KMITL
พระจอมเกล้าลาดกระบัง

Thermodynamics

อุณหพลศาสตร์

Couse outline

Topic 1 บทนำ หลักการและความหมายของเทอร์โมไดนามิกส์

Topic 2 อุณหภูมิและกฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์

Topic 3 พลังงานและการถ่ายโอนพลังงาน

Topic 4 กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

Topic 5 สมบัติของสารบริสุทธิ์

Topic 6 สมการสถานะของก๊าซอุดมคติ

Topic 7 หลักการอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบปิด

Topic 8 พลังงานภายในและเอนทาลปี

Topic 9 กฎอนุรักษ์มวลและงานเนื่องจากการไหล

Topic 10 การวิเคราะห์มวลและพลังงานสำหรับระบบเปิด

Topic 11 กฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์และกลจักรความร้อน

Topic 12 เครื่องทำความเย็นและปั๊มความร้อน

Topic 13 วัฏจักรคาร์โนต์

Topic 14 เอนโทรปี

Topic 1: บทนำ-หลักการและความหมายทางเทอร์โมไดนามิกส์

- คำศัพท์และความหมายของเทอร์โมไดนามิกส์
- หน่วยพื้นฐาน
- ระบบและปริมาตรควบคุม
- สมบัติของระบบ
- ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ
- สภาวะสมดุล
- กระบวนการและวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์
- ความดันและการวัดความดัน

คำศัพท์ที่สำคัญ

Thermodynamics = Thermo + Dynamics

Thermo = Heat and Temperature

Dynamics = Motion/Power

Thermodynamics : ศาสตร์/วิทยาศาสตร์ที่กล่าวถึงพลังงาน (ความร้อน)

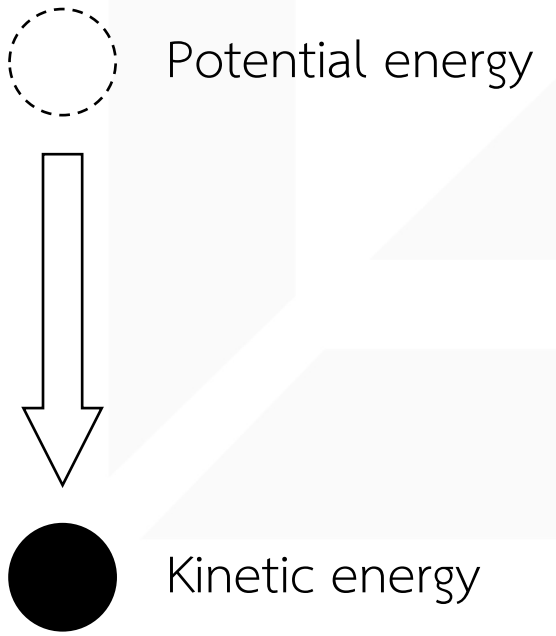
** การเปลี่ยนแปลงพลังงาน การถ่ายโอนพลังงาน อาจรวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสสารที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพลังงานดังกล่าวข้างต้น

คำศัพท์ที่สำคัญ

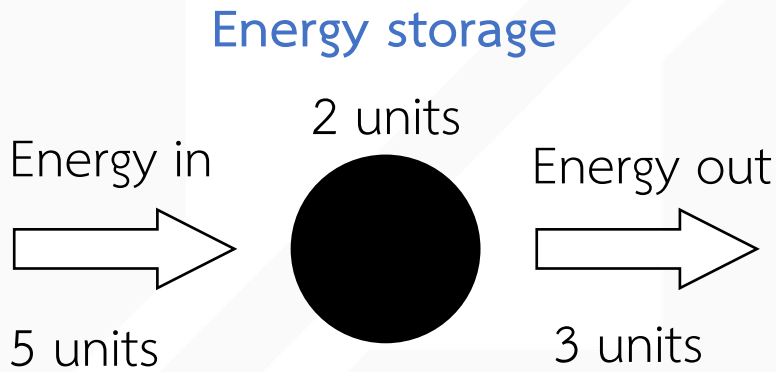
Energy : - พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นรูปแบบหนึ่ง ๆ ได้

- ถ่ายโอนจากบริเวณหนึ่งสู่อีกบริเวณได้

Conservation of Energy Principle : กฎการอนุรักษ์พลังงาน



1st law of thermodynamics



$$E_{in} - E_{out} = \Delta E$$

2nd law of thermodynamics

- คุณภาพ และปริมาณ
- พลังงานจะเกิดขึ้นในทิศทางที่ทำให้คุณภาพพลังงานลดลง

การประยุกต์ใช้หลักการทางเทอร์โมไดนามิกส์ในชีวิตประจำวัน

- ระบบการผลิตไฟฟ้า
- ระบบทำความเย็น
- ระบบทำความร้อน
- เครื่องยนต์

wikipedia.org

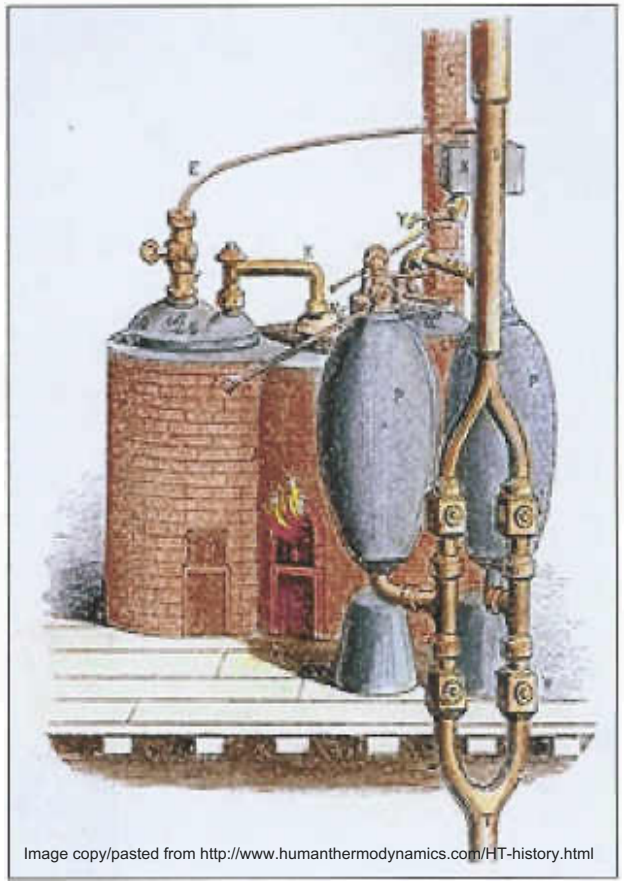


Image copy/pasted from http://www.humanthermodynamics.com/HT-history.html

'https://www.freepik.com/vectors/technology'>Technology vector created by macrovector - www.freepik.com

มิติและหน่วย

ปริมาณ (ทางฟิสิกส์) สามารถกำหนดให้อยู่ในรูป/ลักษณะ มิติ (Dimension)

ขนาดของปริมาณจะถูกกำหนดโดย หน่วย (Unit)

มิติหลัก : มวล (m) ความยาว (L) เวลา (t) และ อุณหภูมิ (T)

มิติรอง : ความเร็ว (v) พลังงาน (E) ปริมาตร (V) เป็นต้น

- English system,
- Metric SI (International System).

มิติ	หน่วย
มวล	กิโลกรัม (kg)
ความยาว	เมตร (m)
เวลา	วินาที (s)
อุณหภูมิ	เคลวิน (K)
กระแสไฟฟ้า	แอมป์แปร (A)
ความเร็ว	เมตรต่อวินาที (m/s)
ปริมาตร	ลูกบาศก์เมตร m^3

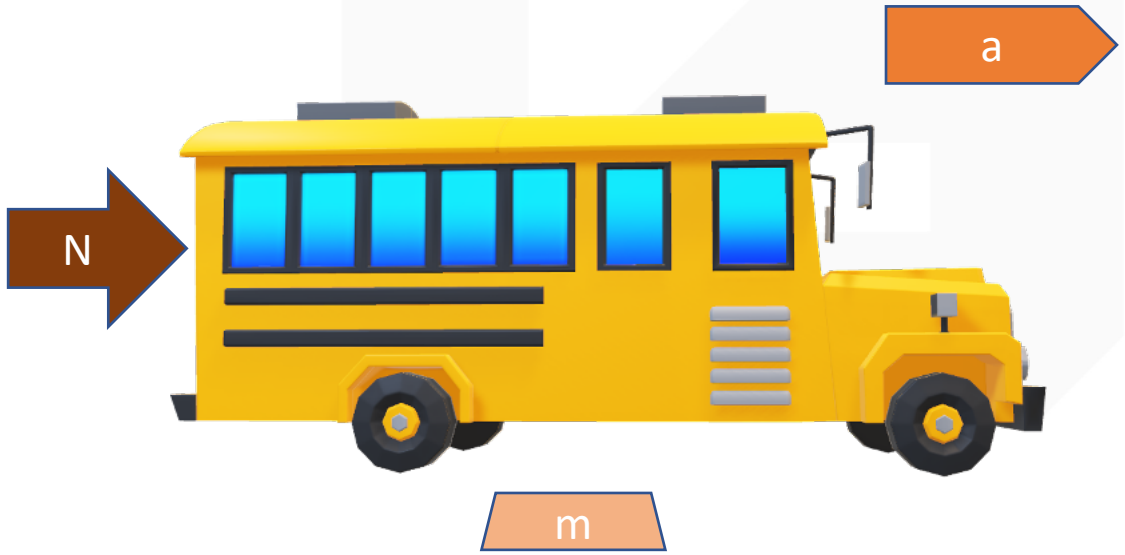
ตัวคูณ	Prefix
10^{12}	Tera, T
10^{9}	Giga, G
10^{6}	Mega, (M)
10^{3}	Kilo (k)
10^{-2}	Centi (c)
10^{-3}	Milli (m)
10^{-6}	Micro (μ)
10^{-9}	Nano (n)
10^{-12}	Pico (p)

มวล (Mass, m) 1 lbm = 0.45359 kg

ความยาว (Length, L) 1 ft = 0.3048 m

แรง (Froce, F)

ถูกพิจารณาจากกฎข้อที่สองของนิวตัน $F = ma$



ในระบบ SI หน่วยของแรง คือ นิวตัน (N)

$m = 1\ kg \xrightarrow{a = 1\ m/s^2} F = 1\ N$

ในระบบอังกฤษ หน่วยของแรง คือ lbf

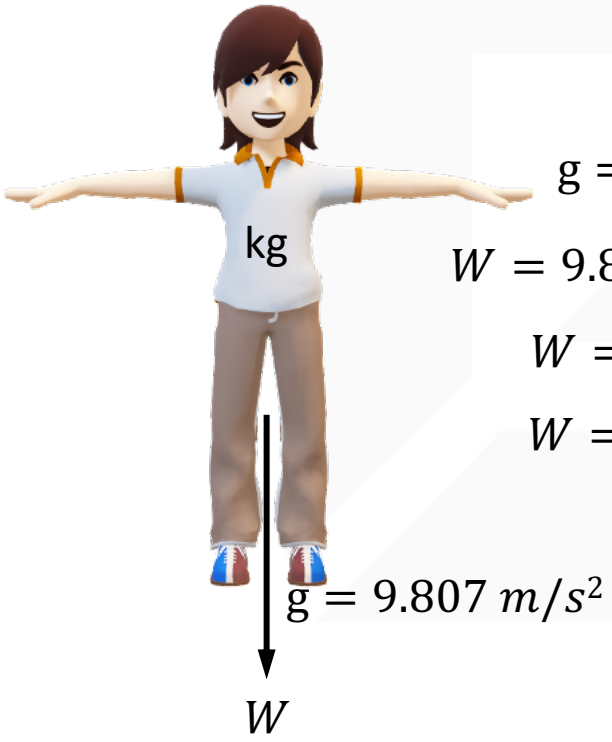
$m = 1\ lbm \xrightarrow{a = 1\ ft/s^2} F = 1\ lbf$

$$1\ N = 1.\ kg \cdot \frac{m}{s^2}$$

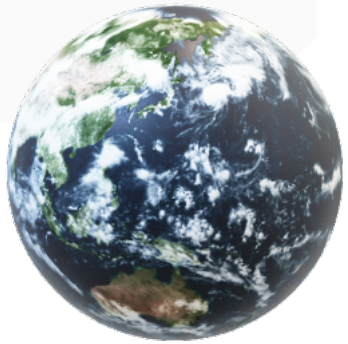
$$1\ lbf = 32.174\ lbm \cdot \frac{ft}{s^2}$$

น้ำหนัก (weight, W)

- สามารถพิจารณาให้อยู่ในรูปของแรงได้
- แรงที่เกิดจากการดึงดูดจากแรงโน้มถ่วงของโลก
- พิจารณาได้จากกฎข้อที่สองของนิวตัน $F = ma \rightarrow \mathrm{W} = mg\ (N)$

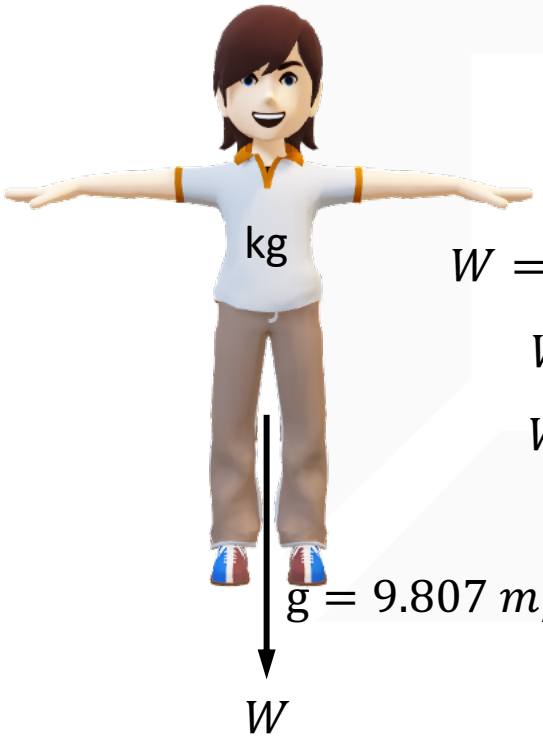


SI unit	English unit
$\mathrm{g} = 9.807\ m/s^2$	$\mathrm{g} = 32.174\ ft/s^2$
$W = 9.807\ kg \cdot m/s^2$	$W = 32.174\ lbm \cdot ft/s^2$
$W = 9.807\ N$	$W = 1\ lbf$
$W = 1\ kgf$	

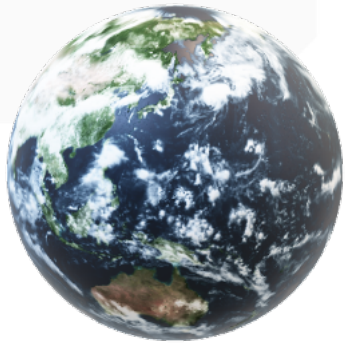


น้ำหนัก (weight, W)

- สามารถพิจารณาให้อยู่ในรูปของแรงได้
- แรงที่เกิดจากการดึงดูดจากแรงโน้มถ่วงของโลก
- พิจารณาได้จากกฎข้อที่สองของนิวตัน $F = ma \rightarrow W = mg\ (N)$



SI unit	English unit
$g = 9.807\ m/s^2$	$g = 32.174\ ft/s^2$
$W = 9.807\ kg \cdot m/s^2$	$W = 32.174\ lbm \cdot ft/s^2$
$W = 9.807\ N$	$W = 1\ lbf$
$W = 1\ kgf$	



A body weighing 150 lbf on earth will weigh only 25 lbf on the moon.

งาน (work, E)

- รูปแบบหนึ่งของพลังงาน (Energy)
- ถูกนิยามโดย ผลคูณระหว่าง แรงและระยะทาง
- หน่วยจะมีค่าเท่ากับ N-m ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับ Joule (J)

$$1\,J = 1\,N - m$$

Dimensional Homogeneity

ทุกสมการ/ความสัมพันธ์จะต้องมีมิติ (หน่วย) ทั้งสองฝั่งเท่ากัน

$$P = \rho g h$$

$$\frac{N}{m^2} \rightarrow \frac{\left(kg \cdot \frac{m}{s^2}\right)}{m^2} = \frac{kg}{\mathrm{m}^3} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m$$

Examples:

1. Total energy

$$E = 25\,kJ + 7\frac{kJ}{kg}$$

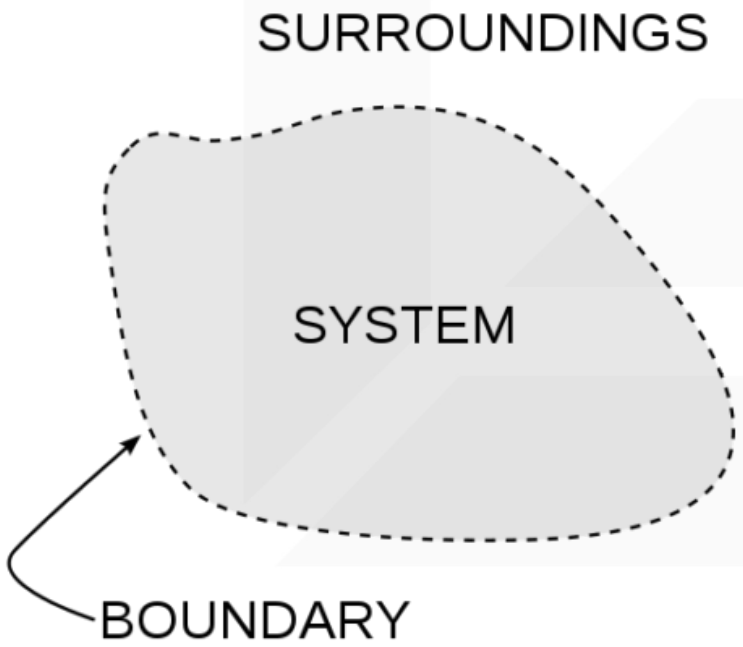
2. Finding the amount of mass in the tank

$$V = 2\,m^3 \quad \rho = 850\frac{kg}{m^3}$$

$$m = ?$$

ระบบและปริมาตรควบคุม

- ระบบ (System) ทางเทอร์โมไดนามิกส์ หมายถึง ปริมาณของสสาร หรือบริเวณ ที่กำลังสนใจเพื่อทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ
- สิ่งแวดล้อม (Surrounding) หมายถึง มวล หรือบริเวณที่อยู่นอกระบบ
- หากระบบนั้นถูกแยกออกจากสิ่งแวดล้อม จะทำให้พิจารณาของเขต (Boundary) ของระบบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

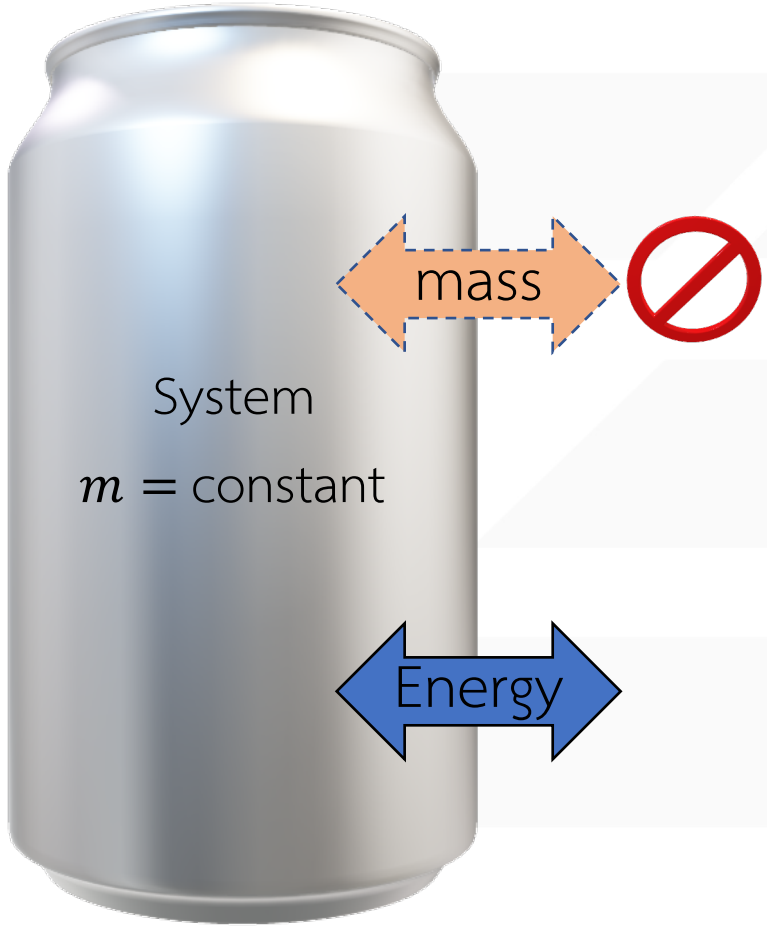


ระบบปิด (Closed system)

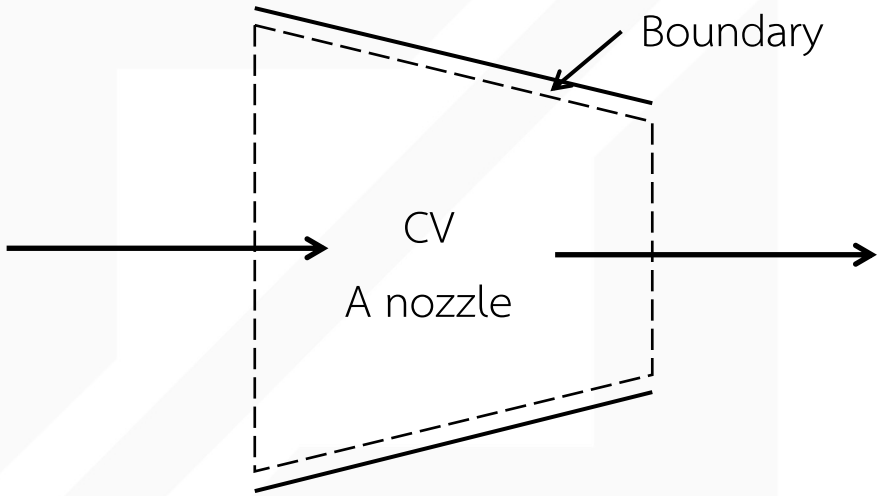
ระบบเปิด (Open system)

ระบบโดดเดี่ยว (Isolated system)

ระบบปิด (Closed system) ระบบมวลคงที่ (Control mass)



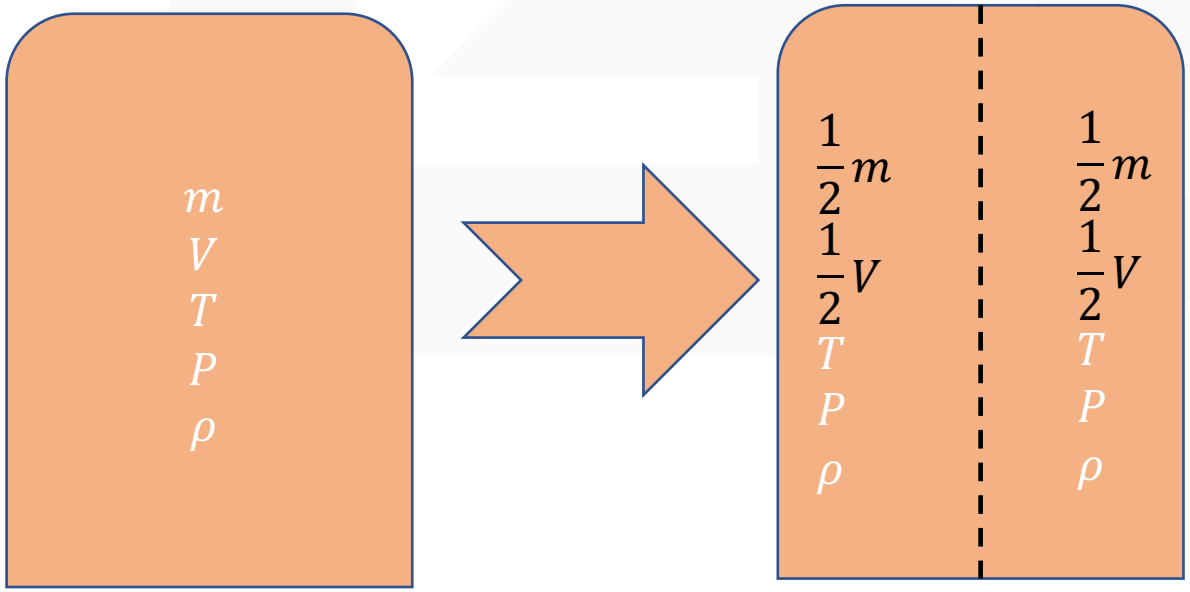
ระบบเปิด (Open system)
ระบบปริมาตรควบคุม (Control volume)



สมบัติของระบบ

- สมบัติของระบบ คือ ลักษณะใด ๆ ที่สามารถวัดหรือคำนวณค่าได้ในระบบ
- เช่น ความดัน อุณหภูมิ ปริมาตร และ มวล เป็นต้น

- สมบัติจะขึ้นรูปกับสภาวะของระบบ แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ดังนี้
  - สมบัติที่ไม่ขึ้นอยู่กับมวลของระบบ (Intensive properties) เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความหนาแน่น
  - สมบัติที่ขึ้นอยู่กับมวลของระบบ (Extensive properties) เช่น พลังงานภายใน ปริมาตร โมเมนตัม



Extensive properties per unit mass

"Specific properties"

ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ (density and specific gravity)

- ความหนาแน่น สามารถอธิบายได้จากอัตราส่วนระหว่างมวลต่อหน่วยปริมาตร

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad kg/m^3$$

- พิจารณาส่วนกลับของความหนาแน่น $\frac{1}{\rho} = \frac{V}{m} = v$ ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume)

$V = 12\ m^3\ , m = 3\ kg$

$\rho = 0.25\ kg/m^3$

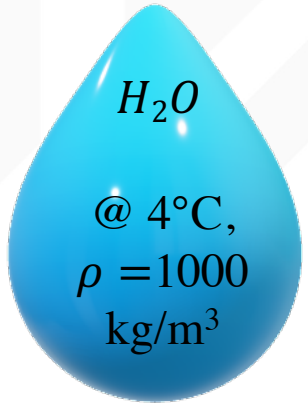
$v = \frac{1}{\rho} = 4\ m^3/kg$

- โดยทั่วไปความหนาแน่นของสสารจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน
- โดยเฉพาะอย่างยิ่งความหนาแน่นของแก๊ส ที่จะเพิ่มตามความดันแต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
- แต่ในกรณีของของเหลวและของแข็ง ความดันและอุณหภูมิจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

- ความหนาแน่นของน้ำ

Pressure (atm)	1	100	
Density (kg/m^3)	998	1003	0.5%
Temperature (°C)	20	75	
Density (kg/m^3)	998	975	2.3%

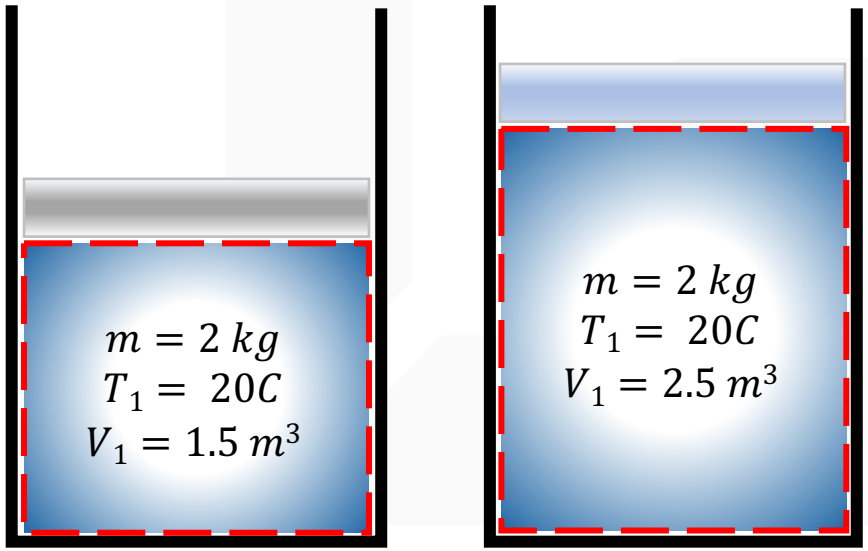
$$\frac{\rho}{\rho_{H_2O}} = SG \text{ (Specific gravity):}$$



Substance	SG
Water	1.0
Blood	1.05
Seawater	1.025
Gasoline	0.7
Ethyl alcohol	0.79
Mercury	13.6
Wood	0.3-0.9
Gold	19.2
Ice	0.92
Air @ 1 atm	0.0013

สภาวะและสมดุล (State and Equilibrium)

- สภาวะ (State) คือ สภาพของระบบที่พิจารณา ณ ขณะใดขณะหนึ่ง
- ในสภาวะใด ๆ นี้ สามารถวัด/คำนวณ สมบัติต่าง ๆ ได้ตลอดทั่วทั้งระบบ
- สมบัติเหล่านั้นก็จะเป็นชุดของสมบัติที่สามารถอธิบายระบบนั้น ๆ



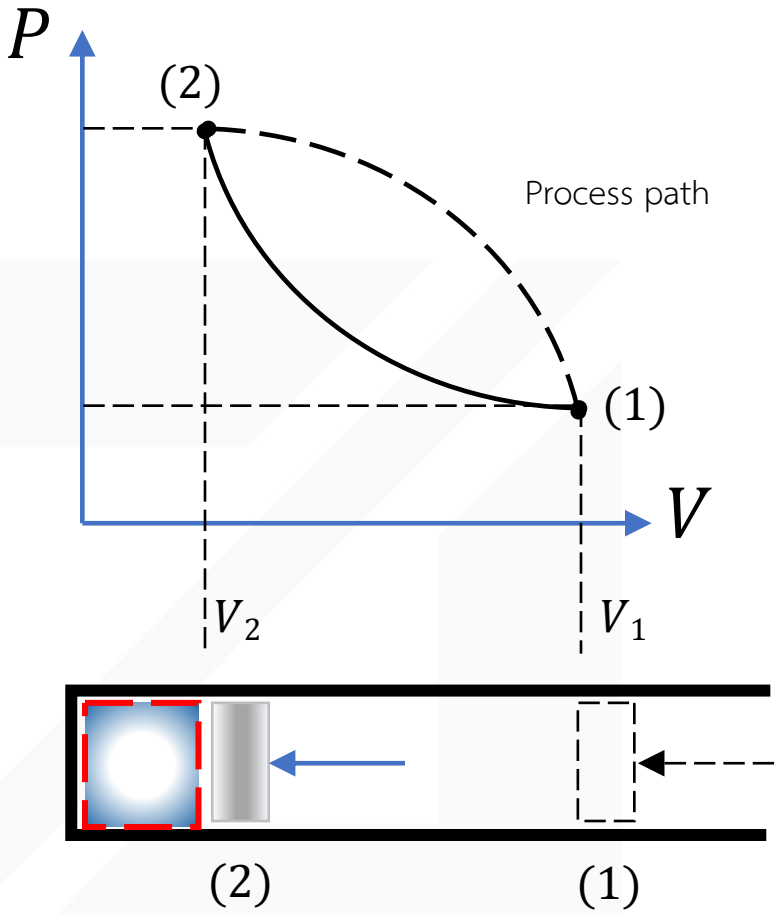
State 1 State 2

สมดุล (Equilibrium) หมายถึง สภาวะที่ไม่มีแรงขันเคลื่อนที่อาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในระบบ

- สมดุลทางความร้อน
- สมดุลทางกล
- สมดุลทางเคมี
- สมดุลเฟส

กระบวนการและวัฏจักร (Processes and Cycles)

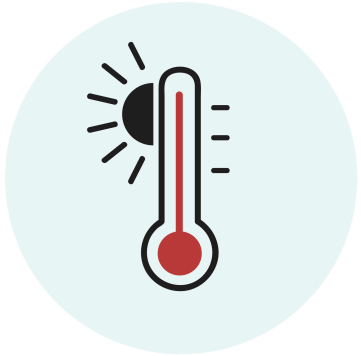
- หากพิจารณาว่าระบบกำลังเปลี่ยนแปลงจากสภาวะหนึ่งไปสู่สภาวะใหม่ที่อยู่ในสภาวะสมดุล ลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ เราสามารถนิยามได้ว่า กระบวนการ (Process)
- เช่น น้ำได้รับความร้อนจนละเหยการกลายเป็นไอ อากาศถูกอัดตัวในภาชนะปิด เป็นต้น
- ซึ่งในกระบวนการอาจมีกระเปลี่ยนแปลงของสมบัติเกิดขึ้น เช่น

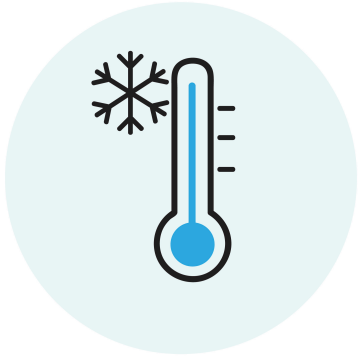


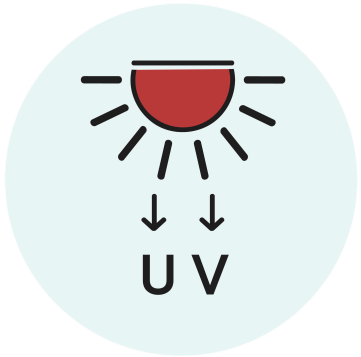
- Isothermal process
- Isobaric process

Topic 2: อุณหภูมิและกฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมไดนามิกส์

- อุณหภูมิ
- ความดัน
- การวัดความดัน



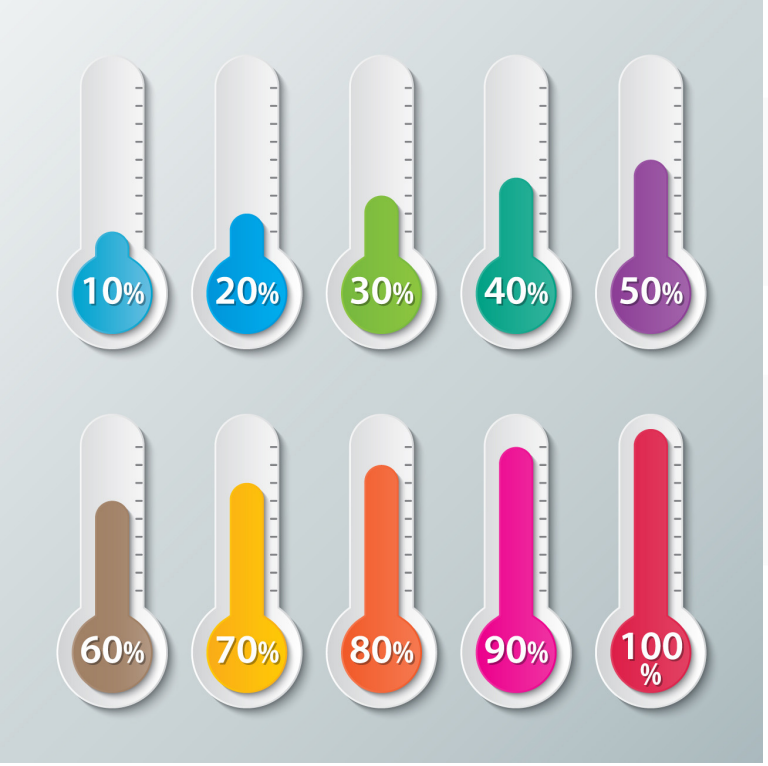




www.freepik.com/vectors/winter'>Winter vector created by rawpixel.com

อุณหภูมิ

- สมบัติชนิดหนึ่งที่ใช้ในการบอก ความร้อน-ความเย็นของวัตถุ
- ในการบอกระดับอุณหภูมิที่มีความแม่นยำ จะนิยมวัดการเปลี่ยนแปลงขนาดของสสาร
- เนื่องจากสสารมีการขยายตัว/หดตัว (ปริมาตรมีการเปลี่ยนแปลง) ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

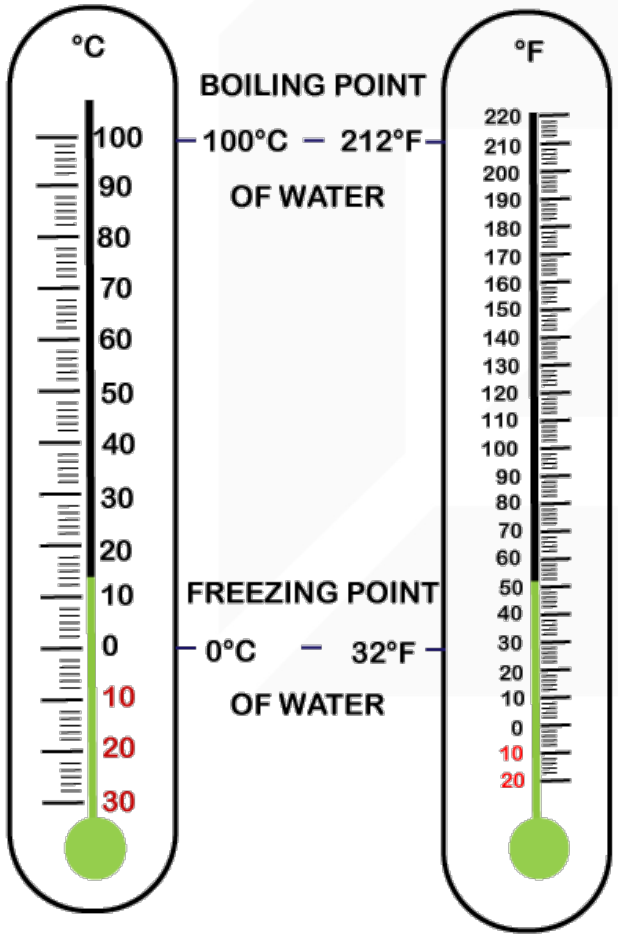


สมดุลความร้อน

- กฎข้อที่ศูนย์ของเทอร์โมดานามิส์

สเกลอุณหภูมิ

- องศาเซลเซียส (°C) เป็นสเกลอุณหภูมิที่นิยมใช้เพื่อบอกระดับความร้อน-ความเย็น ในระบบ SI
- องศาฟาเรนไฮต์ (°F) เป็นสเกลอุณหภูมิที่นิยมใช้เพื่อบอกระดับความร้อน-ความเย็น ในระบบอังกฤษ



$$T(°F) = 1.8\,T(°C) + 32$$

องศาเคลวิน (K)

$$T(K) = T(°C) + 273.15$$

องศาแรงคิน (R)

$$T(R) = T(°F) + 459.67$$

$$T(R) = 1.8\,T(K)$$

$$\Delta T(K) = \Delta T\ (°C)$$

$$\Delta T\ (R) = \Delta T\ (°F)$$

$1\ K$	$1\ °C$	$1.8\ R$	$1.8\ °F$

ความดัน

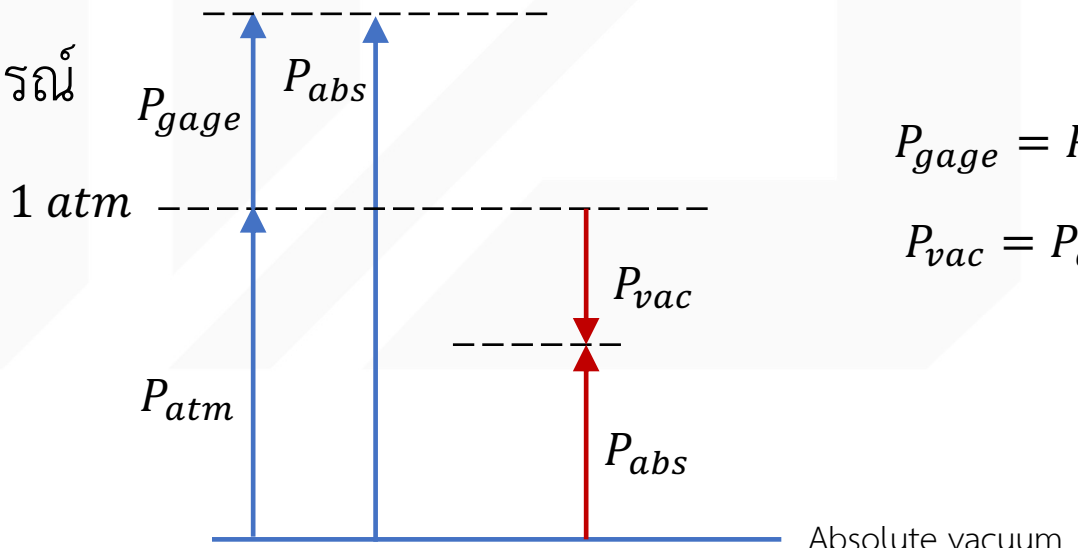
- แรงที่กระทำต่อหน่วนพื้นที่ (สถานะก๊าซหรือของเหลว) หน่วยของความดัน $\frac{N}{m^2} = 1\ Pa$

$$1\ bar = 105\ Pa = 0.1\ MPa = 100\ kPa$$
$$1\ atm = 101{,}325\ Pa = 101.325\ kPa = 1.01325\ bars$$
$$1\ kgf/cm^2 = 9.807\ N/cm^2 = 9.807x104\ N/m^2 = 9.807x104\ Pa$$
$$= 0.9807\ bars$$
$$= 0.9679\ atm$$

ความดันสัมบูรณ์ (Absolute temperature)

- เป็นความดันที่วัดอ้างอิงกับสุญญากาศสัมบูรณ์
- อุปกรณ์วัดความดันทั่วไป
- วัดที่ความดันบรรยากาศ

Pressure gage, P_{gage}

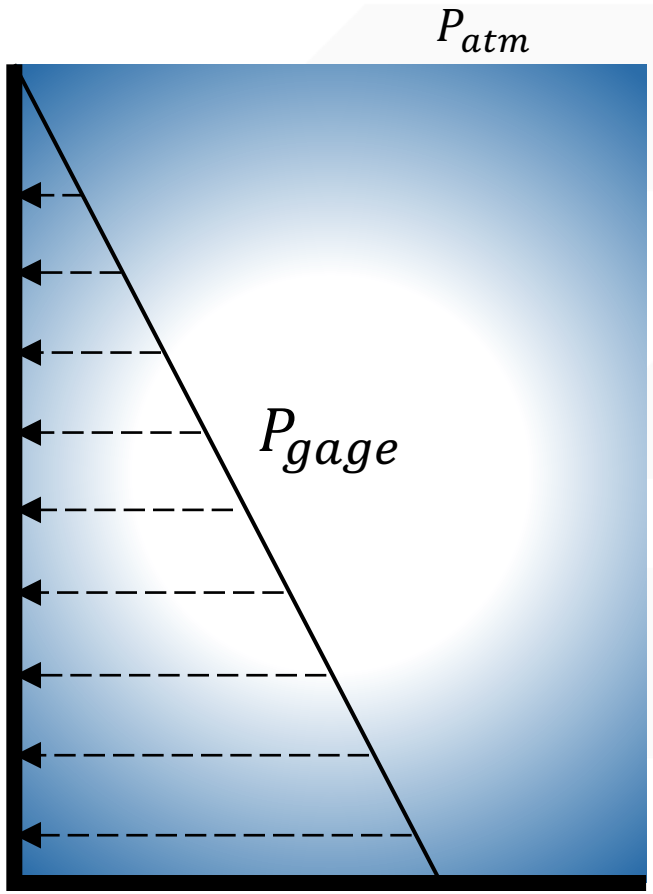


$$P_{gage} = P_{abs} - P_{atm}$$

$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}$$

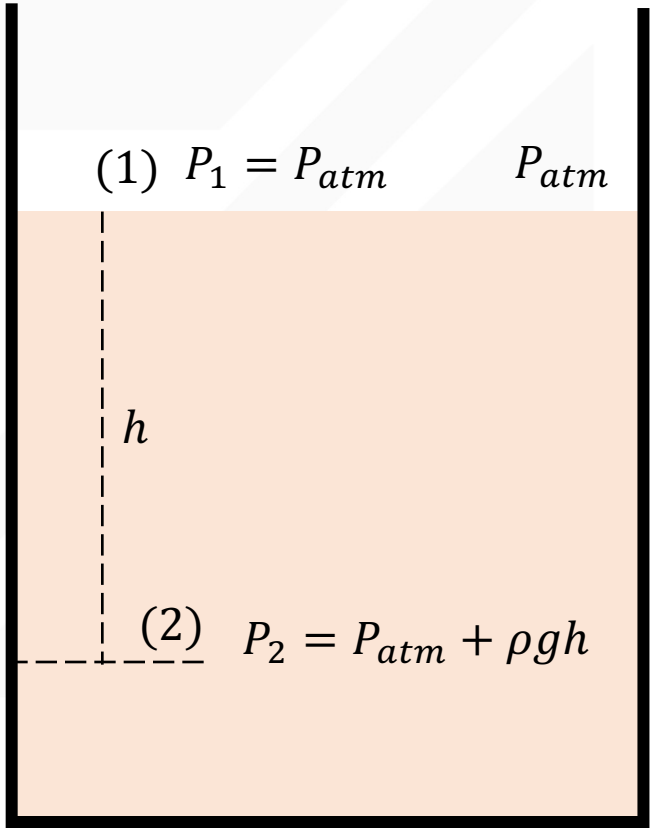
การเปลี่ยนแปลงของความดัน

- ความดันของของไหลเปลี่ยนแปลงตามความสูง



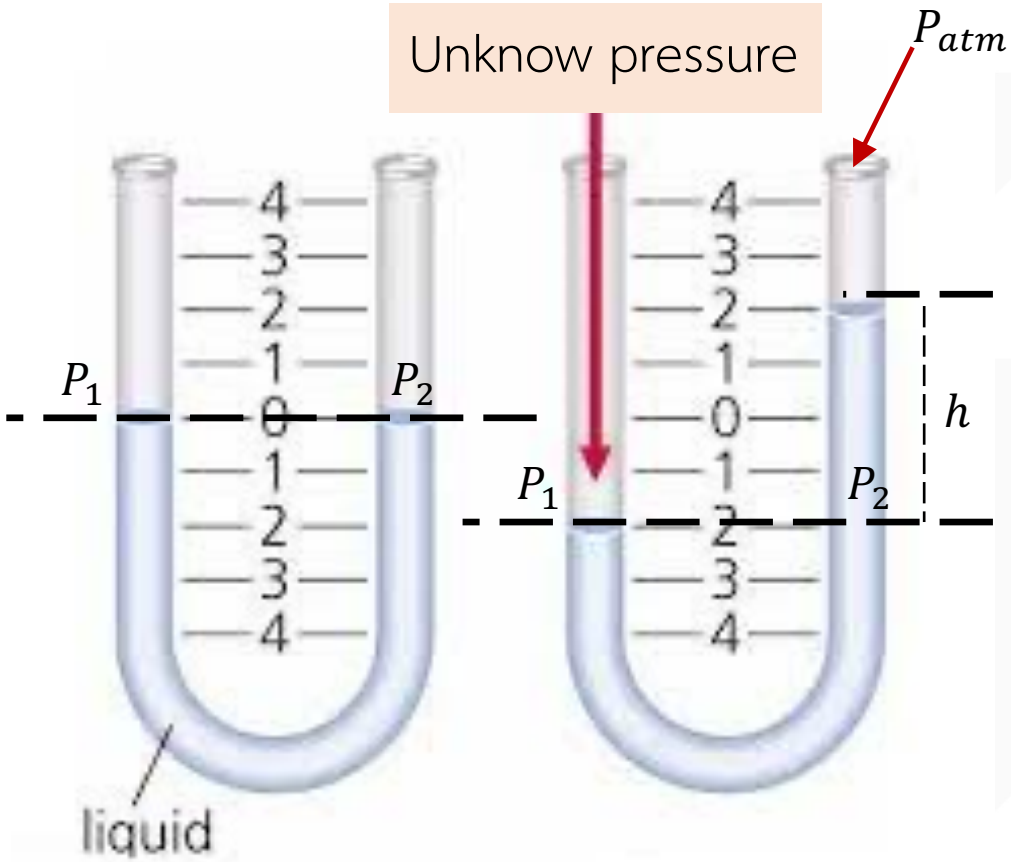
$$P_{gage} = \rho g h$$

$$P = P_{atm} + \rho g h$$



Manometer

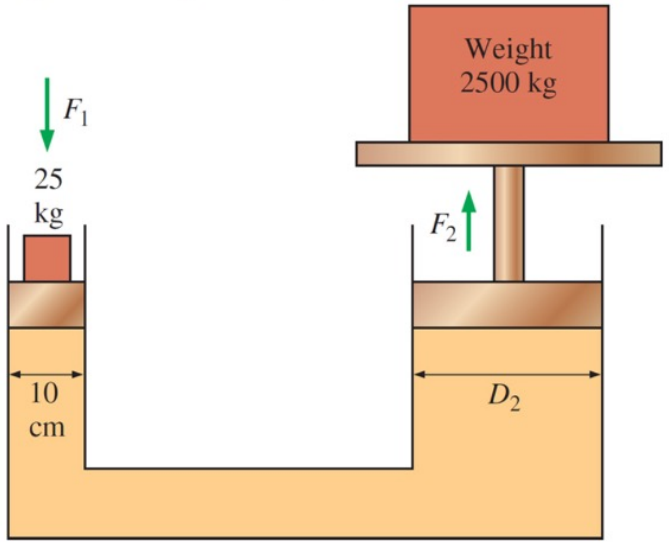
- การวัดความดันของของไหล



$$P_1 = P_2$$

$$P_{unk} = \rho g h + P_{atm}$$

1. A hydraulic lift is to be used to lift a 2500 kg weight by putting a weight of 25 kg on a piston with a diameter of 10 cm. Determine the diameter of the piston on which the weight is to be placed. (10)



Summary

- **Thermodynamics :** science that primarily deals with energy.
- **Law of thermodynamics :** 0^{th} 1^{st} 2^{nd} law.
- **Temperature** scales used in the SI and the English system today.

$$T(K) = T(°C) + 273.15$$

$$T(R) = T(°F) + 459.67$$

- The normal force exerted by a fluid per unit area is called "**pressure**".

$$P_{gage} = P_{abs} - P_{atm}$$

$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs}$$