日期: _____ 学号 _____ 同组实验者 _____

实验题目:

Cu, Fe 和 Al 在 100°C 附近的冷却速率

$$Cu: \frac{\Delta T}{\Delta t_1} \Big|_{T=100^\circ C} = \frac{4}{21.53} \approx 0.19^\circ C/s$$

$$Fe: \frac{\Delta T}{\Delta t_2} \Big|_{T=100^\circ C} = \frac{4}{23.07} \approx 0.17^\circ C/s$$

$$Al: \frac{\Delta T}{\Delta t_3} \Big|_{T=100^\circ C} = \frac{4}{15.93} \approx 0.25^\circ C/s$$

Fe, Al 在 100°C 附近的比热容

$$\bar{C}_2 = \frac{G m_1 (\Delta \bar{T}_2)}{m_2 (\Delta T_1)} = \frac{393 \times 12.42 \times 23.07}{11.09 \times 21.53} = 471.61 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ \text{C}^{-1}$$

$$\bar{C}_3 = \frac{G m_1 (\Delta \bar{T}_3)}{m_3 (\Delta T_1)} = \frac{393 \times 12.42 \times 15.93}{3.88 \times 21.53} = 930.80 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ \text{C}^{-1}$$

$$C_2 = (471.61 \pm 23.58) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ \text{C}^{-1}$$

$$C_3 = (930.80 \pm 46.54) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ \text{C}^{-1}$$

天津大学物理实验报告

附 页

$$Er_2 = \left| \frac{\bar{C}_2 - C_{2理}}{C_{2理}} \right| \times 100\% = \left| \frac{471.61 - 460}{460} \right| \times 100\% = 2.52\%$$

$$Er_3 = \left| \frac{\bar{C}_3 - C_{3理}}{C_{3理}} \right| \times 100\% = \left| \frac{930.80 - 962}{962} \right| \times 100\% = 3.24\%$$

综上: 三种样品在 100°C 附近时的冷却速率分别为

$$Cu: 0.19^\circ C/s, Fe: 0.17^\circ C/s, Al: 0.25^\circ C/s$$

铁在 100°C 附近比热容: $(471.61 \pm 23.58) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ \text{C}^{-1}$

铝在 100°C 附近比热容: $(930.80 \pm 46.54) \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ \text{C}^{-1}$

【误差分析】

1. 测量仪器, 电子天平, 温度计, 数字电压表本身误差
2. 室温、空气温度的变化
3. 盖子不严密会使测量时间长短有误差
4. 计时的误差



天津大学

TIANJIN UNIVERSITY

1. 测量铜、铁、铝柱的质量 (一次质量)

室温: 19°C

m_1 (铜)	m_2 (铁)	m_3 (铝)
(g)	(g)	(g)
12.42	11.09	3.88

2. 测量铜、铁、铝冷却速度

次数 时间/s	1	2	3	4	5	6	7	8
Δt_1 (铜)	21.46	21.40	21.80	21.12	21.46	20.63	21.64	22.74
Δt_2 (铁)	23.16	22.29	22.74	24.37	23.14	22.47	24.27	22.15
Δt_3 (铝)	15.40	15.84	16.03	17.64	15.27	16.76	16.06	16.62

0.002

朱文博

61

2017.10.30