

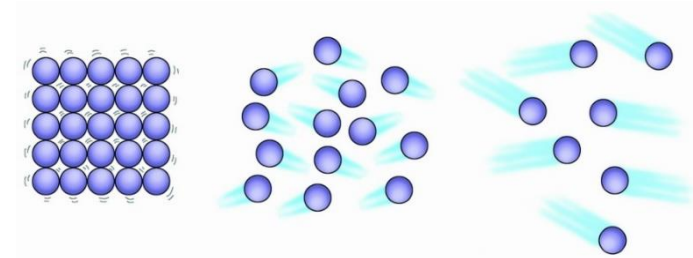
高中物理 (二)

温度与热量

主讲：骆家豪

温度 (temperature)

- 表示一个物体的冷热程度的物理量
- 国际单位：K (凯尔文, Kelvin)



温度越高，水分子的平均动能越高，运动越激烈

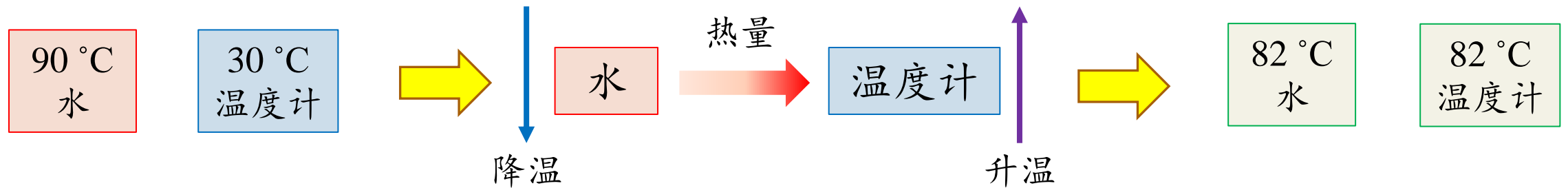


图片来源：<https://sites.google.com/site/anrosphysics/home/topic-5-solids-liquids-and-gases>

- 对于一个物质，在一定的温度下，大量分子的平均动能是一定的。
- 物体分子的平均动能越大 (运动激烈)，温度越高；平均动能越低 (运动缓慢)，温度越低。

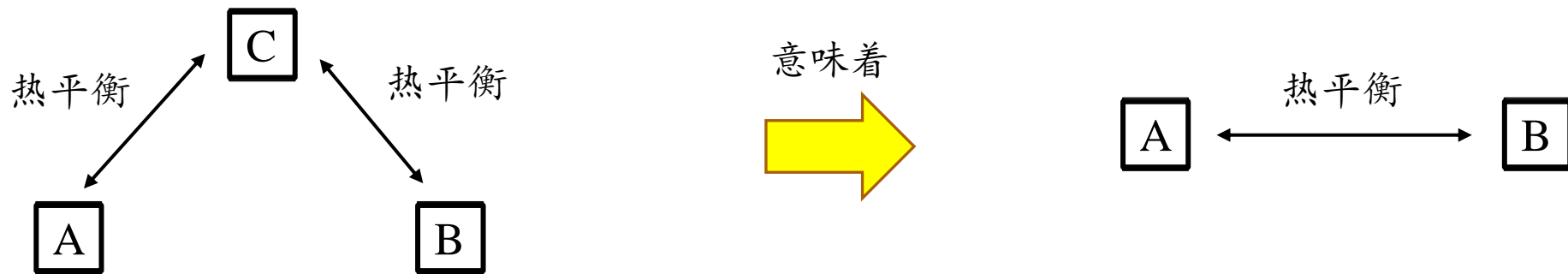
热平衡 (thermal equilibrium)

- 两个温度不同的物体之间会有能量交换。
- 能量交换使高温物体降温，低温物体升温。(热能会从高温区域流至低温区域)
- 直至两个物体有相同的温度后，能量交换终止 (热平衡)。



热力学第零定律 (Zeroth Law of Thermodynamics)

- 定义：若两个物体 (A 和 B) 分别与第三个物体 (C) 处于热平衡状态，此两个物体 (A 和 B) 也处于热平衡状态。
- 也就是说，若 $T_A = T_C$ ， $T_B = T_C$ ，则 $T_A = T_B$ 。
- 热力学最基础的定律，用温度计能测出各种物体温度的基础。



温标 (thermometric scale)

- 规定温度的表示方法。
- 日常生活中常用摄氏温标 (Celsius scale).
 - 把水的冰点和沸点做为标准点/定点, 分别为 0 和 100。
 - 单位: 摄氏度 (degree Celsius), 符号为 °C。
- 工程技术和科学研究上常用热力温标 (thermodynamic scale)
 - 理论上最低温度为 -273.15 °C (绝对零度 – absolute zero)
 - 可称为凯氏温标 (Kelvin scale)
- 换算法: $T_K = T_{\text{°C}} + 273$

$$(T_{\text{K}})_1 = (T_{\text{C}})_1 + 273 \text{ ----- (1)}$$

$$(T_{\text{K}})_2 = (T_{\text{C}})_2 + 273 \text{ ----- (2)}$$

(1) - (2),

$$(T_{\text{K}})_1 - (T_{\text{K}})_2 = (T_{\text{C}})_1 - (T_{\text{C}})_2$$

$$\rightarrow \Delta T_{\text{K}} = \Delta T_{\text{C}} \text{ (**但 } T_{\text{K}} \neq T_{\text{C}})$$

例：若物体的温度从 32 °C 上升至 90 °C，

$$\Delta T_{\text{C}} = (90 - 32) \text{ °C} = 58 \text{ °C}$$

$$32 \text{ °C} = (32 + 273) \text{ K} = 305 \text{ K}$$

$$90 \text{ °C} = (90 + 273) \text{ K} = 363 \text{ K}$$

$$\therefore \Delta T_{\text{K}} = (363 - 305) \text{ K} = 58 \text{ K} = \Delta T_{\text{C}}$$

1. $32 \text{ K} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ }^\circ\text{C}$

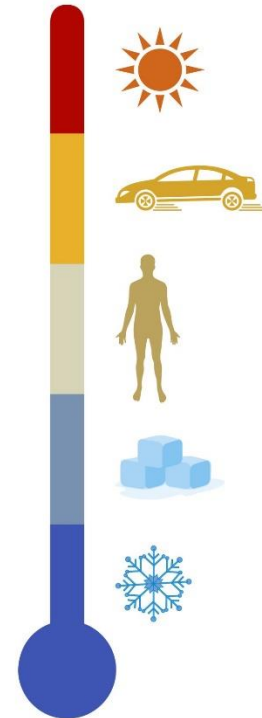
2. $58.2 \text{ }^\circ\text{C} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ K}$

3. $102 \text{ K} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ }^\circ\text{C}$

4. $-145.23 \text{ }^\circ\text{C} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ K}$


5. $0.12 \text{ }^\circ\text{C} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ K}$

6. $2400 \text{ K} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ }^\circ\text{C}$



热和能量守恒定律

- 根据能量守恒定律，能量不会凭空产生且不会被销毁，但能通过一种传递方式从一个形态转变成另一个形态。
- 不同温度的物体之间会有热传递，直至每个物体的温度相同。
- 由于系统(牵涉热传递的物体)内的能量守恒，因此物体吸收的热量等于其他物体释放的热量。

$$\Sigma Q_{\text{吸}} = -\Sigma Q_{\text{放}}$$


由于是计算放热和吸热的热量，两者没有正负之分

$Q_{\text{吸}} > 0$ (因获得热能), $Q_{\text{放}} < 0$ (因失去热能), 放负号使两边同号

热量的测量

- 根据实验, $Q \propto m$
 $\propto \Delta T$

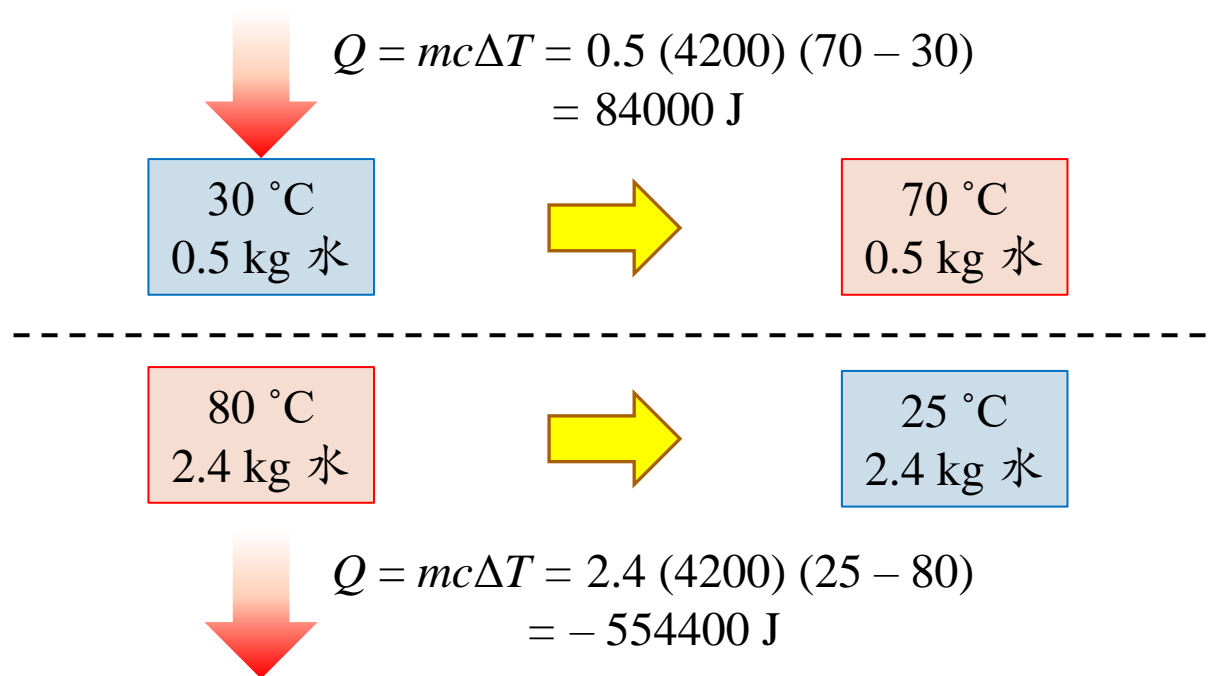
- 因此, $Q = mc\Delta T$

Q : 物体吸收 / 释放的热量

m : 物体的质量

c : 物体的比热容量 (specific heat capacity), 代表着 1 kg 物体的温度上升了 1 °C
或 1 K 时所吸收的热量。(单位: J/kg°C 或 J/kgK)

ΔT : 最终温度和原温度的差 (> 0 表示此热能被吸收, < 0 表示此热能被释放)



例：若把温度为 2 kg 的 300 °C 铅球丢进温度为 15 kg 的 20 °C 水里，且热散失忽略不计，求水的最终温度。

(已知：水的比热容量：4200 J/kgK，铅的比热容量：130 J/kgK)

解：由于 $T_{\text{铅}} > T_{\text{水}}$ ，因此铅球会释放热能且降温，反而水会吸收热能且升温。

铅球释放的热量 ($Q_{\text{铅}}$) = $m_{\text{铅}}c_{\text{铅}}(T - T_1)$

水吸收的热量 ($Q_{\text{水}}$) = $m_{\text{水}}c_{\text{水}}(T - T_2)$

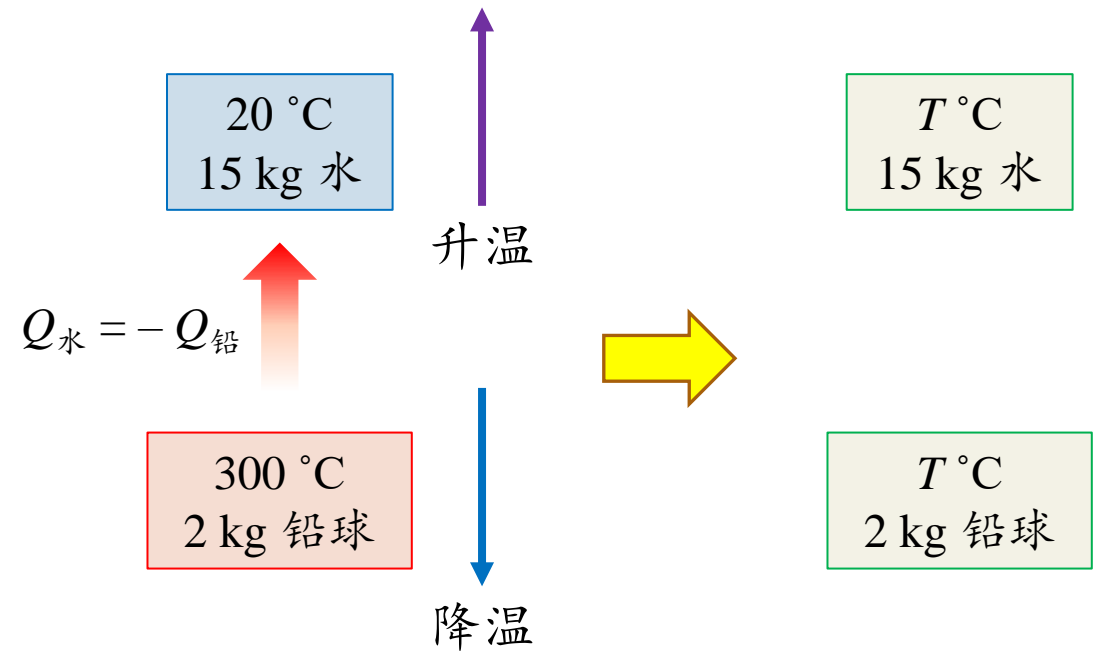
根据能量守恒定律，

$$Q_{\text{gain}} = -Q_{\text{loss}}$$

$$m_{\text{水}}c_{\text{水}}(T - T_2) = m_{\text{铅}}c_{\text{铅}}(T_1 - T)$$

$$15 (4200) (T - 20) = 2 (130) (300 - T)$$

$$T = 21.15 \text{ °C}$$



1. 若把 250 g 的 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水倒进装有 670 g 的 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的热水的铜瓶，且热散失忽略不计，求水的最终温度。
2. 若使用 50 W 的加热器将 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 3 kg 水加热至 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 3 kg 热水，且热散失忽略不计所需的时间为多少？
3. 一 1.5 kg 的 $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ 铜制杯装有 780 g 的 $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热水。若将 200 g 的 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水倒进此杯，且热散失忽略不计，求杯的最终温度。
(铜的比热容量 = $390\text{ Jkg}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
4. 若用 500 W 把 250 g 的 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 海水加热至 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，所需要的时间是多少？
(海水的比热容量 = 3900 J/kgK)
5. 若把 250 g 的 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 海水和 600 g 的 $53\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水混合，且热散失忽略不计，求混合后的最后温度。

热效应与物态变化

- 晶体物质进行相变时，热量被释放/吸收，但温度不变。

- 根据实验， $Q \propto m$ 。因此，若

→ 温度达熔点的晶体物质进行凝固/融化过程，所释放(-)/吸收(+)的热量为： $Q_f = \pm mL_f$

→ 温度达沸点的液态物质进行液化/汽化过程，所释放(-)/吸收(+)的热量为： $Q_v = \pm mL_v$

L_f : 融化潜热 (latent heat of fusion), 1 kg 的晶体物质完全融化成同温度的液态物质所吸收的热量。

(单位: J/kg)

L_v : 汽化潜热 (latent heat of vaporization), 1 kg 的液态物质完全汽化成同温度的气态物质所吸收的热量。

(单位: J/kg)

- 非晶体物质没有一定的熔点和凝固点。

*冰的熔点 = 0 °C
水的沸点 = 100 °C



0.3 kg
0 °C 冰

融化

凝固



0.3 kg
0 °C 水

$$Q = mL_f = 0.3 (3.34 \times 10^5) = 100200 \text{ J}$$

$$Q = -mL_f = -0.3 (3.34 \times 10^5) = -100200 \text{ J}$$



0.3 kg
100 °C 水

汽化

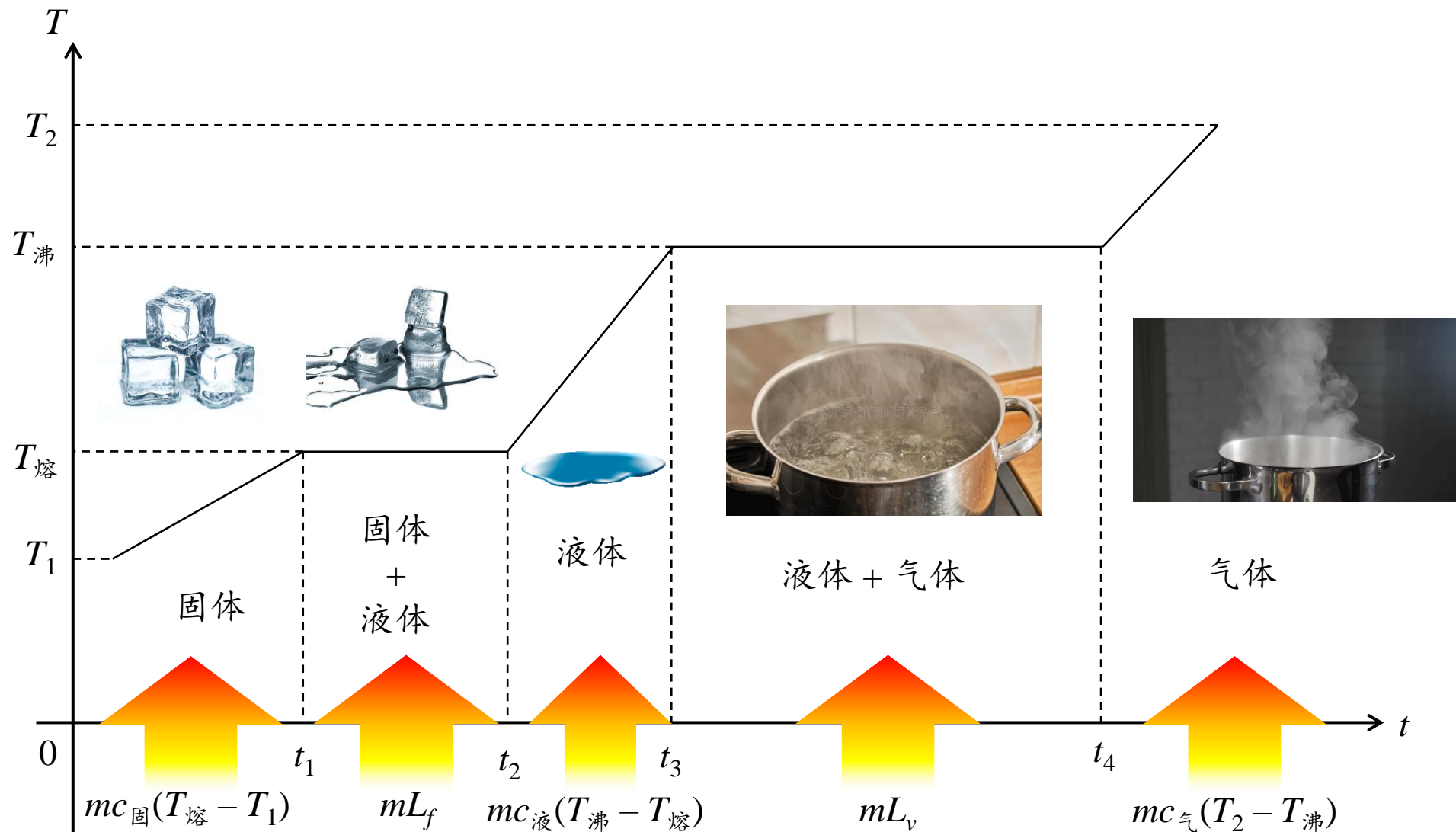
凝聚



0.3 kg
100 °C 水蒸气

$$Q = mL_v = 0.3 (2.26 \times 10^6) = 678000 \text{ J}$$

$$Q = -mL_v = -0.3 (2.26 \times 10^6) = -678000 \text{ J}$$



晶体相变图 (phase diagram)

例：若将 1.5 kg 的 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰完全融化，且热散失忽略不计，所需的 $63\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热水至少为多少？

(冰的比热容量 = $2100\text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ，冰的熔化潜热 = $3.34 \times 10^5\text{ Jkg}^{-1}$ ，水的比热容量 = $4200\text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)

解：由于冰的温度未到熔点，因此需要吸收部分的热量 (Q_1) 来提高温度至熔点。

$$Q_1 = m_1 c_1 \Delta T_1 = 1.5 (2100) [0 - (-10)] = 31500\text{ J}$$

根据相变图，冰到达熔点后再接收热能 (Q_2) 来进行融化过程。

$$Q_2 = m_1 L_f = 1.5 (3.34 \times 10^5) = 501000\text{ J}$$

冰所吸收的热量是从这 $63\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的热水因欲保持热平衡所释放的热量 ($-Q_3$)。(能量守恒定律)

由于是刚好有足够的热水将冰完全融化，并不使冰水的温度增加，因此热水的最终温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (冰的熔点)，

因此

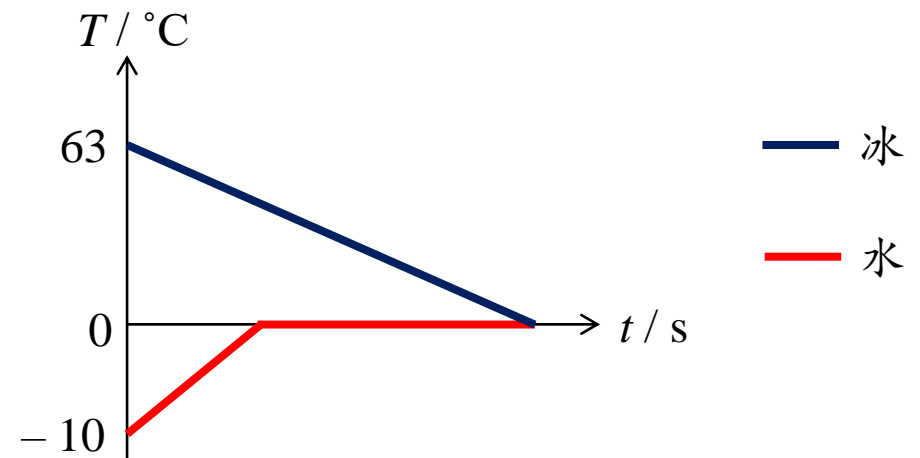
$$Q_3 = m_2 c_2 \Delta T_2 = m_2 (4200) (0 - 63)$$

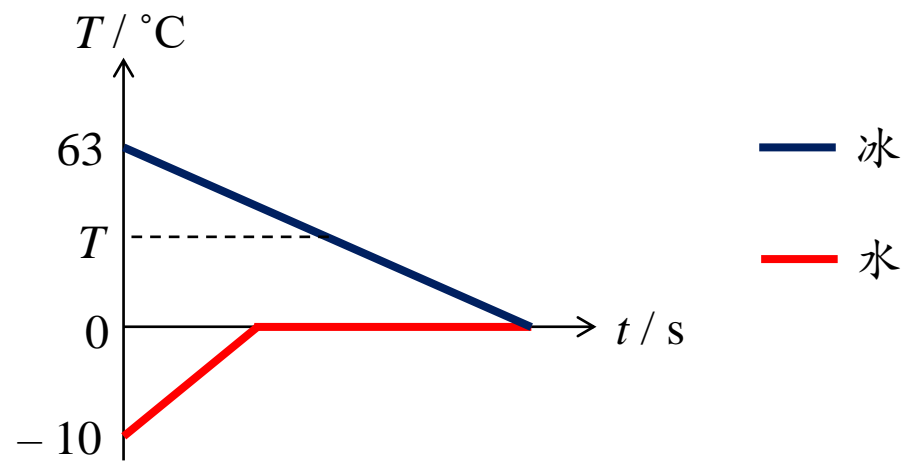
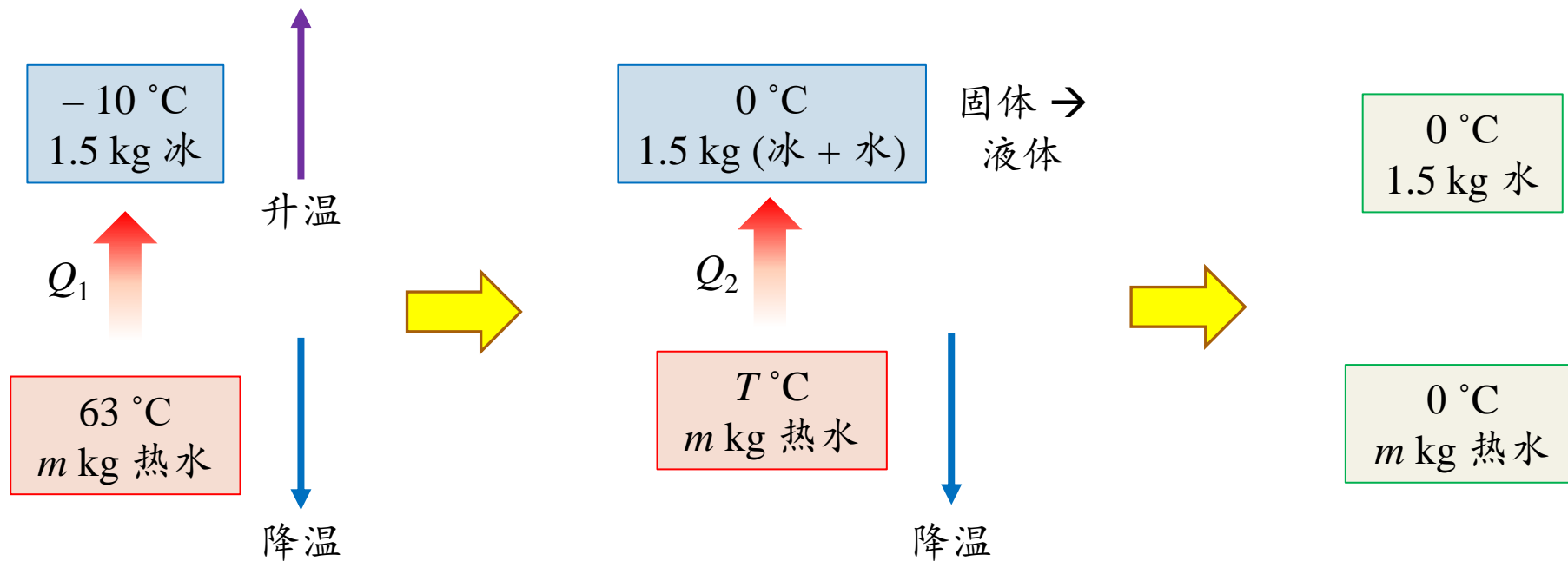
$$\because Q_1 + Q_2 = -Q_3$$

$$31500 + 501000 = -m_2 (4200) (0 - 63)$$

$$m_2 = 2.01\text{ kg}$$

因此，至少需要 2.01 kg 的 $63\text{ }^{\circ}\text{C}$ 热水。





1. 一 80 W 的加热器将 500 g 的 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰加热。根据以下情况求所需的时间：

(i) 500 g 的冰完全融化；

(ii) 已融化的 500 g 冰加热至 $63\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

(iii) 500 g 的冰完全蒸发。

(水的汽化潜热 = $2.26 \times 10^6\text{ Jkg}^{-1}$ ，热散失忽略不计。)

2. 一 440 W 的热水器将 48 % 的 2.3 kg 的 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰完全融化，至少需要多长的时间？

3. 一 500 g 的 $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 铁球被丢进装有 3 kg 的 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水里，一部分的水被蒸发。

(i) 若热损失忽略不计，求被蒸发的水的质量。

(ii) 若在热传递的过程中，有 15% 的热量损失，求被蒸发的水的质量。

(铁的比热容量 = $460\text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$)