

Thermodynamics

อุณหพลศาสตร์

Suraphong Yuma (suraphong.yum@mahidol.ac.th)

Office: P619 (Payathai campus)

Kittiwit Matan (kittiwit.mat@mahidol.ac.th)

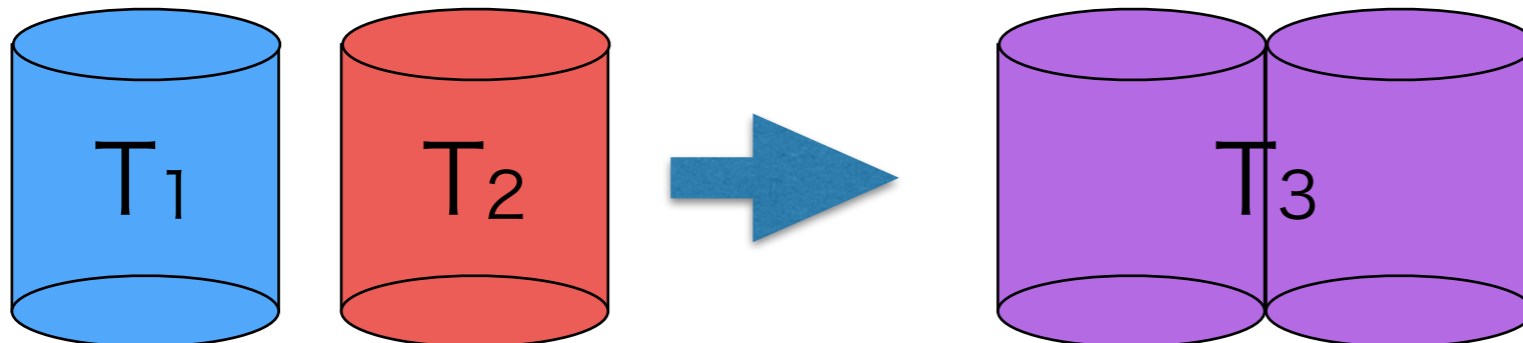
Office: P622 (Payathai campus)

อุณหภูมิและสมดุลอุณหภูมิ

- คอนเซปต์ของอุณหภูมิ โดยปกติจะเชื่อมโยงกับปริมาณเชิงคุณภาพอย่าง ร้อน หรือ เย็น ซึ่งขึ้นอยู่กับ ประสบสัมผัสของแต่ละคน
- ซึ่งแต่ละคนจะรู้สึกถึงความร้อนเย็นแตกต่างกัน ดังนั้น การใช้เพียงความรู้สึกจึงไม่เพียงพอ
- เราสามารถเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กับการเปลี่ยนคุณสมบัติบางอย่างของสสารได้ (รูปด้านขวามือ)

Thermal contact

ระบบสองระบบสามารถถ่ายเทพลังงานระหว่างกันได้ หากระบบทั้งสองมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

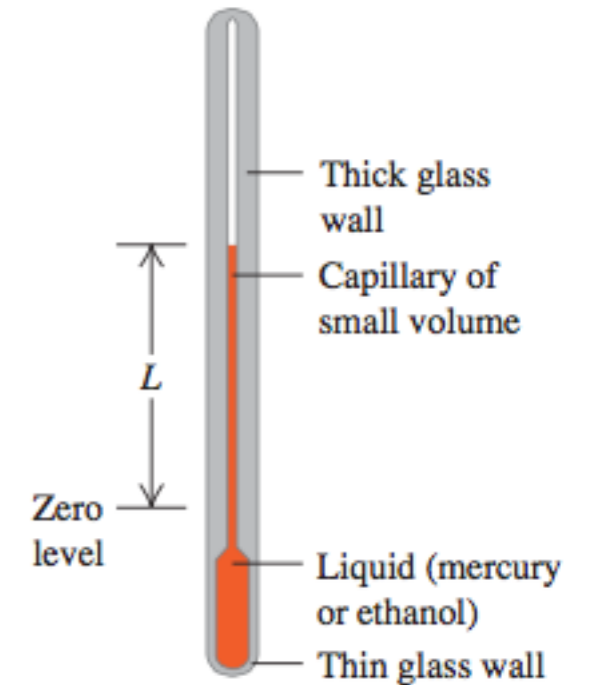


Thermal equilibrium

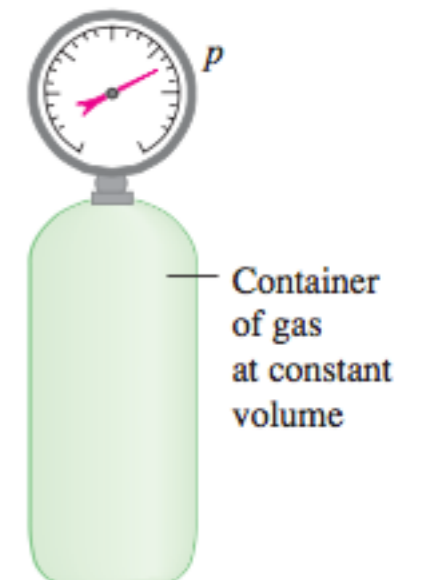
ระบบสองระบบจะไม่มีถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน ถ้าระบบทั้งสองเชื่อมถึงกัน หรือที่เรียกว่า thermal contact

Zeroth Law of Thermodynamics
(the law of equilibrium)

(a) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้ปริมาณของของเหลวเปลี่ยนไป



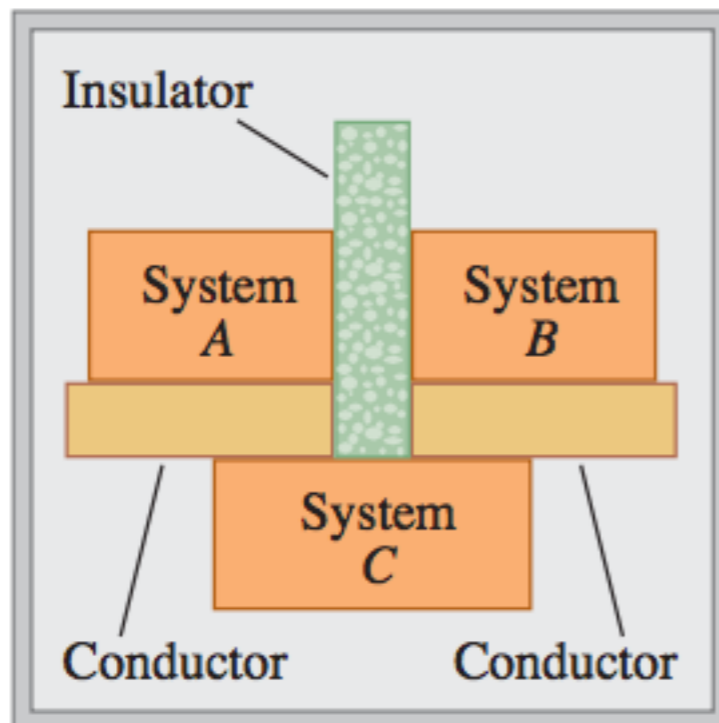
(b) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้ความดันของก๊าซเปลี่ยนไป



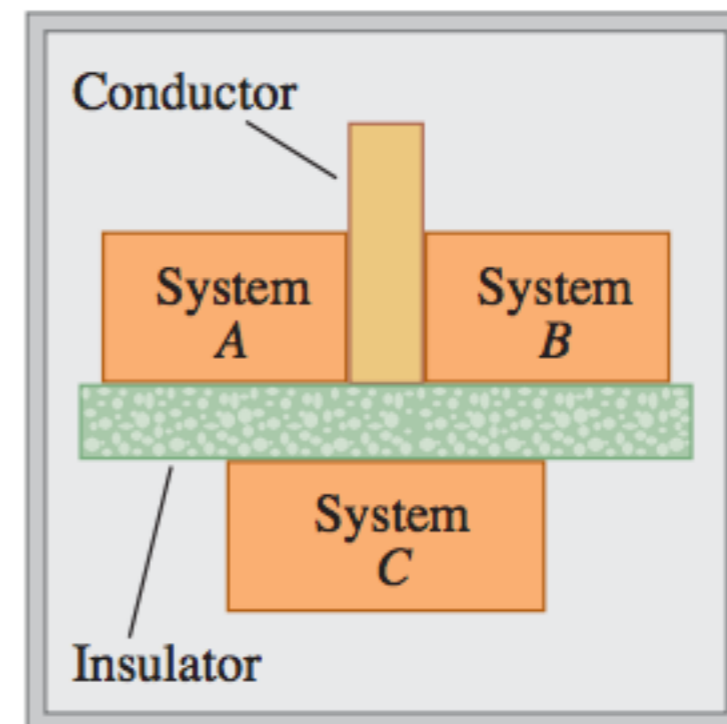
Zeroth Law of Thermodynamics

ถ้า ระบบ A และระบบ B ต่างอยู่ในสมดุลอุณหภูมิกับระบบ C
เราพบว่า ระบบ A และ B จะอยู่ในสมดุลอุณหภูมิของกันและกัน

(a) If systems *A* and *B* are each in thermal equilibrium with system *C* ...



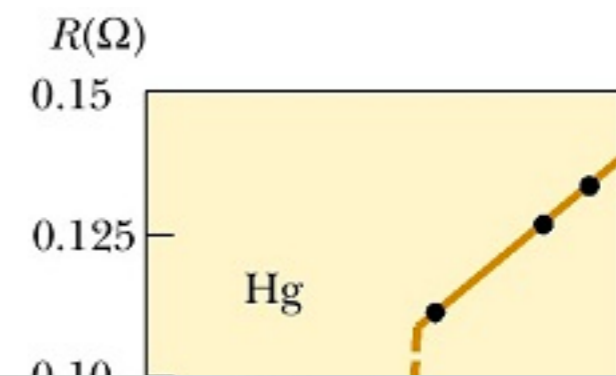
(b) ... then systems *A* and *B* are in thermal equilibrium with each other.



Thermometers and Temperature Scales

- เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิของระบบ
- โดยอาศัยหลักการที่คุณสมบัติบางอย่างของสารที่เปลี่ยนไป เนื่องจากอุณหภูมิ ยกตัวอย่างเช่น

1. ปริมาตรของของเหลว
2. มิติ (ขนาด) ของของแข็ง
3. ความดันของก๊าซในระบบปริมาตรคงที่
4. ปริมาตรของก๊าซในระบบที่ความดันคงที่
5. ความต้านทานไฟฟ้าของตัวนำไฟฟ้า
6. สีของวัตถุ



yrbsgy.en.alibaba.com



Thermometers and Temperature Scales

- เทอร์โมมิเตอร์ที่เราใช้กันในชีวิตประจำวัน จะประกอบไปด้วย ของเหลวจำนวนหนึ่ง (ส่วนใหญ่เป็นปรอท หรือ แอลกอฮอล์) ในหลอดแก้ว เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน
 - ปริมาตรของของเหลวเปลี่ยน -> อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในเทอร์โมมิเตอร์ถูกนิยามจากสัดส่วนการเปลี่ยนไปของความยาวของหลอดเหลวในแท่งเทอร์โมมิเตอร์
 - การวัดอุณหภูมิในหน่วย เซลเซียส (Celsius): 0 องศาเซลเซียสถูกนิยามที่จุดเยือกแข็งของน้ำ และ 100 องศาเซลเซียสที่จุดเดือด

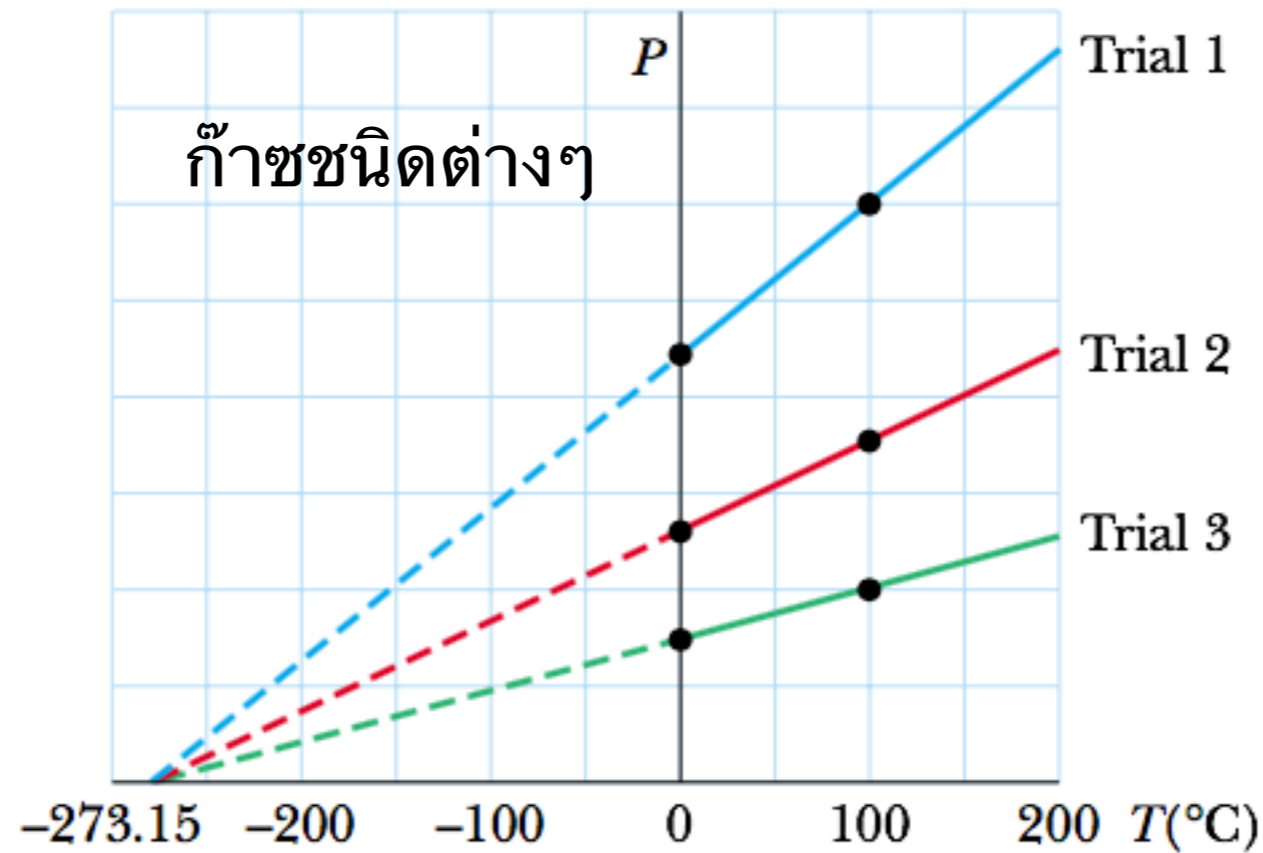
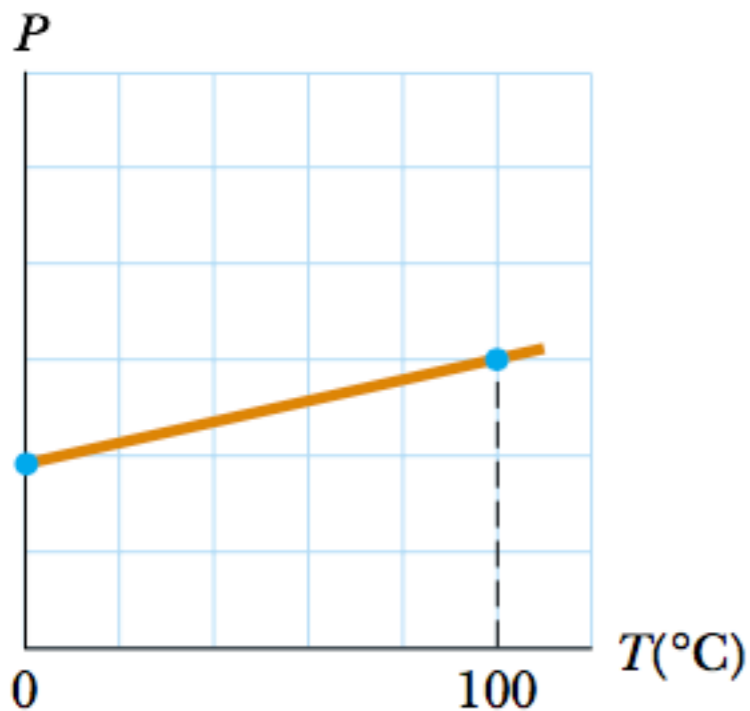
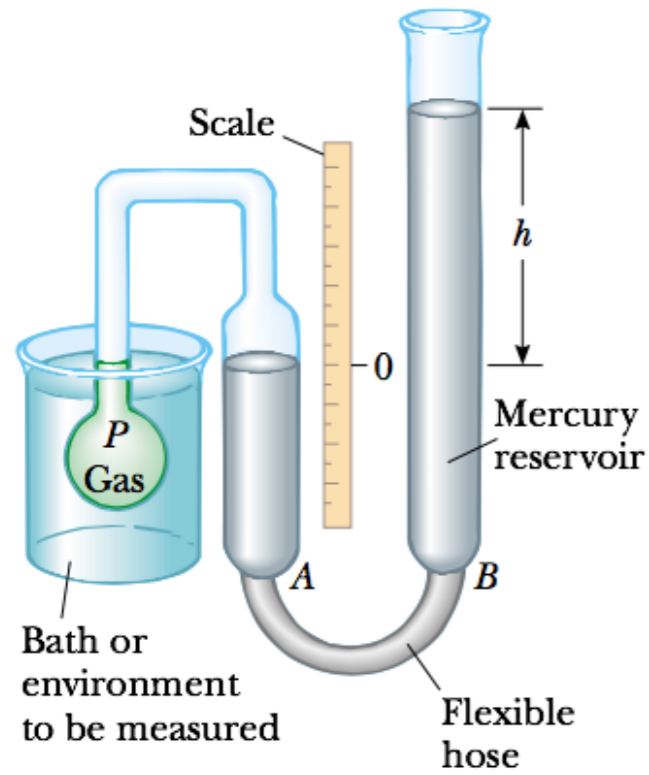
ปัญหาคือ?

1. ของเหลวแต่ละชนิดก็จะมี การเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ
2. ข้อจำกัดของช่วงอุณหภูมิ เช่น
 - เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท จะไม่สามารถใช้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -39°C
 - เทอร์โมมิเตอร์แบบแอลกอฮอล์ จะไม่สามารถใช้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 85°C ได้ (เพราะมันจะระเหยหมด)



The constant-volume gas thermometer

- อย่างที่บอกไปว่า ความดันของก๊าซจะเปลี่ยนไป เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน ในขณะที่อุณหภูมิคงที่



ความดันของก๊าซทุกชนิดจะลดลงเป็นศูนย์ที่
อุณหภูมิ -273.15°C !



Absolute temperature scale

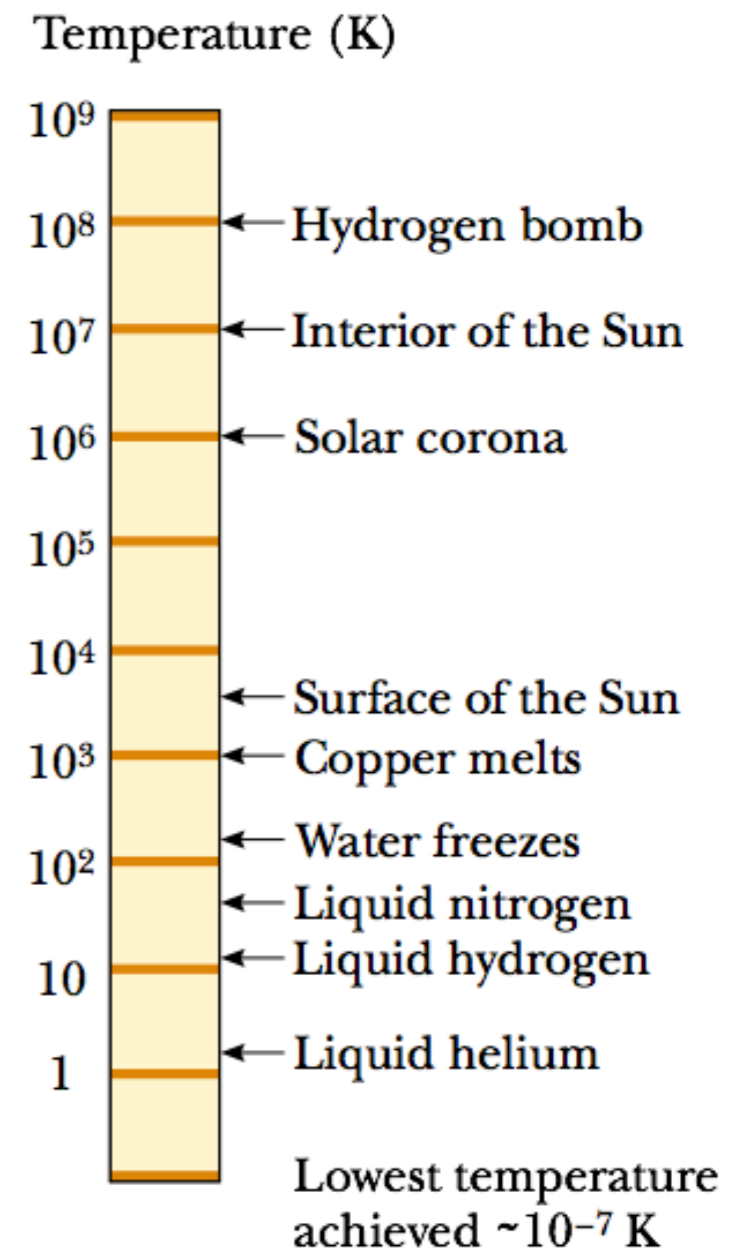
• Absolute temperature scale หรืออุณหภูมิสัมบูรณ์ ได้กำหนดให้ -273.15°C เป็น absolute zero หรืออุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์

$$T = T_C + 273.15$$

T_C is อุณหภูมิในหน่วย $^{\circ}\text{C}$

• อีกจุดอ้างอิงหนึ่ง คือ the triple point of water ซึ่งอยู่ที่อุณหภูมิ 0.01°C และที่ความดัน 4.58 มม.ปรอท \rightarrow 273.16 Kelvin (K)

• หน่วย เคลวิน ถูกนิยามเป็น $1/273.16$ เท่าของผลต่างระหว่างจุดศูนย์สัมบูรณ์กับอุณหภูมิที่ the triple point of water.



The Celsius, Fahrenheit, and Kelvin

- หน่วยปกติที่ใช้กันในสหรัฐ คือ ฟาเรนไฮท์ “Fahrenheit.”
- ค่ากำหนดจุดเยือกแข็งของน้ำให้อยู่ที่ 32°F และจุดเดือดที่ 212°F
- ความสัมพันธ์ระหว่างองศาเซลเซียสและองศาฟาเรนไฮท์ คือ

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T_C = \Delta T = \frac{5}{9} \Delta T_F$$

Thermal Expansion การขยายตัวทางความร้อน

- หากเราให้วัตถุมีความยาวเริ่มต้น L_i , และความยาวของวัตถุเปลี่ยนไป ΔL เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ΔT
 - เรานิยามค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเชิงเส้น (average coefficient of linear expansion) เป็น

$$\alpha \equiv \frac{\Delta L / L_i}{\Delta T}$$

$$\Delta L = \alpha L_i \Delta T \quad \text{หรือ} \quad L_f - L_i = \alpha L_i (T_f - T_i)$$

- พื้นที่ผิวและปริมาตรของวัตถุ ก็สามารถขยายตัวเนื่องจากความร้อนได้เช่นกัน

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

β is average coefficient of volume expansion



การอธิบายก๊าซในอุดมคติ

- สำหรับก๊าซในอุดมคติ (ก๊าซที่มีความหนาแน่นน้อยมากๆ) เราสามารถเขียนสมการ Equation of state ได้เป็น

$$R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$R = 0.082 \frac{\text{L}\cdot\text{atm}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$$

$PV = nRT$

ความดัน

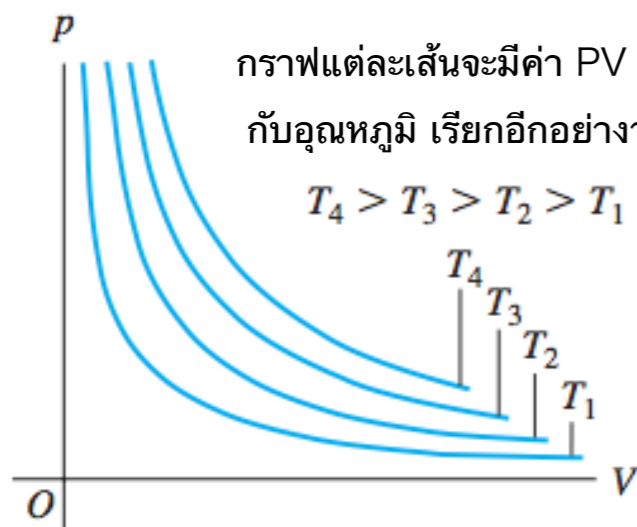
ปริมาตร

จำนวนโมลของก๊าซ

อุณหภูมิ

$1 \text{ mol} = 6.022 \times 10^{23} \text{ atoms or molecules}$

แต่ละเส้นกราฟแสดงถึงความดันที่เปลี่ยนไป
เมื่อเราเปลี่ยนปริมาตรของก๊าซที่อุณหภูมิต่างๆ



กราฟแต่ละเส้นจะมีค่า PV เท่ากัน และเป็นสัดส่วนโดยตรง
กับอุณหภูมิ เรียกอีกอย่างว่า กฎของบอยล์ Boyle's law

$$T_4 > T_3 > T_2 > T_1$$

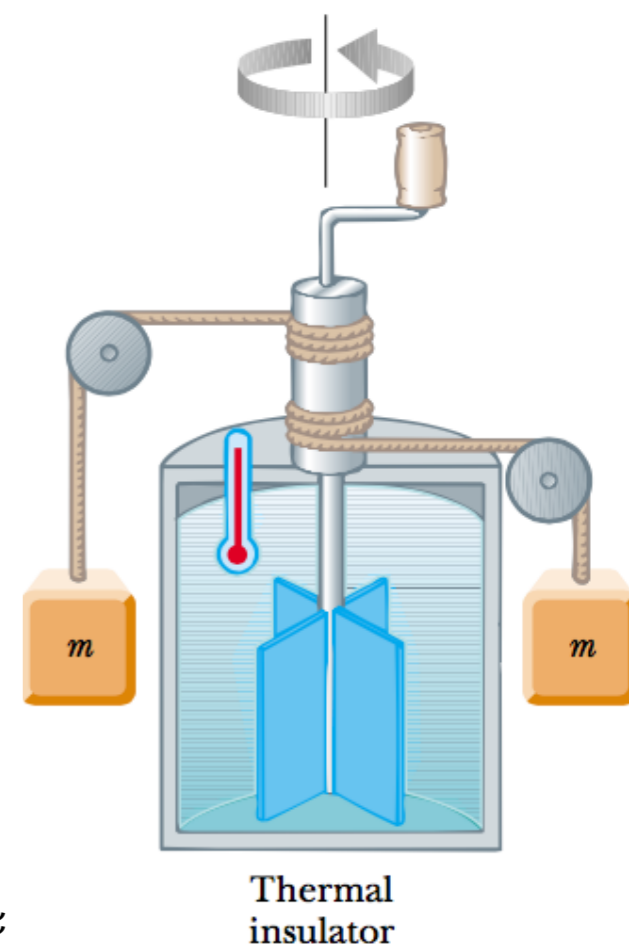
$$k_B = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$PV = Nk_B T$

จำนวนโมเลกุลของก๊าซ

ความร้อนและพลังงานภายใน

- พลังงานภายใน คือ พลังงานทั้งหมดของระบบที่เกี่ยวข้องเนื่องกับส่วนประกอบย่อยๆของมันเมื่อเรามองจากจุดอ้างอิงที่หยุดนิ่งเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางมวลของระบบ
- ความร้อน คือ การถ่ายเทพลังงานผ่านเส้นแบ่งระบบ เนื่องจากการมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อม
- หน่วยของความร้อน
 - แคลอรี calories (cal): ปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทไป และสามารถทำให้น้ำ 1 กรัมเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 14.5°C เป็น 15.5°C
 - British temperature unit (BTU): ปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทไป และสามารถทำให้น้ำ 1 พาวนด์ (ปอนด์) เปลี่ยนอุณหภูมิจาก 63°F เป็น 64°F
- การทดลองของจูล Joule's experiment:
 - ถ้าเอามวลสองก้อนห้อยไว้กับระบบดังรูปด้านขวา แล้วปล่อยให้มวลตกเป็นระยะทาง h พลังงานศักย์จะสูญเสียไปเท่ากับ $2mgh$ พลังงานนี้จะไปปั่นกังหันทำให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น
 - โดยที่พลังงานกล 4.186 จูล จะทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C



$$1\text{cal} \equiv 4.186\text{J}$$

Specific heat and Calorimetry ความร้อนจำเพาะและแคลอรีเมทรี

- พลังงานที่ใช้ในการทำให้น้ำ 1kg มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C คือ 4,186J แต่พลังงานที่ใช้ในการทำให้ทองแดง 1kg มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ใช้เพียงแค่ 387J.
- ความจุความร้อน **heat capacity C** ของสสารใดๆ ถูกนิยามเป็น ปริมาณพลังงานที่ใช้ทำให้อุณหภูมิของสสารเปลี่ยนไป 1°C .
 - ถ้าเราใช้ พลังงาน Q ในการเปลี่ยนพลังงานของสสารไป ΔT เราจะได้ว่า

$$Q = C\Delta T$$

- โดยที่ ความร้อนจำเพาะ **specific heat c** ของสสาร คือ ความจุความร้อนของสสารนั้นต่อหนึ่งหน่วยมวล

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

$$Q = mc\Delta T$$

ยิ่งสสารมีความร้อนจำเพาะมากเท่าไร ยิ่งต้องใช้พลังงานในการทำให้อุณหภูมิของสสารเปลี่ยนมากขึ้นเท่านั้น

Specific heat and Calorimetry

ความร้อนจำเพาะและแคลอรีเมตรี

กฎการอนุรักษ์พลังงาน

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

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

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

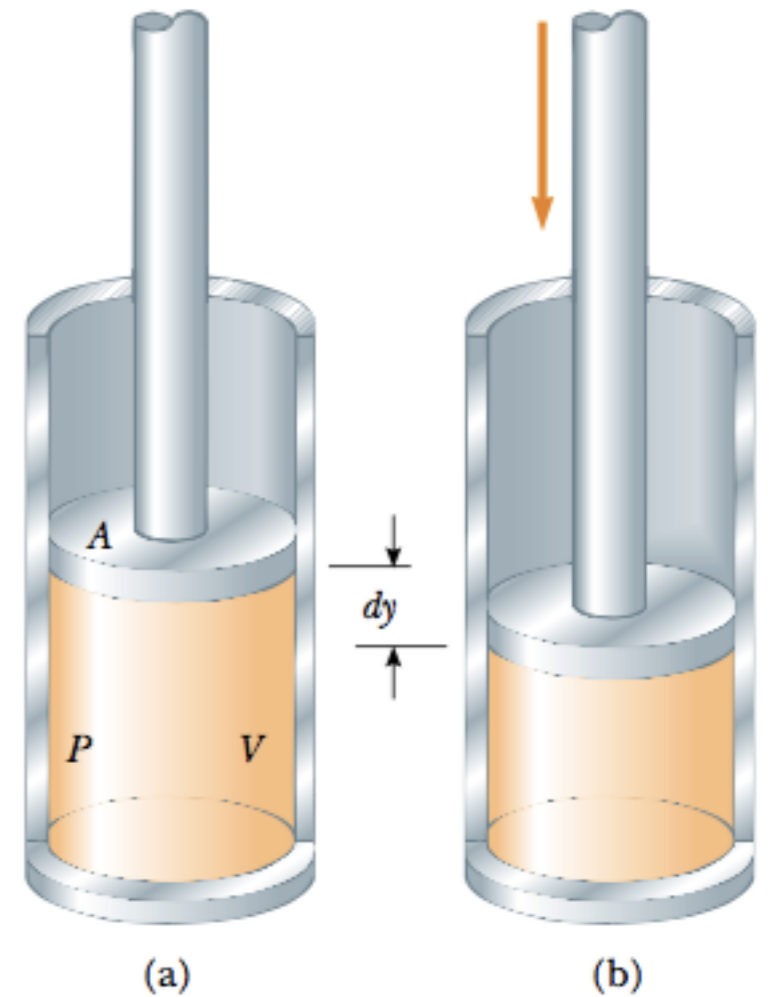
ตัวอย่างง่ายๆ

- ถ้าเรามีแท่งเหล็กมวล 0.050kg ถูกให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 200.0°C จากนั้นใส่ลงไปในปีกเกอร์ที่มีน้ำอยู่ 0.400kg โดยตอนแรกน้ำในปีกเกอร์มีอุณหภูมิ 20.0°C ถ้าหลังจากที่ระบบรวมเข้าสู่สมดุลทางอุณหภูมิแล้วมีอุณหภูมิเท่ากับ 22.4°C จงหาความจุความร้อนของแท่งเหล็ก

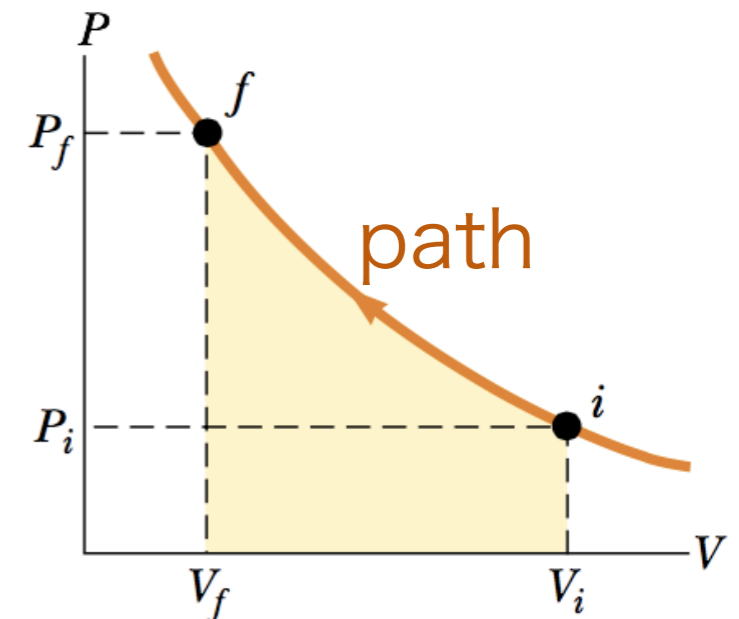
งานและความร้อนในกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์

$$dW = -PdV$$

$$W = - \int_{V_i}^{V_f} PdV$$



งานที่ทำกับก๊าซใน quasi-static process (การเปลี่ยนแปลงที่อยู่ใกล้เคียงกับสภาวะคงตัว) จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย มีค่าเท่ากับ ผลคูณของพื้นที่ใต้กราฟ PV diagram



The First Law of Thermodynamics

กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์

- พิจารณาระบบที่เปลี่ยนแปลงจากจุดเริ่มต้น ไปยังจุดสุดท้าย
 - ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงนี้ให้ พลังงานที่ถ่ายเทโดยความร้อน Q ให้กับระบบและงาน W ที่ทำกับระบบ

$$\Delta E_{int} = Q + W$$

- เราจะได้การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน เป็น
- ในกรณีที่ระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กๆ $dE_{int} = dQ + dW$

- ในกรณีของระบบโดดเดี่ยว (ที่ไม่มีการติดต่อกับสิ่งแวดล้อม) จะไม่มีการถ่ายเทพลังงานความร้อน และไม่มีการทำงานที่ทำให้ระบบ ดังนั้น เราจะได้ว่า พลังงานภายในระบบมีค่าคงที่

$$Q = W = 0 \longrightarrow \Delta E_{int} = 0$$

- ระบบหมุนเวียน cyclic process ที่จุดเริ่มต้นของระบบและจุดสุดท้ายของระบบคือจุดเดียวกัน พลังงานภายในจะเท่าเดิม

$$\Delta E_{int} = 0 \text{ and } Q = -W$$

การประยุกต์ใช้กฎข้อที่หนึ่ง

- Adiabatic process:

- กระบวนการที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน $Q=0$.

$$\Delta E_{int} = W$$

- Isobaric process: กระบวนการที่ความดันคงที่ P

$$W = -P(V_f - V_i)$$

- Isovolumetric process: กระบวนการที่ปริมาตรคงที่

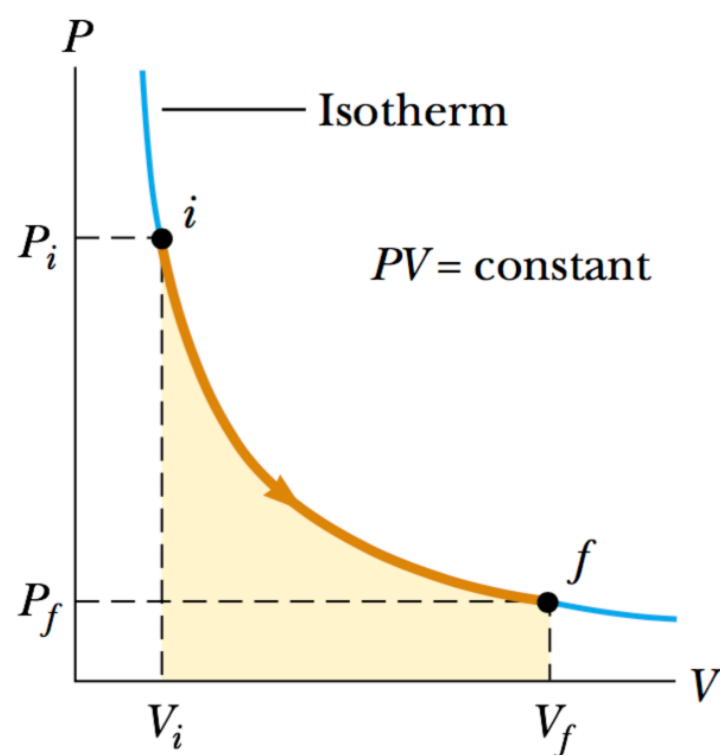
$$\Delta E_{int} = Q$$

- Isothermal process: กระบวนการที่อุณหภูมิคงที่

- โดยในกรณีของก๊าซในอุดมคติ พลังงานภายในของระบบจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว ดังนั้น หากกระบวนการที่เกิดขึ้นมีอุณหภูมิคงที่

$$\Delta E_{int} = 0 \longrightarrow Q = -W$$

การขยายตัวของก๊าซในอุดมคติ โดยที่อุณหภูมิคงที่ (Isothermal)



$$W = - \int_{V_i}^{V_f} P dV = - \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV$$

· เพราะอุณหภูมิ T คงที่

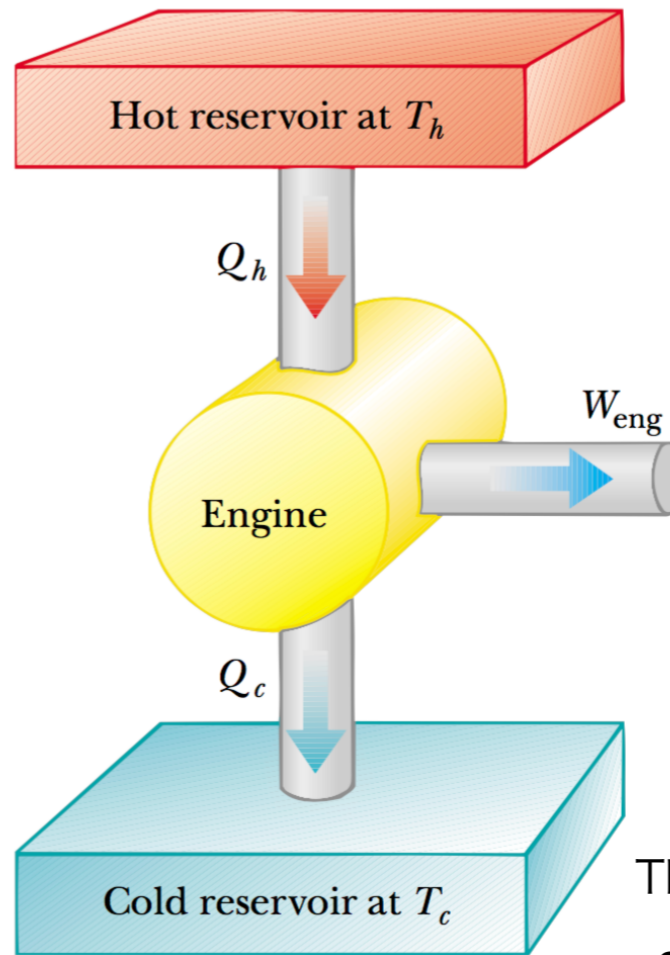
$$W = -nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = -nRT \ln V \Big|_{V_i}^{V_f}$$

$$W = nRT \ln \left(\frac{V_i}{V_f} \right)$$

- ก๊าซในอุดมคติ 1.0 โมลถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 0.0 °C ในระหว่างที่มีการขยายตัวจากปริมาตร 3.0L เป็น 5.0L.
 - A. งานที่ทำให้กับระบบเป็นเท่าใดระหว่างการขยายตัว
 - B. การถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมมีค่าเป็นเท่าใดระหว่างการขยายตัว
 - C. ถ้าสุดท้ายแล้วก๊าซกลับมาอยู่ที่สถานะเริ่มต้น ด้วยกระบวนการ isobaric จงหางานที่ทำให้กับระบบ

Heat Engine

- Heat engine คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนในกระบวนการ cycle process แล้วปลดปล่อยพลังงานบางส่วนออกมาในรูปของงาน



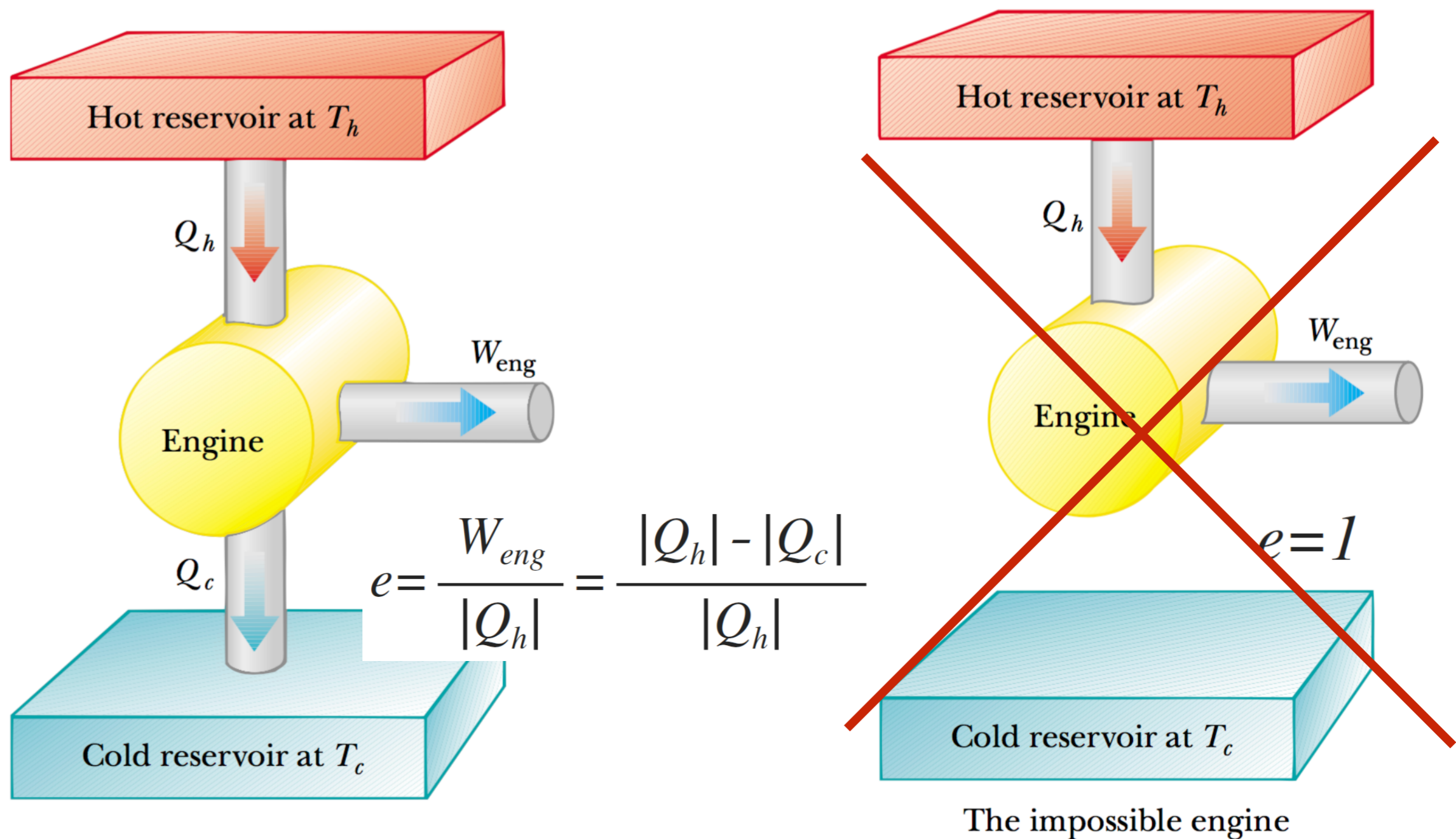
$$W_{eng} = |Q_h| - |Q_c|$$

Thermal efficiency e (ความสามารถในการเปลี่ยนความร้อนเป็นงาน) ของheat engine ถูกนิยามเป็น

$$e = \frac{W_{eng}}{|Q_h|} = \frac{|Q_h| - |Q_c|}{|Q_h|}$$

กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์

ไม่มีทางเป็นไปได้ที่เราจะสามารถสร้าง Heat engine ที่สามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนทั้งหมดไปเป็นงาน หรือพูดอีกอย่างคือ เราไม่สามารถที่จะสร้างเครื่องยนต์ที่มี Thermal efficiency เท่ากับหนึ่ง



Entropy (เอนโทรปี)

- ระบบโดดเดี่ยวใดๆ จะมีทิศทางในการเปลี่ยนแปลงตัวเองเข้าสู่ความยุ่งเหยิงเสมอ
 - เอนโทรปี เป็นการวัดปริมาณความยุ่งเหยิง ไม่เป็นระเบียบของระบบ
- ในการเปลี่ยนแปลงระบบ ถ้าเราให้ dQ_r เป็นปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทด้วยความร้อนเมื่อระบบมีการกลับไปมาระหว่างสถานะ การเปลี่ยนแปลงของเอนโทรปี **entropy dS** สามารถเขียนได้เป็น

$$dS = \frac{dQ_r}{T} \quad \longrightarrow \quad \Delta S = \int_i^f dS = \int_i^f \frac{dQ_r}{T}$$