

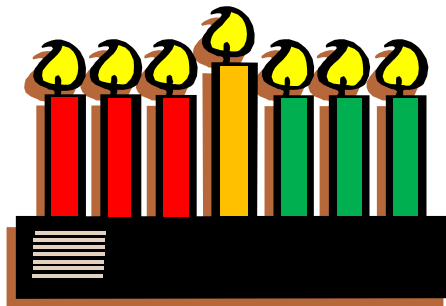
# โรงเรียนดีดี



ที่พึ่งทางการศึกษา ช่วยไขปัญหาให้ทุกคน [SchoolDD.com](http://SchoolDD.com)

บทที่ 10

## ความร้อน





# บทที่ 10

## ความร้อน

### 10.1 ความร้อน

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

- พลังงานความร้อน 1 แคลอรี (= 4.186 J) หมายถึง พลังงานความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1° C

#### 10.1.1 อุณหภูมิ

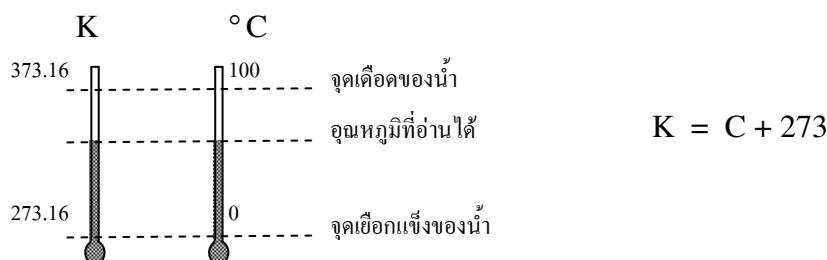
อุณหภูมิ เป็นตัวบอกระดับความร้อนของวัตถุ เมื่อวัตถุมีระดับความร้อนมากจะมีอุณหภูมิสูง วัตถุที่มีระดับความร้อนน้อยจะมีอุณหภูมิต่ำ ความร้อนจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากันจึงหยุดถ่ายเทความร้อน

#### 10.2.1 เทอร์โมมิเตอร์

เทอร์โมมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ นิยมใช้ปรอทบรรจุ เพราะนำความร้อนได้ดี และมีการขยายตัวและหดตัวได้รวดเร็วกว่า ปรอททึบแสง และไม่เกาะข้างแก้ว

สเกลของอุณหภูมิตามเทอร์โมมิเตอร์นิยมใช้สองสเกลคือ

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



การเปรียบเทียบสเกลของอุณหภูมิต่างๆ

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

C = องศาเซลเซียส

R = องศาโรเมอร์

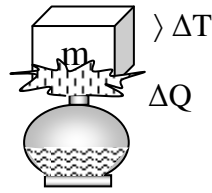
F = องศาฟาเรนไฮต์

K = เคลวิน



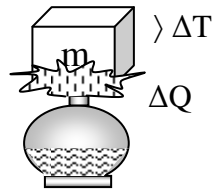
## 10.1.2 พลังงานความร้อนกับการเปลี่ยนอุณหภูมิของสาร

1. ความจุความร้อน (C) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารทั้งหมดที่กำลังพิจารณา 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  $\Delta T$  มีค่าเท่ากับ

$Q =$  พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น (J)

$m =$  มวลของสาร (kg)

$c =$  ความจุความร้อนจำเพาะของสาร (J/kg K)

$\Delta T =$  อุณหภูมิของสารที่เปลี่ยนไป (K หรือ °C)

$$Q = mc\Delta T$$

- 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** จงหาพลังงานความร้อนที่ทำให้หลอดทองแดงมวล 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 25°C ( $c_{\text{ทองแดง}} = 390$  J/kg K)

- ก. มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 45 °C
- ข. มีอุณหภูมิลดลงเป็น 15 °C
- ค. ต้องให้พลังงานความร้อนแก่หลอดทองแดงจึงจะทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

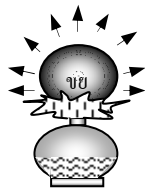
$$\begin{aligned} \text{จาก } Q &= mc\Delta T \\ &= 0.10 \times 390 \times (45 - 25) \\ \therefore Q &= 780 \text{ J } \quad \underline{\text{Ans}} \end{aligned}$$

- ข. หลอดทองแดงต้องคายพลังงานความร้อนออกมาจึงทำให้มีอุณหภูมิลดลง

$$\begin{aligned} \text{จาก } Q &= mc\Delta T \\ &= 0.10 \times 390 \times (25 - 15) \\ \therefore Q &= 390 \text{ J } \quad \underline{\text{Ans}} \end{aligned}$$

#### 10.1.4 การขยายตัวของวัตถุเนื่องจากความร้อน

วัตถุเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัว ทำให้ความยาว หรือพื้นที่หน้าตัด หรือปริมาตรเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะโมเลกุลภายในของวัตถุ มีการเคลื่อนที่มากขึ้น ทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลมีมากขึ้น ในทางกลับกันเมื่อวัตถุคายความร้อน จะมีการหดตัว



- การขยายตัวหรือหดตัวเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสาร สารชนิดเดียวกันขนาดเท่ากัน จะขยายตัวหรือหดตัวเท่ากัน เมื่อรับหรือคายความร้อนเท่ากันแต่สารต่างชนิดกันจะไม่เท่ากัน

#### 10.1.5 พลังงานความร้อนกับการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร

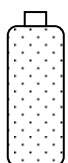
สสารมี 3 สถานะ คือ



**ของแข็ง** เช่น ก้อนหิน ท่อนเหล็ก มีรูปร่าง และปริมาตรคงตัว เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีมาก โมเลกุลอยู่ใกล้ชิดกัน



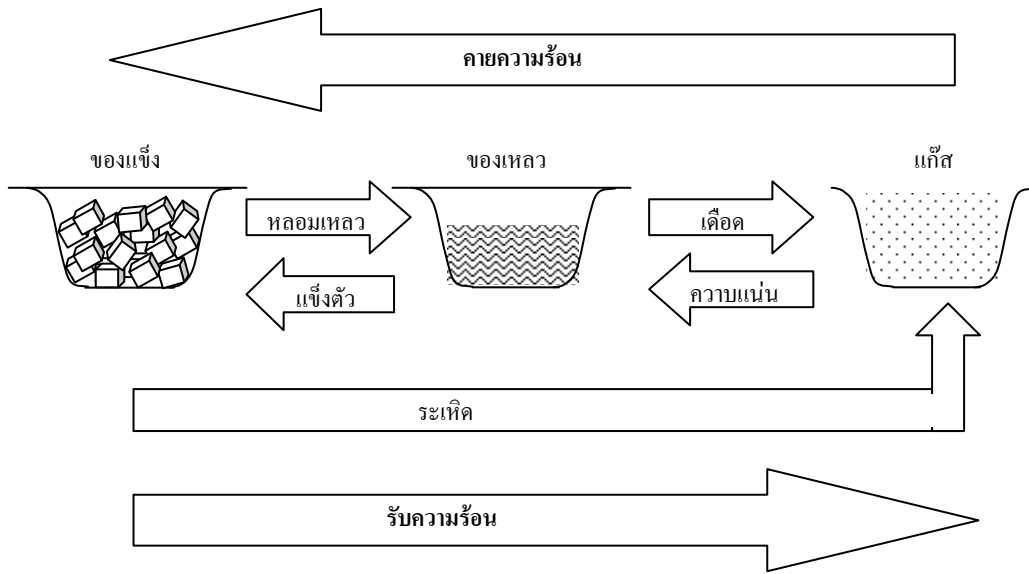
**ของเหลว** เช่น น้ำ น้ำมัน ปรอท มีปริมาตรคงตัว แต่รูปร่างไม่คงตัว เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีค่าน้อยกว่าของแข็ง โมเลกุลจึงเคลื่อนที่ไปมาได้บ้าง



**แก๊ส** เช่น อากาศ แก๊สต่าง มีรูปร่างและปริมาตรไม่คงตัว เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีค่าน้อยมาก จนโมเลกุลอยู่ห่างกันมาก และเคลื่อนที่ไปทุกทิศทางฟุ้งกระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ



สารจะมีการเปลี่ยนสถานะ เมื่อมีพลังงานความร้อนมาเกี่ยวข้องกับรูปร่าง



พลังงานความร้อนที่ทำให้สารมวล  $m$  เปลี่ยนสถานะ โดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงมีค่าเท่ากับ

$$Q = mL$$

$Q$  = พลังงานความร้อน (J)

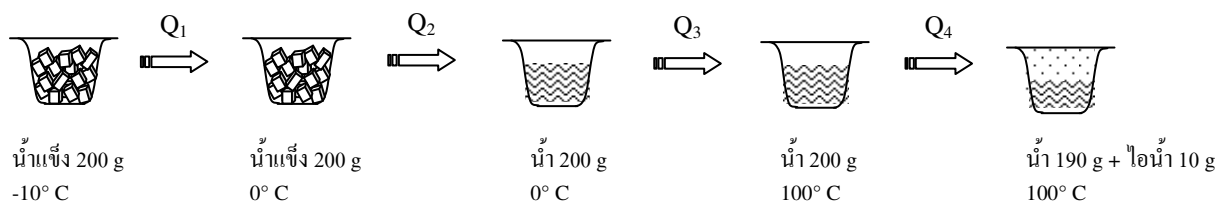
$m$  = มวลของสาร (kg)

$L$  = ความร้อนแฝงจำเพาะของการเปลี่ยนสถานะ (J/kg)

สาร	ความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลว " $L_m$ " (J/kg)	ความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอ " $L_v$ " (J/kg)
น้ำ	$333 \times 10^3$	$2256 \times 10^3$
ไฮโดรเจน	$58.6 \times 10^3$	$452 \times 10^3$
ฮีเลียม	$5.23 \times 10^3$	$20.9 \times 10^3$

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

“เอาข้อมูลจากโจทย์มาวาดเป็นรูป จะมองเห็นภาพ ทำให้เข้าใจง่าย และแก้ปัญหาได้ถูกต้อง”





จากรูป หาพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำแข็ง 200 g ที่  $-10^{\circ}\text{C}$  มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น  $0^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned} Q_1 &= mc\Delta T \\ &= 0.2 \times 2100 \times (0 - (-10)) \\ Q_1 &= 4200 \text{ J} \end{aligned}$$

หาพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำแข็ง 200 g ที่  $0^{\circ}\text{C}$  ละลายเป็นน้ำทั้งหมดที่  $0^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned} Q_2 &= mL \\ &= 0.2 \times 333 \times 10^3 \\ Q_2 &= 66600 \text{ J} \end{aligned}$$

หาพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำ 200 g ที่  $0^{\circ}\text{C}$  มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น  $100^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned} Q_3 &= mc\Delta T \\ &= 0.2 \times 4186 \times (100 - 0) \\ Q_3 &= 83720 \text{ J} \end{aligned}$$

หาพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำ 10 g ที่  $100^{\circ}\text{C}$  เดือดเป็นไอน้ำ 10 g ที่  $100^{\circ}\text{C}$

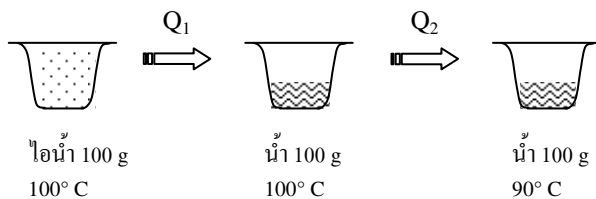
$$\begin{aligned} Q_4 &= mL \\ &= 0.01 \times 2256 \times 10^3 \\ Q_4 &= 22560 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{พลังงานความร้อนทั้งหมด } Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \\ &= 4200 + 66600 + 83720 + 22560 \\ Q &= 177080 \text{ J } \quad \underline{\text{Ans}} \end{aligned}$$

### ตัวอย่างที่ 3

ไอน้ำมวล 100 กรัม อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  ต้องคายพลังงานความร้อนออกมาเท่าไร จึงจะกลายเป็นน้ำทั้งหมดที่  $90^{\circ}\text{C}$  ( $c_{\text{น้ำ}} = 4186 \text{ J/kg K}$ ,  $L_{\text{น้ำ}} = 2256 \times 10^3 \text{ J/kg}$ )

“วาดรูปตามโจทย์”



จากรูป หาพลังงานความร้อนของไอน้ำ 100 g ที่  $100^{\circ}\text{C}$  ควมนกลายเป็นน้ำ 100 g ที่  $100^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned} Q_1 &= mL_v \\ &= 0.1 \times 2256 \times 10^3 \quad (L_{\text{เดือด}} = L_{\text{ควมน}}) \\ Q_1 &= 225600 \text{ J} \end{aligned}$$

หาพลังงานความร้อนของน้ำ 100 g ที่  $100^{\circ}\text{C}$  คายออกมา กลายเป็นน้ำ 100 g ที่  $90^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned} Q_2 &= mc\Delta T \\ &= 0.1 \times 4186 \times (100 - 90) \\ Q_2 &= 4186 \text{ J} \end{aligned}$$

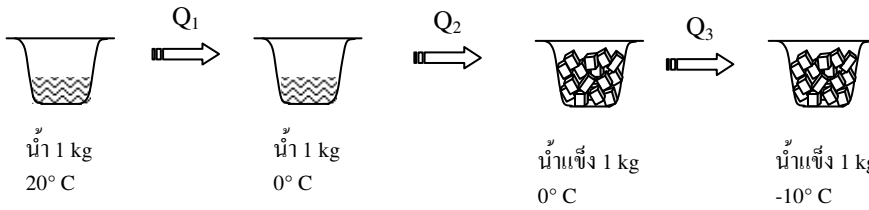
$$\begin{aligned} \therefore \text{พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ต้องคายออกมา } Q &= Q_1 + Q_2 \\ &= 225600 + 4186 \\ Q &= 229786 \text{ J } \quad \underline{\text{Ans}} \end{aligned}$$



#### ตัวอย่างที่ 4

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

“วาดรูปตามโจทย์”



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

$$Q_1 = mc\Delta T$$

$$= 1.0 \times 4186 \times (20 - 0)$$

$$Q_1 = 83720 \text{ J}$$

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

$$Q_2 = mL_m$$

$$= 1.0 \times 333 \times 10^3 \quad (L_{\text{หลอมเหลว}} = L_{\text{แข็งตัว}})$$

$$Q_2 = 333000 \text{ J}$$

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

$$Q_3 = mc\Delta T$$

$$= 1.0 \times 2100 \times (0 - (-10))$$

$$Q_3 = 21000 \text{ J}$$

$$\therefore \text{พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ต้องคายออกมา } Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$= 83720 + 333000 + 21000$$

$$Q = 437720 \text{ J} \quad \text{Ans}$$

#### 10.1.6 สมดุลความร้อน

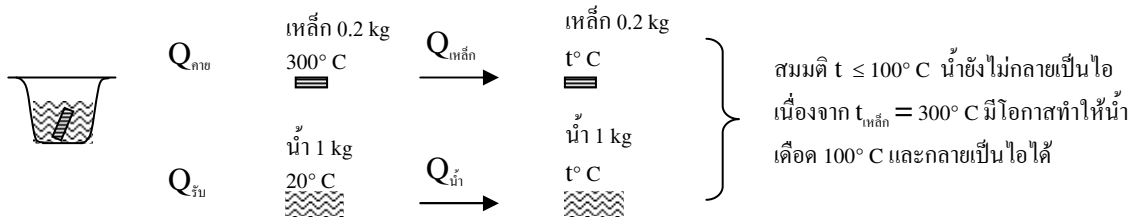
เมื่อนำวัตถุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปที่มีอุณหภูมิต่างกันมาสัมผัสกันหรือผสมกัน จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปยังวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จนกระทั่งวัตถุทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน จึงหยุดถ่ายเทความร้อน เรียกสภาวะเช่นนี้ว่าเกิด **สมดุลความร้อน**

ปริมาณความร้อนที่วัตถุอุณหภูมิสูงคายออกมา = ปริมาณความร้อนที่วัตถุอุณหภูมิต่ำรับเข้าไป

$$Q_{\text{คาย}} = Q_{\text{รับ}} \quad \text{หรือ } Q_{\text{ลด}} = Q_{\text{เพิ่ม}}$$

#### ตัวอย่างที่ 5

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



จาก  $Q_{\text{คาย}} = Q_{\text{รับ}}$

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

ให้อุณหภูมิสุดท้าย ของสารทั้งสองเป็น  $t^{\circ}$  C โดยที่  $20 < t \leq 100$

แทนค่าจะได้  $0.2 \times 500 \times (300 - t) = 1.0 \times 4200 \times (t - 20)$

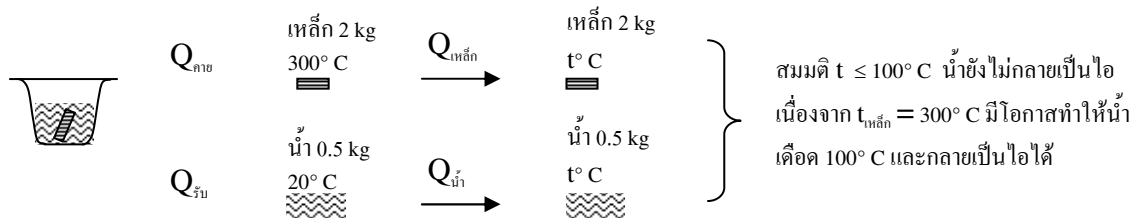
$$30000 - 100t = 4200t - 84000$$

$$114000 = 4300t$$

$$\therefore t = 26.5^{\circ}$$
 C **Ans** (ตามสมมติ)

### ตัวอย่างที่ 6

จากตัวอย่างที่ 5 ถ้าเพิ่มมวลเหล็กเส้นเป็น 2 กิโลกรัม และลดมวลน้ำเป็น 0.5 กิโลกรัม อุณหภูมิสุดท้าย จะเป็นเท่าใด



จาก  $Q_{\text{คาย}} = Q_{\text{รับ}}$

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

ให้อุณหภูมิสุดท้าย ของสารทั้งสองเป็น  $t^{\circ}$  C โดยที่  $20 < t \leq 100$

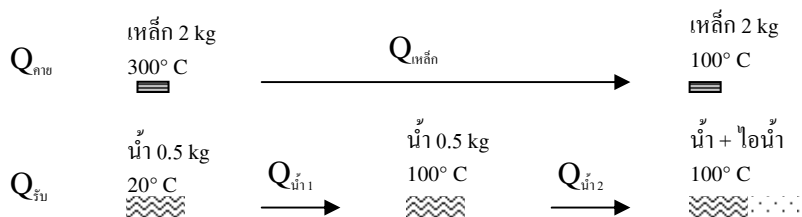
แทนค่าจะได้  $2.0 \times 500 \times (300 - t) = 0.5 \times 4200 \times (t - 20)$

$$30000 - 100t = 2100t - 42000$$

$$342000 = 3100t$$

$$\therefore t = 110.3^{\circ}$$
 C  $> 100^{\circ}$  C ไม่เป็นตามสมมติแสดงว่ามีน้ำเดือด กลายเป็นไอ

และอุณหภูมิสุดท้ายเป็น  $100^{\circ}$  C วาดรูปและเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้







หามวลของน้ำที่กลายเป็นไอ ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{จาก } Q_{\text{คาย}} = Q_{\text{รับ}}$$

$$(mc\Delta T)_{\text{เหล็ก}} = (mc\Delta T)_{\text{น้ำ}_1} + (mL)_{\text{น้ำ}_2}$$

$$\text{แทนค่าจะได้ } 2.0 \times 500 \times (300 - 100) = 0.5 \times 4200 \times (100 - 20) + m \times 2256 \times 10^3$$

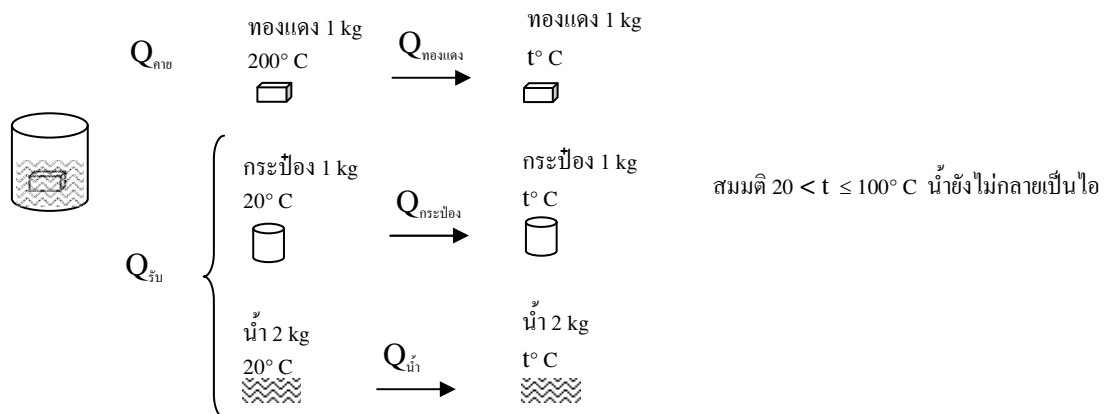
$$32000 = 2256 \times 10^3$$

$$\therefore m = 0.014 \text{ kg}$$

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 กิโลกรัม อุณหภูมิ 20° C ถ้าใส่ก้อนทองแดงมวล 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 200° C ลงไปในน้ำ จะมีอุณหภูมิสุดท้ายเป็นเท่าไร (กำหนด  $c_{\text{อะลูมิเนียม}} = 1000 \text{ J/kg K}$ ,  $c_{\text{น้ำ}} = 4200 \text{ J/kg}$  และ  $c_{\text{ทองแดง}} = 400 \text{ J/kg K}$ )



$$\text{จาก } Q_{\text{คาย}} = Q_{\text{รับ}}$$

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

ให้อุณหภูมิสุดท้ายของสารทั้งสองเป็น  $t^\circ \text{C}$  โดยที่  $20 < t \leq 100$

$$\text{แทนค่าจะได้ } 1.0 \times 400 \times (200 - t) = 1.0 \times 1000 \times (t - 20) + 2.0 \times 4200 \times (t - 20)$$

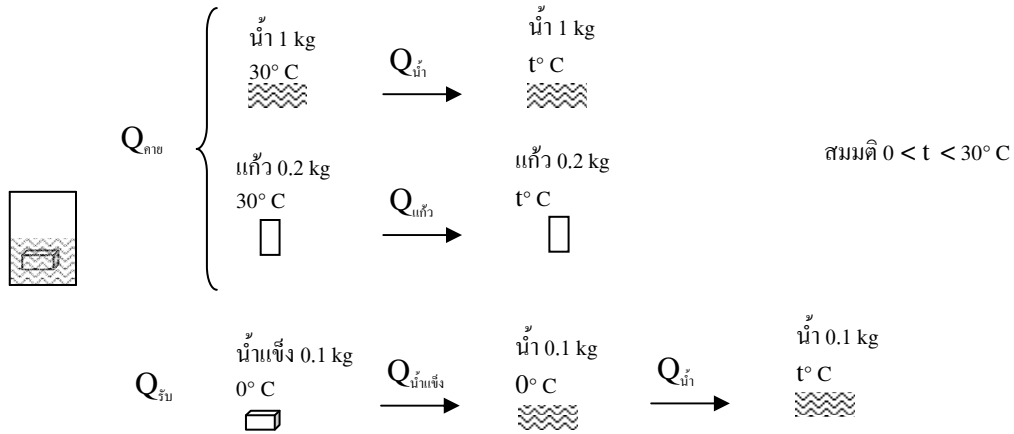
$$80000 - 400t = 1000t - 20000 + 8400t - 168000$$

$$268000 = 9800t$$

$$\therefore t = 27.35^\circ \text{C} \quad \text{Ans} \quad (\text{ตามสมมติ})$$

### ตัวอย่างที่ 8

แก๊วน้ำมวล 200 กรัม บรรจุน้ำ 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 30° C หย่อนน้ำแข็งมวล 100 กรัมลงไป อุณหภูมิ 0° C ลงไป จงหาอุณหภูมิสุดท้ายของการผสมกัน (กำหนด  $c_{\text{แก๊ว}} = 800 \text{ J/kg K}$ ,  $c_{\text{น้ำ}} = 4200 \text{ J/kg K}$ ,  $L_{\text{น้ำแข็ง}} = 333 \times 10^3 \text{ J/kg}$ )



จาก  $Q_{\text{น้ำ}} = Q_{\text{น้ำแข็ง}}$

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

ให้อุณหภูมิสุดท้าย ของสารทั้งสามเป็น  $t^\circ\text{C}$  โดยที่  $0 < t < 30$

แทนค่าจะได้  $1.0 \times 4200 \times (30 - t) + 0.2 \times 800 \times (30 - t) = 0.1 \times 333 \times 10^3 + 0.1 \times 4200 \times (t - 0)$

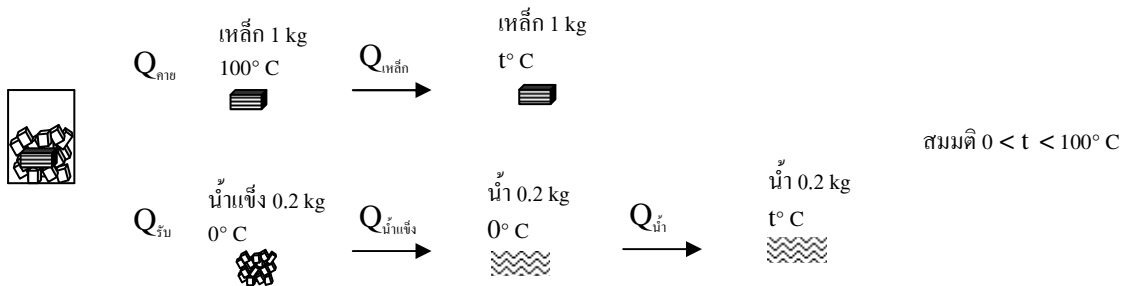
$$4360 \times (30 - t) = 33300 + 420t$$

$$97500 = 4780t$$

$$\therefore t = 20.4^\circ\text{C} \quad \text{Ans} \quad (\text{ตามสมมติ})$$

### ตัวอย่างที่ 9

นำแท่งเหล็กมวล 1 กิโลกรัมที่  $100^\circ\text{C}$  ใสลงในน้ำแข็งมวล 200 กรัม อุณหภูมิสุดท้ายของการผสมจะเป็นเท่าไร (กำหนด  $c_{\text{เหล็ก}} = 500 \text{ J/kg K}$ ,  $c_{\text{น้ำ}} = 4200 \text{ J/kg K}$ ,  $L_{\text{น้ำแข็ง}} = 333 \times 10^3 \text{ J/kg}$ )



จาก  $Q_{\text{เหล็ก}} = Q_{\text{น้ำ}}$

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

ให้อุณหภูมิสุดท้าย ของสารทั้งสามเป็น  $t^\circ\text{C}$  โดยที่  $0 < t < 100$

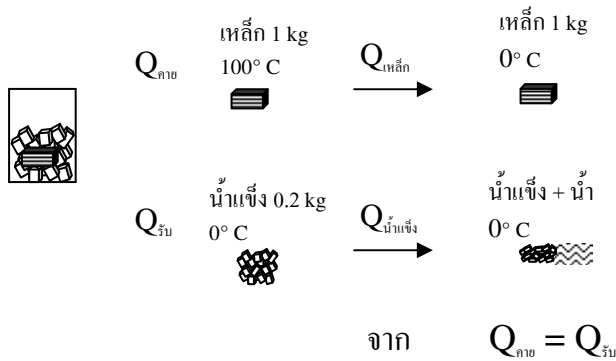
แทนค่าจะได้  $1.0 \times 500 \times (100 - t) = 0.2 \times 333 \times 10^3 + 0.2 \times 4200 \times (t - 0)$

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

$$-16600 = 1340t$$



$\therefore t = -12.39^{\circ}\text{C}$  ไม่เป็นตามสมมติ แสดงว่าอุณหภูมิสุดท้ายเป็น  $0^{\circ}\text{C}$  และมีน้ำแข็งละลายเป็นน้ำบางส่วน  
วาดรูป และเขียนสมการใหม่จะได้



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

แทนค่าจะได้  $1.0 \times 500 \times (100 - 0) = m \times 333 \times 10^3$

$$50000 = 333 \times 10^3 m$$

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

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

### 10.1.7 การถ่ายโอนความร้อน

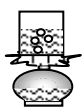
มี 3 รูปแบบคือ

#### 1. การนำความร้อน



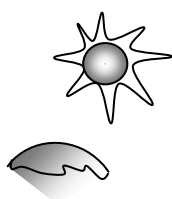
- ถ่ายโอนพลังงานความร้อน ผ่านตัวนำที่เป็นโลหะ เช่น จับปลายข้อโลหะที่ปลายข้างหนึ่ง อยู่ในเปลวไฟสักครู่จะรู้สึกร้อน

#### 2. การพาความร้อน



- ถ่ายโอนพลังงานความร้อน อาศัยการเคลื่อนที่ของสารเป็นพาหนะนำความร้อนเช่น ต้มน้ำร้อน น้ำบริเวณก้นภาชนะได้รับความร้อนจะขยายตัว ทำให้มีความหนาแน่นน้อยลง จึงลอยตัวสูงขึ้น น้ำที่อยู่ข้างบนมีอุณหภูมิต่ำกว่า มีความหนาแน่นมากกว่าจะจมลงมาแทนที่

#### 3. การแผ่รังสีความร้อน



- ถ่ายโอนพลังงานความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลาง เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ แผ่มายังโลก ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

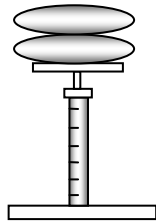


## 10.2 แก๊สอุดมคติ

- แก๊สอุดมคติประกอบด้วยโมเลกุลขนาดเล็ก อยู่ห่างกันมาก และไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน โมเลกุลเคลื่อนที่อย่างอิสระในทุกทิศทาง และการชนกันของ โมเลกุลเป็นแบบยืดหยุ่น

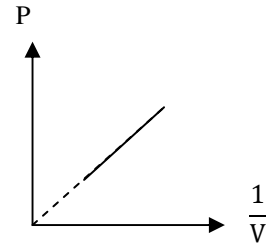
### 10.2.1 กฎของบอยล์

“สำหรับแก๊สในภาชนะปิด ถ้าอุณหภูมิคงตัว ปริมาตรของแก๊สจะแปรผกผันกับความดัน”



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

เมื่อ T คงตัว  
PV = ค่าคงตัว

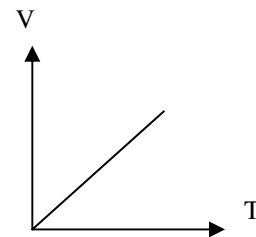


### 10.2.2 กฎของชาร์ล

“สำหรับแก๊สในภาชนะปิด ถ้าความดันคงตัว ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิเคลวิน”

$$V \propto T$$

เมื่อ P คงตัว  
 $\frac{V}{T} = \text{ค่าคงตัว}$



### 10.2.3 กฎของแก๊ส

เมื่อนำ กฎของบอยล์และกฎของชาร์ลมาพิจารณารวมกันจะได้

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

หรือ  $\frac{PV}{T} = \text{ค่าคงตัว}$

จะได้

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

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 =  $\frac{m}{M}$

$\nearrow$  มวลแก๊ส  
 $\searrow$  มวล 1 โมล

จะได้ 
$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สถานะสมดุลของแก๊สในสถานะ 1 และ 2  
 เมื่อมวลไม่คงที่ (T หน่วย เคลวิน)

และ 
$$PV = nRT$$

เป็นกฎของแก๊สอุดมคติ  
 $R$  = ค่าคงตัวของแก๊ส = 8.31 J/mol K

เมื่อแทน  $n = \frac{N}{N_A}$

$\nearrow$  จน. โมเลกุลของแก๊ส  
 $\searrow$  เลขอโวกาโด =  $6.02 \times 10^{23}$

แก๊ส 1 โมล มีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  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  $PV = NK_B T$

สมการ  $PV = nRT$  หรือ  $PV = NK_B T$  ยังสามารถใช้ได้กับแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกัน

### เคล็ดลับวิธีการแก้ปัญหาโจทย์ โดยไม่ต้องจำสูตรมาก

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

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = R \quad \text{และ} \quad \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} = R$$

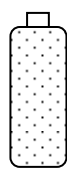
$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \quad (P \text{ ที่ใช้เป็น } P_{\text{สัมบูรณ์}})$$

ถ้ามีตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งมีค่าคงเดิม ก็จะตัดกันไปเองในสมการ



### ตัวอย่างที่ 10

แก๊สจำนวนหนึ่งมีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ความดัน  $2 \times 10^5$  Pa อุณหภูมิ  $7^\circ\text{C}$  ถ้าต้องการให้แก๊สมีปริมาตร 2 ลูกบาศก์เมตร โดยความดันคงตัว อุณหภูมิสุดท้ายจะเป็นเท่าไร



$$V_1 = 1 \text{ m}^3$$

$$P_1 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 273 + 7 = 280 \text{ K}$$

$$n_1$$



$$V_2 = 2 \text{ m}^3$$

$$P_2 = P_1$$

$$T_2 = ?$$

$$n_2 = n_1$$

จากกฎของแก๊ส  $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

เนื่องจาก P และ n คงที่

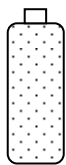
$$\text{จะได้} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

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

$$\therefore T_2 = 560 \text{ K} \text{ หรือ } 560 - 273 = 287^\circ\text{C} \quad \text{Ans}$$

### ตัวอย่างที่ 11

แก๊สในถังใบหนึ่ง มีความร้อน  $10^5$  Pa เมื่อทำให้อุณหภูมิลดลงจาก  $27^\circ\text{C}$  เป็น  $-3^\circ\text{C}$  ความดันจะเป็นเท่าไร



$$V_1$$

$$P_1 = 2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 273 + 27 = 300 \text{ K}$$

$$n_1$$



$$V_2 = V_1$$

$$P_2 = ?$$

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

$$n_2 = n_1$$

จากกฎของแก๊ส  $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

เนื่องจาก V และ n คงที่



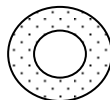
$$\text{จะได้ } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

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

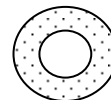
$$\therefore P_2 = 0.9 \times 10^5 \text{ Pa } \underline{\text{Ans}}$$

### ตัวอย่างที่ 12

สูบลอากาศเข้ายางรถยนต์ ตอนเช้าเมื่ออุณหภูมิ  $17^\circ \text{C}$  วัดความดันเกจได้  $2 \times 10^5 \text{ Pa}$  พอตอนบ่าย อุณหภูมิร้อนขึ้นเป็น  $27^\circ \text{C}$  ความดันเกจของอากาศภายในยางรถยนต์จะเป็นเท่าไร (กำหนดความดันบรรยากาศ  $= 10^5 \text{ Pa}$ )



$$\begin{aligned} V_1 \\ P_{g1} &= 2 \times 10^5 \text{ Pa} \\ T_1 &= 273 + 17 = 290 \text{ K} \\ n_1 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 \\ P_{g2} &=? \\ T_2 &= 273 + 27 = 300 \text{ K} \\ n_2 &= n_1 \end{aligned}$$

จากกฎของแก๊ส  $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

$$\text{ดังนั้น } \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

เนื่องจาก  $V$  และ  $n$  คงที่

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

$$\frac{(P_g + P_0)_1}{T_1} = \frac{(P_g + P_0)_2}{T_2}$$

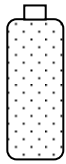
จากสมบัติของแก๊ส  $P$  ที่ใช้ต้องเป็น  $P_{\text{สัมบูรณ์}}$  เท่านั้น

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

$$\therefore P_{g2} = 2.09 \times 10^5 \text{ Pa } \underline{\text{Ans}}$$

### ตัวอย่างที่ 13

แก๊สไฮโดรเจนปริมาตร 10 ลิตร อุณหภูมิ  $27^\circ \text{C}$  ความดัน  $10^5 \text{ Pa}$  จะมีปริมาณแก๊สกี่โมล และมีมวลเท่าไร



$$V = 10 \text{ ลิตร}$$

$$P = 10^5 \text{ Pa}$$

$$T = 273 + 27 = 300 \text{ K}$$

$$n = ?$$

$$m = ?$$

จากกฎของแก๊ส  $PV = nRT$

ต้องการหาค่าปริมาณต่าง ๆ ของแก๊สในสถานะหนึ่ง

แทนค่าจะได้  $10^5(10 \times 10^{-3}) = n(8.31)(300)$       1 ลิตร = 1000 cc = 1000 cm<sup>3</sup> = 1000(10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>) = 10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>

$$\therefore n = 10^3 / 2493 = 0.4 \text{ โมล} \quad \underline{\text{Ans}}$$

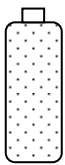
$$\text{จาก } n = \frac{m}{M} \text{ ดังนั้น } m = nM$$

$$= 0.4 \times 2.0 \times 10^{-3}$$

$$\therefore m = 8.0 \times 10^{-4} \text{ kg} \quad \underline{\text{Ans}}$$

#### 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<sub>N<sub>2</sub></sub> = 28 g/mol, 1 atm = 10<sup>5</sup> Pa)

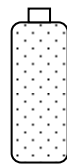


$$V_1 = 50 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P_1 = 10 \text{ atm}$$

$$T_1 = 273 + 27 = 300 \text{ K}$$

$$n_1 = ?$$



$$V_2 = 50 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P_2 = 5 \text{ atm}$$

$$T_2 = 273 + 17 = 290 \text{ K}$$

$$n_2 = ?$$

หา จน. โมล  $n_1$  ได้จากกฎของแก๊ส  $P_1 V_1 = n_1 RT_1$

$$10 \times 10^5 \times 50 \times 10^{-3} = n_1 \times 8.31 \times 300$$

$$n_1 = 20 \text{ โมล}$$

หา จน. โมล  $n_2$  ได้จากกฎของแก๊ส  $P_2 V_2 = n_2 RT_2$

$$5 \times 10^5 \times 50 \times 10^{-3} = n_2 \times 8.31 \times 290$$

$$n_2 = 10.4 \text{ โมล}$$

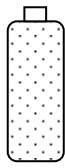
$$\therefore \text{ใช้แก๊สไปเท่ากับ } n_1 - n_2 = 20 - 10.4 = 9.6 \text{ โมล หรือ } 9.6 \times 28 \times 10^{-3} = 0.27 \text{ kg} \quad \underline{\text{Ans}}$$





### ตัวอย่างที่ 15

บรรจุแก๊สออกซิเจน 64 กรัม อุณหภูมิ 27° C ลงในภาชนะปริมาตร 20 ลิตร อยากทราบว่าแก๊สจะมีความดันเท่าไร ( R = 8.31 J/mol K, M<sub>O<sub>2</sub></sub> = 28 g/mol )



$$m = 64 \text{ g}$$

$$T = 273 + 27 = 300 \text{ K}$$

$$V = 20 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$P = ?$$

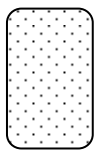
หาความดัน P ได้จากกฎของแก๊ส  $PV = nRT$

$$P \times 20 \times 10^{-3} = \frac{64}{32} \times 8.31 \times 300 \quad n = \frac{m}{M}$$

$$\therefore P = 2.493 \times 10^5 \text{ Pa} \quad \text{Ans}$$

### ตัวอย่างที่ 16

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

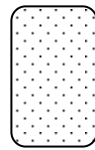


$$V_1 = 1 \text{ ลิตร}$$

$$m_1 = 1.3 \text{ g}$$

$$T_1 = 273 + 0 = 273 \text{ K}$$

$$P_1 = 1 \text{ atm}$$



$$V_2 = 10 \text{ ลิตร}$$

$$m_2 = 13 \text{ g}$$

$$T_2 = 273 + 27 = 300 \text{ K}$$

$$P_2 = ?$$

จากกฎของแก๊ส  $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

แต่  $n = \frac{m}{M}$  และ M คงที่

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

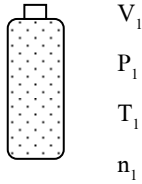
$$\frac{1 \times 1}{1.3 \times 273} = \frac{P_2 \times 10}{13 \times 300}$$

$$\therefore P_2 = 1.10 \text{ atm} \quad \text{Ans}$$

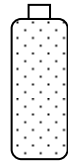


### ตัวอย่างที่ 17

แก๊สในถังใบหนึ่ง เมื่อใช้แก๊สไปจนความดันลดลงครึ่งหนึ่งของความดันเดิม จำนวนโมลของแก๊สจะลดลงเป็นเท่าใดของของเดิม เมื่ออุณหภูมิคงที่



$V_1$   
 $P_1$   
 $T_1$   
 $n_1$



$V_2 = V_1$   
 $P_2 = \frac{1}{2} P_1$   
 $T_2 = T_1$   
 $n_2 = ?$

จากกฎของแก๊ส  $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

แต่  $V$  และ  $T$  คงที่

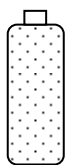
$$\text{จะได้} \quad \frac{P_1}{n_1} = \frac{P_2}{n_2}$$

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

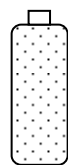
$$\therefore n_2 = \frac{1}{2} n_1 \quad \text{Ans}$$

### ตัวอย่างที่ 18

ถังใบหนึ่งบรรจุแก๊ส ความหนาแน่น  $10 \text{ kg/m}^3$  ที่อุณหภูมิ  $27^\circ \text{C}$  ความดัน 2 บรรยากาศ ถ้าแก๊สรั่วออกไป ทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือ  $17^\circ \text{C}$  ความดัน 1 บรรยากาศ แก๊สจะมีความหนาแน่นเท่าไร



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



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

จากกฎของแก๊ส  $PV = nRT$

ต้องการเปรียบเทียบแก๊ส 2 สถานะ

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

แต่  $n = \frac{m}{M}$  และ  $M$  คงที่



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

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

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

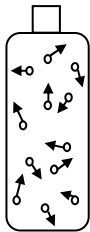
$$\frac{2}{10 \times 300} = \frac{1}{\rho_2 \times 290}$$

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

### 10.3 ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

#### 10.3.1 แบบจำลองของแก๊สอุดมคติ

สรุปได้ดังนี้



1. แก๊สประกอบด้วย อนุภาคขนาดเล็กๆ เรียกว่าโมเลกุลเป็นจำนวนมาก โดยปริมาตรของโมเลกุลมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาตรแก๊สทั้งหมด
2. โมเลกุลของแก๊สมีการเคลื่อนที่ไปในทุกทิศทาง เรียกว่าเป็นการเคลื่อนที่แบบบราวน์
3. การชนกันของโมเลกุลของแก๊สเป็นแบบยืดหยุ่น และไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

#### 10.3.2 พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุล ( $\langle E_K \rangle$ )

พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส “ $\langle E_K \rangle$ ” เป็นค่าพลังงานจลน์ ที่เฉลี่ยของโมเลกุล หรือพลังงานใน 1 โมเลกุล มีหน่วยเป็นจูล (J)

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

ดังนั้นพลังงานจลน์ทั้งหมดของแก๊ส N โมเลกุลจะเท่ากับ  $N \langle E_K \rangle$

$$\begin{aligned} N \langle E_K \rangle &= \frac{3}{2} N K_B T \\ &= \frac{3}{2} PV \quad (\text{จาก } PV = N K_B T) \\ &= \frac{3}{2} nRT \quad (\text{จาก } PV = nRT) \end{aligned}$$

- จากสมการ  $\langle E_K \rangle$  ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์เท่านั้น ไม่ขึ้นกับชนิดของแก๊ส



### 10.3.3 อัตราเร็วของโมเลกุลของแก๊ส

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

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

M = มวลของแก๊ส 1 โมล (kg)

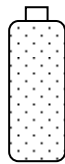
- จากสมการ  $v_{rms}$  ขึ้นอยู่กับ T และ M
- $v_{rms}$  ไม่เท่ากับ อัตราเร็วเฉลี่ย ( $v$ ) แต่มีค่าใกล้เคียงกัน

#### ตัวอย่างที่ 19

บรรจุแก๊สไฮโดรเจน 20 กรัมในภาชนะที่อุณหภูมิ  $27^\circ\text{C}$  ( $R = 8.31\text{ J/mol K}$ ,  $M_{H_2} = 2\text{ g/mol}$ )

จงหา

- พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส
- พลังงานจลน์ของแก๊ส
- $v_{rms}$  ของโมเลกุลของแก๊ส



$$m = 20\text{ g}$$

$$T = 273 + 27 = 300\text{ K}$$

ก.  $\langle E_K \rangle = ?$

$$\begin{aligned} \text{จาก } \langle E_K \rangle &= \frac{3}{2} K_B T \\ &= \frac{3}{2} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300 \end{aligned}$$

$$K_B = \frac{R}{N_A} = \frac{8.31}{6.02 \times 10^{23}} = 1.38 \times 10^{-23}$$

$$\therefore \langle E_K \rangle = 6.21 \times 10^{-25}\text{ J} \quad \text{Ans}$$

ข.  $N \langle E_K \rangle = ?$

$$\begin{aligned} \text{หา จน. โมเลกุล } N \text{ จาก } N &= n N_A \\ &= \frac{m}{M} = \frac{20}{2} \times 6.02 \times 10^{23} \end{aligned}$$

$$N = 6.02 \times 10^{24} \text{ โมเลกุล}$$

$$\therefore N \langle E_K \rangle = 6.02 \times 10^{24} \times 6.21 \times 10^{-25} = 3.73\text{ J} \quad \text{Ans}$$



ก.  $v_{rms} = ?$

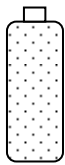
จาก  $v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$

$$= \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times 300}{2 \times 10^{-3}}} = \sqrt{3739500}$$

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

### ตัวอย่างที่ 20

จงหาพลังงานจลน์ และพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส 3 โมล ในถัง 10 ลิตร มีความดัน 2 Pa



$n = 3$  โมล

$V = 10$  ลิตร  $= 10 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

$P = 2$  Pa

$N \langle E_K \rangle = ?$

$\langle E_K \rangle = ?$

หา จน. โมเลกุล  $N$  จาก  $N = n N_A = 3 \times 6.02 \times 10^{23}$

หาพลังงานจลน์ทั้งหมดของแก๊สจาก  $N \langle E_K \rangle = \frac{3}{2} N K_B T = \frac{3}{2} P V$  ( $\because PV = N K_B T$ )

$$= \frac{3}{2} \times 2 \times 10 \times 10^{-3}$$

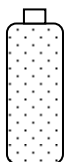
$\therefore N \langle E_K \rangle = 3 \times 10^{-2} \text{ J}$  **Ans**

หาพลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุล  $\langle E_K \rangle$  จาก  $\langle E_K \rangle = \frac{3 \times 10^{-2}}{N} = \frac{3 \times 10^{-2}}{3 \times 6.02 \times 10^{23}}$

$\therefore \langle E_K \rangle = 1.66 \times 10^{-26} \text{ J}$  **Ans**

### ตัวอย่างที่ 21

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



$N/V = 2 \times 10^{25}$  โมเลกุล/ $\text{m}^3$

$P = 1 \times 10^5$  Pa

$\langle E_K \rangle = ?$

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

แต่  $N \langle E_K \rangle = \frac{3}{2} N K_B T = \frac{3}{2} P V$  ( $\because PV = N K_B T$ )

$$\langle E_K \rangle = \frac{3}{2} \frac{P V}{N}$$

$$= \frac{3}{2} \times \frac{1 \times 10^5}{2 \times 10^{25}}$$

$\therefore \langle E_K \rangle = 7.5 \times 10^{-21} \text{ J}$  **Ans**



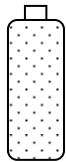
### ตัวอย่างที่ 22

จงตอบคำถามต่อไปนี้

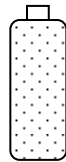
ก. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก๊สเป็น 2 เท่า พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลจะเป็นกี่เท่าของของเดิม

ข. เมื่อเพิ่มความดันให้แก๊สในถังเป็น 2 เท่า พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลจะเป็นกี่เท่าของของเดิม

ก.



$$T_1$$
$$\langle E_{K1} \rangle$$



$$T_2 = 2 T_1$$
$$\langle E_{K2} \rangle = ?$$

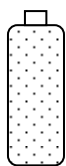
จาก  $\langle E_K \rangle = \frac{3}{2} K_B T$

แสดงว่า  $\langle E_K \rangle \propto T$

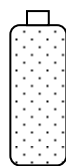
ดังนั้น  $\frac{\langle E_{K1} \rangle}{\langle E_{K2} \rangle} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_1}{2T_1}$

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

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  $N \langle E_K \rangle = \frac{3}{2} N K_B T = \frac{3}{2} P V$

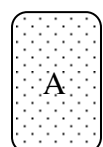
แสดงว่า  $\langle E_K \rangle \propto P$  เมื่อ  $N$  และ  $V$  คงที่

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

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

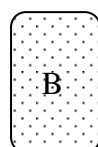
### ตัวอย่างที่ 23

นำแก๊ส A จำนวน 1 โมล อุณหภูมิ 7° C ผสมกับแก๊ส B จำนวน 2 โมล อุณหภูมิ 27° C หลังผสม พลังงานจลน์ของแก๊สรวมเป็นเท่าใด ( $R = 8.31 \text{ J/mol K}$ )



$$n_A = 1 \text{ โมล}$$
$$T_A = 273 + 7 = 280 \text{ K}$$
$$\langle E_{KA} \rangle$$

+



$$n_B = 2 \text{ โมล}$$
$$T_B = 273 + 27 = 300 \text{ K}$$
$$\langle E_{KB} \rangle$$



$$\text{หา } N \langle E_K \rangle \quad \text{จาก} \quad N \langle E_K \rangle = \frac{3}{2} N K_B T$$

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

$$(N \langle E_K \rangle)_A + (N \langle E_K \rangle)_B = \left(\frac{3}{2} nRT\right)_A + \left(\frac{3}{2} nRT\right)_B$$

$$= \frac{3}{2} R(n_A T_A + n_B T_B)$$

$$= \frac{3}{2} \times 8.31(1 \times 280 + 2 \times 300)$$

$$\therefore \text{พลังงานจลน์รวม} = 1.097 \times 10^4 \text{ J} \quad \text{Ans}$$

### ตัวอย่างที่ 24

อัตราเร็วของโมเลกุลของแก๊สไฮโดรเจน เป็นกึ่งเท่าของแก๊สออกซิเจนในอากาศ ( $M_{H_2} = 2 \text{ g/mol}$ ,  $M_{O_2} = 32 \text{ g/mol}$ )



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

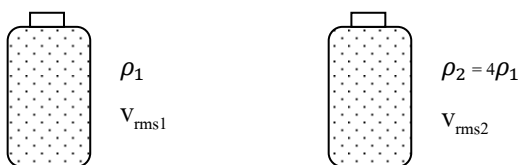
แสดงว่า  $v_{rms} \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$  เมื่อ T คงที่

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{v_{rmsH_2}}{v_{rmsO_2}} = \sqrt{\frac{M_{O_2}}{M_{H_2}}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4$$

$$\therefore v_{rmsH_2} = 4 v_{rmsO_2} \quad \text{Ans}$$

### ตัวอย่างที่ 25

แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุในภาชนะปิด เมื่อทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 4 เท่า โดยความดันคงที่  $v_{rms}$  จะเป็นกึ่งเท่าของเดิม



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

$$\text{และ } PV = nRT$$

$$\text{จะได้ } RT = \frac{PV}{n}$$

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



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

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

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{V_{\text{rms1}}}{V_{\text{rms2}}} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} = \sqrt{\frac{4\rho_1}{\rho_1}} = 2$$

$$\therefore V_{\text{rms2}} = 2 V_{\text{rms1}} \quad \text{Ans}$$

#### 10.4 พลังงานภายในระบบ

- ระบบ หมายถึง สิ่งที่เรากำลังศึกษา
- สิ่งแวดล้อม หมายถึง สิ่งที่เราไม่ต้องการศึกษา แต่มีผลต่อระบบ

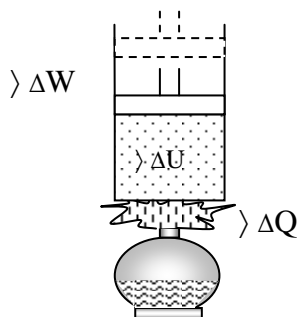
พลังงานภายในระบบของแก๊ส “U” หมายถึง ผลรวมของพลังงานจลน์ และพลังงานศักย์ ของโมเลกุลทั้งหมดของแก๊สที่บรรจุในภาชนะ แต่เนื่องจากเป็นแก๊สในอุดมคติ ไม่มีแรงใด ๆ กระทำต่อโมเลกุล รวมทั้งแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้น พลังงานศักย์ของโมเลกุลมีค่าเท่ากับศูนย์และพลังงานภายในระบบจึงเท่ากับพลังงานจลน์ทั้งหมดของแก๊สนั่นเอง

$$U = N \langle E_K \rangle$$

$$\begin{aligned} \text{อาจกล่าวได้ว่า} \quad U &= \frac{3}{2} N K_B T \\ &= \frac{3}{2} n R T \\ &= \frac{3}{2} P V \end{aligned}$$

##### 10.4.1 กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์

พลังงานความร้อนที่ให้กับระบบ มีค่าเท่ากับ ผลรวมของพลังงานภายในที่เพิ่มขึ้น กับงานที่ทำโดยระบบ



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

$$\begin{aligned} \Delta W &= F \Delta s \\ &= P A \Delta s \\ &= P \Delta V \end{aligned}$$

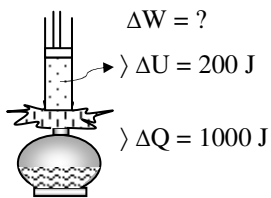




ปริมาณ		เครื่องหมาย
$\Delta Q$	พลังงานความร้อนเข้าสู่ระบบ	+
	พลังงานความร้อนออกจากระบบ	-
$\Delta U$	พลังงานภายในระบบที่เพิ่มขึ้น	+
	พลังงานภายในระบบที่ลดลง	-
$\Delta W$	งานที่ทำโดยระบบ	+
	งานที่ให้กับระบบ	-

### ตัวอย่างที่ 26

ให้ความร้อนกับแก๊สในกระบอกสูบ 1000 J ทำให้พลังงานจลน์ของแก๊สเพิ่มขึ้น 200 J อยากทราบว่าต้องทำงานให้ระบบหรือระบบทำงาน เท่าไร

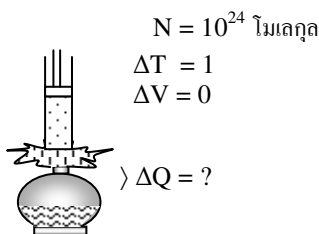


$$\begin{aligned} \text{จาก } \Delta Q &= \Delta U + \Delta W \\ 1000 &= 200 + \Delta W \\ \Delta W &= 800 \end{aligned}$$

∴ ระบบทำงานให้สิ่งแวดล้อม = 800 J (เพราะ  $\Delta W$  เป็น +) **Ans**

### ตัวอย่างที่ 27

แก๊สจำนวน  $10^{24}$  โมเลกุล ถ้าต้องการให้แก๊สมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $1^\circ\text{C}$  จะต้องให้ความร้อนแก่แก๊สเท่าไร เมื่อปริมาตรคงที่ ( $K_B = 1.38 \times 10^{-23}$ )



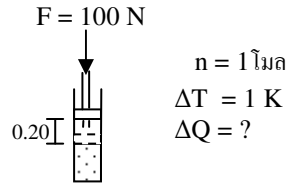
$$\begin{aligned} \text{จาก } \Delta Q &= \Delta U + \Delta W \\ &= \frac{3}{2} N K_B \Delta T + P \Delta V \\ &= \frac{3}{2} \times 10^{24} \times 1.38 \times 10^{-23} \times 1 + 0 \\ \Delta Q &= 20.7 \end{aligned}$$

∴ ต้องให้ความร้อนแก่แก๊ส  $\Delta Q = 20.7 \text{ J}$  **Ans** ( $\Delta Q$  เป็น +)



### ตัวอย่างที่ 28

ออกแรง 100 N ดันลูกสูบที่อยู่ในกระบอกบรรจุแก๊สจำนวน 1 โมลทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 K กระบอกสูบจะรับหรือคายความร้อนเท่าไร ถ้าลูกสูบเคลื่อนตัวได้ 20 cm. ( $R = 8.31 \text{ J/mol K}$ )

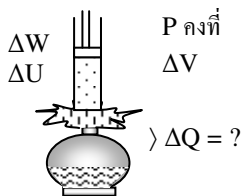


$$\begin{aligned} \text{จาก } \Delta Q &= \Delta U + \Delta W \\ &= \frac{3}{2} nR\Delta T + (-F\Delta s) \quad (\text{งานที่ให้กับระบบเป็น -}) \\ &= \frac{3}{2} \times 1 \times 8.31 \times 1 - 100 \times 0.20 \\ \Delta Q &= -7.5 \quad (\text{เป็น - ความร้อนออกจากกระบอก}) \end{aligned}$$

∴ ลูกสูบจะคายความร้อนออกมา  $\Delta Q = 7.5 \text{ J}$  **Ans**

### ตัวอย่างที่ 29

ต้องให้ความร้อนกับแก๊สเท่าไร จึงจะทำให้แก๊สมีปริมาตรเพิ่มขึ้น โดยความดัน คงที่



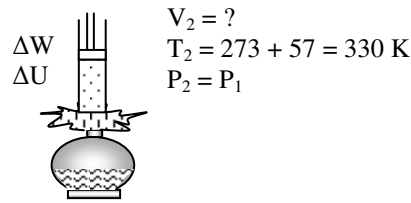
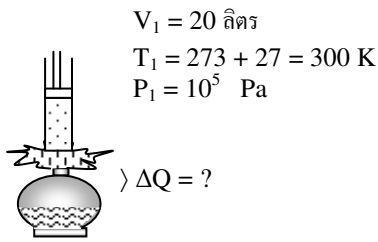
$$\begin{aligned} \text{จาก } \Delta Q &= \Delta U + \Delta W \\ &= \frac{3}{2} NK_B\Delta T + P\Delta V \\ &= \frac{3}{2} P\Delta V + P\Delta V \quad (\because PV = NK_B T) \\ \Delta Q &= \frac{5}{2} P\Delta V \end{aligned}$$

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



### ตัวอย่างที่ 30

เมื่อให้ความร้อนกับแก๊สในกระบอกสูบ 20 ลิตร ที่อุณหภูมิ 27° C ความดัน 10<sup>5</sup> Pa ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออก จนกระทั่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 57° C โดยความดันคงที่ อยากรทราบว่าให้ความร้อนแก่แก๊สเท่าใด



หา  $V_2$  ได้จาก  $\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$

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

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

$$= \frac{3}{2} P \Delta V + P \Delta V \quad (\because PV = N K_B T)$$

$$= \frac{5}{2} P \Delta V = \frac{5}{2} \times 10^5 \times (22-2) \times 10^{-3}$$

$$\Delta Q = 500$$

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