



# THERMODYNAMICS I

$Q$

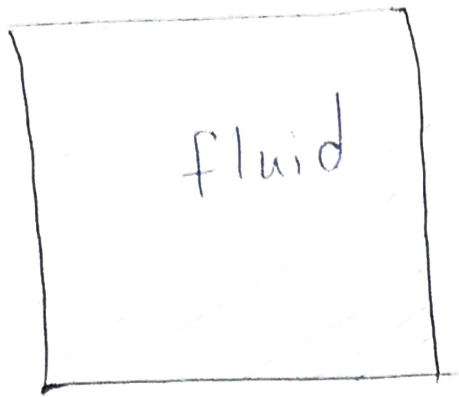
Water

By :  
Abdulrhman Hazem

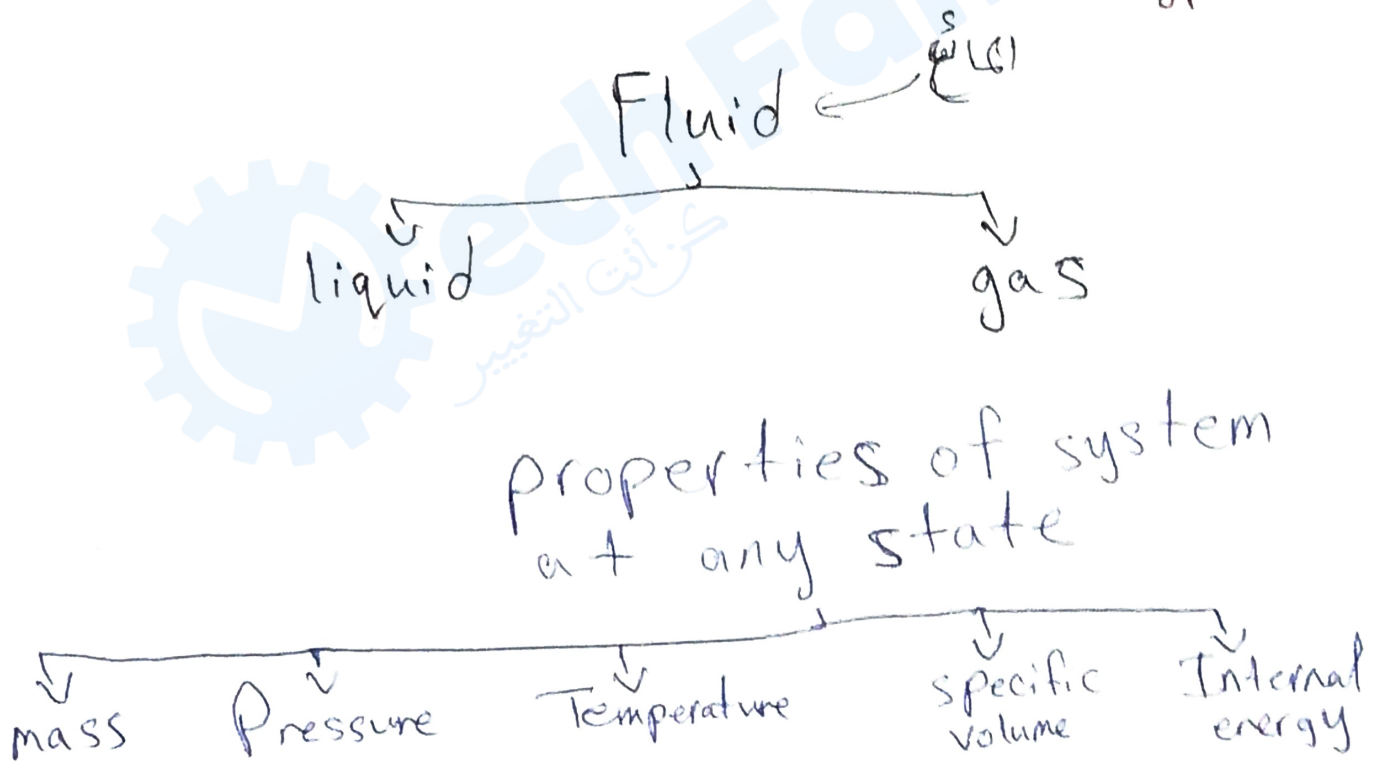
CHAPTER

1

# INTRODUCTION AND BASIC CONCEPTS



\* In thermodynamics, we study the fluid contained inside the system, we study its states, its properties in each state and the processes that happen to the fluid in their different types.



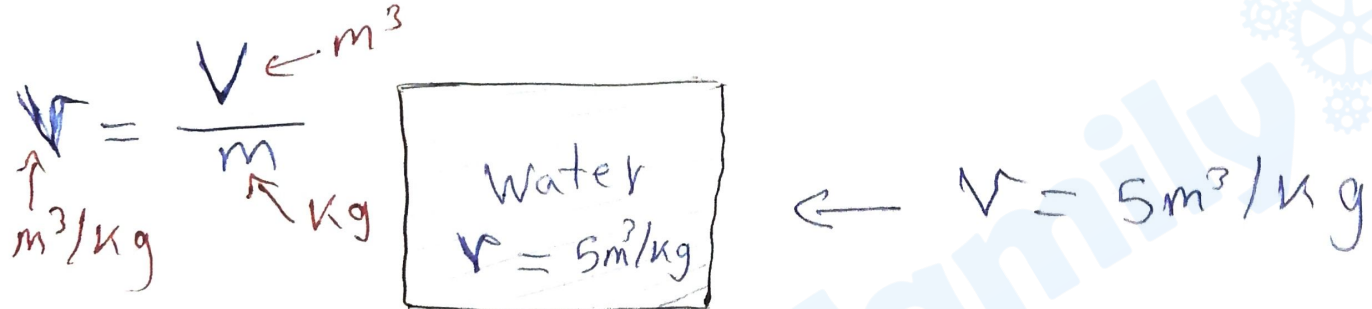
\* We have also enthalpy and entropy but they will be discussed later.

Pressure  $\equiv$  الضغط الذي يسببه المائع على جدران النظام  
(kPa)

Internal energy (u)  $\equiv$  الطاقة الداخلية للجزيئات المائع داخل النظام  
(kJ)

Specific Volume (v)  $\equiv$  حجم الـ 1kg من المائع داخل النظام  
(m<sup>3</sup>/kg)

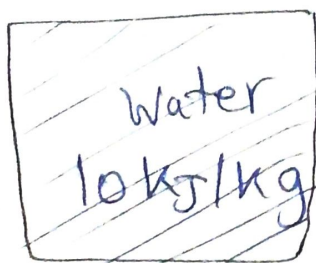
-: specific volume مثال توضيحي لعنت الـ



\* يعني لو لدينا 1kg من الماء من هذا النظام سيكون عبارة عن 5m<sup>3</sup>

Specific energy  $\equiv$  طاقة الـ 1kg من المادة (او المائع) داخل النظام  
(kJ/kg)

مثال توضيحي:-



\* يعني كل 1kg من الماء قوي طاقة مقدارها 10kJ

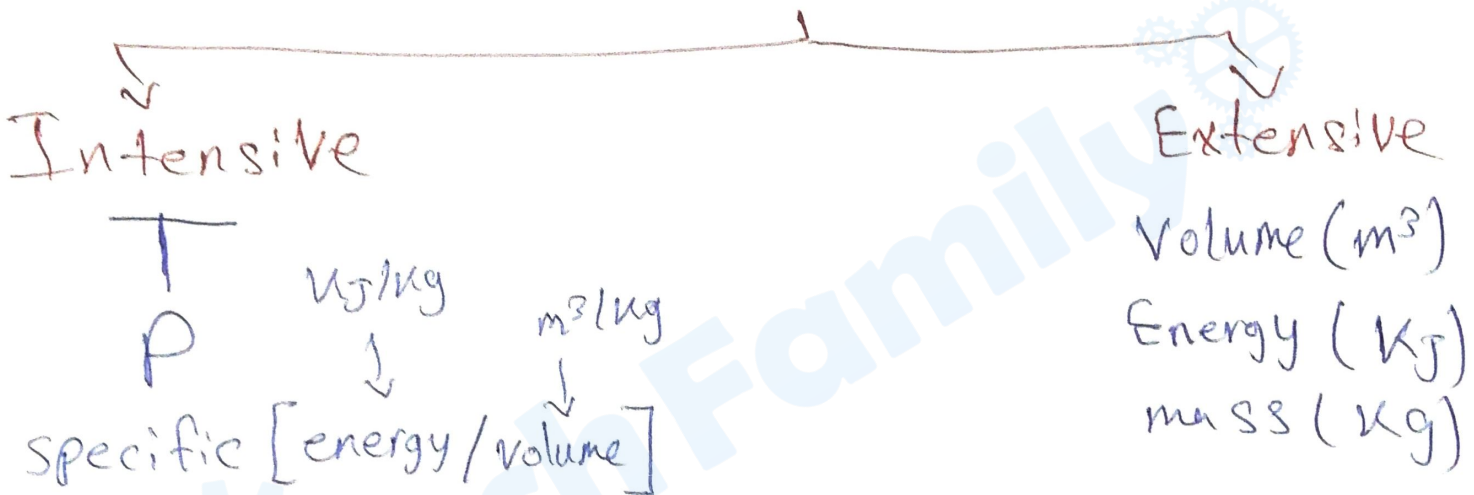
Density  $\equiv$   
(kg/m<sup>3</sup>)

كثافة الكتلة لكل وحدة الحجم  
أو المائع أو الغاز أو السائل

density  $\rightarrow \rho = \frac{1}{v}$  specific volume

$\rho = \frac{m}{V}$   
↑ kg/m<sup>3</sup>    ↑ m<sup>3</sup>

\* All these properties can be classified as:-



طريقة واحدة :-

لا يمكن الجمع بين الـ intensive properties (التي لا يمكن  
قياسها بالجمع) والـ extensive properties (التي يمكن

توضيح :-

نظروا ان لدينا نظامين A و B احدهما له

$v = 5 \text{ m}^3/\text{kg}$

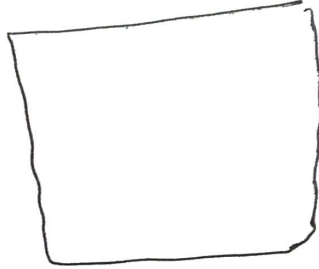
والاخر

$v = 10 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$v = 5 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v = 10 \text{ m}^3/\text{kg}$$

اردنا جمعها في نظام جديد  
(تقريبها)



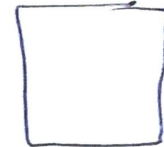
هل يكون الـ  $v$  للنظام الجديد  $15 \text{ m}^3/\text{kg}$  ؟  
الاجابة: لا

وهذا ينطبق على جميع intensive properties

بعضها لا يمكن جمعها مثل درجة الحرارة .....

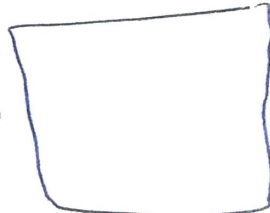
ولكن هذا يمكن في حالة الـ extensive

7 kJ  
4 kg  
5 m<sup>3</sup>



5 kJ  
10 kg  
3 m<sup>3</sup>

12 kJ  
14 kg  
8 m<sup>3</sup>



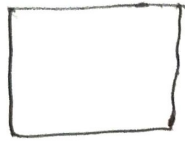
# Types of systems

closed system  
(control mass)

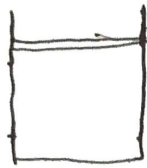
\* No mass exchange

Ex:-

rigid tank  $\Rightarrow$



Piston cylinder  $\Rightarrow$



open system  
(control volume)

\* There is mass exchange

Ex:-

- Turbine
- Compressor
- pump
- Nozzle

\* Difference between isolated and insulated systems:-

Isolated:-  
system

نظام منزول عن المحيط  
لا يتبادل الطاقة أو الكتل  
مع النظام المحيط

Insulated:-  
system

نظام معزول حرارياً  
(No heat exchange)

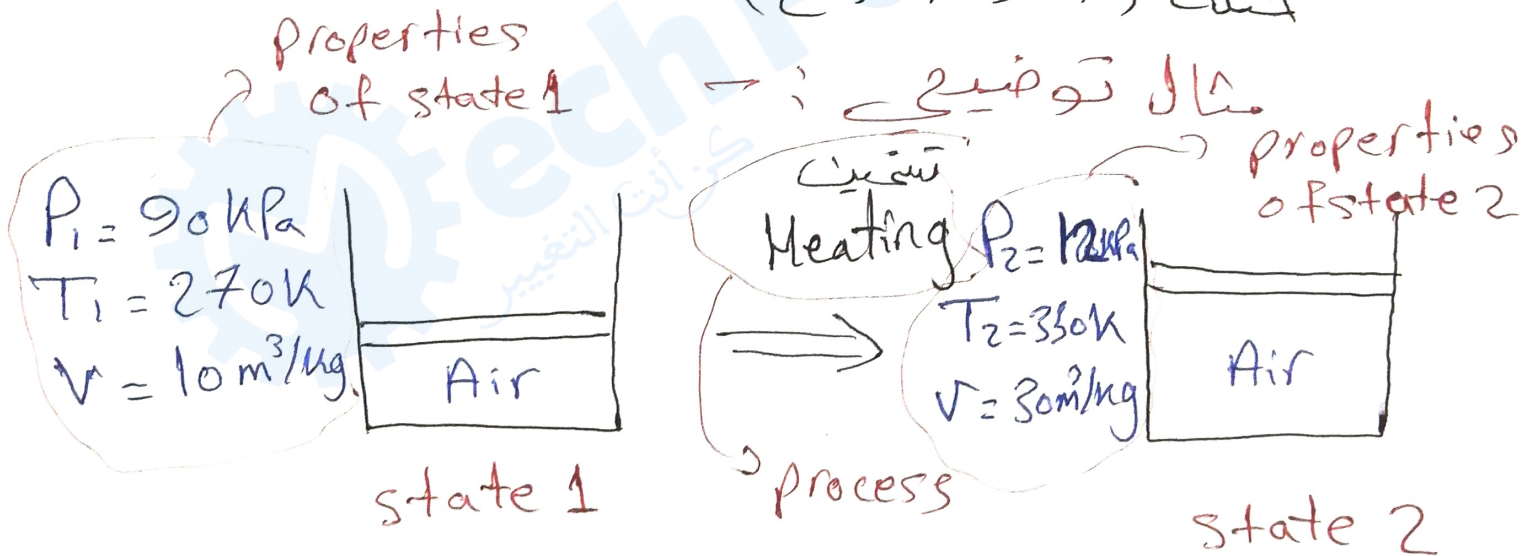
$$Q_{in} = Q_{out} = 0$$

قد يتبادل الكتل وأنواع الطاقة الأخرى  
مع النظام المحيط.

\* النظام (system) في أي لحظة يكون في حالة (state) معينة ، وفي هذه الحالة تحمل النظام خصائص (properties) معينة  
 $(P, T, v, h, s)$

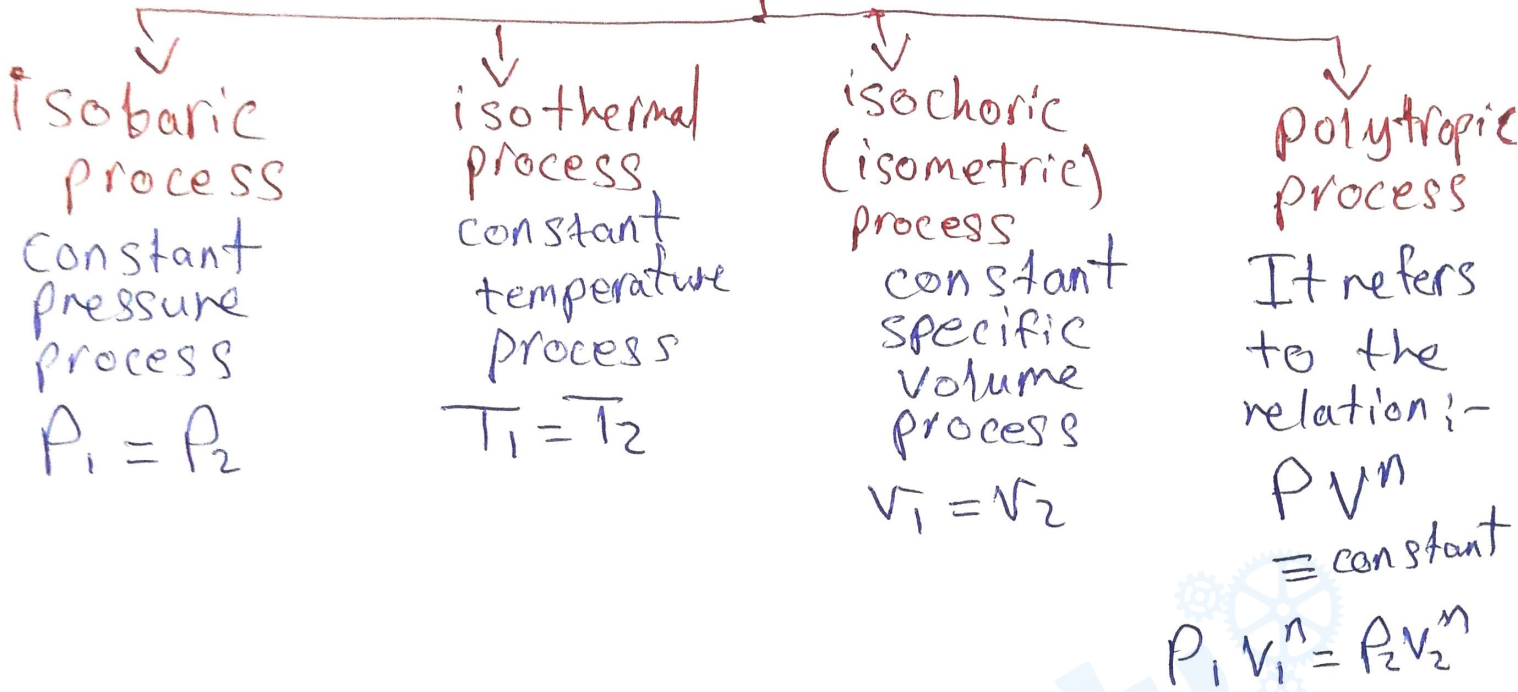
حتى تحدث عملية (process) وتنتقل هذا النظام من هذه الحالة إلى حالة أخرى بخصائص جديدة

هذه العملية (process) يمكن ان تتضمن تسخين ، تبريد (مروحة / مبرد) ، انتقال كتلة (دخول / خروج) . . . . .

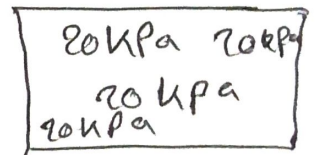
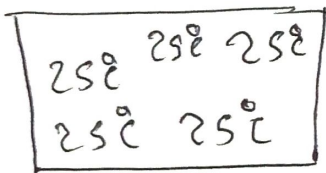


\* لا ، قام غير دقيقه ، فبقا لله الشرح

# Thermodynamic processes



# Types of equilibrium



وفي مادة التيرمو و على اي حاله (state) يكون

النظام في حاله Thermal + Mechanical equilibrium

يعني اذا قال لك في المساله ان  $P_1 = 100 \text{ kPa}$

يعني جميع النقاط لها نفس الضغط و التي هي  $100 \text{ kPa}$  وكذلك الامر بالنسبة للحرارة على هذه الحالة

## Pressure :-

Normal force exerted by a fluid per unit area.

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ MPa} = 1000 \text{ kPa}$$

- Atmospheric pressure ( $P_{atm}$ ):-

ضمانة الجو الكلي (ويقال سيجها)  
Barometer ساعة

- Absolute pressure ( $P_{abs}$ ):-

ضمانة موقع معين

- Gage pressure ( $P_{gage}$ ):-

الفرق بين  $P_{atm}$  و  $P_{abs}$

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

وهناك جهاز يسمى (Pressure gage) يقي قراءته

$P_{gage}$  في tank معين

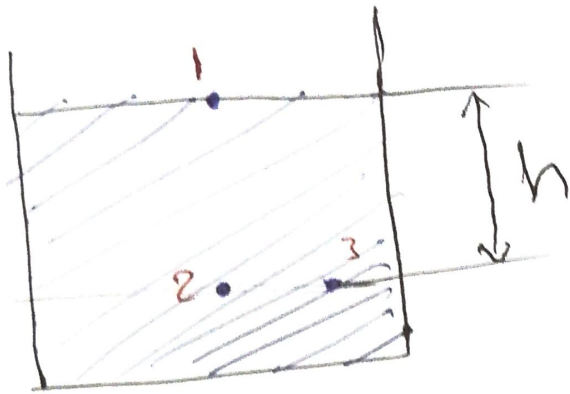
- Vacuum pressure ( $P_{vac}$ )

فرق الكلي بين  $P_{atm}$  و  $P_{abs}$

$$P_{atm} > P_{abs}$$

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

# Pressure + depth :-



\* الضغط على سطح  
الساكن (على نقطة من  
الهواء)  $P_{atm}$

$$\text{so } P_1 = P_{atm}$$

\* النقاط العميقة والعميقة ضغطها أعلى من نفس المائع  
وذلك لأن المائع يتركز أكثر في الطبقات العميقة

$$\text{so } P_2 > P_1$$

\* الضغط يمتد على الارتفاع (ضغط المائع)  
وبالتالي النقاط التي على نفس الارتفاع (على نفس  
الخط الأفقي) يتساوى ضغطها

$$\text{so } P_2 = P_3$$

فرق الضغط بين أي نقطتين عملاً  
بينهما مائع في حالة سكون :-

$$\Delta P = \rho g h$$

الارتفاع بين النقطتين  $\rightarrow$   
كثافة المائع الذي عملاً بين النقطتين  $\downarrow$   
9.81  $\downarrow$

$$\rho :- \text{Kg/m}^3$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h :- \text{m}$$

$$\Rightarrow \Delta P :- \text{Pa}$$

So :-

$$P_{2 \text{ or } 3} - P_1 = \rho g h$$

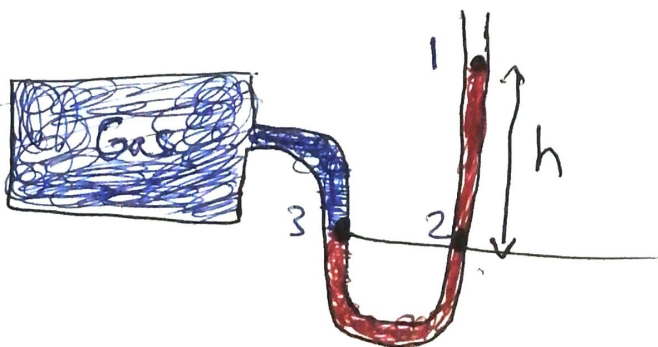
so the general equation is :-

$$P_{\text{below}} = P_{\text{above}} + \rho g h$$

## Manometer :-

It's a device that measures the pressure in a tank

\* It consists of U tube, which is made of plastic which contains one or more heavy fluid like oil, water, mercury . . . . .



$$P_2 = P_3$$

$$P_{2 \text{ or } 3} = P_1 + \rho g h$$

$$\text{specific gravity} \rightarrow SG = \frac{\rho_{\text{fluid}}}{\rho_{\text{water}}}$$

$$\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

End of chapter 1

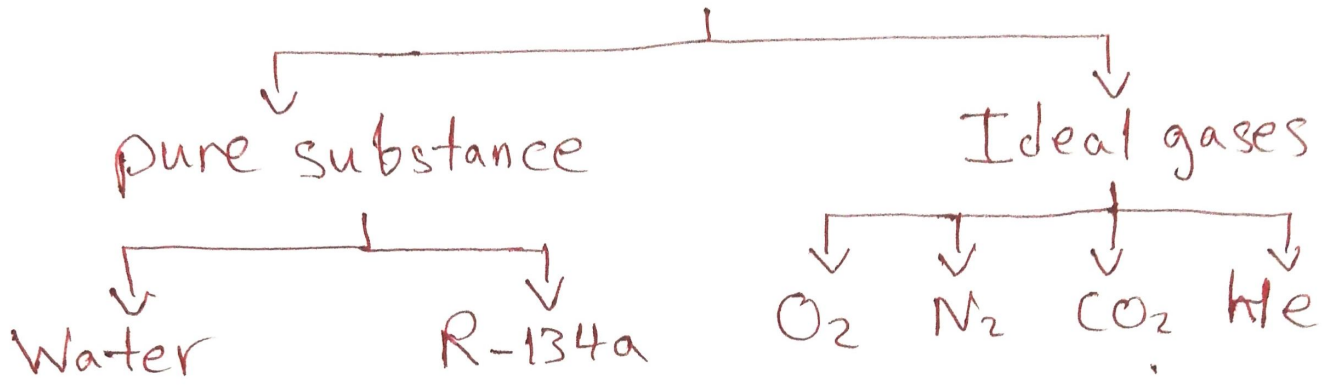


CHAPTER

3

# PROPERTIES OF PURE SUBSTANCES

# Substances that we deal with in thermodynamics



## pure substances behavior :-

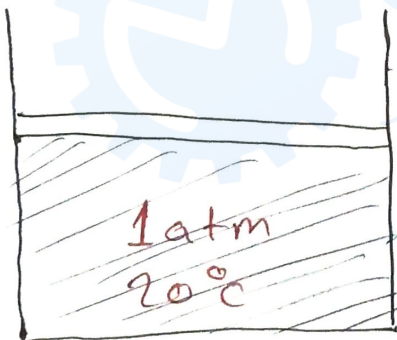
سلوك المواد النقية :-

\* لنفترض أن لدينا سائلاً داخل  
 piston cylinder تحت ظروف :-

$$P = 1 \text{ atm}, T = 20^\circ \text{C}$$

\* تحت هذه الظروف يكون الماء بحاله

تسعة :-



Subcooled liquid  
 or  
 compressed liquid

و يجب التركيز على هذه المصطلحات :-

\* ثم وضعنا شعاع (Heat source) اسفل الـ cylinder

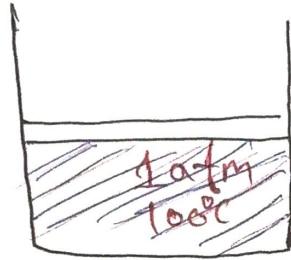


\* سوف ترتفع درجة الحرارة بشكل تدريجي  
، لنقل انها وصلت الى  $40^\circ\text{C}$  ، ويبقى الضغط ثابتاً  
، حيث ان الضغط يعتمد على وزن المكعب بالإضافة  
الى الضغط الخارجي (الضغط الجوي  $P_{atm}$ )  
، وفي هذه العملية ، يكون المكعب حراً ، فيبقى  
الضغط ثابتاً ، وخلال ارتفاع درجة الحرارة التدريجي  
، يرتفع المكعب ولكن بشكل بسيط ، حيث ان جزيئات  
الماء تضغط على المكعب خلال حركتها الناتجة عن  
الطاقة الحركية المضافة لها نتيجة التسخين

\* تحت هذه الظروف التي وصلنا لها (  $1\text{ atm}$  ،  $40^\circ\text{C}$  )  
يبقى الماء في حالة -

compressed or subcooled liquid

\* خلال استمرارنا في التسخين (Heat addition) ، تستمر درجة الحرارة في الارتفاع التدريجي ويبقى الضغط ثابتاً ، حتى نصل إلى (1 atm 100°C)



\* عند هذه الظروف ، نصل إلى حالة تسمى

saturated liquid

\* saturated liquid: - It's a liquid that is about to vaporize

\* حيث أن أي مقدار إضافي من الطاقة الحرارية (Q) سيؤدي إلى بدء تبخير هذا السائل من الماء

\* تستمر في إضافة الطاقة الحرارية التي مصدرها الشمس ، وهنا يبدأ السائل بالتبخير تدريجياً

\* وخلال تحول السائل التدريجي إلى بخار ، تبقى درجة الحرارة ثابتة ، كما إذا

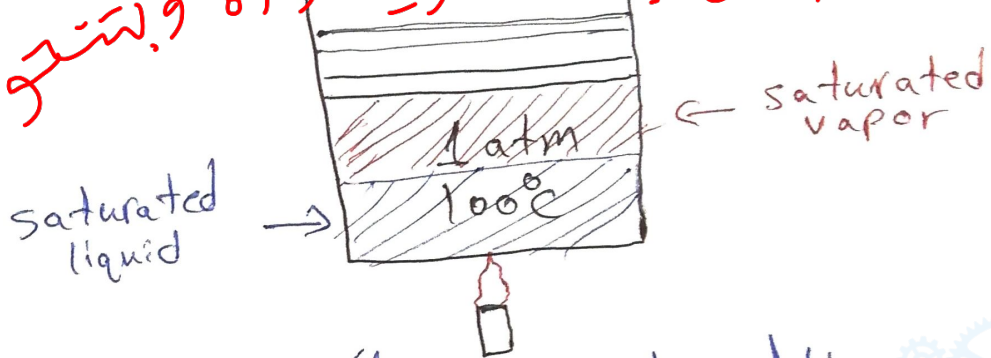
\* لأن الطاقة الحرارية المضافة (Heat) تستعمل على تفكيك الروابط بين جزيئات السائل لتحويله إلى بخار ، فلا يكون لهذه الطاقة القدرة على رفع درجة

الحرارة

\* وخلال التحويل التدريجي من السائل إلى البخار ، نحن نكون في حالة -

Saturated liquid vapor mixture

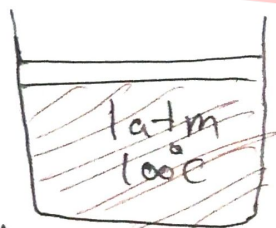
← كما يـ يكون بهما سوية الحرارة ويتحول إلى vapor



\* وخلال هذا التحويل أيضاً ، يرتفع المكعب بشكل كبير ليسبب وجود vapor بالأفضل ، حيث أنه من المعروف أن الطاقة الحركية للبخار أو الغاز بشكل عام أكبر من السائل ، وبالتالي مع زياده كمية البخار يزداد دفع المكعب لأعلى .

\* تستمر هذه العملية حتى يتحول كل السائل إلى بخار (100% vapor) ، ويكون هنا المائع في حالة

تسعة saturated vapor



\* ارتفاع المكعب  $\equiv$  زيادة الـ specific volume

\* saturated vapor! - A vapor that is about to condense

\* بحيث ان أي تبريد (سحب للحرارة) من البخار سيؤدي مباشرة إلى تكثيفه (تحوله إلى سائل) تدريجياً

Subcooled liquid  $\xrightarrow{\text{تسخين}}$  saturated liquid  $\xrightarrow{\text{تسخين}}$  saturated vapor

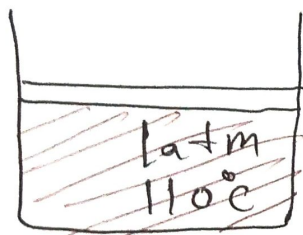
\* ومع استمرار التسخين (إضافة طاقة حرارية) لهذا

الـ saturated vapor سوف تستأنف درجة الحرارة في

ارتفاعها ، وطبعاً يبقى الضغط ثابتاً وذلكنا السبب قبل ذلك ، وسوف يرتفع المكعب بشكل أكبر وأكبر .

\* وبإرتفاع درجة حراره الـ sat. vapor ، يصل البخار (المائع)

إلى حالة تسمى :  
superheated vapor



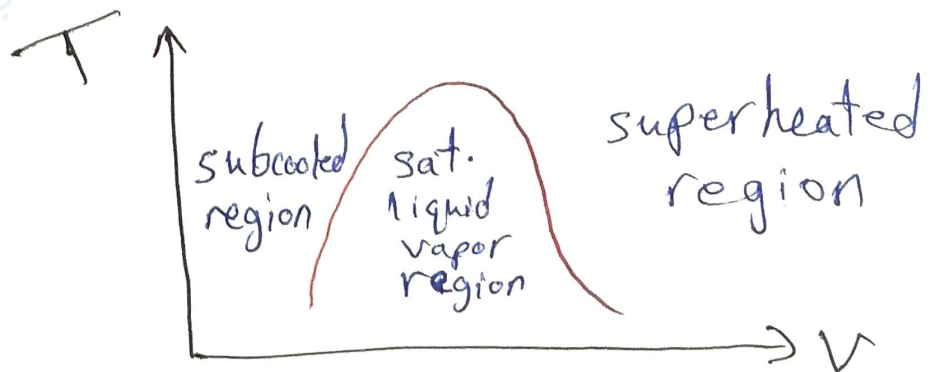
1 atm  $\Rightarrow$  110°C  $\Rightarrow$  ظروف يكون عنها المائع superheated vapor.

\* هذه العمليات وهذا الـ procedure ينطبق

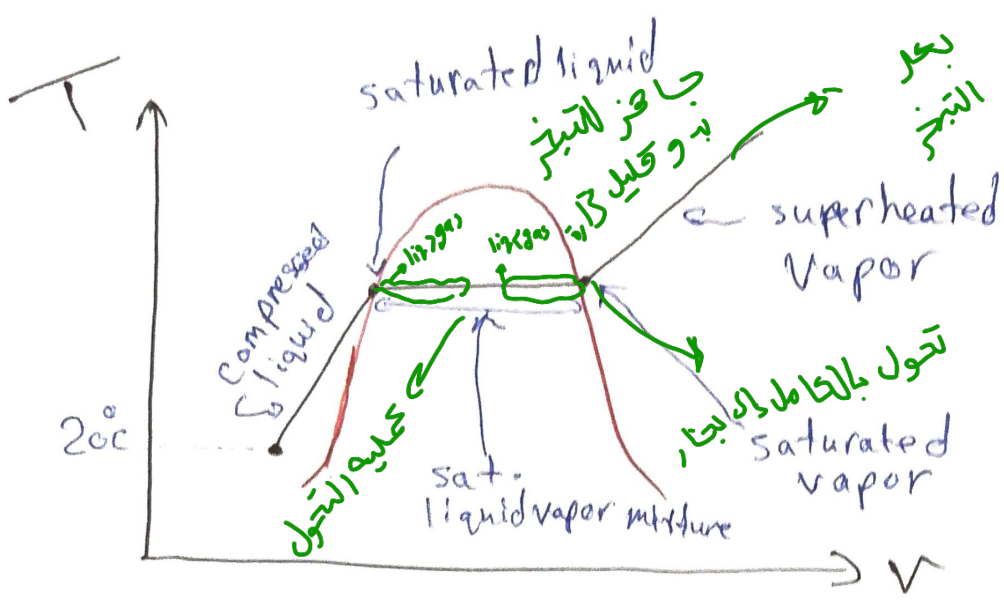
على الـ pure substances

T-v diagram

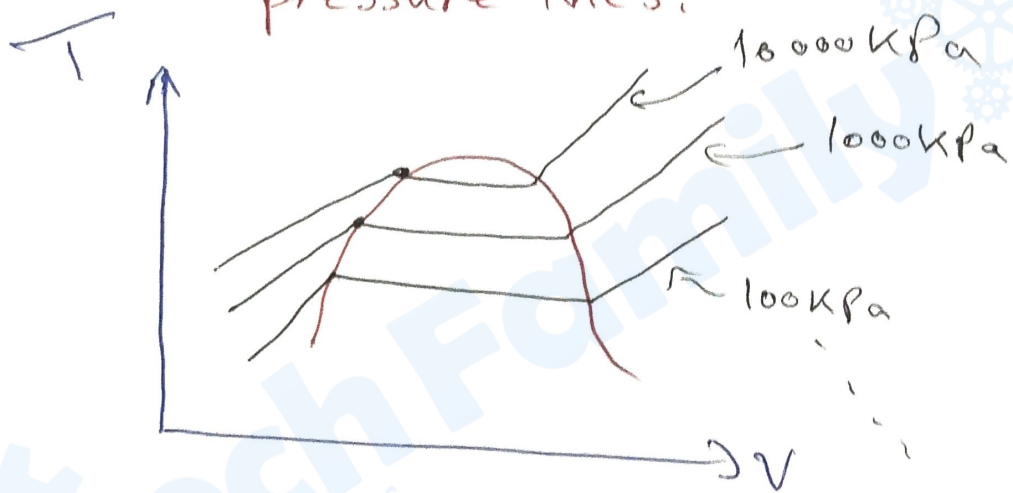
\* ويمكن تمثيل ذلك على



Temperature - specific volume  
diagram  
with regions.

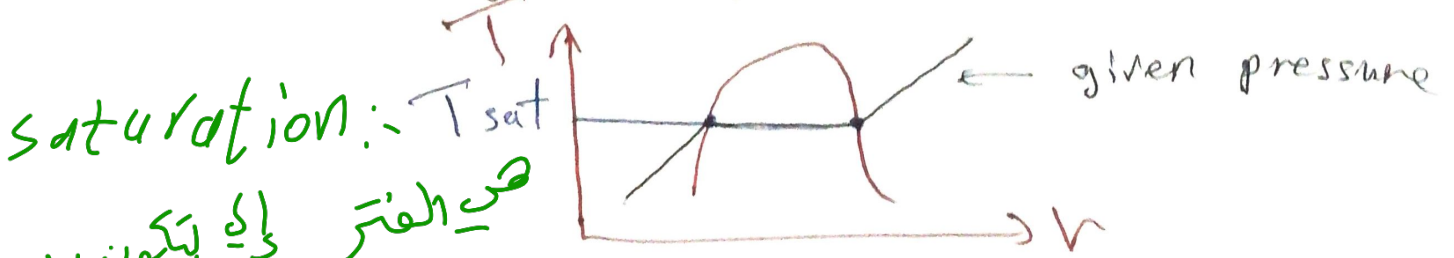


\* In T-v diagram, constant pressure lines:-



Saturation temperature  
 ↑  
 saturation pressure  
 $P_{sat} + T_{sat}$ .

saturation temperature:- It's a temperature at which a pure substance changes phase at a given pressure




saturation:- هي الفترة التي يكون فيها

درجات الحرارة والمضغ فترتي واحدة منهم تبدل حال التاني

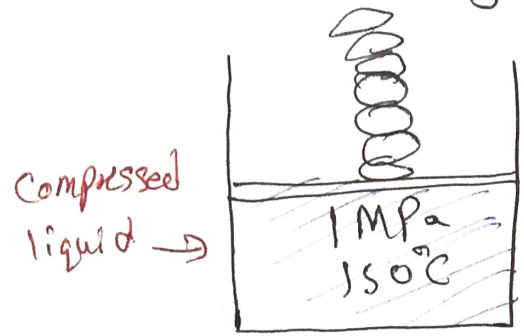
## الخلاصة في جملة واحدة

عند أي مادة نقية، ضغط التشبع ودرجة حرارة التشبع هما دائمًا قيمتان متلازمتان؛ فلكل قيمة ضغط، توجد درجة حرارة غليان واحدة فقط، وتسمى النقطة التي يتواجد فيها السائل والبخار معًا في حالة توازن (غليان/تكثف) حالة التشبع.

 مثال للماء: عند ضغط جوي مقداره 101.3 كيلوباسكال، تكون درجة حرارة التشبع هي  $100^{\circ}\text{C}$ . إذا زاد الضغط، ترتفع درجة حرارة الغليان.

# تجربة اخرى توضح تأثير وسلوك الضغط:

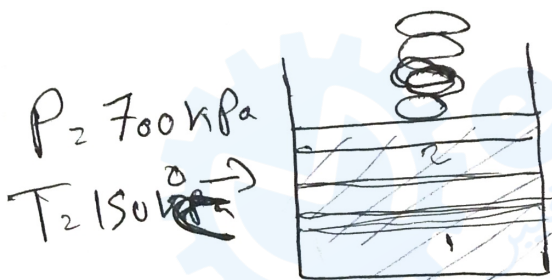
لتفحص ان لدينا ماء داخل Piston cylinder على



ظروف  $(\frac{P_1=1MPa}{T_1=150^\circ C})$  ، وطبعا فوقا المكبس توجد مجموعة من الاجزاء التي هي مصدر هذا الضغط

حيث اننا كما نعلم، ضغط المائع في الـ Piston cylinder يعتمد على وزن المكبس والضغط الجوي، والاعمال هنا تزيد من الوزن الذي تحمله المكبس

ثم به اننا بإزالة الاجزاء بالتدريج



ما سيحدث ان الضغط على المائع سيقل ، وسيبدأ المكبس بالارتفاع لكن بشكل بسيط جدا

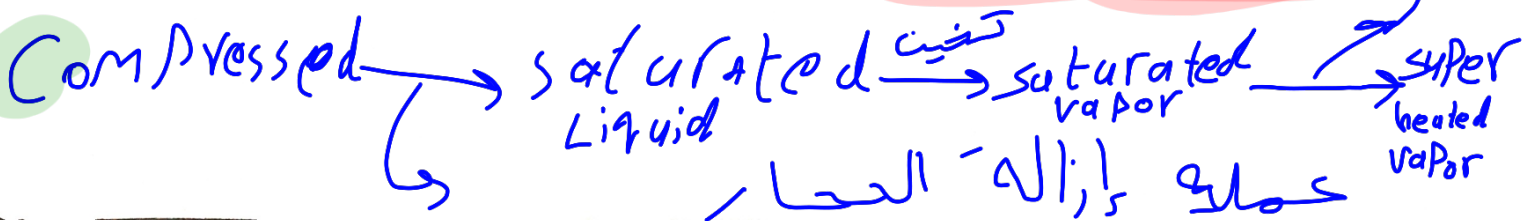
وخلال هذه العملية ستثبت درجة الحرارة

وخلال الاستمرار به ما ينخفض الضغط تدريجيا وتبقى

الماء على حاله **compressed liquid** حتى يصل الضغط

الى  $476.16 kPa$  ، فكون قد وصلنا الى مرحلة الاشباع **[saturated liquid]**

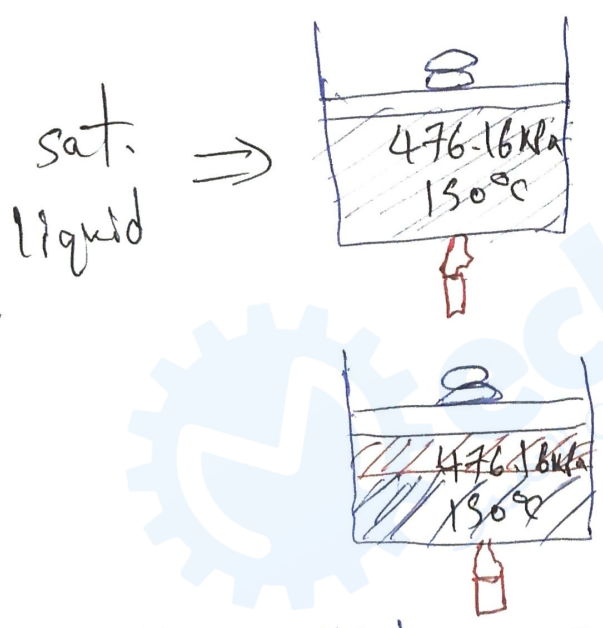
عملية إزالة العجاء



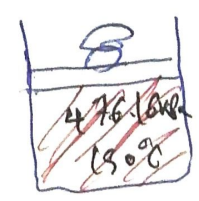
ثم بعد ذلك نضع شحنة أسفل النظام لنمد الماء بال heat

وظائف هذه الهيت ، تحويل السائل إلى بخار بالتسريع  
دون أحداث أي تغيير في درجته لكراره أو الضغط  
وظلال هذه العملية -

يتحول السائل إلى بخار تدريجياً  
وتبقى  $P + T$  ثابتان  
والمكبس يرتفع أكثر بسبب به إليه  
تكون البخار



ويستمر ذلك حتى  
تنتهي عملية التحويل  
فيصبح السائل كله  
بخار



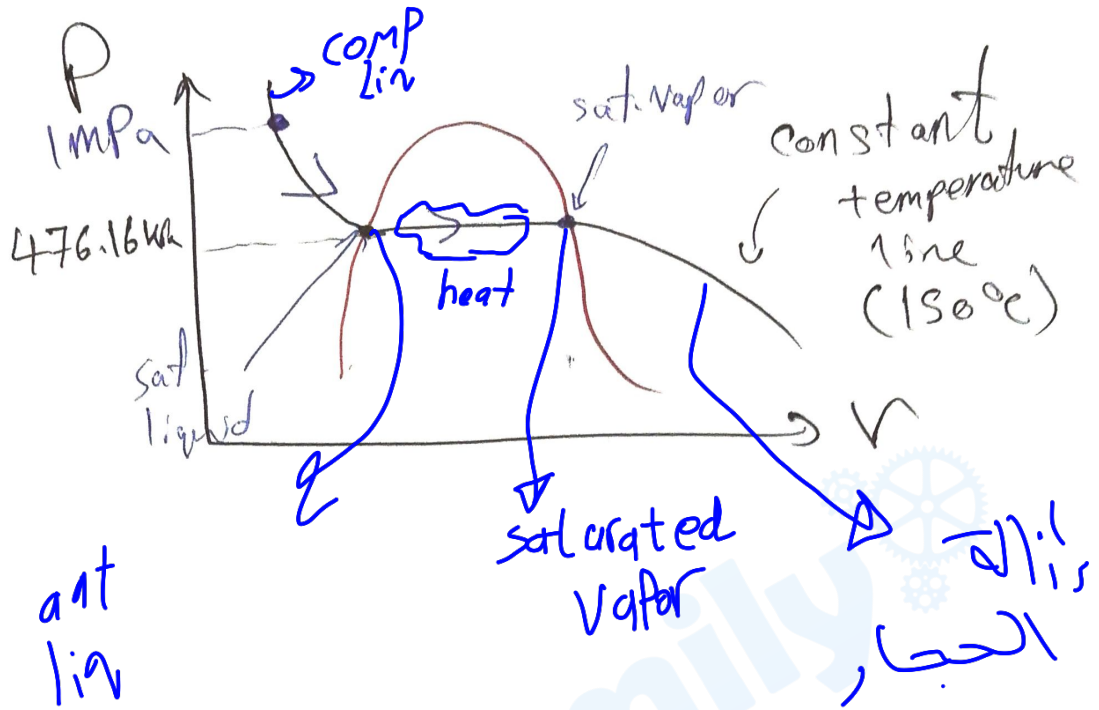
بعد التحويل إلى بخار ، تكون قد وصلنا إلى حالة  
**saturated vapor** ، ثم طبعا نزيل الشحنة

وع استئناف إزالة الأبخار ، يستمر الضغط في الهبوط  
حيث أنه بمجرد إزالة أي مقدار من الوزن به

التحول إلى **Sat. Vapor** ، تكون قد دخلنا في حالة ال  
**super heated vapor**

بعد التسخين والتحول إلى بخار منرجح منسحب  
الأبخار  
التسخين ما أترخا أي ياتي احترارة ولا ضغط

Piston Cylinder  
 P-V diagram

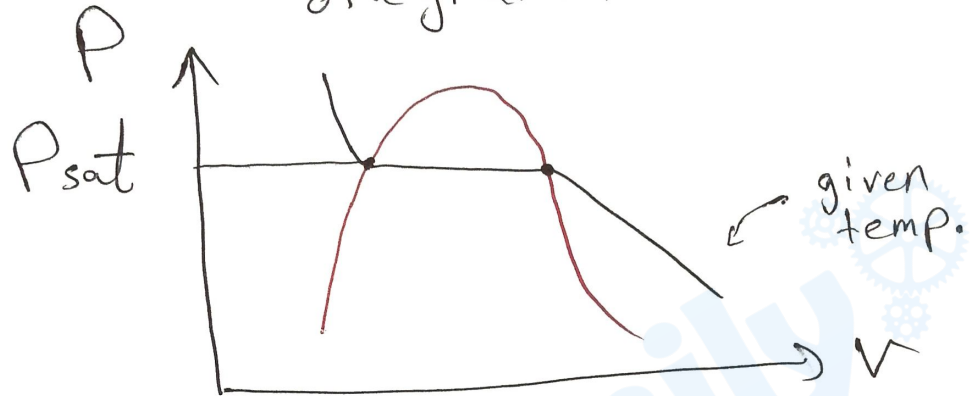


Mech Family  
 مركز التفسير

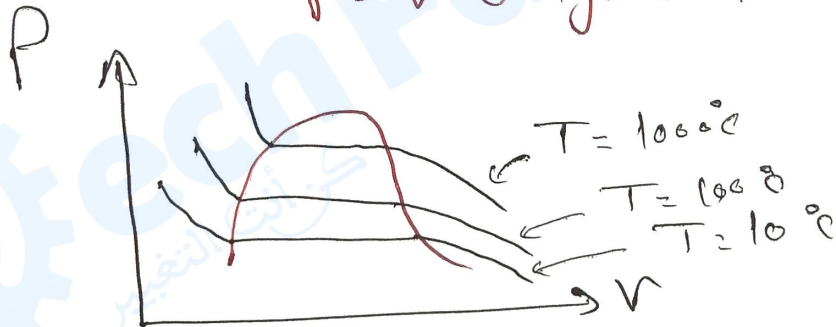
# Saturation pressure :-

It's the pressure at which a pure substance changes phase at a given temperature

Pressure - Specific volume diagram :-



constant temp. lines on P-v diagram :-



كل ما كانت الحرارة

أقل كانت

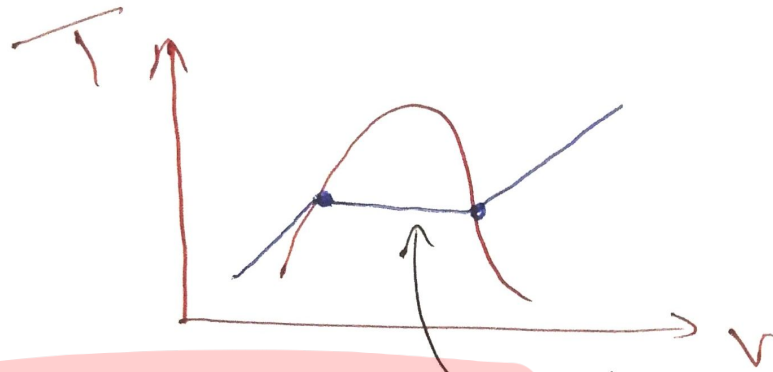
حالة التبخير  
أقل

$T_{sat}$  Low!

**sensible heat** :- It's the heat that causes a change in the temperature

**latent heat** :- It's the heat that doesn't cause any change in the temperature, but it causes a change in the phase

100°C  
100°C  
100°C  
vap  
liq



(sat. vapor) (sat. liquid) latent heat

\* كلما زاد الضغط، زادت  $T_{sat}$  وبالتالي

قلت latent heat



$T_{sat}$  &  $P$  \* كلما زاد الضغط، زاد  $T_{sat}$

$P-V$  diagram وينطبق أيضاً هذا الكلام على

$T \uparrow \uparrow$

$P_{sat} \uparrow \uparrow$

latent heat  $\downarrow \downarrow$

# Tables property:-

\* أي مائع في أي حاله يكون له خصائص معينه  
(لكل حاله خاصه)

\* state postulate

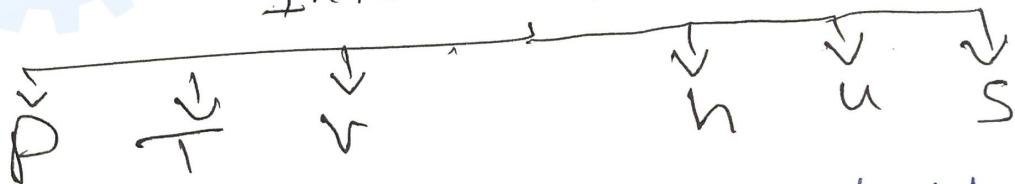
-: (ثلاثه خاصه الكماله)

\* The principle of state postulation says:-

any two independent intensive property will be enough to determine the other properties.

يعني اي خاصيتين intensive و independent  
سبعدها باقى خصائص الماده في الكماله الكبراه  
والمعناها.

Intensive properties



$$h = Pv + u$$

\*  $h$  is enthalpy and it has two meanings

\* one is for closed system which is **heat content**

\* The other is for open system and it will be discussed later.

## Important notes:-

\*  $P + T$  are dependent  
in the mixture state

if  $T_{sat}$  known  
also  $P_{sat}$  known  
and the conflict  
Right

\* At  $P$  we have  $T_{sat}$   
and at  $T$  we have  $P_{sat}$

\* So  $P + T$  are not enough  
to determine the other  
state's properties

---

\* First, we will discuss state postulation  
of pure substances (water + R-134a)

\* First step is to determine the  
state of the substance.

سائل (س)  $\Rightarrow$   
مختلطة (م) أو  
أبخرة (ب) أو  
أبخرة مشبعة (ب<sub>ش</sub>)

(compressed, mixture  
, superheated, saturated)

(is it compressed liquid?  
mixture? or superheated  
vapor?)

How does it done?

For water:-

we can go to table A-4  
or A-5

For R-134a:-

we can go to table A-11  
or A-12

\* In these tables, we have many rows and columns contain these intensive properties

\* And from these tables, we can know the state.

$v_f$  = specific volume of saturated liquid

$v_g$  = specific volume of saturated vapor

$$\underline{v_{fg}} = v_g - v_f$$

$h_f$  = enthalpy of saturated liquid

$h_g$  = enthalpy of saturated vapor

$h_{fg}$  = latent heat of vaporization  
( $h_g - h_f$ )

Sat Liq = Sat Vap

Comp Liq = Super Heat Vap

$u_f$  = internal energy of saturated liquid

$u_g$  = internal energy of sat. vapor

$$u_{fg} = u_g - u_f$$

كيفية التحقق وعرفه الحالة :-  
 إذا أعطاك مثلا  
 $P + T$

لدينا طريقتين :-

أما تثبيت  $T$  أو تثبيت  $P$

$T-v$   
 diagram

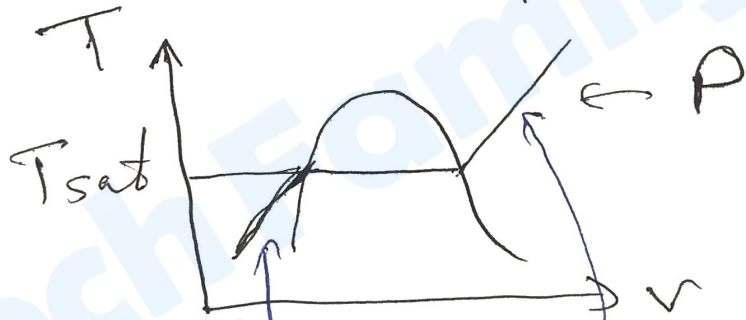
لو ثبتنا مثلا  $P$  هنا  $P$   $\rightarrow$

واللهاب لجول ال  $P$

A-5 for water

or A-12 for R-134a

ثم نجد ال  $P$  ونوجد  $T_{sat}$  من الجول



إذا كانت  $T$  في السؤال أقل من  $T_{sat}$

$(T < T_{sat})$  Compressed liquid

إذا كانت  $T$  أعلى من  $T_{sat}$

$(T > T_{sat})$  super heated

$$T = T_{sat}$$

فحينها

sat. liquid or mixture or

sat. vapor

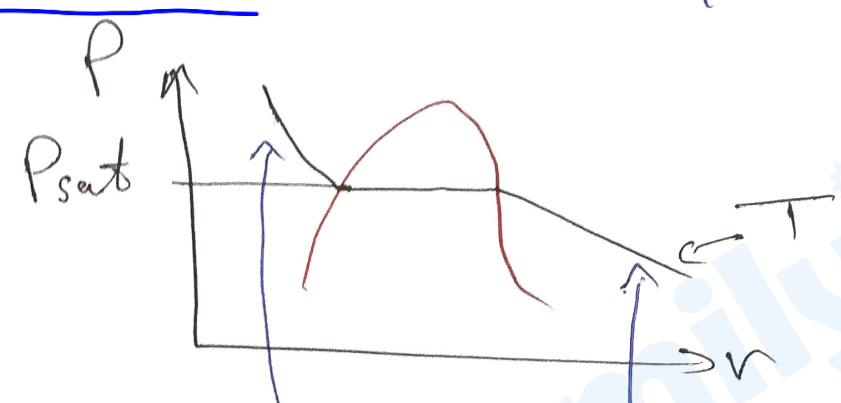
P-v diagram وإذا تبنا T فعلنا

وعلنا استعمال جدول ال T

A-4 for water

A-12 for R-134a

ثم نجد ال T في الجدول ونوجد Psat



إذا كان  $P > P_{sat}$   
فمن في ال compressed

وإذا كان  $P < P_{sat}$   
فمن في ال superheated

وإذا كان  $P = P_{sat}$   
فمن ال sat. liquid or mixture or sat. vapor

sat. liquid or mixture or sat. vapor

\* But if  $P$  or  $T$  is given with ( $v$  or  $u$  or  $s$  or  $h$ )

\* If  $P$  then we have to use pressure table

A-5 for water

A-12 for R-134

\* If  $T$  then we have to use temperature table

A-4 for water

A-11 for R-134a

After determining the table and the  $T$  or  $P$

that is given in the question:-

we look at the other property ( $u, v, h, u$ )

$u$  for example:-

\* if  $u < u_f @ T \text{ or } P$

then we are at compressed

\* if  $u_f < u < u_g$

we are at mixture

\* if  $u > u_g$

we are at superheated

Some examples:— (saturated liquid or vapor)

1- A rigid tank contains 50 kg of saturated liquid water at 90°C. Find pressure and volume of the tank

It's sat. liquid

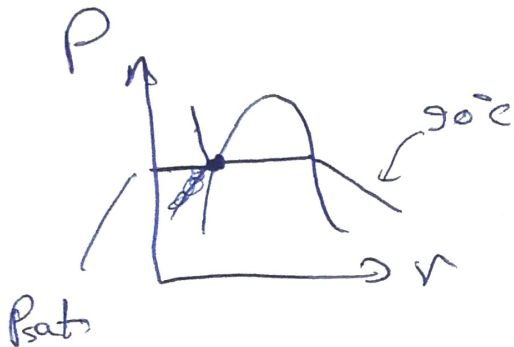
$$\text{so } v = v_f$$

$$\text{and } P = P_{\text{sat}} @ 90^\circ\text{C}$$

It's water

so we can go to table

A-4



$$P_{\text{sat}} @ 90 = 70.183 \text{ kPa}$$

$$\text{+ } v = v_f = 0.001036 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{so } V = v * m$$

$$= 0.001036 * 50$$

$$= 0.0518 \text{ m}^3$$

\* We have to use table A-5 because P is given.

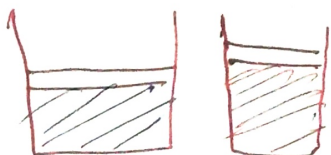
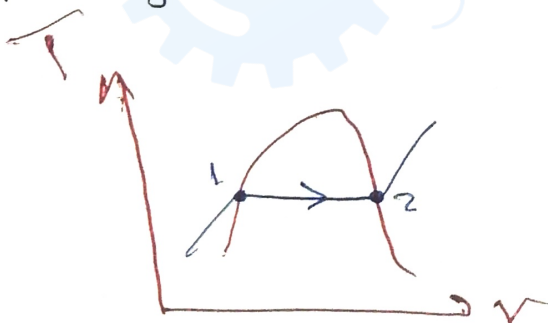
2- A mass of 200g of sat. liquid water is completely vaporized

at a constant pressure of 100 kPa

find change of volume and the amount of energy transferred to the water

It was sat. liquid and it's completely vaporized!

so in state 2, it's sat. vapor



at 100 kPa

state 1:—

$$V_1 = v_f m = 0.001043 * 0.2$$

$$= 0.0002086 \text{ m}^3$$

state 2:—

$$V_2 = v_g m = 1.6941 * 0.2$$

$$= 0.33882 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \Delta V &= V_2 - V_1 = 0.33882 - 0.0002086 \\
 &\approx 0.3386 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Amount of energy = latent heat

$$\equiv h_{fg}$$

$$\equiv h_{fg} m = 0.2 \times 2257.5$$

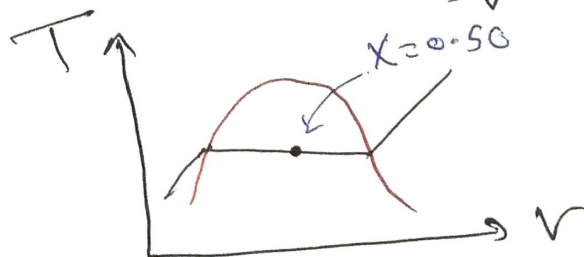
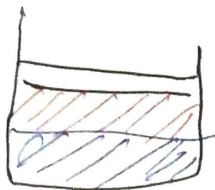
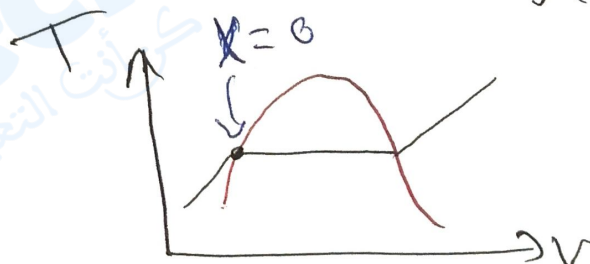
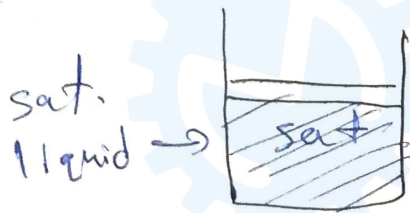
$$\approx 451.5 \text{ kJ}$$

at  
100 kPa

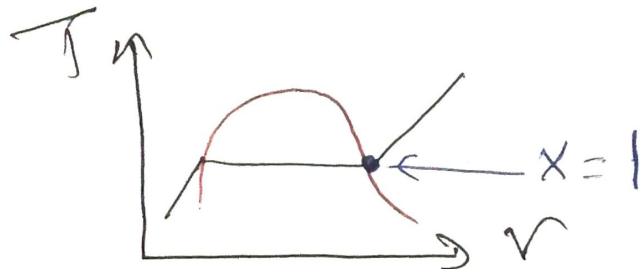
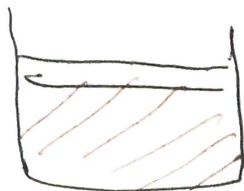
### Quality (x):-

It's the fraction of vapor contained in the system (mixture)

$$x = \frac{m_v \leftarrow \text{mass of vapor}}{m_v + m_f \leftarrow \text{mass of liquid}}$$



sat. vapor →



For mixtures:-

$$h = h_f + x h_{fg}$$

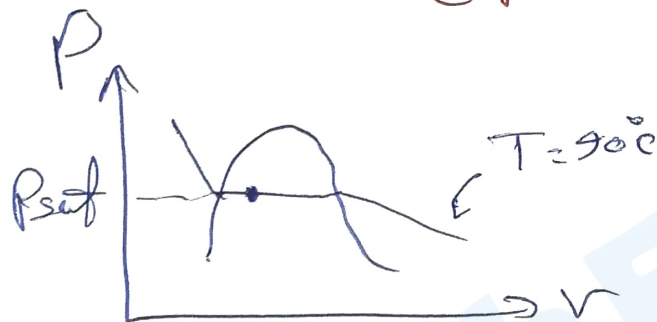
$$u = u_f + x u_{fg}$$

$$v = v_f + x v_{fg}$$

Some examples:-

1- A rigid tank contains 10 kg of water at  $90^\circ\text{C}$ , if 8 kg is in the liquid form and the rest is vapor find:-

- ① pressure      ② Volume of the tank



$$m_f = 8 \text{ kg}$$

$P = P_{\text{sat}} @ 90^\circ\text{C}$   
because it's mixture

$$\text{so } P = 70.183 \text{ kPa}$$

(from table A-4)

$$m_v = 10 - 8 = 2 \text{ kg}$$

$$x = \frac{m_v}{m_f + m_v} = \frac{2}{8 + 2} = 0.2$$

$$v = v_f + 0.2 (v_{fg})$$

$$v = 0.001036 + 0.2 (2.3893) = 0.47322 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V = m v = 4.7322 \text{ m}^3$$

2- An 80L vessel contains 4kg of R-134a at a pressure of 160kPa find:-

- ① Temperature
- ② quality
- ③ Enthalpy
- ④ volume occupied by the vapor.

First, we have to fix the state, given

$$P = 160 \text{ kPa}, V = 80 \times 10^{-3} = 0.08 \text{ m}^3$$

for R-134a

$\therefore P$  is given, then we have to go to table A-12

At  $P = 160 \text{ kPa}$  ( $T = -15.6^\circ\text{C}$ )

$$v_f = 0.0007435 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_g = 0.12355 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v = 0.02 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_f < v < v_g$$

so we are in mixture

so we have to apply:-

$$0.02 = 0.0007435 + x(0.12355 - 0.0007435) \quad \leftarrow v = v_f + x(v_g - v_f)$$



$$x = 0.157$$

$$h = h_f + x h_{fg}$$

$h_f + h_{fg}$  is found from table

A-12 at  $P = 160 \text{ kPa}$

$$h = 64.1 \text{ kJ/kg}$$

For volume of the vapor:-

$$V_g = m_g v_g$$

$$m_g = X m_{total} = 4 \times 0.157$$

$$= 0.6284 \text{ g}$$

$$V_g = 0.628 \times 0.12355 = 0.0776 \text{ m}^3$$

For compressed or subcooled liquid:-

If the state was compressed:-

For water

if  $P \geq 5 \text{ MPa}$

we have to use table

A-7

if  $P < 5 \text{ MPa}$

we have

to use

table A-4

A-4 is not

A-5 !!!

just A-4

, okay?

so that

$$h = h_f$$

$$v = v_f$$

$$u = u_f$$

$$s = s_f$$

For

R-134a

we have always

to use

A-11

(not A-12)

so that

$$h = h_f$$

$$v = v_f$$

$$s = s_f$$

$$u = u_f$$

## Example :-

Determine the internal energy of water at 5 MPa and  $80^{\circ}\text{C}$

First, we have to fix the state

we can fix  $T$

so we have to use table A-4



$$P_{\text{sat}} = 47.416 \text{ kPa}$$

$$P > P_{\text{sat}}$$

So it's compressed liquid

$$\therefore P = 5 \text{ MPa}$$

so we can use table A-7

A7 5 MPa and  $80^{\circ}\text{C}$

$$u = 333.82 \text{ kJ/kg.}$$

If the state is superheated

we have to transfer to:-

Table A-6 for water

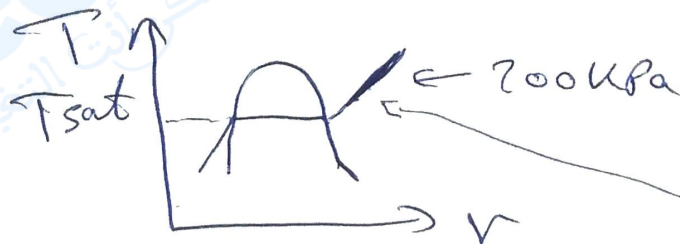
Table A-13 for R-134a

Example:-

Determine the internal energy of water at 200 kPa and 300°C

First, we have to fix the state

we can fix  $P = 200 \text{ kPa}$



from pressure table:-

(A-6)

$T_{\text{sat}} = 120.21^\circ\text{C}$   
at 200 kPa

$T > T_{\text{sat}}$

so the water is superheated vapor  
so we have to move to table  
A-6

$u @ 200 \text{ kPa}, 300^\circ\text{C} = 2808.8 \text{ kJ/kg}$

# Ideal gas :-

الغاز المثالي هو غاز ليديل لك ان يكون ضغطه منخفض ودرجة حرارته عالية وتكون جزيئاته منتشرة في الفراغ وبعيد عن بعضها وبالتالي كلما زادت درجة حراره الغاز وخطه زادت كثافته

$$\text{reduced pressure} \rightarrow P_r = \frac{P}{P_{cr}}$$

$$\text{reduced temperature} \rightarrow T_r = \frac{T}{T_{cr}}$$

$P_{cr}$  &  $T_{cr}$  are in table A-1 for different gases

شروط الغاز المثالي :-

$$1- P_r < 1$$

$$2- T_r > 2$$

\* In thermodynamics 1, we assume that the gas is ideal in all problems and questions.

# Ideal gas equations:-

$$Pv = RT$$

$m^3/kg$

$$PV = mRT$$

$m^3$

$$PV = N R_u T$$

moles

mass

$$N = \frac{m}{M}$$

molar mass

it's found in table A-1 for different gases

$R_u$

$$R_u = 8.31447 \text{ kJ/kmol}\cdot\text{K}$$

$R$  is the gas constant and it's found in table A-1 for different gases

End of chapter 3

# CHAPTER 4

## ENERGY ANALYSIS OF CLOSED SYSTEMS

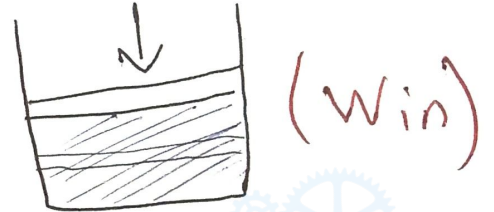
## Moving boundary work :-

It's the work associated with the moving of piston in piston cylinder device.

\* بحيث ان حركة المكبس  
للأسفل (compression) تصيف

للمائع طاقة تخزن فيه

(work done on system by surrounding)



\* وحركة المكبس للأعلى (expansion)

نتج من استخدام المائع لطاقته  
الداخلة لتتمكن جزئياته من دفع  
المكبس للأعلى

(work done by system on surrounding)



## Moving boundary work (W<sub>b</sub>):-

$$W_b = \int_{v_1}^{v_2} P dv \quad (\text{KJ/kg})$$

$W_b \equiv$  Area under P-v diagram.

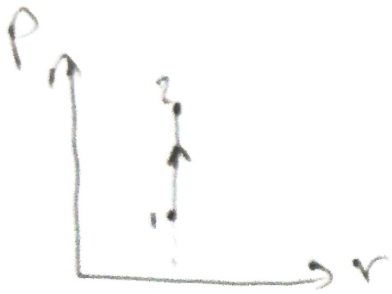
## Moving boundary work for different processes:-

1 - isochoric (isometric) process:-

$$v_1 = v_2$$

$$\text{So } W_b = \int_{v_1}^{v_2} P dv = 0$$

So  $W_b = 0$  for isochoric process (piston is fixed)



2 - isobaric process:-

$$W_b = \int_{v_1}^{v_2} P dv$$

$P \equiv \text{constant}$

$$\text{So } W_b = P \int_{v_1}^{v_2} dv = P(v_2 - v_1)$$

So  $W_b = P \Delta v$  for isobaric process

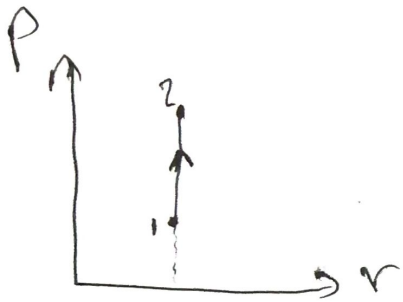
# Moving boundary work for different processes:-

1 - isochoric (isometric) process:-

$$v_1 = v_2$$

$$\text{So } W_b = \int_{v_1}^{v_2} P dv = 0$$

So  $W_b = 0$  for isochoric process (piston is fixed)



2 - isobaric process:-

$$W_b = \int_{v_1}^{v_2} P dv$$

$P \equiv \text{constant}$

$$\text{So } W_b = P \int_{v_1}^{v_2} dv = P(v_2 - v_1)$$

So  $W_b = P \Delta v$  for isobaric process

3 - Isothermal process of an ideal gas :-

for ideal gas when  $T$  is constant :-

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

so  $P V = C$  (constant)

$\leftarrow$   $P V = C$

$= P_1 V_1$  OR  $P_2 V_2$

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

$$P = \frac{C}{V}$$

$$W_b = \int_{V_1}^{V_2} \frac{C}{V} dV = C \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV$$

$$W_b = C \ln \frac{V_2}{V_1}$$

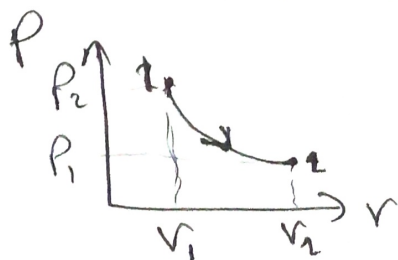
so that  $C = P_1 V_1$  OR  $C = P_2 V_2$

4 - Polytropic process :-

$$P V^n = \text{constant}$$

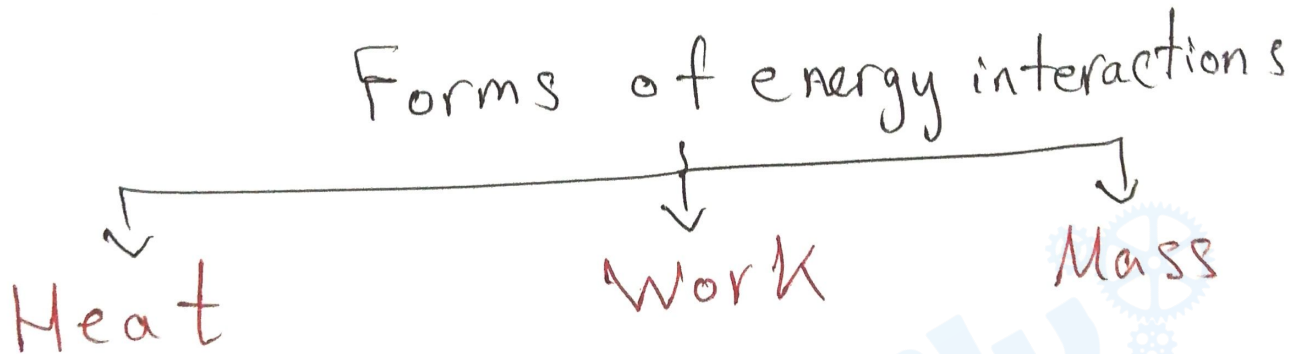
$$P_1 V_1^n = P_2 V_2^n$$

$$W_b = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - n} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1 - n}$$



# First law of thermodynamics:-

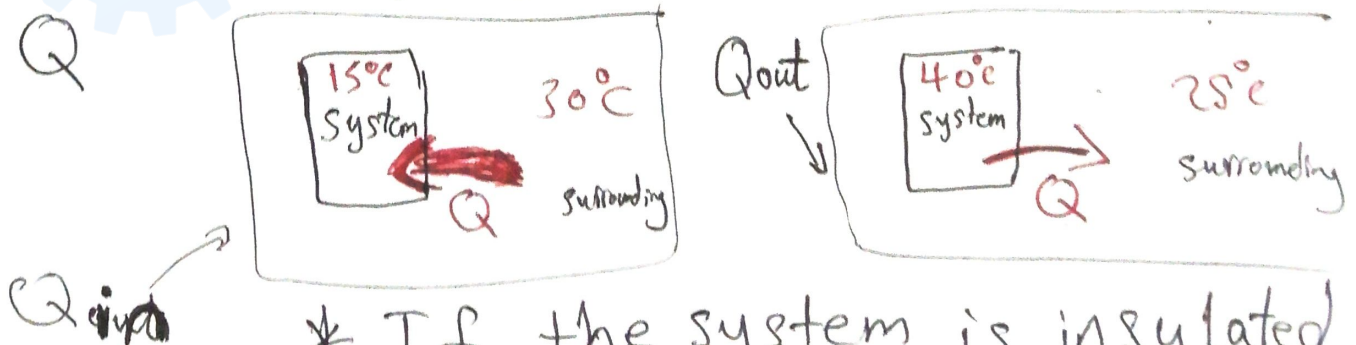
\* Energy can be converted from one form to another, but the total amount of energy remains constant.



## 1 - Heat:-

\* Heat is a form of energy and it's represented by  $Q$

\* When there is a temperature difference between the system and the surrounding, there will be heat transfer from the hot medium to the cold one



\* If the system is insulated, so there will not be heat transfer ( $Q = 0$ )

## 2- Work

### Work Types

#### Boundary work

- \* Just if the system is piston cylinder
- \* if expansion it's Wout
- \* if compression it's Win

#### Others

- Electric work (like heater)
- shaft work
- Baddle work
- \* They are all Win if the system is closed

$$W_{\text{electric}} = I v t$$

\* Win if the work is done on system

\* Wout if the work is done by system.

### 3- Mass

\* When an amount of mass transfers to or from a system, an amount of energy will be transferred to or from the system

\* If the system is closed, so no mass can transfer to or from it, so no energy will be added or removed from the system by mass

---

Energy balance equation (first law formula)

---

$$\begin{array}{l} \text{energy} \\ \text{entered} \\ \text{the} \\ \text{system} \end{array} \rightarrow E_{in} - E_{out} = \Delta E_{\text{system}}$$

↑ energy  
leaved  
the  
system

↑ The change  
in the  
energy content  
of the  
system

\* If  $\Delta E_{\text{system}}$  is  $\oplus \Rightarrow E_{in} > E_{out}$   
 $\Rightarrow$  means energy added to the system

\* If  $\Delta E_{\text{system}}$  is  $\ominus \Rightarrow E_{\text{in}} < E_{\text{out}}$   
 $\Rightarrow$  Means that energy is lost.

$$\Delta E_{\text{system}} = \Delta U + \Delta P.E + \Delta K.E$$

Changes in  
 kinetic and  
 potential  
 energies.

so

$$E_{\text{in}} - E_{\text{out}} = \Delta U + \Delta P.E + \Delta K.E$$

\* In thermodynamics, we always deal  
 with stationary systems (ثابتة)  
 , so  $\Delta P.E + \Delta K.E = 0$

$$E_{\text{in}} - E_{\text{out}} = \Delta U$$

$$\begin{aligned} & (W_{\text{in}} + Q_{\text{in}} + \sum (\text{Energy by mass})_{\text{in}}) \leftarrow E_{\text{in}} \\ & - (W_{\text{out}} + Q_{\text{out}} + \sum (\text{Energy by mass})_{\text{out}}) \\ & = \Delta U \end{aligned}$$

$E_{\text{out}}$

If the system is closed :-

$$\sum (\text{Energy by mass})_{in} - \sum (\text{Energy by mass})_{out}$$

$$\equiv 0$$

So the energy balance equation of a closed system becomes :-

$$(Q_{in} + W_{in}) - (Q_{out} + W_{out}) = \Delta U$$

Specific Heats :-

**specific heat** :- It's the amount of heat needed to raise the temperature of 1kg of the substance by 1 Kelvin.

الكمية الحرارية اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كجم من المادة بدرجة واحدة.

\* كل مادة لها نوعان من الحرارة النوعية

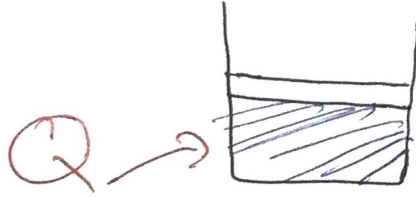
\* We have two types of specific heat :-



$C_p$ : - It represents the amount of heat that we have to add at constant pressure to increase the  $T$  by  $1K$



كمية الحرارة اللازم  
إضافتها ~~في~~ على  
حفظ ثابت لرفع  
درجة حرارة المادة  
درجة واحدة

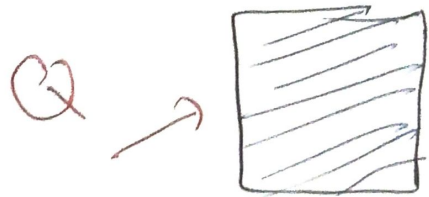


$P \equiv \text{constant}$   
because  
 $P_{atm}$  and  
the weight  
of the  
piston are  
constant

$C_v$ : - It represents the amount of heat that we have to add at constant volume to increase the  $T$  by  $1K$



كمية الحرارة  
اللازم إضافتها  
على حجم ثابت  
لرفع درجة الحرارة  
درجة واحدة



$V \equiv \text{constant}$

$$[C_p \text{ and } C_v] = \text{KJ/Kg.K}$$

\*  $C_p$  and  $C_v$  are function of  $T$  and they can be found in table A-2 b at different temperatures for different gases and in table A-2 a just at  $300K$ .

# Enthalpy and Internal energy of ideal gases

\* First, we have to know that enthalpy and internal energy are function of temperature only for ideal gases

$$C_p = R + C_v$$

$$k = \frac{C_p}{C_v}$$

$$C_p > C_v$$

$$h = h(T) \quad u = u(T)$$

for ideal gases.

$$h = C_p T \quad u = C_v T$$

for ideal gases

$$\Delta h = C_p \Delta T \quad \Delta u = C_v \Delta T$$

which  $C_v$  &  $C_p$  that we have to use in these equations??

It depends on the question  
يعتمد على السؤال

يمكن يطلب فرض ان  $C_p$  و  $C_v$  ان بيتان عن درجه

الحراره في المثال ① (T1)

فتوجد هات من الجواب اول

وفي بعض الاسئلة يطلبها عند 300K

فتوجد هاتين جدول A-2a

وفي بعض الاسئلة (الغالب) علينا ان نستخدم  $C_{P\text{average}}$

يعني إما متوسط

$$T_{\text{average}} = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

ثم نوجد  $C_p$  و  $C_v$  عندهما

جدول A-26

او نوجد  $C_p$  و  $C_v$  عند  $T_1$  و عند  $T_2$

$$C_{v\text{average}} = \frac{C_{v1} + C_{v2}}{2}$$

$$C_{p\text{average}} = \frac{C_{p1} + C_{p2}}{2}$$

الطريقة الاخرى لايجاد  $h$  او  $U$  عند

اي حرارة هي من جداول الغازات

A-17 To A-22

فهذه الجداول تعطي  $U$  و  $h$  عند

كل حرارة

لكن تنبيه ان من A-18 الى A-22

تكون  $U$  و  $h$  بوحدة  $\text{kJ/kmol}$

molar  
mass



At A-1

قسطه ان تقسم على الـ

لتحويلها الى  $VJ/kg$

End of chapter 4

---



CHAPTER  
5

MASS AND ENERGY  
ANALYSIS OF  
CONTROL VOLUMES

# Mass and volume flow rates:-

Mass flow rate:- The amount of mass flowing through a cross section per unit time

عدد الكيلوجرامات التي تقطع (تتدفق) خلال مقطع معين خلال وحدة من الزمن

لو فرضنا ان لدينا ماسوره لها مساحة مقطعية معينة  $A_c$  ، وكان هناك مائع له كثافه  $\rho$  تتدفق خلال هذه الماسوره بسرعه متوسطه  $V_{avg}$

يكون المعدل الزمني لتدفق هذا المائع (mass flow rate) :-

$$\text{mass flow rate} \rightarrow \dot{m} = \rho \cdot V_{avg} \cdot A_c$$

$\uparrow$                        $\uparrow$                        $\uparrow$   
 $\text{kg/m}^3$                        $\text{m/s}$                        $\text{m}^2$

$$[\dot{m}] = \text{kg/s}$$

kg يمسر كل ثانيه

If we have a circular cross section:-



$$A_c = \frac{\pi}{4} D^2$$

## Volume flow rate:-

It's the volume of the fluid flowing through a cross section per unit time

كم متر مكعب في الثانية -  $m^3/s$  - مقدار المائع خلال زمن معين

$$m^3/s \rightarrow \dot{V} = v_{avg} A_c$$

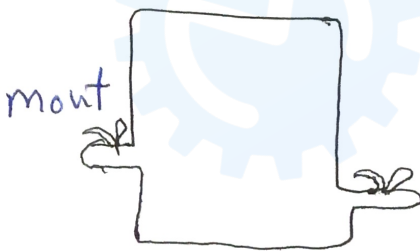
$\uparrow$   $m/s$        $\uparrow$   $m^2$

So

$$\dot{m} = \rho \dot{V}$$
$$\dot{m} = \rho v_{avg} A_c$$

## Conservation of mass principle:-

$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \Delta \dot{m}_{system}$$



$$\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = \Delta \dot{m}_{system}$$

معدل المدخل - معدل المخرج = معدل تغير كتلة النظام

(مثلا كتلة المياه بجزيرة بيقدم - او بيقبل)

# Mass balance of steady flow devices:-

## Steady flow devices:-

هذه هي أنواع الـ control volumes والتي تتميز بالحدود من الخصائص منها :-

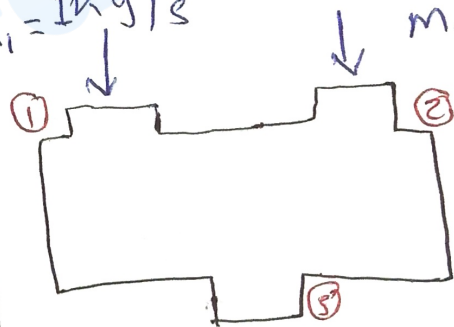
$$\sum_{in} \dot{m} = \sum_{out} \dot{m}$$

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \quad \Delta \dot{m}_{system} = 0$$

\* في هذه الأجهزة هناك كتل تدخل وتخرج

بنفس الوقت، وجميع الكتل الداخلة = مجموع الكتل الخارجة

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out}$$



$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = 1 + 3 = 4 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$$

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

Single Stream (مدخل واحد و مخرج واحد)

$$\left( \rho_1 v_1 A_1 + \rho_2 v_2 A_2 + \rho_3 v_3 A_3 \dots \right)_{in} = \left( \rho_1 v_1 A_1 + \rho_2 v_2 A_2 + \dots \right)_{out}$$

## Special case (Incompressible flow)

\* The incompressible fluids like liquids, have constant densities.

$$\rho \approx \text{constant}$$

so if an incompressible fluid flows through a steady flow device:-

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

$$\rho_1 \approx \rho_2$$

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2$$

$$\sum \dot{V}_{in} = \sum \dot{V}_{out}$$

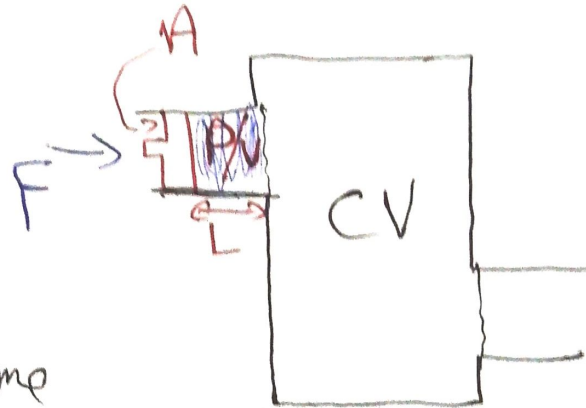
# Flow work :-

$$W = FL$$

$$W = PAL$$

$$W = PV$$

↑ flow work  
↑ Pressure  
↑ volume



Any flowing fluid carries a type of energy called flow energy

---

Total energy carried by any flowing fluid :-

$$E_{\text{mass (fluid)}} = W_{\text{flow}} + U + K.E + P.E$$

$$E_{\text{mass (fluid)}} = PV + U + \frac{1}{2}mV^2 + mgh$$
$$Pv + U = h$$

$$E_{\text{mass (fluid)}} = h + K.E + P.E$$

$$\dot{E}_{\text{mass}} = \dot{m} (h + P.E + K.E)$$

rate of energy transferred to or from a system by mass (Power)  
(kJ/s = kW)

kJ/kg    kJ/kg    kJ/kg

P.E =  $gh$   
K.E =  $\frac{1}{2}v^2$

## Open systems (control volumes)

Steady flow systems      unsteady flow systems

1 - steady flow systems:-

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

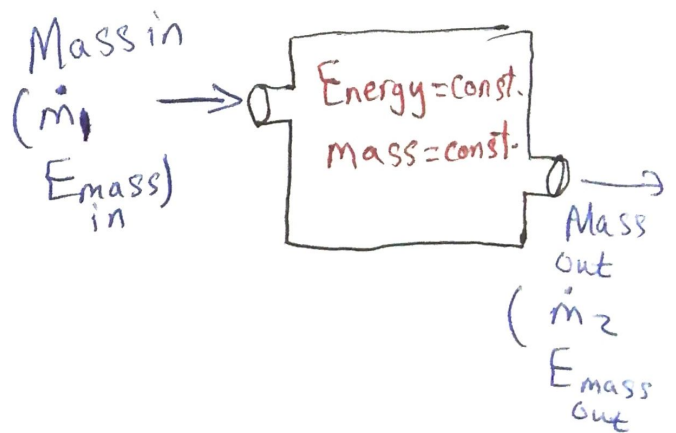
$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

$$\Delta \dot{E}_{\text{system}} = 0$$

$$\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}} = 0$$

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}}$$

$$(\dot{Q}_{\text{in}} + \dot{W}_{\text{in}} + \sum \dot{E}_{\text{mass in}}) = (\dot{Q}_{\text{out}} + \dot{W}_{\text{out}} + \sum \dot{E}_{\text{mass out}})$$



$$\sum \dot{E}_{\text{mass in}} = \dot{m}_1 (h_{\text{in}} + K \cdot E_{\text{in}} + P \cdot E_{\text{in}})$$

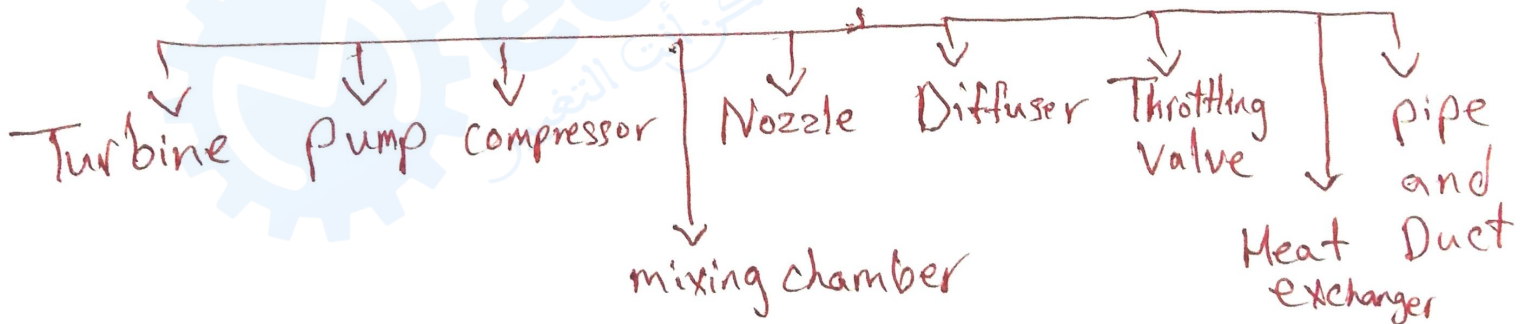
$$\dot{Q}_{\text{in}} + \dot{W}_{\text{in}} + \sum \dot{m}_1 (h_{\text{in}} + K \cdot E_{\text{in}} + P \cdot E_{\text{in}})$$

$$= \dot{Q}_{\text{out}} + \dot{W}_{\text{out}} + \sum \dot{m}_2 (h_{\text{out}} + K \cdot E_{\text{out}} + P \cdot E_{\text{out}})$$

$$(\dot{Q}_{\text{in}} + \dot{W}_{\text{in}}) - (\dot{Q}_{\text{out}} + \dot{W}_{\text{out}}) = \dot{m} (\Delta h + \Delta P \cdot E + \Delta K \cdot E)$$

for steady flow systems (single inlet and outlet)

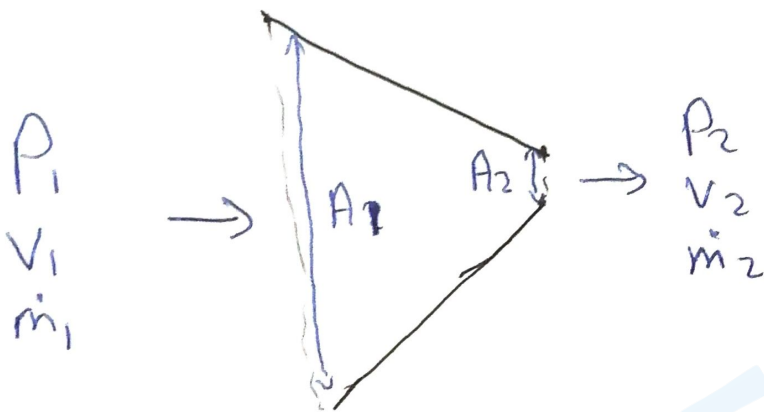
## Types of engineering steady flow devices



# 1- Nozzle and Diffuser :-

## Nozzle :-

It's a steady flow device used to increase the velocity of the fluid by decreasing its pressure.



$$P_2 < P_1$$

$$V_2 > V_1$$

$$A_2 < A_1$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

## First law :-

$$(\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in}) - (\dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out}) = \dot{m} (\Delta h + \Delta P.E + \Delta K.E)$$

mainly —

$$\left[ \begin{array}{l} \dot{Q}_{in} = \dot{Q}_{out} = 0 \\ \dot{W}_{in} = \dot{W}_{out} = 0 \\ \Delta P.E = 0 \end{array} \right.$$

$$0 = \dot{m} (\Delta h + \Delta K.E)$$

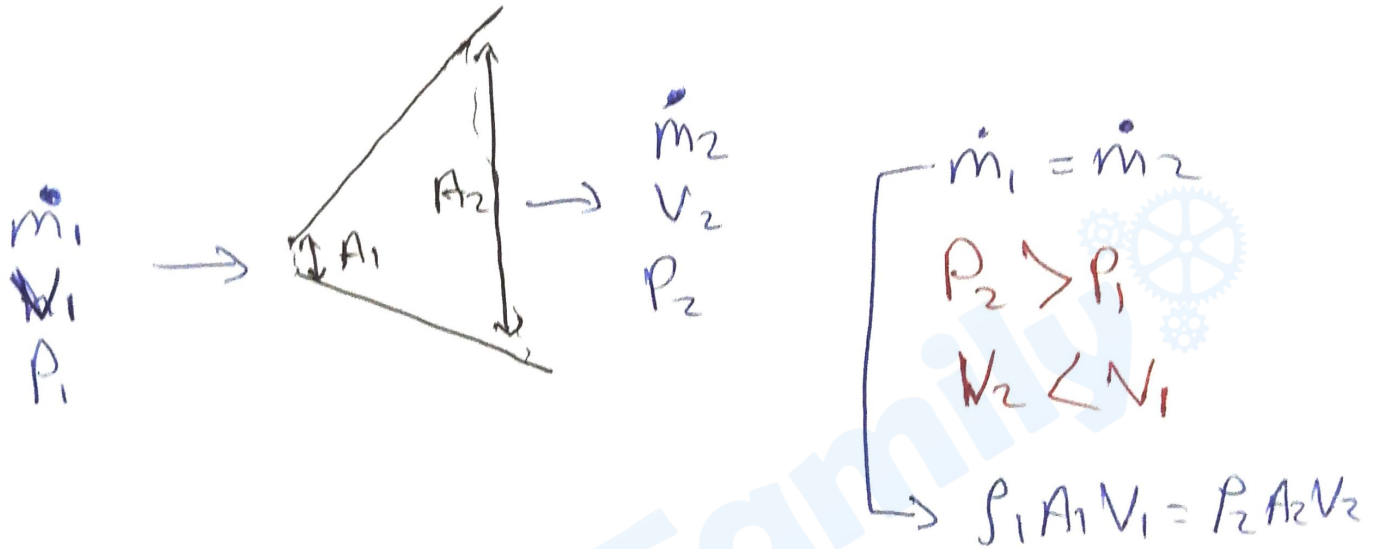
$$\dot{m} (-h_2 + h_1) = \dot{m} (K.E_2 - K.E_1)$$

$$-\dot{m} h_2 + \dot{m} h_1 = \dot{m} K.E_2 - \dot{m} K.E_1$$

$$\dot{m} (h_{in} + \frac{1}{2} V_{in}^2) = \dot{m} (h_{out} + \frac{1}{2} V_{out}^2)$$

## Diffuser

It's a steady flow device that increases the pressure of the fluid by decreasing its velocity



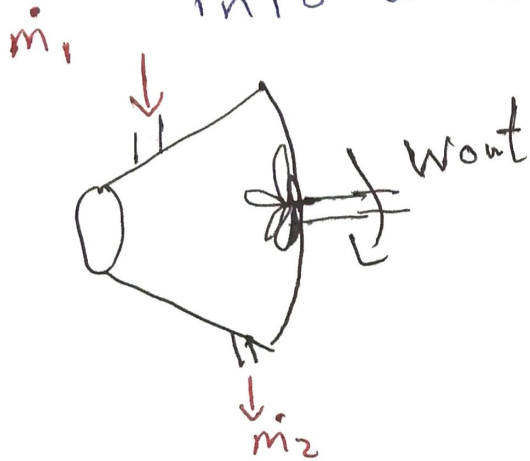
## First law

$$E_{in} = E_{out}$$

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{m} (h_{in} + K \cdot E_{in} + P \cdot E_{in}) = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \dot{m} (h_{out} + K \cdot E_{out} + P \cdot E_{out})$$
$$\dot{m} h_{in} + \frac{1}{2} \dot{m} V_{in}^2 = \dot{m} h_{out} + \frac{1}{2} \dot{m} V_{out}^2$$

## 2 - Turbine :-

It's a steady flow device that converts the energy of the fluid into a shaft work



$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

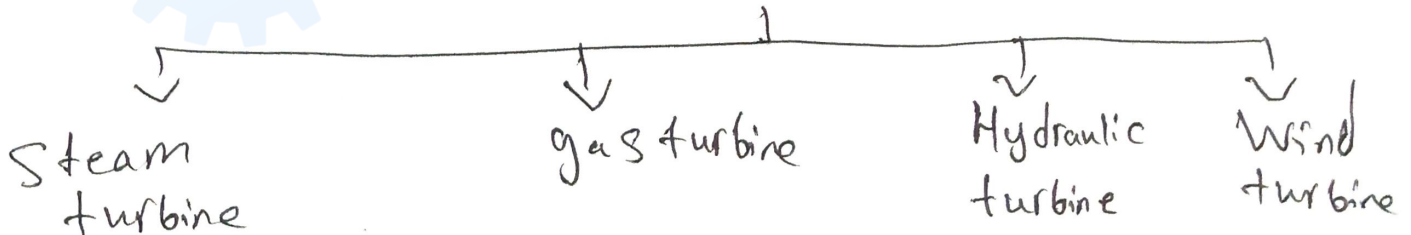
First law analysis:-

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{m} (k \cdot \dot{E}_{in} + h_{in} + P \cdot \dot{E}_{in}) \\ = \dot{W}_{out} + \dot{Q}_{out} + \dot{m} (k \cdot \dot{E}_{out} + h_{out} + P \cdot \dot{E}_{out}) \end{aligned}$$

$$\dot{m} (h_{in}) = \dot{W}_{out} + \dot{m} (h_{out})$$

We have many types of turbines




In thermodynamics, we just study steam and gas turbines.

## 3 - Compressor and pump

### Compressor :-

It's a device that is used to compress (increase the pressure) of gases by consuming work

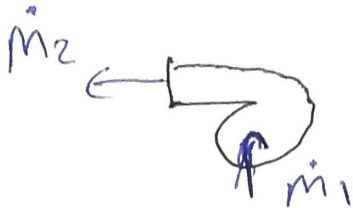
$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\cancel{\dot{Q}_{in}} + \cancel{\dot{W}_{in}} + \dot{m} (P_{in} E_{in} + U_{in} E_{in} + h_{in}) + \cancel{\dot{W}_{in}} = \cancel{\dot{Q}_{out}} + \cancel{\dot{W}_{out}} + \dot{m} (P_{out} E_{out} + U_{out} E_{out} + h_{out})$$


$$\dot{W}_{in} + \dot{m} h_{in} = \dot{m} h_{out}$$

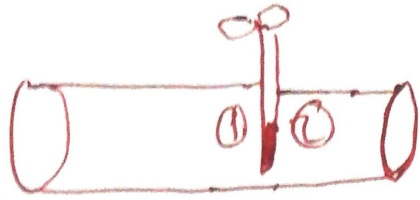
### pump :-

It's a device that is used to compress (increase the pressure) of liquids by consuming work



$$\dot{W}_{in} + \dot{m} h_{in} = \dot{m} h_{out}$$

# 4 - Throttling valve



It's a device that decreases the pressure of the fluid and contains a constant enthalpy process

Energy analysis's

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{m}(h_{in} + P \cdot \dot{E}_{in} + \dot{K} \cdot \dot{E}_{in}) = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \dot{m}(h_{out} + P \cdot \dot{E}_{in} + \dot{K} \cdot \dot{E}_{out})$$

\* It's mainly used in air conditioning applications

$$h_{in} = h_{out}$$

$$P = \text{constant}$$

$$\text{so } T_2 < T_1$$

Some types

Adjustable valve



Porous plug



Capillary tube



In ideal gases:-

$$h(T)$$

$$h_1 = h_2$$

so

$$T_1 = T_2$$

# 5 - Mixing chamber

It's a device that is used to mix fluids.



\* An important example

is shower

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out}$$

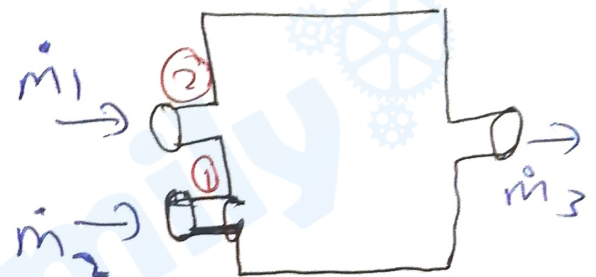
$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\dot{Q}_{int} + \dot{W}_{in} + \sum_{in} \dot{m}_i (h_i + P_i \epsilon_i + K_i \epsilon_i)$$

$$= \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \sum \dot{m}_{out}$$

$$(h_{out} + P \cdot \epsilon_{out} + K \cdot \epsilon_{out})$$

$P_1 \approx P_2 \approx P_3$

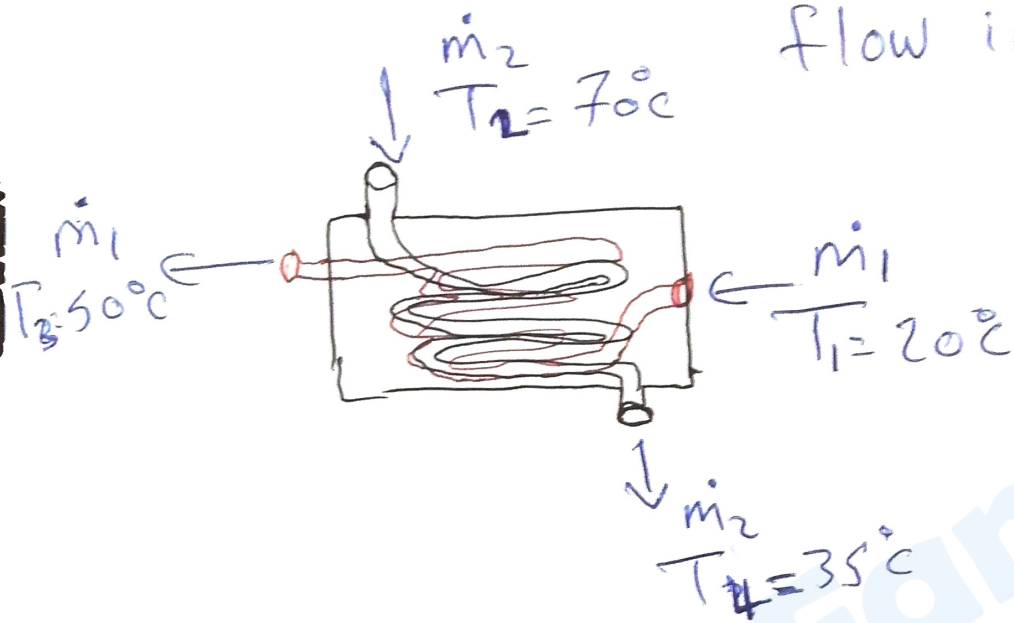


$$\sum \dot{m}_{in} h_{in} = \sum \dot{m}_{out} h_{out}$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3$$

## 6-Heat exchanger :-

It's a device that is used to transfer heat between two fluids flow in two streams



$$\dot{m}_1 = \dot{m}_1$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_2$$

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\cancel{\dot{Q}_{in}} + \cancel{\dot{W}_{in}} + \sum \dot{m} (\cancel{K.E}_{in} + \cancel{h}_{in} + \cancel{P.E}_{in}) = \cancel{\dot{Q}_{out}} + \cancel{\dot{W}_{out}} + \sum \dot{m} (\cancel{K.E}_{out} + \cancel{h}_{out} + \cancel{P.E}_{out})$$

$$\sum_{in} \dot{m} (h_{in}) = \sum_{out} \dot{m} (h_{out} + h_{out})$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_1 h_3 + \dot{m}_2 h_4$$

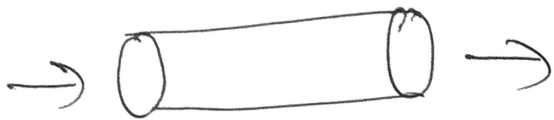
Q between two stream

$$= \dot{m}_1 (h_3 - h_1) = \dot{m}_2 (h_4 - h_2)$$

## 7- Pipe and duct

They are used to transport fluids.

\* The difference between them is that the pipe has a circular cross section, while duct has rectangular cross section



\* They can contain any type of energy interactions

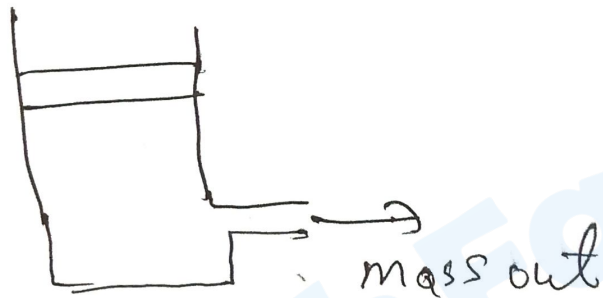
$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{m} (h_{in} + K \cdot E_{in} + P \cdot E_{in})$$

$$= \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \dot{m} (h_{out} + K \cdot E_{out} + P \cdot E_{out})$$

# Unsteady flow system:-

It just contains either  
mass in or mass out



$$E_{in} - E_{out} = E_2 - E_1$$

$$m_{in} - m_{out} = \Delta m_{system}$$

$$m_2 - m_1$$

End of chapter 5

CHAPTER

6

# THE SECOND LAW OF THERMODYNAMICS

# Efficiency الكفاءة

$$\eta = \frac{\text{output} \leftarrow \text{الناتج}}{\text{input} \leftarrow \text{المصرف}}$$

تعبير عن النسبة المستخدمة  
من الشيء والمصرف

$$\eta = \frac{\text{Heat}}{\text{electrical energy}}$$

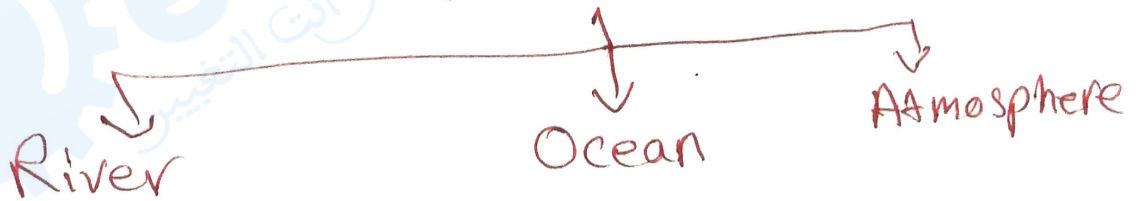
الكفاءة  $\Rightarrow$  الكفاءة

# Reservoirs:-

They are systems that have very large thermal energy capacity (mass  $\times$  specific heat) or heat capacity

هي أنظمة لها سعة حرارية كبيرة جدا  
نظرا ان مقدار الطاقة الحرارية اللازم لرفع درجة حرارتها درجة واحدة تكون كبيرة جدا  
جدا وهذه السعة الحرارية الكبيرة تأتي من كتلتها أو حجمها الضخم

Some examples of reservoirs:-



\* مثلا تسخين ولاحه في الجو لن تزيد من درجة حرارته ابدا

\* في كوب شاي ساخن في نهر لن يؤثر على درجة حرارته

(It's just a latent heat)

## Second law of thermodynamics 1-

1 - Any process occur in a certain direction and not in the reverse direction.

Ex: Heat transfers from the hotter medium to the colder one, not the opposite.

2 - Higher quality (like work) energy can be converted totally to lower quality (like heat), but ~~part~~ part of lower quality can be converted to higher quality.

3 - No heat engine with  $\eta = 100\%$

Ex:-

Electric heater

(input = electric work)

output = heat

so its efficiency  $\approx 100\%$

Car engine

(input = heat)

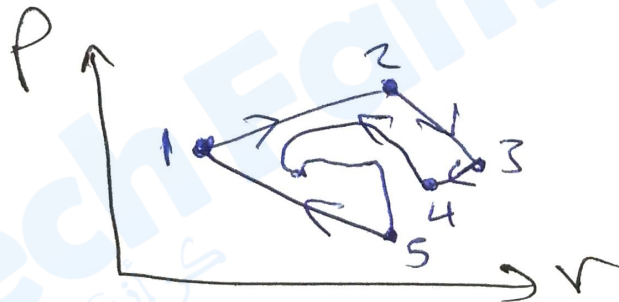
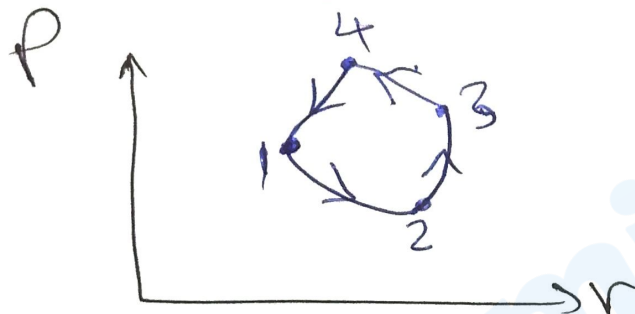
output = electric work

so its efficiency  $< 100\%$

# Cycle:-

It represents a set of processes done that the first state = final state

تعبير عن عمليات ميكانيكية بحيث تكون الحالة الابتدائية = الحالة النهائية



Cycles

Thermodynamic cycles

The working fluid is recycled

in each cycle (same fluid)

Mechanical cycles

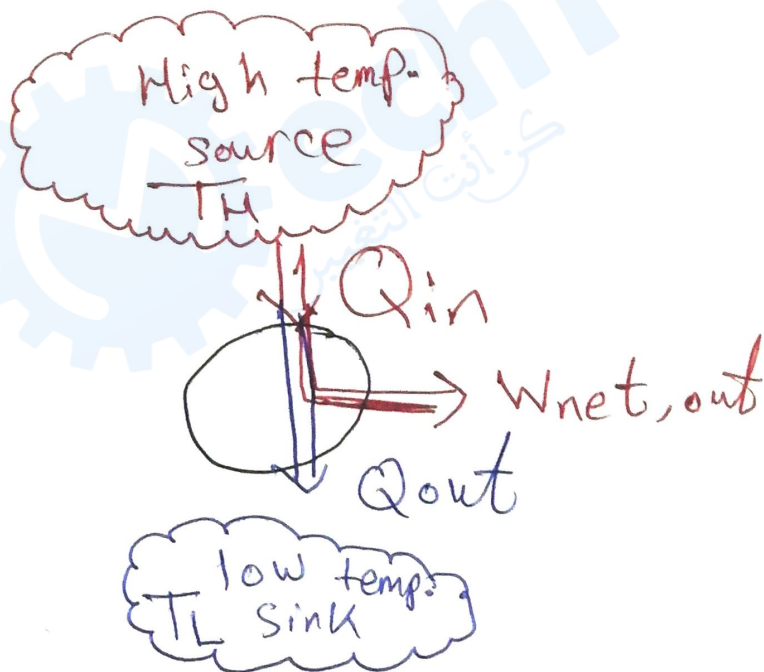
The working fluid is rejected at the end of the cycle and a new fluid enters the cycle when a new cycle starts

# Heat engine :-

It's a device that receives heat from a heat source and converts part of it into work and the other part is rejected to a heat sink.

جهاز يستقبل حراره (طاقة حرارية)  $Q_{in}$  من مصدر حراره عاليه ويحول جزء من هذه الطاقة الى شغل والجزء الاخر يتم التخليص منه.

\* Heat engine works on thermodynamic cycle



\* Car engine is not a heat engine because it works on a mechanical cycle

\* Steam power plant is an example of heat engines.

# Steam powerplant :-

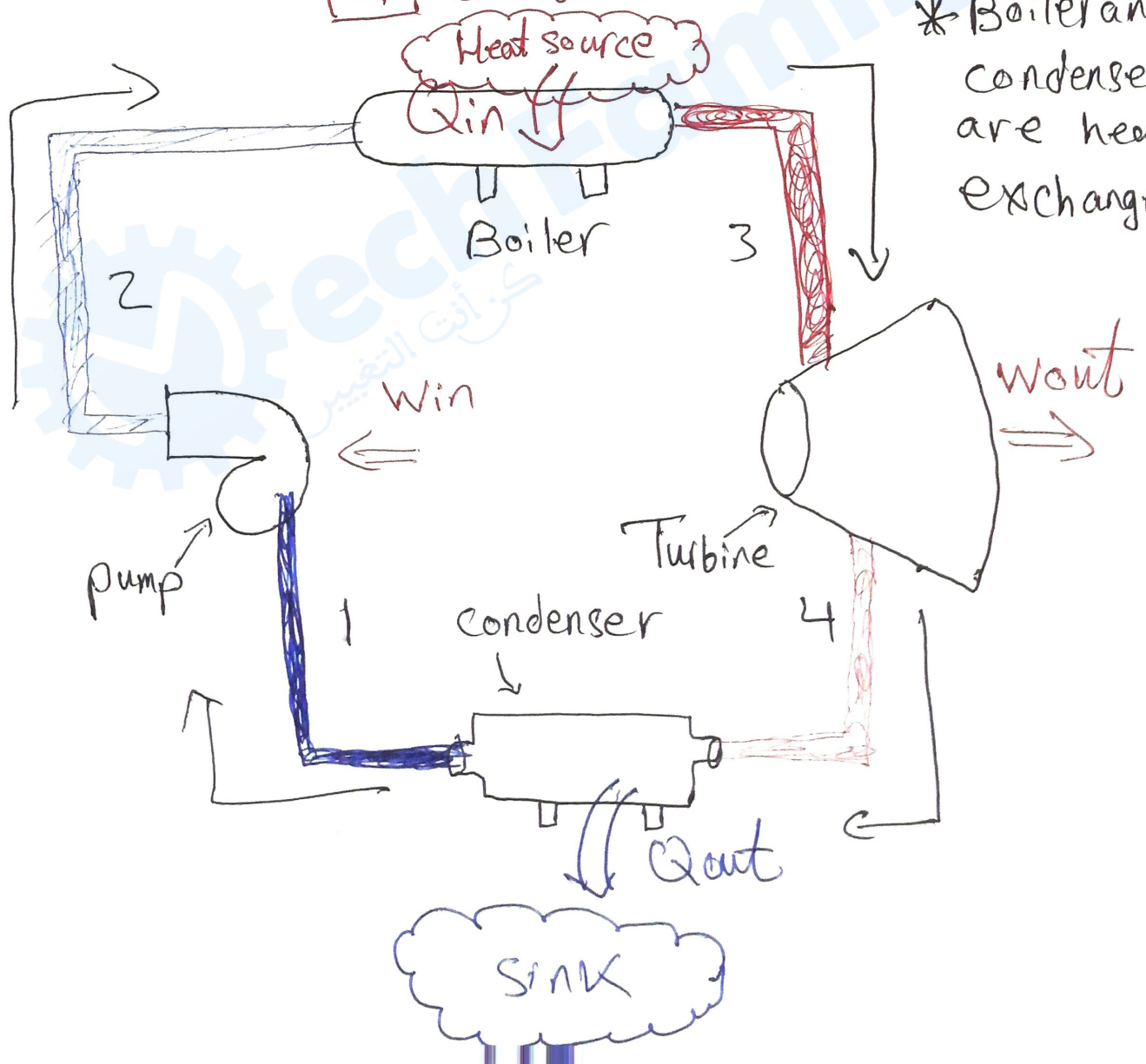
دورة كارنو cycle في اجهزة  
الطاقة (4 processes)  
الاجزاء

اجزاء (4 components) في اجهزة

- 1 pump
- 2 Boiler
- 3 Turbine
- 4 condenser

\* The working fluid is water.

\* Boiler and condenser are heat exchangers



processes :-

(1-2): Compression of a liquid  
by a pump ( $W_{in}$ )

(2-3): Heat addition in  
a boiler ( $Q_{in}$ )

(3-4): The steam do a work  
inside the turbine  
( $W_{out}$ )

(4-1): Heat is rejected by  
a condenser.

the cycle is considered  
as a closed system :-

$$(Q_{in} + W_{in}) - (Q_{out} + W_{out}) = \Delta U$$

Through a complete  
cycle:-  $\Delta U = 0$

$$Q_{in} + W_{in} - Q_{out} - W_{out} = 0$$

$$Q_{in} - Q_{out} = W_{out} - W_{in}$$

$$\boxed{Q_{in} - Q_{out} = W_{net}}$$

# Thermal efficiency:-

$$\eta_{th} = \frac{\text{output} \leftarrow \text{مخرج}}{\text{input} \leftarrow \text{مدخل}}$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}}$$

$$\eta_{th} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

\*  $\eta_{th}$  تعبر عن كم بالقياس من الحرارة،

التي تم تحويلها إلى عمل

$$Q_{in} = Q_H$$

$$Q_{out} = Q_L$$

High temp. reservoir at  $T_H$

$Q_H$

H.E  $\rightarrow$   $W_{net, out}$

$Q_L$

Low temp. reservoir at  $T_L$

$$W_{net, out} = Q_H - Q_L$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

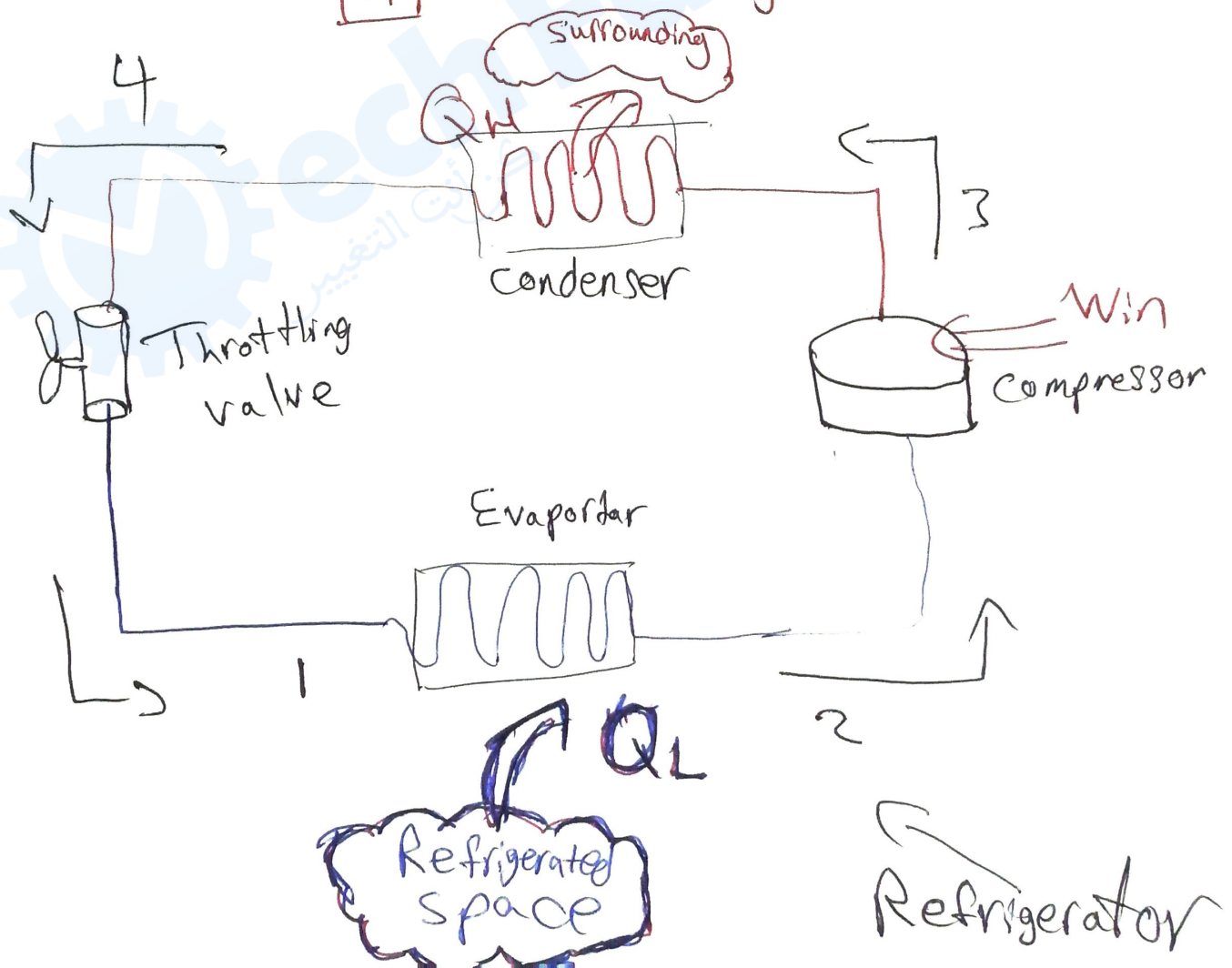
# Refrigerators and Heat Pumps

\* أجهزة التكييف والتبريد والتدفئة  
 بشكل عام تعمل على دورة cycles

\* The cycle contains :-

\* R-134a is used as a working fluid

- 1 Evaporator
- 2 compressor
- 3 Condenser
- 4 Throttling valve



## Processes:-

(1-2) Absorbing heat from the refrigerated space ( $Q_L$ )

(2-3) compressing the fluid by consuming work ( $W_{in}$ )

(3-4) rejecting the absorbed heat to the surrounding ( $Q_H$ )

(4-1) Expansion by a throttle valve

---

$$(Q_{in} + W_{in}) - (W_{out} + Q_{out}) = 0$$

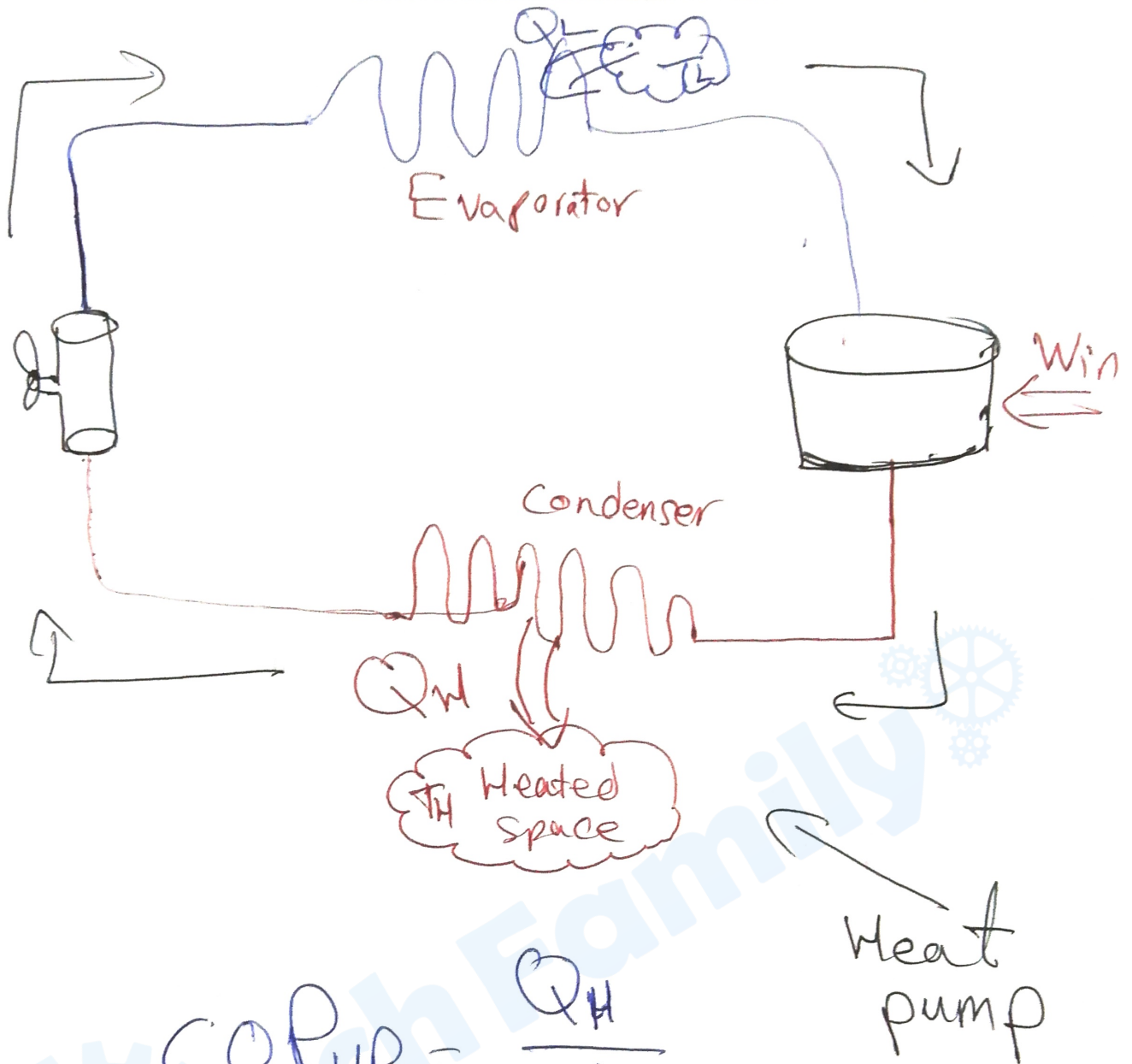
$$Q_L + W_{in} - Q_H = 0$$

$$W_{in} = Q_H - Q_L$$

---

\* The efficiency of the cycle is expressed by coefficient of performance

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{in}}$$



$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{in}}$$

\* ففكرة عمل الـ HP والـ R انه  
 يتم فيه حراره من المكان الابرد الى  
 المكان الا سخن بطريقة منطقيه  
 ولا تخالف قوانين الـ Thermodynamic  
 و يستهلك شغل

\* Pumping Heat from low temperature  
 medium ( $T_L$ ) To high temperature  
 medium ( $T_H$ )

$$COP_{HP} = COP_R + 1$$

$$COP_{HP} > COP_R$$

Reversible and irreversibilities:-

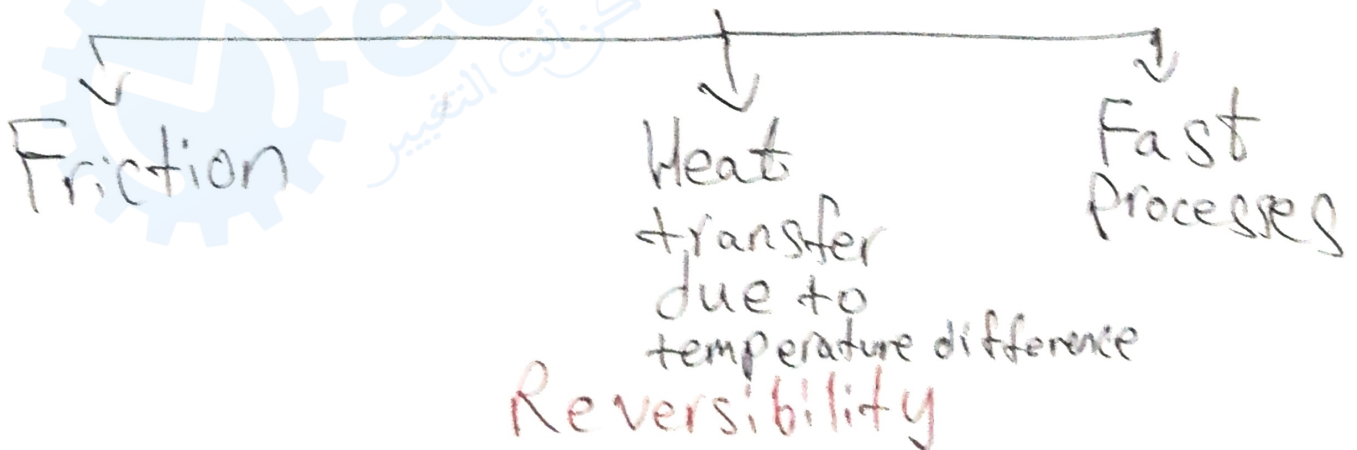
العمليات العكسية والعمليات غير العكسية

Reversible process:-

It's a process that doesn't contain any irreversibilities

عملية عكسية لا تحتوي على عمليات غير عكسية

Irreversibilities



Internally reversible

↓  
No friction  
Slow process  
Heat transfer is allowed

Externally reversible

Heat transfer is very low  
there is friction + the process is

$$COP_{HP} = COP_R + 1$$

$$COP_{HP} > COP_R$$

Reversible and irreversibilities:—

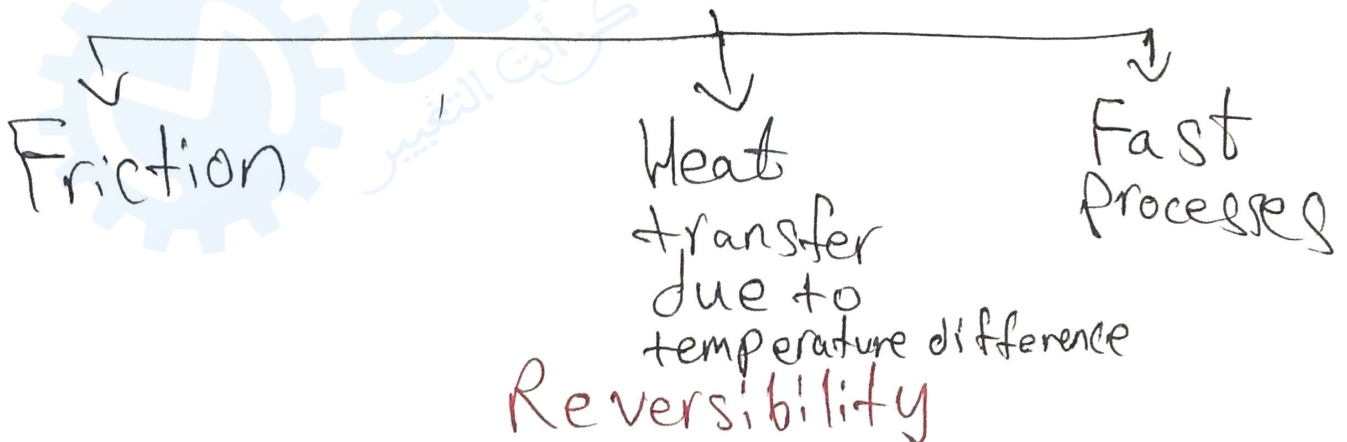
العمليات القابلة والعمليات غير القابلة

Reversible process:—

It's a process that doesn't contain any irreversibilities

العمليات القابلة لا تحتوي على عمليات غير قابلة

Irreversibilities



Internally reversible



No friction  
Slow process  
Heat transfer is allowed

Externally reversible

Heat transfer is very low  
there is friction + the process is not

Externally + Internally reversible  $\equiv$  Totally reversible

\* كلما كانت irreversibilities اقل كلما زادت كفاءة المحرك

Carnot cycle :-

هي دورة مثالية وظالمية تماماً من النواحي  
(Totally reversible)

Carnot heat engine :-

المحرك المثالي والاعلى كفاءة  
Heat engine

- No friction
- No temperature difference (it's so low)
- slow processes

## Carnot heat engine processes :-

- 1-2 reversible isothermal  
heat addition & expansion)
- 2-3 reversible adiabatic  
expansion
- 3-4 reversible isothermal  
heat rejection (compression)
- 4-1 reversible adiabatic compression.

In Carnot (reversible) :-

$$\left( \frac{Q_H}{Q_L} \right)_{\text{rev}} = \frac{T_H}{T_L}$$

$$\eta_{\text{th, Carnot}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$T_L$  = Temperature of heat sink in Kelvin

$T_H$  = Temperature of heat source.

\* لا يوجد أي Heat engine كفاءة

تتعدى كفاءة  $\eta_{\text{Carnot}}$

\* كارنوت يعتبر عن أفضل أداء يمكن

أن يصله أي Heat engine

\* لا يمكن تطبيق كارنوت في الواقع

\* يعني لو لدينا مثلاً Steam power plant ، نستطيع

الاجراء اعلى كفاءة يمكن ان تصلها

المحطة من خلال معرفة درجة

حرارة مصدر الحرارة ( $T_H$ ) ودرجة حرارة

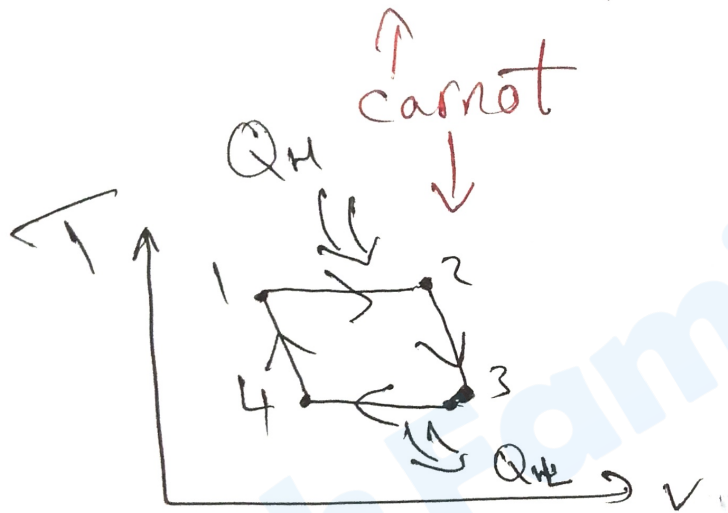
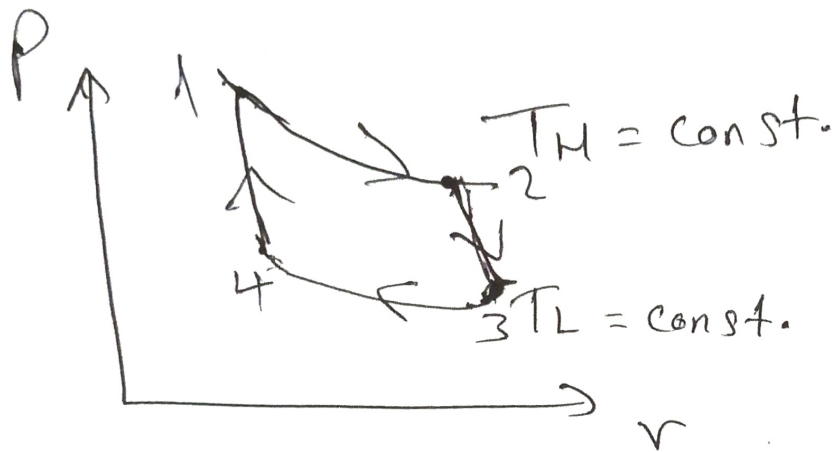
طارده الحرارة (المبرد) ( $T_L$ )

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

لكن لا نستطيع ان نصل الى الاداء المثالي

(Carnot) ، لكن يمكننا محاولة الاقتراب

منه



\* We have to know that, if we increase  $T_H$  (temp. of heat source), the  $\eta_{th}$  increases

# Carnot refrigerator & Heat pump

---

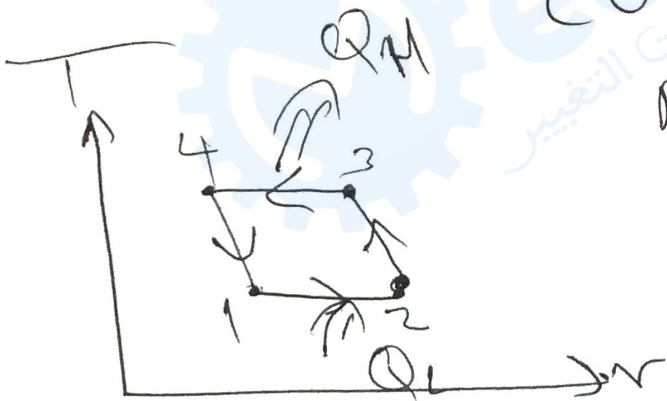
$$\text{COP}_R = \frac{Q_L}{W_{in}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$
$$= \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

$$\text{COP}_{R, \text{carnot}} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$\text{COP}_{HP, \text{carnot}} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

COP carnot is the highest possible of any refrigeration cycle.

\* It represents the best performance



End of chapter 6

---

# CHAPTER 7

# ENTROPY

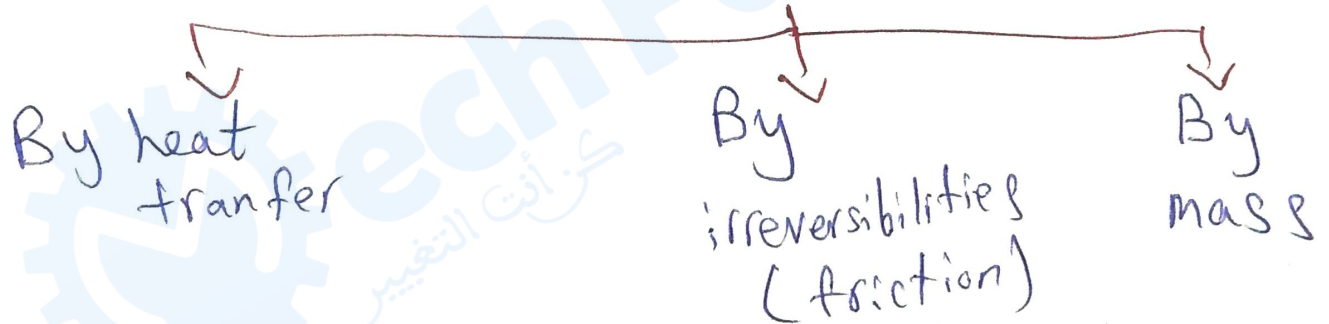
# Entropy :-

It's a measure of molecular disorder or molecular randomness.

مقياس لدرجة الفوضى الجزيئية أو الاضطراب داخل النظام

\* كلما كان ال entropy (الفوضى) اعلى ، كانت كفاءة الجهاز او العملية اقل ، فنحاول دائماً التقليل منه

How does entropy change (transfer)?



\* The work doesn't produce entropy.

$$S_{in} - S_{out} + S_{gen} = \Delta S_{system}$$

Entropy balance equation

$$\Delta S_{\text{system}} = S_2 - S_1$$

Entropy at the end of the process (final state)

Entropy before the process starts

$$S_{\text{in}} = \frac{Q_{\text{in}}}{T_H} + m S_{\text{in}}$$

Entropy transferred by heat

Entropy transferred by mass

$$S_{\text{out}} = \frac{Q_{\text{out}}}{T_L} + m S_{\text{out}}$$

$S_{\text{gen}} \equiv$  Entropy generated by friction

# Entropy calculations:-

## 1- For closed systems:-

$$\frac{Q_{in}}{T_H} - \frac{Q_{out}}{T_L} + S_{gen} = \Delta S_{system}$$

$$\Delta S_{system} = S_2 - S_1$$

\*  $S$  at any state for any pure substance (R-134a/water) can be found from their tables.

## $S_2 - S_1$ For ideal gases:-

$$\Delta S_{system} = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

OR

$$\Delta S_{system} = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

For constant specific heats

$$\Delta S_{\text{system}} = s_2^{\circ} - s_1^{\circ} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

for variable specific heat

$s^{\circ}$  can be found from ideal gas tables (A-17 - - -)

$$* s^{\circ}(T)$$

For steady flow systems,

$$\dot{S}_{\text{in}} - \dot{S}_{\text{out}} + \dot{S}_{\text{gen}} = dS/dt$$

In steady flow systems, there is no change in entropy.

$$\left( \frac{\dot{Q}_{\text{in}}}{T_H} + \dot{m} s_{\text{in}} \right) - \left( \frac{\dot{Q}_{\text{out}}}{T_L} + \dot{m} s_{\text{out}} \right) + \dot{S}_{\text{gen}} = 0$$

$$\frac{\dot{Q}_{\text{in}}}{T_H} - \frac{\dot{Q}_{\text{out}}}{T_L} + \dot{m} (s_{\text{in}} - s_{\text{out}}) + \dot{S}_{\text{gen}} = 0$$

\*  $S_{in}$  &  $S_{out}$  for pure substances can be found from their tables.

For ideal gases

$$\left[ S_{in} - S_{out} = S_{in}^{\circ} - S_{out}^{\circ} - R \ln \frac{P_{in}}{P_{out}} \right]$$

variable specific heats

$$S_{in} - S_{out} = C_v \ln \frac{T_{in}}{T_{out}} + R \ln \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

Isentropic process :-

It's a constant entropy process.

$$S_1 = S_2$$

If we have a reversible adiabatic process, then we have to know that it's an isentropic process

$$\text{reversible} \Rightarrow S_{gen} = 0$$

$$\text{adiabatic} \Rightarrow S_{heat} = 0$$

$$\text{isentropic} \Rightarrow \Delta S_{system} = 0$$

# Minimizing compressor's work :-

$$W_{rev, in} = \int v dp \quad (\text{Area under } v-p \text{ diagram})$$

Isentropic :-  $(Pv^k = C)$

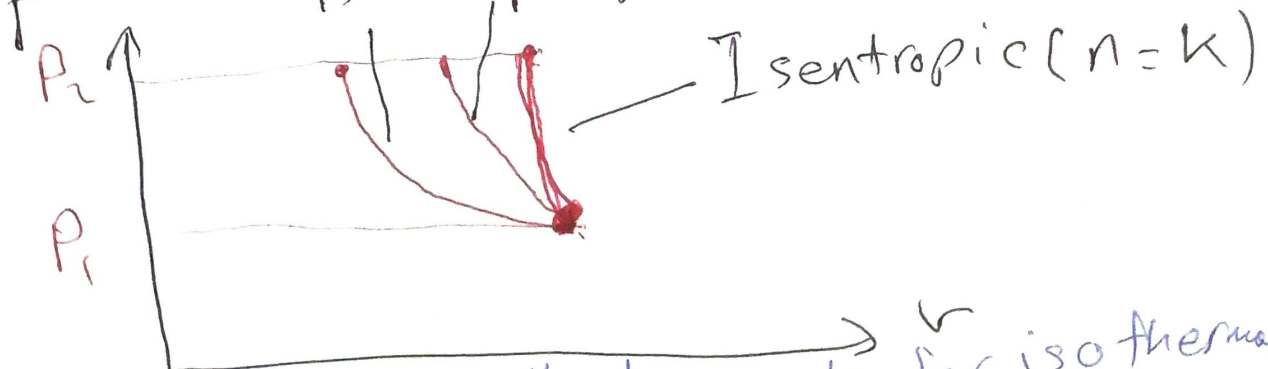
$$W_{comp, in} = \frac{kR(T_2 - T_1)}{k-1} = \frac{kRT_1}{k-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]$$

Polytropic :-  $(Pv^n = C)$

$$W_{comp, in} = \frac{nR(T_2 - T_1)}{n-1} = \frac{nRT_1}{n-1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{n-1/n} - 1 \right]$$

Isothermal :-  $(Pv = C)$

$$W_{comp, in} = RT \ln \frac{P_2}{P_1}$$



The smallest area is for isothermal, so  $W_{in}$  of isothermal is the minimum one

# I sentropic efficiencies of steady flow systems:-

تعبير عن نسبة الا ستقاده من اقله  
الاجل

$$\eta_{\text{Turbine, is.}} = \frac{\text{Actual turbine work}}{\text{I sentropic turbine work}}$$

$$= \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

↓  
s<sub>in</sub> = s<sub>out</sub>

$$\eta_{\text{compressor, is}} = \frac{\text{I sentropic compressor work}}{\text{Actual compressor work}}$$

$$= \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1}$$

$$\eta_{\text{Nozzle, is}} = \frac{\text{Actual K.E at the exit}}{\text{I sentropic K.E at the exit}}$$

$$= \frac{V_{2a}^2}{V_{2s}^2}$$

$$h_1 = h_{2a} + \frac{V_{2a}^2}{2}$$

$$h_1 = h_{2s} + \frac{V_{2s}^2}{2}$$

End of chapter 7