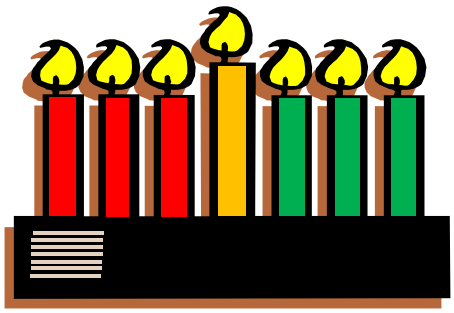
ความร้อน



www.schoolDD.com

บทที่ 10
ความร้อน

10.1 ความร้อน

ความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่ง ซึ่งอาจเปลี่ยนมาจากพลังงานไฟฟ้า พลังงานกล หรือพลังงานแสง ฯลฯ และพลังงานความร้อน ก็สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่นได้ พลังงานความร้อน (Q) มีหน่วยเป็นจูล (J)

- พลังงานความร้อน 1 แคลอรี่ (= 4.186 J) หมายถึง พลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1° C

10.1.1 อุณหภูมิ

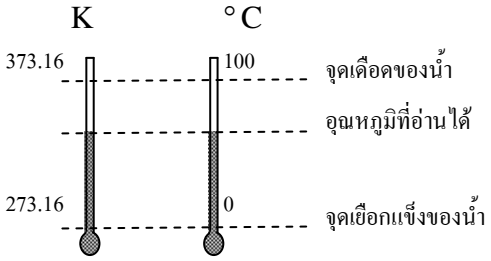
อุณหภูมิ เป็นตัวบอกระดับความร้อนของวัตถุ เมื่อวัตถุมีระดับความร้อนมากจะมีอุณหภูมิสูง วัตถุที่มีระดับความร้อนน้อยจะมีอุณหภูมิต่ำ ความร้อนจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากันจึงหยุดถ่ายเทความร้อน

10.2.1 เทอร์โมมิเตอร์

เทอร์โมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ นิยมใช้ปรอทบรรจุ เพราะนำความร้อนได้ดี และมีการขยายตัวและหดตัวได้รวดเร็วกว่า ปรอททึบแสง และไม่เกาะข้างแก้ว

สเกลของอุณหภูมิบนเทอร์โมมิเตอร์นิยมใช้สองสเกลคือ

1. สเกลองศาเซลเซียส (° C) หรือองศาเซนติเกรด
2. สเกลเคลวิน (K) เป็นหน่วยอุณหภูมิสัมบูรณ์ไม่ต้องใช้คำว่าองศานำหน้าเคลวิน (เคลวินเป็นหน่วยฐานหนึ่งของระบบ SI)



$$K = C + 273$$

การเปรียบเทียบสเกลของอุณหภูมิแบบต่างๆ

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

C = องศาเซลเซียส

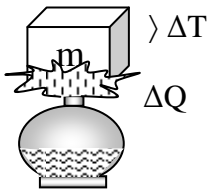
R = องศาโรเมอร์

F = องศาฟาเรนไฮต์

K = เคลวิน

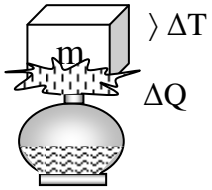
10.1.2 พลังงานความร้อนกับการเปลี่ยนอุณหภูมิของสาร

1. **ความจุความร้อน (C)** หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารทั้งหมด ที่กำลังพิจารณา มีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งองศา เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นจูลต่อเคลวิน (J/K)



$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

2. **ความจุความร้อนจำเพาะ (c)** หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารมวล 1 หน่วย มีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งองศา เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นจูลต่อกิโลกรัมเคลวิน (J/kg K)



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

อาจกล่าวได้ว่าพลังงานความร้อนที่ทำให้สารมวล m มีอุณหภูมิเปลี่ยนไป ΔT มีค่าเท่ากับ

$$Q = mc\Delta T$$

Q = พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น (J)

m = มวลของสาร (kg)

c = ความจุความร้อนจำเพาะของสาร (J/kg K)

ΔT = อุณหภูมิของสารที่เปลี่ยนไป (K หรือ °C)

- ความจุความร้อน (C) ของสารชนิดเดียวกันที่มีมวลต่างกันจะไม่เท่ากัน มวลมาก C มาก มวลน้อย C น้อย
- ความจุความร้อน จำเพาะ (c) ของสารชนิดเดียวกัน จะมีค่าเท่ากันเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสาร

สาร	ความจุความร้อนจำเพาะ “ c ” (J/kg K)
น้ำ	4186
น้ำแข็ง (-10°C ถึง 0°C)	2100
อะลูมิเนียม	900
เหล็ก	450
ทองแดง	390
ปรอท	140
ตะกั่ว	130

ตัวอย่างที่ 1 จงหาพลังงานความร้อนที่ทำให้ลวดทองแดงมวล 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 25°C ($c_{\text{ทองแดง}}$ = 390 J/kg K)

ก. มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 45 °C

ข. มีอุณหภูมิลดลงเป็น 15 °C

ก. ต้องให้พลังงานความร้อนแก่ลวดทองแดงจึงจะทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จาก $Q = mc\Delta T$

$= 0.10 \times 390 \times (45-25)$

$\therefore Q = 780$ J **Ans**

ข. ลวดทองแดงต้องคายพลังงานความร้อนออกมาจึงทำให้มีอุณหภูมิลดลง

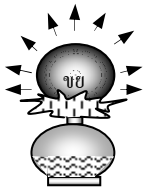
จาก $Q = mc\Delta T$

$= 0.10 \times 390 \times (25-15)$

$\therefore Q = 390$ J **Ans**

10.1.4 การขยายตัวของวัตถุเนื่องจากความร้อน

วัตถุเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัว ทำให้ความยาว หรือพื้นที่หน้าตัด หรือปริมาตรเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะโมเลกุลลภายในของวัตถุ มีการเคลื่อนที่มากขึ้น ทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลมีมากขึ้น ในทางกลับกันเมื่อวัตถุคายความร้อน จะมีการหดตัว



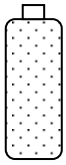
- การขยายตัวหรือหดตัวเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสาร สารชนิดเดียวกันขนาดเท่ากัน จะขยายตัวหรือหดตัวเท่ากัน เมื่อรับหรือคายความร้อนเท่ากันแต่สารต่างชนิดกันจะไม่เท่ากัน

10.1.5 พลังงานความร้อนกับการเปลี่ยนสถานะของสาร

สสารมี 3 สถานะ คือ

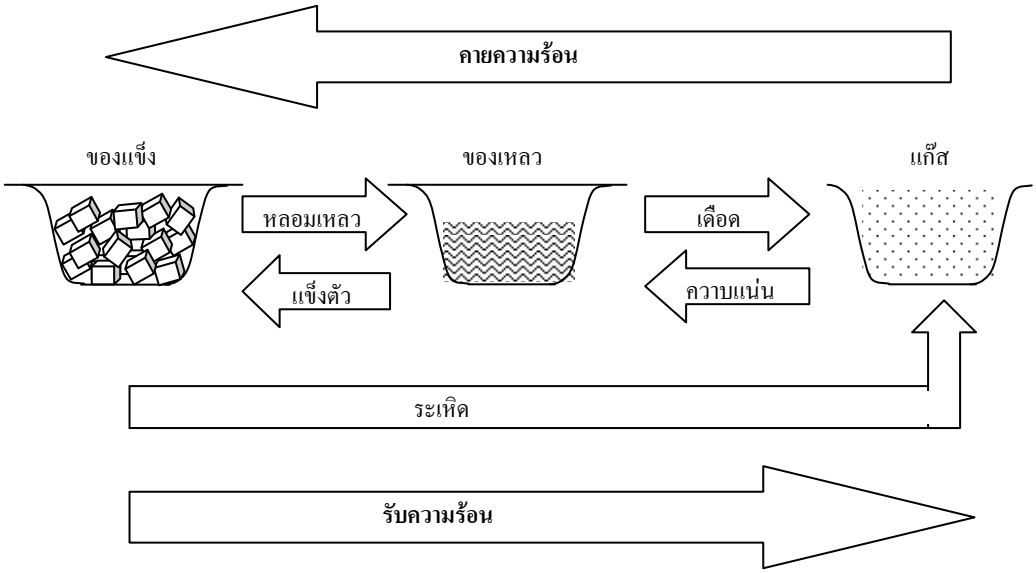
ของแข็ง เช่น ก้อนหิน ท่อนเหล็ก มีรูปร่าง และปริมาตรลงตัว เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีมาก โมเลกุลอยู่ใกล้ชิดกัน

ของเหลว เช่น น้ำ น้ำมัน ปรอท มีปริมาตรคงตัว แต่รูปร่างไม่คงตัว เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีค่าน้อยกว่าของแข็ง โมเลกุลจึงเคลื่อนที่ไปมาได้บ้าง



แก๊ส เช่น อากาศ แก๊สต่าง มีรูปร่างและปริมาตรไม่คงตัว เพาะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีค่าน้อยมาก จนโมเลกุลอยู่ห่างกันมาก และเคลื่อนที่ไปทุกทิศทางฟุ้งกระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ

สารจะมีการเปลี่ยนสถานะ เมื่อมีพลังงานความร้อนมาเกี่ยวข้องดังรูป



พลังงานความร้อนที่ทำให้สารมวล m เปลี่ยนสถานะโดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงมีค่าเท่ากับ

$$\mathbf{Q = mL}$$

Q = พลังงานความร้อน (J)

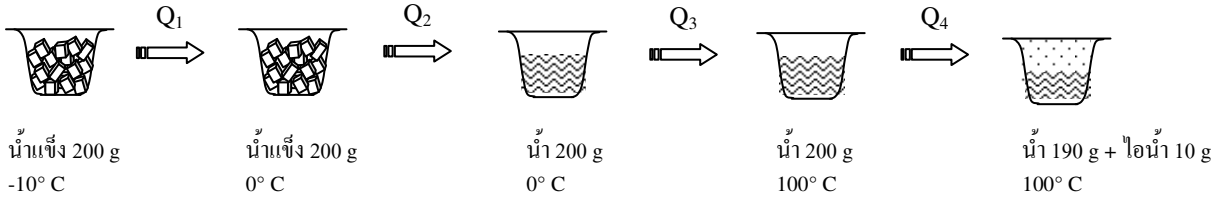
m = มวลของสาร (kg)

L = ความร้อนแฝงจำเพาะของการเปลี่ยนสถานะ (J/kg)

สาร	ความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลว “ L_m ” (J/kg)	ความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอ “ L_v ” (J/kg)
น้ำ	333×10^3	2256×10^3
ไฮโดรเจน	58.6×10^3	452×10^3
ฮีเลี่ยม	5.23×10^3	20.9×10^3

ตัวอย่างที่ 2 จงหาพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ทำให้น้ำแข็งมวล 200 กรัม อุณหภูมิ -10° C ละลายกลายเป็นน้ำและน้ำบางส่วนกลายเป็นไอ สุดท้ายเหลือน้ำในภาชนะ 190 กรัม (กำหนด $c_{น้ำแข็ง}$ = 2100 J/kg K, $c_{น้ำ}$ = 4186 J/kg K, $L_{m\ น้ำ} = 333 \times 10^3$ J/kg, $L_{v\ น้ำ} = 2256 \times 10^3$ J/kg)

“เอาข้อมูลจากโจทย์มาวาดเป็นรูป จะมองเห็นภาพ ทำให้เข้าใจง่าย และแก้ปัญหาได้ถูกต้อง”



จากรูป หาพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำแข็ง 200 g ที่ -10° C มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 0° C

$Q_1 = mc\Delta T$

$= 0.2x2100x(0-(-10))$

$Q_1 = 4200$ J

หาพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำแข็ง 200 g ที่ 0° C ละลายเป็นน้ำทั้งหมดที่ 0° C

$Q_2 = mL$

$= 0.2x333x10^3$

$Q_2 = 66600$ J

หาพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำ 200 g ที่ 0° C มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 100° C

$Q_3 = mc\Delta T$

$= 0.2x4186x(100-0)$

$Q_3 = 83720$ J

หาพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำ 10 g ที่ 100° C เดือดเป็นไอน้ำ 10 g ที่ 100° C

$Q_4 = mL$

$= 0.01x2256x10^3$

$Q_4 = 22560$ J

∴ พลังงานความร้อนทั้งหมด $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$

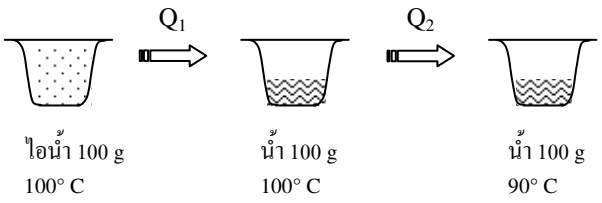
$= 4200 + 66600 + 83720 + 22560$

$Q = 177080$ J **Ans**

ตัวอย่างที่ 3

ไอน้ำมวล 100 กรัม อุณหภูมิ 100° C ต้องคายพลังงานความร้อนออกมาเท่าไร จึงจะกลายเป็นน้ำทั้งหมดที่ 90° C ($c_{น้ำ}$ = 4186 J/kg K, $L_{v\ น้ำ} = 2256x10^3$ J/kg)

"วาดรูปตามโจทย์"



จากรูป หาพลังงานความร้อนของไอน้ำ 100 g ที่ 100° C ควบแน่นกลายเป็นน้ำ 100 g ที่ 100° C

$Q_1 = mL_v$

$= 0.1x2256x10^3$ $(L_{เดือด} = L_{ควบแน่น})$

$Q_1 = 225600$ J

หาพลังงานความร้อนของน้ำ 100 g ที่ 100° C คายออกมา กลายเป็นน้ำ 100 g ที่ 90° C

$Q_2 = mc\Delta T$

$= 0.1x4186x(100-90)$

$Q_2 = 4186$ J

∴ พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ต้องคายออกมา $Q = Q_1 + Q_2$

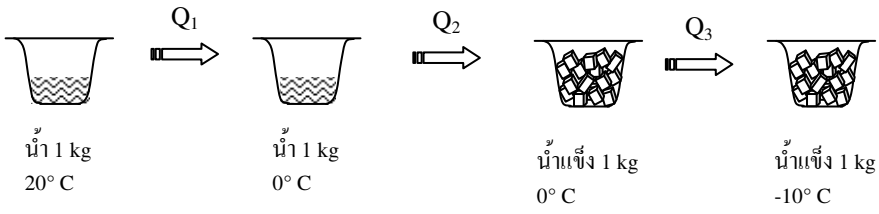
$= 225600 + 4186$

$Q = 229786$ J **Ans**

ตัวอย่างที่ 4

ถ้าต้องการทำน้ำ 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 20 °C ให้เป็นน้ำแข็งอุณหภูมิ -10 °C จะต้องคายพลังงานความร้อนออกมาเท่าไร ($c_{น้ำแข็ง}$ = 2100 J/kg K, $c_{น้ำ}$ = 4186 J/kg K, $L_{m\ น้ำ} = 333x10^3$ J/kg)

"วาดรูปตามโจทย์"



จากรูป หาพลังงานความร้อนของน้ำ 1 kg ที่ 20° C คายออกมา กลายเป็นน้ำ 1 kg ที่ 0° C

$$Q_1 = mc\Delta T$$
$$= 1.0x4186x(20-0)$$
$$Q_1 = 83720 \text{ J}$$

หาพลังงานความร้อนของน้ำ 1 kg ที่ 0° C แข็งตัว กลายเป็นน้ำแข็ง 1 kg ที่ 0° C

$$Q_2 = mL_m$$
$$= 1.0x333x10^3 \qquad (L_{หลอมเหลว} = L_{แข็งตัว})$$
$$Q_2 = 333000 \text{ J}$$

หาพลังงานความร้อนของน้ำแข็ง 1 kg ที่ 0° C คายออกมา กลายเป็นน้ำแข็ง 1 kg ที่ -10° C

$$Q_3 = mc\Delta T$$
$$= 1.0x2100x(0-(-10))$$
$$Q_3 = 21000 \text{ J}$$

∴ พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ต้องคายออกมา $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$$= 83720 + 333000 + 21000$$
$$Q = 437720 \text{ J}$$ **Ans**

10.1.6 สมดุลความร้อน

เมื่อนำวัตถุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีอุหภูมิต่างกันมาสัมผัสกันหรือผสมกัน จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จนกระทั่งวัตถุทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน จึงหยุดถ่ายเทความร้อน เรียกสภาพเช่นนี้ว่าเกิด **สมดุลความร้อน**

ปริมาณความร้อนที่วัตถุอุณหภูมิสูงคายออกมา = ปริมาณความร้อนที่วัตถุอุณหภูมิต่ำรับเข้าไป

$$\boxed{Q_{คาย} = Q_{รับ}}$$ หรือ $Q_{ลด} = Q_{เพิ่ม}$

ตัวอย่างที่ 5

เหล็กเส้นมวล 200 กรัม ถูกเผาให้ร้อนจนมีอุณหภูมิ 300° C จุ่มลงในน้ำมวล 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 20 °C เมื่อตั้งทิ้งไว้สุดท้าย อุณหภูมิของสารทั้งสองเป็นเท่าใด (กำหนด $c_{เหล็ก}$ = 500 J/kg K, $c_{น้ำ}$ = 4200 J/kg)

$Q_{\text{ตาย}}$ เหล็ก 0.2 kg 300° C $\xrightarrow{Q_{\text{เหล็ก}}}$ เหล็ก 0.2 kg t° C

$Q_{\text{รับ}}$ น้ำ 1 kg 20° C $\xrightarrow{Q_{\text{น้ำ}}}$ น้ำ 1 kg t° C

สมมติ $t \le 100°$ C น้ำยังไม่กลายเป็นไอ เนื่องจาก $t_{\text{เหล็ก}} = 300°$ C มีโอกาสทำให้น้ำเดือด 100° C และกลายเป็นไอได้

จาก $Q_{\text{ตาย}} = Q_{\text{รับ}}$

$(mc\Delta T)_{\text{เหล็ก}} = (mc\Delta T)_{\text{น้ำ}}$

ให้อุณหภูมิสุดท้าย ของสารทั้งสองเป็น t° C โดยที่ $20 < t \le 100$

แทนค่าจะได้ $0.2x500x(300- t) = 1.0x4200x(t-20)$

$30000 - 100t = 4200t - 84000$

$114000 = 4300t$

$\therefore t = 26.5°$ C **Ans** (ตามสมมติ)

ตัวอย่างที่ 6

จากตัวอย่างที่ 5 ถ้าเพิ่มมวลเหล็กเส้นเป็น 2 กิโลกรัม และลดมวลน้ำเป็น 0.5 กิโลกรัม อุณหภูมิสุดท้าย จะเป็นเท่าใด

$Q_{\text{ตาย}}$ เหล็ก 2 kg 300° C $\xrightarrow{Q_{\text{เหล็ก}}}$ เหล็ก 2 kg t° C

$Q_{\text{รับ}}$ น้ำ 0.5 kg 20° C $\xrightarrow{Q_{\text{น้ำ}}}$ น้ำ 0.5 kg t° C

สมมติ $t \le 100°$ C น้ำยังไม่กลายเป็นไอ เนื่องจาก $t_{\text{เหล็ก}} = 300°$ C มีโอกาสทำให้น้ำเดือด 100° C และกลายเป็นไอได้

จาก $Q_{\text{ตาย}} = Q_{\text{รับ}}$

$(mc\Delta T)_{\text{เหล็ก}} = (mc\Delta T)_{\text{น้ำ}}$

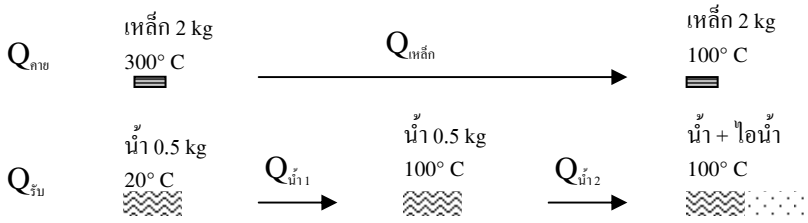
ให้อุณหภูมิสุดท้าย ของสารทั้งสองเป็น t° C โดยที่ $20 < t \le 100$

แทนค่าจะได้ $2.0x500x(300- t) = 0.5x4200x(t-20)$

$30000 - 100t = 2100t - 42000$

$342000 = 3100t$

$\therefore t = 110.3°$ C $> 100°$ C ไม่เป็นตามสมมติแสดงว่ามีน้ำเดือด กลายเป็นไอ และอุณหภูมิสุดท้ายเป็น 100° C วาดรูปและเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้



$Q_{\text{ตาย}}$ เหล็ก 2 kg 300° C $\xrightarrow{Q_{\text{เหล็ก}}}$ เหล็ก 2 kg 100° C

$Q_{\text{รับ}}$ น้ำ 0.5 kg 20° C $\xrightarrow{Q_{\text{น้ำ}1}}$ น้ำ 0.5 kg 100° C $\xrightarrow{Q_{\text{น้ำ}2}}$ น้ำ + ไอน้ำ 100° C

หามวลของน้ำที่กลายเป็นไอ ได้จากสมการดังต่อไปนี้

จาก $Q_{คาย} = Q_{รับ}$

$(mc\Delta T)_{เหล็ก} = (mc\Delta T)_{น้ำ\,1} + (mL)_{น้ำ\,2}$

แทนค่าจะได้ $2.0x500x(300-100) = 0.5x4200x(100-20) + mx2256x10^3$

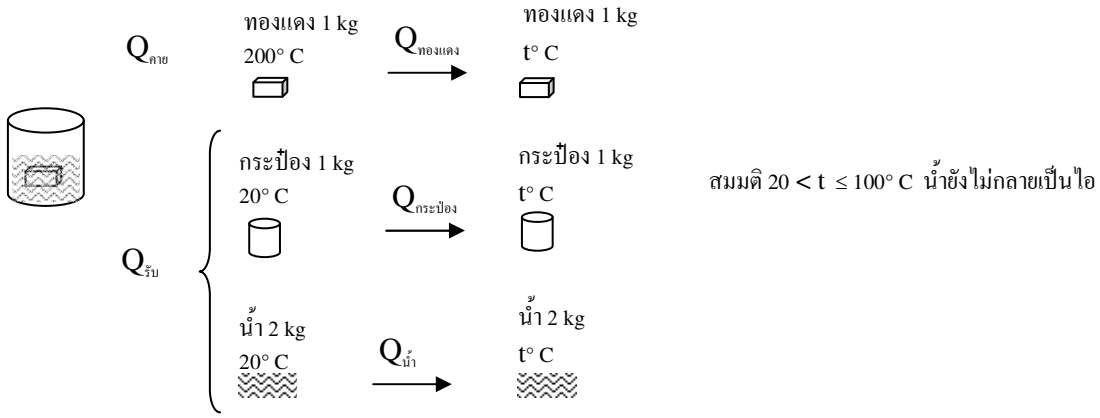
$32000 = 2256x10^3$

$\therefore m = 0.014$ kg

น้ำกลายเป็นไอ 0.014 kg ที่ 100° C และเหลือน้ำอยู่เท่ากับ 0.5 – 0.014 = 0.486 kg ที่ 100° C **Ans**

ตัวอย่างที่ 7

กระป๋องอะลูมิเนียมมวล 1 กิโลกรัม บรรจุน้ำ 2 กิโลกรัมอุณหภูมิ 20° C ถ้าใส่ก้อนทองแดงมวล 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 200 °C ลงไปในน้ำ จะมีอุณหภูมิสุดท้ายเป็นเท่าไร (กำหนด $c_{อลูมิเนียม} = 1000$ J/kg K, $c_{น้ำ} = 4200$ J/kg และ $c_{ทองแดง} = 400$ J/kg K)



จาก $Q_{คาย} = Q_{รับ}$

$(mc\Delta T)_{ทองแดง} = (mc\Delta T)_{กระป๋อง} + (mc\Delta T)_{น้ำ}$

ให้อุณหภูมิสุดท้าย ของสารทั้งสองเป็น t° C โดยที่ $20 < t \leq 100$

แทนค่าจะได้ $1.0x400x(200- t) = 1.0x1000x(t-20) + 2.0x4200x(t-20)$

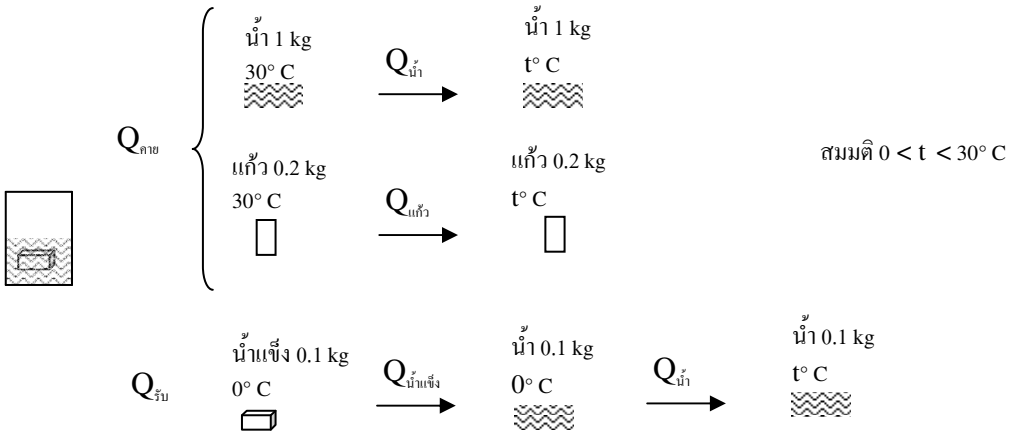
$80000 - 400\,t = 1000t - 20000 + 8400\,t - 168000$

$268000 = 9800t$

$\therefore t = 27.35°$ C **Ans** (ตามสมมติ)

ตัวอย่างที่ 8

แก้วน้ำมวล 200 กรัม บรรจุน้ำ 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 30 °C หย่อนน้ำแข็งมวล 100 กรัมลงไป อุณหภูมิ 0 °C ลงไป จงหาอุณหภูมิสุดท้ายของการผสมกัน(กำหนด $c_{แก้ว} = 800$ J/kg K, $c_{น้ำ} = 4200$ J/kg K, $L_{น้ำแข็ง} = 333x10^3$ J/kg)



จาก $Q_{คาย} = Q_{รับ}$

$$(mc\Delta T)_{น้ำ} + (mc\Delta T)_{แก้ว} = (mL)_{น้ำแข็ง} + (mc\Delta T)_{น้ำ}$$

ให้อุณหภูมิสุดท้าย ของสารทั้งสามเป็น t° C โดยที่ $0 < t < 30$

แทนค่าจะได้ $1.0x4200x(30- t) + 0.2x800x(30- t) = 0.1x333x10^3 + 0.1x4200x(t-0)$

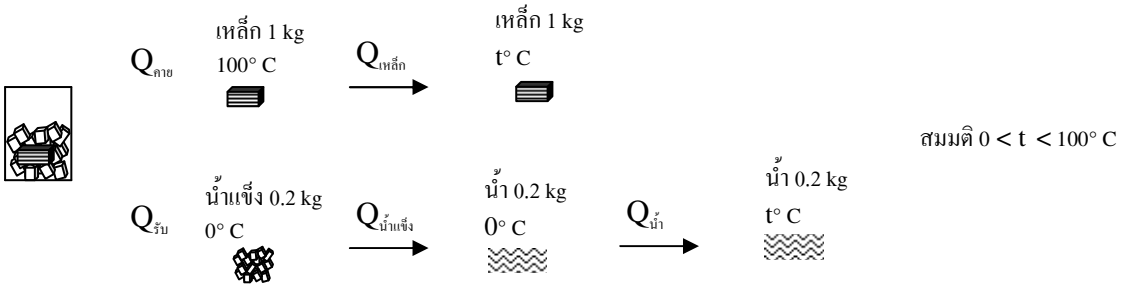
$$4360x(30- t) = 33300 + 420t$$

$$97500 = 4780t$$

$$\therefore t = 20.4° C$$ **Ans** (ตามสมมติ)

ตัวอย่างที่ 9

นำแท่งเหล็กมวล 1 กิโลกรัมที่ 100 °C ใส่ลงในน้ำแข็งมวล 200 กรัม อุณหภูมิสุดท้ายของการผสมจะเป็นเท่าไร (กำหนด $c_{เหล็ก} = 500$ J/kg K, $c_{น้ำ} = 4200$ J/kg K, $L_{น้ำแข็ง} = 333x10^3$ J/kg)



จาก $Q_{คาย} = Q_{รับ}$

$$(mc\Delta T)_{เหล็ก} = (mL)_{น้ำแข็ง} + (mc\Delta T)_{น้ำ}$$

ให้อุณหภูมิสุดท้าย ของสารทั้งสามเป็น t° C โดยที่ $0 < t < 100$

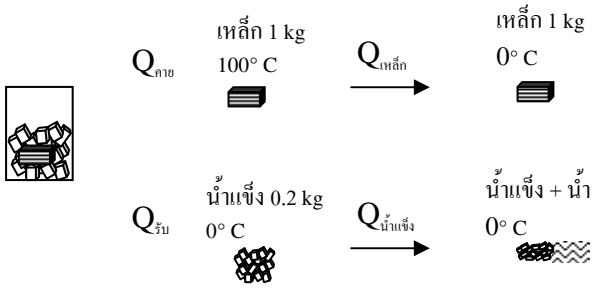
แทนค่าจะได้ $1.0x500x(100- t) = 0.2x333x10^3 + 0.2x4200x(t-0)$

$$50000 - 500t = 66600 + 840t$$

$$-16600 = 1340t$$

$\therefore t = -12.39^\circ C$ ไม่เป็นตามสมมติ แสดงว่าอุณหภูมิสุดท้ายเป็น $0^\circ C$ และมีน้ำแข็งละลายเป็นน้ำบางส่วน

วาดรูป และเขียนสมการใหม่จะได้



จาก $Q_{ตาย} = Q_{รับ}$

$$(mc\Delta T)_{เหล็ก} = (mL)_{น้ำแข็ง}$$

แทนค่าจะได้ $1.0x500x(100-0) = mx333x10^3$

$$50000 = 333x10^3 m$$

$\therefore m = 0.15 \text{ kg} = 150 \text{ g} < 200 \text{ g}$ OK

แสดงว่าอุณหภูมิสุดท้ายเป็น $0^\circ C$ และมีน้ำแข็งละลายไป 0.15 kg **Ans**

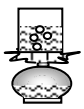
10.1.7 การถ่ายโอนความร้อน

มี 3 รูปแบบคือ

1. **การนำความร้อน**

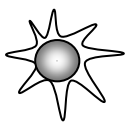
- ถ่ายโอนพลังงานความร้อน ผ่านตัวนำที่เป็นโลหะ เช่น จับปลายช้อนโลหะที่ปลายข้างหนึ่งอยู่ในเปลวไฟสักครูจะรู้สึกร้อน

2. **การพาความร้อน**



- ถ่ายโอนพลังงานความร้อน อาศัยการเคลื่อนที่ของสารเป็นพาหนะนำความร้อนเช่น ต้มน้ำร้อน น้ำบริเวณก้นภาชนะได้รับความร้อนจะขยายตัว ทำให้มีความหนาแน่นน้อยลง จึงลอยตัวสูงขึ้น น้ำที่อยู่ข้างบนมีอุณหภูมิต่ำกว่า มีความหนาแน่นมากกว่าจะจมลงมาแทนที่

3. **การแผ่รังสีความร้อน**



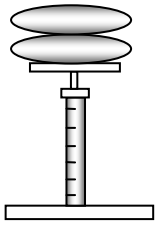
- ถ่ายโอนพลังงานความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลาง เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ แผ่มายังโลกในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

10.2 แก๊สอุดมคติ

- แก๊สอุดมคติประกอบด้วยโมเลกุลขนาดเล็ก อยู่ห่างกันมาก และไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน โมเลกุลเคลื่อนที่อย่างอิสระในทุกทิศทาง และการชนกันของโมเลกุลเป็นแบบยืดหยุ่น

10.2.1 กฎของบอยล์

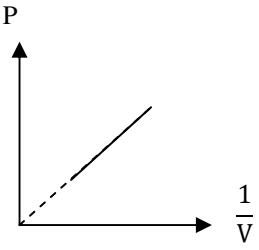
"สำหรับแก๊สในภาชนะปิด ถ้าอุณหภูมิคงตัว ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดัน"



$$V \propto \frac{1}{P}$$

เมื่อ T คงตัว

PV = ค่าคงตัว



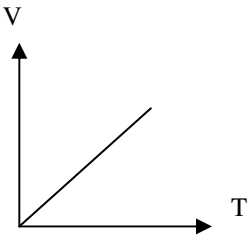
10.2.2 กฎของชาร์ล

"สำหรับแก๊สในภาชนะปิด ถ้าความดันคงตัว ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน"

$$V \propto T$$

เมื่อ P คงตัว

$\frac{V}{T}$ = ค่าคงตัว



10.2.3 กฎของแก๊ส

เมื่อนำ กฎของบอยส์และกฎของชาร์ลมาพิจารณารวมกันจะได้

$$V \propto \frac{T}{P}$$

หรือ $\frac{PV}{T} = $ ค่าคงตัว

จะได้ $$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สภาวะสมดุลของแก๊สในสถานะ 1 และ 2 **เมื่อมวลคงที่** (T หน่วย เคลวิน)

ถ้าหน่วย P, V ด้านซ้าย = ขวา ไม่ต้องแปลงหน่วย ยกเว้น T ต้องแปลงเป็น K ก่อนทุกครั้ง

จากการทดลองพบว่า $\frac{PV}{T} \propto n$ เมื่อ n = จำนวนโมลของแก๊ส = $\frac{m}{M}$ (m: มวลแก๊ส, M: มวล 1 โมล)

จะได้ $$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$$

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สภาวะสมดุลของแก๊สในสถานะ 1 และ 2
<u>เมื่อมวลไม่คงที่</u> (T หน่วย เคลวิน)

และ $$PV = nRT$$

เป็นกฎของแก๊สอุดมคติ

R = ค่าคงตัวของแก๊ส = 8.31 J/mol K

เมื่อแทน $n = \frac{N}{N_A}$ (N: จน.โมเลกุลของแก๊ส, N_A: เลขอโวกาโด = 6.02×10^{23})

แก๊ส 1 โมล มีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ 6.02×10^{23} โมเลกุล

จะได้ $PV = \frac{N}{N_A}RT$

ถ้าให้ $K_B = \frac{R}{N_A}$ = ค่าคงตัวของโบลต์ซมันน์ = $\frac{8.31}{6.02 \times 10^{23}} = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K

จะได้ $PV = NK_BT$

สมการ $PV = nRT$ หรือ $PV = NK_BT$ ยังสามารถใช้ได้กับแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกัน

<u>เคล็ดวิธีการแก้ปัญหาโจทย์ โดยไม่ต้องจำสูตรมาก</u>

1. จำเฉพาะสมการกฎของแก๊ส $PV = nRT$
2. จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า $P \propto T$, $P \propto n$, $V \propto T$, $V \propto n$ และ $P \propto \frac{1}{V}$ สำหรับแก๊สในสถานะหนึ่ง
3. จากสมการข้างต้น เมื่อต้องการเปรียบเทียบ แก๊สระหว่างสถานะ 1 และ 2 สามารถสร้างสมการใหม่ได้เองโดยการย้ายข้างตัวแปรคือ

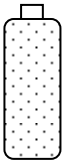
$$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = R \text{ และ } \frac{P_2V_2}{n_2T_2} = R$$

ดังนั้น $$\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$$ (P ที่ใช้เป็น $P_{สัมบูรณ์}$)

ถ้ามีตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งมีค่าคงเดิม ก็จะตัดกันไปเองในสมการ

ตัวอย่างที่ 10

แก๊สจำนวนหนึ่งมีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ความดัน 2×10^5 Pa อุณหภูมิ 7° C ถ้าต้องการให้แก๊สมีปริมาตร 2 ลูกบาศก์เมตร โดยความดันคงตัว อุณหภูมิสุดท้ายเป็นเท่าไร

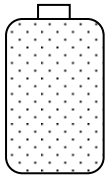


$V_1 = 1\ m^3$

$P_1 = 2x10^5\ Pa$

$T_1 = 273+7 = 280\ K$

n_1



$V_2 = 2\ m^3$

$P_2 = P_1$

$T_2 = ?$

$n_2 = n_1$

จากกฎของแก๊ส $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

ดังนั้น $\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$

เนื่องจาก P และ n คงที่

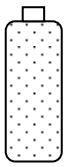
จะได้ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

$$\frac{1}{280} = \frac{2}{T_2}$$

$\therefore$ $T_2 = 560$ K หรือ $560 - 273 = 287°$ C **Ans**

ตัวอย่างที่ 11

แก๊สในถังใบหนึ่ง มีความร้อน 10^5 Pa เมื่อทำให้อุณหภูมิลดลงจาก 27° C เป็น -3° C ความดันจะเป็นเท่าไร

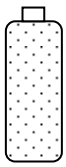


V_1

$P_1 = 2x10^5\ Pa$

$T_1 = 273+27 = 300\ K$

n_1



$V_2 = V_1$

$P_2 = ?$

$T_2 = 273+(-3) = 270\ K$

$n_2 = n_1$

จากกฎของแก๊ส $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

ดังนั้น $\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$

เนื่องจาก V และ n คงที่

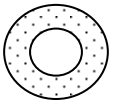
จะได้ $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

$\frac{10^5}{300} = \frac{P_2}{270}$

$\therefore\ P_2 = 0.9\text{x}10^5$ Pa **Ans**

ตัวอย่างที่ 12

สูบอากาศเข้ายางรถยนต์ ตอนเช้าเมื่ออุณหภูมิ 17° C วัดความดันเกจได้ $2 \text{ x } 10^5$ Pa พอตอนบ่ายอุณหภูมิร้อนขึ้นเป็น 27° C ความดันเกจของอากาศภายในยางรถยนต์จะเป็นเท่าไร (กำหนดความดันบรรยากาศ $=10^5$ Pa)

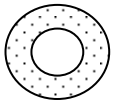


V_1

$P_{g1} = 2\text{x}10^5$ Pa

$T_1 = 273+17 = 290$ K

n_1



$V_2 = V_1$

$P_{g2} = ?$

$T_2 = 273+27 = 300$ K

$n_2 = n_1$

จากกฎของแก๊ส $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

ดังนั้น $\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$

เนื่องจาก V และ n คงที่

จะได้ $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

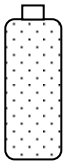
$\frac{(P_g+P_0)_1}{T_1} = \frac{(P_g+P_0)_2}{T_2}$ จากสมบัติของแก๊ส P ที่ใช้ต้องเป็น $P_{สัมบูรณ์}$ เท่านั้น

$\frac{2\text{x}10^5+10^5}{290} = \frac{P_{g2}+10^5}{300}$

$\therefore\ P_{g2} = 2.09\text{x}10^5$ Pa **Ans**

ตัวอย่างที่ 13

แก๊สไฮโดรเจนปริมาตร 10 ลิตร อุณหภูมิ 27° C ความดัน 10^5 Pa จะมีปริมาณแก๊สกี่โมล และมีมวลเท่าไร



V = 10 ลิตร

$P = 10^5$ Pa

T = 273+27 = 300 K

n = ?

m = ?

จากกฎของแก๊ส $PV = nRT$

ต้องการหาค่าปริมาณต่าง ๆ ของแก๊สในสถานะหนึ่ง

แทนค่าจะได้ $10^5(10x10^{-3}) = n\,(8.31)(300)$ 1 ลิตร = 1000 cc = 1000 cm^3 = $1000(10^{-6}\ m^3) = 10^{-3}\ m^3$

$\therefore \quad n = 10^3/2493 = 0.4$ โมล **Ans**

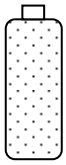
จาก $n = \frac{m}{M}$ ดังนั้น $m = nM$

$= 0.4x2.0x10^{-3}$

$\therefore \quad m = 8.0x10^{-4}$ kg **Ans**

ตัวอย่างที่ 14

แก๊สไนโตรเจนบรรจุในถังมีปริมาตร 50 ลูกบาศก์เดซิเมตร ความดัน 10 บรรยากาศ มีอุณหภูมิ 27° C ต่อมาใช้แก๊สไปบางส่วน จนมีความดัน 5 บรรยากาศ และมีอุณหภูมิ 17° C อยากทราบว่าใช้แก๊สไปกี่กิโลกรัม (R = 8.31 J/mol K, M_{N2} = 28 g/mol, 1 atm = 10^5 Pa)

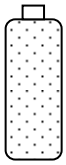


$V_1 = 50x10^{-3}\ m^3$

$P_1 = 10$ atm

$T_1 = 273+27 = 300$ K

n_1 = ?



$V_2 = 50x10^{-3}\ m^3$

$P_2 = 5$ atm

$T_2 = 273+17 = 290$ K

n_2 = ?

หา จน. โมล n_1 ได้จากกฎของแก๊ส $P_1 V_1 = n_1RT_1$

$10x10^5x50x10^{-3} = n_1x8.31x300$

$n_1 = 20$ โมล

หา จน. โมล n_2 ได้จากกฎของแก๊ส $P_2 V_2 = n_2RT_2$

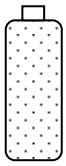
$5x10^5x50x10^{-3} = n_2x8.31x290$

$n_2 = 10.4$ โมล

$\therefore$ ใช้แก๊สไปเท่ากับ $n_1 - n_2 = 20 - 10.4 = 9.6$ โมล หรือ $9.6x28x10^{-3} = 0.27$ kg **Ans**

ตัวอย่างที่ 15

บรรจุแก๊สออกซิเจน 64 กรัม อุณหภูมิ 27° C ลงในภาชนะปริมาตร 20 ลิตร อยากทราบว่าแก๊สจะมีความดันเท่าไร (R = 8.31 J/mol K, M_{O2} = 28 g/mol)



m = 64 g

T = 273+27 = 300 K

V = $20x10^{-3}$ m^3

P = ?

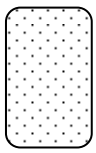
หา ความดัน P ได้จากกฎของแก๊ส $PV = nRT$

$$Px20x10^{-3} = \frac{64}{32}x8.31x300 \qquad n = \frac{m}{M}$$

$$\therefore P = 2.493x10^{5} \text{ Pa} \qquad \textbf{Ans}$$

ตัวอย่างที่ 16

ถ้าอากาศ 1 ลิตร มีมวล 1.3 กรัม ที่อุณหภูมิ 0° C ความดัน 1 บรรยากาศ จงหาความดันของอากาศมวล 13 กรัม ปริมาตร 10 ลิตร อุณหภูมิ 27° C

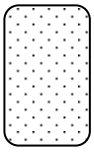


V_1 = 1 ลิตร

m_1 = 1.3 g

T_1 = 273+0 = 273 K

P_1 = 1 atm



V_2 = 10 ลิตร

m_2 = 13 g

T_2 = 273+27 = 300 K

P_2 = ?

จากกฎของแก๊ส $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

ดังนั้น $\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$

แต่ $n = \frac{m}{M}$ และ M คงที่

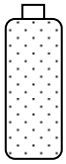
จะได้ $\frac{P_1V_1}{m_1T_1} = \frac{P_2V_2}{m_2T_2}$

$$\frac{1x1}{1.3x273} = \frac{P_2x10}{13x300}$$

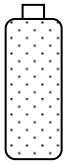
$$\therefore P_2 = 1.10 \text{ atm} \qquad \textbf{Ans}$$

ตัวอย่างที่ 17

แก๊สในถังใบหนึ่ง เมื่อใช้แก๊สไปจนความดันลดลงครึ่งหนึ่งของความดันเดิม จำนวนโมลของแก๊สจะลดลงเป็นเท่าใดของของเดิม เมื่ออุณหภูมิคงที่



V_1
P_1
T_1
n_1



$V_2 = V_1$
$P_2 = ½ P_1$
$T_2 = T_1$
$n_2 = ?$

จากกฎของแก๊ส $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

ดังนั้น $\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$

แต่ V และ T คงที่

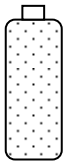
จะได้ $\frac{P_1}{n_1} = \frac{P_2}{n_2}$

$\frac{P_1}{n_1} = \frac{\frac{1}{2}P_1}{n_2}$

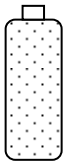
$\therefore n_2 = ½ n_1$ **Ans**

ตัวอย่างที่ 18

ถังใบหนึ่งบรรจุแก๊ส ความหนาแน่น 10 kg/m^3 ที่อุณหภูมิ 27° C ความดัน 2 บรรยากาศ ถ้าแก๊สรั่วออกไป ทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 17° C ความดัน 1 บรรยากาศ แก๊สจะมีความหนาแน่นเท่าไร



V_1
$T_1 = 273+27 = 300$ K
$P_1 = 2$ atm
$\rho_1 = 10$ kg/m^3



$V_2 = V_1$
$T_2 = 273+17 = 290$ K
$P_2 = 1$ atm
$\rho_2 = ?$

จากกฎของแก๊ส $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

ดังนั้น $\frac{P_1V_1}{n_1T_1} = \frac{P_2V_2}{n_2T_2}$

แต่ $n = \frac{m}{M}$ และ M คงที่

จะได้ $\frac{P_1V_1}{m_1T_1} = \frac{P_2V_2}{m_2T_2}$

$$\frac{P_1}{\frac{m_1}{V_1}T_1} = \frac{P_2}{\frac{m_2}{V_2}T_2}$$

$$\frac{P_1}{\rho_1 T_1} = \frac{P_2}{\rho_2 T_2}$$

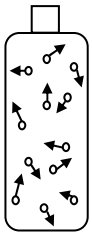
$$\frac{2}{10x300} = \frac{1}{\rho_2 x290}$$

$$\therefore \rho_2 = 5.17 \text{ kg/m}^3 \quad \textbf{Ans}$$

10.3 ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

10.3.1 แบบจำลองของแก๊สอุดมคติ

สรุปได้ดังนี้



1. แก๊สประกอบด้วย อนุภาคขนาดเล็กๆ เรียกว่าโมเลกุลเป็นจำนวนมาก โดยปริมาตรของโมเลกุลมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาตรแก๊สทั้งหมด
2. โมเลกุลของแก๊สมีการเคลื่อนที่ไปในทุกทิศทาง เรียกว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบ**บราวน์**
3. การชนกันของโมเลกุลของแก๊สเป็นแบบยืดหยุ่น และไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

10.3.2 พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุล ($< E_K >$)

พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส "$< E_K >$" เป็นค่าพลังงานจลน์ ที่เฉลี่ยของโมเลกุล หรือพลังงานใน 1 โมเลกุล มีหน่วยเป็นจูล (J)

$$\boxed{< E_K > = \frac{3}{2} K_B T}$$

ดังนั้นพลังงานจลน์ทั้งหมดของแก๊ส N โมเลกุลจะเท่ากับ $N< E_K >$

$$N< E_K > = \frac{3}{2} NK_B T$$
$$= \frac{3}{2} PV \qquad (\text{จาก } PV = NK_B T)$$
$$= \frac{3}{2} nRT \qquad (\text{จาก } PV = nRT)$$

- จากสมการ $< E_K >$ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์เท่านั้น ไม่ขึ้นกับชนิดของแก๊ส

10.3.3 **<u>อัตราเร็วของโมเลกุลของแก๊ส</u>**

อัตราของโมเลกุลของแก๊ส หาได้จาก ค่าอัตราเร็วรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย "v_{rms}" ($v_{root\ mean\ square}$) มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

$$\mathbf{v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}}$$

M = มวลของแก๊ส 1 โมล (kg)

- จากสมการ v_{rms} ขึ้นอยู่กับ T และ M
- v_{rms} ไม่เท่ากับ อัตราเร็วเฉลี่ย (v) แต่มีค่าใกล้เคียงกัน

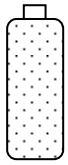
<u>ตัวอย่างที่ 19</u>

บรรจุแก๊สไฮโดรเจน 20 กรัมในภาชนะที่อุณหภูมิ 27° C (R = 8.31 J/mol K, M_{H2} = 2 g/mol) จงหา

ก. พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส

ข. พลังงานจลน์ของแก๊ส

ค. v_{rms} ของโมเลกุลของแก๊ส



m = 20 g

T = 273+27 = 300 K

ก. $< E_K > = ?$

จาก $< E_K > = \frac{3}{2} K_B T$ $\qquad K_B = \frac{R}{N_A} = \frac{8.31}{6.02x10^{23}} = 1.38x10^{-23}$

$= \frac{3}{2} \times 1.38x10^{-23}x300$

$\therefore < E_K > = 6.21x10^{-25}$ J **<u>Ans</u>**

ข. $N< E_K > = ?$

หา จน.โมเลกุล N จาก $N = n N_A$

$= \frac{m}{M} = \frac{20}{2} \times 6.02x10^{23}$

$N = 6.02x10^{24}$ โมเลกุล

$\therefore N< E_K > = 6.02x10^{24} \times 6.21x10^{-25} = 3.73$ J **<u>Ans</u>**

ค. v_{rms} = ?

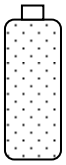
จาก $V_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$

$= \sqrt{\frac{3x8.31x300}{2x10^{-3}}} = \sqrt{3739500}$

$\therefore V_{rms} =$ 1933.78 m/s **Ans**

ตัวอย่างที่ 20

จงหาพลังงานจลน์ และพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส 3 โมล ในถัง 10 ลิตร มีความดัน 2 Pa



n = 3 โมล

V = 10 ลิตร = $10x10^{-3}$ m^3

P = 2 Pa

$N<E_K>$ = ?

$<E_K>$ = ?

หา จน.โมเลกุล N จาก $N = n N_A = 3x6.02x10^{23}$

หาพลังงานจลน์ทั้งหมดของแก๊สจาก $N< E_K > = \frac{3}{2} NK_BT = \frac{3}{2} PV$ ($\because PV = NK_BT$)

$= \frac{3}{2} x2x10x10^{-3}$

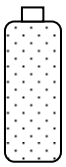
$\therefore N< E_K > = 3x10^{-2}$ J **Ans**

หาพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุล $< E_K >$ จาก $< E_K > = \frac{3x10^{-2}}{N} = \frac{3x10^{-2}}{3x6.02x10^{23}}$

$\therefore < E_K > = 1.66x10^{-26}$ J **Ans**

ตัวอย่างที่ 21

แก๊สชนิดหนึ่งมีความหนาแน่นของโมเลกุล $2x\ 10^{25}$ โมเลกุลต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความดัน 10^5 Pa จะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลเท่าไร



$N/V = 2x10^{25}$ โมเลกุล/m^3

$P = 1x10^5$ Pa

$<E_K>$ = ?

หาพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุล $< E_K >$ จาก $< E_K > = \frac{3}{2} K_BT$

แต่ $N< E_K > = \frac{3}{2} NK_BT = \frac{3}{2} PV$ ($\because PV = NK_BT$)

$< E_K > = \frac{3}{2} \frac{PV}{N}$

$= \frac{3}{2} x \frac{1x10^5}{2x10^{25}}$

$\therefore < E_K > = 7.5x10^{-21}$ J **Ans**

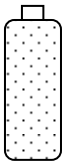
ตัวอย่างที่ 22

จงตอบคำถามต่อไปนี้

ก. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก๊สเป็น 2 เท่า พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลจะเป็นกี่เท่าของของเดิม

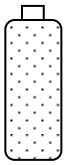
ข. เมื่อเพิ่มความดันให้แก๊สในถังเป็น 2 เท่า พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลจะเป็นกี่เท่าของของเดิม

ก.



T_1

$\langle E_{K1} \rangle$



$T_2 = 2\,T_1$

$\langle E_{K2} \rangle = ?$

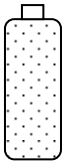
จาก $\langle E_K \rangle = \frac{3}{2} K_B T$

แสดงว่า $\langle E_K \rangle \propto T$

ดังนั้น $\frac{\langle E_{K1} \rangle}{\langle E_{K2} \rangle} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_1}{2T_1}$

$\therefore \langle E_{K2} \rangle = 2\langle E_{K1} \rangle$ **Ans**

ข.

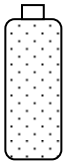


V_1

P_1

N_1

$\langle E_{K1} \rangle$



$V_2 = V_1$

$P_2 = 2\,P_1$

$N_2 = N_1$

$\langle E_{K2} \rangle = ?$

จาก $\langle E_K \rangle = \frac{3}{2} K_B T$

และ $N\langle E_K \rangle = \frac{3}{2} NK_B T = \frac{3}{2} PV$

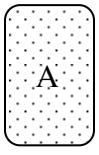
แสดงว่า $\langle E_K \rangle \propto P$ เมื่อ N และ V คงที่

ดังนั้น $\frac{\langle E_{K1} \rangle}{\langle E_{K2} \rangle} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_1}{2P_1}$

$\therefore \langle E_{K2} \rangle = 2\langle E_{K1} \rangle$ **Ans**

ตัวอย่างที่ 23

นำแก๊ส A จำนวน 1 โมล อุณหภูมิ 7° C ผสมกับแก๊ส B จำนวน 2 โมล อุณหภูมิ 27° C หลังผสมพลังงานจลน์ของแก๊สรวมเป็นเท่าใด (R = 8.31 J/mol K)

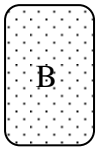


$n_A = 1$ โมล

$T_A = 273 + 7 = 280$ K

$\langle E_{KA} \rangle$

+



$n_B = 2$ โมล

$T_B = 273 + 27 = 300$ K

$\langle E_{KB} \rangle$

หา $N< E_K >$ จาก $N< E_K > = \frac{3}{2} NK_BT$

$= \frac{3}{2} nRT$

$(N< E_K >)_A + (N< E_K >)_B = (\frac{3}{2} nRT)_A + (\frac{3}{2} nRT)_B$

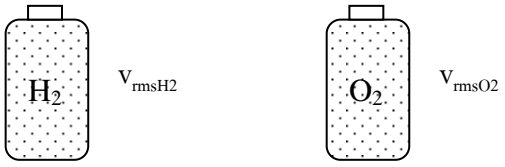
$= \frac{3}{2} R(n_AT_A + n_BT_B)$

$= \frac{3}{2} x8.31(1x280 + 2x300)$

∴ พลังงานจลน์รวม $= 1.097x10^4$ J **Ans**

ตัวอย่างที่ 24

อัตราเร็วของโมเลกุล ของแก๊สไฮโดรเจน เป็นกี่เท่าของแก๊สออกซิเจนในอากาศ ($M_{H2} = 2$ g/mol, $M_{O2} = 32$ g/mol)



จาก $v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$

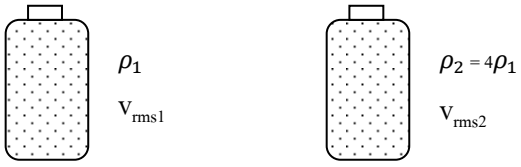
แสดงว่า $v_{rms} \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$ เมื่อ T คงที่

ดังนั้น $\frac{v_{rmsH2}}{v_{rmsO2}} = \sqrt{\frac{M_{O2}}{M_{H2}}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4$

∴ $v_{rmsH2} = 4\, v_{rmsO2}$ **Ans**

ตัวอย่างที่ 25

แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุในภาชนะปิด เมื่อทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 4 เท่า โดยความดันคงที่ v_{rms} จะเป็นกี่เท่าของของเดิม



จาก $v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$

และ $PV = nRT$

จะได้ $RT = \frac{PV}{n}$

ดังนั้น $v_{rms} = \sqrt{\frac{3PV}{nM}}$

$= \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$ เมื่อ $\frac{nM}{V} = \frac{m}{V} = \rho$

แสดงว่า $v_{rms} \propto \frac{1}{\sqrt{\rho}}$ เมื่อ P คงที่

ดังนั้น $\frac{v_{rms1}}{v_{rms2}} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} = \sqrt{\frac{4\rho_1}{\rho_1}} = 2$

$\therefore v_{rms2} = 2\, v_{rms1}$ **Ans**

10.4 พลังงานภายในระบบ

- **ระบบ** หมายถึง สิ่งที่เรากำลังศึกษา
- **สิ่งแวดล้อม** หมายถึง สิ่งที่เราไม่ต้องการศึกษา แต่มีผลต่อระบบ

พลังงานภายในระบบของแก๊ส " U " หมายถึง ผลรวมของพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ ของโมเลกุลทั้งหมดของแก๊สที่บรรจุในภาชนะ แต่เนื่องจากเป็นแก๊สในอุดมคติ ไม่มีแรงใด ๆกระทำต่อโมเลกุล รวมทั้งแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้น พลังงานศักย์ของโมเลกุลมีค่าเท่ากับศูนย์และพลังงานภายในระบบจึงเท่ากับพลังงานจลน์ทั้งหมดของแก๊สนั่นเอง

$$\mathbf{U = N\langle E_K \rangle}$$

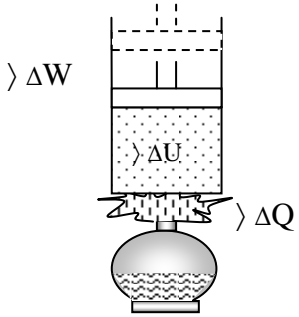
อาจกล่าวได้ว่า $U = \frac{3}{2} NK_BT$

$= \frac{3}{2} nRT$

$= \frac{3}{2} PV$

10.4.1 กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์

พลังความร้อนที่ให้กับระบบ มีค่าเท่ากับ ผลรวมของพลังงานภายในที่เพิ่มขึ้น กับงานที่ทำโดยระบบ



$$\mathbf{\Delta Q = \Delta U + \Delta W}$$

$\Delta W = F\Delta s$

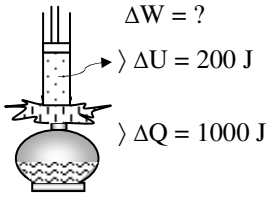
$= PA\Delta s$

$= P\Delta V$

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

ตัวอย่างที่ 26

ให้ความร้อนกับแก๊สในกระบอกสูบ 1000 J ทำให้พลังงานจลน์ของแก๊สเพิ่มขึ้น 200 J อยากทราบว่าต้องทำงานให้ระบบหรือระบบทำงาน เท่าไร



จาก $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$

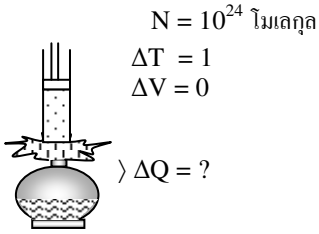
$1000 = 200 + \Delta W$

$\Delta W = 800$

∴ ระบบทำงานให้สิ่งแวดล้อม = 800 J (เพราะ ΔW เป็น +) **Ans**

ตัวอย่างที่ 27

แก๊สจำนวน 10^{24} โมเลกุล ถ้าต้องการให้แก๊สมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1° C จะต้องให้ความร้อนแก่แก๊สเท่าไร เมื่อปริมาตรคงที่ ($K_B = 1.38x10^{-23}$)



จาก $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$

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

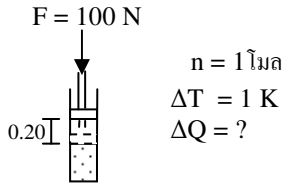
$= \frac{3}{2} x10^{24}x1.38x10^{-23}x1 + 0$

$\Delta Q = 20.7$

∴ ต้องให้ความร้อนแก่แก๊ส ΔQ = 20.7 J **Ans** (ΔQ เป็น +)

ตัวอย่างที่ 28

ออกแรง 100 N ดันลูกสูบที่ภายในกระบอกบรรจุแก๊สจำนวน 1 โมลทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 K กระบอกสูบจะรับหรือคายความร้อนเท่าไร ถ้าลูกสูบเคลื่อนตัวได้ 20 cm. (R = 8.31 J/mol K)



จาก $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$

$= \frac{3}{2} nR\Delta T + (-F\Delta s)$ (งานที่ให้กับระบบเป็น –)

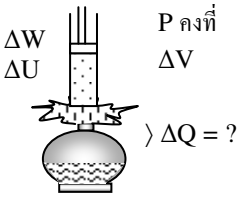
$= \frac{3}{2} x1x8.31x1 - 100x0.20$

$\Delta Q = -7.5$ (เป็น – ความร้อนออกจากระบบ)

∴ ลูกสูบจะคลายความร้อนออกมา $\Delta Q = 7.5$ J **Ans**

ตัวอย่างที่ 29

ต้องให้ความร้อนกับแก๊สเท่าไร จึงจะทำให้แก๊สมีปริมาตรเพิ่มขึ้น โดยความดัน คงที่



จาก $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$

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

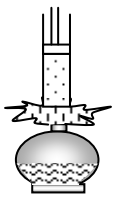
$= \frac{3}{2} P\Delta V + P\Delta V$ (∵ $PV = NK_BT$)

$\Delta Q = \frac{5}{2} P\Delta V$

∴ ต้องให้ความร้อนแก่แก๊ส $\Delta Q = \frac{5}{2} P\Delta V$ J **Ans**

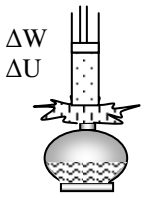
ตัวอย่างที่ 30

เมื่อให้ความร้อนกับแก๊สในกระบอกสูบ 20 ลิตร ที่อุณหภูมิ 27° C ความดัน 10^5 Pa ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออก จนกระทั่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 57° C โดยความดันคงที่ อยากทราบว่าให้ความร้อนแก่แก๊สเท่าใด



$V_1 = 20$ ลิตร
$T_1 = 273 + 27 = 300$ K
$P_1 = 10^5$ Pa

〉 $\Delta Q = ?$



ΔW
ΔU

$V_2 = ?$
$T_2 = 273 + 57 = 330$ K
$P_2 = P_1$

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

จาก $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$

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

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

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

$\Delta Q = 500$

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