

บทที่ 18 ความร้อน

18.1 ความร้อน

ความร้อน เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่สามารถทำงานได้ และเปลี่ยนเป็นพลังงานรูปอื่นได้ ความร้อนอาจจะเปลี่ยนรูปมาจากพลังงานรูปอื่นได้ เช่น พลังงานเคมี พลังงานไฟฟ้า ฯลฯ

ความร้อน เป็นพลังงานซึ่งสามารถถ่ายเทจากวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่วัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ความร้อนจะถ่ายเทให้กันจนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากัน

หน่วยของพลังงานความร้อน(ที่ใช้โดยทั่วไป)

1. จูล (joule, J) เป็นหน่วยของพลังงานกลที่ใช้ในระบบเอสไอ
2. แคลอรี (calorie, cal) เป็นหน่วยหนึ่งของพลังงานความร้อน(โดยที่ $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$)
1 แคลอรี คือ พลังงานความร้อนที่ทำให้ให้น้ำที่มีมวล 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) (ในช่วง 14.5°C ถึง 15.5°C) ที่ความดัน 1 บรรยากาศ
3. บีทียู (British thermal unit หรือ Btu) คือ พลังงานความร้อนที่ทำให้ให้น้ำที่มีมวล 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}\text{F}$) (ในช่วง 63°F ถึง 64°F) ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ($1 \text{ Btu} = 252 \text{ cal} = 1,055 \text{ J}$)

18.1.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ คือ ปริมาณที่ใช้บอกระดับความร้อน

ก. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เทอร์มอมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ซึ่งสร้างขึ้นจากการอาศัยสมบัติบางอย่างทางฟิสิกส์ที่เปลี่ยนไปตามความร้อนที่เปลี่ยนแปลง

ข. หน่วยของอุณหภูมิ อุณหภูมิวัดในหน่วย องศาเซลเซียส องศาฟาเรนไฮต์เคลวิน และโรเมอร์ แต่ที่ใช้ในระบบ SI คือ เคลวิน

เมื่อ K แทน ค่าอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน F แทน ค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาฟาเรนไฮต์

C แทน ค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส R แทน ค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาโรเมอร์

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

18.1.2 การขยายตัวของวัตถุเนื่องจากความร้อน

วัตถุโดยทั่วไปเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัว ซึ่งทำให้ความยาวหรือพื้นที่หน้าตัดหรือปริมาตรของวัตถุเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันถ้าวัตถุสูญเสียความร้อนหรือคายความร้อนวัตถุก็จะหดตัวทำให้มีความยาว หรือพื้นที่หน้าตัดหรือปริมาตรลดลง

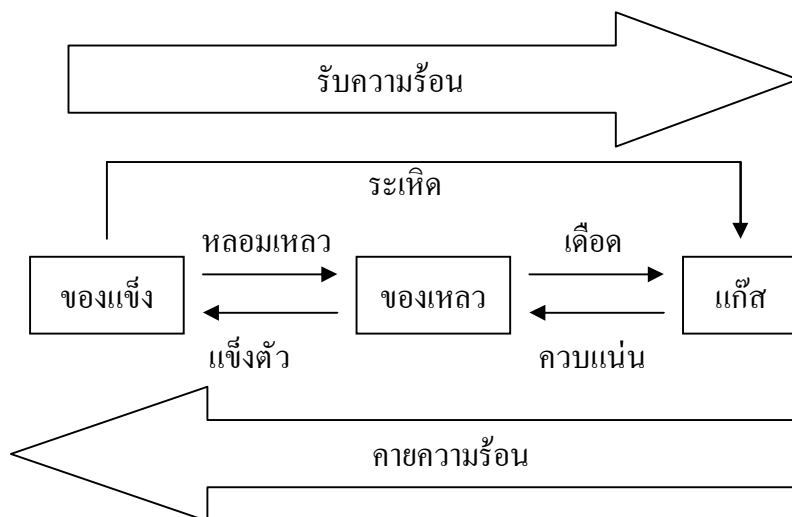
สมบัติสำคัญที่เกี่ยวกับการขยายตัวของของแข็งที่ควรทราบ ได้แก่

1. ของแข็งต่างชนิดกันถ้าเดิมมีความยาวเท่ากัน เมื่อร้อนขึ้นเท่ากันจะมีส่วนขยายตัวเพิ่มขึ้นไม่เท่ากัน
2. ของแข็งชนิดเดียวกัน ถ้าเดิมมีความยาวเท่ากัน เมื่อร้อนขึ้นเท่ากัน จะขยายตัวเพิ่มขึ้นเท่ากัน
3. สมบัติของการขยายตัวและหดตัวของวัตถุเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน เป็นเรื่องที่วิศวกรต้องคำนึงถึงเวลานำวัตถุนำใช้งาน

18.1.3 ความจุความร้อน สถานะและการเปลี่ยนสถานะของสาร

1. สถานะของสารโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 สถานะ คือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

การเปลี่ยนแปลงสถานะเนื่องจากของแข็ง เมื่อได้รับความร้อนจะกลายเป็นของเหลว ถ้าร้อนมากขึ้นจะกลายเป็นแก๊ส เขียนแผนผังได้ดังนี้



2. การเปลี่ยนแปลงจากของแข็งเป็นของเหลว หรือจากของเหลวเป็นแก๊ส เรียกว่าการเปลี่ยนแปลงสถานะ

3. การเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว หรือจากของเหลวเป็นของแข็ง ในขณะที่วัตถุกำลังเปลี่ยนสถานะ โดยอุณหภูมิของวัตถุจะคงที่อยู่ตลอดเวลา

การเปลี่ยนแปลงสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว เรียกว่าการหลอมเหลว หรือการกลายเป็นของเหลว

การเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็ง เรียกว่า การกลายเป็นของแข็ง หรือเยือกแข็ง

4. จุดหลอมเหลว (Melting point) คือ อุณหภูมิในขณะที่ยังคงเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวภายใต้ความดันปกติ

5. จุดเยือกแข็ง (Freezing point) คือ อุณหภูมิในขณะที่ยังคงเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งภายใต้ความดันปกติ

6. ความร้อนแฝงจำเพาะ (Specific Latent Heat, L) หมายถึง ความร้อนที่ทำให้วัตถุมวล 1 หน่วยเปลี่ยนสถานะทั้งหมด โดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง

$$L = \frac{\Delta Q}{m} \dots\dots\dots(18.1)$$

มีหน่วยเป็น kJ/kg หรือ J/g หรือ J/kg

ความร้อนแฝงจำเพาะของสารมี 2 ชนิดคือ

6.1. ความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลว คือปริมาณความร้อนที่ทำให้สารนั้น หนึ่งหน่วยเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง ความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลวของน้ำ เท่ากับ 80 cal/g หรือ 333 kJ/kg หรือ 333×10^3 J/kg

6.2 ความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอ คือ ปริมาณความร้อนที่ให้สารนั้นหนึ่งหน่วยเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง ความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอของน้ำ เท่ากับ 540 cal/g หรือ 536 cal/g หรือ 2,256 kJ/kg หรือ $2,256 \times 10^3$ J/kg

7. หลักการคำนวณเกี่ยวกับความร้อนแฝงจำเพาะ ใช้สูตรดังนี้

$$\Delta Q = mL \dots\dots\dots(18.2)$$

เมื่อ ΔQ แทน ปริมาณความร้อน (cal หรือ J)

m แทน มวลสาร (g หรือ kg)

L แทน ความร้อนแฝงจำเพาะของสาร(cal/g หรือ kJ/kg หรือ J/kg)

สิ่งที่ควรทราบเพิ่มเติม

1. ความจุความร้อน (Heat Capacity, C) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้ระบบมีอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 หน่วย

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \dots\dots\dots(18.3)$$

เมื่อ ΔQ แทน ปริมาณความร้อนหรือพลังงานความร้อน (cal หรือ J)

C แทน ความจุความร้อน (cal/ °C หรือ cal/K หรือ J/ °C หรือ J/K)

ΔT แทน อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (K)

2. ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat Capacity, c) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัตถุ 1 หน่วย มีอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 หน่วย

$$c = \frac{C}{m} = \frac{\Delta Q}{m \Delta T} \dots\dots\dots(18.4)$$

เมื่อ ΔQ แทน ปริมาณความร้อนหรือพลังงานความร้อน (cal หรือ J)

C แทน ความจุความร้อน (cal/ °C หรือ cal/K หรือ J/ °C หรือ J/K)

C แทน ความจุความร้อนจำเพาะ(cal/ kg °C , cal/kgK , J/ kg °C , J/kgK)

m แทน มวลของวัตถุ (g หรือ kg)

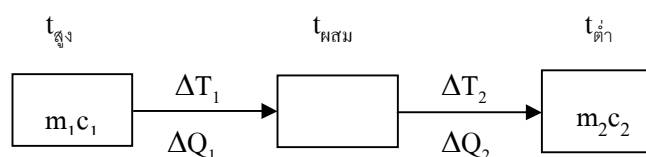
ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (K)

ดังนั้น สูตรที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับปริมาณความร้อน หรือพลังงานความร้อน คือ

$$\Delta Q = mc\Delta T \dots\dots\dots(18.5) \text{ เมื่อ } T \text{ เป็นองศาเคลวิน}$$

$$\Delta Q = mc\Delta t \dots\dots\dots(18.6) \text{ เมื่อ } t \text{ เป็นองศาเซลเซียส}$$

เพิ่มเติม 1. เมื่ออุณหภูมิผสมกัน



จะได้ว่า $\Delta Q_{\text{ลด}} = \Delta Q_{\text{เพิ่ม}}$

$$m_1 c_1 \Delta T_1 = m_2 c_2 \Delta T_2$$

$$m_1 c_1 (t_{\text{สูง}} - t_{\text{ผสม}}) = m_2 c_2 (t_{\text{ผสม}} - t_{\text{ต่ำ}})$$

2. พลังงานศักย์เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

จะได้ว่า $mgh = mc\Delta T$

3. พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน

จะได้ว่า $Pt = mc\Delta T$

18.1.4 การถ่ายโอนความร้อน

ความร้อนจะถ่ายโอนจากสิ่งที่มีอุณหภูมิสูง ไปสู่สิ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ เราพอจะแบ่งการถ่ายโอนความร้อนได้ดังนี้

1. การนำ เกิดในของแข็ง โมเลกุลส่งพลังงานความร้อนต่อ ๆ กันไปเป็นทอด ๆ
2. การพา เกิดในของเหลวและแก๊ส โมเลกุลของตัวกลางพาความร้อนไป
3. การแผ่รังสี ไม่ต้องอาศัยตัวกลาง

แบบฝึกหัด 18.1

1. จงหาปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำแข็งมวล 250 กรัม อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส กลายเป็น น้ำ หมด และสุดท้าย น้ำ 110 กรัมเดือดกลายเป็นไอ (เมื่อ c ของน้ำ = $4.2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$)
2. จงหาปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำแข็งมวล 300 กรัม อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสเดือดจนกลายเป็นไอ หมด (เมื่อ c ของน้ำ = $4.2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$)
3. น้ำตกแห่งหนึ่งสูง 50 เมตร ถ้าพลังงานศักย์ของน้ำ ตกเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนทั้งหมด อุณหภูมิของน้ำ ที่ปลายน้ำ ตกจะมีค่าสูงขึ้นเท่าใด

4. นำลวดทำความร้อนมีกำลัง 1000 วัตต์ จุ่มลงในน้ำ ามวล 500 กรัม อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถ้ามีการสูญเสียความร้อนไป 30 % อีกนานเท่าใดน้ำ จึงจะเริ่มเดือด
5. เครื่องทำน้ำ ้ำแข็งเครื่องหนึ่งดึงความร้อนจากน้ำ 0 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 500 จูลต่อวินาที ถ้าต้องการทำน้ำ ้ำแข็ง 2 กิโลกรัม จากน้ำ ้ำที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาเท่าใด
6. ใส่ น้ำ ้ำแข็งมวล 50 กรัม อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ลงในน้ำ ้ำ 1200 กรัม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะได้อุณหภูมิสุดท้ายเท่าใด
7. ใส่ลูกเหล็กมวล 20 กิโลกรัม อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ลงในน้ำ ้ำมวล 2 กิโลกรัม อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แล้วให้ความร้อนแก่ระบบจนมีอุณหภูมิผสมที่สมดุลเป็น 50 องศาเซลเซียส ถ้าถือว่าไม่มีการสูญเสียความร้อนแก่ภาชนะและสิ่งแวดล้อม ความร้อนที่เข้าระบบเป็นเท่าใด
8. (มข.50) เหรียญทองแดงมวล 5 กรัม ตกลงมาจากตึกสูง 300 เมตร ถ้าความเร็วปลายของเหรียญนี้เท่ากับ 45 เมตร/วินาที และพลังงานกลส่วนที่เหลือถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนของเหรียญทองแดง จงหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของเหรียญทองแดงถึงตกถึงพื้น (กำหนดให้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของทองแดงเท่ากับ 387 J/kg)
 1. 2°C
 2. 5°C
 3. 9°C
 4. 12°C
9. (มข.51) น้ำ ้ำแข็งมวล 140 กรัม อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ใส่ลงไป ในน้ำ ้ำร้อน 80 องศาเซลเซียส จงหาปริมาณน้ำ ้ำร้อนที่ทำให้น้ำ ้ำแข็งละลายหมดพอดีกำหนดให้ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ ้ำเท่ากับ $4.2 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ และความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลวของน้ำ ้ำแข็ง เท่ากับ 300 kJ/kg
 1. 100 กรัม
 2. 125 กรัม
 3. 200 กรัม
 4. 250 กรัม

10. (มข.52) กระป๋องโลหะมีมวล 200 กรัม ประกอบด้วยเหล็กและอลูมิเนียมในสัดส่วน 60 : 40 โดยน้ำหนัก จงหาความจุความร้อนของกระป๋องใบนี้ (กำหนดให้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของเหล็กและอลูมิเนียมเท่ากับ 450 และ 900 J/kg K)
1. 126 J/k 2. 63 J/k 3. 1.26 J/kg.K 4. 0.63 J/kg.K
11. (มข.53) จงหาปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำแข็ง 2 กิโลกรัม อุณหภูมิ 0 °C กลายเป็นน้ำอุณหภูมิ 50 °C ทั้งหมด กำหนดให้ความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลวของน้ำเท่ากับ 333 กิโลจูล/กิโลกรัม และความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ c เท่ากับ 4.2 กิโลจูล/(กิโลกรัม-เคลวิน)
1. 753 กิโลจูล 2. 876 กิโลจูล 3. 1086 กิโลจูล 4. 3372 กิโลจูล
12. (มข.53) ยางรถยนต์มีความดันคงที่ 199 กิโลปาสกาล ที่อุณหภูมิ 27 °C ถ้าอุณหภูมิลมยางเพิ่มขึ้นเป็น 47 °C โดยปริมาตรภายในยางคงที่ ความดันภายในยางตอนหลังเป็นเท่าใด (กำหนดให้ 1 บรรยากาศเท่ากับ 101 กิโลปาสกาล)
1. 219 kPa 2. 320 kPa 3. 421 kPa 4. 500 kPa
13. (มข.54) ใส่ก้อนอะลูมิเนียมมวล 50 กรัม อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ลงในน้ำ มวล 100 กรัม อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในภาชนะฉนวนปิดมิดชิด เมื่อถึงสมดุลความร้อน อุณหภูมิของสารทั้งสอง มีค่าเป็นเท่าใด (กำหนดให้ ความจุจำเพาะของน้ำ และอะลูมิเนียมมีค่าเท่ากับ 1000 จูลต่อ (กิโลกรัมเซลเซียส) และ 1000 จูลต่อ (กิโลกรัมเซลเซียส) ตามลำดับ
1. 33 °C 2. 34 °C 3. 35 °C 4. 36 °C
14. (มข.55) จากกฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์กล่าวว่า “ถ้าวัตถุ A และ B อยู่ในสมดุลความร้อนต่อวัตถุ C แล้ววัตถุ A จะอยู่ในสมดุลความร้อนต่อวัตถุ B ด้วย” คำว่า สมดุลทางความร้อนหมายถึงอะไร
1. ปริมาณความร้อนเท่ากัน 2. มีความจุความร้อนเท่ากัน
3. มีความจุความร้อนจำเพาะเท่ากัน 4. มีระดับความร้อนเท่ากัน

15. (มข.55) แท่งเหล็ก 5 kg และ 15 kg ทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากัน ข้อความใดถูกต้อง
1. เหล็กทั้งสองมีความจุความร้อนเท่ากัน
 2. ต้องให้ความร้อนแก่เหล็กทั้งสองเท่ากัน
 3. ต้องให้ความร้อนแก่เหล็ก 5 kg มากกว่า
 4. ต้องให้ความร้อนแก่เหล็ก 15 kg มากกว่า

16. (มข.55) น้ำอุ่น 80°C มวล 200 กรัม บรรจุในถ้วยอลูมิเนียมมวล 300 กรัม เมื่อนำก้อนน้ำแข็ง -5°C มวล 100 กรัม หย่อนลงไป น้ำอุ่น จงคำนวณหาอุณหภูมิสุดท้าย กำหนดให้ $c_{\text{น้ำแข็ง}} = 2000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
 $c_{\text{น้ำ}} = 4000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ $c_{\text{Al}} = 900 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ $L_{\text{ฟิวส์}} = 3.3 \times 10^5 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ $L_{\text{วอร์ม}} = 2.3 \times 10^6 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$
1. 30.90
 2. 35.10
 3. 50.66
 4. 57.55

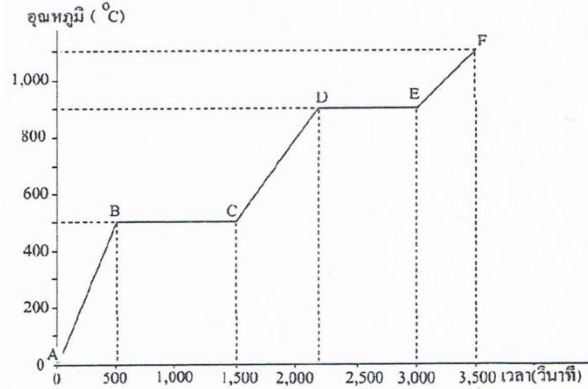
17. (มข.56) จงหาปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำแข็ง 5 kg ที่อุณหภูมิ 0°C กลายเป็นน้ำ อุณหภูมิ 50°C ทั้งหมด (กำหนดค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลว $L_m = 333 \text{ kJ/kg}$ และค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ $c = 4.2 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$)
1. 87.6 kJ
 2. 753 kJ
 3. 876 kJ
 4. 1,086 kJ

18. จงหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำแข็งมวล 500 กรัม อุณหภูมิ 0°C กลายเป็นน้ำ ที่มีอุณหภูมิ 50°C ทั้งหมด กำหนดให้ ความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลวของน้ำแข็งเป็น $3.3 \times 10^5 \text{ J/(kg)}$ และค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเป็น $4.2 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ (มข.57)
1. 15×10^4 จูล
 2. 10×10^4 จูล
 3. 25×10^4 จูล
 4. 35×10^4 จูล

19. น้ำแข็งมวล 200 กรัม อุณหภูมิ 0°C องศาเซลเซียส เดือดจนกลายเป็นไอและเหลือเพียง 100 กรัม จะต้องใช้ปริมาณความร้อนทั้งหมดกี่ กิโลจูล กำหนดให้ ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็งเท่ากับ 333 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำเท่ากับ 2250 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ $4.2 \text{ กิโลจูลต่อกิโลกรัม}\cdot\text{เคลวิน}$ (มข.58)
1. 309 กิโลจูล
 2. 375.6 กิโลจูล
 3. 534 กิโลจูล
 4. 600.6 กิโลจูล

20. ให้กำลังความร้อนขนาด 0.01 วัตต์ แก่สารหนัก 0.0010 กิโลกรัม แล้ววัดอุณหภูมิของสารที่เวลาต่างๆ ได้ผลดังกราฟ ข้อใดไม่ถูกต้อง(มข.59)

1. ช่วง AB สารเป็นของแข็ง และช่วง EF สารเป็นแก๊ส
2. ช่วง AB สารมีการหลอมเหลว
3. ช่วง BC และ DE มีการเปลี่ยนสถานะ
4. ช่วง EF สารกลายเป็นไอหมดแล้ว



18.2 แก๊สอุดมคติ

สมบัติทางกายภาพของแก๊สที่สามารถทำการทดลองวัดได้โดยตรงด้วยวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน เช่น มวล ปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิ สมบัติของเหล่านี้ได้จากการทดลอง

18.2.1 กฎของบอยล์

บอยล์เป็นนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้ทำการทดลองพบว่าสำหรับแก๊สที่มีอุณหภูมิคงที่ ความดันของแก๊สจะเป็นปฏิภาคผกผันกับปริมาตรของแก๊ส

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

$$P = \frac{K}{V} \quad (K = \text{ค่าคงที่})$$

$$PV = K$$

$$P_1V_1 = P_2V_2 \dots\dots\dots(18.7) \text{ เมื่อ } T \text{ คงที่}$$

เพิ่มเติม ถ้า P น้อยลง V เพิ่มขึ้น และถ้า P เพิ่มขึ้น V จะน้อยลง เมื่อ T คงที่

แบบฝึกหัด 18.2.1

1. แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 0.6 ลูกบาศก์เมตร ที่ความดัน 1.8 บรรยากาศ จงหาว่าปริมาตรของแก๊ส ถ้าความดันของแก๊สเปลี่ยนเป็น 0.9 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิเดียวกัน
2. แก๊สชนิดหนึ่งมีมวลที่กินเนื้อที่ปริมาตร 0.20 ลูกบาศก์เมตร ที่ความดัน 1.5 บรรยากาศ จงหาว่า ปริมาตรจะเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด ถ้าความดันของแก๊สเปลี่ยนเป็น 0.75 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิเดียวกัน
3. (Ent) สุนัขอัดแก๊สเข้าไปในบอลูนจนมีปริมาตร 6 ลิตร มีความดัน 900 กิโลพาสคัล หลังจากปล่อย ให้บอลูนลอยขึ้นไปจากความดันแก๊สเหลือ 700 กิโลพาสคัล โดยถือว่าอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง จงหา ปริมาตรของแก๊สในบอลูน (7.71 ลิตร)

18.2.2 กฎของชาร์ล จากการทดลองพบว่า “ สำหรับแก๊สที่มีมวลคงที่จำนวนหนึ่ง เมื่อให้ความดันของมันคงที่ปริมาตรของแก๊สจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับอุณหภูมิ ”

$$V \propto T$$

$$\frac{V}{T} = K \quad (K = \text{ค่าคงที่})$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \dots\dots\dots(18.8) \text{ เมื่อ } P \text{ คงที่}$$

*** อุณหภูมิ 0 เคลวิน หรือ -273 องศาเซลเซียส อ่านว่า อุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ เป็นอุณหภูมิต่ำสุด แก๊สทุกชนิดก่อนถึงอุณหภูมินี้จะเป็นของเหลว

แบบฝึกหัด 18.2.2

1. ปริมาตรของแก๊สชนิดหนึ่งเท่ากับ 0.42 ลูกบาศก์เมตร ที่ 27 องศาเซลเซียส ถ้าแก๊สนี้มีปริมาตร 0.56 ลูกบาศก์เมตร ที่ความดันเดียวกัน จะมีอุณหภูมิเท่าใด
2. ปริมาตรของแก๊สชนิดหนึ่งเท่ากับ 0.31 ลูกบาศก์เมตร ที่ 37 องศาเซลเซียส ถ้าแก๊สนี้มีปริมาตร 0.60 ลูกบาศก์เมตร ที่ความดันเดียวกัน จะมีอุณหภูมิเท่าใด
3. (Ent) ถ้าให้ความดันของก๊าซของก๊าซในกระบอกสูบหนึ่งคงที่ และให้อุณหภูมิของก๊าซภายในกระบอกสูบเปลี่ยนจาก 27 °C เป็น 77 °C อัตราส่วนของปริมาตรใหม่ต่อปริมาตรเดิมเป็นเท่าใด
4. (Ent) ก๊าซชนิดหนึ่งถูกบังคับให้มีความดันคงที่และอุณหภูมิของก๊าซถูกทำให้เพิ่มขึ้นจาก 7 °C เป็น 127 °C อัตราส่วนของปริมาตรใหม่ต่อปริมาตรเดิมเป็นเท่าใด

18.2.3 กฎของแก๊ส (Gas Law)

หรือสมการของสถานะ (Equation of State) ผลที่ได้จากการทดลองกฎของบอยล์และกฎของชาร์ลหรือเกย์-ลูสแซก นักวิทยาศาสตร์ได้นำมารวมเป็นสูตรเดียวกัน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ ของแก๊สที่กำหนดมวลมาให้ เราเรียกสมการนี้ว่า Equation of State

$$\frac{PV}{T} = \text{ค่าคงที่} \dots\dots\dots(18.9)$$

กฎของแก๊ส (กรณีแก๊สไม่รั่ว)

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots\dots\dots(18.10)$$

กฎของแก๊ส (ในกรณีบอกจำนวนโมลมา)

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{PV}{T} &\propto n \\ \frac{PV}{nT} &= K = R \end{aligned}$$

$$\text{จะได้} \quad PV = nRT \dots\dots\dots(18.11)$$

เมื่อ n แทน จำนวนโมลของแก๊ส (โมล, mol)

R แทน ค่าคงที่ของแก๊ส (Gas Constant) เท่ากับ 8.31 J/mol K

*แก๊ส 1 โมลมีจำนวนโมเลกุล 6.02×10^{23} โมเลกุล สรุปได้ว่า

$$N = nN_A \dots\dots\dots(18.12)$$

เมื่อ N แทน จำนวนโมเลกุลของแก๊สทั้งหมด

N_A แทน เลขอาโวกาโดร ($N_A = 6.02 \times 10^{23}$)

จาก $PV = nRT$ จะได้

$$PV = NK_B T \dots\dots\dots(18.13)$$

เมื่อ $K_B =$ ค่าคงที่ของ Boltzmann ($K_B = \frac{R}{N_A} = 1.83 \times 10^{-23} \text{ J/K}$)

กฎของแก๊ส (กรณีแก๊สรั่ว)

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad PV &= nRT \\ \frac{PV}{nT} &= K \end{aligned}$$

$$\text{จะได้} \quad \frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2} \dots\dots\dots(18.14)$$

เมื่อ n_1 แทน โมลตอนแรก

n_2 แทน โมลตอนหลัง (ที่เหลือ)

จาก $n = \frac{g}{m}$ แทนในสมการ (18.14)

จะได้ $\frac{P_1 V_1}{\frac{g_1}{m} T_1} = \frac{P_2 V_2}{\frac{g_2}{m} T_2}$

นั่นคือ $\frac{P_1 V_1}{g_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{g_2 T_2} \dots\dots\dots(18.15)$

g_1 แทน มวลตอนแรก

g_2 แทน มวลตอนหลัง(ที่เหลือ)

จากสูตร $n = \frac{N}{N_A}$ แทนในสมการ (18.14)

จะได้ $\frac{P_1 V_1}{\frac{N_1}{N_A} T_1} = \frac{P_2 V_2}{\frac{N_2}{N_A} T_2}$

นั่นคือ $\frac{P_1 V_1}{N_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{N_2 T_2} \dots\dots\dots(18.16)$

จาก ความหนาแน่น $\rho = \frac{m}{V}$

จากสมการที่ (18.15) $\frac{P_1 V_1}{g_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{g_2 T_2} \quad \left(\frac{P_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{m_2 T_2} \right)$

ย้ายปริมาตรลงไปหามวล $\frac{P_1}{\frac{g_1}{V_1} T_1} = \frac{P_2}{\frac{g_2}{V_2} T_2}$

นั่นคือ $\frac{P_1}{\rho_1 T_1} = \frac{P_2}{\rho_2 T_2} \dots\dots\dots(18.17)$

เพิ่มเติม หน่วยของความดัน (P)

1. บอกเป็นบรรยากาศ (atmosphere = atm.) เช่น ความดัน 1 บรรยากาศ
2. บอกเป็นความสูงของปรอทในบารอมิเตอร์ เช่น ความดัน 760 มม.ของปรอท
3. บอกเป็นแรงต่อพื้นที่ เช่น ความดัน 1.01×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร

แบบฝึกหัด 18.2.3

1. ถ้าให้ความดันของแก๊สในกระบอกสูบหนึ่งคงที่และให้อุณหภูมิของแก๊สภายในกระบอกสูบเปลี่ยนจาก 7 องศาเซลเซียส เป็น 87 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของปริมาตรใหม่ต่อปริมาตรเดิมเป็นเท่าใด

2. แก๊สชนิดหนึ่งมีความหนาแน่น 1 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดัน 2 บรรยากาศ จะต้องอัดแก๊สนี้ให้มีความดันเท่าไร จึงจะมีความหนาแน่น 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ 77 องศาเซลเซียส
3. (ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย) แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 1×10^{-3} ลูกบาศก์เมตร ที่ 27°C ความดันบรรยากาศ ถ้าแก๊สขยายตัวกระทั่งปริมาตร 1.5×10^{-3} และความดันเป็น 1.1 บรรยากาศอุณหภูมิเป็นกี่องศาเซลเซียส (222°C)
4. (ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย) ยางรถยนต์มีความดันคง 2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ถ้าขณะที่รถวิ่งทางไกล ยางรถมีอุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส ความดันคงของยางเป็นเท่าใด กำหนดให้ความดันบรรยากาศเป็น 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
1. 2.1 kg/cm^2 2. 2.2 kg/cm^2 3. 2.3 kg/cm^2 4. 2.4 kg/cm^2
5. (ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย) ถ้าความดันบรรยากาศเท่ากับ 10^5 N/m^2 ตลอดเวลาอากาศเข้าไปในยางรถยนต์คันหนึ่งถ้าพบว่ามีเทอร์โมมิเตอร์วัดความดันเกจอ่านค่า 2×10^5 อุณหภูมิของอากาศในยางขณะนั้นเท่ากับ 27°C ถ้าอุณหภูมิของอากาศในยางเปลี่ยนไปเป็น 67°C อยากทราบว่ามิเตอร์วัดความดันเกจจะอ่านค่าได้เท่าใด (ให้ถือว่าปริมาตรของยางเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก)
1. $3.6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 2. $3.4 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 3. $2.6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ 4. $2.4 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
6. (มข.51) อัดก๊าซเข้าไปในบอลูนอย่างช้าๆจนปริมาตร ลิตร มีความดัน 3.0×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร หลังจากปล่อยให้บอลูนลอยขึ้นจนความดันก๊าซลดลงเหลือ 2.0×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร โดยที่อุณหภูมิมีค่าคงที่ จงหาปริมาตรของก๊าซในบอลูนมีค่าเท่าไร
1. 6.0 ลิตร 2. 7.5 ลิตร 3. 9.0 ลิตร 4. 12.0 ลิตร

7. (มข.52) ถ้าให้แก๊สทุกชนิดในโลกเป็นแก๊สอุดมคติค่ากล่าวต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง

1. ที่อุณหภูมิเดียวกัน อะตอมของแก๊สทุกชนิดมีพลังงานจลน์เท่ากัน
2. ที่อุณหภูมิเดียวกัน โมเลกุลของแก๊สทุกชนิดมีพลังงานจลน์เท่ากัน
3. ที่อุณหภูมิเดียวกัน อะตอมของแก๊สทุกชนิดมีความเร็วเท่ากัน
4. ที่อุณหภูมิเดียวกัน โมเลกุลของแก๊สทุกชนิดมีความเร็วเท่ากัน

8. (มข.54) บอลลูกเหล็กในบรรจุแก๊สไฮโดรเจน ขณะอยู่ที่พื้นมีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มีปริมาตร 1.8×10^{-2} ลูกบาศก์เมตร และมีความดัน 1.0×10^5 พาสคัล ถ้าบอลลูกเหล็กนี้ลอยสูงขึ้น จนอุณหภูมิของแก๊สภายในลดลงเหลือ 17 องศาเซลเซียส ความดันลดลงเหลือ 0.8×10^5 พาสคัล ลูกบอลลูกเหล็กจะมีปริมาตรเท่าใด

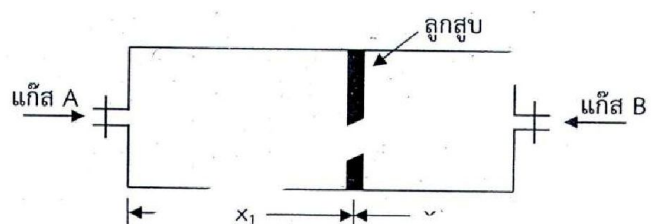
- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. 1.42×10^{-2} ลูกบาศก์เมตร | 2. 1.75×10^{-2} ลูกบาศก์เมตร |
| 3. 2.18×10^{-2} ลูกบาศก์เมตร | 4. 2.55×10^{-2} ลูกบาศก์เมตร |

9. (มข.54) แก๊สปริมาณหนึ่งอยู่ในกระบอกสูบถูกอัดจนมีความดันเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของความดันเดิม โดยมีอุณหภูมิคงตัว ข้อความต่อไปนี้ ข้อใดถูกต้อง

- ก. ปริมาตรของแก๊สในสภาวะใหม่มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของปริมาตรเดิม
 - ข. ปริมาตรของแก๊สในสภาวะใหม่มีค่าลดลงครึ่งหนึ่งของปริมาตรเดิม
 - ค. จำนวนโมลของแก๊สในสภาวะใหม่มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของจำนวนโมลเดิม
 - ง. จำนวนโมลของแก๊สในสภาวะใหม่มีค่าเท่ากับของจำนวนโมลเดิม
- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. ข้อ ก และ ข้อ ค | 2. ข้อ ข และ ข้อ ค |
| 3. ข้อ ก และ ข้อ ง | 4. ข้อ ข และ ข้อ ง |

10. จากรูป อัดแก๊ส A ปริมาณ 2 โมล และ B ปริมาณ 4 โมล เข้าไปในถังทรงกระบอกซึ่งมีลูกสูบกั้นแก๊สทั้งสองไว้ พบว่าลูกสูบจะเคลื่อนตัวแล้วหยุดที่ความยาว X_1 และ X_2 จงหาอัตราส่วน X_1 ต่อ X_2 (มข.58)

- | | |
|----------|----------|
| 1. 1 : 2 | 2. 1 : 4 |
| 3. 2 : 1 | 4. 4 : 1 |



เพิ่มเติม**1. การหาอุณหภูมิของแก๊สผสม**

$$T_{\text{ผสม}} = \frac{N_1 T_1 + N_2 T_2 + N_3 T_3 + \dots}{N_1 + N_2 + N_3 + \dots} \dots\dots\dots(18.18)$$

$$\text{หรือ } T_{\text{ผสม}} = \frac{n_1 T_1 + n_2 T_2 + n_3 T_3 + \dots}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots} \dots\dots\dots(18.19)$$

2. การหาความดันของแก๊สผสม

$$P_{\text{ผสม}} = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2 + P_3 V_3 + \dots}{V_1 + V_2 + V_3 + \dots} \dots\dots\dots(18.20)$$

แบบฝึกหัด 18.2.4

1. แก๊สออกซิเจนหนัก 64 กรัม บรรจุในกระบอกซึ่งมีลูกสูบอยู่ข้างใน ทำให้เกิดความดัน 3×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร และอุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สออกซิเจนในขณะนั้นเป็นเท่าใด
2. แก๊สออกซิเจนหนัก 128 กรัม บรรจุในกระบอกซึ่งมีลูกสูบอยู่ข้างใน ทำให้เกิดความดัน 4×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร และอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ปริมาตรของแก๊สออกซิเจนในขณะนั้นเป็นเท่าใด
3. ผสมแก๊สฮีเลียม 2 โมล อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กับแก๊สอาร์กอน 1 โมล อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จงหาว่าอุณหภูมิผสมเป็นเท่าใด
4. ผสมแก๊สฮีเลียม 4 โมล อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส กับแก๊สอาร์กอน 6 โมล อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จงหาว่าอุณหภูมิผสมเป็นเท่าใด

18.3 ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส**18.3.1 แบบจำลองของแก๊สอุดมคติ**

แบบจำลองของแก๊ส (Model of Gasses) แก๊ส ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก ๆ จำนวนมากต่างเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงอย่างไม่เป็นระเบียบไปชนกัน ความเร็วประมาณ 10^3 เมตรต่อวินาที อนุภาคแก๊สมีโมเลกุลขนาด 10^{-10} เมตร

แบบจำลอง (Model) มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. แก๊สประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ เรียกว่า โมเลกุล
2. โมเลกุลมีการเคลื่อนที่แบบ random แต่เป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน โมเลกุลจะเคลื่อนที่ทุกทิศทุกทางด้วยอัตราเร็วต่างกัน
3. โมเลกุลมีจำนวนมากมายมหาศาล ทิศทางและอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแต่ละตัว จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด ถ้าชนกับผนังภาชนะหรือโมเลกุลตัวอื่น ทางเดินโมเลกุลจึงเป็นรูป ซิกแซก
4. โมเลกุลทุกโมเลกุลเมื่อรวมกันแล้ว จะมีปริมาตรน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตรของภาชนะ เรา จะเห็นได้ดีเมื่อแก๊สถูกควบแน่นเป็นของเหลว ปริมาตรจะเล็กลงเป็นพัน ๆ เท่า ของปริมาตรเดิม แสดงว่า ปริมาตรของโมเลกุลที่ประกอบกันเป็นแก๊สเล็กมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรแก๊ส
5. โมเลกุลทุกโมเลกุลจะไม่มีแรงกระทำต่อกัน ยกเว้นชั่วขณะสั้นกัน
6. การชนของโมเลกุลเป็นการชนแบบยืดหยุ่นและช่วงเวลาที่ยึดหยุ่นนั้นสั้นมากไม่ว่าจะชนกันเองหรือชน กับภาชนะ (พลังงานจลน์ก่อนชน = พลังงานจลน์หลังชน)
7. พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอุณหภูมิ

18.3.2 ความดันและพลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊ส

ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส (Kinetic Theory of Gas) เราถือว่าแก๊สประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กมากเรียกว่า โมเลกุล ซึ่งเคลื่อนที่แบบไร้ระเบียบ โมเลกุลเหล่านี้อยู่ห่างกันมาก และจะไม่เกิดแรงดึงดูดระหว่างกัน เราให้โมเลกุลของแก๊สเป็นทรงกลมที่เล็กมาก มีพลังงานจลน์มากกว่าพลังงานศักย์มากจนถือได้ว่ามี แต่พลังงานจลน์

ความดันตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส อนุภาคของแก๊สเมื่อชนกับผนังภาชนะมีผลเกิดขึ้นดังนี้

1. ความเร็ว (v) เปลี่ยนค่า เพราะมีแรงกระทำจากผนัง
2. โมเมนตัม (P) เปลี่ยนค่าตามค่าของความเร็ว ($P = mv$) แต่ m มีค่าคงที่
3. พลังงานจลน์ คงที่เพราะเป็นการชนแบบยืดหยุ่น

ผลที่ได้จากทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

$$PV = \frac{1}{3}Nm\overline{v^2} = NK_B T = nRT$$

$$\frac{3}{2}PV = \frac{1}{2}Nm\overline{v^2} = \frac{3}{2}NK_B T = \frac{3}{2}nRT$$

$$E_K = \frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}K_B T$$

เมื่อ $\overline{v}$ แทน อัตราเร็วเฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส

m แทน มวลของแก๊ส

E_K แทน พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลแก๊ส

แบบฝึกหัด 18.3.2

1. แก๊สจำนวน 100 โมเลกุล มีความเร็วเท่า ๆ กันที่ 10 เมตรต่อวินาที อยู่ในภาชนะทรงกลมปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ถ้าแต่ละโมเลกุลมีมวล 3×10^{-20} กิโลกรัม ความดันของแก๊สในขณะนั้นมีค่าเท่าใด

2. ตามทฤษฎีจลน์ของแก๊สที่อุณหภูมิ 500 K แก๊สหนึ่งโมเลกุลมีพลังงานจลน์เท่าไรและที่อุณหภูมินี้มี ความดันแก๊สเป็น 1×10^5 Pa แก๊ส 1 cc หรือ 10^{-6} m^3 มีกี่โมเลกุล (กำหนดให้ค่าคงตัวของโบลทซ์มัน เป็น $K_B = 1.4 \times 10^{-23} \text{ J/K}$) (มข.57)

1. พลังงาน = 1.05×10^{-20} จูล จำนวนโมเลกุล = $(\frac{10}{7}) \times 10^{19}$

2. พลังงาน = 2.00×10^{-20} จูล จำนวนโมเลกุล = $(\frac{20}{7}) \times 10^{19}$

3. พลังงาน = 3.00×10^{-20} จูล จำนวนโมเลกุล = $(\frac{10}{7}) \times 10^{19}$

4. พลังงาน = 2.05×10^{-20} จูล จำนวนโมเลกุล = $(\frac{20}{7}) \times 10^{19}$

18.3.3 อัตราเร็วของโมเลกุลของแก๊ส

การหาค่าอัตราเร็วกำลังสองเฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊ส(Root-mean-square-speed, $v_{r.m.s.}$)

$$v_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_n^2}{n}}$$

$$v_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad \text{เมื่อ } M \text{ แทน มวลของ 1 โมล (kg/mol)}$$

$$v_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} \quad \text{เมื่อ } \rho \text{ แทน ความหนาแน่น (kg/m}^3\text{)}$$

$$v_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{3K_B T}{m}} \quad \text{แก๊สโมเลกุลอะตอมเดี่ยว (Monoatomic Gas)}$$

$$v_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{5K_B T}{m}} \quad \text{แก๊สโมเลกุลอะตอมคู่ (Diatomic Gas)}$$

แบบฝึกหัด 18.3.3

- ถ้ามีโมเลกุลของแก๊สที่มีอัตราเร็ว 30 เมตรต่อวินาที หนึ่งโมเลกุล 10 เมตรต่อวินาที สองโมเลกุล 20 เมตรต่อวินาที หนึ่งโมเลกุล อัตราเร็วรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของโมเลกุลของแก๊สทั้งหมดมีค่าเท่าไร
- ในบรรยากาศมีแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีแก๊สไฮโดรเจนปนอยู่บ้างแต่ในสัดส่วน น้อยมาก ถ้าวัดอัตราเร็วรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของโมเลกุลไฮโดรเจนเป็นกี่เท่าของออกซิเจน (กำหนดให้มวลโมเลกุลของไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็น 2 และ 32 กรัมต่อโมลตามลำดับ)
- แก๊สฮีเลียม 1 โมเลกุลหนัก 2.1×10^{-25} กิโลกรัม ค่าคงที่ของแก๊ส $R = 8.3 \text{ J/K}$ ค่าคงที่ของโบสมาอนน์ $k_B = 1.4 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ต้องการทำให้อะตอมฮีเลียมเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว $v_{\text{rms}} = 1000 \text{ m/s}$ ต้องให้ความร้อนกับแก๊สฮีเลียมมีอุณหภูมิเท่ากับเท่าไร (มข.59)
 - 3,000 เคลวิน
 - 4,000 เคลวิน
 - 5,000 เคลวิน
 - 6,000 เคลวิน

18.4 พลังงานภายในของระบบ

พลังงานภายในระบบคือ ผลรวมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ของโมเลกุลในระบบ ถ้าให้ U เป็นพลังงานภายในของระบบที่ประกอบด้วยแก๊ส N โมเลกุล จะได้

$$U = NE_K = \frac{3}{2}NK_B T$$

กฎอนุรักษ์พลังงาน (กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์)

กฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ กล่าวว่า พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ให้แก่ระบบจะต้องมีค่า เท่ากับผลรวมของพลังงานภายในระบบที่เพิ่มขึ้นกับงานที่ทำโดยระบบนั้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

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

เมื่อ ΔQ แทน พลังงานความร้อนที่ให้แก่ระบบ

ΔU แทน พลังงานภายในระบบที่เพิ่มขึ้น

ΔW แทน งานที่ระบบทำ

ในการเปลี่ยนแปลงของระบบ อาจมีกรณีอื่น ๆ ด้วย ดังนั้นในความสัมพันธ์จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ จะต้องคิดเครื่องหมายด้วย ดังนี้

$$\pm \Delta Q = (\pm \Delta U) + (\pm \Delta W)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \Delta U = \frac{3}{2} \Delta PV = \frac{3}{2} nR \Delta T = \frac{3}{2} N K_B \Delta T$$

$$\Delta W = P \Delta V = nR \Delta T = N K_B \Delta T$$

หลักการคิดเครื่องหมาย

ปริมาณ	ลักษณะ	เครื่องหมาย
ΔQ	พลังงานความร้อนไหลเข้าสู่ระบบ	+
	พลังงานความร้อนไหลออกจากระบบ	-
	ไม่มีพลังงานความร้อนไหลเข้าหรือออกจากระบบ	0
ΔU	พลังงานภายในระบบเพิ่มขึ้น (อุณหภูมิเพิ่มขึ้น)	+
	พลังงานภายในระบบลดลง (อุณหภูมิลดลง)	-
	พลังงานภายในระบบคงที่ (อุณหภูมิคงตัว)	0
ΔW	งานที่ทำโดยระบบ (ปริมาตรเพิ่มขึ้น)	+
	งานที่สิ่งแวดล้อมทำให้ระบบปริมาตรลดลง)	-
	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร	0

แบบฝึกหัด 18.4

- ถังเก็บแก๊สไบนทรีย์ที่มีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ภายในบรรจุแก๊สไว้ ถ้าแก๊สดูดกลืนปริมาณความร้อนเข้าไป 45 จูล และทำให้ความดันเพิ่มขึ้น 30 นิวตันต่อตารางเมตร พลังงานภายในของแก๊สเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด
- ขดลวดความร้อนขนาด 10 วัตต์ อันหนึ่งให้พลังงานความร้อนกับแก๊สอะตอมเดี่ยวจำนวน 1 โมล ซึ่งบรรจุในถังที่ปิดสนิท อยากทราบว่า จะใช้เวลาเท่าใด อุณหภูมิของแก๊สจึงจะเปลี่ยนจาก 27 องศาเซลเซียส ไปเป็น 67 องศาเซลเซียส
- แก๊สฮีเลียม 1 โมล บรรจุอยู่ในคนโทแก้วที่ปิดไว้อย่างดีและถือว่าปริมาตรคงที่ตลอดเวลาเมื่ออุณหภูมิของแก๊สเปลี่ยนจาก 27 องศาเซลเซียส ไปเป็น 67 องศาเซลเซียส จะต้องให้ความร้อนเข้าไปเท่าใด

4. จะต้องให้ความร้อนเท่าใดแก่แก๊สฮีเลียมจำนวน 1 โมล ที่บรรจุอยู่ในกระบอกสูบ แล้วทำให้แก๊สนั้นดันให้ลูกสูบทำงาน 20 จูล และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 เคลวิน
5. เมื่อให้ความร้อน 69.9 จูล แก่แก๊ส 1 โมล ที่บรรจุในกระบอกสูบ แก๊สทำงาน 20 จูล ดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ อุณหภูมิของแก๊สจะเพิ่มขึ้นเท่าใด
6. กระบอกสูบอันหนึ่งบรรจุแก๊สฮีเลียม 2 กิโลโมล และความดันแก๊สเท่ากับ 1.05×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร ปรากฏว่า เมื่อให้ความร้อนกับแก๊ส 10^5 จูล ปริมาตรของแก๊สในกระบอกสูบเพิ่มขึ้น 0.4 ลูกบาศก์เมตร โดยที่ความดันแก๊สคงที่ อยากทราบว่า อุณหภูมิของแก๊สจะเพิ่มขึ้นเท่าใด
7. ให้ความร้อนจำนวนหนึ่งแก๊สฮีเลียมที่บรรจุในกระบอกสูบ เมื่อแก๊สขยายตัวภายใต้กระบวนการความดันคงที่ จงหาว่าแก๊สใช้ความร้อนในการเพิ่มพลังงานภายในร้อยละเท่าใดของปริมาณความร้อนที่ได้รับ
8. (มข.50) จงหางานที่เกิดขึ้นเนื่องจากก๊าซหุงต้มในถังบรรจุขนาด 5 ลิตร มีความดันเพิ่มขึ้นจากบรรยากาศเป็น 3 บรรยากาศ
1. 0 จูล 2. 500 จูล 3. 1000 จูล 4. 1500 จูล
9. (มข.50) ถ้าระบบในภาชนะปิดที่มีผนังของภาชนะเป็นฉนวนความร้อนมีพลังงานภายในลดลง 800 จูล ข้อความใดต่อไปนี้สรุปได้ถูกต้อง
1. ระบบสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมปริมาณ 800 จูล
 2. ระบบดูดกลืนพลังงานจากสิ่งแวดล้อมในรูปของความร้อนปริมาณ 800 จูล
 3. ระบบทำงานให้กับสิ่งแวดล้อมปริมาณ 800 จูล
 4. สิ่งแวดล้อมระบบทำงานให้กับระบบปริมาณ 800 จูล

10. (มข.52) ถ้าเรามีแก๊สอุดมคติอยู่ในระบบปิด (closed system) คำกล่าวต่อไปนี้ข้อใดไม่ถูกต้อง

1. ถ้ามีความร้อนไหลเข้าสู่ระบบโดยความดันของระบบมีค่าคงที่แก๊สจะต้องขยายตัว
2. ถ้ามีความร้อนไหลเข้าสู่ระบบโดยปริมาตรของระบบมีค่าคงที่แก๊สจะต้องมีพลังงานภายในระบบเพิ่มขึ้น
3. ถ้ามีความร้อนไหลเข้าสู่ระบบโดยอุณหภูมิมีค่าคงที่แก๊สจะต้องขยายตัว
4. ถ้ามีความร้อนไหลออกจากระบบโดยอุณหภูมิมีค่าคงที่แก๊สจะต้องขยายตัว

11. (มข.54) แก๊สในกระบอกสูบรับความร้อนจากภายนอก 142 จูล ขณะที่แก๊สขยายตัวทำงานต่อระบบภายนอก 160 จูล พลังงานภายในของแก๊สเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่าใด และอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้นหรือลดลง

1. พลังงานภายในของแก๊สลดลง 18 จูล และอุณหภูมิของแก๊สลดลง
2. พลังงานภายในของแก๊สเพิ่มขึ้น 18 จูล และอุณหภูมิของแก๊สลดลง
3. พลังงานภายในของแก๊สลดลง 18 จูล และอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น
4. พลังงานภายในของแก๊สเพิ่มขึ้น 18 จูล และอุณหภูมิของแก๊สเพิ่มขึ้น

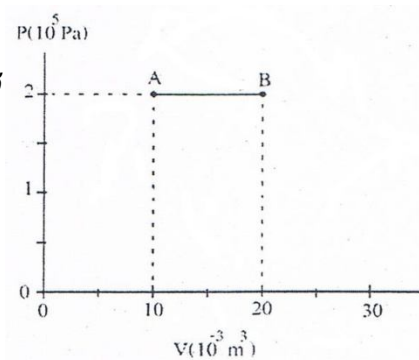
12. (มข.55) การเปลี่ยนแปลงทางเทอร์โมไดนามิกส์ของก๊าซในกระบอกสูบ ระบบมีพลังงานภายในลดลง 100 J และมีการคายความร้อน 300 J จงคำนวณหางานที่เกิดขึ้น

- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. ระบบทำงาน 200 J | 2. ระบบถูกทำงาน 200 J |
| 3. ระบบทำงาน 400 J | 4. ระบบถูกทำงาน 400 J |

13. (มข.56) แก๊สจำนวนหนึ่งบรรจุภายในกระบอกสูบเมื่อทำงานให้แก่ระบบ 3,000 J ทำให้พลังงานภายในเพิ่มขึ้น 2,000 J ความร้อนของระบบและสิ่งแวดล้อมจะเปลี่ยนอย่างไรด้วยปริมาณเท่าไร

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1. เข้าสู่ระบบ 5,000 J | 2. เข้าสู่ระบบ 1,000 J |
| 3. ออกจากระบบ 5,000 J | 4. ออกจากระบบ 1,000 J |

14. ให้ความร้อน 3000 จูล แก่ก๊าซในกระบอกสูบอันหนึ่งทำให้ก๊าซขยายตัวตามเส้นทาง AB ตามกราฟในรูป พลังงานภายในของก๊าซเปลี่ยนเป็นเท่าไร (มข.57)

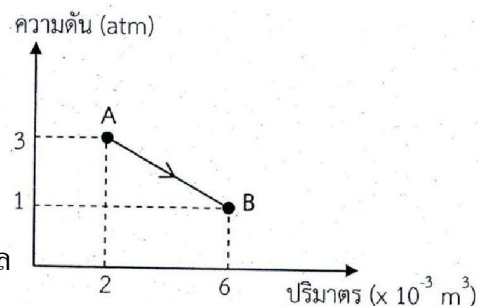


1. ลดลง 1000 จูล
2. ลดลง 2000 จูล
3. เพิ่มขึ้น 1000 จูล
4. เพิ่มขึ้น 2000 จูล

15. แก๊สในกระบอกสูบคายความร้อน 250 จูล ขณะที่พลังงานภายในเพิ่มขึ้น 50 จูล ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง (มข.58)

1. แก๊สหดตัว ระบบถูกทำงาน 200 จูล
2. แก๊สหดตัว ระบบถูกทำงาน 300 จูล
3. แก๊สขยายตัว ระบบถูกทำงาน 200 จูล
4. แก๊สขยายตัว ระบบถูกทำงาน 300 จูล

16. จากกราฟความดันและปริมาตรของระบบแก๊สที่กำหนดให้ ระบบมีสถานะเปลี่ยนจาก A – B ข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง (กำหนดให้ $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร}$) (มข.58)



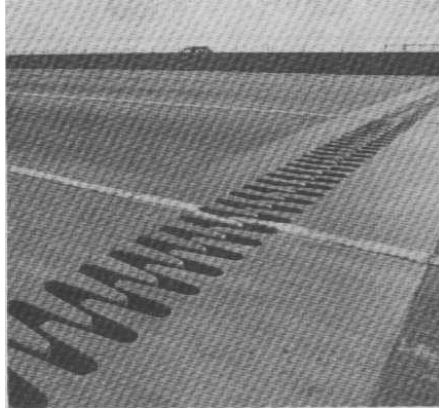
1. ระบบดูดความร้อน 800 จูล และพลังงานภายในระบบคงเดิม
2. ระบบคายความร้อน 800 จูล และพลังงานภายในลดลง 400 จูล
3. ระบบคายความร้อน 400 จูล และพลังงานภายในระบบคงเดิม
4. ระบบดูดความร้อน 400 จูล และพลังงานภายในเพิ่มขึ้น 400 จูล

18. ที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน แก๊สฮีเลียมในกระบอกสูบอันหนึ่งมีปริมาตร 1.00×10^{-5} ลูกบาศก์เมตร มีความดัน 1.01×10^5 ปาสคาลเท่าความดันบรรยากาศ เมื่อเผาไหม้ให้มีอุณหภูมิ 600 เคลวิน โดยความดันแก๊สไม่เปลี่ยน แก๊สทำงานเท่ากับเท่าไร (มข.59)

1. แก๊สทำงาน 1.010 จูล
2. แก๊สทำงาน 1.515 จูล
3. แก๊สทำงาน 2.020 จูล
4. แก๊สทำงาน 3.300 จูล

18.5 การประยุกต์(การนำความรู้เกี่ยวกับความร้อนมาใช้ประโยชน์)

18.5.1 การนำความรู้เรื่องความร้อนมาใช้ในการออกแบบรอยต่อของสะพานหรือถนน การสร้างสะพานหรือถนนคอนกรีตจะต้องทำการเทคอนกรีตทีละช่วง ดังนั้นรอยต่อแต่ละช่วงจะต้องเผื่อการขยายตัวของคอนกรีตจึงมีการเชื่อมรอยต่อด้วยเหล็กและอุดรอยต่อด้วยยางมะตอยดังรูปที่ 18.1 แสดงการเชื่อมเหล็กที่รอยต่อของสะพาน



รูปที่ 18.1 รอยต่อของสะพานคอนกรีตจะเชื่อมต่อด้วยเหล็ก โดยมรร่องห่างกันเพื่อการขยายตัวของคอนกรีต

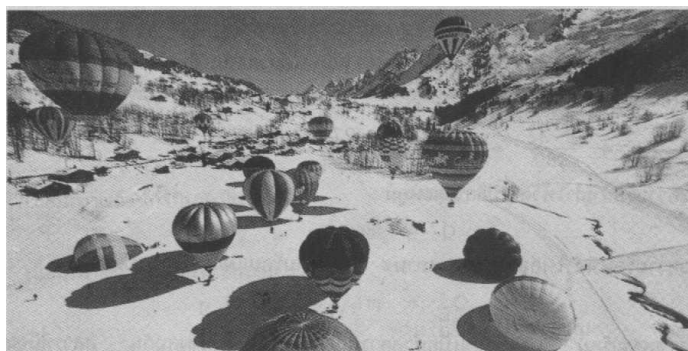
18.5.2 อุณหภูมิในรถยนต์ การออกแบบรถยนต์ในสมัยใหม่จะมีการติดตั้งอุณหภูมิเพื่อป้องกันอุบัติเหตุอันเนื่องจากการแตกของคอนกรีตกับพวงมาลัยรถดังรูปที่ 8.2 เมื่อรถได้รับการกระแทก แก๊สไนโตรเจนจำนวนหนึ่งจะถูกอัดเข้าไปในอุณหภูมิทำให้อุณหภูมิของตัวรถและความดันเกิดขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้ศีรษะกระแทกกับพวงมาลัยรถปริมาณแก๊สที่อัดเข้าไปในอุณหภูมิสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$n = \frac{PV}{RT}$$



รูปที่ 18.2 แสดงการทำงานของอุณหภูมิ

18.5.3 การอัดแก๊สร้อนเข้าไปในบอลูน เพื่อให้บอลูนลอยตัวขึ้นจากคุณสมบัติของแก๊สจะทราบได้ว่าเมื่อแก๊สมีอุณหภูมิสูงขึ้นและบรรจุในภาชนะที่มีปริมาตรและความดันคงที่จะมีน้ำหนักเบากว่าแก๊สที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจึงทำให้แก๊สนั้นสามารถลอยตัวขึ้นได้ดังเช่น การลอยตัวของบอลูนในรูปที่ 8.3



รูปที่ 18.3 แสดงการลอยตัวของบอลูน