เอกสารประกอบการติวกระบวนวิชา 207123 (Final)

สำหรับนักศึกษาคณะอุตสาหกรรมเกษตร (22 ก.ย.2564)

ทบทวนพื้นฐานฟิสิกส์

หน่วย SI Unit (Metric)

ปริมาณมูลฐาน	หน่วยมูลฐาน

Prefix (คำอุปสรรค)

Table 5. SI prefixes

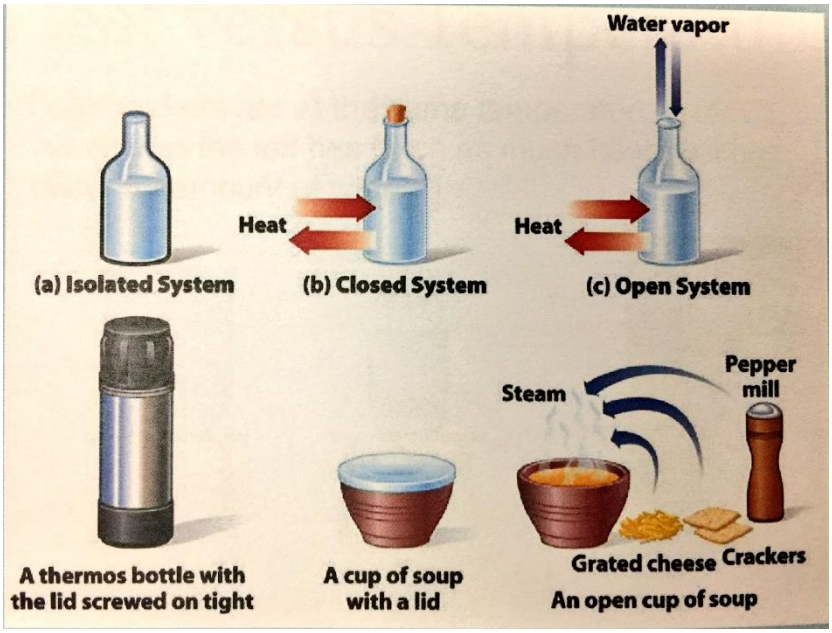
Factor	Name	Symbol	Factor	Name	Symbol
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	milli	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^{9}	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^{6}	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^{3}	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^{2}	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^{1}	deka	da	10^{-24}	yocto	y

Dimension analysis (การวิเคราะห์เชิงมิติ)

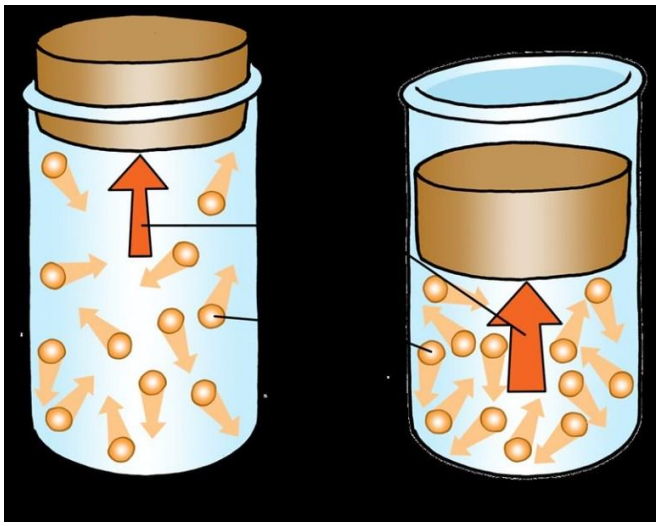
ระบบทางเทอร์โมไดนามิกส์

➢ System-Environment (ระบบ-สิ่งแวดล้อม)

➢ 3 Types of system (ประเภทของระบบ)



➢ Microscopic-Macroscopic (จุลภาพ-มหภาพ)



➢ Phase of System (เฟสของระบบ)

➢ Equilibrium-Inequilibrium (สมดุลของระบบ)

➢ State of System (สถานะของระบบ)

- State Variable (ตัวแปรสถานะ)

- 2 Types of State Variable (ตัวแปรสถานะ)

Intensive Variable	Extensive Variable

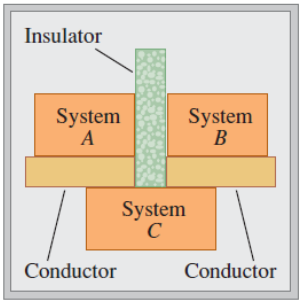
➢ Equation of State (สมการสถานะ)

Overview of thermodynamics

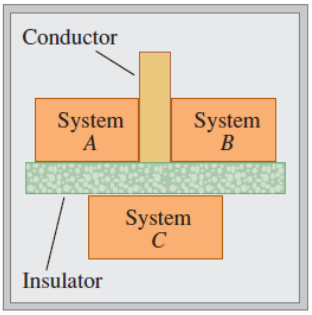
กฎทางเทอร์โมไดนามิกส์

➢ 0th Law of thermodynamics

(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.



➢ 1st Law of thermodynamics

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

➢ 2nd Law of thermodynamics

$$\Delta S_{universe} = \Delta S_{system} + \Delta S_{environment} \geq 0$$

$$\Delta S_{system} > 0$$

$$\Delta S_{system} = 0$$

$$\Delta S_{system} < 0$$

	$\Delta H < 0$	$\Delta H > 0$
$\Delta S > 0$	Spontaneous at all T ($\Delta G < 0$)	Spontaneous at high T (when $T\Delta S$ is large)
$\Delta S < 0$	Spontaneous at low T (when $T\Delta S$ is small)	Non-spontaneous at all T ($\Delta G > 0$)

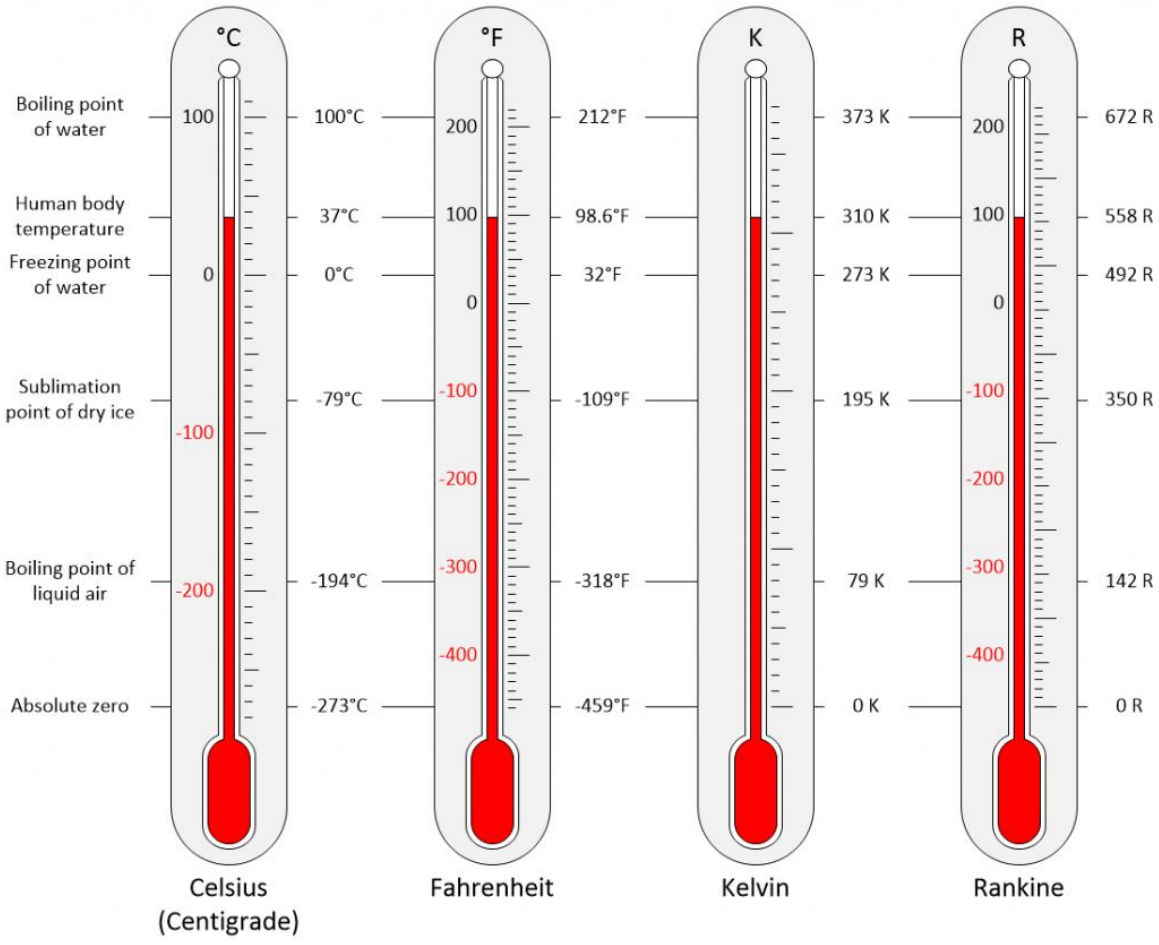
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \qquad \Delta G = Gibbs\ Free\ Energy$$

$$\Delta H = Enthalpy = Q_{P=constant}$$

อุณหภูมิและความร้อน

➢ Scale of temperature (สเกลของอุณหภูมิ)

$$\frac{T_x - F.P.}{B.P. - F.P.}$$



ตัวอย่างที่ 1 (17.4) จงหาอุณหภูมิค่าหนึ่งที่ทำให้ค่าที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์สเกลฟาเรนไฮต์อ่านค่าได้เท่ากับเทอร์โมมิเตอร์ในสเกลองศาเซลเซียส / จงหาอุณหภูมิค่าหนึ่งที่ทำให้ค่าที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์สเกลฟาเรนไฮต์อ่านค่าได้เท่ากับเทอร์โมมิเตอร์ในสเกลองศาเคลวิน

(-40 องศาเซลเซียส/ 574.59 องศาเคลวิน)

ตัวอย่างที่ 2 (17.5) เมื่อนำนมฮอกไกโดไปแช่ไว้ในตู้เย็นและปล่อยให้อุณหภูมิลดลงไป 10 องศาเคลวิน จงหาว่าอุณหภูมิของนมฮอกไกโดจะเปลี่ยนไปเท่าไหร่ เมื่ออ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ในสเกลองศาฟาเรนไฮต์และ เซนติเกรด

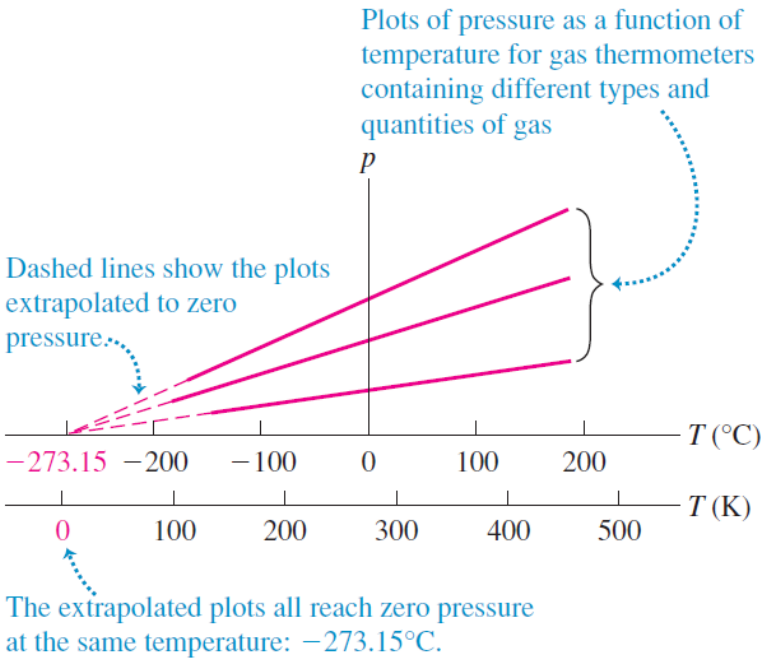
(-18 องศาฟาเรนไฮต์/10 เซนติเกรด)

➢ Thermometric properties (คุณสมบัติของที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ)

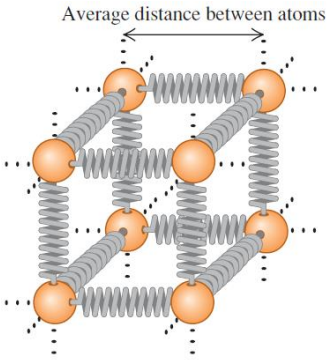
$$\frac{T_x\ (K)}{T_{triple\ point}\ (K)} = \frac{x_x}{x_{triple\ point}}$$

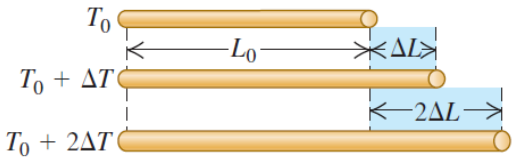
(a) A constant-volume gas thermometer

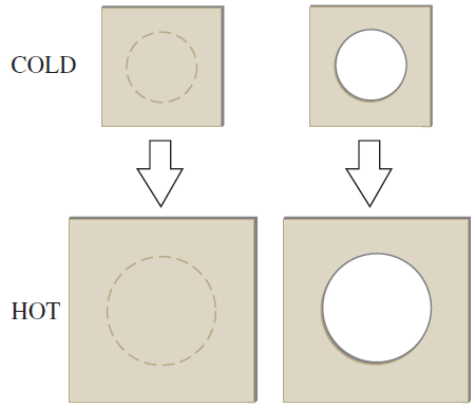
(b) Graphs of pressure versus temperature at constant volume for three different types and quantities of gas



➢ Thermal expansion (การขยายตัวเชิงความร้อน)







➢ Thermal stress (ความเค้นเชิงความร้อน)

$$Y = \frac{Stress}{Strain} = \frac{F/A}{\Delta l/l_0}$$

ตัวอย่างที่ 3 (17.15) ขวดโหลอันหนึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของปากขวดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของฝาปิดเกลียวที่ทำจากเหล็กเป็น 725 มิลลิเมตรที่อุณหภูมิ (20.0 องศาเซลเซียส) เมื่อนำฝาปิดโลหะไปจุ่มลงในน้ำอุ่นจนมีอุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียสโดยที่อุณหภูมิปากขวดไม่เปลี่ยนแปลง จงหาว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฝาปิดจะใหญ่ขึ้นกว่าเส้นผ่านศูนย์ของปากขวดโหลเท่าไหร่

$(\Delta L = 0.26x10^{-3}\ m)$

ตัวอย่างที่ 4 (17.79) วันนี้คุณอยากกินพาสต้า และกำลังเตรียมซอสเพสโต้ (Pesto sauce; ซอสโหระพาฝรั่ง) โดยใช้ถ้วยตวงสูง 10.0 เซนติเมตร ที่ทำมาจากแก้ว ($\beta = 2.7\ x\ 10^{-5}\ (C^o)^{-1}$) และใส่น้ำมันมะกอก ($\beta = 6.8\ x\ 10^{-4}\ (C^o)^{-1}$) ลงไปให้อยู่ต่ำกว่าปากถ้วย 2.00 มิลลิเมตร ในตอนเริ่มต้นถ้วยตวงและน้ำมันมะกอกมีอุณหภูมิเท่ากันที่ 22 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวางบนเตาไฟฟ้าและอุณหภูมิค่อยๆสูงขึ้นและเท่ากันตลอดเวลา จงหาว่าที่อุณหภูมิเท่าไหร่ น้ำมันมะกอกจะเริ่มล้นออกมาจากถ้วย

($T = 53.3$ องศาเซลเซียส)

➢ Heat measurement (การวัดปริมาณความร้อน)

$1\ calorie\ (cal)$

$1\ British\ Thermal\ Unit\ (BTU)$

$1\ cal \approx 4.18605\ Joule\ (J)$

$1\ BTU \approx 251.996\ cal$

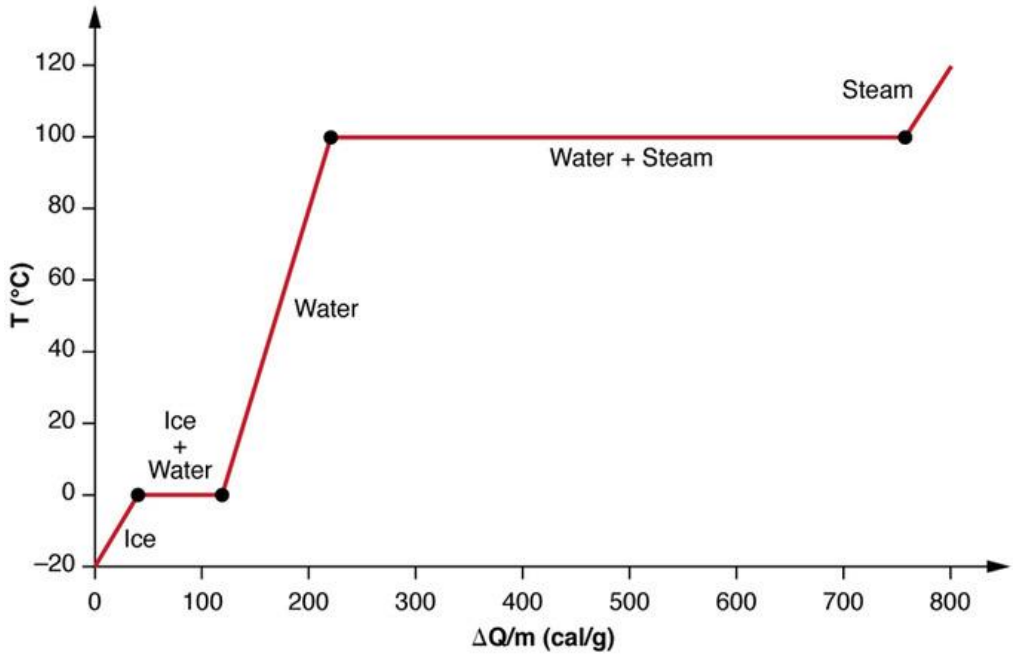
➢ Calorimeter (แคลอริมิเตอร์)

$$Energy_{input} = Q_{container} + Q_{liquid}$$

$$Power = \frac{\Delta Energy}{\Delta t} = I_{current}V_{voltage}\ (electrical)$$

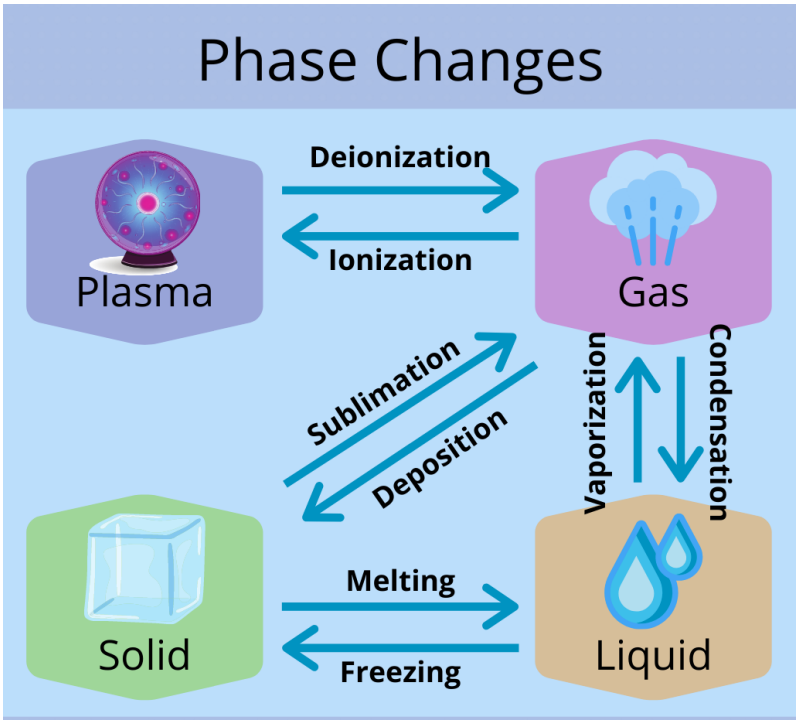
$$Energy_{input} = 0 = Q_{container} + Q_{liquid} + Q_{(hot)\ sample}$$

➢ Heat capacity and specific heat capacity (ความจุความร้อน(จำเพาะ))



Specific heat capacity

Molar Specific heat capacity


Phase Changes
Plasma
Deionization
Ionization
Gas
Sublimation
Deposition
Vaporization
Condensation
Solid
Melting
Freezing
Liquid

ตัวอย่างที่ 5 นักท่องเที่ยวคนหนึ่งรินกาแฟ 0.300 กิโลกรัมจากหม้อต้มที่มีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสลงในแก้วอลูมิเนียมขนาด 120 กรัม ซึ่งมีอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จงหาอุณหภูมิขณะที่เข้าสู่สมดุล โดยกำหนดให้กาแฟมีค่าความจุความร้อนจำเพาะเท่ากับน้ำ และไม่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสิ่งแวดล้อมภายนอก

(66 องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่ 6 แก้วใบหนึ่งใส่เครื่องดื่มโคล่า (ประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่) ซึ่งมีอุณหภูมิตั้งต้นที่ 25 องศาเซลเซียส จงหาว่าจะต้องใส่น้ำแข็งที่มีอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จำนวนเท่าไหร่เพื่อให้เครื่องดื่มมีอุณหภูมิสุดท้ายเป็น 0 องศาเซลเซียสและน้ำแข็งที่ใส่ลงละลายทั้งหมด (กำหนดให้ค่าความจุความร้อนของแก้วน้ำมีค่าน้อยมากๆ จนไม่ต้องนำมาพิจารณา)

(ต้องใส่น้ำแข็งลงไป 70 กรัม)

ตัวอย่างที่ 7 หม้อต้มน้ำใบหนึ่งมีน้ำหนักรวมกับฝาปิดเป็น 2.0 กิโลกรัม ทำมาจากทองแดงมีอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ต่อมา ใส่น้ำลงไปในหม้อ 100 กรัมซึ่งมีอุณหภูมิเป็น 25 องศาเซลเซียส และรีบปิดฝาหม้อทันทีโดยไม่มีไอน้ำออกมา จงหาอุณหภูมิผสมสุดท้ายของหม้อทองแดงและน้ำ และระบุสถานะของน้ำที่อุณหภูมินั้น (ของเหลว,แก๊ส, ของเหลว+แก๊ส) โดยพิจารณาว่าไม่มีการสูญเสียความร้อนไปกับสิ่งแวดล้อมภายนอก

(อุณหภูมิผสม 100 องศาเซลเซียส (96.6 กรัม ของเหลว+3.4 กรัม แก๊ส))

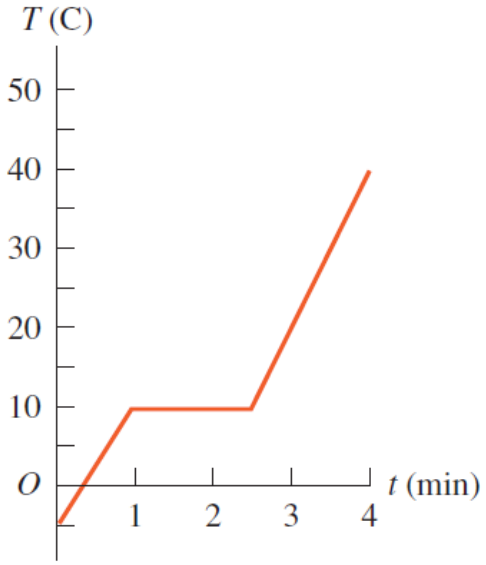
ตัวอย่างที่ 8 หม้อตั้งแคมป์ใบหนึ่ง ความร้อนที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงโดยใช้น้ำมันสามารถส่งผ่านไปถึงน้ำที่ต้มในหม้อได้เพียง 30 เปอร์เซ็นต์ จงหาว่าจะต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเท่าไหร่ในการต้มน้ำในหม้อจำนวน 1 ลิตรจากอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสให้มีอุณหภูมิเป็น 100 องศาเซลเซียส และน้ำระเหยกลายเป็นไปไอน้ำออกไป 250 กรัม

กำหนดให้ การเผาเชื้อเพลิงโดยใช้น้ำมัน 1 กรัม สามารถปลดปล่อยความร้อนได้ 46,000 จูล และเชื้อเพลิงดังกล่าวมีความหนาแน่นเป็น 722.22 กรัม/ลิตร

(ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงไป 65 กรัมหรือ 0.09 ลิตร)

ตัวอย่างที่ 9 (17.38) นักศึกษาทำการทดลองโดยใส่ตัวอย่างของแข็งหนัก 500 กรัมลงไปในแคลอริมิเตอร์และให้ความร้อนในอัตรา 10.0 กิโลจูล/นาที จากนั้นพลอตกราฟได้ออกมาดังรูป จงหาว่า (1) ค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของของแข็งชิ้นนี้เป็นเท่าไหร่ (2) ค่าความจุความร้อนจำเพาะในสถานะของแข็งและของเหลวของวัตถุชิ้นนี้เป็นเท่าไหร่

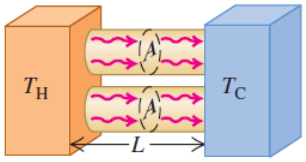
$(L_f = 3.00x10^4\ J/kg, c_{liquid} = 1.00x10^3\ \frac{J}{kg\ K}, c_{solid} = 1.33x10^3\ \frac{J}{kg\ K})$

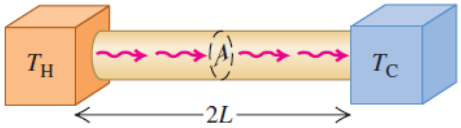


➢ Heat transfer mechanisms (กระบวนการถ่ายเทความร้อน)

- Conduction (การนำความร้อน)

$$H = \frac{dQ}{dt} = -kA\frac{dT}{dx}$$





- Convection (การพาความร้อน)

- Radiation (การแผ่รังสีความร้อน)

$$H = \frac{dQ}{dt} = \varepsilon\sigma AT(K)^4$$

$$H_{net} = \frac{dQ_{net}}{dt} = H_{T(K)} - H_s = \varepsilon\sigma A(T(K)^4 - T_s(K)^4)$$

ตัวอย่างที่ 10 แท่งเหล็กอันหนึ่งยาว 10 เซนติเมตรถูกเชื่อมปลายด้านหนึ่งเข้ากับแท่งทองแดงยาว 20 เซนติเมตร แท่งโลหะทั้งสองชิ้น มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 2 เซนติเมตร ปลายด้านหนึ่งของแท่งเหล็กสัมผัสอยู่กับไอน้ำที่มีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและปลายอีกด้านหนึ่งที่เป็นแท่งทองแดงสัมผัสอยู่กับน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แท่งโลหะทั้งสองชิ้นถูกหุ้มฉนวนไว้รอบด้านอย่างมิดชิด จงหาอุณหภูมิ ณ สภาวะคงตัว (steady state) ตรงรอยต่อระหว่างแท่งโลหะ และจงหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านแท่งโลหะทั้งสองชิ้น

(อุณหภูมิ 20.7 องศาเซลเซียสและอัตราการถ่ายเทความร้อน 15.9 วัตต์)

ตัวอย่างที่ 11 หากแท่งเหล็กและแท่งทองแดงในตัวอย่างที่ 5 ถูกแยกออกจากกัน และนำไปวางให้ปลายด้านหนึ่งสัมผัสกำไอน้ำ (100 องศาเซลเซียส) และปลายออกด้านสัมผัสกับน้ำแข็ง (0 องศาเซลเซียส) จงหาอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมจากแท่งโลหะทั้งสองชิ้น

(อัตราการถ่ายเทความร้อนรวม 97.3 วัตต์)

➢ Ideal gas law (กฎของแก๊สอุดมคติ)

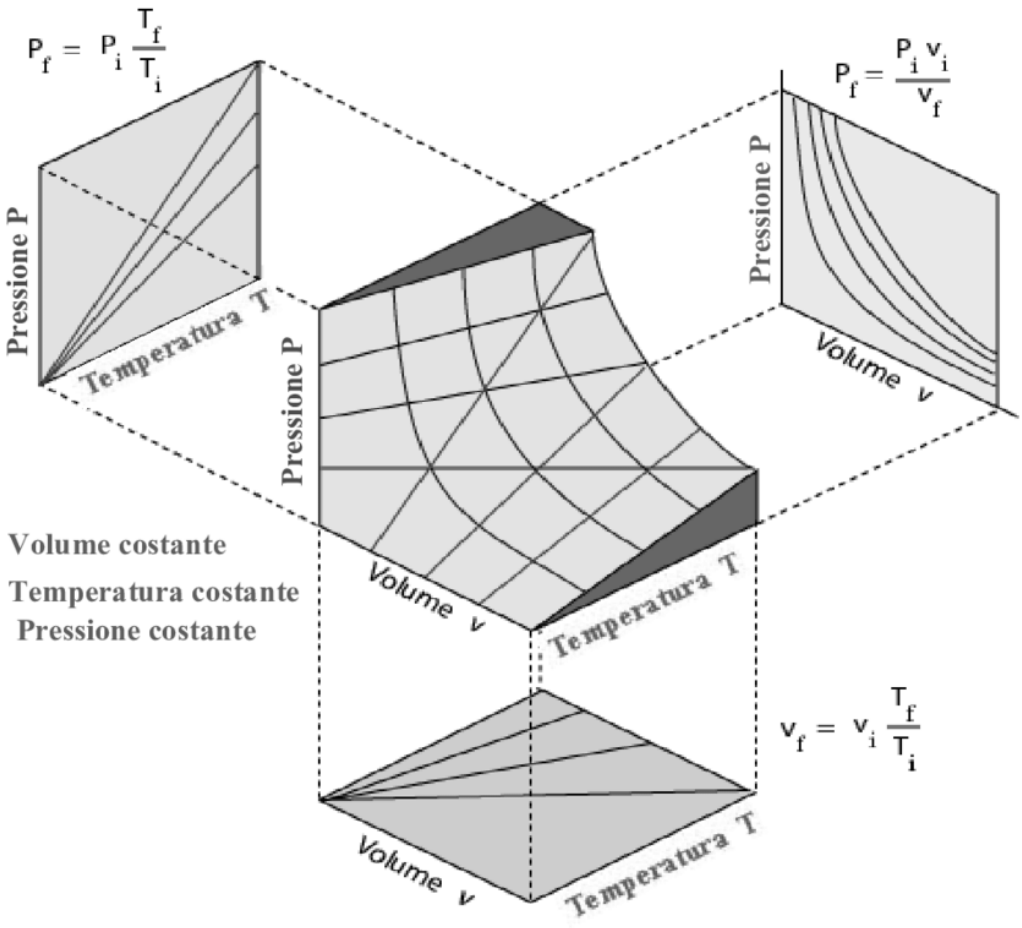
$PV = nRT$

Boyle's law

Charles's law

Gay – Lussac's law

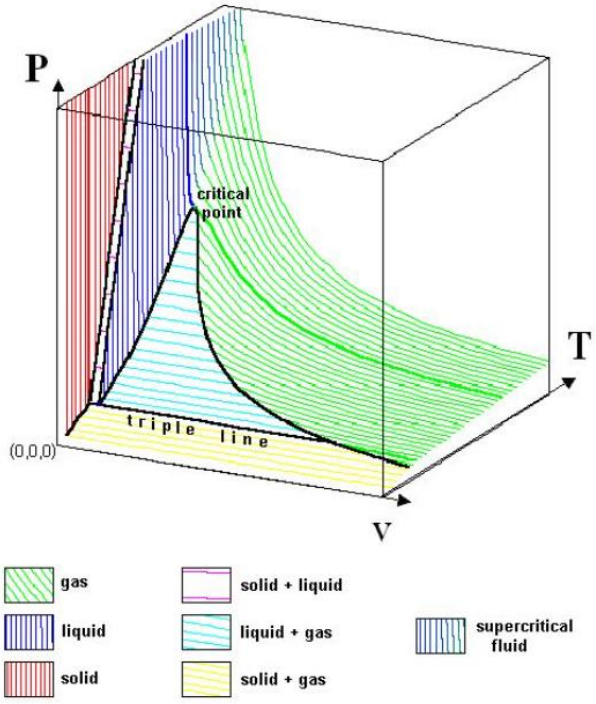
Avogado's law



➢ Non-ideal gas law and Van Der Waal's equation (แก๊สไม่อุดมคติ)

$$\left[P + a\left(\frac{n}{V}\right)^2\right]\left(\frac{V}{n} - b\right) = RT$$

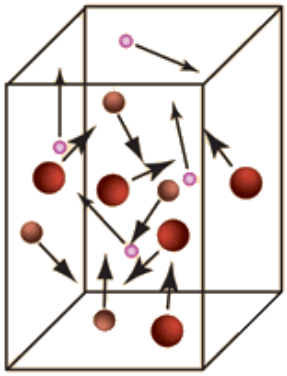
$$\left[P + \frac{a}{v^2}\right](v - b) = RT$$



➢ Kinetic Theory of Gas (ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส)

$$\overline{KE}_{per\ molecule} = \frac{3}{2}k_B T = \frac{1}{2}m(v^2)_{av} \quad monoatomic\ gas$$

$$(v^2)_{av} = \frac{\sum v_i^2}{N} \qquad v_{rms} = \sqrt{(v^2)_{av}}$$



State variables
V volume
P absolute pressure
T absolute temperature

$$U = N\left(\overline{KE}_{per\ molecule}\right) = \frac{D}{2}Nk_B T = \frac{D}{2}nRT$$

➢ Molar Heat Capacity of Gas (ค่าความจุความร้อนจำเพาะโมลาร์ของแก๊ส)

$Isochoric\ Process\ (dV = 0,\ \Delta V = 0)$

$$c_v = \frac{D}{2}R$$

$$c_P - c_v = R$$

$$\frac{c_P}{c_v} = \gamma$$

ตัวอย่างที่ 12 (18.8) ถังแก๊สสำหรับเชื่อมโลหะใบหนึ่งมีปริมาตร 0.0750 ลูกบาศก์เมตร ถูกบรรจุไปด้วยแก๊สออกซิเจน (มวลโมเลกุล 32.0 กรัม/โมล) และมีความดันเกจเป็น $3.00\ x\ 10^5\ Pa$ ที่อุณหภูมิ 37.0 องศาเซลเซียส จากนั้นพบว่า ถังแก๊สดังกล่าวมีรอยรั่วเล็กๆ และสังเกตพบว่าในวันหนึ่งที่มีอุณหภูมิ 22.0 องศาเซลเซียส ความดันเกจของแก๊สอ่านได้เป็น $1.80\ x\ 10^5\ Pa$ จงหาว่า (1) มวลตั้งต้นของแก๊สออกซิเจนก่อนรั่วออก (2) จำนวนมวลของแก๊สออกซิเจนที่รั่วออกไป

(มวลตั้งต้น 374 กรัม, มวลที่รั่วออกไป 99 กรัม)

ตัวอย่างที่ 13 (18.39) ที่อุณหภูมิเท่าไหร่ ค่าความเร็ว root mean squared (v_{rms}) ของโมเลกุลไนโตรเจนจะเท่ากับ v_{rms} ของโมเลกุลไฮโดรเจนที่มีอุณหภูมิ 20.0 องศาเซลเซียส

คำใบ้: มวลโมเลกุลของโมเลกุลไฮโดรเจน = 2เท่าของมวลอะตอมไฮโดรเจน และเช่นเดียวกันกับโมเลกุลไนโตรเจน

(อุณหภูมิ 3,800 องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่ 14 (18.42) ภาชนะที่ทนทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างอย่างมากใบหนึ่งบรรจุแก๊สอุดมคติ (ideal gas) ไว้จำนวน n โมล โดยใบที่หนึ่งบรรจุแก๊สไฮโดรเจน (H_2) และอีกใบบรรจุแก๊สนีออน (Ne) ถ้าหากว่าต้องใช้ความร้อนจำนวน 300 จูลในการเพิ่มอุณหภูมิของแก๊สไฮโดรเจนขึ้น 2.50 องศาเซลเซียส จึงหาว่าความร้อนปริมาณเท่ากันนี้ จะสามารถให้ความร้อนกับแก๊สนีออนได้จนมีอุณหภูมิเป็นเท่าไหร่

($\Delta T_{Ne} = 4.17$ เคลวิน)

ตัวอย่างที่ 15 (18.63) บอลลูนซึ่งมีปริมาตร 750 ลูกบาศก์เมตร และถูกเติมด้วยแก๊สไฮโดรเจนที่ความดันบรรยากาศ ($1.01\ x\ 10^5\ Pa$) จงหาว่า (1) จะต้องใช้ถังแก๊สไฮโดรเจนที่มีขนาด 1.90 ลูกบาศก์เมตรและความดันเกจเป็น $1.20\ x\ 10^6\ Pa$ จำนวนกี่ถังถึงจะบรรจุได้เต็มบอลลูน สมมติให้อุณหภูมิของแก๊สไฮโดรเจนคงที่ (2) บอลลูนนี้จะสามารถแบกรับน้ำหนักกระเช้า (ที่เพิ่มเติมจากน้ำนอกของตัวบอลลูนเอง) ได้อีกเท่าไหร่ ถ้าอุณหภูมิของแก๊สไฮโดรเจนในบอลลูนและอากาศรอบๆบอลลูนเท่ากันที่ 15.0 องศาเซลเซียส กำหนดให้ มวลโมเลกุลของแก๊สไฮโดรเจนเป็น 2.02 กรัม/โมล ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิ 15.0 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศเป็น 1.23 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (คำใบ้ พิจารณาเรื่องแรงลอยตัว) (3) ถ้าหากบอลลูนถูกบรรจุด้วยแก๊สฮีเลียม (มวลโมเลกุล 4.00 กรัม/โมล) แทน บอลลูนจะสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุดเท่าไหร่ที่อุณหภูมิ 15.0 องศาเซลเซียสเท่ากัน

(30.7 ถัง, 8,420 นิวตัน, 7,800 นิวตัน)

ตัวอย่างที่ 16 (18.71) เมื่อเป่าลูกโป่งใบหนึ่งจนมีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 50.0 เซนติเมตรและมีความดันสมบูรณ์ภายในลูกโป่งเป็น 1.25 atm และอุณหภูมิ 22.0 องศาเซลเซียส สมมติให้อากาศที่เป่าเข้าไปทั้งหมดเป็นแก๊สไนโตรเจน (มวลโมเลกุล 28.0 กรัม/โมล) จงหาว่า (1) มวลของ 1 โมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน (2) พลังงานจลน์เฉลี่ยต่อหนึ่งโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจน (3) จำนวนโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนในลูกโป่ง (4) พลังงานจลน์รวมของทุกโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนในลูกโป่ง

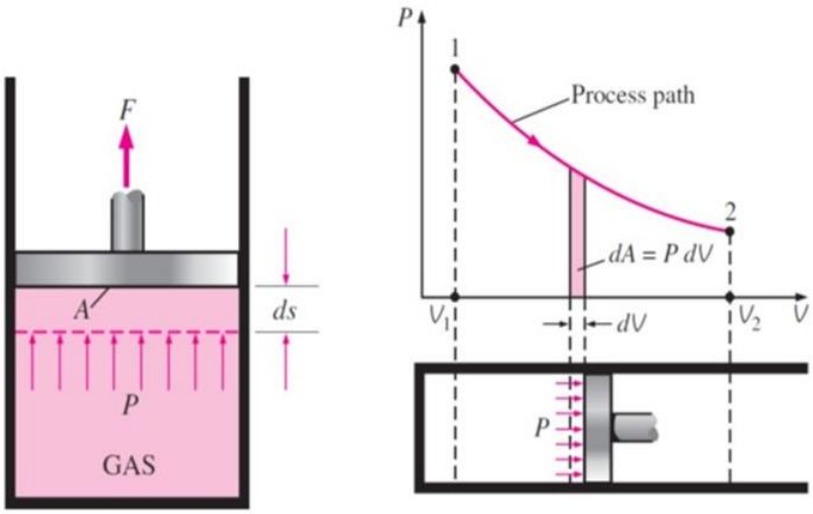
($4.65x10^{-26}$ กิโลกรัม, $6.11x10^{-21}$ จูล, $2.04x10^{24}$ โมเลกุล, $1.25x10^{4}$ จูล)

กฎข้อที่ 1 ทางเทอร์โมไดนามิกส์

➢ Work in thermodynamics (งานในทางเทอร์โมไดนามิกส์)

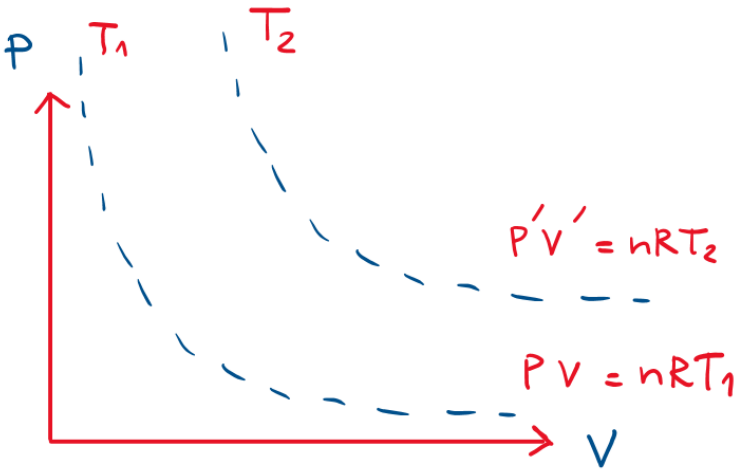
$$W = \int_{s_1}^{s_2} \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_{s_1}^{s_2} P(Ads)\cos(0) = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

$W \propto process\ (path) =$ พื้นที่ใต้กราฟ $PV\ curve$

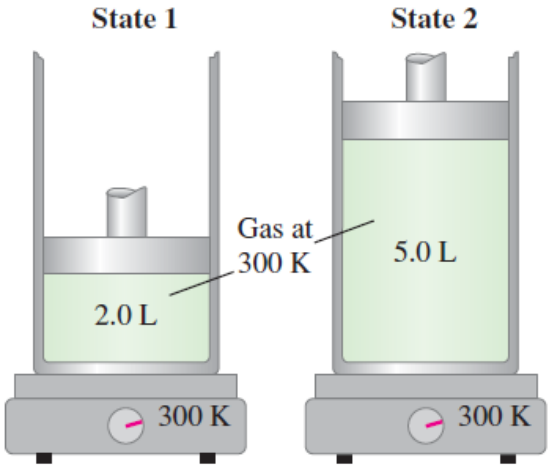


$PV = nRT = hypobola\ graph$ $\boxed{xy = k = constant}$

Isolated system $(n = constant)$



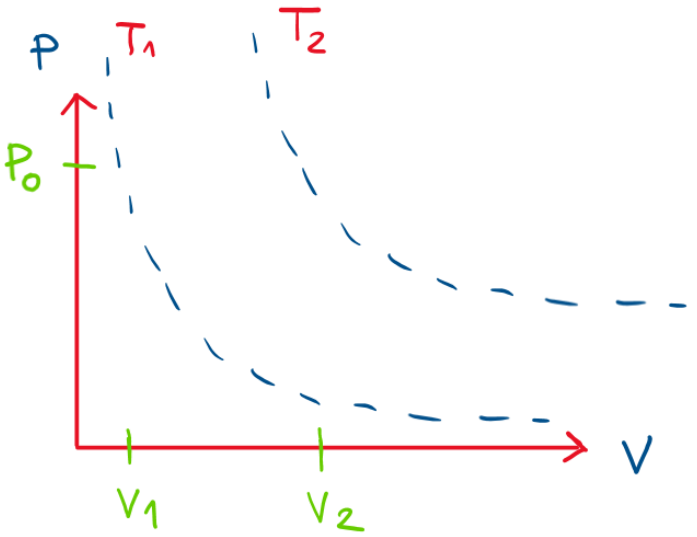
$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$



Process 1: Isobaric ($P = constant,\ n = constant$)

$$P_1 = P_2 = P_0$$

$$\boxed{\frac{V}{T} = \frac{nR}{P} = constant}$$



$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P_o \int_{V_1}^{V_2} (1) dV$$

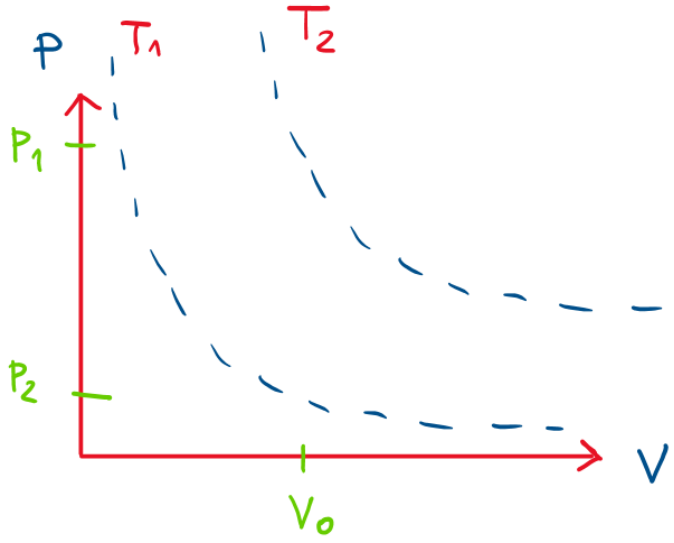
$$W = P_o [V]_{V_1}^{V_2} = P_0 (V_2 - V_1)$$

$$\Delta Q = \int_{T_1}^{T_2} n c_P dT = n c_P (T_2 - T_1)$$

Process 2: Isochoric ($V = constant$, $n = constant$)

$$V_1 = V_2 = V_0$$

$$\frac{P}{T} = \frac{nR}{V} = constant$$



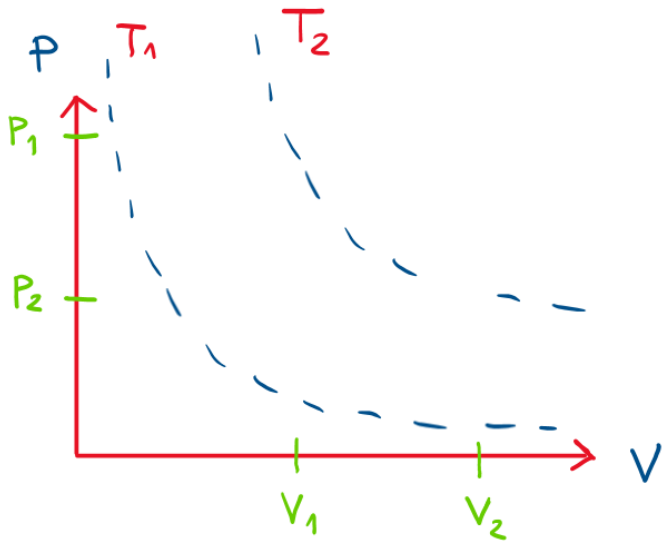
$$W = \int_{V_1}^{V_2} P(V)dV = 0$$

$$\Delta Q = \int_{T_1}^{T_2} nc_V dT = nc_V(T_2 - T_1)$$

Process 3: Isothermal $(T = constant,\ n = constant)$

$$T_1 = T_2 = T_0$$

$$\boxed{PV = \frac{nR}{T} = constant}$$



$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_0}{V}\,dV = nRT_0 \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V}\,dV$$

$$W = nRT_0 [ln(V)]_{V_1}^{V_2} = nRT_0 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = nRT_0\, ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

$$\Delta U = U(T_2) - U(T_1) = 0$$

Process* 4: *Adiabatic $(\Delta Q = 0,\ n = constant)$

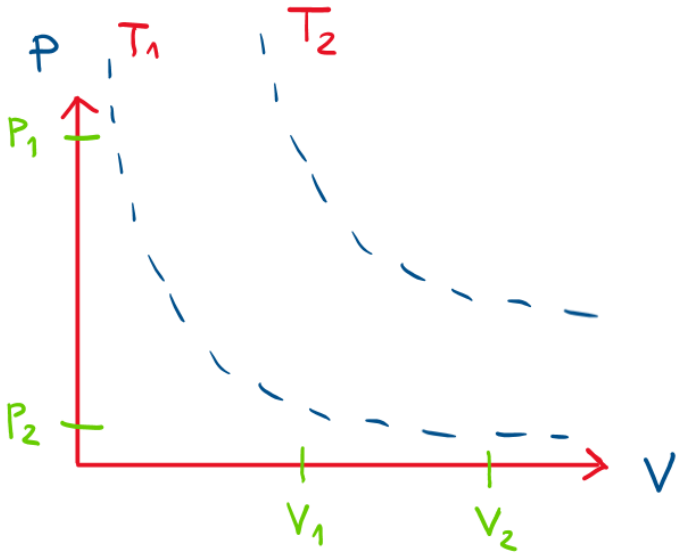
$$\gamma = \frac{c_P}{c_V}$$

$$c_P = c_V + R\ (ideal\ gas)$$

$$PV^{\gamma} = constant$$

$$TV^{1-\gamma} = constant$$

$$TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = constant$$



no heat exchange *very* ***fast*** *process*

$$W = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-\gamma} = -nc_V(T_2 - T_1)$$

$$\Delta Q = 0$$

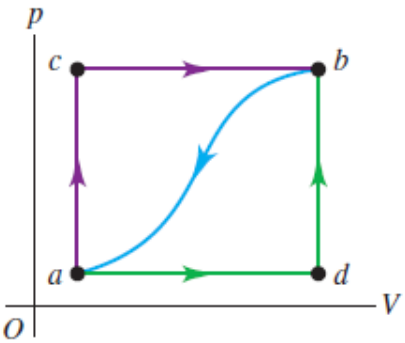
ตัวอย่างที่ 17 (19.14) **หม้อต้มน้ำความดันสูง:** เมื่อน้ำถูกต้มที่ความดันเท่ากับ 2 ความดันบรรยากาศ ค่าความร้อนในการกลายเป็นไอจะมีค่าเป็น 2.20×10^6 J/kg และมีจุดเดือดเป็น 120 องศาเซลเซียส และที่ความดันดังกล่าว น้ำมวล 1.00 กิโลกรัมจะมีปริมาตร 1.00×10^{-3} m^3 และไอน้ำมวล 1.00 กิโลกรัมจะมีปริมาตร 0.824 m^3 จงหา (1) งานที่เกิดขึ้นเมื่อไอน้ำมวล 1.00 กิโลกรัมเกิดขึ้นที่อุณหภูมิดังกล่าว (2) พลังงานภายในที่เปลี่ยนไปของน้ำ

(งาน = $+1.67 \times 10^5$ จูล, พลังงานภายใน $+2.03 \times 10^6$ จูล)

ตัวอย่างที่ 18 (19.29) แก๊สอุดมคติแบบโมเลกุลเดี่ยว มีความดันตั้งต้นเป็น 1.50×10^5 Pa และมีปริมาตรเป็น $0.0800\ \mathrm{m}^3$ กำลังถูกอัดตัวแบบไม่มีการถ่ายเทความร้อนจนกระทั่งมีปริมาตรสุดท้ายเป็น $0.0400\ \mathrm{m}^3$ จงหา (1) ความดันสุดท้าย (2) แก๊สทำงานเท่าไหร่ (3) สัดส่วนของอุณหภูมิสุดท้ายต่ออุณหภูมิตั้งต้น และแก๊สดังกล่าวร้อนขึ้นหรือเย็นลงขณะถูกอัด

(ความดัน = $4.76 \times 10^5\ Pa$, งาน = -1.06×10^4 จูล, แก๊สถูกทำให้ร้อนขึ้น)

ตัวอย่างที่ 19 (19.41) ระบบหนึ่งมีการเปลี่ยนสถานะจาก a ไป b ดังแสดงในรูป เมื่อผ่านเส้นทาง (กระบวนการ) acb มีความร้อน 90.0 จูลไหลเข้าระบบและระบบทำงาน 60.0 จูล (1) จะมีความร้อนไหลเข้าระบบเท่าไหร่ เมื่อผ่านกระบวนการ adb ถ้าระบบทำงาย 15.0 จูล (2) เมื่อระบบเปลี่ยนสถานะกลับจาก b ไป a ผ่านเส้นทางโค้งสีฟ้า พบว่าขนาดของงานที่ทำโดยระบบเป็น 35.0 จูล จงหาว่าระบบได้รับหรือสูญเสียความร้อนเท่าไหร่ (3) ถ้ากำหนดให้ $U_a = 0$ และ $U_d = 8.0\,J$ จงหาความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวน ad และ db



(Q_{adb}= +45.0 จูล, Q_{ba}= -65.0 จูล, Q_{ad}= +23.0 จูล

Q_{db}= +22.0 จูล)

ตัวอย่างที่ 20 (19.45) แก๊สโมเลกุลเดี่ยวแบบอุดมคติจำนวน 2 โมลถูกใช้เป็น working gas ในวัฏจักร abc โดยใน 1 รอบการทำงาน ความร้อนจำนวน 800 จูล ไหลออกจากแก๊สกระบวนการ ab มีความดันคงที่ และกระบวนการ bc มีปริมาตรคงที่ ที่สถานะ a มีอุณหภูมิ 200 เคลวินและที่สถานะ b มีอุณหภูมิ 300 เคลวิน จงหา (1) จงวาด PV-diagram ของวัฏจักรนี้ (2) จงหางานที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ca

(หา W_{ca} = -2,460 จูล)

ตัวอย่างที่ 21 (19.51) แก๊สไนโตรเจนจำนวน 2.5 โมลถูกพิจารณาเป็นแก๊สอุดมคติ อยู่ในกระบอกสูบที่ความดัน 1.00 atm และอุณหภูมิ 20.0 องศาเซลเซียส นักวิทยาศาสตร์เริ่มต้นให้ความร้อนกับแก๊ส 1.52×10^4 J ที่ปริมาตรคงที่ จากนั้นยังคงให้ความร้อนต่อเนื่อง และปล่อยให้แก๊สขยายแบบความดันคงที่จนมีปริมาตรเป็น 2 เท่า จงหา (1) อุณหภูมิสุดท้ายของแก๊ส (2) งานที่ทำโดยแก๊ส (3) ปริมาณความร้อนที่ให้เข้าไปขณะที่แก๊สขยายตัว (4) พลังงานภายในที่เปลี่ยนไประหว่างกระบวนการทั้งหมด

(T_f = 899 องศาเซลเซียส, $W = 1.22 \times 10^4$ จูล, $\Delta Q = 4.26 \times 10^4$ จูล, $\Delta U = 4.56 \times 10^4$ จูล)

กฎข้อที่ 2 ทางเทอร์โมไดนามิกส์

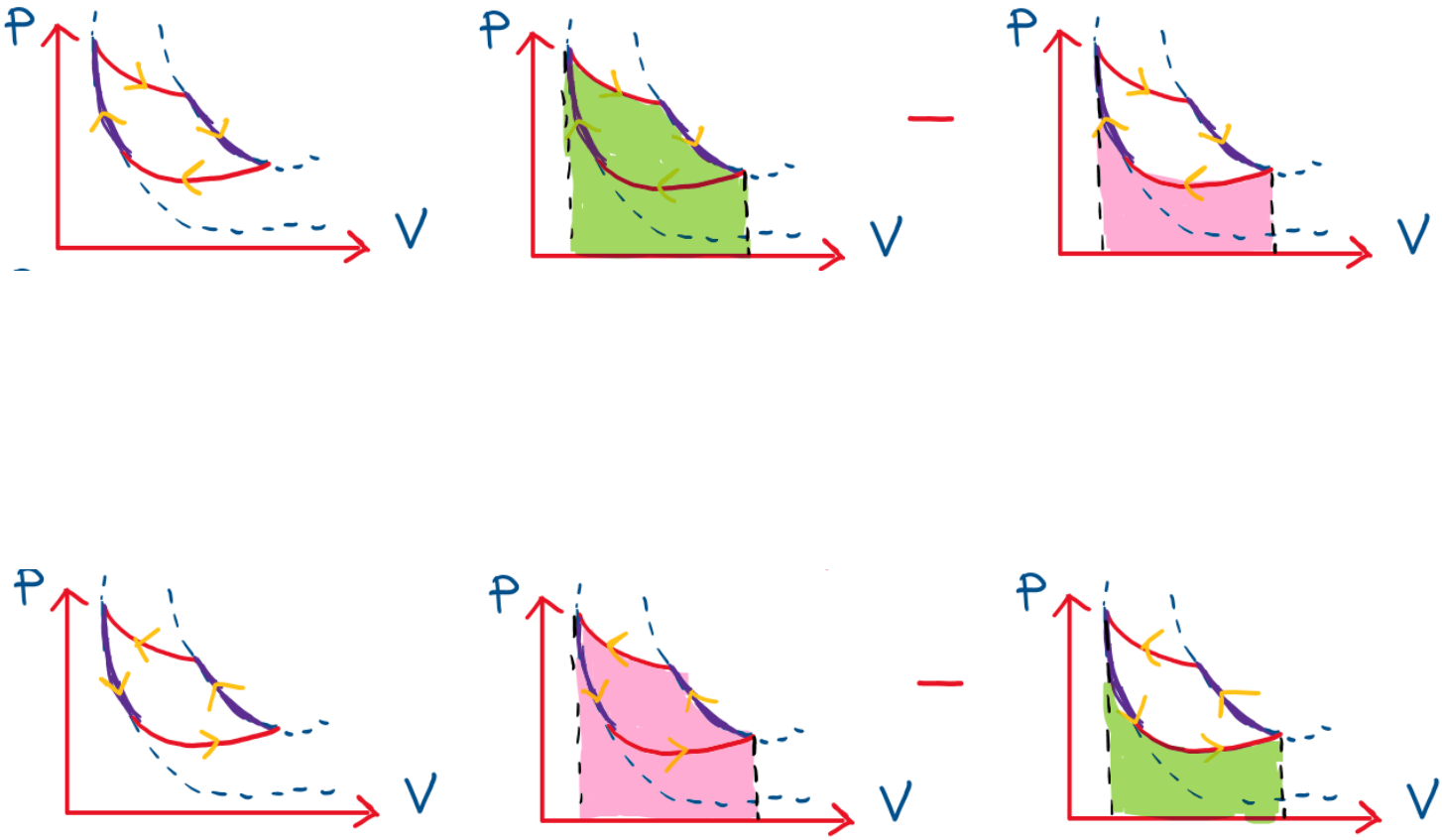
➢ Cyclic process (กระบวนการที่เป็นวัฏจักร)

$$\Delta U = U_{final} - U_{initial} = 0$$

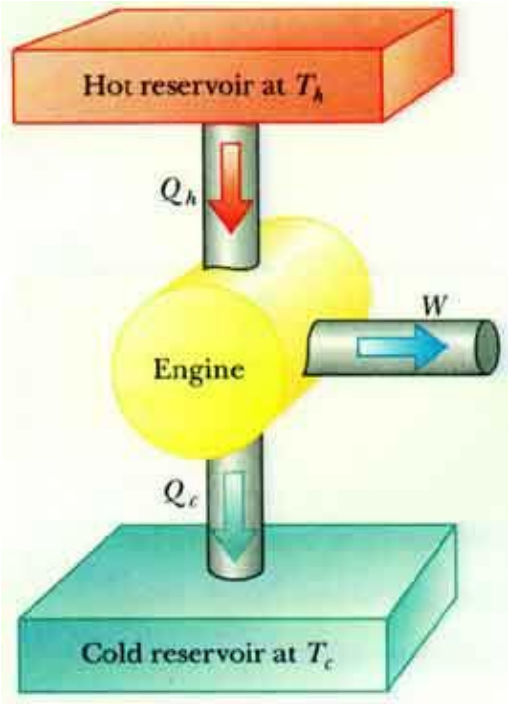
$$\Delta Q = W$$

❑Heat engine (เครื่องยนต์ความร้อน)

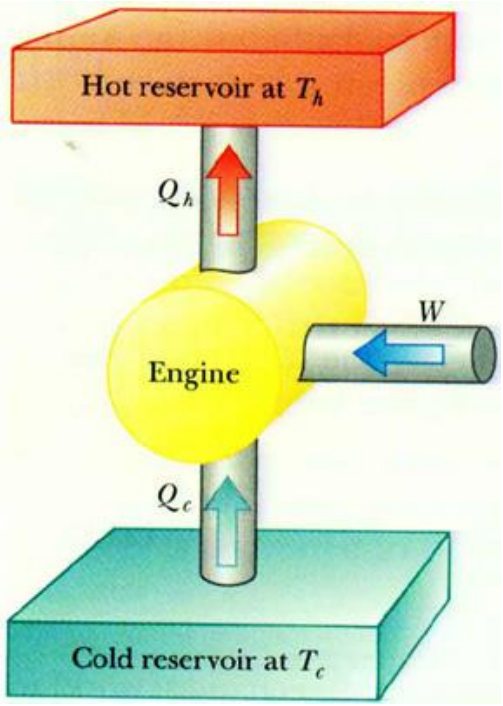
❑Heat pump/Refrigerator (ตู้เย็น)



❑Heat engine (เครื่องยนต์ความร้อน)



❑Heat pump/Refrigerator (ตู้เย็น)



$$efficiency(\%) = \frac{input}{output} x100$$

$$|Q_H| = |W| + |Q_C|$$

$$e = \frac{|W|}{|Q_H|}$$

$$= \frac{|Q_H| - |Q_C|}{|Q_H|}$$

$$COP = \frac{|Q_C|}{|W|}$$

$$= \frac{|Q_C|}{|Q_H| - |Q_C|}$$

- Carnot engine (highest efficiency)

$$e = \frac{|Q_H| - |Q_C|}{|Q_H|} = \frac{|T_H| - |T_C|}{|T_H|}$$

- Carnot refrigerator

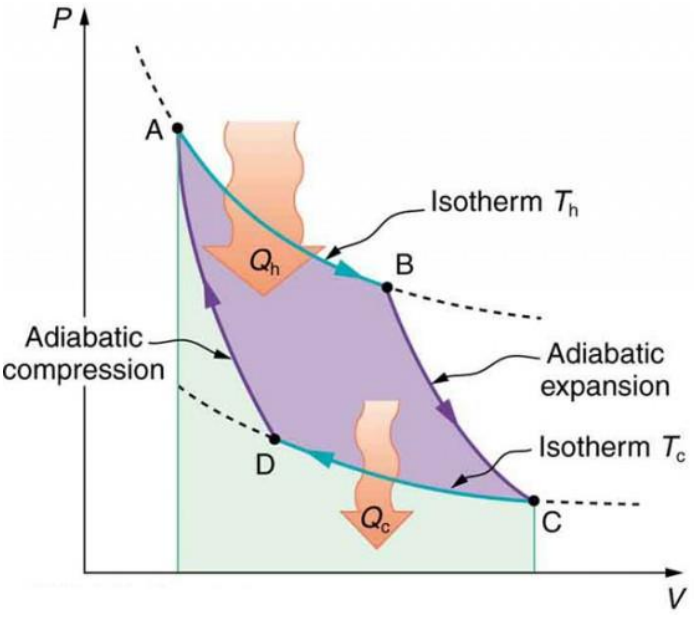
$$COP = \frac{|Q_C|}{|Q_H| - |Q_C|} = \frac{|T_c|}{|T_H| - |T_C|}$$

➢ Carnot engine (เครื่องยนต์คาร์โนต์)

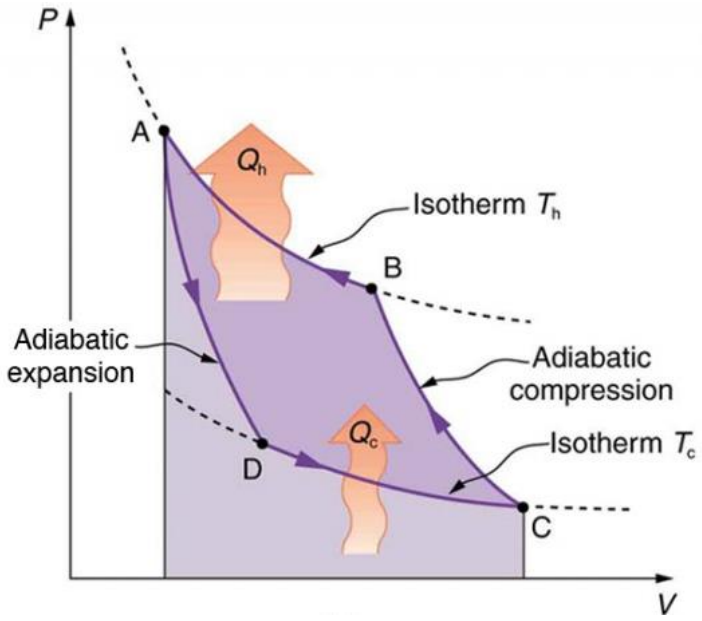
$$1\ Cycle\ = 2\ Isothermal + 2\ Adiabatic$$

- Otto engine
- Diesel engine
- Carnot engine

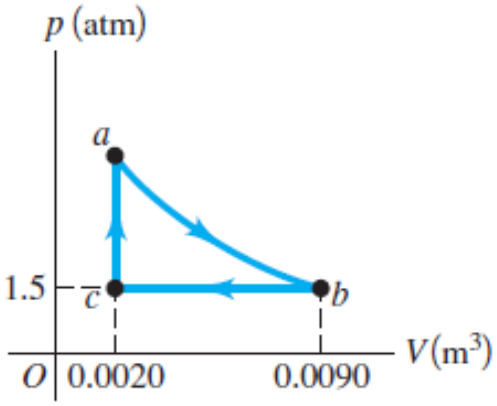
- Carnot heat engine



- Carnot refrigerator



ตัวอย่างที่ 22 (20.5) PV-diagram ของเครื่องยนต์ความร้อนเครื่องหนึ่ง มีแก๊สอุดมคติที่ทำงานอยู่ 0.250 โมล และมี $\gamma = 1.40$ กำหนดให้กระบวนการ ab เป็นแบบอะเดียแบติก (1) จงหาความดันของแก๊สที่สถานะ a (2) ความร้อนไหลเข้าเครื่องยนต์เท่าไหร่ต่อรอบการทำงาน และเกิดขึ้นที่กระบวนการใด (3) ความร้อนไหลออกจากเครื่องยนต์เท่าไหร่ต่อรอบการทำงาน และเกิดขึ้นที่กระบวนการใด (4) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์นี้



(P_a=12.3 atm, Q_H= 5,470 จูล, Q_C= -3,723 จูล, W = 1,747 จูล, e = 31.9%)

ตัวอย่างที่ 23 (20.16) เครื่องทำน้ำแข็งเครื่องหนึ่งมีพฤติกรรมเป็น เครื่องยนต์คาร์โนต์ โดยรับความร้อนจากน้ำที่ 0.0 องศาเซลเซียสและปล่อยความร้อนออกสู่ห้อง 24.0 องศาเซลเซียส สมมติให้น้ำจำนวน 85.0 ลิตรที่อุณหภูมิ 0.0 องศาเซลเซียสถูกทำให้เป็นน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0.0 องศาเซลเซียสทั้งหมด จงหา (1) ปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกในห้อง (2) พลังงานที่เครื่องทำน้ำแข็งใช้ (เช่น พลังงานไฟฟ้า)

(Q_H = -3.09$x10^7$ จูล, W = -2.5$x10^6$ จูล)

ตัวอย่างที่ 24 (20.37) เครื่องยนต์ความร้อนที่ทำงานแบบวัฏจักรคาร์โนต์เครื่องหนึ่ง รับความร้อนจำนวน 150 จูลต่อรอบการทำงานจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิ 135 ℃ และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็น 22.0% จงหา (1) งานที่เครื่องยนต์ทำต่อรอบ (2) ความร้อนที่สูญเสียไปต่อรอบ (3) อุณหภูมิของแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ (cold reservoir) (4) เอนโทรปีที่เปลี่ยนไปของโลกจากการทำงานครบ 1 รอบ (5) มวลของน้ำที่เครื่องยนต์นี้สามารถปั๊มขึ้นจากบ่อน้ำลึก 35.0 เมตร

(W = +33 จูล, Q_C = -117 จูล, T_C = 45 องศาเซลเซียส, ΔS = 0, มวล 96.2 กรัม)

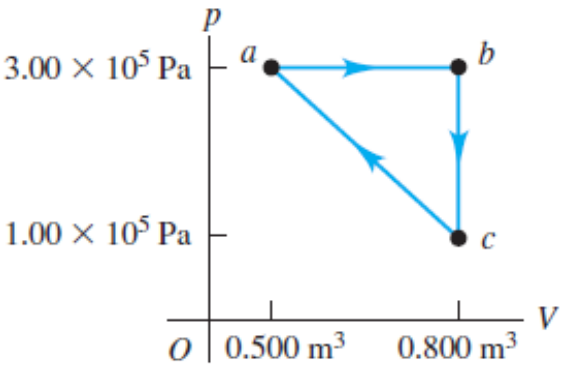
ตัวอย่างที่ 25 (20.51) แก๊สอุดมคติโมเลกุลเดี่ยวถูกใช้ในวัฏจักร abc และมีทิศทางดังรูป โดยที่กระบวนการ ca เป็นเส้นตรง จงหา (1) ปริมาณความร้อนที่ไหลเข้า/ออก ΔQ, งานที่เกิดขึ้น W และพลังงานภายในที่เปลี่ยนแปลงไป ΔU ในแต่ละกระบวน ab, bc, ca (2) ΔQ, W, ΔU ของการทำงานครบ 1 วัฏจักร (3) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรนี้

(ab $\Delta Q = +2.25x10^5$ จูล, $\Delta U = +1.35x10^5$ จูล, $W = +0.90x10^5$ จูล)

(bc $\Delta Q = -2.40x10^5$ จูล, $\Delta U = -2.40x10^5$ จูล, $W = 0$)

(ca $\Delta Q = +0{,}45x10^5$ จูล, $\Delta U = 1.05x10^5$ จูล, $W = -0.60x10^5$ จูล)

(total $\Delta Q = W = +0.45x10^5$ จูล, $\Delta U = 0$ / $e = 11.1\%$)



➢ Entropy: Direction of Process (เอนโทรปี)

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

ตัวอย่างที่ 26 จงหาเอนโทรปีที่เปลี่ยนไปของแก๊สอุดมคติจำนวน 2 โมลที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบความร้อนคงที่ จนมีปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 เท่า

$$(\Delta S_{adiabatic} = 0)$$

ตัวอย่างที่ 27 กล่องหุ้มฉนวนใบหนึ่งถูกกั้นด้วยแผ่นกั้นบางมากๆ จนแบ่งกล่องออกเป็น 1:2 ส่วน ในส่วนที่เล็กที่สุดบรรจุแก๊สอุดมคติจำนวน n โมลที่มีอุณหภูมิ T ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งเป็นสุญญากาศ หากเราทุบแผนกั้นออก แล้วปล่อยให้แก๊สขยายตัวแบบเสรี (free-expansion) จนเต็มกล่องทั้งใบ จงหาเอนโทรปีที่เปลี่ยนไป และระบุว่ากระบวนการนี้ผันกลับได้หรือไม่

$$(\Delta S_{free\ expansion} = nRTln(\frac{V_f}{V_i}))$$

ตัวอย่างที่ 28 ก้อนน้ำแข็งมวล 20 กรัมมีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ถูกวางไว้บนโต๊ะในห้องครัวที่มีอุณหภูมิคงที่ 27 องศาเซลเซียสและกำลังละลาย กำหนดให้ความร้อนแฝงในการหลอมเหลวของน้ำแข็งเป็น 333 J/g และค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเป็น 4.186 J/g จงหาการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของก้อนน้ำแข็งที่ละลายกลายเป็นน้ำที่มีอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีรวมของ universe ตลอดกระบวนการนี้

$$(\Delta S_{phase\ change} = \frac{\pm nL_x}{T_{phase\ change}})$$

$$(\Delta S_{\Delta T} = nc_v \ln(\frac{T_f}{T_i}))$$

ตัวอย่างที่ 29 น้ำปริมาณ 1.00 ลิตรร้อน 100 องศาเซลเซียสผสมอยู่กับน้ำมวล 1.00 กิโลกรัมที่มีอุณหภูมิเท่ากับจุดเยือกแข็ง จงหาการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีรวมของระบบนี้ โดยกำหนดให้ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเป็น 4,190 $\frac{J}{kg \cdot K}$

$$(\Delta S_{\Delta T_x} = n_x c_{v_x} \ln\left(\frac{T_{equilibirum}}{T_{i_x}}\right))$$