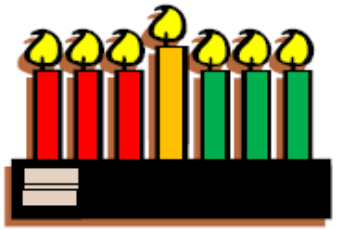
Chapter 5 อุณหพลศาสตร์
สมบัติของสสาร ปรากฏการณ์ของความร้อน



รัตนาภรณ์ สมฤทธิ์

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

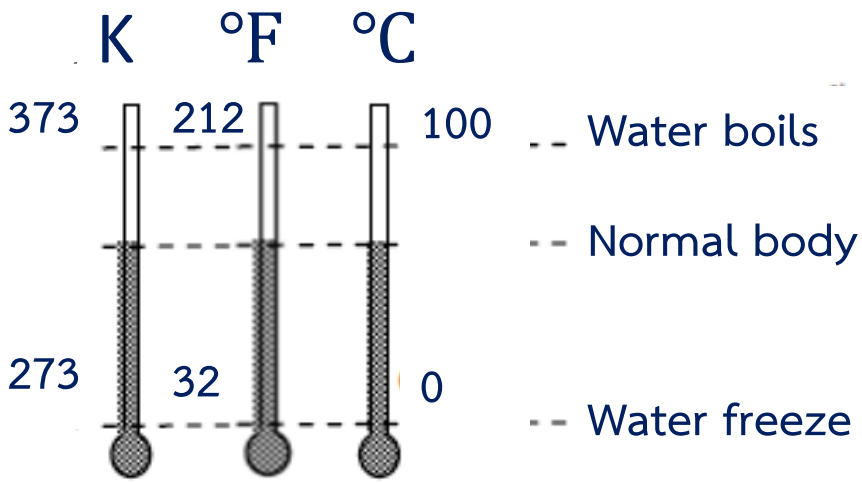
มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

อุณหพลศาสตร์

- อุณหพลศาสตร์ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความร้อนและอุณหภูมิ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสสารตามสถานะต่างๆ เช่น ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ

อุณหภูมิ

- อุณหภูมิ เป็นตัวบอกระดับความร้อนของวัตถุ อุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ คือ เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)



$$K = C + 273$$

$$\frac{C}{5} = \frac{R}{4} = \frac{K-273}{5} = \frac{F-32}{9}$$

อุณหภูมิสัมบูรณ์ จะบอกปริมาณพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารนั้น และขีดจำกัดล่างของอุณหภูมิสัมบูรณ์กำหนดไว้ที่ศูนย์สัมบูรณ์ซึ่งตรงกับ -273.16 ℃

ความร้อน (Heat)

เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่เกิดขึ้นและสามารถเปลี่ยนแปลงหรือรับพลังงานมาจากพลังงานรูปอื่นๆได้ ซึ่ง**วัตถุจะมีความร้อนมาก/น้อยขึ้นกับ**

-มวลของวัตถุ ;m (ถังเก็บปริมาณความร้อน)

-อุณหภูมิ ;T (การถ่ายเทความร้อนของวัตถุ2วัตถุที่มีอุณหภูมิต่างกัน $\Delta T \alpha \Delta Q$

-ค่าคงที่ของพลังงานความร้อน ; c และ C (จะเปลี่ยนตามชนิดวัตถุ)

+ความจุความร้อน (Heat capacity) ;C ปริมาณพลังงานความร้อนที่ทำให้สารใดๆมีอุณหภูมิเปลี่ยนไปจากเดิม 1K หน่วย J/K $\Delta Q = C\Delta T$

ใช้ c= C/m เมื่อหาค่าความจุความร้อนต่อมวล 1kg $\Delta Q = mc\Delta T$

+ความจุความร้อนของโมเลกุล ;Mc=C หน่วย J/mole.K หรือCal/mole°C

$m = nM$ ← มวลของ 1 โมเลกุล

โมล

$\Delta Q = mc\Delta T = nMc\Delta T = nC\Delta T$

+ความร้อนแฝงจำเพาะ ; L ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารเปลี่ยนสถานะ J/kg.K

ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว

$$\Delta Q = mL_f$$

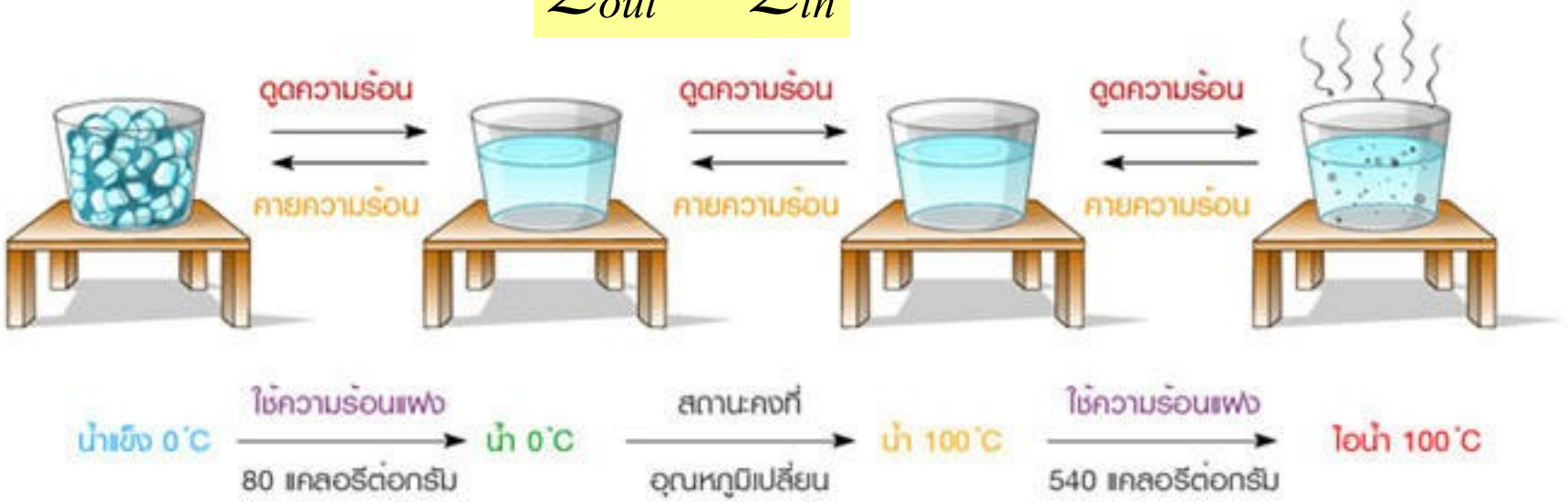
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

$$\Delta Q = mL_v$$

$c_{น้ำ} = 4.19 \times 10^3$ J/kg-K $= 1$ cal/g°c

$L_{น้ำแข็ง} = 334 \times 10^3$ J/kg $= 80$ cal/g $\quad L_{ไอน้ำ} = 2{,}256 \times 10^3$ J/kg $= 540$ cal/g

$$Q_{out} = Q_{in}$$



www.electron.rmutphysics.com

ตัวอย่าง จงหาพลังงานความร้อนที่ทำให้ลวดทองแดงมวล 100g ที่อุณหภูมิ 25 °C ($c_{ทองแดง}$=390J/kg K)

ก.มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 45 °C

ข.มีอุณหภูมิลดลงเป็น 15 °C

ตัวอย่าง จงหาพลังงานความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำ 1 kg ซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้น 20 °C ให้เดือดและระเหยกลายเป็นไอทั้งหมด

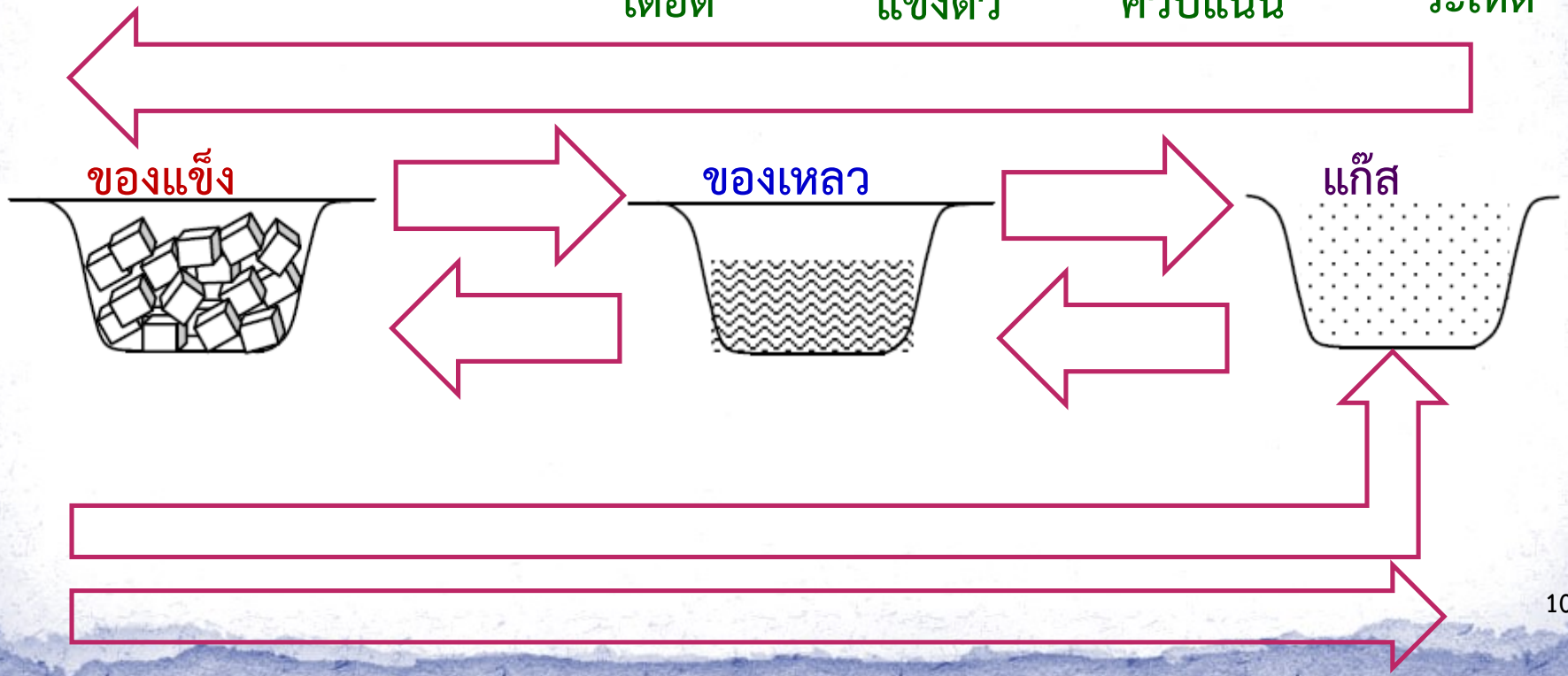
<u>ตัวอย่าง</u> ไอน้ำมวล 100g อุณหภูมิ 100 °C ต้องคายพลังงานความร้อนออกมาเท่าไร จึงจะกลายเป็นน้ำทั้งหมดที่ 90 °C ($c_{น้ำ}$=4190J/kg K, $L_{vน้ำ}$=2256x10^3J/kg)

<u>ตัวอย่าง</u> เหล็กเส้นมวล 200 g ถูกเผาให้ร้อนจนมีอุณหภูมิ 300 °C จุ่มลงในน้ำมวล 1 kg อุณหภูมิ 20 °C เมื่อตั้งทั้งไว้สุดท้าย อุณหภูมิทั้งสองเป็นเท่าใด ($c_{เหล็ก}$=500J/kg K, $c_{น้ำ}$=4190J/kg K)

<u>ตัวอย่าง</u> กระป๋องอะลูมิเนียมมวล 1kg บรรจุน้ำ 2kg อุณหภูมิ 20 °C ถ้าใส่ก้อนทองแดงมวล 1kg อุณหภูมิ 200°C ลงไปในน้ำจะมีอุณหภูมิสุดท้ายเป็นเท่าไร ($c_{\text{อะลูมิเนียม}}$=1000J/kg K, $c_{\text{น้ำ}}$=4190J/kg K, $c_{\text{ทองแดง}}$=400J/kg K)

การขยายตัวของวัตถุเนื่องจากความร้อน

- วัตถุเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวทำให้ความยาว หรือพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลภายในของวัตถุมีการเคลื่อนที่ มากขึ้น/น้อยลด ทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลมี มากขึ้น/น้อยลด การขยายตัวหรือหดตัวเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสาร สารเดียวกัน ขนาดเท่ากันจะขยายหรือหดตัวเท่ากัน/ไม่เท่ากันเมื่อรับหรือคายความร้อนเท่ากัน แต่สารต่างชนิดกันจะ.....คายความร้อน รับความร้อน หลอมเหลว เดือด แข็งตัว ควบแน่น ระเหิด



การขยายตัวของวัตถุเนื่องจากความร้อนแบ่งเป็น 3 ลักษณะ

- **การขยายตัวตามเส้น**

$$\Delta L = \alpha L \Delta t$$

เมื่อ L แทนความยาวเดิม

ΔL แทนความยาวที่เปลี่ยนไป

$$L - L_0 = \alpha L_0 \Delta t$$

$$L = L_0(1 + \alpha \Delta t)$$

เมื่อ L แทนความยาวที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

L_0 แทนความยาวที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส

α สัมประสิทธิ์ของการขนานตัวตามเส้น $(/^{\circ}C)$

- **การขยายตัวตามพื้นที่**

$$\Delta A = \beta A \Delta t$$

$$A = A_0(1 + \beta \Delta t)$$

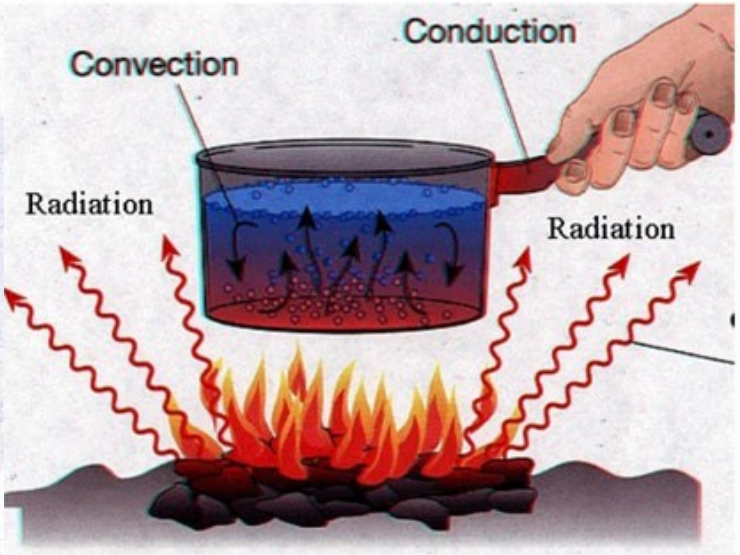
- **การขยายตัวตามปริมาตร**

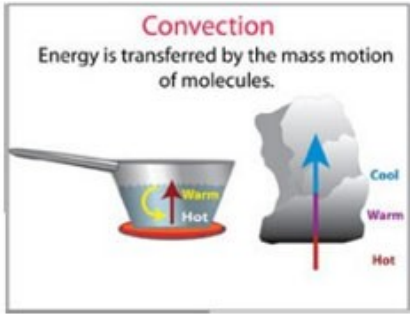
$$\Delta V = \gamma V \Delta t$$

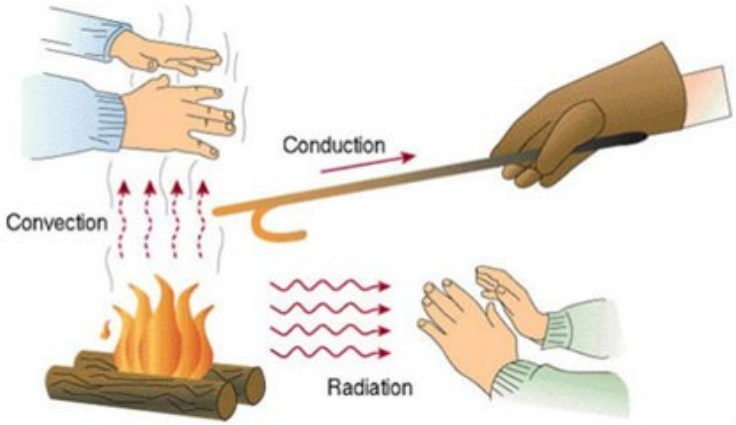
$$V = V_0(1 + \gamma \Delta t)$$

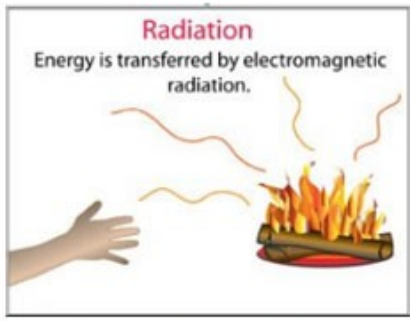
การถ่ายโอนความร้อน

- จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ 2 บริเวณ (ความร้อนจากบริเวณที่อุณหภูมิสูงส่งไปบริเวณที่ยังอุณหภูมิต่ำ) รูปแบบการถ่ายโอนความร้อนมี 3 วิธีการ คือ









- การนำความร้อน
- การพาความร้อน
- การแผ่รังสีความร้อน

Thank Pic >> http://www.phs.d211.org/science/smithcw/Chemistry%20332/Quarter%201%20Unit%202/9%20Types%20of%20Heat%20Transfer.pdf

- **การนำความร้อน (heat conduction)** เป็นการถ่ายโอนพลังงานระหว่างวัตถุโดยการสัมผัสกันโดยตรง พลังงานจะถูกถ่ายโอนโดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์โดยการชนกันหรือการสั่นสะเทือนในระดับ

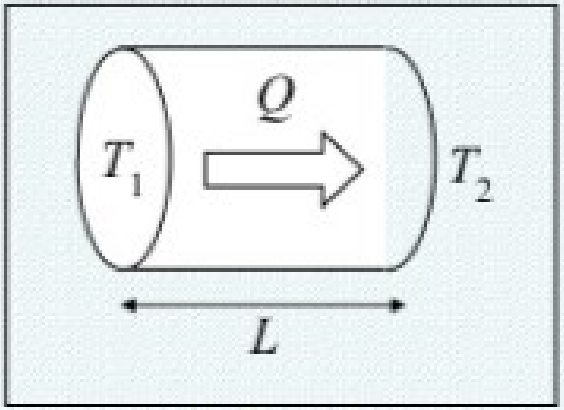
สำหรับแท่งวัตถุพื้นที่หน้าตัด A ยาว L ขณะที่ปลายร้อนเป็น T_1 ส่วนที่ปลายเย็นเป็น T_2 ที่ steady state จะคำนวณ H ได้ดังนี้

- $$H = -kA\frac{dT}{dx} \quad \Rightarrow \quad Hdx = -kAdT$$

ดังนั้น $$\int_0^L Hdx = -\int_{T_1}^{T_2} kAdT$$ เมื่อ H มีค่าคงที่เนื่องจาก steady state

ได้ $$HL = -kA(T_2 - T_1)$$

- $$H = -\frac{kA}{L}(T_2 - T_1) = -\frac{kA}{L}(T_{cold} - T_{hot})$$



$T_1 > T_2$

พลังงานภายในระบบ

- **ระบบ** หมายถึง สิ่งที่เรากำลังศึกษา
- **สิ่งแวดล้อม** หมายถึง สิ่งที่เราไม่ต้องการศึกษา แต่มีผลต่อระบบ
- **กฎข้อที่ 0 ของอุณหพลศาสตร์**; ถ้าระบบสองระบบต่างอยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อนกับระบบที่สามแล้ว ระบบทั้งสองนี้ต่างก็อยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อนซึ่งกันและกันด้วย
- **กฎข้อที่ 1 ของอุณหพลศาสตร์**; ปริมาณพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงไปมีค่าเท่ากับผลลัพธ์ทั้งหมดของการถ่ายโอนความร้อนหรืองานเข้าหรือออกจากระบบ

หรือกล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนที่ให้กับระบบเท่ากับผลรวมของพลังงานภายในที่เพิ่มขึ้นกับงานที่ทำโดยระบบ

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

$$\Delta W = F\Delta s$$

$$\Delta W = PA\Delta s$$

$$\Delta W = P\Delta V$$

ปริมาณ		เครื่องหมาย
ΔQ	พลังงานความร้อนเข้าสู่ระบบ	+
	พลังงานความร้อนออกจากระบบ	-
ΔU	พลังงานภายในระบบที่เพิ่มขึ้น	+
	พลังงานภายในระบบที่ลดลง	-
ΔW	งานที่ทำโดยระบบ	+
	งานที่ให้กับระบบ	–

- **พลังงานภายในระบบของแก๊ส** “U” หมายถึงผลรวมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ของโมเลกุลทั้งหมดของแก๊สที่บรรจุอยู่ภายในภาชนะ แต่เนื่องจากเป็นแก๊สอุดมคติ

$$U = N\langle E_k \rangle = \frac{3}{2}NK_BT = \frac{3}{2}nRT = \frac{3}{2}PV$$

$$n = \frac{m}{M}$$ มวลแก๊ส / มวล1 โมล

$$n = \frac{N}{N_A}$$ จำนวนโมเลกุลของแก๊ส / เลขอโวกาโด=6.02×10^{23}

$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$$ (มวลไม่คงที่)

$$PV = nRT$$ (เป็นกฎของแก๊สอุดมคติ)

$$PV = \frac{N}{N_A}RT; \frac{R}{N_A} = K_B$$

$$PV = NK_BT$$

$V\alpha\frac{1}{P}$ เมื่อTคงตัว / PV=ค่าคงตัว

$V\alpha T$ เมื่อPคงตัว / V/T=ค่าคงตัว

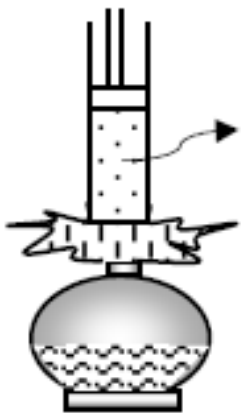
แก๊ส1 โมลมีจำนวนโมเลกุล=6.02×10^{23}

R=ค่าคงตัวของแก๊ส=8.31 J/mol K

K_B=1.38×10^{-23}J/K ค่าคงตัวโบลต์ซมันน์

แก๊สอุดมคติ ประกอบด้วยโมเลกุลขนาดเล็กอยู่ห่างกันมากและไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน โมเลกุลเคลื่อนที่อย่างอิสระในทุกทิศทาง และการชนกันของโมเลกุลเป็นแบบยืดหยุ่น

<u>ตัวอย่าง</u> ให้ความร้อนกับแก๊สในกระบอกสูบ 1000J ทำให้พลังงานจลน์ของแก๊สเพิ่มขึ้น 200J อยากทราบว่าต้องทำงานให้ระบบหรือระบบทำงาน เท่าไร



$\Delta W = ?$

$\Delta U = 200$ J

$\Delta Q = 1000$ J

จาก $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$

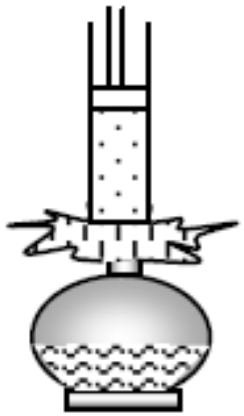
$1000 = 200 + \Delta W$

$\Delta W = 800$

$\therefore$ ระบบทำงานให้สิ่งแวดล้อม $= 800$ J

(เพราะ ΔW เป็น +) **<u>Ans</u>**

<u>ตัวอย่าง</u> แก๊สจำนวน 10^{24} โมเลกุล ถ้าต้องการให้แก๊สมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C จะต้องให้ความร้อนแก่แก๊สเท่าไร เมื่อปริมาตรคงที่ (K_B=1.38x10^{-23}J/K)



$N = 10^{24}$ โมเลกุล

$\Delta T = 1$

$\Delta V = 0$

$\rangle\ \Delta Q = ?$

จาก $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$

$= \frac{3}{2} NK_B\Delta T + P\Delta V$

$= \frac{3}{2} x10^{24}x1.38x10^{-23}x1 + 0$

$\Delta Q = 20.7$

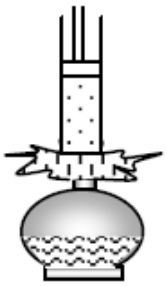
$\therefore$ ต้องให้ความร้อนแก่แก๊ส $\Delta Q = 20.7$ J **<u>Ans</u>** (ΔQ เป็น +)

ตัวอย่าง เมื่อให้ความร้อนกับแก๊สในกระบอกสูบ 20ลิตร ที่อุณหภูมิ 27 °C ความดัน 10^5 Pa ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออก จนกระทั่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น57°C โดยความดันคงที่ อยากทราบว่าให้ความร้อนแก่แก๊สเท่าใด

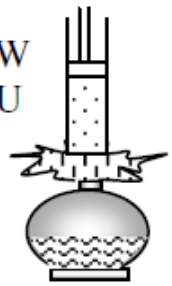
$V_1 = 20$ ลิตร

$T_1 = 273 + 27 = 300$ K

$P_1 = 10^5$ Pa



$\rangle\ \Delta Q = ?$



$V_2 = ?$

$T_2 = 273 + 57 = 330$ K

$P_2 = P_1$

จาก $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$

$= \frac{3}{2} NK_B\Delta T + P\Delta V$

$= \frac{3}{2} P\Delta V + P\Delta V \qquad (PV = NK_BT)$

$= \frac{5}{2} P\Delta V = \frac{5}{2} x10^5 x(V_2 - 2)x10^{-3}$

หา V_2 ได้จาก $\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$

เนื่องจาก P และ n คงที่

จะได้ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

$\frac{20}{300} = \frac{V_2}{330}$

$V_2 = 22$ ลิตร

$\Delta Q = \frac{5}{2} P\Delta V = \frac{5}{2} x10^5 x(22-2)x10^{-3}$

$\Delta Q = 500$

∴ ต้องให้ความร้อนแก่แก๊ส $\Delta Q = 500$ J **Ans**

การถ่ายโอนความร้อนโดยการนำ

การนำความร้อน คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าการนำความร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค ในโลหะการนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ(คล้ายการนำไฟฟ้า) ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ (คล้ายการนำไฟฟ้า) ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำเป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง ในก๊าซการนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่าน โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับทัพพี จะทำให้ความร้อนจากทัพพีถ่ายเทไปยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น

การถ่ายโอนความร้อนโดยการพา

การพาความร้อน เป็นกระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล เช่น อากาศ น้ำหรือ ไอน้ำ เมื่อมีของไหล(Fluid) สัมผัสกับพื้นที่ผิวของวัตถุใดๆ ที่สภาพธรรมชาติเมื่อของไหลถูกทำให้ร้อนจะสามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ ทำให้เกิดการไหลเวียนความร้อนเพราะโมเลกุลที่เย็นและหนักกว่าจะตกลงข้างล่าง ส่วนโมเลกุลที่ร้อนและเบากว่าจะลอยตัวขึ้นหรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า การพาความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อน โดยมีอากาศหรือลมเป็นสื่อกลาง ในการพาความร้อนจากวัตถุ หนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งเช่น พัดลมเป่าผม จะใช้ลมเป่าผ่านเครื่องทำความร้อน(Heater) ให้ลมพาความร้อนไปให้เส้นผม เป็นต้น ลักษณะของการพาความร้อนที่เกิดขึ้นอาจขึ้นแบ่งออกได้ตามแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนในโมเลกุลของของไหลได้เป็น 2 ประเภท คือ

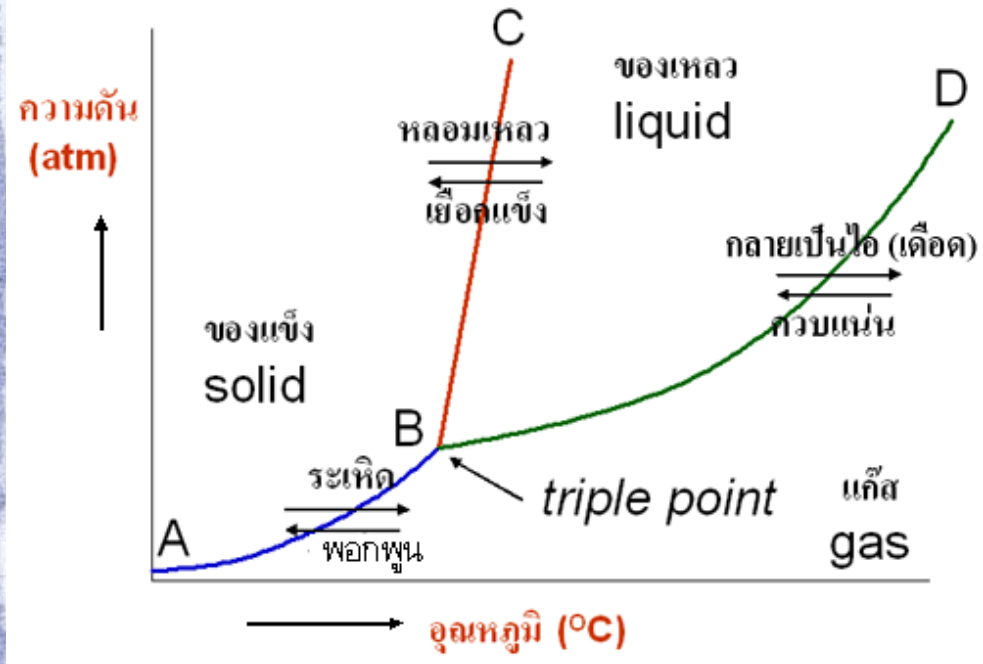
1) การพาความร้อนแบบอิสระ หรือโดยธรรมชาติ (Free or Natural Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลเนื่องจากของไหล เมื่อได้รับความร้อน (อุณหภูมิสูงขึ้น) จะมีความหนาแน่นลดลงกว่าอากาศโดยรอบ ทำให้เกิดการลอยตัวสูงขึ้น เช่น ควันที่ลอยขึ้นจากปล่องไฟ

2) การพาความร้อนแบบบังคับ เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แรงภายนอกมาทำให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวของแข็งที่มีอุณหภูมิต่างกันไปในทิศทางที่กำหนดไว้ เช่น แรงจากปั๊ม หรือพัดลม

การถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนทะลุผ่านช่องว่างใดๆ(Through Space)ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic Waves) จากพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกทิศทุกทาง ในความเป็นจริงแล้วการเกิดการแผ่รังสีเกิดการแผ่รังสีอย่างแท้จริงของความร้อนระหว่างวัตถุใดๆ จะไม่ทำให้อุณหภูมิของตัวกลางที่ความร้อนนั้นผ่านเพิ่มสูงขึ้น เมื่อรังสีนี้ไปตกกระทบวัตถุใดๆ บางส่วนอาจสะท้อน บางส่วนอาจจะ ส่งผ่านทะลุไป บางส่วนอาจ ถูกดูดกลืนไว้และถ้ารังสีตกกระทบคือ รังสีความร้อนรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้จะปรากฏเป็นความร้อนภายในวัตถุนั้น

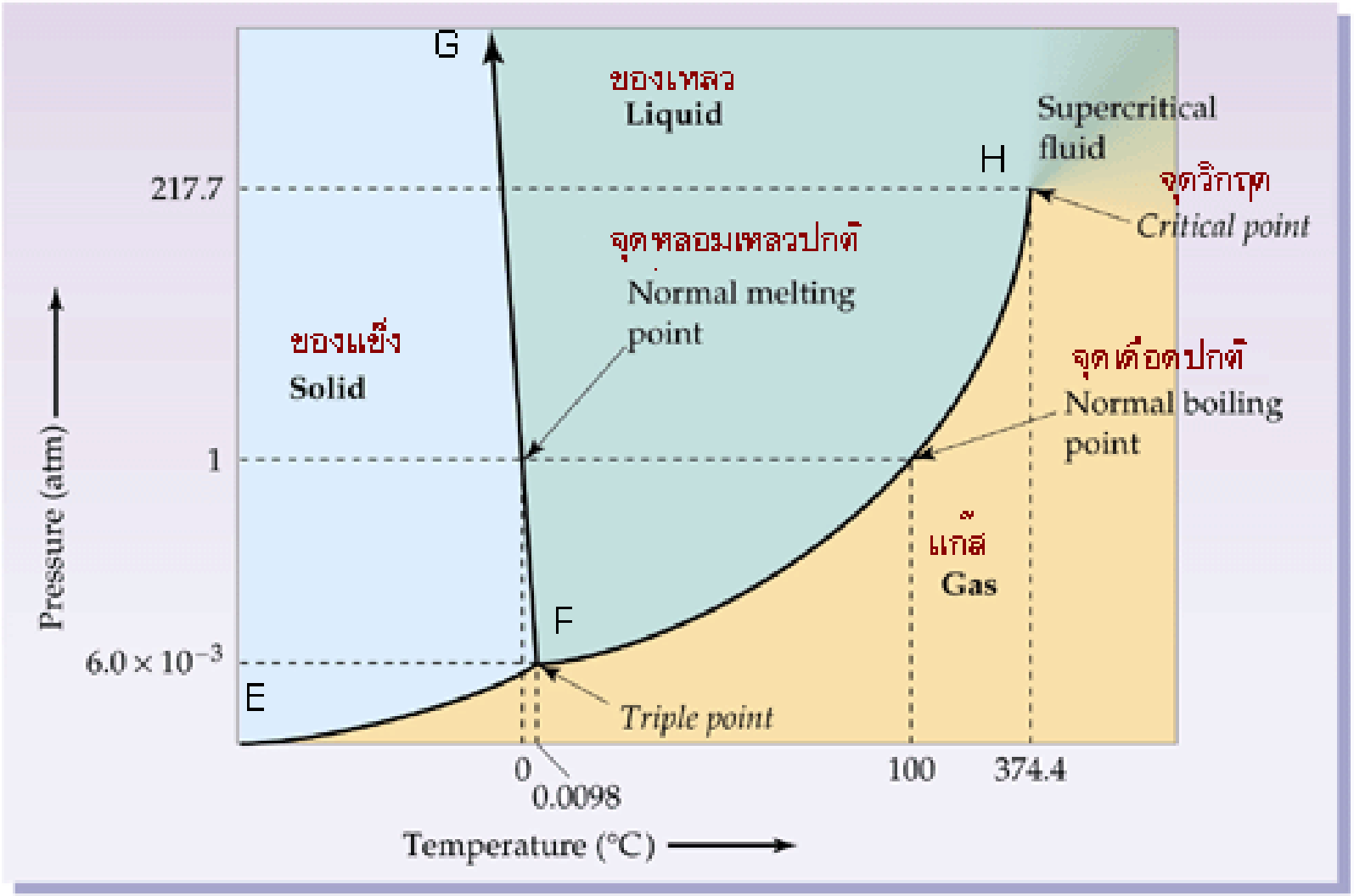
- แผนผังแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน แต่ละส่วนจะมีอยู่เพียงวัฏภาค (phase) เดียว คือ ของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส เส้น AB เป็นเส้นสมดุลวัฏภาคระหว่างของแข็งกับแก๊ส และเป็นเส้นแบ่งส่วนที่เป็นของแข็งกับแก๊ส เส้น BC เป็นเส้นสมดุลวัฏภาคระหว่างของแข็งกับของเหลว และเป็นเส้นแบ่งส่วนที่เป็นของแข็งกับของเหลว โดยทั่วไปแล้ว แนวโน้มของเส้น BC ส่วนใหญ่จะเบนไปทางขวามือ



ยกเว้น น้ำ เพราะว่าน้ำที่เป็นของแข็งจะมีปริมาตรมากกว่าน้ำที่เป็นของเหลว จึงทำให้ความหนาแน่นของน้ำที่เป็นของแข็งจะมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของน้ำที่เป็นของเหลว และเส้น BD เป็นเส้นสมดุลวัฏภาคระหว่างของเหลวกับแก๊ส และเป็นเส้นแบ่งส่วนที่เป็นของเหลวกับแก๊ส

- จุดที่เส้นสมดุลทั้ง 3 เส้นมาตัดกันที่จุด B ซึ่งเป็นจุดที่แสดงถึง อุณหภูมิและความดันที่ทำให้ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส อยู่ร่วมในภาวะสมดุลกันที่จุดเดียวกัน เรียกว่า **จุดร่วมสาม (triple point)**
- จุด D เรียกว่า **จุดวิกฤต (critical point)** เป็นจุดสุดท้ายที่สามารถแบ่งและเห็นขอบเขตสมดุลระหว่างของเหลวกับแก๊สได้
- เมื่อเราพิจารณาจุดที่อยู่เหนือขอบเขตจุดนี้ขึ้นไป สสารจะมีพฤติกรรมแตกต่างไปจากของเหลวและแก๊ส
- กล่าวง่ายๆ คือ เราจะไม่สามารถพิจารณา และแบ่งแยกระหว่างของเหลวและแก๊สได้เลย

- **จากกราฟแผนผังวัฏภาคของน้ำ** ที่ความดัน 1บรรยากาศ เราสามารถพิจารณาสิ่งที่เกิดขึ้นได้ดังต่อไปนี้



- จุดหลอมเหลว (melting point) คือ จุดที่ทำให้น้ำเปลี่ยนจากสถานะของแข็งกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส เราสามารถเปลี่ยนน้ำจากสถานะของแข็งเป็นแก๊ส โดยไม่ผ่านสถานะของเหลว (จากพื้นที่ส่วนที่เป็นสีฟ้าไปสีเหลืองโดยไม่ผ่านสีเขียว) ได้จนความดันต่ำกว่า 6×10^{-3} บรรยากาศ
- จุดเดือด (boiling point) คือ จุดที่ทำให้น้ำเปลี่ยนจากสถานะของเหลวกลายเป็นแก๊สที่จุดเดือดปกติ (ความดัน 1 บรรยากาศ) น้ำมีจุดเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส
- จุดร่วมสาม (triple point) ของน้ำ จะอยู่ที่ความดัน 6×10^{-3} บรรยากาศ อุณหภูมิ 0.0098 องศาเซลเซียส
- จุดวิกฤต (critical point) ของน้ำ จะอยู่ที่ความดัน 217.7 บรรยากาศ อุณหภูมิ 374.4 องศาเซลเซียส