# อุณหพลศาสตร์
# หรือเทอร์โมไดนามิกส์ (Themodynamics)
# (ต่อ)

# หน่วยของความร้อน

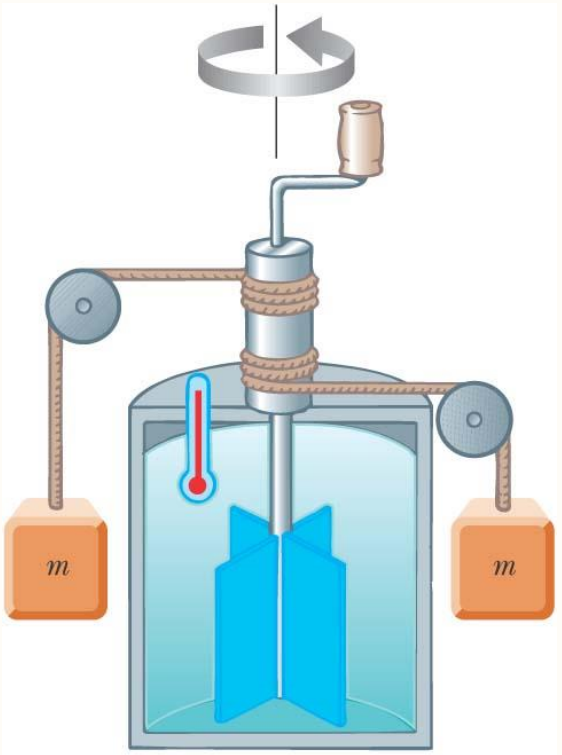
– ในระบบ SI หน่วยของความร้อน คือ

*จูล(Joules : J)*

James Prescott Joule
British physicist (1818–1889)

# หน่วยของความร้อน (ต่อ)

- แคลอรี (calorie : cal)
- ปริมาณความร้อน 1 cal คือปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 14.5 องศาเซลเซียส เป็น 15.5 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 atm
- 1 cal = 4.186 J



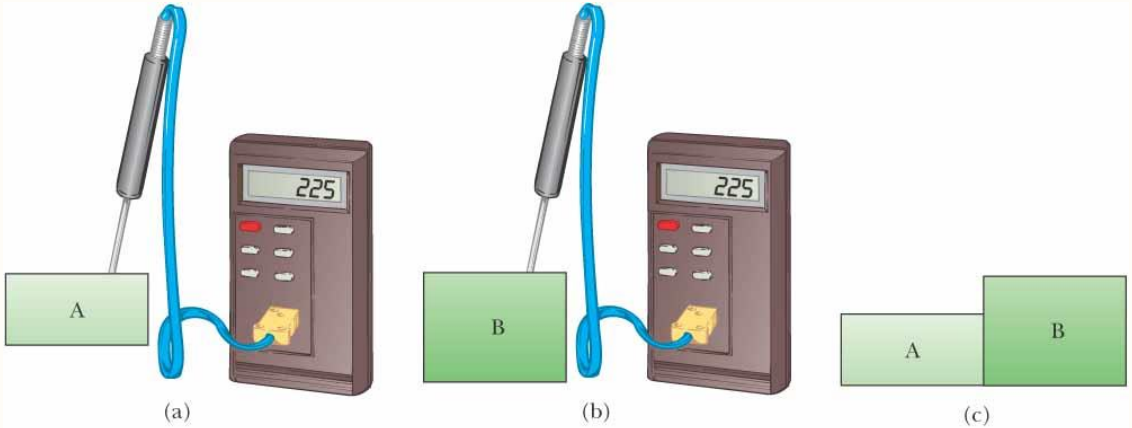
© 2004 Thomson/Brooks Cole

# หน่วยของความร้อน(ต่อ)

- หน่วยในระบบบริทิช (British Unit)
  - British thermal unit(Btu)
  - ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำหนัก 1 ปอนด์มีอุณหภูมิเพิ่มจาก 63 องศาฟาเรนไฮต์ เป็น 64 องศาฟาเรนไฮต์
  - 1 Btu = 252 cal

# อุณหภูมิและความร้อน
# (Temperature and Heat)

- สมดุลความร้อน(thermal equilibrium)
  - กฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์(The Zeroth Law of Thermodynamics)
    - *“ ถ้าวัตถุ A และวัตถุ B ต่างก็อยู่ในสมดุลความร้อนกับวัตถุ C แล้ววัตถุ A และวัตถุ B จะอยู่ในสมดุลความร้อนซึ่งกันและกันด้วย ”*



# อุณหภูมิและความร้อน
# (Temperature and Heat)

## –เทอร์โมมิเตอร์(thermometer)

# อุณหภูมิและความร้อน
# (Temperature and Heat)

- เทอร์โมมิเตอร์(thermometer)
  - *ขีดสเกลบนท่อ แบ่งเป็น 100 ช่วงเท่า ๆ กัน*
  - *จุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์อยู่ที่ศูนย์ และระดับที่อุณหภูมิ ณ จุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์อยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส*
  - *แต่ละช่วงเรียกว่า องศา (degree)*
  - *สเกลนี้เรียกว่า สเกลเซลเซียส (Celsius temperature scale)*
  - *หน่วยที่ใช้บอกอุณหภูมิ คือ องศาเซลเซียส* $^{0}C$

# อุณหภูมิและความร้อน
# (Temperature and Heat)

## –เทอร์โมมิเตอร์(thermometer)

– *สเกลฟาเรนไฮต์(Fahrenheit Temperature Scale)*

– *จุดเยือกแข็งของน้ำอยู่ที่ 32 องศาฟาเรนไฮต์*

– *จุดเดือดของน้ำอยู่ที่ 212 องศาฟาเรนไฮต์*

– *จุดเยือกแข็งและจุดเดือดของน้ำจะอยู่ห่างกัน 180 องศาฟาเรนไฮต์*

– *จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างสเกลฟาเรนไฮต์กับสเกลเซลเซียส คือ*

$$T_{\mathrm{F}} = \frac{9}{5} T_{\mathrm{C}} + 32^{\circ}\mathrm{F}$$

$$\Delta T_{\mathrm{C}} = \Delta T = \frac{5}{9} \Delta T_{\mathrm{F}}$$

# อุณหภูมิและความร้อน
# (Temperature and Heat)

- อุณหภูมิในสเกลเคลวินหรือสเกลสัมบูรณ์ (Kelvin or Absolute Temperature Scale )
  - *อุณหภูมิเป็น 0 K ที่ความดันเป็น 0*
  - *เรียกสเกลนี้ว่า สเกลเคลวิน หรือ สเกลสัมบูรณ์ (Absolute scale)*
  - *0 K = -273.15 องศาเซลเซียส นั่นคือ* $T_C = T - 273.15$

# Example 1 : การแปลงหน่วย

อุณหภูมิ ณ วันหนึ่งที่ดอยเชียงดาวเท่ากับ 50 °F, จงเปลี่ยนให้เป็นองศาเซลเซียส และเคลวิน ?

<u>วิธีทำ</u>

$$T_{\mathrm{C}} = \tfrac{5}{9}(T_{\mathrm{F}} - 32) = \tfrac{5}{9}(50 - 32)$$

$$= 10^{\circ}\mathrm{C}$$

$$T = T_{\mathrm{C}} + 273.15 = 10^{\circ}\mathrm{C} + 273.15 = 283\ \mathrm{K}$$

## Example 2 : การแปลงหน่วย

น้ำต้มในหม้อมีอุณหภูมิเพิ่มจาก 25 °C ถึง 80 °C. จงเปลี่ยนอุณหภูมิเป็นเคลวิน และ Fahrenheit ?

**<u>วิธีทำ</u>**

$$\Delta T = \Delta T_{\mathrm{C}} = 80°\mathrm{C} - 25°\mathrm{C} = 55°\mathrm{C} = 55\ \mathrm{K}$$

$$\Delta T_{\mathrm{F}} = \frac{9}{5}\Delta T_{\mathrm{C}} = \frac{9}{5}(55°\mathrm{C}) = 99°\mathrm{F}$$

# แบบฝึกหัดในชั้นเรียน

จงแปลงอุณหภูมิต่อไปนี้ให้อยู่ในสเกลเซลเซียส

ก. 32 ฟาเรนไฮต์

ข. 98.6 ฟาเรนไฮต์

ค. - 40 ฟาเรนไฮต์

# การขยายตัวตามอุณหภูมิหรือความร้อน (Thermal Expansion)

- การขยายตัวเชิงเส้น (Linear Expansion)
- การขยายตัวเชิงพื้นที่ (Area Expansion)
- การขยายตัวเชิงปริมาตร (Volume Expansion)

# การขยายตัวเชิงเส้น
# (Linear Expansion)

– ความยาวที่เปลี่ยนไปของวัตถุ( $\Delta L$ )จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป( $\Delta T$ ) และความยาวตั้งต้น( $L_i$ ) เมื่อ $\Delta T \ (<\sim 100^{\circ}\mathrm{C})$

หรือ $$L_f - L_i = \alpha L_i (T_f - T_i)$$

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T$$

– โดยที่ $\alpha$ คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น $$\alpha \equiv \frac{\Delta L / L_i}{\Delta T}$$

– มีหน่วยเป็น $(^{\circ}\mathrm{C})^{-1}$.

# ตารางแสดงตัวอย่างสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น

**Table 19.1**

**Average Expansion Coefficients for Some Materials Near Room Temperature**

| Material | Average Linear Expansion Coefficient $(\alpha)(^\circ C)^{-1}$ | Material | Average Volume Expansion Coefficient $(\beta)(^\circ C)^{-1}$ |
|---|---|---|---|
| Aluminum | $24 \times 10^{-6}$ | Alcohol, ethyl | $1.12 \times 10^{-4}$ |
| Brass and bronze | $19 \times 10^{-6}$ | Benzene | $1.24 \times 10^{-4}$ |
| Copper | $17 \times 10^{-6}$ | Acetone | $1.5 \times 10^{-4}$ |
| Glass (ordinary) | $9 \times 10^{-6}$ | Glycerin | $4.85 \times 10^{-4}$ |
| Glass (Pyrex) | $3.2 \times 10^{-6}$ | Mercury | $1.82 \times 10^{-4}$ |
| Lead | $29 \times 10^{-6}$ | Turpentine | $9.0 \times 10^{-4}$ |
| Steel | $11 \times 10^{-6}$ | Gasoline | $9.6 \times 10^{-4}$ |
| Invar (Ni–Fe alloy) | $0.9 \times 10^{-6}$ | Air[a] at 0°C | $3.67 \times 10^{-3}$ |
| Concrete | $12 \times 10^{-6}$ | Helium[a] | $3.665 \times 10^{-3}$ |

[a] Gases do not have a specific value for the volume expansion coefficient because the amount of expansion depends on the type of process through which the gas is taken. The values given here assume that the gas undergoes an expansion at constant pressure.

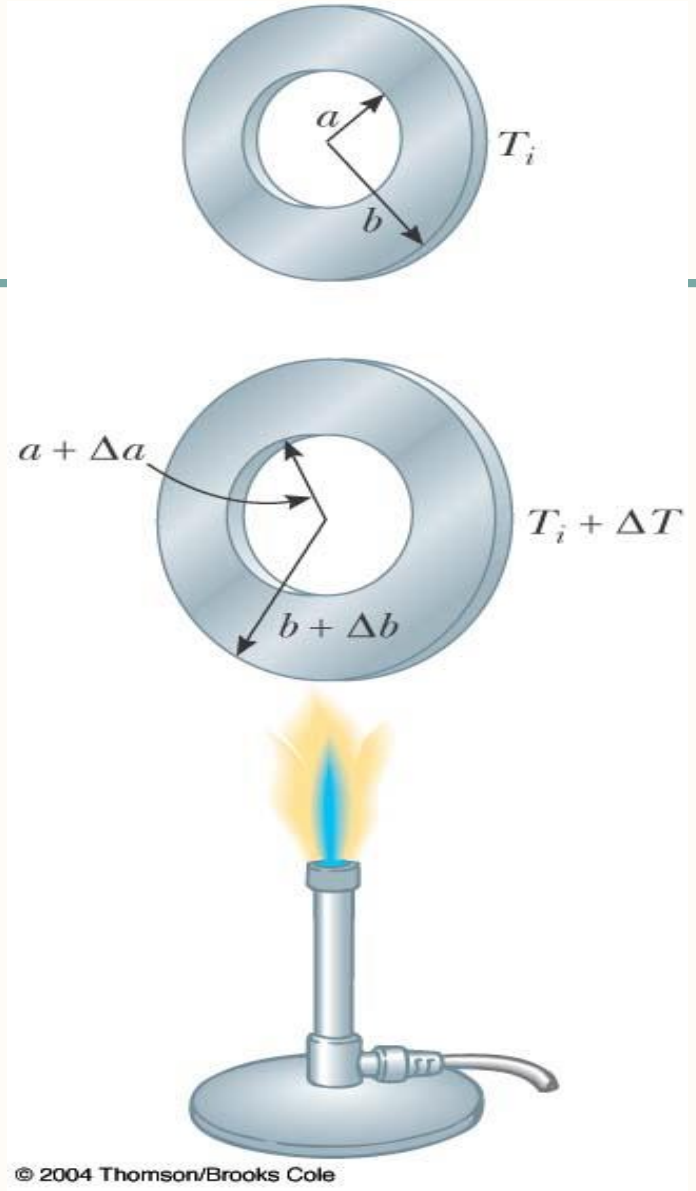
© 2004 Thomson/Brooks Cole

# การขยายตัวเชิงพื้นที่
# (Area Expansion)

- พื้นที่ที่เปลี่ยนไปของวัตถุจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปและพื้นที่ตั้งต้น
- วงแหวนเหล็กถูกเผาไฟ
- รัศมีของรูจะเพิ่มขึ้นในทุกทิศทุกทาง

$$\Delta A = \gamma A_i \Delta T$$

$$\Delta A = 2\alpha A_i \Delta T$$



# การขยายตัวเชิงปริมาตร (Volume Expansion)

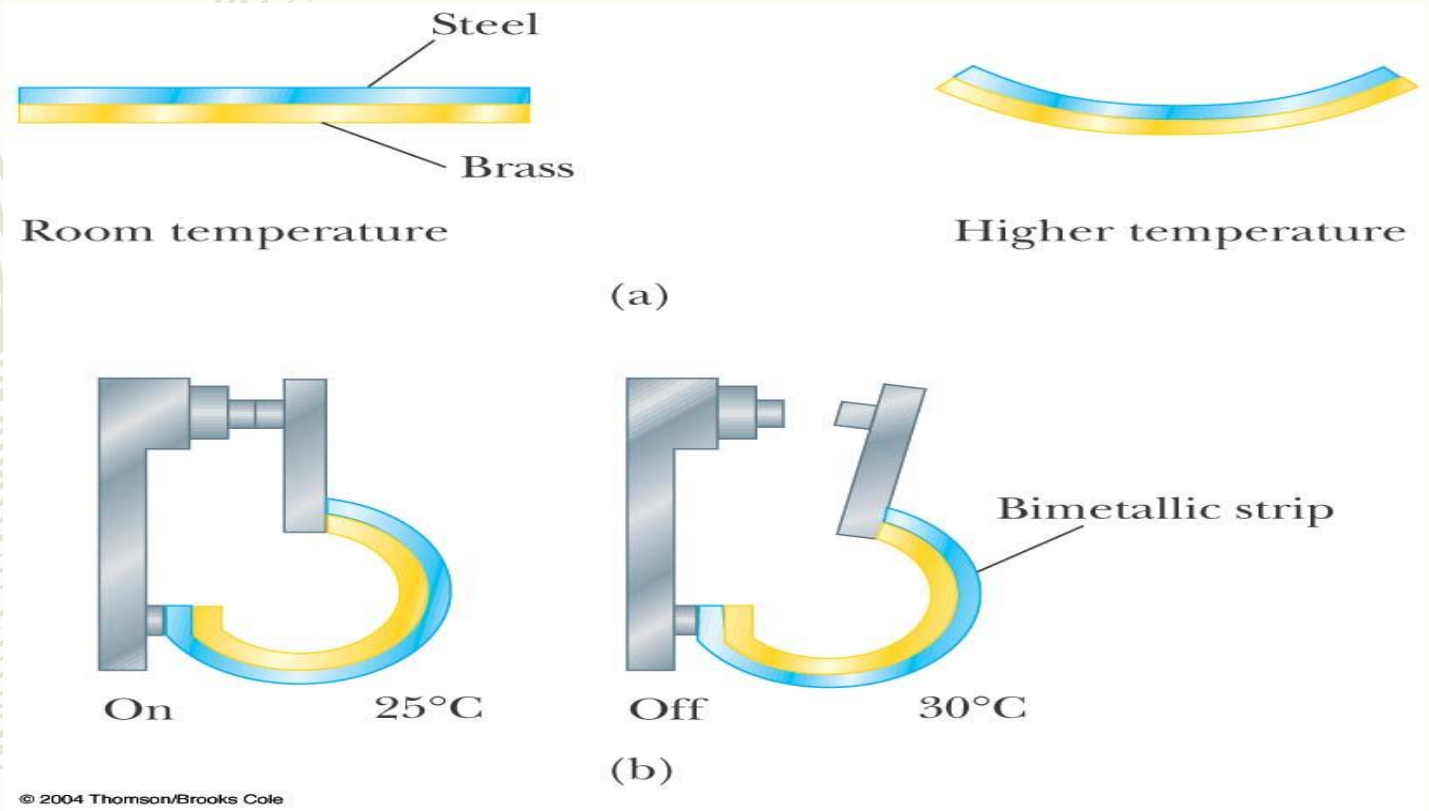
- ปริมาตรที่เปลี่ยนไปของวัตถุ( $\Delta V$ ) จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป( $\Delta T$ )และปริมาตรตั้งต้น ( $V_i$ )

$$\Delta V = \beta V_i \Delta T$$

- $\beta$ คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร
- โดยที่ $3\alpha = \beta$

# ประโยชน์ : การขยายตัวตามอุณหภูมิหรือความร้อน

# ประโยชน์ : การขยายตัวตามอุณหภูมิหรือความร้อน



# ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity)

- แทนปริมาณความร้อน ที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ $Q$
- ความจุความร้อน (heat capacity, C,)

$$Q = C\Delta T$$

- ความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat capacity) หรือ ความร้อนจำเพาะ (specific heat)

$$Q = mc\Delta T$$

$$c \equiv \frac{Q}{m\Delta T}$$

# ความจุความร้อนโมลาร์ (Molar Heat Capacity)

- บางครั้งสะดวกกว่าในการบอกปริมาณของสาร โดยใช้ จำนวนโมล (mole) n แทนที่จะใช้ มวล(mass) m
- จากวิชาเคมี หนึ่งโมล มี $6.02 \times 10^{23}$ โมเลกุล
- มวลโมลาร์ (molar mass) หรือ มวลโมเลกุล(molecular weight) M ของสารใด ๆ คือ มวลของสารหนึ่งโมล

$$m = nM$$

- เช่น มวลโมลาร์ ของน้ำ 18.0 g/mol หมายถึงน้ำ 1 โมลจะมีมวลเท่ากับ 18.0 g

# ความจุความร้อนโมลาร์ (Molar Heat Capacity)

จาก $m = nM$

แทนค่าด้วย $Q = mc\Delta T$

จะได้ $\boxed{Q = nC\Delta T}$

เมื่อ C = Mc

# ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity)

- **ถ้าระบบมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น :**
  - $Q$ และ $\Delta T$ เป็นบวก
  - พลังงานจะถ่ายโอนเข้าสู่ระบบ
- **ถ้าระบบมีอุณหภูมิลดลง:**
  - $Q$ และ $\Delta T$ มีค่าเป็นลบ
  - พลังงานจะถ่ายโอนออกจากระบบ

# ตัวอย่างความจุความร้อนจำเพาะ

**Specific Heats of Some Substances at 25°C and Atmospheric Pressure**

| Substance | Specific heat $c$ J/kg · °C | Specific heat $c$ cal/g · °C |
|---|---|---|
| *Elemental solids* | | |
| Aluminum | 900 | 0.215 |
| Beryllium | 1 830 | 0.436 |
| Cadmium | 230 | 0.055 |
| Copper | 387 | 0.092 4 |
| Germanium | 322 | 0.077 |
| Gold | 129 | 0.030 8 |
| Iron | 448 | 0.107 |
| Lead | 128 | 0.030 5 |
| Silicon | 703 | 0.168 |
| Silver | 234 | 0.056 |
| *Other solids* | | |
| Brass | 380 | 0.092 |
| Glass | 837 | 0.200 |
| Ice (− 5°C) | 2 090 | 0.50 |
| Marble | 860 | 0.21 |
| Wood | 1 700 | 0.41 |
| *Liquids* | | |
| Alcohol (ethyl) | 2 400 | 0.58 |
| Mercury | 140 | 0.033 |
| Water (15°C) | 4 186 | 1.00 |
| *Gas* | | |
| Steam (100°C) | 2 010 | 0.48 |

# กฎการอนุรักษ์พลังงาน : แคลอรีมิเตอร์

- กฎการอนุรักษ์พลังงาน
  - หาอุณหภูมิผสม

$$Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}}$$

  - จากสมการ $Q = mc\Delta T$

# ตัวอย่าง 3

กล่องโลหะมวล 0.5 กิโลกรัม ถูกทำให้ร้อนขึ้น 200 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปใส่ในพาชนะบรรจุมีน้ำมวล 0.4 กิโลกรัม ซึ่งเริ่มต้น 20 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสุดท้ายที่เข้าสู่สมดุลเท่ากับ 22.4 องศาเซลเซียส จงหาค่าความจุความร้อนจำเพาะของกล่องโลหะนี้

$$Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}} \qquad Q = mc\Delta T$$

$$m_w c_w (T_f - T_w) = -m_x c_x (T_f - T_x)$$

$$(0.400\ \text{kg})(4\,186\ \text{J/kg}\cdot^\circ\text{C})(22.4^\circ\text{C} - 20.0^\circ\text{C})$$

$$= -(0.050\ 0\ \text{kg})(c_x)(22.4^\circ\text{C} - 200.0^\circ\text{C})$$

From this we find that

$$c_x = 453\ \text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

# การเปลี่ยนสถานะและความร้อนแฝง

# (Phase Changes and Latent Heat)

- **สถานะ(phase)**
  - ของแข็ง , ของเหลว , ก๊าซ
  - การเปลี่ยนสถานะจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่ง เรียกว่า phase change หรือ phase transition
  - การเปลี่ยนสถานะเกิดขึ้น ณ อุณหภูมิหนึ่ง (นั่นคือ อุณหภูมิไม่เปลี่ยน)
  - เช่นการละลายของน้ำแข็ง
    - *ต้องใส่ความร้อนเข้าไปเพื่อเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของแข็งไปเป็นของเหลว ความร้อนที่ใช้นี้เรียกว่า ความร้อนแฝง(latent heat)*

# การเปลี่ยนสถานะและความร้อนแฝง
# (Phase Changes and Latent Heat)

## ความร้อนแฝง (latent heat)

- ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว(latent heat of fusion)
- ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ(latent heat of vaporization)

$$L \equiv Q/m$$

$$Q = \pm mL$$

# ค่าความร้อนของการเปลี่ยนสถานะ

**Table 20.2**

**Latent Heats of Fusion and Vaporization**

| Substance | Melting Point (°C) | Latent Heat of Fusion (J/kg) | Boiling Point (°C) | Latent Heat of Vaporization (J/kg) |
|---|---|---|---|---|
| Helium | − 269.65 | $5.23 \times 10^3$ | − 268.93 | $2.09 \times 10^4$ |
| Nitrogen | − 209.97 | $2.55 \times 10^4$ | − 195.81 | $2.01 \times 10^5$ |
| Oxygen | − 218.79 | $1.38 \times 10^4$ | − 182.97 | $2.13 \times 10^5$ |
| Ethyl alcohol | − 114 | $1.04 \times 10^5$ | 78 | $8.54 \times 10^5$ |
| Water | 0.00 | $3.33 \times 10^5$ | 100.00 | $2.26 \times 10^6$ |
| Sulfur | 119 | $3.81 \times 10^4$ | 444.60 | $3.26 \times 10^5$ |
| Lead | 327.3 | $2.45 \times 10^4$ | 1 750 | $8.70 \times 10^5$ |
| Aluminum | 660 | $3.97 \times 10^5$ | 2 450 | $1.14 \times 10^7$ |
| Silver | 960.80 | $8.82 \times 10^4$ | 2 193 | $2.33 \times 10^6$ |
| Gold | 1 063.00 | $6.44 \times 10^4$ | 2 660 | $1.58 \times 10^6$ |
| Copper | 1 083 | $1.34 \times 10^5$ | 1 187 | $5.06 \times 10^6$ |

# การส่งผ่านความร้อน
# (Heat transfer)

- การนำความร้อน(conduction)
- การพาความร้อน(convection)
- การแผ่รังสี(radiation)

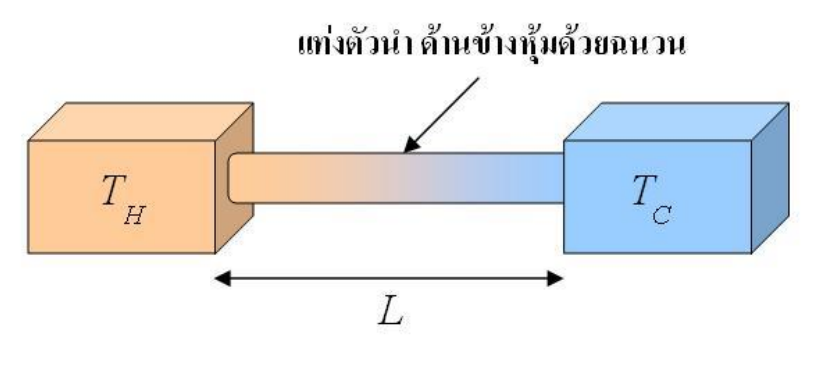
# การนำความร้อน (Conduction)

- การนำความร้อนเป็นผลเนื่องจากการชนระหว่างโมเลกุลหรืออะตอมในเนื้อสาร (molecular collision)
- เกิดขึ้นระหว่างบริเวณที่มีอุณหภูมิต่างกันเท่านั้น
- ทิศทางของการไหลของความร้อนจะต้องไปจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ

A pan of boiling water sits on a stove burner. Energy enters the water through the bottom of the pan by thermal conduction.

# การนำความร้อน (Conduction)

- การนำความร้อนในแท่งตัวนำ
- พิจารณาแท่งตัวนำความร้อนที่มีพื้นที่หน้าตัด A และยาว L




- ปริมาณความร้อน dQ ถูกส่งผ่านไปแท่งวัตถุนี้ภายในเวลา dt
  - อัตราการไหลของความร้อนคือ dQ/dt
  - อัตราการไหลของความร้อนนี้เรียกว่า กระแสความร้อน (heat current)

# การพาความร้อน (Convection)

– การพาความร้อนเกิดขึ้นในสสารหรือตัวกลางที่เป็นของไหล โดยการเคลื่อนที่ของมวล ของของไหลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง

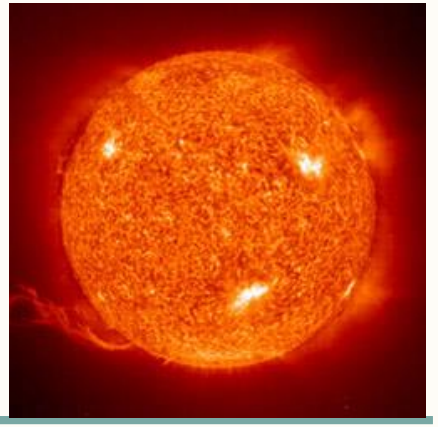
– เครื่องทำความร้อน(Radiator) ทำให้ห้องอบอุ่นด้วย***การพาความร้อน***

– *อากาศเหนือเครื่องทำความร้อนได้รับความร้อน*

– *มีการขยายตัว ความหนาแน่นลดลง*

– *อากาสลอยตัวสูงขึ้น (ตามหลักของการลอยตัว)*

# การแผ่รังสี(Radiation)



- การแผ่รังสีเป็นการส่งผ่านความร้อนโดย ***<u>คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า</u>***
- วัตถุทุกชนิด(อุณหภูมิสูงกว่า 0 K)
  - จะแผ่รังสีออกมาในทุกช่วงความยาวคลื่น
  - แต่จะมีความยาวคลื่นค่าหนึ่งที่พลังงานถูกแผ่ออกมามากที่สุด ซึ่งความยาวคลื่นนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิของวัตถุเพิ่มขึ้น ความยาวคลื่นจะลดลง